



# KÄYTTÖLUPAHAKEMUS

KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN  
KAPSELOINTI- JA LOPPUSIJOITUSLAITOS

**Posiva**

Maailman johtava  
loppusijoittaja





## YHTEYSTIEDOT

Posiva Oy Olkiluoto,

27160 Eurajoki

Puh. (02) 8372 (31)

Y-tunnus: 1029258-8

[posiva.fi](http://posiva.fi)



# VALTIONEUVOSTOLLE

KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN KAPSELOINTI- JA  
LOPPUSIJOITUSLAITOKSEN KÄYTTÖLUPAHAKEMUS



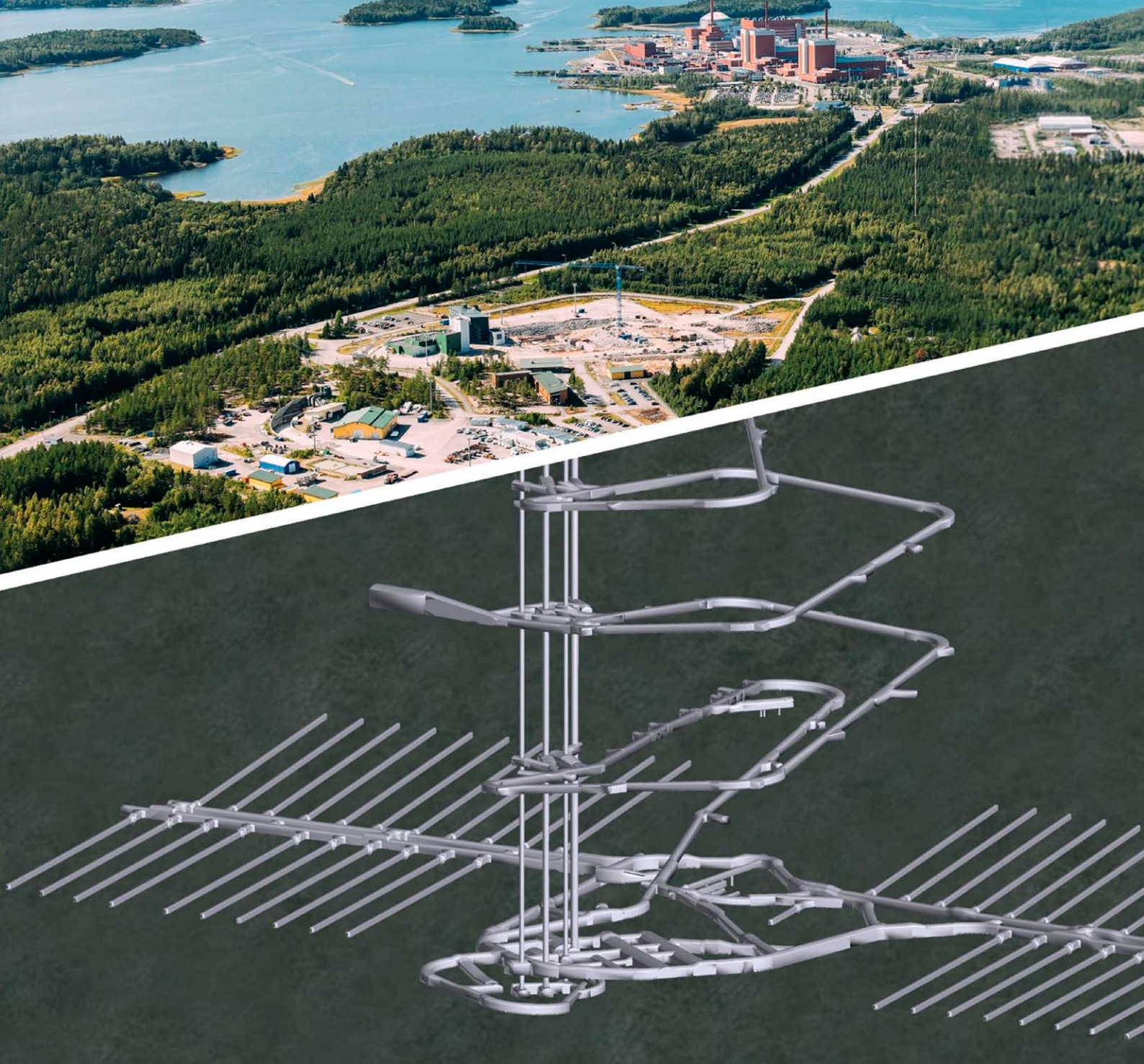
# HAKIJA

Hakijan toiminimi on Posiva Oy (jäljempänä ”Hakija”) ja kotipaikka Eurajoki.

Hakijan osakkeenomistajana ovat Teollisuuden Voima Oyj (jäljempänä ”TVO”) (60 %) ja Fortum Power and Heat Oy (jäljempänä ”Fortum”) (40 %). Hakija omistaa 100 %:sti tytäryhtiön Posiva Solutions Oy:n, joka yhdessä Hakijan kanssa muodostavat Posiva-konsernin. Hakijan yhtiöjärjestyksen mukaisena toimialana on TVO:n Olkiluodossa olevien Olkiluoto 1-, Olkiluoto 2- ja Olkiluoto 3- sekä Fortumin Loviisassa olevien Loviisa 1- ja Loviisa 2- ydinvoimalaitosyksiköiden sekä Hakijan osakkeenomistajien Suomeen rakennettavien uusien ydinvoimalaitosyksiköiden käytetyn ydinpolttoaineen ja muun korkea-aktiivisen ydinjätteen huolto – loppusijoitus mukaan lukien – ydinenergiailaissa tarkoitetun jätehuoltevelvollisen huolehtimisvelvollisuuden täyttämiseksi turvallisella ja taloudellisella tavalla sekä sen edellyttämä tutkimus- ja kehitystyö.

Tarkemmat tiedot Hakijasta käyvät ilmi hakemuksen liitteistä 1, 2, 7, 8 ja 9.





**Kuvassa on** animoitu kapselointilaitosalueen alle ONKALO (loppusijoitustila). Ne yhdessä muodostavat maailman ensimmäisen käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusratkaisun. Ydinjätehuolto on tärkeä osa ydinvoiman hyväksyttävyyttä sekä kestäväää kehitystä ja osaltaan näin varmistaa Suomen sähköenergian perustuotantoa ja edesauttaa kansallisen energia- ja ilmastostrategian toteutusta.



# HAKEMUS

Hakija hakee tällä hakemuksella ydinenergia-lain (990/1987, jäljempänä ”YEL”) 20 §:ssä tarkoitettua lupaa käyttää Eurajoen kunnan Olkiluodon saarelle rakentamisluvan ehtojen (TEM/2955/08.05.01/2012, 12.11.2015) mukaisesti rakennettua käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitosta vuoden 2024 maaliskuusta vuoden 2070 loppuun.

Koko loppusijoitustoiminnan aikana tullaan loppusijoittamaan noin 6 500 uraanitonnia (jäljempänä ”tU”) käytettyä ydinpolttoainetta, joka vastaa noin 3 300 loppusijoituskapselia. Loppusijoitustoiminta tulee jatkumaan nykyisillä suunnitelmilla 2120-luvulle, jolloin kaikki Posivan osakkeenomistajien ydinvoimalaitos-yksiköiden tuottama käytetty ydinpolttoaine on loppusijoitettu.

Hakijan hakemalla käyttöluvajaksolla vuoden 2070 loppuun asti arvioidaan loppusijoitettavan käytettyä ydinpolttoainetta noin 4000 tU; tällöin Olkiluoto 1- ja 2- laitosyksiköiden (jäljempänä ”OL1” ja ”OL2”) sekä Loviisa 1- ja 2- laitosyksiköiden (jäljempänä ”LO1” ja ”LO2”) käytetty ydinpolttoaine olisi loppusijoitettu. Hakija tulee hakemaan tämän jälkeen uutta käyttöilupaa mahdollisesti edellä mainittujen laitos-yksiköiden jäljellä olevan ja erityisesti Olkiluoto 3 – laitosyksikön (jäljempänä ”OL3”) käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamiseksi.

Hakija pyytää YEL 20 §:ssä tarkoitettua lupaa seuraavasti:

- Luvanhaltija saa pitää hallussaan, käsitellä, varastoida ja loppusijoittaa TVO:n Olkiluodon ja Fortumin Loviisan ydinvoimalaitosten toiminnasta syntyvää käytettyä ydinpolttoainetta enintään 6 500 tU.
- Luvanhaltija saa pitää hallussaan, tuottaa, käsitellä, varastoida ja loppusijoittaa kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen sekä tarvittaessa Posivan osakkeenomistajien ydinlaitoksien toiminnasta syntyviä matala- ja keskiaktiivisia käytöstä ja käytöstäpoistosta syntyneitä ydinlaitosjätteitä niin, ettei ydinlaitosjätteen kokonaismäärä ylitä missään tilanteessa 3 000 m<sup>3</sup>.

- Luvanhaltija saa pitää hallussaan, tuottaa, käsitellä, varastoida ja loppusijoittaa radioaktiivia jätteitä.
- Luvanhaltija saa pitää hallussaan, tuottaa, käsitellä, käyttää, varastoida ja loppusijoittaa kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen toiminnassa tarvittavia muita ydinmateriaaleja seuraavasti: ydinmateriaalitasealueella tai laitospaikalla jo olevia ja muita ydinmateriaaleja edellyttäen, että maahantuontilupaa tarvitseville materiaaleille on myönnetty YEL:n mukainen maahantuontilupa.

Käytetyn ydinpolttoaineen kuljettaminen Loviisan ydinvoimalaitosyksiköiltä kapselointilaitokselle on YEL:n mukaisesti ydinenergian käyttöä ja mahdollista vain ydinenergia-asetuksen (161/1988, jäljempänä ”YEA”) 8. luvun mukaisesti erikseen haettavan luvan perusteella, jonka myöntää Säteilyturvakeskus (jäljempänä ”STUK”). Hakija tulee hakemaan kuljetuksiin tarvittavat luvat Loviisan ydinvoimalaitosyksiköiden käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen alkaessa YEA:n mukaisesti, nykyisillä suunnitelmilla tämä on ajankohtaista noin 2040-luvulla. Olkiluodon ydinvoimalaitos-yksiköiltä käytetyn ydinpolttoaineen siirto kapselointilaitokselle suoritetaan ydinvoimalaitos-alueen sisäisenä siirtona.

Hakijan loppusijoitustoiminnassa varaudutaan myös muiden keskiaktiivisten ydinlaitosjätteiden ja radioaktiivisten jätteiden loppusijoittamiseen, kuten ydinvoimalaitosyksiköiden reaktorien sisäosien, jos niiden loppusijoitus Hakijan ydinlaitokseen on turvallisempaa tai tarkoituksenmukaisempaa kuin Hakijan osakkeenomistajien omiin matala- ja keskiaktiivisten ydinjätteiden loppusijoituslaitoksiin (jäljempänä ”VLJ-luola”).

Hakija esittää, että käyttöluvan ehdoissa määrättäisiin, että YEL:n 7 g §:n mukainen käytöstäpoistosuunnitelman päivitys toimitetaan työ- ja elinkeinoministeriölle (jäljempänä ”TEM”) hyväksyttäväksi YEL:n 7 e §:n mukaisen määraikaisen turvallisuusarvion yhteydessä eli 15 vuoden välein. Perusteluna tälle esitetään, että



kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttöikä tulee olemaan noin sata vuotta ja YEL:ssä esitetty kuuden vuoden määräväli ei ole tarkoituksenmukainen näin pitkällä aikavälillä.

Hakija pyytää, että valtioneuvosto oikeudenkäynnistä hallinto-asioissa annetun lain (808/2019) 122 §:n nojalla päättää lupaa myöntäessään, että päätös pannaan täytäntöön mahdollisesta valituksesta huolimatta, koska päätöksen täytäntöönpanoa ei yleisen edun vuoksi tule lykätä. Turvallisen ja oikea-aikaisen ydinjätehuollon takaamiseksi on yhteiskunnan kokonaisedun mukaista aloittaa käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus viipymättä käyttöluvan saamisen jälkeen mahdollisesta valituksesta huolimatta.



## HAKEMUKSEN KOHDE

Hakemuksen kohteena on laitoskokonaisuus, joka koostuu maan päälle rakennettavasta kapselointilaitoksesta, jossa käytetty ydinpolttoaine suljetaan loppusijoituskapseleihin, sekä maanalaisesta loppusijoituslaitoksesta, jonka yli 400 metrin syvyyteen rakennettuihin loppusijoitustunneleihin käytetty ydinpolttoaine loppusijoitetaan. Loppusijoitustilojen ajotunnelin yhteyteen rakennetaan myöhemmin erillinen tila loppusijoitustoiminnan yhteydessä syntyville matala- ja keskiaktiivisille jätteille. Maanpinnalta loppusijoitustilaan johtaa ajotunneli ja pystykuiluja ilmanvaihtoa, henkilökulkua ja kapseleiden siirtoa varten. Loppusijoituslaitoksella on myös muita loppusijoitustoiminnassa tarvittavia teknisiä tiloja ja aputiloja.

Kapselointilaitoksella käytetty ydinpolttoaine pakataan ja suljetaan kauko-ohjatusti kuparista ja valuraudasta valmistettuihin loppusijoituskapseleihin, minkä jälkeen kapseleiden eheys varmistetaan. Tämän jälkeen täydet loppusijoituskapselit siirretään kapselihiissillä loppusijoituslaitokseen yli 400 metrin syvyyteen varastoitavaksi väliaikaisesti. Loppusijoituslaitoksen välivarastosta loppusijoituskapselit siirretään loppusijoitustunneleihin ja asetetaan siellä loppusijoitusreikiin, minkä jälkeen loppusijoitusreitit peitetään puskuribentoniittisavella. Lopuksi loppusijoitustunnelit täytetään bentoniittisavimateriaalilla ja tunnelinsuu suljetaan massiivisella teräsbetonitulpalla.

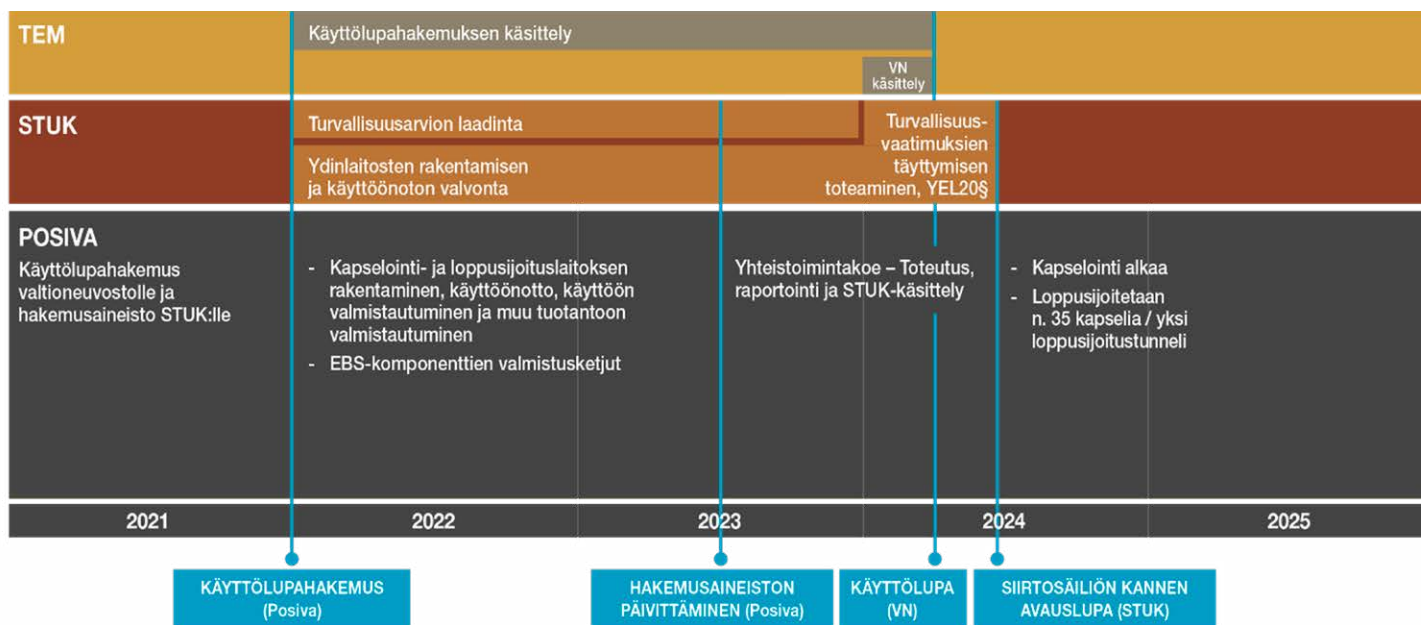
Kapselointi- ja loppusijoituslaitosten rakentamisen ja käytön suunnittelun lähtökohtana on ollut YEL:n mukaisesti aikaansaada turvallinen ja vaatimukset täyttävä laitoskokonaisuus, josta ei aiheudu vahinkoa ihmisille, ympäristölle tai omaisuudelle. Laitoskokonaisuuden suunnitteluperusteita on arvioitu rakentamisen aikana jatkuvasti parhaan tietämyksen mukaan. Hakijan ydinlaitoksia on suunniteltu käytettävän aikasyklillä, jossa käytettyä ydinpolttoainetta kapseloidaan loppusijoituskapseleihin odottaen välivarastoihin, minkä jälkeen ne loppusijoitetaan loppusijoitusreikiin kampanjoitain muutaman kuukauden aikajaksoissa. Tällä tavoin mahdollistetaan kapselointilaitoksen ja

loppusijoituslaitoksen tehokas ja turvallinen toiminta. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttö on suunniteltu turvalliseksi. Tärkeimmät laitoksen käyttöä ohjaavat asiakirjat ovat STUK:n hyväksymiä ja STUK valvoo laitosten käyttöä oman tarkastusohjelmansa mukaisesti.

Kun loppusijoituslaitos on lopullisesti suljettu, sen turvallisuus on varmistettu hyvin pitkälle aikavälille arvioidulla turvallisuusperustelulla (pitkäaikaisturvallisuus), joka on toimitettu STUKin hyväksyttäväksi käyttölupahakemusaineiston osana. Turvallisuusperustelu löytyy myös Posivan internet-sivuilta. Pitkäaikaisturvallisuuden arvioinnin tulosten perusteella loppusijoitus on turvallista ja radioaktiivisuutta ei pääse missään olosuhteissa ympäristöön siinä määrin, että se vaikuttaisi ihmisten tai eliöstön terveyteen. Pitkäaikaisturvallisuusarvioinnin tiivistelmä löytyy tämän hakemuksen liitteestä 5.

Loppusijoituslaitosta rakennetaan ja suljetaan lopullisesti vaiheittain sitä mukaa kun loppusijoitus etenee 2120-luvulle. STUK valvoo ja hyväksyy käytön aikana rakennettavien loppusijoituslaitoksen osien rakentamista, siten että rakennettavat tilat vastaavat niille asetettuja turvallisuusvaatimuksia. Kun loppusijoituslaitos suljetaan lopullisesti STUK hyväksyy sen ja loppusijoituslaitoksen valvonta siirtyy valtiolle. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen sijaintipaikka ja loppusijoitusalue on kuvattu tämän hakemuksen liitteessä 3.

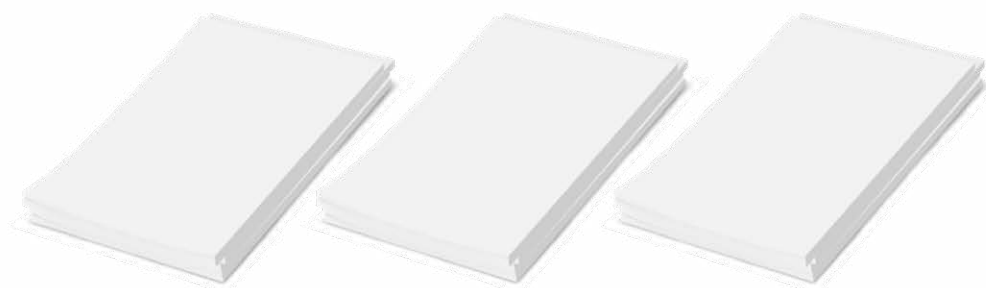
Käytetyn ydinpolttoaineen käsittelystä syntyy pieniä määriä radioaktiivisia ydinlaitosjätteitä, jotka käsitellään ja välivarastoidaan ydinlaitosjätteiden välivarastoissa Olkiluodon ydinvoimalaitosalueella välivarastoja koskevien lupien mukaisesti. Posivan ydinjätehuollon periaatteet ovat TEM:n hyväksymiä ja niiden mukaisesti Posiva ja TVO tekevät sopimuksen huolehtimisvelvollisuuden siirrosta ennen loppusijoitustoiminnan aloittamista. Siirron jälkeen TVO hoitaa hyvin matala-, matala- ja keskiaktiivisten ydinlaitosjätteiden käsittelyn, varastoinnin ja loppusijoitusjärjestelyt TVO:n jäteprosessien mukaisesti.



**Kuva 1.** Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttöluvan tavoiteaikataulut. Käyttölupahakemus toimitetaan valtioneuvostolle (VN) mutta työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) käsittelee sen. Säteilyturvakeskus (STUK) tekee hakemusaineistosta turvallisuusarvion, jonka pitää olla myönteinen.



**Käyttölupahakemus**



YEA:n 36 §:n mukaiset selvitykset

YVL-ohjeiden mukaiset muut selvitykset

Pitkäaikaisturvallisuuden turvallisuusperustelu

**STUK:lle toimitettava käyttölupahakemusaineisto**  
- noin 250 erilaista turvallisuuden arviointia tukevaa selvitystä

**Kuva 2.** Käyttölupahakemuksen ja turvallisuuden arviointia varten toimitetun aineiston rakenne. STUK:lle toimitettu aineisto sisältää muun muassa kuvaukset ydinlaitosten järjestelmistä ja rakenteista sekä selvitykset käyttöturvallisuuden, säteilyturvallisuuden ja pitkäaikaisturvallisuuden varmistamisesta.



TVO loppusijoittaa Hakijan toiminnasta syntyvät ydinlaitosjätteet Olkiluodon VLJ-luolaan tai maaperäloppusijoitustilaan. Koska TVO:n ydinvoimalaitosyksiköiden toiminta loppuu aikaisemmin kuin Hakijan loppusijoitustoiminta, on kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suunnittelussa varauduttu myös omaan ydinlaitosjätehuoltoon. Loppusijoituslaitoksen yhteyteen on suunniteltu ydinlaitosjätetila noin 180 metrin syvyyteen ajotunnelin varrelle, joka tarvittaessa rakennetaan ja otetaan käyttöön, jos esimerkiksi Olkiluodon VLJ-luola suljetaan aiemmin kuin Posivan loppusijoituslaitos. Ydinlaitosjätetilaan varaudutaan tarvittaessa loppusijoittamaan myös muita Posivan osakkeenomistajien käytöstäpoisto- ja käyttöjätteitä ja pieniä määriä muita radioaktiivisia jätteitä. Tällöin pitkäaikaisturvallisuudelle pitää tehdä erillinen arvio.

Haettavan käyttölupajakson aikana loppusijoitetaan OL1- ja OL2- sekä LO1- ja LO2 -laitosyksiköiden käytettyä ydinpolttoainetta. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen toiminta-aika on noin sata vuotta, jolloin suunniteltu toiminta-aika päättyisi noin vuonna 2120. Fortum on 13.8.2020 aloittanut YVA-menettelyn koskien Loviisa 1 - ja Loviisa 2 -laitosyksiköiden käytön jatkamista tai käytöstäpoistamista ja Posiva on suunnitelmissaan valmistautunut loppusijoittamaan käytetyn ydinpolttoaineen kummassakin vaihtoehdossa.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustoiminta saattaa kuitenkin jatkua suunniteltua pidempään, sillä uusia ydinvoimalaitosyksiköitä saatetaan ottaa käyttöön tai nykyisten toiminta-aikaa jatkaa. Pitkä toiminta-aika korostaa tarvetta loppusijoitustoiminnan turvallisuuden ja tehokkuuden tutkimiseen ja kehittämiseen koko toiminnan ajan YEL:n 7 a §:n johtavien periaatteiden mukaisesti. Liitteessä 5 on kuvattu kapselointi- ja loppusijoituslaitosten toimintaperiaatteet, turvallisuusominaisuudet sekä kerrottu loppusijoitusratkaisun kehitystyöstä.

Hakija suunnittelee tekevänsä kapselointi- ja loppusijoituslaitoksille määräaikaista turvallisuusarvioinnit käyttöluvakauden aikana YEL:n mukaisesti 15 vuoden välein alkaen käyttöluvan myöntämisestä käyttöluvan päättymiseen saakka. Arvioinnin sisältö määräytyy soveltuviin kansainvälisten ja kansallisten suositusten ja käytäntöjen sekä STUK:n antamien määräysten ja vaatimusten mukaan.

Hakija on liittänyt tähän hakemukseen YEA:n 34 §:ssä tarkoitetut selvitykset ja rakentamisluvan (12.11.2015, TEM/2955/08.05.01/2012) ehdoissa määritetyt selvitykset. Hakija on myös toimittanut STUK:lle YEA 36 §:n ja YVL-ohjeiden mukaiset selvitykset turvallisuuden arviointia varten.

# HAKEMUKSEN PERUSTELUT

## HAKEMUKSEN TAUSTAA JA AIEMMAT PÄÄTÖKSET SEKÄ LUVAT

### Periaatepäätökset

Valtioneuvosto on myöntänyt Hakijalle kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamisesta kolme periaatepäätöstä 21.12.2000, 17.1.2002 ja 6.5.2010, jotka eduskunta on päättänyt jättää voimaan 18.5.2001, 24.5.2002 ja 1.7.2010. Vuonna 2000 tehty periaatepäätös koskee Suomen neljän käytössä olevan ydinvoimalaitosyksikön toiminnassa syntyvää käytettyä ydinpolttoainetta, jonka uraanimäärä kokonaisuudessaan on enintään noin 4 000 tU:a. Vuonna 2002 tehty periaatepäätös loppusijoituslaitoksen rakentamisesta laajennettuna koskee TVO:n käyttöönottoaiheessa olevan OL3 –ydinlaitosyksikön käytettyä ydinpolttoainetta määrältään enintään 2 500 tU:a. Yhteensä periaatepäätösten mukaisesti voi siis loppusijoittaa 6 500 tU:a, joka vastaa noin 3 300 loppusijoituskapselillista käytettyä ydinpolttoainetta. Olkiluoto 4 -laitosyksikön periaatepäätös raukesi, koska TVO ei jättänyt sille rakentamislupahakemusta. Näin ollen myös Posivan periaatepäätös Olkiluoto 4 -laitosyksikön käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamiseksi raukesi.

### Rakentamislupa

Hakijalle myönnettiin 12.11.2015 rakentamislupa (TEM/2955/08.05.01/2012) kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamiselle. Lupaehdojen mukaisesti joulukuussa 2016 Posiva aloitti rakentamisluvan mukaisen rakentamisen. Rakentamisluvan nojalla luvanhaltija saa rakentaa:

- 1.1 kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käytetylle ydinpolttoaineelle kokonaismäärältään yhteensä enintään 6 500 tonnia uraania vastaava määrä.
- 1.2 loppusijoitustiloja käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen matala- ja keskiaktiiviselle käyttö- ja käytöstäpoistojätteelle. Loppusijoitustiloja saa rakentaa siten, että tiloihin voidaan sijoittaa

enintään 1500 m<sup>3</sup> matala- ja keskiaktiivista jätettä.

1.3 kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen sekä loppusijoitustilojen toiminnassa tarvittavat rakenteet ja aputilat

1.4 perusratkaisun (pystysuuntaiset loppusijoitusreiät) tai sen muunnelman (vaaka-suuntaiset sijoitustunnelit)

2. Luvanhaltijan on toimitettava käyttöluvhakemuksen yhteydessä päivitetty selvitys laitoskokonaisuuden ympäristövaikutuksista.

3. Luvanhaltijan on toimitettava käyttöluvhakemuksen yhteydessä päivitetty selvitys käytetyn ydinpolttoaineen palautettavuudesta.

4. Luvanhaltijan on toimitettava käyttöluvhakemuksen yhteydessä päivitetty selvitys käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusriskeistä.

5. Luvanhaltijan on toimitettava käyttöluvhakemuksen yhteydessä selvitys hankkeeseen tehdyistä muutoksista.

Hakija on rakentanut kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamisluvan ehtojen mukaisesti ja rakentaa käyttöluvan aikana loppusijoitustiloja ja toiminnassa tarvittavia rakenteita ja aputiloja.

Rakentamisluvan ehdoissa (kohdat 2–5 yllä) edellytetyt selvitykset ovat tämän hakemuksen liitteinä 10–13. Hakija toteaa näin ollen rakentamisluvan ehtojen täyttyneen.

### Ilmoitukset

Hakija on ilmoittanut loppusijoitustoimintaan liittyvästä investointihankkeesta Euroopan komissiolle rakentamislupahakemuksen käsittelyn yhteydessä. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen tekniset perustiedot on ilmoitettu ensimmäisen kerran rakentamislupahakemusvaiheessa ja niihin tulleista muutoksista on ilmoitettu tarpeen mukaan. Posiva kokoaa hankkeen ympäristövaikutusten arvioimiseksi tarvittavan ilmoituksen vuonna 2022.



## SIJAINNIPAIKKA

Kapselointi- ja loppusijoituslaitos sijaitsee Eurajoen kunnassa asemakaavoitetulla Olkiluodon loppusijoitusalueen asemakaavan alueella, johon Hakijalla on hallintaoikeus. Kapselointilaitos sijaitsee Olkiluodon saaren keskiosassa, noin 2 kilometriä itään ydinvoimalaitosyksiköiden sijaintipaikasta. Loppusijoituslaitos sijaitsee yli 400 metrin syvyydessä Olkiluodon kalliooperässä. Maanalaisen laitoksen tarvitsema pinta-ala, kun loppusijoitettava polttoainemäärä on 6 500 tU, on noin 150 hehtaaria. Maanalaisten tunnelien pituus on noin 35 kilometriä, kun kaikki käytetty ydinpolttoaine on loppusijoitettu, tunneleita kuitenkin suljetaan loppusijoitustoiminnan aikana heti kun ne ovat täynnä.

Tarkemmat selvitykset sijaintipaikasta ja kaa-voituksesta esitetään hakemuksen liitteessä 3.

## KÄYTTÖTARKOITUS

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksia käytetään Posivan osakkeenomistajien ydinvoimalaitosyksiköiden käytetyn ydinpolttoaineen kapselointiin ja loppusijoittamiseen. Lisäksi kapselointilaitoksella on olemassa tilavaraukset, jotta tulevaisuudessa tarvittaessa voidaan rakentaa järjestelmät ja tilat ydinlaitosjätteiden ja muiden radioaktiivisten jätteiden käsittelemiseksi, varastoisiksi ja loppusijoittamiseksi Olkiluodon kalliooperään.

Hakijan ydinlaitos koostuu kahdesta toisiinsa kytketystä ydinlaitoksesta eli kapselointilaitoksesta ja loppusijoituslaitoksesta. Kapselointilaitoksella käytetty ydinpolttoaine kapseloidaan loppusijoituskapseloihin, minkä jälkeen kapselit siirretään reilun 400 metrin syvyyteen loppusijoituslaitokseen. Loppusijoituslaitoksella ne loppusijoitetaan loppusijoitusta varten rakennettuihin tunneleihin ja tunnelit täytetään ja lopuksi suljetaan tulpalla. Loppusijoituslaitoksen yhteyteen rakennetaan tarvittaessa tuotannon aikana erillinen loppusijoitustila käytetyn ydinpolttoaineen käsittelyssä syntyneille matala- ja keskiaktiivisille käyttö- ja käytöstäpoistojätteille.

Tarkemmat selvitykset Hakijan ydinlaitoksen toiminnasta esitetään hakemuksen liitteissä 4 ja 5.

## TOIMINTA-AIKA JA LOPPUSIJOTUSTOIMINTA

Loppusijoitustoiminnan kestoksi on arvioitu noin 100 vuotta, mikä tarkoittaa sitä, että käyttötoiminnan on suunniteltu kestävän 2120-luvulle. Kapselointilaitoksessa käsiteltävän ja loppusijoituslaitokseen sijoitettavan ydinpolttoaineen määrä on rakentamisluvan mukaisesti enintään 6 500 tU vastaava määrä, joka vastaa noin 3 300 loppusijoituskapselia. Reilu neljäkymmentä prosenttia kapselista sisältää OL1- ja OL2-laitosyksiköiden polttoainetta, vajaa neljäkymmentä prosenttia sisältää OL3-laitosyksikön polttoainetta ja noin neljännes kapselista sisältää Loviisan laitosyksiköiden käytettyä polttoainetta. Jos Loviisan laitosten käyttö jatkuu, niiden polttoainetta sisältävien kapselien osuus nousee. Kapselointilaitoksessa syntyvän radioaktiivisen käyttö- ja käytöstäpoistojätteen määrän arvioidaan olevan noin 1 500 m<sup>3</sup> ja aktiivisuuden noin 600 GBq.

Hakija on valinnut loppusijoituksen perusratkaisuun KBS-3V:n (pystysuuntaiset loppusijoitusreiät). Sen vaihtoehtoista muunnelmaa KBS-3H:ta (vaakasuurtaiset loppusijoitustunnelit) ei tällä hetkellä aktiivisesti kehitetä. Ottaen huomioon loppusijoitustoiminnan pitkän keston, Hakija saattaa uudelleenarvioida toiminnan aikana KBS-3H-vaihtoehtoa, ydinenergiain 7 a §:n johtavien periaatteiden mukaisesti. KBS tulee sanoista Kärnbränslesäkerhet ja numero 3 on loppusijoituskonseptin versio-numero. Kirjain V puolestaan viittaa loppusijoituskapselien pystysijoitukseen (vertical).

Käytetty ydinpolttoaine otetaan vastaan Hakijan maanpäällisellä kapselointilaitoksella, jossa polttoaine-elementit pakataan ja suljetaan loppusijoituskapseloihin. Kapseloitu käytetty ydinpolttoaine loppusijoitetaan kapselointilaitoksen yhteyteen syvälle kallioon rakennettavaan loppusijoituslaitokseen. Loppusijoituslaitoksessa sijaitsevat ydinpolttoaineen loppusijoitustilat sekä niistä erillään sijaitseva matala- ja keskiaktiivisen käyttö- ja käytöstäpoistojätteen loppusijoitushalli, joka toteutetaan tarvittaessa. Maanalaisia tiloja ovat ajotunneli, pystykuilut, tekniset tilat, ajoneuvoyhteydet, keskustunnelit ja loppusijoitustilat. Loppusijoitustiloihin kuuluvat loppusijoitustunnelit ja niiden lattiaan poratavat loppusijoitusreiät, joihin kapselit sijoite-

## Vain turvallinen loppusijoitus on mahdollista

- Loppusijoituksen moniasteperiaate:

Useat toisiaan varmentavat vapautumisesteet varmistavat pitkäaikaisturvallisuuden



**Posiva**

■ **Kuva 3.** Posiva on valinnut loppusijoitukseen niin sanotun KBS-3V-menetelmän, jota on kehitetty yhdessä Ruotsin käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta vastaavan SKB:n kanssa. Kyseessä on alun perin Ruotsissa kehitetty loppusijoitusperiaate, joka perustuu moniasteperiaatteeseen.

taan. Käytetyn ydinpolttoaineen lisäksi tullaan vähäisessä määrin tarvittaessa loppusijoittamaan myös muuta keskiaktiivista ydinjätettä ml. reaktorin sisällä aktivoituneita osia.

Loppusijoitusta tehdään nykyisten suunnitelmien mukaan enintään 60 loppusijoituskapselin vuosittain. Kapselointilaitoksen suunniteltu kapasiteetti on noin 100 kapselia per vuosi. Ensimmäisinä vuosina loppusijoitetaan noin 30-40 kapselia vuodessa. Loppusijoitustoimintaa tehdään kampanjoitain, jolloin loppusijoituskapsleita pakataan odottamaan välivarastoihin kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella, minkä jälkeen kapselit loppusijoitetaan yhteen loppusijoitustunneliin ja tunneli suljetaan bentoniittisavitäytöllä ja tulpalla. Tarkemmat selvitykset kapselointi- ja loppusijoituslaitoksesta sekä teknisistä toimintaperiaatteista esitetään hakemuksen liitteissä 4 ja 5.



# LUVAN MYÖNTÄMISEN EDELLYTYKSET (YEL 20 §)

## KAPSELOINTI- JA LOPPUSIJOITUSLAITOKSIEN KÄYTTÄMINEN ON TURVALLISTA

Suomessa ydinenergia-alan ylin johto ja valvonta kuuluvat TEM:lle. Ydinenergian käytön turvallisuuden valvovana viranomaisena toimii STUK. Hakijan toiminta täyttää kansallisten viranomaisten vaatimukset. Hakija noudattaa myös kansainvälisiä sopimuksia muun muassa ydinmateriaalivalvonnan ja ydinvastuun osalta.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitos ja niiden käyttäminen täyttävät YEL:n ja YEA:n mukaiset Suomessa voimassa olevat turvallisuutta koskevat vaatimukset, joiden yleisperiaatteet sisältyvät STUKin antamiin määräyksiin ja yksityiskohtaisemmin STUKin julkaisemiin ydinturvallisuusohjeisiin (YVL-ohjeet) ja valmiusohjeisiin (VAL-ohjeet). Lisäksi on otettu huomioon eräiden muiden maiden sekä Kansainvälisen atomienergiajärjestön (IAEA) julkaisemat periaatteet ja ohjeet. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suunnittelussa ja käytössä on otettu huomioon myös mm. säteilylainsäädännön vaatimukset ja muut Suomen lainsäädännön soveltuvat vaatimukset. Hakija seuraa ja arvioi jatkuvasti, miten eri lainsäädännön vaatimukset täytetään toiminnassa. Selvitys noudatetuista turvallisuusperiaatteista sekä arvio periaatteiden toteutumisesta on hakemuksen liitteessä 5.

Loppusijoituksen turvallisuus on varmistettu. Loppusijoituslaitos sijaitsee yli 400 metrin syvyydessä kapselointilaitoksen alla. Loppusijoituslaitos rakennetaan kallioperään, jonka olosuhteita ja soveltuvuutta loppusijoitukseen on tutkittu lähes 40 vuotta. Loppusijoituslaitos ja -menetelmä ovat osoitettu olevan turvallisia satojen tuhansien vuosien ajan, jossa ajassa käytetyn ydinpolttoaineen radioaktiivisuus on laskenut luonnon uraanimalmin tasolle. Loppusijoituslaitosta laajennetaan ja suljetaan koko toiminnan ajan, näin ollen toiminnan lopussa maan alle on louhittu ja suljettu noin 35 kilometriä loppusijoituslaitoksen tiloja.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuus on arvioitu satojen tuhansien vuosien

ajalle tulevaisuuteen, tätä kutsutaan pitkäaikaisturvallisuuden arvioksi. Pitkäaikaisturvallisuus on arvioitu periaatepäätös-, rakentamislupa- ja nyt käyttöluvavaiheessa. Loppusijoitus on todettu näissä arvioissa turvallisesti myös pitkien aikojen kuluessa. Jos loppusijoituskapselien tiiveys menetetään, pahimpien ja epätodennäköisimpien arvioitujen tulevaisuuden kulkujen mukaan ihmisille tai eläimille koituva säteilyannos jää noin kymmenesosaan viranomaisrajoista ja noin sadasosaan siitä annoksesta minkä ihminen saa vuosittain taustasäteilystä ja muista säteilylähteistä. Selvitys toimenpiteistä ydinlaitoksen ympäristörasituksen rajoittamiseksi on hakemuksen liitteessä 6 ja tiivistelmä pitkäaikaisturvallisuuden arvioinnista on esitetty liitteessä 5 sekä liitteessä 10.

Hakija on aktiivisesti mukana kansainvälisillä ydinenergia-alan ja ydinjätteen loppusijoittamisen eri foorumeilla. Lisäksi Hakijan toimintaan kohdistuu kansainvälisiä vertaisarviointoja, joista mahdollisesti esille nousevat parannusehdotukset otetaan huomioon Hakijan toiminnassa.

Hakijan kapseli- ja loppusijoituslaitoksella työskentelevien työntekijöiden turvallisuus on otettu asianmukaisesti huomioon. Hakijan työturvallisuustoiminnan tavoitteena on edistää terveyttä ja työturvallisuutta ”nolla tapaturmaa” -ajattelun mukaisesti. Hakija ylläpitää hyvää työilmapiiriä ja työskentelyolosuhteita. Hakijan työyhteisössä ei hyväksyttyä työpaikalla tapahtuvaa häirintää, ahdistelua tai kiusaamista. Kaikkien vastuulla on oman ja muiden henkilöiden turvallisuudesta huolehtiminen. Työturvallisuus otetaan huomioon kaikissa toiminnoissa.

Olkiluodossa työskentelevien työntekijöiden säteilyturvallisuus toteutetaan täyttämällä säteilylain (859/2018) ja ionisoivasta säteilystä annetun valtioneuvostonasetuksen (1034/2018) vaatimukset, näiden pohjalta annettujen päätösten, määräysten ja viranomaisohjeiden vaa-

timukset sekä noudattamalla Hakijan omia tarkentavia säteilysuojelun ohjeita.

Hakija toteuttaa toimenpideohjelman, joka tähtää työntekijöiden yksilöannosten ja kollektiivisten annosten pitämiseen niin alhaisina kuin käytännön toimenpitein on mahdollista. Tähän niin sanottuun ALARA-ohjelmaan (As Low As Reasonably Achievable) on koottu tärkeimmät työntekijöiden säteilysuojelua ja annosten alen- tamista koskevat tavoitteet. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ydinmateriaalivalvonta sekä turva- ja valmiusjärjestelyt on järjestetty asian- mukaisesti ja täyttää sille asetetut kansalliset ja kansainväliset vaatimukset.

---

KAPSELOINTI- JA LOPPUSIJOITUSLAITOK-  
SEN KÄYTTÄMINEN ON TURVALLISTA KOKO  
LOPPUSIJOITUSTOIMINNAN AJAN

---

## YMPÄRISTÖNSUOJELU JA VÄESTÖN TURVALLISUUS ON HUOMIOITU LAITOKSEN KÄYTTÄMISESSÄ

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksesta aiheutuvat välittömät ja välilliset vaikutukset ihmisille, luonnolle ja rakennetulle ympäristölle on arvioituna useissa ympäristövaikutusten arviointiohjelmissa ympäristövaikutusten arviointimenettelystä annetun lain (468/1994) mukaisesti. Yhteysviranomainen on katsonut esitetyt arviointiselostukset riittäviksi, todennut sen kattavan lainsäädännön vaatimukset ja käsittelyn asianmukaiseksi. Hakijalla on dokumentoitu ja sertifioitu toimintajärjestelmä, joka ympäristöasioiden osalta täyttää kansainväliseen standardin SFS-EN ISO 14001 vaatimukset. Toimintajärjestelmän yhtenä tarkoituksena on varmistaa, että ympäristöasioiden hallinta on ohjattua ja systemaattista.

Yleisesti kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttötoiminnan vaikutuksia ihmisiin ja ympäristöön ovat maankäyttö, maanalainen loppusijoituslaitoksen louhinta, maisemavaikutus, mahdolliset radioaktiiviset päästöt, vesistövaikutukset, liikennevaikutukset, liikennetur-

vallisuus, talous- ja työllisyysvaikutukset sekä melu. Näistä muuhun teolliseen toimintaan verrattuna poikkeavia turvallisuusvaikutuksia voi syntyä lähinnä louhintajätteen läjityksen ja mahdollisten radioaktiivisten päästöjen kautta. Etelä-Suomen aluehallintoviraston päätöksen (ESAVI-0000426-05.14.00-2011 19.1.2011) mukaisesti kapselointi- ja loppusijoituslaitos ei tarvitse ympäristölupaa.

Ajantasalle saatettu ”*Selvitys laitospäätöksen ympäristövaikutuksista*” löytyy tämän hakemuksen liitteestä 10 ja ”*Selvitys toimenpiteistä ydinlaitoksen ympäristöarvioinnin rajoittamiseksi*” liitteestä 6.

---

KAPSELOINTI- JA LOPPUSIJOTUSLAITOKSEN KÄYTTÄMINEN ON TURVALLISTA  
YMPÄRISTÖLLE JA VÄESTÖLLE.

---



## KAPSELOINTI- JA LOPPUSIJOITUSLAITOKSEN YDINJÄTEHUOLTOMENETELMÄT OVAT RIITTÄVÄT JA ASIANMUKAISET

Hakijan ydinlaitoksilla käsitellään korkea-aktiivista ydinjätettä, käytettyä ydinpolttoainetta. Vaikka säteilysuojelu otetaan mahdollisimman hyvin huomioon, ydinlaitoksilla syntyy vähäisiä määriä ydinlaitosjätteitä suoran säteilyn tai kontaminaation vuoksi. Ydinlaitosjätteet ovat tyypillisesti käytön, huoltojen ja laitosmuutosten yhteydessä syntyvää jätettä, jossa on sen verran radioaktiivisuutta, että sitä ei saada dekontaminoitua tai valvonnasta vapautettua. Ydinlaitosjätteet lajitellaan hyvin matala-, matala- ja keskiaktiivisiin jätteisiin, jotka lajitellaan, käsitellään ja pakataan asianmukaisesti. Kuivat ydinlaitosjätteet varastoidaan aluksi kapselointilaitoksella, laitosyksiköiden jätevarastoissa tai ne voidaan siirtää aktiivisuutensa mukaan joko TVO:n keskiaktiivisen jätteen KAJ-varastoon tai matala-aktiivisen jätteen MAJ-varastoon, minkä jälkeen ne loppusijoitetaan Olkiluodon VLJ-luolaan tai loppusijoituslaitoksen yhteyteen myöhemmin rakennettavaan matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilaan. Hyvin matala-aktiiviset ydinlaitosjätteet loppusijoitetaan välivarastoinnin jälkeen TVO:n maaperäloppusijoitukseen. Olkiluodon ydinvoimalaitoksen käyttöluvut mahdollistavat ydinlaitosjätteen käsittelyn ja varastoinnin nykyisellään.

Ydinlaitosjätteiden, ja laitosten käyttöä lopulla käytöstäpoistojätteiden, huolto on suunniteltu järjestettäväksi niin, ettei säteilyturvallisuutta lyhyellä tai pitkällä aikavälillä vaaranneta. Selvitys suunnitelluista toimenpiteistä ydinjätehuollon järjestämiseksi esitetään hakemuksen liitteessä 4.

Posivan perustamissopimuksen mukaisesti Hakija huolehtii välivarastoinnin jälkeen käytetyn ydinpolttoaineen käsittelystä ja loppusijoittamisesta. Näin ollen Hakijalla ei ole tarvetta tuoreen ydinpolttoaineen huollolle. Hakijan vastuulla olevat toimenpiteet ja perustelut käytetyn ydinpolttoaineen osalta esitetään hakemuksen liitteessä 4.

Olkiluodon ydinvoimalaitosalueella tuotettu matala- ja keskiaktiivinen ydinlaitosjäte loppusijoitetaan laitospaikalla käytössä olevaan VLJ-luolaan, jonka käyttöön TVO:lle on myönnetty käyttöluva 9.4.1992. Käyttöluva on voimassa vuoden 2051 loppuun, johon mennessä haetaan uusi käyttöluva. Seuraava VLJ-luolan määräaikainen turvallisuusarviointi tehdään vuoden 2021 loppuun mennessä ja siinä otetaan huomioon Posivan tuottamat ydinlaitosjätteet, Posivan jätteiden loppusijoitus VLJ-luolaan mahdollistetaan VLJ-luolan käyttöluvan ehtojen muutoksella. Olkiluodolle rakennettavan maaperäloppusijoituslaitoksen toimintaluvassa otetaan huomioon Posivan tuottamat jätteet.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käytöstäpoistojäte on suurelta osin hyvin matala- ja matala-aktiivisen jätteen kaltaista ja tullaan nykyisten suunnitelmien mukaan loppusijoittamaan VLJ-luolaan tai maaperäloppusijoituslaitokseen. Lisäksi Hakijalla on mahdollisuus rakentaa oma loppusijoitustila näille ydinlaitosjätteille noin 180 metrin syvyyteen loppusijoituslaitoksen ajotunnelin varrelle rakentamisluvan mukaisesti. Posivan ydinlaitosten käytöstäpoistosuunnitelmassa on suunnitelmat laitosten purkamiseksi, käytöstäpoistojätteen varastoimiseksi ja loppusijoittamiseksi.

Tarkemmat selvitykset ydinlaitosjätteistä ja Hakijan suunnitelmista ja käytettävissä olevista menetelmistä ydinjätehuollon järjestämiseksi mukaan luettuna ydinlaitoksen purkaminen ja ydinjätteiden loppusijoitus sekä selvitys ydinjätehuollon aikataulusta ja arvioiduista kustannuksista ovat hakemuksen liitteenä 4.

---

ERITYYPPISTEN YDINJÄTTEIDEN  
VARASTOINNISTA JA LOPPUSIJOITUKSESTA  
HUOLEHDITAAN ASIANMUKAISESTI.

---

## HAKIJALLA ON KÄYTETTÄVÄNÄÄN RIITTÄVÄ ASiantuntemus JA KÄYTTÖHENKILÖKUNNAN KELPOISUUS JA KÄYTTÖORGANISAATIO OVAT ASIANMUKAISET

Hakijalla on kapselointi- ja loppusijoituslaitosten käyttöön suunniteltu käyttöorganisaatio ja käytettävänä riittävä sekä tehtäviinsä soveltuva ammattitaitoinen henkilöstö. Hakijan ja ydinlaitoksen henkilöstö on koulutettua, ja jota tullaan edelleen lisäkouluttamaan tuleviin tehtäviinsä. STUK hyväksyy ydinlaitosten valmiusjärjestelyistä, turvajärjestelyistä ja ydinmateriaalivalvonnasta vastuussa olevat henkilöt ja näiden varahenkilöt. Hakijan kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suunnittelun ja rakentamisen aikana Hakijalle on kertynyt merkittävä asiantuntemusta ydinlaitoksen rakentamisesta ja sen suunnitellusta käyttämisestä. Lisäksi Olkiluoto on Suomen suurin ydinlaitosalue, jolla työtehtävien monipuolisuus on tuonut kokemuspohjaa ydinalan ammattilaisena toimimisesta yhdessä TVO:n henkilöstön kanssa.

Suomi on ollut viime vuodet käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen johtava maa maailmassa. Posiva Solutions Oy:n kautta Hakijan henkilöstöä on osallistunut kotimaisiin ja kansainvälisiin loppusijoitukseen liittyviin projekteihin, mikä on edelleen lisännyt Hakijan henkilöstön ammattitaitoa.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttöhenkilöstöä koulutetaan ja hyväksytetään YVL-ohjeissa kuvatuin menettelyin. Tämän lisäksi myös muu käytön tukihenkilöstö koulutetaan ja YVL-ohjeiden vaatiessa myös hyväksytetään tehtäviinsä. Käyttöorganisaation jatkuva koulutus ja pätevyyksien ylläpito on varmistettu näihin liittyvin koulutusohjelmin. Hakijan johtosäännössä on kuvattu tärkeimmät käyttötoiminnan tehtävät vastuineen, joka on oltava STUK:n hyväksymä ennen loppusijoituksen aloittamista.

Tarkempi selvitys Hakijan käytettävissä olevasta asiantuntemuksesta ja käyttöorganisaatiosta on hakemuksen liitteenä 7.

---

HAKIJALLA ON RIITTÄVÄ ASiantuntemus  
JA KÄYTTÖORGANISAATIO  
ON ASIANMUKAINEN.

---

## POSIVALLA ON TALOUDELLISET JA MUUT TARPEELLISET EDELLYTYKSET HARJOITTA A TOIMINTAA TURVALLISESTI JA SUOMEN KANSAINVÄLISTEN SOPIMUSVELVOITTEIDEN MUKAISESTI

Hakijan toimintaa rahoittavat Hakijan osakkeenomistajat yhtiöjärjestyksen määräysten mukaisesti ja yhdessä sovituin kustannustenja-koperustein. Sen varalle, että Hakijan osakkeenomistajien ydinvoimalaitosten toiminta jostain syystä yhtäkkisesti päättyisi, ydinjätehuoltovolliset ovat olleet YEL:n mukaisesti veloitettuja keräämään valtion ydinjätehuoltorahastoon rahamäärän, jolla voidaan kattaa olemassa olevan ydinjätteen huolto- ja loppusijoitustoimenpiteet. Tätä ydinjätehuollon vastuumäärää arvioidaan vuosittain YEL:n säännösten mukaisesti.

Hakijan tiedossa ei ole Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitosten käyttöön liittyviä lainsäädäntöön perustuvia tai kansainvälisiin sopimuksiin liittyviä muutoksia, jotka vaikuttaisivat merkittävästi Hakijan edellytyksiin käyttää kapselointi- ja loppusijoituslaitoksia turvallisesti ja Suomen kansainvälisten sopimusvelvoitteiden mukaisesti.

Hakijan taloudelliset edellytykset harjoittaa toimintaa esitetään liitteissä 8 ja 9. Muut tarpeelliset edellytykset harjoittaa toimintaa turvallisesti ja Suomen kansainvälisten sopimusvelvoitteiden mukaisesti käy ilmi liitteestä 5.

Hakijan turvajärjestelyt ja valmiusjärjestelyt sekä muut järjestelyt ydinvahinkojen rajoittamiseksi ja ydinenergian käytön turvaamiseksi ydin- tai säteilyturvallisuu tta vaarantavalta toiminnalta ovat riittävät. Tarkempi selvitys Hakijan turva- ja valmiusjärjestelyistä käy ilmi liitteestä 5.

Hakijalla on kapselointi- ja loppusijoituslaitoksia koskeva, ydinvastuulain (484/1972) edellyttämä vastuuvakuutus, joka astuu voimaan lain edellytysten täytyttyessä.

---

HAKIJA KATSOO EDELLÄ ESITETYN JA HAKEMUKSEN LIITTEISSÄ ESITETYN TARKEMPIEN SELVITYSTEN PERUSTEELLA, ETTÄ YEL:N 20 §:SSA TARKOITETUN KÄYTTÖLUVAN MYÖNTÄMISEN EDELLYTYKSET JA YEL:N 5-7 §:IEN VAATIMUKSET KOSKIEN YHTEISKUNNAN KOKONAISETUA JA KAPSELOINTI- JA LOPPUSIJOITUSLAITOSTA TURVALLISUUTTA TÄYTTÄVÄT JA HAKIJAN PYYTÄMÄ KÄYTTÖLUPA VOIDAAN MYÖNTÄÄ.

---



## YDINENERGIA-ASETUKSEN 34 §:N EDELLYTTÄMÄT SELVITYKSET

- Liite 1. Kaupparekisteriote (erillinen liite, ei mukana tässä monisteveriossa)
- Liite 2. Jäljennös yhtiöjärjestyksestä ja osakasrekisteristä (erillinen liite, ei mukana tässä monisteveriossa)
- Liite 3. Selvitys ydinlaitoksen sijaintipaikan ja sen lähiympäristön asutuksesta ja muista toiminnoista sekä kaavoitusjärjestelyistä
- Liite 4. Selvitys ydinjätehuollosta
- Liite 5. Pääpiirteinen selvitys teknisistä toimintaperiaatteista ja ratkaisuista sekä muista järjestelyistä, joilla turvallisuus on varmistettu sekä selvitys noudatetuista turvallisuusperiaatteista sekä arvio periaatteiden toteutumisesta
- Liite 6. Selvitys toimenpiteistä ydinlaitoksen ympäristörasituksen rajoittamiseksi
- Liite 7. Selvitys hakijan käytettävissä olevasta asiantuntemuksesta ja ydinlaitoksen käyttöorganisaatiosta
- Liite 8. Selvitys hakijan rahoitusasemasta, rahoituksen hoitosuunnitelma ja tuotannollinen suunnitelma
- Liite 9. Hakijan tilinpäätösasiakirjat vuosilta 1999-2015 (erillinen liite, ei mukana tässä monisteveriossa)
- Liite 10. Päivitetty selvitys laitospäätöskokonaisuuden ympäristövaikutuksista
- Liite 11. Päivitetty selvitys käytetyn ydinpolttoaineen palautettavuudesta
- Liite 12. Päivitetty selvitys käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusriskeistä
- Liite 13. Rakentamisluvan myöntämisen jälkeen hankkeeseen tehdyt muutokset
- Liite 14. Selvitys siitä, miten hakija on täyttänyt rakentamisluvan ehdot

# 01

KAUPPAREKISTERIOTE

(ERILLINEN LIITE, EI MUKANA  
TÄSSÄ MONISTEVERSIOSSA)

# 02

JÄLJENNÖS YHTIÖJÄRJESTYKSESTÄ  
JA OSAKASREKISTERISTÄ

(ERILLINEN LIITE, EI MUKANA  
TÄSSÄ MONISTEVERSIOSSA)



# 03

SELVITYS YDINLAITOKSEN  
SIJAINNIPAIKAN JA SEN  
LÄHIYMPÄRISTÖN ASUTUKSESTA  
JA MUISTA TOIMINNOISTA SEKÄ  
KAAVOITUSJÄRJESTELYISTÄ





Kuva: Posiva Oy



# SISÄLLYSLUETTELO

|                                               |           |
|-----------------------------------------------|-----------|
| <b>1 YLEISTÄ .....</b>                        | <b>26</b> |
| <b>2 ASUTUS JA MUUT TOIMINNOT .....</b>       | <b>29</b> |
| 2.1 Toiminnot Olkiluodon alueella .....       | 29        |
| 2.2 Asutus Olkiluodon ympäristössä .....      | 30        |
| 2.3 Muut toiminnot Olkiluodon ympäristössä .. | 34        |
| <b>3 KAAVOITUS- JA MUUT JÄRJESTELYT.....</b>  | <b>35</b> |
| 3.1 Yleistä.....                              | 35        |
| 3.2 Asemakaava .....                          | 35        |
| 3.3 Yleiskaavat.....                          | 36        |
| 3.4 Maakuntakaava.....                        | 36        |
| 3.5 Suojavyöhykkeet .....                     | 37        |
| 3.6 Suojelualueet, Natura-alueet .....        | 39        |
| 3.7 Selkämeren kansallispuisto .....          | 42        |

# 1 YLEISTÄ

Posivan ydinjätteen kapselointi- ja loppusijoituslaitos rakennetaan Olkiluodon saarelle Lounais-Suomeen. Olkiluodon saari sijaitsee Eurajoen kunnassa noin 13 kilometriä pohjoiseen Raumalta ja noin 34 kilometriä Porista lounaaseen. Olkiluoto on iso saari (noin 12 neliökilometriä), jonka erottaa mantereesta pieni salmi. Kapselointilaitos sijoitetaan saaren keskiosiin Posivan ydinlaitosalueelle (kuva 2). Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitos tulee sijaitsemaan noin 430 metrin syvyydellä saaren keskiosissa. Valtioneuvoston vuonna 2000 tekemän periaatepäätöksen mukaan käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen sijaintipaikka on Eurajoen Olkiluodon saari, kuvassa 1 on esitetty Eurajoen sijainti Suomessa.



**Kuva 1.** Eurajoen sijainti.

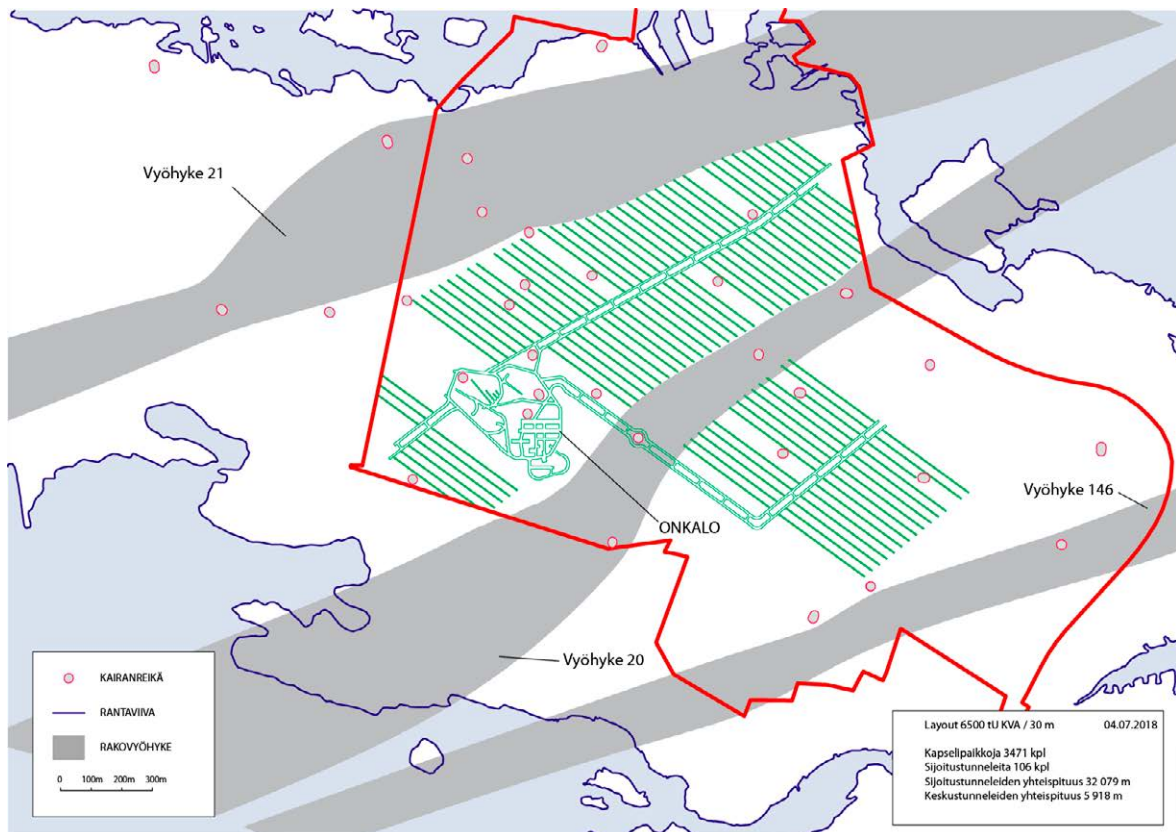
Posiva Oy:n (Posiva) kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen sijaintipaikka täyttää ne alue- ja maankäytölle asetetut vaatimukset, jotka on esitetty lainsäädännössä ja Säteilyturvakeskuksen antamissa ydinvoimalaitosohjeissa (YVL-ohjeet) liittyen alue- ja maankäyttöön. Olkiluodon voimalaitosalueen alue- ja maankäyttöä ohjaavat tällä hetkellä maakuntakaava, Olkiluodon osayleiskaava ja asemakaavat, joiden ajantasaisuus on vahvistettu vuonna 2014. Olkiluodon alueella on käynnissä asemakaavan muutos vuonna 2021, jolla mahdollistetaan muun muassa hyvin matala-aktiivisten ydinjätteiden loppusijoitus maaperään, muutos koskee ydinvoimalaitosyksiköistä noin kilometri pohjoiseen olevaa aluetta, joten asemakaava-hanke ei koske Posivan aluetta. Olkiluodon alueella oleva asutus on pääosiltaan loma-asutusta. Suuremmat pysyvän asutuksen taajamat, Eurajoen ja Rauman keskusta-alueet, sijaitsevat noin 15–20 kilometrin etäisyydellä Olkiluodosta. Olkiluodon saarelle rakennetaan tuki- ja oheistoimintoja liittyen sähköntuotantoon ja ydinjätehuoltoon Olkiluotoon ja näin infrastruktuuri uudistuu ja täydentyy vastaamaan turvallisen ja tehokkaan energiahuollon tarpeita.

Olkiluodon osayleiskaavassa maanalaisten loppusijoitustilojen alue on rajattu käsittämään koko Olkiluodon saaren ja osia sen lähivesialueista, lukuun ottamatta idässä olevaa loma-asutusalueutta. Osayleiskaavassa määritelty loppusijoitusalue rajataan tarkemmin alueen asemakaavassa. Maanalaisten loppusijoituslaitoksen rakentaminen asemakaava-alueella keskittyy ensivaiheessa jo rakennetun maanalaisten tutkimustilan ONKALO®:n läheisyyteen ja laajenee myöhemmissä vaiheissa kallioperäolosuhteiden mukaisesti (kuva 3 ja 4). Kallioperäolosuhteiden ohella maanalaisten tilojen lopulliseen sijoitteluun vaikuttaa Teollisuuden Voima Oyj:n (TVO) ja Posivan sopima suunnitteluperiaate, missä Posiva pidättäytyy suunnittelemaasta maanalaisia loppusijoitustiloja ydinvoimalaitosyksiköiden rakentamiseen varatun alueen kallioperään.



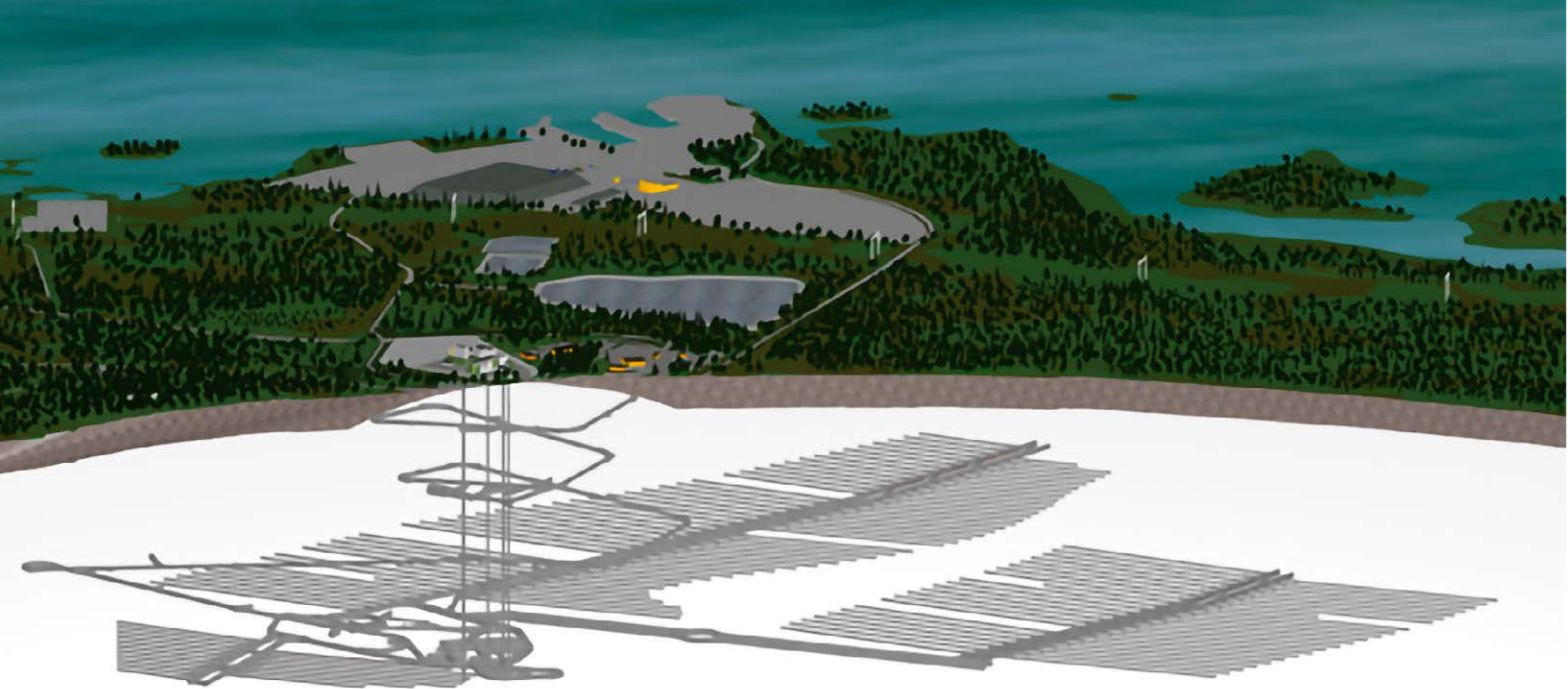


**Kuva 2.** Talvinen ilmakeku Posivan laitosalueesta. Kuvassa takimmaisena on ilmastointirakennus ja rakenteilla oleva kapselointilaitos. Loppusijoituslaitos sijaitsee noin 430 metriä kapselointilaitoksen alapuolella. Etualalla on Onkalon ajoramppi, Posivan projektitoimistorakennus sekä muita tukirakennuksia Posivan toiminnalle. Olkiluodon ydinvoimalaitosyksiköt sijaitsevat noin kaksi kilometriä länteen Posivan alueesta. Etualalla oleva Korvensuon raakavesialue palvelee Olkiluodon alueen vesitarpeita.

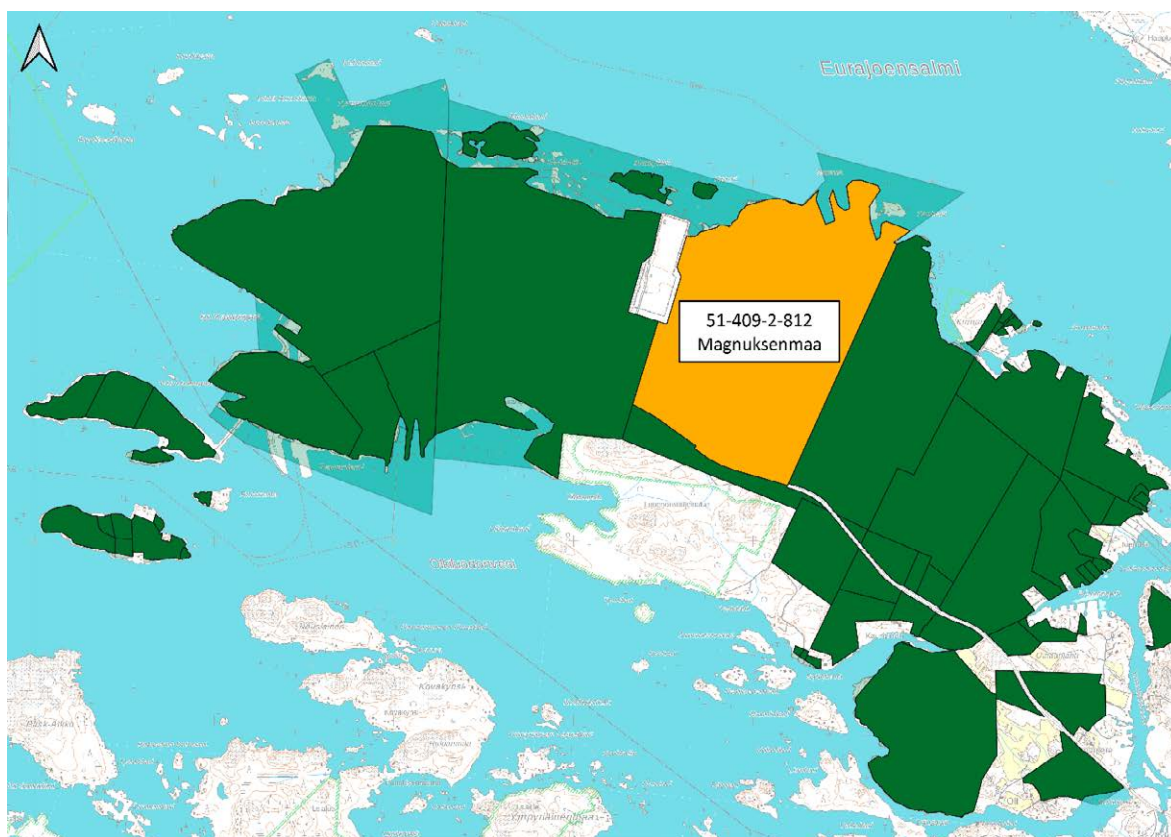


**Kuva 3.** 6500 tU suuruiseen käytetty polttoaineen määrälle tarkoitettujen loppusijoitustilain asemoina asemakaava-alueella, asemakaava-alueen raja on merkitty punaisella.





**Kuva 4.** ONKALON ja loppusijoituslaitoksen sijainti Olkiluodon kallioperässä. Havainnekuva maan päältä/alta Posivan laitosalueelta. Kuvassa on esitetty suunnitellut loppusijoitustilat 6500 tU:n määrälle käytettyä ydinpolttoainetta.



**Kuva 5.** TVO:n omistamat maa-alueet Olkiluodossa on merkitty karttaan tummanvihreällä ja oranssilla. Posivan TVO:lta vuokraama alue sijaitsee oranssilla merkityllä alueella, Magnuksenmaalla. Posiva Oy; lähde: Maanmittauslaitos, kiinteistörekisterikartta 2020.

TVO omistaa hakijan maanpäälliseen ja maan-alaiseen toimintaan liittyvät alueet (kuva 5). Posiva on solminut pitkäaikaisen vuokrasopimuksen TVO:n kanssa, ja sen mukaisesti TVO:n omistamat alueet Eurajoen Olkiluodossa ovat käytettävissä toteutettaessa kapselointi- ja

loppusijoituslaitosta. Olkiluodon saaren eteläosassa sijaitsevan Liiklankarin suojelualueen omistaa ja sitä hallinnoi Metsähallitus. Alue rajoittuu pohjoisosastaan asemakaava-alueeseen.

## 2 ASUTUS JA MUUT TOIMINNOT

### 2.1 TOIMINNOT OLKILUODON ALUEELLA

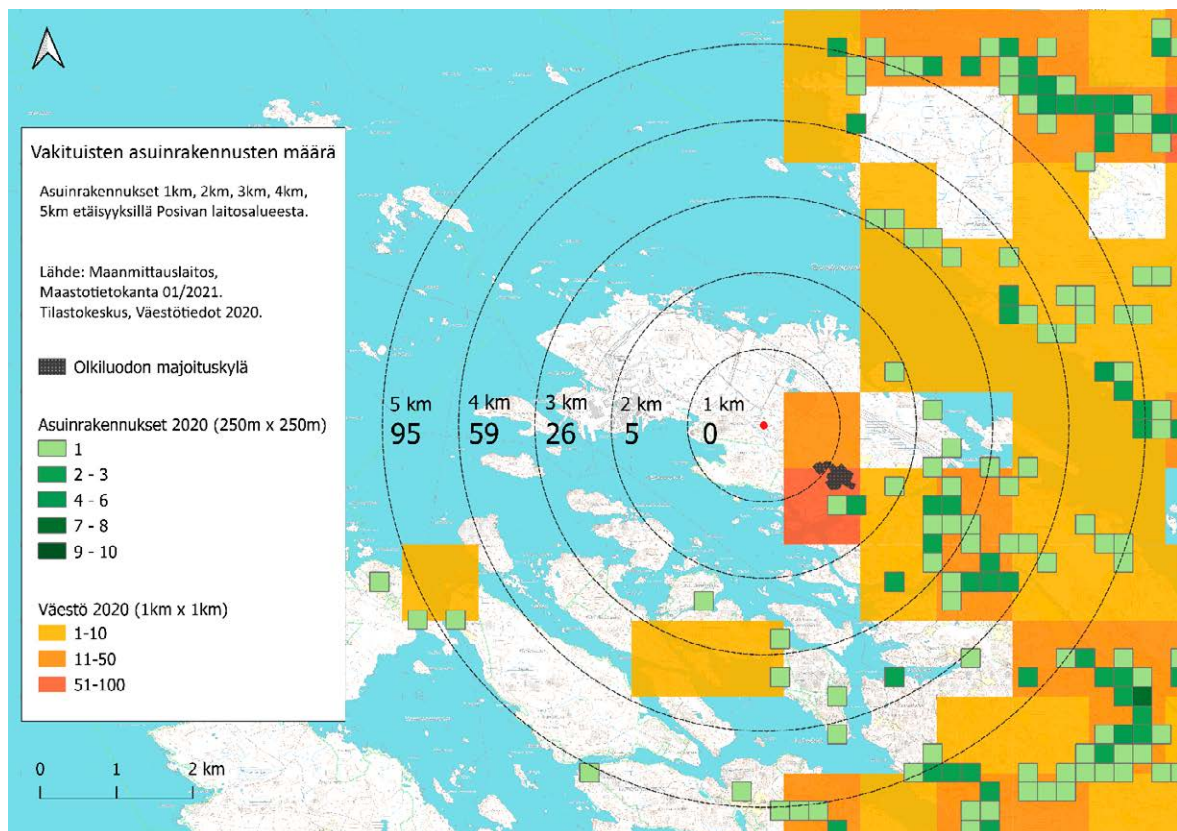
Posivan on rakentanut käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen TVO:n omistamalle ja Posivan hallinnoimalle alueelle Eurajoen kunnan Olkiluodon saaren keskiosaan. Kapselointi- ja loppusijoituslaitokseen liittyvän tutkimustilan (ONKALO®) rakentaminen alkoi vuonna 2004, ONKALO liitetään osaksi loppusijoituslaitosta.

Loppusijoitusalueella sijaitsevat tutkimustila ONKALO:n rakentamisvaiheessa toteutetut projektitoimisto, tutkijahalli sekä Posivan kaluston huolto- ja varastohalli. Alueelle ovat myös loppusijoituslaitoksen toimintaan liittyvät ilmanvaihto- ja nostinlaiterakennukset. Alueelle on rakenteilla kapselointilaitos, jossa käytetty ydinpolttoaine suljetaan kapselien si-

sään ennen loppusijoittamista noin 430 metrin syvyyteen. Alueella sijaitsee myös palovesipumppaamo ja urakoitsijoiden alueita sekä Korvensuon raakavesiallas.

Posivan aluetta lähinnä olevat toiminnot ovat Olkiluodon länsipäässä voimalaitosalueella sijaitsevat ydinvoimalaitosyksiköt Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2, jotka ovat tuottaneet sähköä noin 40 vuotta, näiden laitosyksiköiden nimellinen nettosähköteho on 890 MWe. Voimalaitosalueella sijaitsee myös Olkiluoto 3 -laitosyksikkö, jonka nimellinen nettosähköteho on noin 1 600 MWe.

Voimalaitosalueella sijaitsee lisäksi muun muassa hallintorakennuksia, koulutus- ja vierailukeskus, varastoja, korjaamoja, varalämpölaitos, raakaveden puhdistamo, suolanpoistolaitos, saniteettivesien puhdistuslaitos, majoituskylä, kaatopaikka sekä käytetyn polttoaineen väliva-



■ **Kuva 6.** Vakituisten asuinrakennusten lukumäärä (kumulatiivisesti) alle 5 km etäisyydellä Posivan laitospaikasta. (Kuva: Posiva Oy; lähde: Maanmittauslaitoksen maastotietokanta 01/2021 (rakennusluokkien luokitus 9.12.2019)).



rasto (KPA-varasto), matala- ja keskiaktiivisten voimalaitosjätteiden välivarastot (MAJ- ja KAJ-varasto), voimalaitosjätteen loppusijoitustila (VLJ-luola) ja suunnitteilla oleva hyvin matala-aktiivisen voimalaitosjätteen loppusijoitustila (maaperäloppusijoitus).

Olkiluodon saaren pohjoisrannalla sijaitsee hakijan omistamalla maalla telakka ja satama, Posivan alue sijaitsee sataman eteläpuolella. Yleisessä käytössä toimivaan satamaan johtaa kuusi metriä syvä liikenneviraston ylläpitämä laivaväylä. Sataman eri toiminnoissa työskentelee 5-10 henkilöä.

## 2.2 ASUTUS OLKILUODON YMPÄRISTÖSSÄ

Viiden kilometrin etäisyydellä Posivan laitosalueesta sijaitsee 95 asuinrakennukseksi luokiteltua rakennusta (Kuva 7), 379 loma-asuntoa (Kuva 8) sekä Olkiluodon majoituskylä. Lähimmät vakituiset asuinrakennukset ovat Olkiluo-

don saarella ja pääosin llavaisten kylässä Olkiluodon saaren itäpuolella. Olkiluodon saarella pysyvään asumiseen soveltuvia asuntoja on alle kymmenen. Olkiluodon saaren itäosassa on lisäksi noin 30 loma-asuntoa. Alle viiden kilometrin etäisyydellä Posivan laitosalueesta asui vakituisesti 31.12.2019 yhteensä 80 asukasta, joka sisältää Olkiluodon majoituskylän asukkaita.

Olkiluodon majoituskylässä on tällä hetkellä mahdollisuus järjestää tilapäistä majoitusta TVO:n ja Posivan tarpeisiin 553 henkilölle. Lisäksi alueella on 24 asuntoautopaikkaa. Olkiluodon itäosassa sijaitsevan majoituskylän läheisyydessä sijaitsee Raunelan tila, jonka rakennuskannan ja ympäristön TVO entisöi edustamaan aikaa Olkiluodossa ennen ydinvoimalaitoksen tuloa saarelle.

### Asutuskeskukset

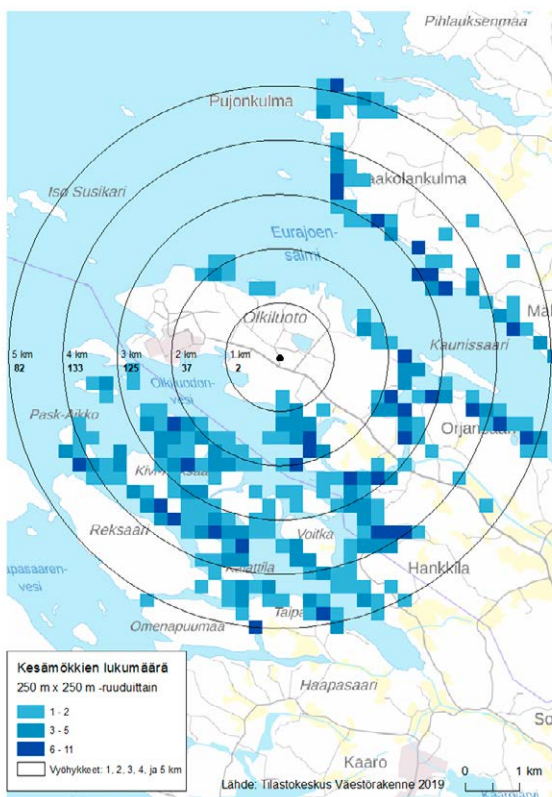
Eurajoki on Pohjanlahden rannikkokunta, joka kuuluu Rauman talousalueeseen. Eurajoen kunnassa on noin 9 400 asukasta. Kuntakeskus sijaitsee valtatie 8 varrella noin 15 kilometrin päässä Rauman keskustasta pohjoiseen ja noin 35 kilometrin päässä Porista etelään. Olkiluodon sijainti Eurajoella ja Raumaan nähden on esitetty kuvassa 8.

Eurajoen naapurikunnat ovat 31.12.2020 (Kuntaliitto, <https://www.kuntaliitto.fi/talous/kuntatalouden-tilastot/kuntien-vaestotiedot>)

- Rauma (noin 39 000 asukasta)
- Eura (noin 11 500 asukasta)
- Nakkila (noin 5 300 asukasta)
- Pori (noin 83 700 asukasta)

Rauman seutukunta, jonka muodostavat Eura, Eurajoki, Säkylä, ja Rauma, asuu noin 69 000 henkilöä. Porin seutukunnassa (Harjavalta, Huitinen, Kokemäki, Merikarvia, Nakkila, Pomarkku, Pori ja Ulvila), joka sijaitsee Olkiluodosta koilliseen ja itään, on asukkaita noin 130 000.

Asutuksen jakautuminen voimalaitoksen ympärillä (etäisyyksillä 0–20 km ja 0–100 km) on esitetty kuvissa 9 ja 10. Kuvat perustuvat tilastokeskuksen toimittamaan aineistoon, joka vastaa väestötilannetta 31.12.2014.

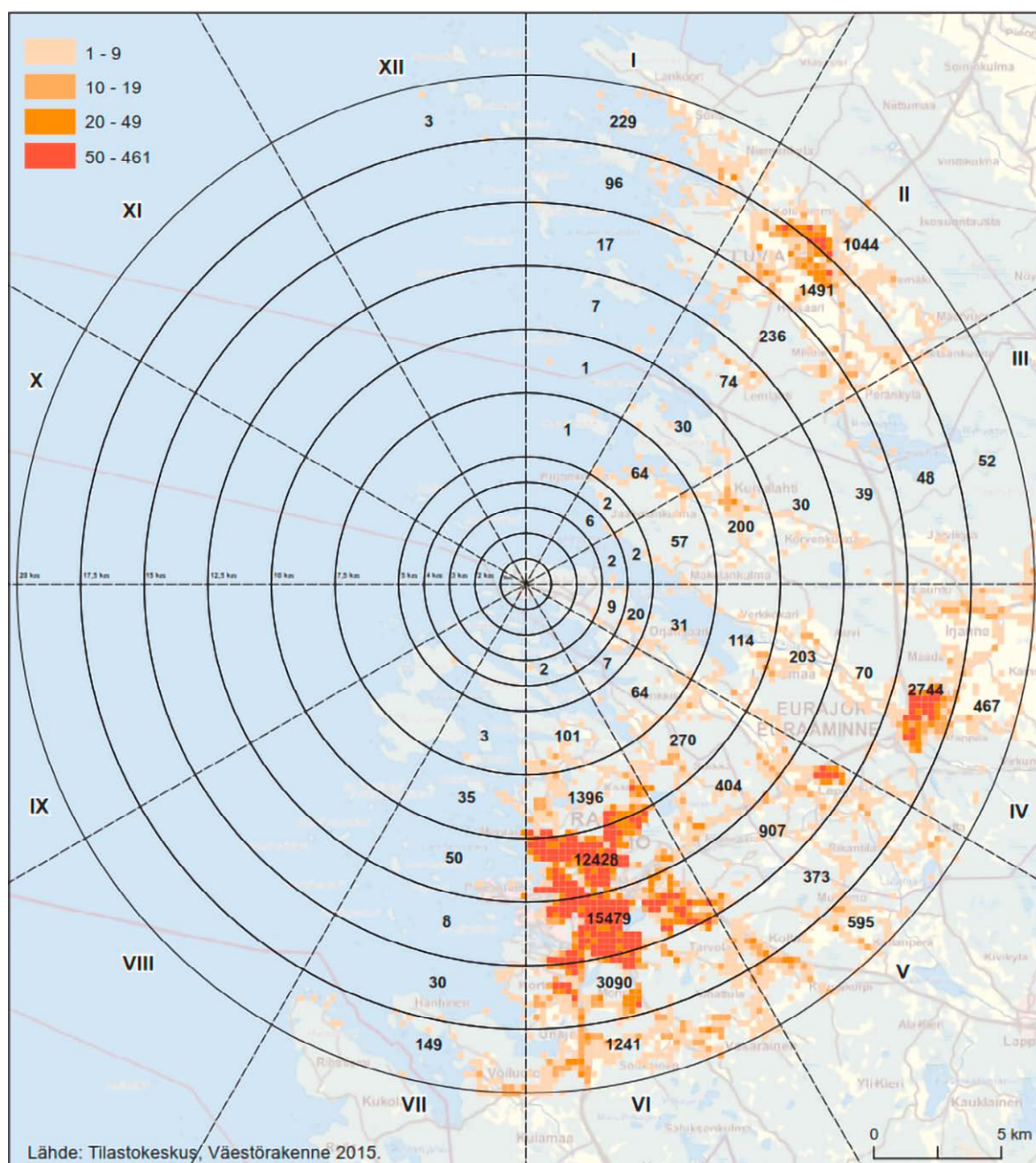


**Kuva 7.** Loma-asuntojen lukumäärä alle 5 km etäisyydellä Posivan laitospaikasta 2019 esitetynä lukumääränä vyöhykkeillä 0-1km, 1-2 km, 2-3 km, 3-4 km ja 4-5 km. Lähde: Tilastokeskus.



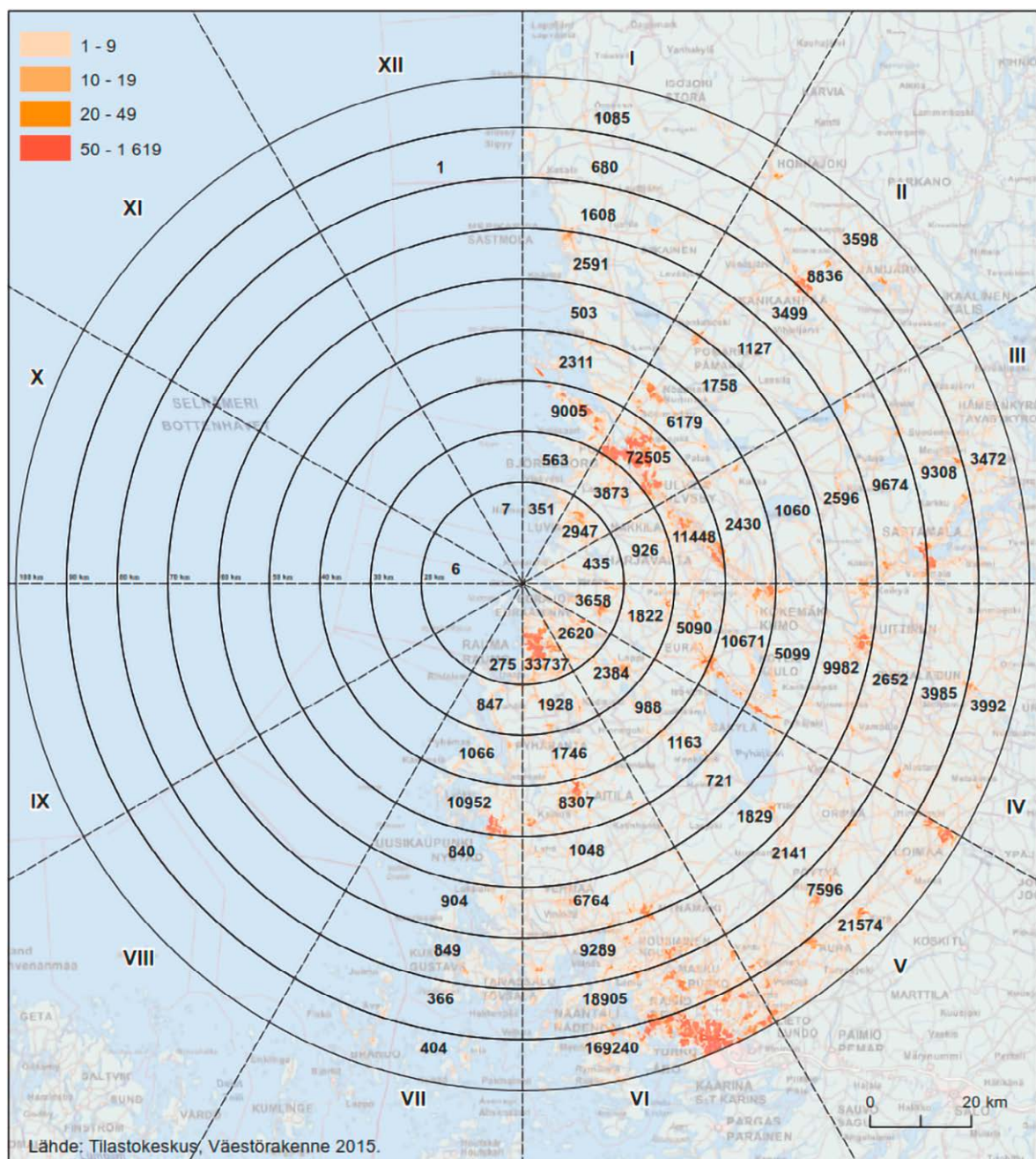


■ Kuva 8. Olkiluoto sijaitsee noin 20 km etäisyydellä merkittävistä taajamista Raumalta ja Eurajoelta.



■ **Kuva 9.** Väestö (31.12.2014) sektoreittain ja 250 x 250 m ruuduittain Olkiluodon ympäristössä etäisyydellä 0–20 km.





■ Kuva 10. Väestö (31.12.2014) sektoreittain ja 250 x 250 m ruuduittain Olkiluodon ympäristössä etäisyydellä 0–100 km.



## 2.3 MUUT TOIMINNOT OLKILUODON YMPÄRISTÖSSÄ

Voimalaitosalueen läheisyydessä Olkiluodossa harjoitetaan maataloutta vain vähäisessä määrin, pääosin pienimuotoista peltoviljelyä Olkiluodon saaren itäosassa. Lähivesillä harjoitetaan virkistyskalastusta.

Olkiluodon saaren itäpuolella sijaitsevilla Ila-vaisten ja Orjasaaren kylissä (5 km sisällä) on vain vähän toimintoja, ja voimalaitosalueen vaikutukset niihin ovat vähäisiä. Kylien läpi kulkeva liikenne Olkiluotoon on ollut aiemmin vilkkaampaa Olkiluoto 3 -laitosyksikön rakentamisen ja käyttöönoton aikana ja Posivan ydinjätelaitosten rakentamisen aikana, sittemmin liikennemäärät ovat laskeneet.

Eurajoen kunnan elinkeinorakenteessa palveluilla ja jalostuselinkeinolla sekä maa- ja metsätaloudella on merkittävä asema. TVO on kunnan suurin työnantaja. Hakijan palveluksessa noin 90 henkilöä, minkä lisäksi noin sata henkilöä työskentelee Posivan projekteissa, jotka ovat mm. TVO:n ja eri suunnittelutoimistojen henkilöstöä.

Eurajokelaisia työllistävä toimialajakauma oli vuonna 2018

- alkutuotanto 4,6 %
- jalostus 47,8 %
- palvelut 46,8 %.

Eurajokelaisista puolet käy töissä kunnan ulkopuolella, muun muassa Raumalla ja Porissa. Eurajoelle muualta töihin tulevat ovat hyvin laajalta alueelta, mutta enemmistönä ovat raumalaiset.

Olkiluodon voimalaitosalueen suora ja välillinen vaikutus Satakunnassa ja erityisesti Rauman alueella on merkittävä. Vuonna 2020 TVO-konsernin palveluksessa Olkiluodossa työskentelevistä Raumalla asui 49 %, Eurajoella 18 %, Porissa 20 % ja muissa kunnissa 5 %.

Olkiluodon lähialueen tärkeimmät viljelysmaat sijaitsevat 20–40 kilometriä voimalaitoksesta itään ja 25–35 kilometriä laitoksesta koilliseen. Voimalaitoksesta noin 10 kilometrin etäisyydellä sijaitsee muutama puutarha, jotka tuottavat vihanneksia lähinnä Rauman seudulle. Ulvilassa noin 35 kilometrin etäisyydellä sijaitsee lähin

meijeri. Ydinvoimalaitoksesta 10 kilometrin säteellä sijaitsee kolme maatila, jotka tuottavat maitoa. Voimalaitoksesta 40 kilometrin säteellä sijaitsee useita kymmeniä maitotiloja.

Olkiluodon lähialueella (alle 20 km) on ruokateollisuutta. Raumalla VT8 varrella on HKScanin yksikkö, jossa teurastetaan siipikarjaa sekä leikataan ja pakataan lihaa. Muut lähimmät ruokatuotantoon liittyvät teollisuuslaitokset ovat Eurassa ja Säskylässä. Lisäksi 21 km etäisyydellä, Rauman Lapissa, sijaitsee Kivikylän Kotipalvaamo, jossa valmistetaan lihajalosteita.

Alueellisesti tärkeimmät pohjavesialueet sijaitsevat Eurajoella laitosalueen suojavyöhykkeen ulkopuolella. Alle 20 km etäisyydellä laitosalueesta sijaitsevat Kuivalahden, Metsäkulman, Korvenkulman, Irlanteen, Mullilan, Kotkajärven, Juvamäen ja Hanninmäen pohjavesialueet. Nihtiön ja Pässin pohjavesialueet sijaitsevat 25 km etäisyydellä laitosalueesta Pyhärannassa ja Nakkilassa. Rauman alueen talousvesi ja teollisuuden käyttämä vesi otetaan sekä Eura- että Lapinjoesta. Teollisuuden jätevedet lasketaan Eurajokeen. Olkiluodon ydinvoimalaitosalueen oma käyttövesi tuotetaan Olkiluodossa Korvensuon altaasta, johon vesi pumpataan Eurajoesta.

Ydinvoimalaitoksesta noin 10 kilometrin säteellä sijaitsee neljä koulua. Koulut ovat alakouluja ja oppilaat iältään 6–13-vuotiaita.

## 3 KAAVOITUS- JA MUUT JÄRJESTELYT

### 3.1 YLEISTÄ

Olkiluodossa on voimassa oleva maakunta-kaava, rantayleiskaava, yleiskaava ja asemakaavat, joissa on osoitettu alueet ydinlaitosten rakentamiselle. Kaavoja on päivitetty vastamaan uuden maankäyttö- ja rakennuslain sisältövaatimuksia sekä huomioimaan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitokselle asetetut vaatimukset.

TVO:n Olkiluodosta omistama maa-alue on kaa-voitettu energiantuotanto ja loppusijoituskäyt-  
töön ja lähiympäristön maankäyttöön kohdistuu rajoituksia. Ydinvoimalaitoksen ympärillä on noin 5 km etäisyydelle ulottuva suojavyöhyke, jolla kaikki muu kuin ydinenergiantuotantoon liit-  
tyvä toiminta on rajoitettua. Kapselointi- ja lop-  
pusijoituslaitoksien toiminta tulee tapahtumaan  
tällä alueella.

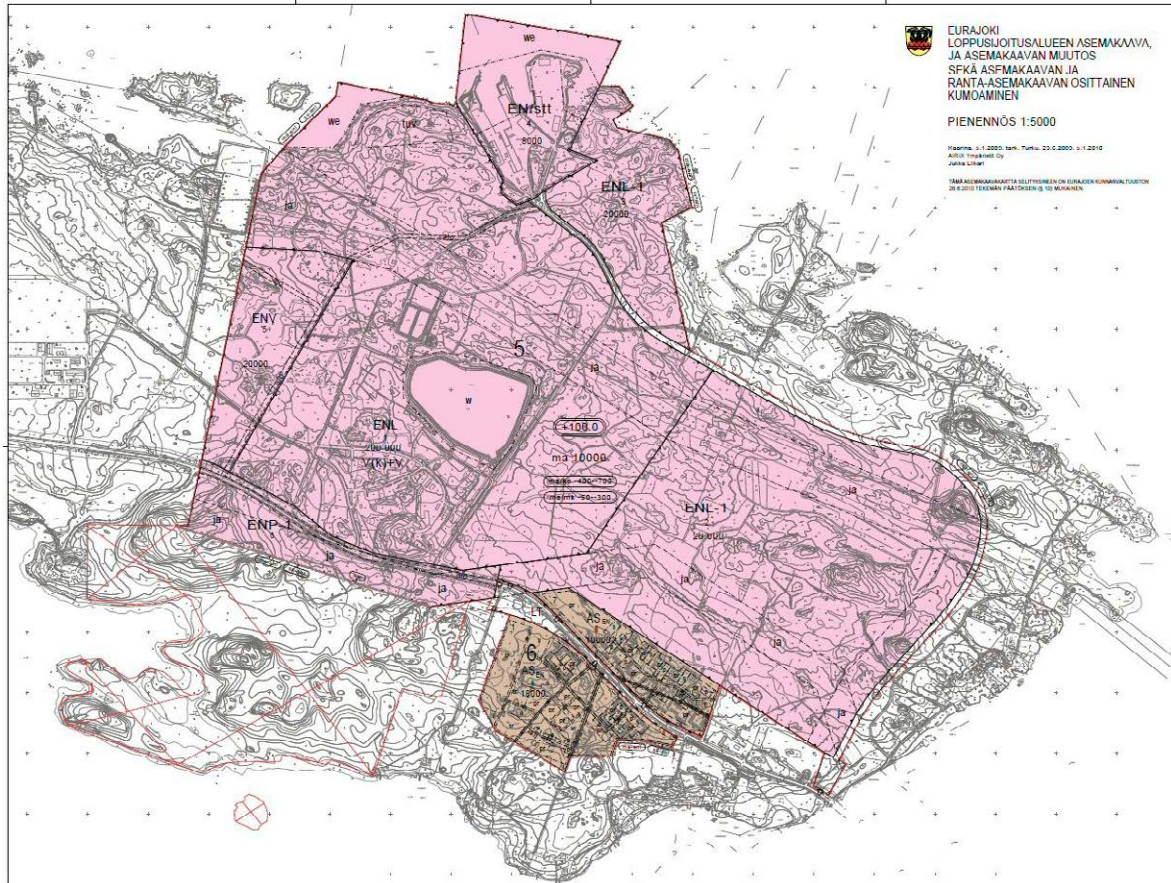
### 3.2 ASEMAKAAVA

#### Loppusijoitusalueen asemakaava

Eurajoen kunta hyväksyi loppusijoitusalueen asemakaavan ja asemakaavan muutoksen päätöksellään 28.6.2010. Päätökseen sisäl-  
tyi myös asemakaavan ja ranta-asemakaavan osittainen kumoaminen. Kaavalla osoitetaan  
alueet ja rakennusoikeus loppusijoituslaitoksen  
rakennuksia ja rakenteita sekä laitokseen liitty-  
viä tukitoimintoja varten.

#### Olkiluodon asemakaavat

Voimassa olevissa Olkiluodon asemakaavoissa on rakennusoikeutta ydinvoimalaitosalueek-  
si osoitetulla alueella 6,55 miljoonaa kuutiota,  
josta on voimalaitosrakentamiseen käyttämättä



Kuva 11. Loppusijoitusalueen asemakaava.

lähes 4 miljoonaa. Voimalaitosalue sijoittuu Olkiluodon saaren länsipäähän.

Asemakaavassa (5.3.2011) on määritetty myös loppusijoituslaitoksen alue, alueen kallioperään saa toteuttaa korkea-aktiivisen jätteen loppusijoituslaitoksen ydinenergialain nojalla myönnetyn rakentamisluvan mukaisesti. Alueen laajuus määräytyy loppusijoituksen kannalta edullisimman kallion esiintymisen perusteella loppusijoitusvyvydellä.

Nykyisten ydinvoimalaitosyksiköiden ja Olkiluoto 3 -laitosyksikön alueella on voimassa asemakaava, joka on vahvistettu vuonna 1997 ja ajantasaisuuden toteaminen tehty 2014. Voimalaitosalue on merkitty teollisuus- ja varastorakennuksien korttelialueeksi, *jolle saa rakentaa ydinvoimalaitoksia ja muita voimantuotantoa, -jakeluun ja -siirtoon tarkoitettuja laitoksia, laitteita sekä niihin liittyviä rakennuksia, rakennelmia ja laitteita, ellei sitä muutoin ole rajoitettu.*

Pääosa asemakaavan tarkoittamista vesialueista on vahvistettu vesialueeksi, *jota saa käyttää voimalaitosten tarkoituksiin ja jolle teollisuus- ja varastoalueiden kohdalla saa rakentaa voimalaitosten tarvitsemia laitureita ym. rakennelmia ja laitteita.* Kaavassa on myös osoitettu vesialueet, joilla sallitaan täyttämistä ja pengertämistöitä.

Olkiluodon alueella on lisäksi vuonna 2005 hyväksytyt energiatuotantoa palvelevien asuntolarakennusten korttelialueiden kaavat sekä aikaisemmin vahvistettuja ranta-asemakaavoja Olkiluodon saaren itäpuolella.

Olkiluodon alueen vanhan majoituskylän asemakaavamuutos on vireillä. Majoituskylä on siirtynyt vuosituhannen vaihteessa uuteen paikkaan ja nyt vanha alue pyritään saamaan muuhun toimintaan.

### 3.3 YLEISKAAVAT

Olkiluodon osayleiskaavan muutostyö käynnistyi 2006 ja kaava sai lainvoiman vuonna 2010. Kaavan alueeseen kuuluvat Eurajoen Olkiluoto, sen pohjois- ja luoteispuolella olevat pienet saaret (Kornamaa, Mäntykari, Munakari sekä noin 20 pienempää saarta) sekä näitä ympäröivät vesialueet.

Osayleiskaavan tärkeimpänä tavoitteena on ollut ylläpitää maankäytöllisiä edellytyksiä Suo-

men suurimmalla energiantuotantoalueella ja varata alueet käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen toteuttamiselle siten, että Suomen lainsäädännön ja toiminnan turvallisuudelle asettamat vaatimukset täyttyvät.

Rauman ranta-alueilla on voimassa vuonna 1999 vahvistettu Rauman pohjoisten rantojen osayleiskaava sekä sen kaavamuutos. Rauman kaupunginvaltuusto hyväksyi Rauman pohjoisten rantojen osayleiskaavan muutoksen 29.9.2008. Kaava on lainvoimainen. Kaava-alueeseen kuuluvat Kuusisenmaa, Leppäkartta, Lippo ja Vähä-Kaalonperä sekä näitä saaria ympäröivät vesialueet.

Eurajoen kunnanvaltuusto hyväksyi joulukuussa 2005 rantayleiskaavan muutoksen, jolla osoitettiin Olkiluodon kaakkoisosaan majoituskylä sekä muita energiantuotantoa palvelevia toimintoja.

### Eurajoen rantayleiskaava ja rantayleiskaavan muutos

Vuonna 2010 käynnistetyn kaavamuutoksen tavoitteena on tarkistaa yli kymmenen vuotta sitten laadittu Eurajoen rantayleiskaava vastaamaan nykyistä lainsäädäntöä ja nykyisiä tarpeita.

Olkiluodon laitosalue (energiahuollon alue) ja Natura-alue eivät ole mukana rantayleiskaavan muutoksessa, koska niiden osalta on hyväksytty osayleiskaava toukokuussa 2008. Olkiluodon itäisten ranta-alueiden loma-asuntoalueet, ympärivuotiseen asumiseen osoitetut alueet sekä noiden takamaat ovat mukana kaavamuutoksessa, koska rakennuspaikkoihin kohdistuu kaavamuutoksen tavoitteita.

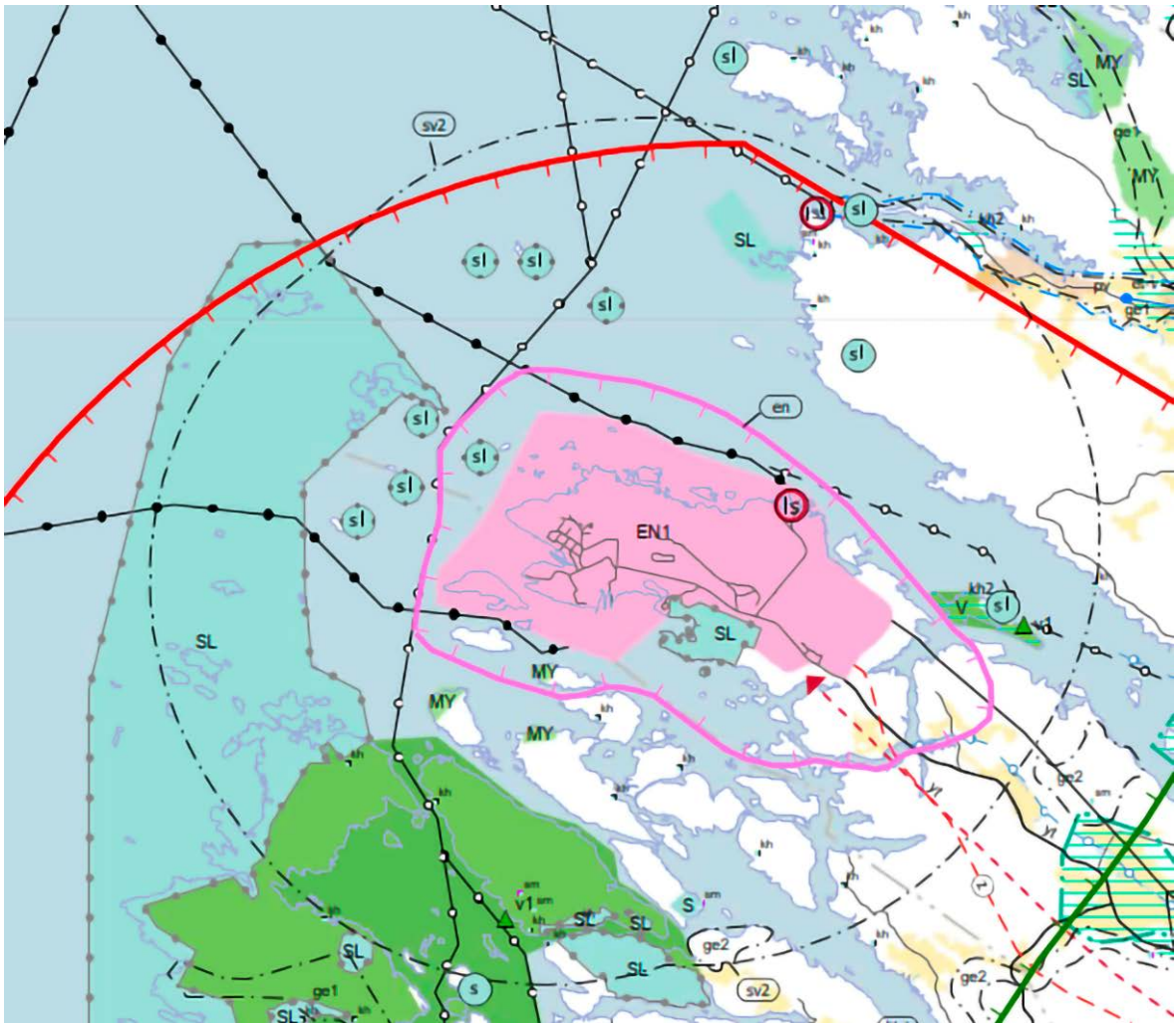
### 3.4 MAAKUNTAKAAVA

Alueella on voimassa Satakunnan maakuntakaava (lainvoimainen 2013), Satakunnan vaihemaakuntakaava 1 (lainvoimainen 2016) ja Satakunnan vaihemaakuntakaava 2 (lainvoimainen 2019). Satakunnan vaihemaakuntakaavan 2 tultua voimaan kumoutui samalla Satakunnan maakuntakaavan vastaavat merkinnät ja määräykset. Maakuntakaava tukee Olkiluodon voimalaitosrakentamista.

Maakuntakaavassa on otettu huomioon valtion Olkiluodon kaavoitukselle asetta-







**Kuva 13.** Ote Satakunnan maakuntakaavasta. Lähde: Satakuntaliitto 2020.



**Kuva 14.** Ote Satakunnan maakuntakaavasta. Lähde: Satakuntaliitto 2020.

täviä työpaikka- ja majoitusalueita. Suojavyöhykkeellä ei sijaitse sellaisia yhteiskunnallisesti merkittäviä toimintoja, joihin ydinvoimalaitoksen onnettomuus voisi vaikuttaa. Osayleiskavassa on määritetty loppusijoituslaitoksen suojavyöhyke, alueella kallioperän louhimisessa ja poraamisessa on huomioitava, että alue on loppusijoituslaitoksen suojavyöhykettä. Ennen kallioperän louhimista ja poraamista on kuultava loppusijoitustoimintaa harjoittavaa tahoa.

Pysyvien asukkaiden määrä, loma-asutus ja vapaa-ajan toiminta ydinvoimalaitoksen suojavyöhykkeellä on rajoitettu niin, että kyseiselle alueelle voidaan laatia ja toimeenpanna tehokkaan evakuoinnin mahdollistava väestön pelastussuunnitelma. Erityistä huomiota on kiinnitettävä laitospaikan lähiympäristön erityispiirteisiin, kuten esimerkiksi vaikeakulkuisiin saaristo-olosuhteisiin ja loma-asutukseen sekä poikkeavien olosuhteiden vaatimaan muuhun pelastustoimintaan.

Maankäytön ja rakentamisen ratkaisuissa lähtökohtaisesti säilytetään suojavyöhykkeen pysyvän ja vapaa-ajan väestön määrä niin, ettei se olennaisesti kasva ydinvoimalaitoksen rakentamisen ja käytön aikana ydinennergialain mukaisen periaatepäätöksen ajankohdan tilanteesta.

Laitoksen ympärille on määritelty noin 20 kilometrin etäisyydelle ulottuva varautumisalue, jolle viranomaisten on laadittava väestön suojaamista koskeva yksityiskohtainen ulkoinen pelastussuunnitelma. Suojavyöhyke kuuluu varautumisalueeseen.

Suojavyöhykkeille asetetut ehdot toteutuvat Olkiluodossa. Suojavyöhykkeellä vakituisesti asuvien määrä ei estä tehokkaita pelastustoimenpiteitä. Laitosta mahdollisesti vaarantavat toiminnot on siirretty riittävän etäälle. Lähiympäristön maankäyttöön kohdistuu rajoituksia. Sisäasianministeriön asetuksen (709/2003) mukaisen liikkumis- ja oleskelukieltoalueen sekä itse laitosalueen kulun ja kuljetusten valvontaan on varauduttu.

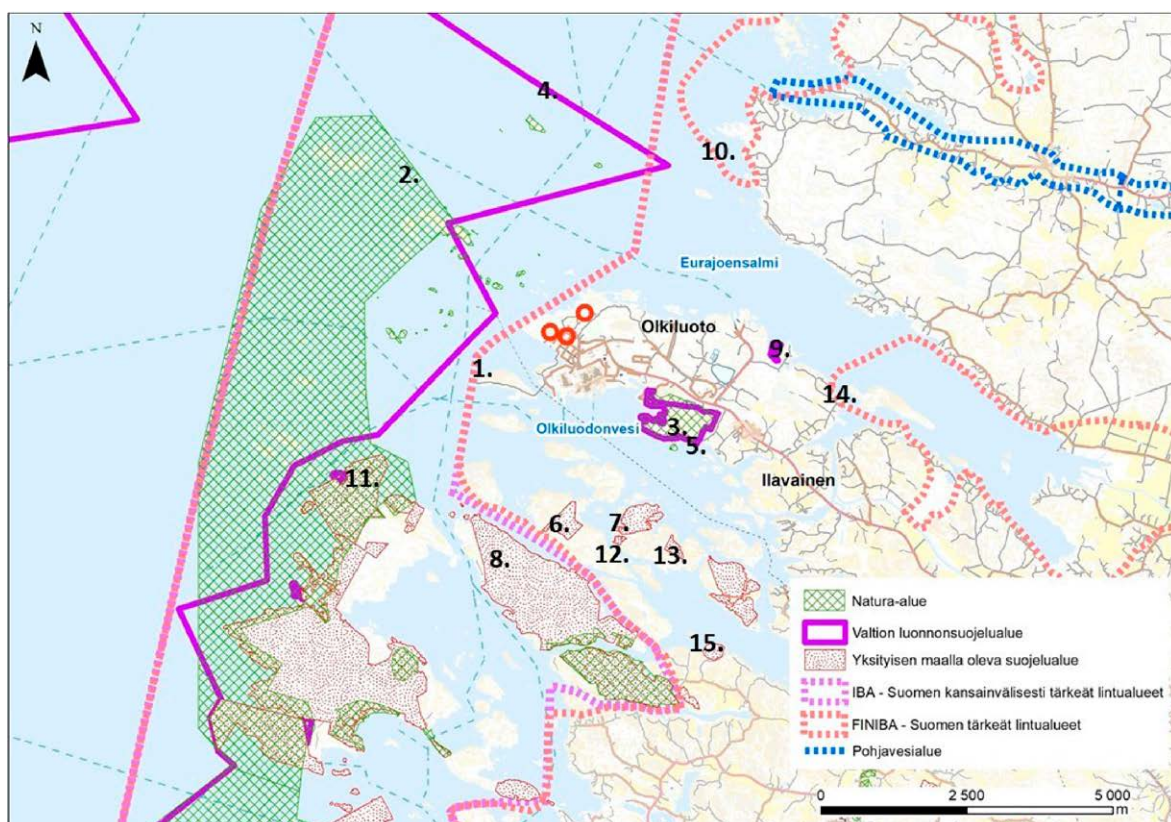
2120-luvulla tai kun kiinteistöllä on lopullisesti suljettu käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustila, on STUK:lla ydinennergialain 63 §:n 1 momentin 6 kohdan perusteella oikeus antaa kiinteistöä koskevia turvallisuuden varmistamiseksi välttämättömiä toimenpidekieltoja.

STUK:n on ydinennergia-asetuksen 85 §:n mukaan ilmoitettava ydinjätteen loppusijoituspaikka samoin kuin edellä tarkoitettu toimenpidekielto merkittäväksi kiinteistörekisteriin, maarekisteriin tai tonttikirjaan.

### 3.6 SUOJELUALUEET, NATURA-ALUEET

Noin viiden kilometrin säteellä sijaitsevat Natura-alueet, luonnonsuojelualueet, luonnonsuojeluohjelmien kohteet ja muut valtakunnallisesti arvokkaat luontokohteet (SYKE 2021) on esitetty oheisessa kuvassa 15 ja taulukossa 1. Olkiluodon ydinlaitostentoiminnasta ei ole aiheutunut merkittävää haittaa Natura-alueilla suojelluille luontotyypeille, joten ydinlaitosten tarvitseman infran rakentaminen on voitu toteuttaa sopu-soinnussa ympäristön tilan kanssa vaarantamatta merkittävästi luonto- ja ympäristöarvoja. Posiva on toteuttanut YVA-menettelyjä käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukselle, joiden kauppa- ja teollisuusministeriön lausunnossa katsottiin olevan YVA -lain mukaisia.





**Kuva 15.** Eurajoella sijaitsevat Natura 2000 -alueverkoston kohteet sekä luonnonsuojelualueet ja valtakunnallisesti arvokkaat luontokohteet. Numeroinnit ulottuvat 5 km etäisyydelle Olkiluodon voimalaitosalueesta.

1. Rauman-Luvian saaristojen IBA-alue (27 360 ha) ja Rauman-Luvian-Porin saariston FINIBA-alue (27 371 ha). Suomen kansainvälisesti tärkeisiin IBA-lintualueisiin kuuluva Rauman-Luvian saaristot on laaja yhtenäinen saaristoalue ja tärkeä merilintujen pesimäalue. Alue on osa Suomen tärkeisiin FINIBA-lintualueisiin kuuluvaa Rauman-Luvian-Porin saaristoa (Leivo ym. 2002).
2. Rauman saariston Natura-alue (FI0200073, SAC, 5350 ha). Natura-alueeseen sisältyy merilinnustolle tärkeää Selkämeren ulkosaaristoa ja merivöhykkeen saaristoa sekä sisäsaariston osia, joissa on muun muassa kasvistollisesti arvokkaita lehtoja (Varsinais-Suomen ELY-keskus 2013a). Lähimmät Natura-alueeseen sisältyvät Olkiluodon edustan pienet saaret sijaitsevat noin kilometrin päässä hankealueen lueispuolella. Olkiluodon saaren eteläosasta Natura-alueeseen sisältyy Liiklankarin metsäalue (kohde 5).
3. Olkiluodon etelä- ja etelälounaispuolella sijaitsevista Natura-alueen osista suuri osa sisältyy Raumanmeren luonto- ja retkeilyalueeseen (kohde 8) ja Laukkarin luonnonsuojelualueeseen (kohde 11). Natura-alueen pohjoisosaa sisältyy Selkämeren kansallispuistoon (kohde 4). Natura-alue kattaa pääosan Rauman saariston rantojensuojeluohjelmakohteeseen (kohde 3) kuuluvista ranta-alueista. Lähes koko Natura-alue sisältyy IBA- ja FINIBA-lintualueisiin (kohde 1).
4. Rauman saariston rantojensuojeluohjelma-alue (RSO020020). Pääosa alueesta sisältyy Rauman saariston Natura-alueeseen (kohde 2).
5. Selkämeren kansallispuisto (KPU020037). Kansallispuisto on perustettu lailla (326/2011) Selkämeren aavan meren vedenalaisen luonnon, saaristojen ja luotojen, rannikon kosteikkojen sekä näihin liittyvien elölajien suojelemiseksi ja niiden elinympäristöjen hoitamiseksi, luonnon- ja kulttuuriperinnön säilyttämiseksi sekä yleistä luonnonharrastusta, opetusta ja tutkimusta samoin kuin ympäristömuutosten seurantaa varten. Kansallispuistoon kuuluu maa- ja vesialueita noin 91 200 hehtaaria. Kansallispuistoon sisältyy erillisenä alueena Kornamaan saaren länsipuolinen pieni vesialue Olkiluodon pohjoispuolella.
6. Liiklankarin suojelualue (VMA020001). Olkiluodon eteläosassa sijaitseva Liiklankarin suojelualue (57,5 ha) sisältyy valtakunnalliseen vanhojen metsien suojeluohjelmaan (AMO020001) ja Rauman saariston Natura-alueeseen (kohde 2).
7. Kääntentilan luonnonsuojelualue (YSA239598). Olkiluodon eteläpuolelle Kivi-Reksaaren sijoittuva luonnonsuojelualue (19,4 ha).
8. Ympyriäisen luonnonsuojelualue (YSA239819). Luonnonsuojelualue (22,2 ha) sijaitsee Olkiluodon eteläpuolella Ympyriäinenmaan saarella. Se kattaa pääosan saaresta rakennettuja ranta-alueita lukuun ottamatta.
9. Raumanmeren luonto- ja retkeilyalue (YSA236619). Vuonna 2016 perustettu luonnonsuojelualue on noin 1 100 hehtaarin laajuinen ja kattaa huomattavan osan Rauman saaristosta rajoittuen selkämeren kansallispuistoon. Alueeseen kuuluu muun muassa merkittäviä osia luonnonsuojelullisesti ja kulttuurihistoriallisesti arvokkaista Reksaaren, Omenapuumaan ja Nurmeksen saarista. Nurmeksen saaresta mukana on mm. Mustanperän metsän vanhojen metsien suojeluohjelman kohde (AMO020321). Osia alueesta sisältyy Rauman saariston Natura-alueeseen (kohde 2) ja rantojensuojeluohjelma-alueeseen (kohde 3).

10. Kornamaan vanhojen metsien suojeluohjelmakohde (AMO000093). Pienialainen metsäalue sijaitsee Olkiluodon pohjoisrannan lähellä Kornamaan saaren län-siosassa.
11. Kuivalahden FINIBA-alue (1 026 ha). Suomen tärkeisiin FINIBA-lintualueisiin kuuluva Kuivalahti on monipuolinen rannikkoalue, joka vaihtuu nopeasti avo-meren rantamatalikosta suojaisaksi merenlahdeksi ja laajoiksi fladoiksi (Leivo ym. 2002).
12. Laukkarin luonnonsuojelualue (YSA024635). Kaksi-osainen luonnonsuojelualue (118,6 ha) Olkiluodon lou-naispuolella Aikonmaan saaren pohjoisosassa. Alue sisältyy lähes kokonaan Rauman saariston Natura-alueeseen (kohde 2).
13. Vasikkakarin luonnonsuojelualue (YSA239926). Pieni luonnonsuojelualue (1,5 ha) sijoittuu Olkiluodon etelä-puolelle Ympyräinenmaan saaren eteläosaan.
14. Mäntyrinteen luonnonsuojelualue (YSA206416). Luon-nonsuojelualue (6,0 ha) Taipalinenmaan saarella Olki-luodon eteläpuolella.
15. Eurajoen suiston FINIBA-alue (1 605 ha). Suomen tärkeisiin FINIBA-lintualueisiin kuuluva Eurajoen suis-to on monimuotoinen kosteikon, taajamien, peltojen ja rantalehtojen muodostama suistoalue (Leivo ym. 2002). Alue sijaitsee Olkiluodon itäpuolella.
16. Vähämaan luonnonsuojelualue (YSA239599). Kaksi-osainen luonnonsuojelualue (12,4 ha) noin viiden ki-lometrin päässä Olkiluodon eteläpuolella Taipalmaan niemessä.

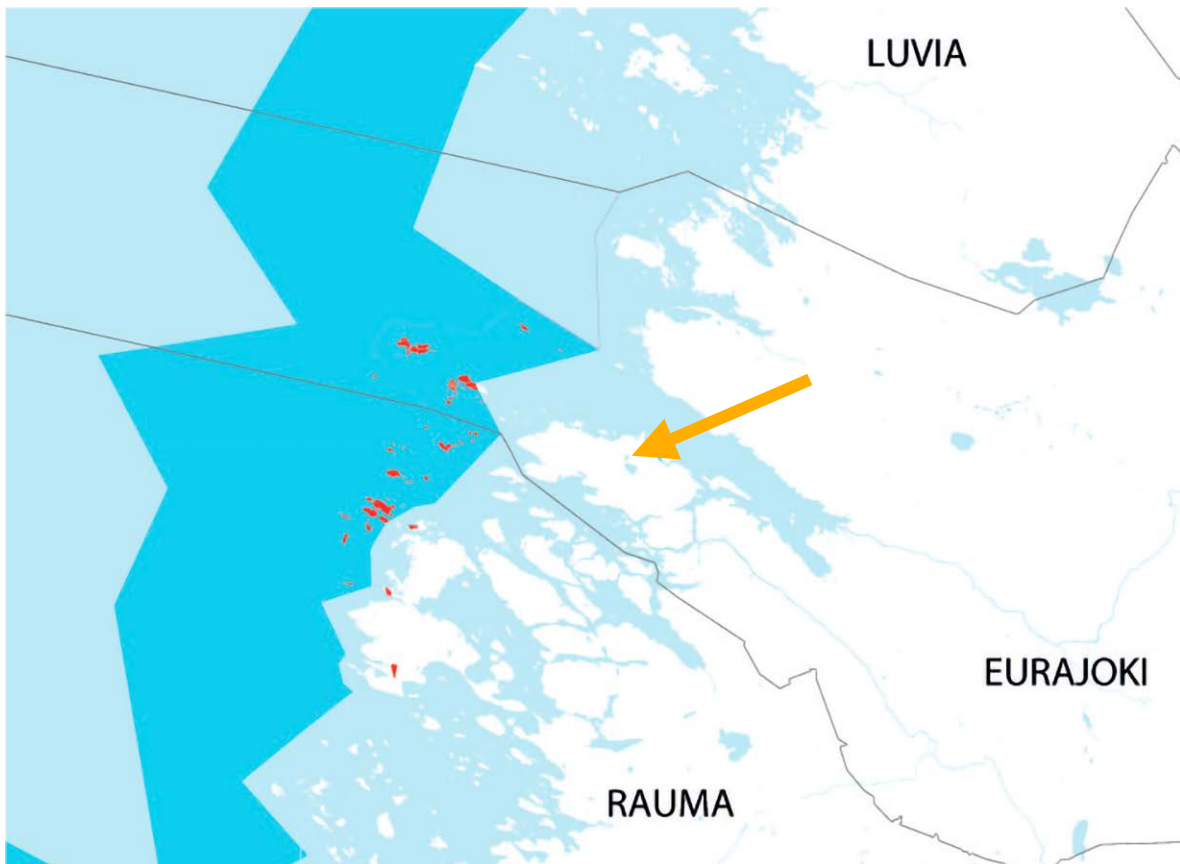
■ **Taulukko 1.** Natura 2000 -alueet (vihreä väri), luonnonsuojelualueet (keltainen väri) ja muut valtakunnallisesti arvokkaat luontokohteet (valkoinen väri) noin 5 kilometrin etäisyydellä Olkiluodon voimalaitosalueesta.

| Numero | Kohde                                | Kuvaus                                                                                                  |
|--------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | Rauman-Luvian (-Porin) saaristot     | IBA-alue ja FINIBA-alue                                                                                 |
| 2      | Rauman saaristo                      | Natura 2000 -alue                                                                                       |
| 3      | Rauman saaristo                      | Rantojensuojeluohjelman alue                                                                            |
| 4      | Selkämeren kansallispuisto           | Kansallispuisto                                                                                         |
| 5      | Liiklankarin suojelualue             | Luonnonsuojelualue, vanhojen metsien suojeluohjel-man alue, sisältyy Rauman saariston Natura-aluee-seen |
| 6      | Kääntentilan luonnonsuojelualue      | Luonnonsuojelualue                                                                                      |
| 7      | Ympyräisen luonnonsuojelualue        | Luonnonsuojelualue                                                                                      |
| 8      | Raumanmeren luonto- ja retkei-lyalue | Luonnonsuojelualue                                                                                      |
| 9      | Kornamaa                             | Vanhojen metsien suojeluohjelma-alue                                                                    |
| 10     | Kuivalahti                           | FINIBA-alue                                                                                             |
| 11     | Laukkarin luonnonsuojelualue         | Luonnonsuojelualue                                                                                      |
| 12     | Vasikkakarin luonnonsuojelualue      | Luonnonsuojelualue                                                                                      |
| 13     | Mäntyrinne                           | Luonnonsuojelualue                                                                                      |
| 14     | Eurajoen suisto                      | FINIBA-alue                                                                                             |
| 15     | Vähämaan luonnonsuojelualue          | Luonnonsuojelualue                                                                                      |

### 3.7 SELKÄMEREN KANSALLISPUISTO

Selkämeren kansallispuisto ulottuu Merikarvialta Kustaviin. Kansallispuiston päätarkoituksena on Selkämeren rannikkovyöhykkeen vedenalaisluonnon ja ekosysteemien turvaaminen sekä kalakannan säilyminen elinvoimaisena. Selkämeren kansallispuisto ei ulotu Posivan loppusijoitusalueelle (kuva 16).

Laki Selkämeren kansallispuistosta hyväksyttiin eduskunnassa 8.3.2011 lakiehdotuksessa esitetyllä aluerajauksella. Ympäristövaliokunta lisäsi lakiin pykälän ”Ydinvoimalaitoksen jäähdytysveden johtaminen. Selkämeren kansallispuistossa voidaan rauhoitusmääräysten estämättä Metsähallituksen luvalla tehdä Olkiluodon ydinvoimalaitoksen jäähdytysveden kauko-otto ja -purun edellyttämiä toimenpiteitä.”



**Kuva 16.** Selkämeren kansallispuisto sijoittuminen Olkiluodon edustalla.



# 04

SELVITYS YDINJÄTEHUOLLON  
JÄRJESTÄMISESTÄ



■ Kuva: Posiva Oy

# SISÄLLYSLUETTELO

|                                                                                            |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. TAUSTAA JA YDINJÄTEHUOLLON AIKATAULUT .....</b>                                      | <b>46</b> |
| <b>2 YDINJÄTEHUOLLON PERIAATTEET – POSIVALLA SYNTYVÄT KÄYTTÖJÄTTEET HUOLEHTII TVO.....</b> | <b>47</b> |
| <b>3. YLEISTÄ POSIVAN YDINJÄTEHUOLLOSTA .....</b>                                          | <b>48</b> |
| <b>4. KAPSELOINTILAITOKSELLA SYNTYVÄT YDINLAITOSJÄTTEET .....</b>                          | <b>50</b> |
| <b>5. LOPPUSIJOITUSTOIMINNAN YDINAINHEET JA YDINJÄTTEET .....</b>                          | <b>52</b> |
| 5.1 Käytetty polttoaine .....                                                              | 52        |
| 5.2 Kapselointilaitos .....                                                                | 53        |
| 5.3 Loppusijoituslaitos .....                                                              | 54        |
| 5.4 Käytetyn ydinpolttoaineen käsittely .....                                              | 54        |
| 5.4.1 Varastointi ydinvoimalaitoksella ....                                                | 55        |
| 5.4.2 Polttoaineen kuljetukset ja siirrot KPA-varastoilta kapselointilaitokselle .....     | 55        |
| 5.4.3 Käytetyn polttoaineen kapselointi ja loppusijoitus.....                              | 56        |
| <b>6. TURVALLISEN LOPPUSIJOITUKSEN KONSEPTI .....</b>                                      | <b>57</b> |
| 6.1 Kapselien määrä ja mitoitusperusteet .....                                             | 57        |
| 6.2 Käyttöjätteiden käsittely ja varastointi .....                                         | 57        |
| 6.3 Käyttöjätteiden loppusijoitus.....                                                     | 59        |
| 6.3.1 Muu mahdollinen loppusijoitettava matala- ja keskiaktiivinen ydinjäte.....           | 60        |
| <b>7. LAITOKSEN KÄYTÖSTÄPOISTO .....</b>                                                   | <b>61</b> |
| 7.1 Kapselointilaitoksen ydinlaitosjätteiden aktiivisuusinventaari.....                    | 61        |
| <b>8. YDINJÄTEHUOLLON KUSTANNUKSET JA ENNALTÄ VARAUTUMINEN .....</b>                       | <b>62</b> |
| 8.1 Kustannusarvio .....                                                                   | 62        |
| 8.2 Tuleviin kustannuksiin varautuminen .....                                              | 62        |
| <b>9. YHTEENVETO .....</b>                                                                 | <b>64</b> |



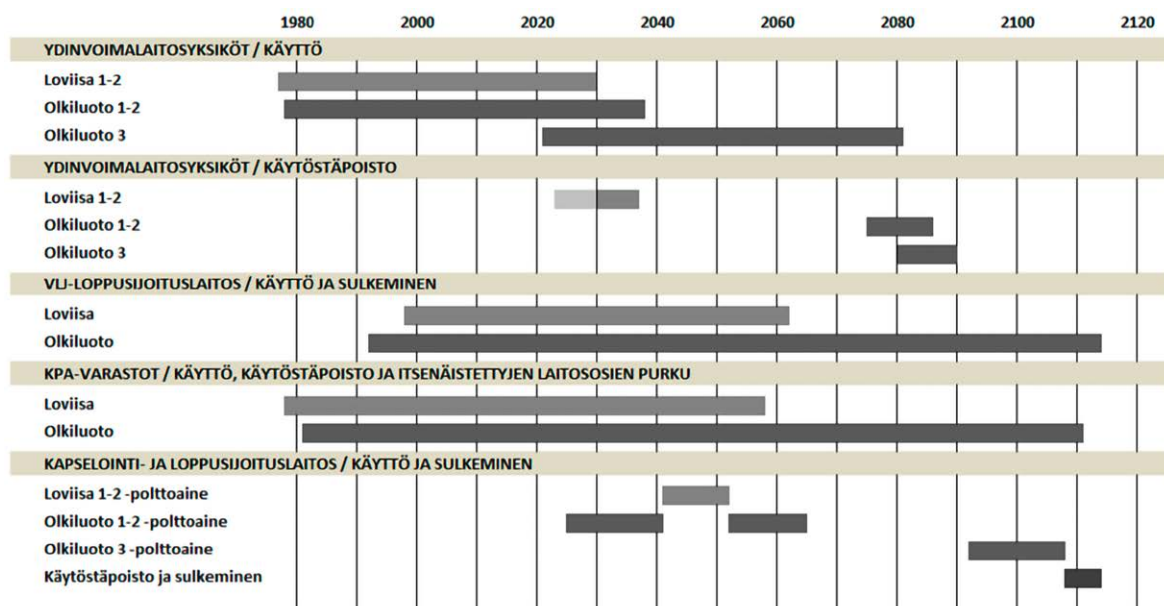
# 1 TAUSTAA JA YDINJÄTEHUOLLON AIKATAULUT

Tämä on selvitys ydinlaitoksessa valmistettavien, tuotettavien, käsiteltävien, käytettävien tai varastoitavien ydinaineiden tai ydinjätteiden laadusta ja enimmäismäärästä sekä selvitys hakijan suunnitelmista ja käytettävissä olevista menetelmistä ydinjätehuollon järjestämiseksi mukaan luettuna ydinlaitoksen purkaminen ja ydinjätteiden loppusijoitus sekä selvitys ydinjätehuollon aikataulusta ja arvioituista kustannuksista.

Radioaktiivisten jätteiden käsittelyä, varastointia ja loppusijoitusta koskevia vaatimuksia esitetään Säteilyturvakeskuksen määräyksessä ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta (Y/1/2018, 13 §) sekä Säteilyturvakeskuksen määräyksessä ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuus-

desta (Y/4/2018). Varautumisesta ydinjätehuollon kustannuksiin säädetään ydinenergialaissa (YEL 990/1987, luku 7). Jätehuoltovelvollisen on YEL:n mukaan esitettävä suunnitelma ydinjätehuollon toteuttamisesta kolmen vuoden välein. Viimeksi jätehuoltovelvolliset, TVO ja Fortum, päivittivät Posivan kanssa ydinjätehuollon YJH-ohjelman vuoden 2021 syksyllä (YJH-2021). Yhteenvedo ydinjätehuollon aikataulusta on esitetty kuvassa 1.

Ydinjätehuollon vaatimusten lähtökohtana on turvallisuus siten, että jätteet voidaan eristää elollisesta luonnosta. Ydinjätteiden loppusijoitus suunnitellaan siten, että loppusijoituksen turvallisuus ei edellytä valvontaa.



**Kuva 1.** Ydinjätehuollon toteuttamisen aikataulu YJH-2021-ohjelman mukaan. Nykyisten suunnitelmien mukaan ydinjätehuoltotoimenpiteet loppuvat noin sadan vuoden päästä.

## 2 YDINJÄTEHUOLLON PERIAATTEET - POSIVALLA SYNTYVÄT KÄYTTÖJÄTTEET HUOLEHTII TVO

Posiva lähetti helmikuussa 2021 työ- ja elinkeinoministeriölle suunnitelmansa ydinjätehuollon periaatteista. Ministeriö hyväksyi periaatteet syyskuussa 2021. Periaatteiden mukaan Posiva siirtää huolehtimisvelvollisuuden kapselointilaitoksella syntyvien matala- ja keskiaktiivisten ydinjätteiden (käyttöjätteet) käsittelyn, varastoinnin ja loppusijoituksen sekä mahdollisen valvonnasta vapauttamisen osalta Teollisuuden Voima Oyj:lle (TVO). Posivan ydinlaitosten käytöstäpoistojätteiden huolehtimisvelvollisuus säilyy Posivalla. Posivan käyttöjätteiden osuus tulee olemaan vain murto-osa Olkiluodon ydinvoimalaitosyksiköiden käyttöjätteiden määrästä. TVO:lla on yli 40 vuoden kokemus ydinjätteiden huollosta ja koska Posivan kapselointilaitos sijaitsee samalla Olkiluodon voimalaitosalueella, käyttöjätteet ovat lyhyen siirtomatkan päässä Olkiluodon ydinlaitosten jätteiden käsittely- ja varastointipaikoilta.

### 3 YLEISTÄ POSIVAN YDINJÄTEHUOLLOSTA

Posiva Oy:n (Posiva) laitospalvelukokonaisuus koostuu kahdesta ydinlaitoksesta, jotka ovat kapselointilaitos ja loppusijoituslaitos. Kapselointilaitoksessa kapseloidaan käytetty ydinpolttoaine loppusijoituskapseloihin. Loppusijoituskapselit siirretään kapselointilaitoksesta loppusijoituslaitokseen, joka koostuu maanalaisista loppusijoitustiloista, näitä yhdistävistä keskustunneleista sekä muista maanalaisista ja maanpäällisistä apu- ja teknisistä tiloista.

Uusia radioaktiivisia aineita ei synny normaalisti kapselointilaitoksen käytöstä, vaan kaikki laitoksella esiintyvä radioaktiivisuus on peräisin loppusijoitettavasta käytetystä polttoaineesta. Ydinlaitosjätteitä muodostuu vain kapselointilaitoksesta käytettäessä ja tällöinkin niiden määrä ja tilantarve on melko vähäinen. Muualla Posivan ydinlaitoksissa ei synny radioaktiivista jätettä.

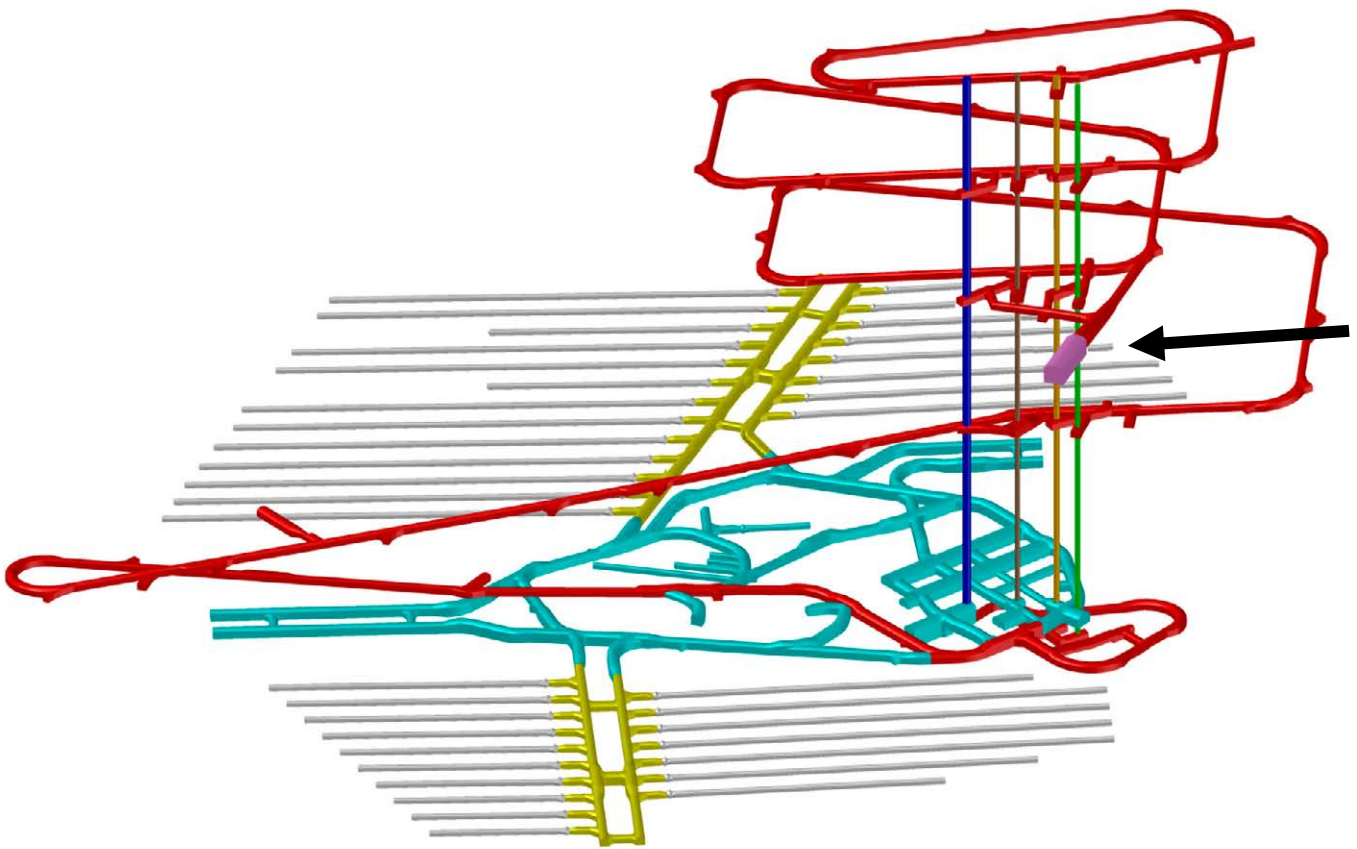
Ydinjätehuollon järjestämisessä on erotettavissa kolme päävaihetta: jätteiden käsittely, välivarastointi ja loppusijoitus. Sekä käytetyn ydinpolttoaineen että ydinlaitosjätteiden käsittely- ja välivarastointivaiheet ovat turvallisesti toiminnassa Olkiluodon voimalaitosalueella. Toimenpiteitä jätemäärän pienentämiseksi on tehty ja sitä on mahdollista tehdä myös muualla kuin voimalaitosalueella erillisen luvittamisen kautta.

Posiva ei huolehdi itse ydinlaitosjätteiden käsittelystä ja välivarastoinnista, vaan Posiva tulee luovuttamaan huolehtimisvelvollisuuden TVO:lle, jolla on olemassa menettelyt ja järjestelmät ydinlaitosjätteiden käsittelyyn ja varastointiin. Koska TVO:n ydinvoimalaitos sijaitsee samalla alueella, ei Posivalla ole syytä rakentaa vastaavia käsittely- ja varastointimahdollisuuksia itselleen. Posivalle on kuitenkin jätetty kapselointilaitokselle tiloja, jotka voidaan myöhemmin ottaa tähän käyttöön, jos niille tulee tarvetta. Koska kapselointilaitoksen vuosittaiset jätemäärät ovat hyvin pieniä, myös jätteiden välivarastointi kapselointilaitoksella on mahdollista.

Olkiluodon voimalaitosjäteluolan (VLJ-luolan) käyttöluvan ehtoja tullaan muuttamaan ennen, kuin Posivalta syntyy käyttöjätteitä, siten että Posivan jätteiden loppusijoittaminen VLJ-luolaan mahdollistuu. Posivan ydinlaitosjätteet otettiin huomioon jo VLJ-luolan vuoden 2021 määräaikaissä turvallisuuksiarvioissa, jonka mukaan niiden loppusijoittaminen on turvallista. Lupa on tällä hetkellä voimassa vuoden 2051 loppuun.

Posiva hakee käyttöluvapahakemuksessa lupaa myös omalle loppusijoitustilalle matala- ja keskiaktiivisille jätteille. Loppusijoitustilan alustava sijainti olisi ONKALO®:n ajotunnelin varrella noin 180 metrin syvyydessä (kuva 2). Tämän tilan toteutus on arvioitu tulevan aiheelliseksi vasta vuosikymmenien kuluttua. Tilaan on tarkoitus loppusijoittaa Posivan ydinlaitosten käyttö- ja käytöstäpoistojätteitä sekä tarpeen mukaan Posivan omistajien ydinjätteitä ja muita radioaktiivisia jätteitä. Käytöstäpoiston yhteydessä kertyvien jätteiden huollon kaikki vaiheet tulevat ajankohtaisiksi vasta vuosikymmenien kuluttua.





■ **Kuva 2.** Matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilan varaus (violetti osa) esitetty kuvassa nuolella, tila tulisi sijoittumaan noin 180 metrin syvyyteen. Punainen osa on Onkalon ajotunneli. Muu esitetty osa kuuluu käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilaan, joka sijaitsee noin 430 metrin syvyydessä.

## 4 KAPSELOINTILAITOKSELLE SYNTYVÄT YDINLAITOSJÄTTEET

Ydinaineilla tarkoitetaan ydinennergian aikaansaamiseen soveltuvia erityisiä halkeamiskelpoisia aineita ja lähtöaineita, kuten uraania, toriumia ja plutoniumia. Posivan ydinjätelaitoksilla näitä aineita on olennaisesti vain käytetysä ydinpolttoaineessa.

Ydinjätteillä tarkoitetaan ydinennergialain mukaan

- a) *ydinennergian käytön yhteydessä tai seurauksena syntyneet, käytetyn ydinpolttoaineen muodossa tai muussa muodossa olevat radioaktiiviset jätteet; sekä*
- b) *sellaiset ydinennergian käytön yhteydessä tai seurauksena radioaktiivisiksi muuttuneet aineet, esineet ja rakenteet, jotka on poistettu käytöstä ja joiden radioaktiivisuudesta aiheutuvan vaaran vuoksi tarvitaan erityisiä toimenpiteitä*

Kapselointilaitoksen käytön aikana syntyvä aktiivinen jäte on peräisin käytetystä polttoaineesta vapautuvista radioaktiivisista aineista, joista pieni osa päätyy laitoksen huolto- ja puhdistustöiden yhteydessä käyttö- ja käytöstäpoistojätteisiin.

Laitoksen ydinjätteet jaetaan kahteen pääluokkaan:

1. laitoksen käytön aikana kertyvät käyttövaiheen jätteet ja
2. purkamisen yhteydessä syntyvät purkujätteet.

Kapselointilaitoksessa aktiivista jätettä syntyy lähinnä polttoaineen käsittelykammiossa, dekontaminointikeskuksessa ja kuljetussäiliön siirtokäytävässä, jos kuljetussäiliön pinta on kontaminoitunut ja siitä irtoaa kontaminaatiota. Käsittelykammiossa polttoaineesta peräisin olevat kiinteät jätteet (aktivoituneet korroosiotuotteet sekä mahdolliset polttoaineen kappaleet) kerätään talteen ja loppusijoitetaan yhdessä polttoaine-elementtien kanssa.

Matala-aktiivisia nestemäisiä jätteitä syntyy lähinnä käsittelykammion teräsvuorauksen pesuista, polttoaineen kuivauksesta sekä dekontaminointikeskuksen pesuista ja siellä käytet-

tävistä liuoksista. Mahdollisesti pieniä määriä syntyy myös kuljetussäiliön puhdistuksesta. Valvonta-alueen lattiaviemäröinnin keräämä vesi luokitellaan matala-aktiiviseksi jätteeksi, ellei mittauksilla voida osoittaa vettä puhtaaksi. Puhtaaksi todettu vesi voidaan johtaa laitosalueen viemäröintiin. Kaikki radioaktiiviset jätteet loppusijoitetaan kiinteässä muodossa. Tämänhetkisen suunnitelman mukaan nestemäiset aktiiviset jätteet käsitellään Olkiluoto 3 -laitosyksiköllä. Ydinlaitosjätteet käsitellään siten, miten parhaimmaksi tavaksi todetaan Olkiluodon voimalaitosalueella sijaitsevilla laitoksilla.

Käsittelykammioista poistettavat, uusiin vaihdettavat laitteet ja koneet ovat matala- tai keskiaktiivista jätettä. Poistettavat laitteet dekontaminoidaan dekontaminointikeskuksessa ennen mahdollista korjausta aktiivisessa korjaamossa. Jos laitteita ei voida korjata, ne dekontaminoidaan ja vapautetaan valvonnasta, tai ne pakataan ja toimitetaan loppusijoitustilaan. Valvonta-alueen ja polttoaineen käsittelykammion ilmastoinnin suodattimet sekä imurointijärjestelmän suodattimet pakataan ja toimitetaan loppusijoitustilaan.

Käytön aikana syntyvät radioaktiiviset orgaaniset jätteet (mm. suojaruusteet ja siivousvälineet) pakataan ja puristetaan pienempään tilavuuteen ennen loppusijoittamista. Joitakin kuparikapseleita saatetaan joutua hylkäämään, jos kannen hitsausauma ei täytä sille asetettuja laatuvaatimuksia. Silloin kapseli tyhjenetään polttoaineesta ja polttoaine siirretään toiseen kapseliin. Jos hylätyn kapselin sisäosaa ei saada puhdistettua aktiivisuudesta, se loppusijoitetaan kokonaisena. Kapselin kupari- ja teräskansi sekä kuparivaippa irrotetaan sisäosan ympäriltä ja materiaalit toimitetaan kierätykseen, mikäli niissä ei havaita aktiivisuutta.

Tällä liitteellä annetaan selvitys kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella syntyvien, käsiteltävien, käytettävien tai varastoitavien ydinaineiden ja ydinlaitosjätteiden laatu ja kertyvät määrät. Tässä liitteessä kuvataan myös käytetyn ydinpolttoaineen kulku ydinvoimalaitosten välivarastoinnista kapselilaitokseen ja edelleen lop-

pusijoitukseen. Lisäksi selvitetään, millaisia ydinjätteitä polttoaineen käsittelyn yhteydessä saattaa syntyä, kuinka suuria nämä jätemäärät saattavat olla ja miten jätteet kerätään ja käsitellään, varastoidaan ja loppusijoitetaan.

Olkiluodossa ja Loviisassa olevat käytetyn ydinpolttoaineen välivarastot ovat tämän tarkastelun ulkopuolella. Myös välivarastoista tapahtuvat kuljetukset ja siirrot tapahtuvat erilupien alaisuudessa kuin kapselointi- tai loppusijoituslaitoksen toiminta.

Loppusijoitustoiminnasta syntyvät ydinlaitosjätteet aiotaan käsitellä ja varastoida Olkiluodon ydinvoimalaitosalueella olevissa varastoissa ja järjestelmillä. Kapselointilaitokselle on myös varattu tilat, jotta itsenäinen ydinlaitosjätteiden käsittely pystytään tarvittaessa järjestämään. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella kertyvien purku- ja ydinlaitosjätteiden määriä on arvioitu yksityiskohtaisemmin STUK:lle toimitetussa lopullisessa turvallisuusselosteessa ja sen aihekohtaisissa raporteissa esitettyjen tietojen perusteella.

Ydinlaitosjätteet ovat kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käytössä syntyviä huoltojätteitä ja muita jätteitä, joita ei voida radioaktiivisuuden vuoksi vapauttaa valvonnasta. Nämä ydinlaitosjätteet jaetaan hyvin matala-, matala ja keski-aktiivisiin jätteisiin. Olkiluodossa on kaikille ydinlaitosjätteille omat toimivat ja turvalliset käsittely-, varastointi- ja loppusijoitusprosessinsa.

Käytetty ydinpolttoaine on korkea-aktiivista ydinjätettä. Posivan kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen tehtävänä on turvallisesti loppusijoittaa käytetty ydinpolttoaine loppusijoituslaitokseen. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella ei käsitellä tuoretta ydinpolttoainetta. Tarvittaessa, jos Posivan laitoksiin loppusijoitettaisiin reaktorin läheisyydessä aktivoituneita osia, loppusijoittamiselle tehdään erilliset suunnitelmat, joiden lähtökohtana on turvallinen loppusijoitusratkaisu.

Tässä liitteessä esitetyt ydinaine- ja jätemäärät perustuvat Olkiluoto 1-, 2- ja 3-laitosyksiköiden (OL1, OL2, OL3) 60 vuoden käyttöikään ja Loviisa 1- ja 2-laitosyksiköiden (LO1, LO2) 50 vuoden käyttöikään. Jos kyseessä olevien laitosten käyttöiät muuttuvat, myös kertyvien ydinaineiden ja ydinjätteiden määrät muuttuvat.



## 5 LOPPUSIJOITUSTOIMINNAN YDINAINHEET JA YDINJÄTTEET

### 5.1 KÄYTETTY POLTTOAINE

Ydinreaktioiden seurauksena on reaktoreista poistettaviin polttoaine-elementteihin muodostunut uusia alkuaineita ja radioaktiivisia isotooppeja. Käytetyssä polttoaineessa osa uraanista on muuttunut fissiotuotteiksi, plutoniumiksi ja pieneksi määräksi muita aktinideja. Polttoaineen rikastusasteesta riippuen käytetyssä polttoaineessa on jäljellä uraania 94 – 96 %, fissiotuotteita 3 – 5 % ja plutoniumia ja muita aktinideja yhteensä noin 1 %.

Radioaktiivisuudesta johtuen käytetty polttoaine tuottaa lämpöä reaktorista poistettaessa. Polttoaineen aktiivisuus ja lämmöntuotto riippuvat palamasta. Käytetyn polttoaineen aktiivisuus ja lämmöntuotto pienenee reaktorista poistamisen jälkeen.

Alla on esitetty esimerkki OL1/OL2-laitosyksiköiden polttoaineelle lasketusta aktiivisuudesta ja lämmöntuotosta eri jäähtymisajoilla, kun polttoaineen palama on 50 MWd/kgU, aukko-historia on 40 % ja tuoreen polttoaineen uraani-<sup>235</sup>U pitoisuus 3,8 %.

Kun käytettyä ydinpolttoainetta on jäädytetty riittävästi välivarastossa, sen loppusijoitus voidaan aloittaa. Tässä vaiheessa käytetyn ydinpolttoaineen aktiivisuus ja lämmöntuotto ovat laskeneet noin tuhannesosaan reaktorista poistamisen ajankohtaan verrattuna.

Reaktorista poistettuja käytettyjä polttoaine-elementtejä varastoidaan vesialtaissa. Aluk-

si varastointi tapahtuu voimalaitosyksiköiden polttoainealtaissa. Osaa näistä elementeistä on mahdollista käyttää vielä sijoittamalla ne uudestaan reaktoriin. Altaista polttoaine-elementit siirretään noin viiden vuoden jäähtymisajan jälkeen siirtosäiliöissä käytetyn polttoaineen välivaraston (KPA-varasto) altaisiin. KPA-varastolta käytetty ydinpolttoaine kuljetetaan kymmenien vuosien jäähtymisajan jälkeen kapseloitavaksi ja loppusijoitettavaksi Posivan laitoksille.

Olkiluodon KPA-varastoon oli 13.9.2021 mennessä siirretty 8155 elementtiä. Kyseisenä ajankohtana oli ydinmateriaalikirjanpidon mukaan käytetyssä polttoaineessa Olkiluoto 1 -laitosyksiköllä uraania noin 130 tonnia, josta U-235:tä oli noin 0,8 tonnia, ja plutoniumia noin 1,3 tonnia. KPA-varastossa oli uraania noin 1 400 tonnia, josta U-235:tä noin 10 tonnia, ja plutoniumia noin 12 tonnia. Samana ajankoh-tana oli Olkiluoto 2 -laitosyksiköllä uraania noin 130 tonnia, josta U-235:tä noin 0,75 tonnia, ja plutoniumia noin 1,2 tonnia. Toriumia kertyy selvästi vähemmän, eikä siitä pidetä kirjanpi-toa. Käytetyn polttoaineen kokonaismääräksi on arvioitu kertyvän kummankin laitosyksi-kön 60 käyttövuoden ajalta 14056 elementtiä, mikä vastaa noin 2 500 tonnia uraania. Tuoreen polttoaineen osalta elementtimäärät OL1:lle ja OL2:lle ovat 600 elementtiä sekä uraanimassat noin 100 tonnia per laitosyksikkö.

Loviisan osalta tilanne 25.8.2021 on seuraava, KPA-varastolla on noin 5 500 elementtiä.

| Jäähtymisaika | Aktiivisuus   | Lämmöntuotto |
|---------------|---------------|--------------|
| 0 v           | 6360 TBq/kgU  | 1720 W/kgU   |
| 1 v           | 98 TBq/kgU    | 11 W/kgU     |
| 10 v          | 20 TBq/kgU    | 1,8 W/kgU    |
| 100 v         | 2,1 TBq/kgU   | 0,4 W/kgU    |
| 1000 v        | 0,07 TBq/kgU  | 0,06 W/kgU   |
| 10 000 v      | 0,02 TBq/kgU  | 0,01 W/kgU   |
| 100 000 v     | 0,003 TBq/kgU | 0,001 W/kgU  |
| 1 000 000 v   | 0,001 TBq/kgU | 0,0004 W/kgU |

Käytettyä polttoainetta LO1-laitosyksiköllä on 503 ja LO2:lla 540 elementtiä. Tuoretta polttoainetta on yhteensä noin 340 elementtiä. Käytetyn polttoaineen uranimassat ovat noin 62 tonnia (LO1), 66 tonnia (LO2) ja 625 tonnia (KPA-varasto), U-235-massat noin 2 tonnia per laitosyksikkö ja noin 7 tonnia KPA-varastolla. Tuoreen polttoaineen osalta uraania on noin 42 tonnia ja U-235:sta noin kaksi tonnia. Käytetyn polttoaineen kokonaismääräksi on arvioitu kertyvän kummankin laitosyksikön (olettaen ilman käyttöiän pidennystä, pyöristettynä ylempään sataan nippumäärään) 7700 elementtiä, mikä vastaa noin 795 tonnia uraania.

## 5.2 KAPSELOINTILAITOS

Normaalitapauksessa polttoaine on kapselointilaitoksessa käsiteltäessä kokonaisina polttoaine-elementteinä. Harvinaisissa poikkeustapauksissa polttoainetta saattaa esiintyä irrallisina sauvoina, jotka on irrotettu polttoaine-elementeistä lähinnä sauvojen vaurioitumisen johtuen (sauvojen vaurioituminen johtaa yleisesti ottaen myös polttoainevuotoon). Nämä sauvat on sijoitettu sauvamakasiineihin, joita voidaan käsitellä kuten polttoaine-elementtiä. Sauvamakasiinit ovat polttoaine-elementin kaltaisia ja vaurioituneita sauvoja niihin mahtuu muutamasta yli kahteenkymmeneen riippuen siitä, että onko tarpeen ladata sauva sauvamakasiiniin sauvaa ympäröivän sauvakapselin kanssa vai ilman. Vaurioituneita polttoainesauvoja on hyvin vähän ja tätä harvinaisuutta voidaan esittää siten, että kaikki vaurioituneet sauvat saadaan ladattua muutamaa sauvamakasiiniin. Loppusijoitustuotannossa tullaan sauvamakasiinin kapselointi ja loppusijoitus tarkoin ajoittamaan sekä kyseisissä tapahtumissa suoritetaan lisätarkastelut koskien mm. kriittisyys- ja pitkäaikaisturvallisuutta.

Käytetyn polttoaineen määrää kuvataan siinä säteilyttämättömänä olleen uraanin massana, vaikka käytetyssä polttoaineessa osa uraanista onkin muuttunut muiksi alkuaineiksi sekä niiden isotoopeiksi ja vaikka hidasta spontaania hajoamista radioaktiivisissa aineissa tapahtuu jatkuvasti.

Polttoainenipuissa oleva uraanin määrä vaihtelee polttoainetyypeittäin riippuen minkä tyyppisessä ydinvoimalaitoksessa sitä on käytetty, mutta myös polttoainetyyppien sisällä eri de-

signien välillä.

Polttoaine-elementtien sisältämä tuoreen uraanin massa on maksimissaan: BWR (OL1, OL2) 186 kgU, VVER (LO1, LO2) 130 kgU ja PWR (OL3) 545 kgU (massoihin on luettu mukaan tulevaisuuden mahdolliset massalisäykset). Kun BWR- ja VVER-polttoaine-elementtejä asetetaan kapselia kohti 12 kpl ja PWR-polttoaine-elementtejä 4 kpl, tulee eri polttoainetyyppien loppusijoituskapselien uranimääräksi keskimäärin BWR 2100 kgU, VVER 1464 kgU ja PWR 2128 kgU.

Väkevöintiaste (Uraani-235:en pitoisuus prosentteissa) vaihtelee polttoaine-elementin polttoainesauvojen osalta huomattavasti ja lisäksi väkevöinti kuten palamakin (usein käytetään yksikköä MWd/kgU) on noussut vuosien aikana. Väkevöintiaste ei merkittävästi vaihtelee polttoainetyyppien välillä.

Polttoaineen siirrot ja kuljetukset voimalaitospaikoilta kapselointilaitokselle tapahtuvat siirto- ja kuljetussäiliöillä (siirtosäiliötä käytetään Olkiluodon sisäisiin siirtoihin ja kuljetussäiliötä Loviisan ydinvoimalaitokselta tuleviin kuljetuksiin), joissa on tarkoituksenmukaista kuljettaa kerrallaan jokin kapseliin sopiva polttoaine-elementtien monikerta. Sijoitettavat polttoaine-elementit valitaan kuhunkin kapseliin ennen kuljetusta ottaen huomioon jälkilämmön tuotto, säteilytaso ja reaktiivisuus siten, että kapselin lämmöntuotto ja kriittisyysturvallisuus ovat vaaditulla tasolla sekä säteilyannosnopeus kapselin ulkopuolella säilyy riittävän alhaisena. Tätä valintaprosessia ohjataan tarkoitukseen kehitetyn polttoainetietokannan avulla. Kuljetussäiliöt hankitaan kunkin laitostyyppin ydinpolttoaineelle sopivaksi. Olkiluodon sisäisiin siirtoihin käytetään Olkiluodon omaa siirtosäiliötä.

Suurimmilla polttoaine-elementtien uranimassoilla laskettuna tyypillisten yksittäisten kuljetussäiliöiden uranimäärät olisivat enimmillään seuraavat:

- Castor TVO, 41 BWR-polttoaine-elementtiä, 7 626 kgU
- Castor VVER 440/84, 84 VVER-polttoaine-elementtiä, 10 920 kgU
- Suunniteltu PWR-kuljetussäiliö, 12 PWR-polttoaine-elementtiä, 6 540 kgU.

Taulukkoon 1 on kerätty kapselointilaitoksen eri tiloissa mahdollisesti olevan käytetyn polttoaineen suunnitellut enimmäismäärät. Kapselointilaitoksessa ei ole tarkoitus varastoida polttoainetta yhtään sen enempää kuin toiminnan joustavan suorituksen kannalta on tarpeellista. Pieniä varastoja saattaa syntyä vastaanottohalliin, mikäli esim. Loviisan polttoainetta kuljetetaan merikuljetuksena, jolloin useamman kuin yhden kuljetussäiliön samanaikainen kuljetus on tarkoituksenmukaista. Laskelmissa on varauduttu enintään 4 kuljetussäiliön varastointiin vastaanottohallissa.

### 5.3 LOPPUSIJOITUSLAITOS

Loppusijoituslaitokseen polttoainetta siirtyy kapselin verran kerrallaan ja kapselointinopeudesta riippuen 0-100 kapselia vuodessa. Loppusijoitustasolla lähellä kapselikuilun alapäätä sijaitsee loppusijoitettavien kapselien puskurivarasto, joka on mitoitettu enintään 30 kapselille. Tämä määrä on tarkoituksenmukainen, jotta valmiiksi täytettyjä ja tarkastettuja loppusijoituskapseleita on kampanjan alkaessa kapselointilaitoksen ja loppusijoituslaitoksen kapselivarastoissa yhden sijoitustunnelin loppusijoitusta vastaava määrä. Näin ollen loppusijoitustoiminta voi edetä yksittäisen tunnelin osalta mahdollisimman ripeästi ja

tunnelin täyttö edetä häiriintymättä. Kun varaudutaan loppusijoittamaan OL1-3 ja LO1-2-laitosyksiköistä suunniteltuna käyttöaikana kertyvä ja nyt laitoksilla sijaitseva polttoaine, suunnitelmat tehdään enintään 6 500 tU polttoainemäärän loppusijoittamiselle, mikä vastaa noin 3 300 kpl kapseleita. Tämä määrä on rakentamisluvan mukainen enimmäismäärä. Taulukossa 2 on esitetty yksityiskohtaisempi arvio eri laitosyksiköiden polttoaineista. Noin 15 prosentissa PWR-polttoainenuppuja on oletettu olevan myös säätöelementit. Palamakeskiarvo on n. 40 MWd/kgU OL1-2:lle ja LO1-2:lle, ja 45 MWd/kgU OL3:lle.

Lisäksi Olkiluodon saarella on varauduttu loppusijoittamaan kapselointilaitoksen käyttö- ja käytöstäpoistojätteet loppusijoituslaitoksiin yhteensä tilavuudeltaan noin 1 500 m<sup>3</sup> ja aktiivisuudeltaan noin 550 GBq.

### 5.4 KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN KÄSITTELY

Ennen käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta, reaktorista poistettua ydinpolttoainetta jäähdytetään riittävästi, jotta se soveltuu loppusijoittamiseen jälkilämmönteon ja säteilyn määrän puolesta. Käytetyn ydinpolttoaineen valinta loppusijoitukseen tehdään polttoaine-

**Taulukko 1a.** Käytetyn polttoaineen enimmäismäärät kapselointilaitoksen eri tiloissa. Normaalitylanteessa kapselointilaitoksessa on käytettyä ydinpolttoainetta vain murto-osa enimmäismäärästä.

| Laitoksen osa                                   | Määrä (kgU)   | Kuvaus                     |
|-------------------------------------------------|---------------|----------------------------|
| Vastaanotto-tila                                | 4 x 10 500    | 4 kuljetussäiliötä         |
| Kuljetussäiliön siirtokäytävä                   | 10 500        | 1 kuljetussäiliö           |
| Käsittelykammio                                 | 2 200         | 1 kapselia vastaava erä    |
| Kapselin siirtokäytävä                          | 2 200         | 1 kapseli                  |
| Kapselien puskurivarasto kapselointilaitoksella | 12 x 2 200    | 12 kapselia                |
| Siirtoreitillä loppusijoituslaitokseen          | 2 200         | 1 kapseli                  |
| <b>Yhteensä</b>                                 | <b>85 500</b> | <b>Enimmäismäärät yht.</b> |

**Taulukko 1b.** Loppusijoitussuunnitelmaan sisältyvät varaukset eri laitosyksiköiden kertyville polttoainemäärille ja arvioitu keskimääräinen poistopalama.

|                    | OL1-2 | OL3  | LO1-2 | Yhteensä    |
|--------------------|-------|------|-------|-------------|
| Polttoainetta (tU) | 2904  | 2500 | 1096  | <b>6500</b> |
| Kapseleita         | 1383  | 1175 | 746   | <b>3304</b> |



tietokannalla, jonka avulla määritetään loppusijoituskapseluihin valittavat polttoaineet.

#### 5.4.1 VARASTOINTI YDINVOIMA- LAITOKSELLA

Reaktorista poistamisen jälkeen käytettyä polttoainetta säilytetään reaktorirakennuksessa olevissa vesialtaissa tyypillisesti 3–5 vuotta. Vesi jäähdyttää ydinpolttoainetta ja suojaa ympäristöä ydinpolttoaineesta lähtevältä säteilyltä. Polttoainealtaat ovat erilliset ja sijaitsevat eri puolilla reaktoria, jolloin altaat voidaan eristää erilleen toisistaan ja reaktorialtaasta mahdollisessa evakuointitilanteessa.

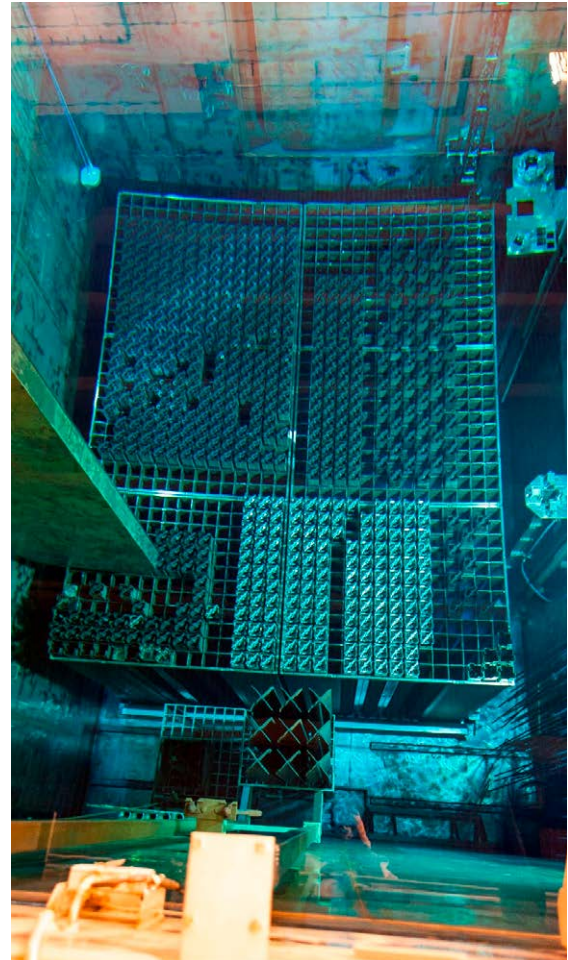
Säteilytettyjen polttoainenippujen lisäksi altaiden polttoainetelineissä varastoidaan tuoreita polttoainenippuja, dummy-elementtejä, savumakasiineja ja säteilevää voimalaitosjätettä erillisissä kuljetussuojuksissa.

Käytönaikaisessa toiminnassa on varauduttu siihen, että mikä tahansa allas on voitava tarvittaessa tyhjentää siirtämällä siinä olevat polttoaineniput muihin laitosalueella oleviin altaisiin.

#### 5.4.2 POLTTOAINEEN KULJETUKSET JA SIIRROT KPA- VARASTOILTA KAPSELOINTI- LAITOKSELLE

Olkiluodon sisäistä käytetyn ydinpolttoaineen siirtämistä KPA-varastolta kapselointilaitokselle kutsutaan siirroksi ja Loviisan KPA-varastolta nykyisten suunnitelmien mukaan 2040-luvulla alkavat käytetyn ydinpolttoaineen kuljetuksia kapselointilaitokselle kutsutaan kuljetuksiksi.

Käytetty ydinpolttoaine siirretään Olkiluodon KPA-varastolta kapselointilaitokselle TVO:n siirtosäiliöllä märkäkuljetuksena. Siirtosäiliö kuljetetaan vaakakuljetuksena KPA-varastolta kapselointilaitokselle laitosalueen suojattuna sisäisenä siirtona. Siirtosäiliön täytön suunnittelussa huomioidaan ydin- ja säteilyturvallisuuden asettamat vaatimukset. Siirtosäiliö sinetöidään ydinmateriaalivalvonnan vaatimusten mukaisesti KPA-varastolla.



■ Kuva 3. Ydinpolttoaineen käsittely tapahtuu aina turvalisesti.

Polttoaineen kuljetukset Loviisan ydinvoimalaitokselta kapselointilaitokselle on kuvattu käytölupahakemuksen liitteessä ”*Selvitys käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusriskeistä*”. Koska kuljetuksilla hankitaan omat ydinenergialain vaatimat luvat, niin tämän hetken ajatuksena on palata kuljetusmuoto- ja reittivalintaan sekä tarkempaan suunnitteluun 2030-luvulla. Loviisan kuljetusten myöhäisemmän aloittamisen vuoksi ehditään saada kokemusta Posivan tuotantotoiminnan sujuvuudesta sekä kuljetusten vastaanottamisesta kapselointilaitokseen OL1- ja OL2-polttoaineen loppusijoittamisen myötä, ennen Loviisan kuljetusten suunnittelua ja aloittamista. Lisäksi Loviisan polttoaineen loppusijoituksen aikataulu tulee varmistumaan vasta muutaman vuoden loppusijoitustoiminnan jälkeen.

### 5.4.3

### KÄYTETYN POLTTO- AINEEN KAPSELOINTI JA LOPPUSIJOITUS

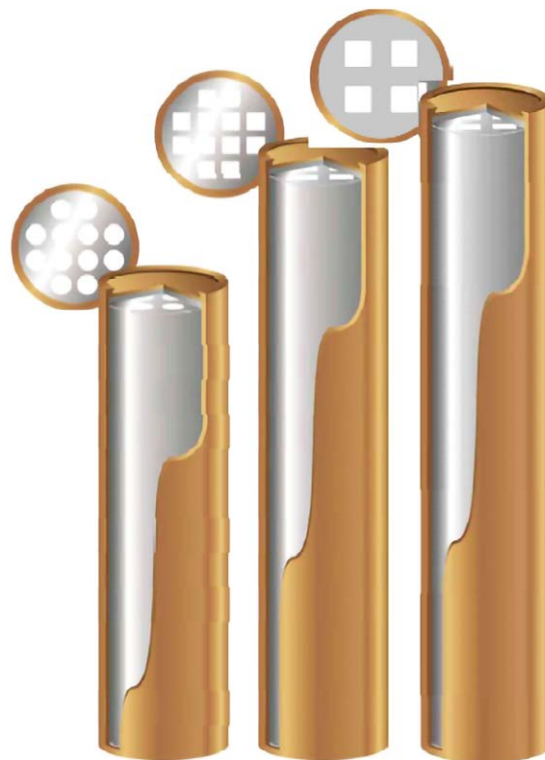
Käytetty polttoaine siirretään KPA-varastoista kapseloitavaksi kapselointilaitokselle, jossa käytetty ydinpolttoaine pakataan kuparista ja valuraudasta valmistettuun loppusijoituskapseliin. Kapseloinnin jälkeen kapselit siirretään yksi kerrallaan noin 430 metrin syvyydessä olevaan loppusijoituslaitokseen, jossa se sijoitetaan loppusijoitustunneliin sille varattuun loppusijoitusreikään. Tunnelin täytyttyä se suljetaan tulpalla, minkä jälkeen käytetty ydinpolttoaine on loppusijoitettu. Kun kaikki käytetty polttoaine on loppusijoitettu, alkaa kapselointilaitoksen sulkeminen (käytöstäpoisto), loppusijoituslaitoksen muut tilat täytetään ja laitos suljetaan. Tekninen loppusijoitustoiminnan kuvaus on tämän käyttöluvahakemuksen liitteessä 5.

## 6 TURVALLISEN LOPPUSIJOITUKSEN KONSEPTI

Posivan loppusijoituskonsepti perustuu ruotsalaisen SKB:n kehittämään KBS-3-ratkaisuun. Konseptin perusta on moniesteperiaate, jossa käytetty polttoaine eristetään usean toisiaan täydentävän vapautumisesteen avulla. Konseptin mukaisesti on epätodennäköistä, että yksittäinen haitallinen ilmiö tai epävarmuus voisi johtaa koko järjestelmän toimimattomuuteen. Loppusijoituksessa on päädytty ensisijaisena vaihtoehtona pystysijoitusratkaisuun KBS-3V. Kaikkien teknisten vapautumisesteen suunnittelussa ja rakentamisessa on vaatimuksena, etteivät ne saa merkittävästi vähentää muiden vapautumisesteen (rakennettujen tai luonnollisten) turvallisuustoimintoja. Kapselointilaitokselle siirto- tai kuljetussäiliöissä tuodut polttoaine-elementit sijoitetaan loppusijoituskapseliin polttoaineen käsittelykammiossa. Kapselin kuparikansi hitsataan kiinni kitkatappimenetelmällä.

### 6.1 KAPSELIEN MÄÄRÄ JA MITOITUSPERUSTEET

Kapselin koko ja valurautaisen sisäosan muoto riippuvat loppusijoitettavasta polttoaineesta. Kuvassa 4 on esitetty eri kapselityypit VVER-, BWR- ja EPR-polttoaineille, BWR-kapselityyppi on tarkoitettu Olkiluoto 1- ja 2 -laitosyksiköiden käytetyn polttoaineen loppusijoitukseen. Taulukkoon 2 on koottu eri kapselityyppien päämitat ja painot. Taulukossa 3 on esitetty polttoaineiden ja loppusijoituskapselien määrät.



■ Kuva 4. Loppusijoituskapselit eri polttoainetyypeille; vasemmalla Loviisa 1-2 (VVER 440) kapselityyppi, Olkiluoto 1-2 (BWR) keskellä ja Olkiluoto 3 (EPR, OL3) oikealla.

### 6.2 KÄYTTÖJÄTTEIDEN KÄSITTELY JA VARASTOINTI

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustoiminnasta syntyy matala- ja keskiaktiivista jätettä normaalitoiminnan aikana ainoastaan kapse-

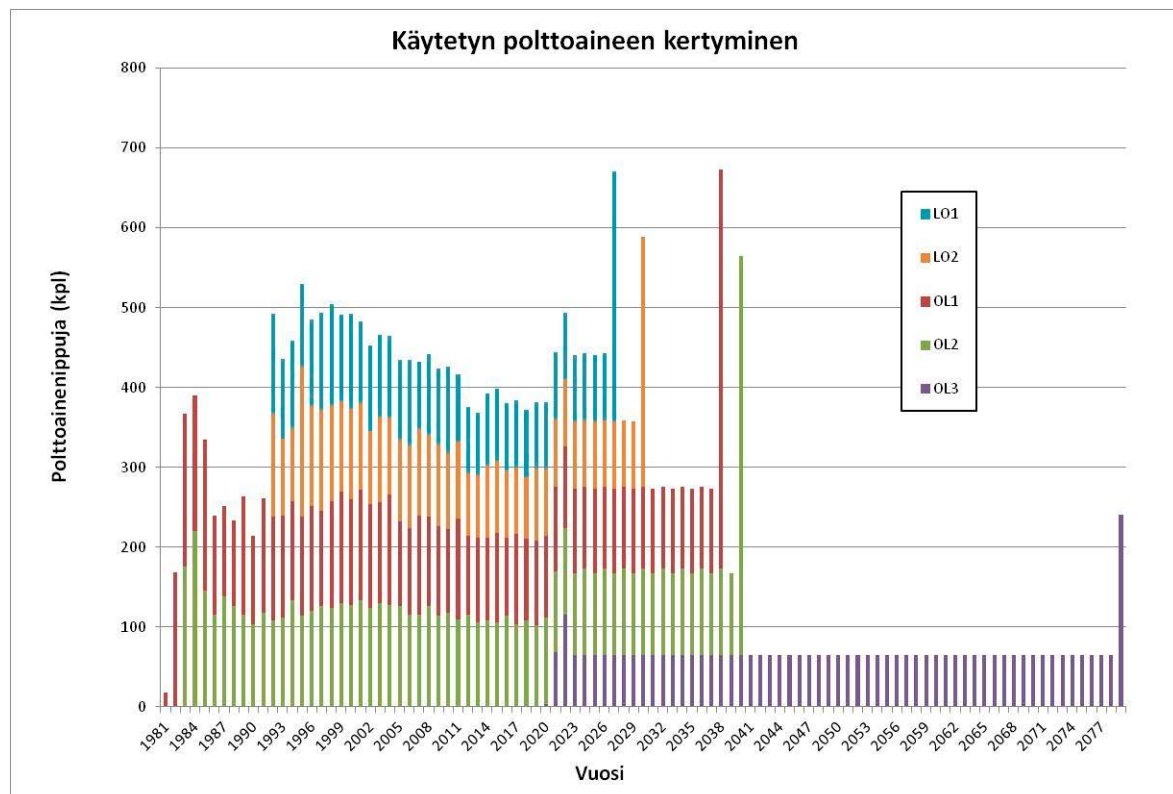
■ Taulukko 2. Loppusijoitussuunnitelmaan sisältyvät varaukset eri laitosyksiköiden kertyville polttoainemäärille ja arvioitu keskimääräinen poistopalama.

| Päämitat                           | Loviisa 1-2 | Olkiluoto 1-2 | Olkiluoto 3 |
|------------------------------------|-------------|---------------|-------------|
| Ulkohalkaisija (m)                 | 1,05        | 1,05          | 1,05        |
| Kokonaispituus (m)                 | 3,60        | 4,80          | 5,25        |
| Kokonaistilavuus (m <sup>3</sup> ) | 3,0         | 4,1           | 4,5         |
| Nippupositiot (kpl)                | 12          | 12            | 4           |
| Polttoaineen määrä (tU)            | 1,4         | 2,2           | 2,1         |
| Kokonaispaino (t)                  | 18,6        | 24,3          | 29,1        |



**Taulukko 3.** Loppusijoitus suunnitelmaan sisältyvät varaukset eri laitosesiköiden loppusijoitettavan polttoaineen määrille.

| Laitosesiköt    | Polttoainetta (tU) | Kapseleita (kpl) |
|-----------------|--------------------|------------------|
| OL1-2           | 2 904              | 1 383            |
| LO1-2           | 1 096              | 746              |
| OL3             | 2 500              | 1 175            |
| <b>Yhteensä</b> | <b>6 500</b>       | <b>3 304</b>     |



**Kuva 5.** Poistoeräkohtaisen polttoainemäärän vaihtelu Suomen eri ydinvoimalaitosesiköissä nykyisen käyttöikien mukaan. Vuodesta 2016 eteenpäin esitetään suunniteltuja arvoja, OL3-laitosesikön käynnistys on viivästynyt tästä suunnitellusta. Loppusydämen koko on OL1-2-esiköissä 500, LO1-2-esiköissä 313 ja OL3-esikössä 241 nippua.

lontilaitoksessa. Posiva luovuttaa kapselointilaitoksella syntyvien matala- ja keskiaktiivisten käyttöjätteiden huolehtimisvelvollisuuden TVO:lle. Kapselointilaitoksen käyttöjätteet käsitellään TVO:n laitosesiköillä OL1, OL2 ja OL3 käytettävissä olevilla järjestelmillä, välivarastoidaan MAJ- ja KAJ-varastoissa ja loppusijoitetaan TVO:n VLJ-luolaan tai Olkiluotoon suunnitella olevaan maaperäloppusijoituslaitokseen. Osa käyttöjätteistä tullaan valvonnasta vapauttamaan käsittelyn jälkeen. Käyttöjätteet siirtyvät TVO:lla YVL-ohje D.4 mukaiseen jätekirjanpitoon. Kapselointilaitoksella pidetään kirjaa siellä varastoitavien jätteiden annosnopeuksista ja määristä. Jätteet tulee voida erot-

taa TVO:n jätteistä, kun ne siirretään TVO:lle käsiteltäväksi.

Voimalaitosten jätteenkäsittelyjärjestelmiä hyödynnetään niin kauan, kun voimalaitokset ovat käytössä, eli nykyisillä suunnitelmilla noin vuoteen 2080 saakka. Myös VLJ-luolaa hyödynnetään niin kauan, kun luola on käytettävissä.

Voimalaitosten ja VLJ-luolan sulkemisen jälkeen jätteenkäsittelytoiminnot tapahtuvat kapselointilaitoksessa ja käyttö- sekä käytöstäpoistojätteet varaudutaan loppusijoittamaan myös käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen yhteyteen rakennettavaan matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilaan, alus-

■ **Taulukko 4.** Kapselointilaitoksessa syntyvien käyttö- ja käytöstäpoistojätteiden määrät käsiteltyinä ja pakattuina. Määrät perustuvat käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusmäärään 6500 tU.

| Kapselointilaitos  | Kiinteä (m <sup>3</sup> ) | Neste (m <sup>3</sup> ) |
|--------------------|---------------------------|-------------------------|
| Käyttöjäte         | 518                       | 3                       |
| Käytöstäpoistojäte | 119                       | 0,3                     |
| <b>Yhteensä</b>    | <b>637</b>                | <b>3,3</b>              |

tavien suunnitelmien mukaan noin 180 metrin syvyyteen. Tämän vuoksi kapselointi- ja loppusijoituslaitoksiin on jätetty suunnittelun yhteydessä tilavaraukset jätteenkäsittelytoimenpiteiden ja loppusijoittamisen toteuttamiseksi.

Aktiiviset käyttöjätteet ovat kapselointilaitoksen toiminnasta syntyviä aktiivisia nestemäisiä ja kiinteitä jätteitä. Jätteen aktiivisuus on peräisin käytetystä ydinpolttoaineesta.

Aktiiviset laitosjätteet jakautuvat seuraaviin jätetyyppeihin:

- nestemäinen jäte
- kuiva ja kiinteä säkkiin tai tynnyriin pakattu jäte (mm. huoltojäte, suodattimet)
- metalliromu

Jätteiden käsittely kapselointilaitoksessa sisältää ainakin seuraavat toiminnot:

- suurempien komponenttien dekontaminointi
- jätteiden lajittelu
- annosnopeusmittaus
- jätessäkkien väliaikaisvarastointi
- aktiivisten nestemäisten jätteiden siirto kuljetussäiliöön
- mahdollinen valvonnasta vapauttaminen tehdään joko kapselointilaitoksella tai OL1-3 laitosyksiköiden jätteenkäsittelytiloissa tapahtuvan käsittelyn yhteydessä

Kapselointilaitoksella ei ole tiloja jätteiden pitkäaikaiseen välivarastointiin, vaan jätteet siirretään lajittelun jälkeen pienen puskurivaraston kautta OL1-3 laitosyksiköiden jätteenkäsittelytiloihin. Kapselointilaitoksella voidaan varastoida noin yhden vuoden aikana syntyvät jätteet. Kapselointilaitoksella on jätetty tilavaraukset, jotta voidaan tarvittaessa hoitaa ydinjätehuolto itsenäisesti. Jätteenkäsittelyn säteilyvaikutukset ympäröiviin tiloihin, järjestelmiin ja toimin-

toihin on huomioitu kapselointilaitoksen suunnittelussa.

Kapselointilaitoksella noin 100 vuoden aikana syntyvien käyttö- ja käytöstäpoistojätteiden arvioidut määrät on esitetty taulukossa 4. Kapselointilaitoksella syntyvä käyttöjäte, josta TVO ottaa huolehtimisvelvollisuuden, on vain murto-osa laitossyksiköillä syntyvästä jätteiden määrästä.

### 6.3 KÄYTTÖJÄTTEIDEN LOPPUSIJOITUS

Posivan käyttöjätteet tullaan loppusijoittamaan TVO:n voimalaitosjätteiden loppusijoituslaitokseen, VLJ-luolaan, joka sijaitsee Olkiluodon Ulkopään niemellä. VLJ-luolan käyttöluvan ehtoja tullaan muuttamaan siten, että se mahdollistaa myös Posivan käyttöjätteiden loppusijoittamisen. Tämä tapahtuu ennen kuin Posivan käyttöjätteiden loppusijoitus on ajankohtaista. Posivan käyttöjätteet on otettu jo huomioon VLJ-luolan määräaikaissa turvallisuusarviossa ja erityisesti sen turvallisuusperustelussa vuonna 2021.

Olkiluodolle on suunnitteilla myös hyvin matala-aktiivisten ydinjätteiden loppusijoitustila, maaperäloppusijoitustila. Myös sen luvittamisessa on otettu huomioon Posivalta mahdollisesti tulevat käyttöjätteet, Posivan käyttöjätteet voivat olla suurelta osin maaperäloppusijoitukseen soveltuvia. Maaperäloppusijoitus on maailmalla paljon käytetty menetelmä, jota on käytössä mm. Ruotsissa ja Ranskassa. Maaperäloppusijoitus vaatii STUK:n toimintaluvan, jota haetaan 2020-luvun alkupuolella.

Posivalle rakennetaan tulevaisuudessa oma matala- ja keskiaktiivisen ydinjätteen loppusijoitustila. Tämä on alustavasti suunniteltu sijaitsevan ONKALO:n ajotunnelin varrella noin 180 metrin syvyydessä (kuva 2). Olkiluodon

jätehuollon infran tarpeita määrittelee mm. laitossyksiköiden käytöstäpoiston aikataulut, joten vielä ei ole määritetty Posivan matala- ja keskiaktiivisen ydinjätteen loppusijoitustilan rakentamisen aikataulua. Aikataulu ja tarve riippuvat lisäksi muun muassa myös VLJ-luolan käyttöistä ja maaperäloppusijoittamisen soveltuvuudesta Posivan käyttöjätteille.

### 6.3.1 MUU MAHDOLLINEN LOPPUSIJOITETTAVA MATALA- JA KESKI- AKTIIVINEN YDINJÄTE

Posivan matala- ja keskiaktiivisen ydinjätteen loppusijoitustilaan saatetaan myös tarvittaessa loppusijoittaa muun muassa käytettyjä reaktorin sisäosia. Käytetyillä reaktorin sisäosilla tarkoitetaan voimalaitoksen käytön aikana kertyviä käytettyjä polttoainekanaavia, säätösauvoja, sydäninstrumentteja, sydänritilöitä ym. reaktorin paineastian sisältä kertyviä neutronisäteilyn aktivoimia reaktorin osia (lukuun ottamatta käytettyjä polttoainenuippuja tai nippujen osia). Vähäisesti aktivoituneita osia, kuten höyrynerottimia, ei ole sisällytetty tähän jäteluokkaan vaan voimalaitosjätteisiin. Osien pinnoille voi kiinnittyä aktivoitumistuotteiden lisäksi myös fissiotuotteita ja aktinideja lähinnä polttoainevuotojen seurauksena. Käytettyihin reaktorin sisäosiin luetaan myös voimalaitoksen käytön päättyessä reaktorissa olevat polttoainekanaavat, säätösauvat ja sydäninstrumentit.

Laitossyksiköiden 60 vuoden toiminnan aikana käytettyjä reaktorin sisäosia arvioidaan kertyvän yhteensä noin 167 tonnia. Laitossyksiköiden käytön aikana kertyvät reaktorin sisäosat eivät ole varsinaista purkujätettä, mutta ne käsitellään ja loppusijoitetaan pääosin purkujätteiden kanssa. Eräät näistä komponenteista saattavat olla voimakkaasti aktivoituneita. Välivarastointitarpeen pienentämiseksi vähiten aktiiviset osat pyritään loppusijoittamaan voimalaitosjätteen mukana. Laitossyksiköiden käytöstäpoistosuunnitelmien tarkentuessa, suunnitellaan miten ja minne Olkiluodon voimalaitosalueella nämä käytetyt reaktorin sisäosat loppusijoitetaan.



## 7 LAITOKSEN KÄYTÖSTÄPOISTO

Ydinlaitoksen käytöstäpoistoa koskevalle työlle Suomessa asetetut tavoitteet on määritelty Ydinenergialaissa (990/1987) ja Säteilyturvakeskuksen määräyksessä ydinjätteiden loppusijoittamisen turvallisuudesta (Y/4/2018) sekä ydinvoimalaitosohjeissa (YVL-ohjeet), erityisesti YVL D.4 ja D.5. Ydinenergialain mukaisesti käytöstäpoistolle pitää hakea oma lupansa.

### 7.1 KAPSELOINTILAITOKSEN YDINLAITOSJÄTTEIDEN AKTIIVISUUSINVENTAARI

Kapselointilaitoksen käytön aikana syntyvän jätteen aktiivisuus on peräisin käytetystä polttoaineesta vapautuvista radioaktiivisista aineista. Suurin osa radioaktiivisista aineista päätyy käytön aikaiseen jätteeseen, mutta pieni osa voi päätyä kontaminoituneiden rakenteiden kautta myös käytöstäpoistojätteeseen. Pieni osa polttoaine-elementeistä on menettänyt tiiveytensä jo voimalaitoksella ja pienen osan oletetaan vaurioituvan kapseloinnin aikana. Kapseloinnin aikana vaurioituvan polttoaineen määrää on arvioitu niiden kokemusten pohjalta, joita voimalaitoksella on saatu polttoaineen siirroista.

Arvio kapselointilaitoksella syntyvien jätteiden aktiivisuusinventaarista perustuu oletukseen, että käyttöhäiriöiden seurauksena arvioidaan vaurioituvan enintään 87 polttoainesauvaa ja kapselointilaitoksen jätteeseen päätyvän enintään 3,6 kg crudia. Arvioihin sisältyvät laitossyköiden OL1-3 ja LO1-2 polttoaine. Käyttö- ja käytöstäpoistojätteen inventaari on odotusarvoltaan noin 53 GBq mutta konservatiivisen arvion yläraja on 544 GBq.

## 8 YDINJÄTEHUOLLON KUSTANNUKSET JA ENNALTA VARAUTUMINEN

Posivan kapselointilaitoksen toiminnan alettua syntyy sen käytöstä jonkin verran ydinjätettä. Lisäksi toiminnan päätyttyä noin 2120-luvulla jätettä syntyy myös kapselointilaitoksen käytöstäpoistamisesta. Sekä käyttöjätteet että käytöstäpoistojätteet ovat hyvin matala, matala- tai keskiaktiivia jätteitä. Posivan ydinjätehuollon kustannukset syntyvät em. käyttöjätteiden ja käytöstäpoistojätteiden huollosta sekä loppusijoituslaitoksen käytöstäpoistosta eli sulkemisesta.

### 8.1 KUSTANNUSARVIO

Posiva tulee hakemaan ennen käytön aloittamista yhdessä TVO:n kanssa laitoksen käyttöjätteiden huolehtimisvelvollisuuden siirtoa TVO:lle, joka tulisi käsittelemään, varastoimaan ja loppusijoittamaan Posivan toiminnasta syntyvät laitosjätteet toistaiseksi, kuten TEM:n hyväksymissä Posivan ydinjätehuollon periaatteissa on kuvattu. Posivan käyttöjätteiden huollon kustannusten arvioidaan olevan noin 28 000 euroa vuodessa Posivan 58 vuoden käytön aikana.

Loppusijoituslaitoksen sulkeminen voidaan aloittaa, kun käyttötoiminta on päättynyt loppusijoitustilojen alueella. Käytännössä tämä tarkoittaa tilannetta, jossa loppusijoitustunneli on täytetty ja tulpattu. Tilojen sulkeminen tapahtuu vaiheittain esimerkiksi valmiiksi saadun

loppusijoituspaneelin keskustunnelien osalta. Kun kaikki paneelit on suljettu, voidaan sulkea tekniset tilat, loput ajoneuvoyhteydet ja kuilut ja ajotunneli.

Kapselointilaitoksen käytöstäpoisto tapahtuu samanaikaisesti loppusijoituslaitoksen sulkemisen viimeisen vaiheen kanssa tämänhetkisen aikataulun mukaan noin 2120-luvulla. Käytöstäpoiston yhteydessä kapselointilaitoksen radioaktiiviset osat ja järjestelmät puretaan ja pakataan.

Käytöstäpoiston ja sulkemisen aikana arvioidaan syntyvän myös muita kuluja, mm. hallinnosta ja vuokrista.

### 8.2 TULEVIIN KUSTANNUKSIIN VARAUTUMINEN

Posiva tulee varautumaan laitostensa tuleviin jätehuoltokustannuksiin ydinenergialain ja -asetuksen mukaisesti. Varautumisjärjestelyillä varmistetaan, että aina on olemassa varat, rahastoituina tai vakuuksina, kaikkien jo kertyneiden ydinjätteiden huollon sekä ydinlaitosten käytöstäpoiston turvalliseksi järjestämiseksi.

Vuoden 2021 alustavassa jätehuoltokaaviossa on Posivan laitosten vuoden 2024 loppuun mennessä kertyvien jätteiden huollon ja laitosten käytöstäpoiston sekä hallinto- ja viranomaistyön tuleviksi kustannuksiksi arvi-

■ **Taulukko 5.** Posivan ydinjätehuollon kustannusarvio vuoden 2018 kokonaiskustannusarvion mukaisesti (kustannustaso 2018).

| Kustannuslaji                                                                                  | Kustannusarvio (milj. €) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Käyttöjätteiden loppusijoitus                                                                  | 2                        |
| Keskustunnelien täyttö                                                                         | 42                       |
| Loppusijoituslaitoksen sulkeminen                                                              | 55                       |
| Kapselointilaitoksen käytöstäpoisto                                                            | 10                       |
| Käytöstäpoiston ja sulkemisen aikaiset muut kulut                                              | 24                       |
| <b>YHTEENSÄ</b>                                                                                | <b>133</b>               |
| <b>YHTEENSÄ</b> sis. epävarmuuslisän (käyttöjätteet ja keskustunnelien täyttö 15 %, muut 20 %) | <b>157</b>               |

oitu noin 141 miljoonaa euroa (kustannustaso 2019, sisältää epävarmuuslisän), koska jätehuoltokaaviossa tällä hetkellä huomioonotettava polttoainemäärä on pienempi kuin kokonaiskustannusarviossa (taulukko 5).

Jätehuoltokaavio tarkistetaan kolmen vuoden välein seuraaviksi 3+2 vuodeksi eteenpäin toimenpiteiden edistymisen, kustannustason muuttumisen ja mahdollisten suunnitelma- ja kustannusarviomuutosten perusteella. Posivan noudattama taloudellinen varautuminen varmistaa ydinjätehuollon turvalliseen toteuttamiseen tarvittavien varojen olemassaolon.

## 9 YHTEENVETO

Posivan tehtävänä on omistajiensa käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittaminen. Posiva hakee tällä hakemuksella käyttö lupaa käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamiseksi. Posivalla on turvallisesti arvioidut käytetyn polttoaineen loppusijoituksen ratkaisut ja pitkäaikaisturvallisuuden varmistava turvallisuusperustelu, nämä toimitettiin osana kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen lopullista turvallisuusselostetta STUK:lle tämän käyttö lupahakemuksen osana. STUK:n tulee hyväksyä nämä ennen kuin käyttö lupa voidaan myöntää.

Posivan kapseloinnista syntyvien käyttö jätteiden huolehtimisvelvollisuus siirretään TVO:lle, jolla on olemassa menettelyt toiminnasta syntyvien käyttö jätteiden huoltamiseksi. Posivalle jää omien käytöstäpoistojätteiden huolehtimisvelvollisuus. Menettelyt kattavat kaikkien jäte-tyyppien määrien arviot, käsittelyn, välivarastoinnin, käytöstäpoiston ja loppusijoittamisen sekä valvonnasta vapauttamisen. Jätehuollon turvallisuutta on arvioitu lopullisessa turvallisuusselosteessa sekä käytöstäpoistosuunnitelmassa.

Eri ydinlaitosten ydinjätehuollon toimenpiteet on kuvattu ja niille on asetettu aikataulut ja edelleen arvioitu niiden kustannukset. Ydinjätehuollon toimenpiteet ja aikataulut kuvataan yksityiskohtaisesti kolmen vuoden välein julkaitavissa YJH-ohjelmissa. Viimeisin YJH-ohjelma (YJH-2021) toimitettiin työ- ja elinkeinoministeriölle syksyllä 2021. Posivalla on ydinjätehuollon menettelyt ja suunnitelmat olemassa sekä kustannuksiin varautuminen kunnossa.



# 05

PÄÄPIIRTEINEN SELVITYS TEKNISISTÄ  
TOIMINTAPERIAATTEISTA JA  
RATKAISUISTA SEKÄ MUISTA  
JÄRJESTELYISTÄ, JOILLA  
TURVALLISUUS ON VARMISTETTU  
SEKÄ SELVITYS NOUDATETUISTA  
TURVALLISUUSPERIAATTEISTA  
SEKÄ ARVIO PERIAATTEIDEN  
TOTEUTUMISESTA



■ Kuva: Posiva Oy

# SISÄLLYSLUETTELO

## KAPSELOINTI- JA LOPPUSIJOITUSLAITOKSEN TURVALLISUUS .....69

### Tiivistelmä kapseli- ja loppusijoituslaitoksen yleisistä turvallisuusperiaatteista .....69

Ydinjätelaitoksen tulee osoittaa turvallisuusvaatimusten täyttyminen.....70

Ydinjätelaitoksilla turvallisuus varmistetaan luokittelemalla järjestelmät turvallisuusmerkityksen mukaan .....71

Ydinjätelaitoksien pitkä käyttöikä varmistetaan ikääntymisen hallinnalla. ....72

Käytön turvallisuudessa otetaan huomioon ihmisten virheiden mahdollisuus ja estäminen .....73

Ydinjätelaitosten suunnittelun lähtökohtana on ollut turvallinen käyttö ja pitkäaikais-turvallisuuden varmistaminen .....74

Ydinjätelaitosten sijaintipaikka on Olkiluodon voimalaitosalueella .....75

Ydinjätelaitosten käyttö on säteilyturvallista työntekijöille ja ympäristölle .....76

### Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen turvallisuusperiaatteet .....77

Ydinjätelaitosten turvallisuus on varmistettu noudattamalla rakenteellista syvyys-suuntaista turvallisuusperiaatetta.....77

Ydinjätelaitosten turvallisuustoimintoina on ydinpolttoaineesta huolehtiminen käsittelyn kaikissa vaiheissa.....78

Ydinjätelaitoksilla estetään radioaktiivisten aineiden leviäminen.....79

Ydinjätelaitoksilla syntyvien käyttöjätteiden käsittely, varastointi ja käsittely hoidetaan turvallisesti Olkiluodon ydinvoimalaitoksella.....80

Ydinjätelaitoksilla on varauduttu ulkoisiin ja sisäisiin turvallisuuteen vaikuttaviin tapahtumiin .....80

Ydinjätelaitosten valvonta ja ohjaus on suunniteltu turvallisesti .....82

Ydinjätelaitoksilla on jo suunnittelusta alkaen otettu huomioon käytöstäpoiston turvallisuus .....84

## Ydinjätelaitoksen rakentamisen ja käyttöönoton turvallisuus.....85

Ydinjätelaitokset rakennetaan turvallisesti turvallisiksi .....85

Ydinjätelaitokset otetaan käyttöön turvallisesti .....85

## Ydinjätelaitoksen käyttötoiminnan turvallisuus .....85

Ydinjätelaitosten käyttötoiminta on turvallista.....85

Käyttökokemuksia ja turvallisuustutkimuksia hyödynnetään turvallisuuden parantamisessa.....86

Ydinjätelaitoksille on laadittu turvallisuustekniset käyttöehdot.....86

Ydinjätelaitosten kuntoa valvotaan turvallisuuden varmistamiseksi .....86

Säteilymääriä ja radioaktiivisten aineiden päästöjä valvotaan .....88

Turvallisuuskulttuuri on Posivan organisaation lähtökohta .....89

## Loppusijoitustoiminnan prosessikuvaus .....90

Loppusijoitusreiät porataan kallioon.....90

Loppusijoitusreikä ja tunneli suljetaan puskurilla ja täytöllä .....90

## Ydinjätelaitoksilla on turva- ja valmiusjärjestelyt .....92

Valmiusjärjestelyt tulee olla suunniteltuna onnettomuuden varalta .....92

Valmiusohjeet ovat yhteisiä Olkiluodossa .....92

Olkiluodon valmiusorganisaation vastuut on määritelty .....93

Valmiusorganisaatio harjoittelee säännöllisesti.....93

Toiminta valmiustilanteessa perustuu tunnistettuihin toimintoihin.....93

Valmiustilanne puretaan hallitusti .....93

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| Ydinjätelaitoksilla on turvajärjestelyt kunnossa ..... | 94 |
|--------------------------------------------------------|----|

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Työskentely ja asiointi ydinjätelaitoksella tapahtuvat luvitetusti ..... | 94 |
|--------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| Turvahenkilöstö on koulutettu uhkatilanteisiin ..... | 94 |
|------------------------------------------------------|----|

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Turvallisuuden toteuttamisella on kansainvälisiä velvoitteita ..... | 94 |
|---------------------------------------------------------------------|----|

## LOPPUSIJOITUKSEN HISTORIA SUOMESSA ..96

### LOPPUSIJOITUSJÄRJESTELMÄ MAHDOLLISTAA TURVALLISEN LOPPUSIJOITUKSEN .....98

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Käytetyn ydinpolttoaineen ominaisuudet edesauttavat loppusijoittamista..... | 99 |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Käytetty ydinpolttoainetta jäähdytetään välivarastossa kunnes se soveltuu loppusijoitukseen..... | 99 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| Pitkäaikaisturvallisuus varmistetaan teknisillä vapautumisesteillä ..... | 100 |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                       |     |
|-------------------------------------------------------|-----|
| Olkiluodon kallioperä soveltuu loppusijoitukseen..... | 102 |
|-------------------------------------------------------|-----|

### LOPPUSIJOITUSPAIKAN SOVELTUVUUS LOPPUSIJOITUKSEEN ON VARMISTETTU TUTKIMUKSIN .....105

|                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Loppusijoituspaikkatutkimukset ovat kertoneet menneisyydestä ja ennustavat tulevaisuutta ..... | 105 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Pintaympäristön tutkimukset ja mallinnukset paljastavat tulevaisuuden Olkiluodon olosuhteita ..... | 105 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tutkimus- ja tarkkailuohjelmalla varmistetaan loppusijoituspaikan soveltuvuutta ..... | 106 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|

## KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN LOPPUSIJOITTAMINEN ON TURVALLISTA .....110

|                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Turvallisuusperustelulla arvioidaan pitkäaikaisturvallisuutta ottaen huomioon kattavasti erilaisia tulevaisuuden kehityskulkuja ..... | 112 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Loppusijoituksen sulkemisen jälkeisenä ajanjaksona aiheuttama säteilyaltistus..... | 113 |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Harvinaisten tapahtumien huomioon ottaminen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuutta arvioitaessa ..... | 114 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                            |     |
|------------------------------------------------------------|-----|
| Pitkäaikaisturvallisuuden mallintamisen luotettavuus ..... | 116 |
|------------------------------------------------------------|-----|

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| Turvallisuusperustelun luotettavuus ..... | 116 |
|-------------------------------------------|-----|

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| Yhteenveto pitkäaikaisturvallisuuden toteutumisesta ..... | 117 |
|-----------------------------------------------------------|-----|

## YHTEENVETO TURVALLISUUSPERIAATTEIDEN TOTEUTUMISESTA.....119

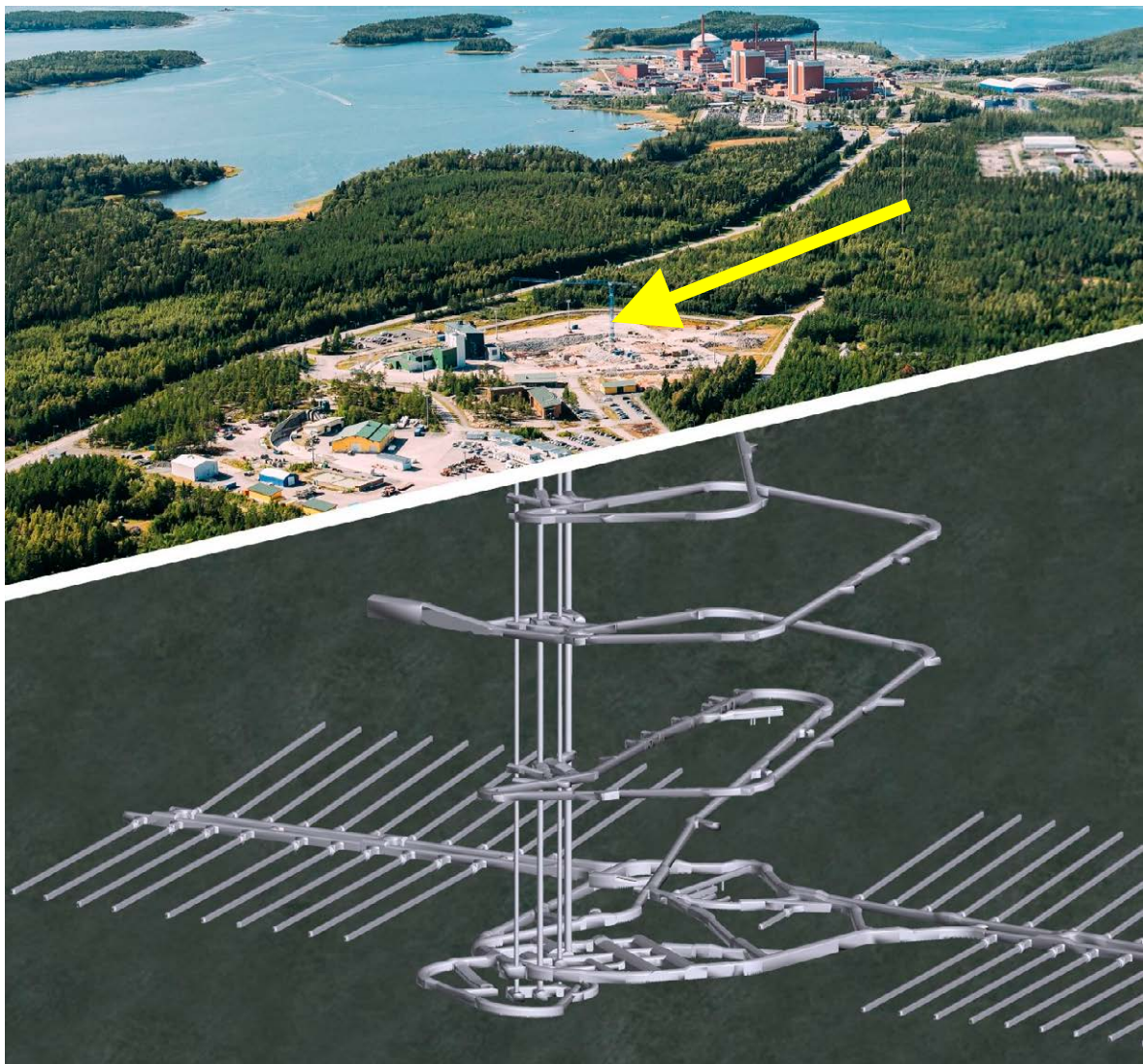


# KAPSELOINTI- JA LOPPUSIJOITUSLAITOKSEN TURVALLISUUS

## TIIVISTELMÄ KAPSELI- JA LOPPUSIJOITUSLAITOKSEN YLEISISTÄ TURVALLISUUSPERIAATTEISTA

Posiva Oy:n (Posiva) ydinjätelaitokset koostuvat kapselointilaitoksesta ja loppusijoituslaitoksesta (kuva 1). Näiden laitosten suunnittelu ja rakentaminen on tehty noudattaen ydin- ja säteilyturvallisuudelle annettua säännöstöä.

Kapselointilaitos sijaitsee loppusijoituslaitoksen yläpuolella. Maanpäällisiä rakennuksia ja maanalaisia tiloja yhdistävät kuilut, joita pitkin loppusijoituskapselit ja työntekijät liikkuvat erillisillä hisseillä noin 430 metrin syvyydessä sijaitsevalle loppusijoituslaitokselle. Ajoneuvoliikenne loppusijoituslaitokseen tapahtuu ajotunnelin kautta. Loppusijoitustoiminnan suunnittelussa ja toteutuksessa sekä käytössä on otettu huomioon ympäristön, väestön ja henki-



**Kuva 1.** Kapselointilaitoksella pakataan välivarastolla jäähtynyt käytetty ydinpolttoaine loppusijoituskapseleihin. Kapselointilaitoksesta suljettu kapseli lasketaan kapselihissillä noin 430 metrin syvyyteen loppusijoituslaitokseen, jossa se siirretään loppusijoitusreikään ja peitetään bentoniitilla. Lopuksi tunnelit täytetään ja suljetaan tulpalla. Keltainen nuoli osoittaa kapselointilaitoksen paikkaa (kuvassa rakenteilla).

lökunnan säteilyturvallisuus. Loppusijoituksen turvallisuus on varmistettu satojen tuhansien vuosien ajalle, tekemällä pitkäaikaisturvallisuusanalyysit loppusijoitusjärjestelmän toiminnasta kansallisten ja kansainvälisten vaatimusten ja suositusten mukaisesti.

Kapselilaitoksella käsitellään kerrallaan vähäinen määrä käytettyä ydinpolttoainetta, jota on välivarastoitu kymmeniä vuosia. Jäähdyneen ydinpolttoaineen säteilytaso on laskenut noin tuhannesosaan siitä, mitä se oli reaktorista poistettaessa. Käytetyn ydinpolttoaineen käsittelyjärjestelmät kapselointilaitoksella on suunniteltu ja rakennettu siten, että polttoaineen käsittely on turvallista. Käytetty ydinpolttoaine suljetaan loppusijoituskapseliin. Polttoaine-elementit sijoitetaan kapselin sisäosaan, jonka tehtävä on antaa mekaanista suojaa. Kapselin kuparivaippa suojaa kokonaisuutta korroosiolta. Koska jäähtynyttä ydinpolttoainetta käsitellään kerrallaan pieniä määriä ja kapselointilaitos ja sen toiminta on suunniteltu turvalliseksi, on riski radioaktiiviselle päästölle hyvin pieni. Työntekijöiden turvallisuus polttoaineen suoralta säteilystä ja prosessissa syntyvältä matala- ja keskiaktiiviselta käyttöjätteeltä on varmistettu käyttämällä kauko-ohjattavia järjestelmiä ja menettelyjä, joilla minimoidaan radioaktiivisen kontaminaation määrä ja tarve työskennellä säteilevän kohteen läheisyydessä.

Kapselointilaitoksella tapahtuvan onnettomuuden riski on hyvin pieni ja onnettomuuden seuraukset vähäisiä. Jos seurauksiltaan pahimmaksi arvioitu onnettomuus kuitenkin tapahtuisi, se aiheuttaisi konservatiivisiin oletuksiin perustuvien analyysien perusteella suurimmillaan noin 2,3 mSv säteilyannoksen kapselointilaitoksen lähiympäristön asukkaalle. Tämä on noin puolet asetusta vuosiannosrajasta 5 mSv. Seurauksen merkitystä vähentää kuitenkin se, että laitoksen lähiympäristössä ei ole pysyvää asutusta.

Loppusijoituskapselit siirretään loppusijoituslaitokselle kapselihissillä. Loppusijoituskapselit todetaan puhtaiksi kontaminaatiosta, jolla varmistetaan että kapselin pinnalla ei kulkeudu radioaktiivisia aineita loppusijoituslaitokselle. Kapseliin suljettunakin käytetty ydinpolttoaine säteilee kuitenkin vielä niin paljon, että siirrot tehdään kauko-ohjatusti. Loppusijoituslaitok-

sessä kapseli siirretään loppusijoitustunneliin ja asennetaan tunnelin lattiaan porattuun reikään. Kapselin ympärille asennetaan bentoniittisavesta valmistettu puskuri, jonka tehtävänä on rajoittaa veden pääsyä kapselin pinnalle. Loppusijoitustunnelit suljetaan täyttömateriaalilla ja suljetaan teräs-betonitulpalla.

Loppusijoituksen turvallisuus hyvin pitkille ajanjaksoille, jopa miljoonaa vuoteen, on varmistettu kansallisten ja kansainvälisten suositusten ja vaatimusten mukaisella pitkäaikaisturvallisuuden arvioinnilla (SC-OLA). Tämä analyysi koostuu useasta eri raportista ja se on toimitettu Säteilyturvakeskukselle (STUK) hyväksyttäväksi, hyväksyntä tarvitaan käyttöluvan saamiseksi. Pitkäaikaisturvallisuuden arviointiraportit löytyvät myös Posivan internet-sivuilta.

Pitkäaikaisturvallisuuden analysoinnissa arvioidaan miten loppusijoituskapselit kestävät vuosituhansien ajan muuttuvia olosuhteita loppusijoituslaitoksessa. Arvioinnissa arvioidaan myös se, että jos harvinainen tapahtuma tapahtuu ja kapseli hajoaa miten käy ydinpolttoaineen sen sisällä. Säteilyn vaikutuksilta suojaa loppusijoituksen syvyys, ydinpolttoaineen liukenemattomuus, kapselin sisäosa ja kuparivaippa, puskurin edesauttamat vakaat olosuhteet ja syvien pohjavesien hitaat liikkeet.

Analyyseissä on analysoitu perustapauksia, joissa kaikki menee kuten on oletettu ja tulevana vuosituhansina loppusijoituslaitoksen ympäristö kehittyä oletetusti. Huomioon otettu tulevat lähitulevaisuuden merenpinnan nousut, pitkien aikavälien jääkaudet ja maanpinnan nousut ja laskut sekä niiden aiheuttamat muutokset loppusijoitustilan läheisyydessä ja vaikutukset loppusijoituskapselien kestävyysasteeseen. Lisäksi on analysoitu suuria määriä harvinaisempia tapauksia ja onnettomuustilanteita. Analyysien tulosten mukaan pitkäaikaisturvallisuus säilyy satojen tuhansien vuosien ajan ja teoreettis-sakin onnettomuustilanteissa säteilyannokset jäävät pieniksi.

## YDINJÄTELAITOKSEN TULEE OSOITTAA TURVALLISUUS- VAATIMUSTEN TÄYTTYMINEN

Posivan ydinlaitosten ydin- ja säteilyturvallisuudelle asetetut vaatimukset ovat peräisin

ydinenergia-alan säännöstöstä mm. ydinenergialaista, ydinenergia-asetuksesta ja säteilylainsäädännöstä sekä Säteilyturvakeskuksen (STUK) antamista määräyksistä ja ohjeista (YVL-ohjeet). Lisäksi ydinlaitoksia koskee myös normaalin teollisuuden vaatimukset mm. rakentamisen ja työturvallisuuden osalta. Posivalla seurataan, osana TVO-konsernia, säännöllisesti lainsäädännön ja muun ohjeistuksen täyttymistä.

Osana käyttöluvapahakemusaineistoa toimitetaan STUK:lle hyväksyttäväksi Posivan arvio turvallisuusvaatimusten täyttymisestä, jonka tehtävänä on todentaa ydinenergia-alan säännösten vaatimusten tähtyminen Posivan ydinlaitosten muun muassa rakentamisen, laitosmuutoksien, yritys-, turva- ja valmiusjärjestelyjen sekä ydinlaitosten käyttö-, säteily- ja ydinturvallisuuden osalta. Myös ydinmateriaalivalvonnan ja ydinjätehuollon vaatimusten tähtyminen todennetaan. Kaiken kaikkiaan ydinenergia-alan säännöstö sisältää hieman alle 8 000 vaatimusta, joille tehdään tähtytymisen arviointi.

Turvallisuusvaatimusten tähtyminen tulee osoittaa myös jatkossa säännöllisesti. Käyttöluvassa määritellään ydinlaitoksille määräaikaisen turvallisuusarvion ajankohdat, ydinenergialain mukaan ydinjätelaitoksille tulee tehdä vähintään 15 vuoden välein määrääkainen turvallisuusarvio. Määrääkaisessa turvallisuusarvio sisältää pääpiirteissään saman aineiston kuin käyttöluvapahakemusaineisto, turvallisuusarviossa otetaan kuitenkin huomioon tehdyt laitosmuutokset, käyttökokemukset, turvallisuustutkimusten tulokset ja laskentamenetelmissä tapahtunut kehitys. Määrääkainen turvallisuusarvio toimitetaan STUK:lle hyväksyttäväksi.

## YDINJÄTELAITOKSILLA TURVALLISUUS VARMISTETAAN LUOKITTELEMALLA JÄRJESTELMÄT TURVALLISUUSMERKITYKSEN MUKAAN

Säteilyturvakeskuksen määräyksen ydinjätteen loppusijoituksen turvallisuudesta (STUK Y/4/2018) 5 §:n mukaan ydinlaitoksen käytön turvallisuustoiminnot sekä pitkäaikaisturvallisuuden turvallisuustoiminnot on määriteltävä,

ja niitä toteuttavat sekä niihin liittyvät järjestelmät, rakenteet ja laitteet on luokiteltava niiden käyttötarkoitus huomioiden joko käyttö- tai pitkäaikaisturvallisuusmerkityksen, tai tarvittaessa molempien, perusteella. Turvallisuusluokitusta on käytettävä järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden laatuvaatimusten määrittämisessä.

Turvallisuusluokituksella ohjataan ydinlaitoksen suunnittelua, valmistusta, tarkastuksia ja hyväksyntöjä kaikissa sen elinkaaren vaiheissa. Ydinlaitosten turvallisuusluokitusta ohjaa viranomaisen antama YVL-ohje B.2. Siinä esitetään muun muassa ydinlaitosten turvallisuus- ja maanjäristysluokitusta ja luokitusasiakirjan sisältöä koskevat vaatimukset sekä laitoksen osille luokitukselta seuraavat vaatimukset laitoksen suunnittelun, rakentamisen ja käytön aikana. Posivan turvallisuusluokittelu on tehty YVL-ohjeen B.2 linjausten mukaisesti.

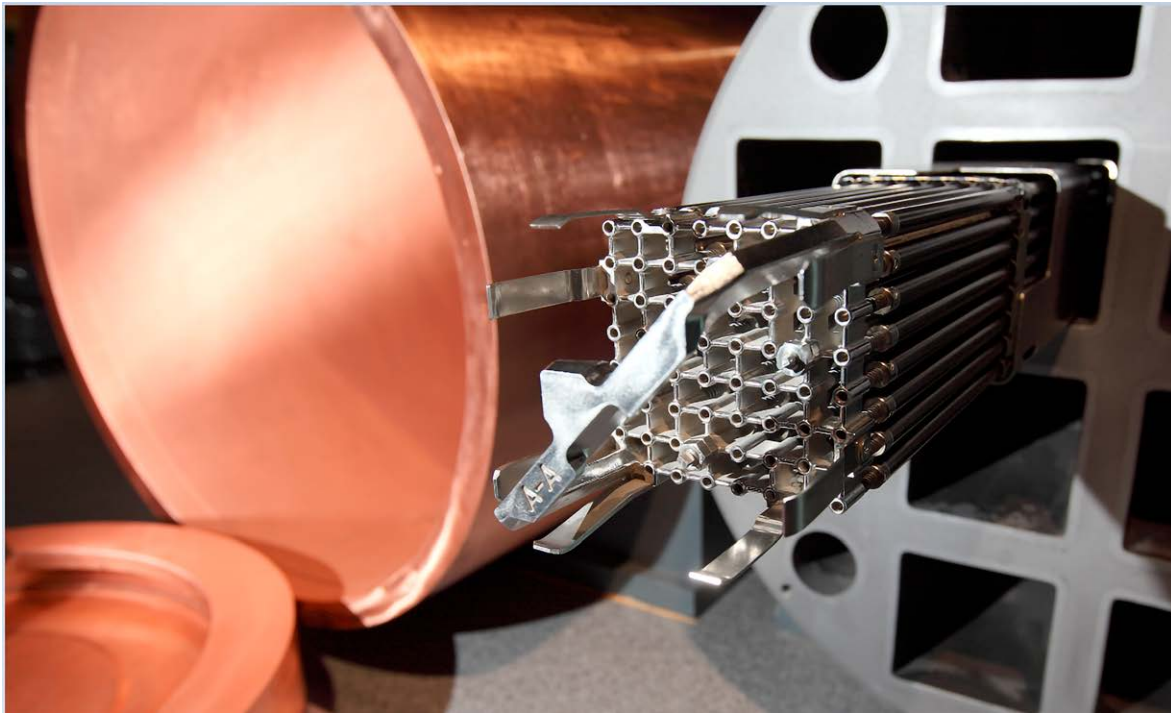
Pitkäaikaisturvallisuuden osalta luokitusta tarkennetaan YVL-ohjeessa D.7 sellaisten järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden osalta, joilla on voi olla merkitystä laitoksen henkilöstön säteilyturvallisuudelle tai radioaktiivisten aineiden päästöjen estämisessä tai rajoittamisessa. Merkityksellisiä toimintoja voivat olla erityisesti jätepakkausten siirrot, säteilymittaukset sekä jätepakkauksia ympäröivät puskurimateriaalit, täyttö- ja sulkemisrakenteet sekä loppusijoitus-tiloja ympäröivä lähikallio. Posivan turvallisuusluokittelussa on huomioitu myös YVL-ohjeen D.7 vaatimukset.

Järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden luokitus määrityy niiden turvallisuustehtävien perusteella vaativimmasta turvallisuusluokasta Turvallisuusluokka 1:stä (TL) alimpaan luokkaan EYT/STUK sekä luokkaan EYT, jossa luokituksen kohteella ei ole ydinturvallisuusmerkitystä.

Kapselointilaitoksen pääosan muodostavat kuljetussäiliöiden ja tyhjen loppusijoituskapselien vastaanottotila, kuljetussäiliöiden siirtokäytävä, kapselien siirtokäytävä, polttoainenippujen käsittelykammio, kapselien sulkemiseen ja tarkastuksiin tarvittavat tilat sekä loppusijoitusta odottavien kapselien välivarasto.

Maanalainen loppusijoituslaitos jakautuu loppusijoitus-tiloihin, joihin käytettyä ydinpolttoainetta sisältävät kapselit sijoitetaan, sekä muihin maanalaisiin tiloihin, joita ovat mm. sijoitustun-





**Kuva 2.** Loppusijoituksen tärkeimmät järjestelmät ovat käytetty ydinpolttoaine ja loppusijoituskapselin sisäosa ja ku-parikapseli. Myös muita järjestelmiä, jotka varmistavat muun muassa pitkäaikaisturvallisuuden toteutumista, polttoaineen ehjänä pysymistä, säteilyn leviämisen estämistä ja säteilyn mittaamista, on luokiteltu tärkeimpiin järjestelmiin.

neleita yhdistävät keskustunnelit, pystykuilut sekä tekniset tilat, mukaan lukien tilat, joissa käytettyä polttoainetta sisältäviä suljettuja kapseleita voidaan varastoida tilapäisesti.

Posivan loppusijoituslaitoskokonaisuudessa ei ole sellaisia järjestelmiä, rakenteita tai laitteita, joiden turvallisuusmerkitys edellyttäisi niiden luokittelemista korkeimpaan turvallisuusluokkaan TL1. Käytetty ydinpolttoaine, loppusijoituskapseli ja kuivausaseman polttoaineteline luokitellaan turvallisuusluokkaan TL2.

Ydinturvallisuuden kannalta merkityksellisiä ja siten turvallisuusluokkaan TL3 luokiteltuja järjestelmiä, rakenteita, laitteita ovat esimerkiksi:

- käytettyä polttoaineen siirtämiseen tarkoitettu kuljetus- ja siirtosäiliö ja sen käsittelyjärjestelmät
- polttoaineen käsittelykammio
- käytetyn polttoaineen käsittelylaitteet
- käytettyjen polttoaine-elementtien kuivausjärjestelmä
- suljetun kapselin käsittelylaitteet
- valvonta-alueen ilmastointi- ja suodatuslaitteet

- säteilymittauslaitteet
- päästöjen valvontaan tarvittavat laitteet.

Loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuus perustuu radioaktiivisten aineiden eristämiseen luonnosta teknisin vapautumisestoin, joiden tarkoitus on toimia niin kauan kuin käytetyn polttoaineen sisältämistä radionuklideista voisi olla merkittävää haittaa ympäristölle. Pitkäaikaisturvallisuuden perusteella turvallisuusluokkaan TL3 luokitellaan:

- loppusijoitusreiät, -tunnelit ja niiden täyttö,
- keskustunnelit sekä tunnelitäyttö.

Suurin osa kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen järjestelmästä, rakenteista ja laitteista kuuluu turvallisuusluokkaan EYT/STUK tai EYT.

## YDINJÄTELAITOKSIEN PITKÄ KÄYTTÖIKÄ VARMISTETAAN IKÄÄNTYMISEN HALLINNALLA

Posivan ikääntymisenhallinnan ensisijainen tavoite on ydinturvallisuuden varmistaminen loppusijoitustoiminnan kaikissa eri vaiheissa ja siihen liittyvän laitoskokonaisuuden hallinta koko käyttöiän aikana. Ydinturvallisuuden taso



pidetään korkeana toteuttamalla ikääntymisenhallintatoimenpiteitä siinä laajuudessa kuin eri laitossien turvallisuusmerkitykset edellyttävät. Turvallisuuden lisäksi laadukkaasti toteutetulla ikääntymisenhallinnalla vaikutetaan muun muassa kunnossapitotoiminnan tarkoituksenmukaisuuteen.

Ikääntymisenhallinnan avulla varmistetaan, että eri laitossat täyttävät niille suunnitteluvaiheessa asetetut toimintavaatimukset koko käyttöajan riittävän turvallisuusmarginaalin turvin. Mikäli ikääntymisenhallinnan toimenpiteillä havaitaan, että laitososa on ikääntymässä ennenaikaisesti ennen suunniteltua käyttöänsä loppua, ikääntymisen vaikutukset voidaan hallita turvallisesti vaarantamatta järjestelmän, laitteen, rakenteen tai koko toiminnan turvallisuutta. Toisaalta onnistuneella ikääntymisen hallinnalla laitossia voidaan käyttää myös alkuperäisen suunnitteluiän yli. Ikääntymisenhallintaa toteutetaan suunnitelmallisesti myös laitosten johdonmukaisella kehittämisellä, kunnossapidolla, modernisoinneilla sekä laitemuutoksilla ja -uusinnoilla, joilla edistetään turvallisuutta ja tuotantovarmuutta käyttökokemuksiin perustuen.

Ikääntymisenhallinta kattaa Posivan loppusijoitustoimintaan liittyvän laitoskokonaisuuden, jonka muodostavat kapselointi- ja loppusijoituslaitos, ja siinä tarkastellaan ensisijaisesti ydinturvallisuuden kannalta merkittäviä laitossia järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden turvallisuusluokitukseen perustuen.

Ikääntymisenhallinnan laajuuteen valittujen, ydinturvallisuuden kannalta tärkeiden järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden osalta toteutetaan yksityiskohtaisempaa ikääntymisen seuranta- ja tähän liittyviä raportointimenettelyjä. Edellä mainittujen lisäksi kunnonvalvonta- ja kunnossapitotoimenpiteiden kautta hallitaan myös kaikkien muiden laitosskohteiden ikääntymistä.

Käytännössä ikääntymisenhallinnan toimenpiteiden toteutuksessa merkittävässä roolissa ovat järjestelmä- ja laitevastaavat, jotka toimivat oman vastuualueensa asiantuntijoina. Vastuuhenkilöt seuraavat ja raportoivat laitossosan kunnossapitoon liittyvistä asioista ja tarvittaessa käynnistävät toimenpiteitä, joilla ikääntymisen vaikutukset hallitaan ennakoivasti ja turvallisesti. Henkilöstön osaamisen riittävä taso

varmistetaan säännöllisillä arvioinneilla ja asiantuntemusta kehitetään muun muassa koulutusten avulla. Tarvittavin osin käytettävissä on myös ulkoista asiantuntemusta muun muassa Posivan omistajayritysten, Teollisuuden Voiman ja Fortum Power and Heatin kautta.

Ikääntymisenhallinnan kannalta käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen erityispiirteitä ovat:

- toiminnan pitkäjänteisyys,
- väliaineellisten prosessien vähäinen lukumäärä,
- kalliotekniiikan merkittävä rooli,
- maanalaiset ympäristöolosuhteet,
- merkittävän suuret paikalliset säteilytasot (polttoaineen kuivakäsittely), sekä
- loppusijoitustoiminnan erilaiset ajalliset vaiheet.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttöikä on suunniteltu noin 100 vuotta, minkä vuoksi myös teknologisen ikääntymisen hallinta on erityisessä roolissa.

Toiminnan eri vaiheiden kestot on otettu huomioon suunnitteluvaatimuksissa esimerkiksi määritettäessä suunnittelukäyttöikää, joka on lähtökohtaisesti teknisten laitteiden osalta 30 vuotta ja kalliorakenteille 100–120 vuotta. Kapselointilaitoksen sekä ilmanvaihto- ja nostinlaiterakennuksille suunnittelukäyttöikä on 100 vuotta.

## KÄYTÖN TURVALLISUUDESSA OTETAAN HUOMIOON INHIMILLISTEN VIRHEIDEN MAHDOLLISUUS JA ESTÄMINEN

Turvallisuuden varmistamiseen kuuluu myös ihmisen tekemien virheiden hallinta. Inhimillisten tekijöiden hallintaperiaatteet voidaan karkeasti jakaa kahteen:

- Organisatorisiin keinoihin
- Teknisiin menettelyihin

Organisatoriset keinot ovat hallinnollisia menettelytapoja inhimillisten virheiden tunnistamiseen ja niiden välttämiseen. Sellaisia ovat asiakirjojen laatimis-, tarkastus- ja hyväksyn-



■ Kuva 3. Posivan maanpäällinen laitosalue, etualalla kapselointilaitos kuvasovitteenä.

täprosessit, joilla varmistetaan että ratkaisut ovat saaneet turvallisuusmerkityksensä mukaisen käsittelyn organisaatiossa, organisaatioiden välillä ja ovat yhtiön johdon odotusten mukaisia. Jotta tällainen prosessi olisi toimiva, on myös organisaatio ja johtamisjärjestelmä laadittava siten että menettelytavat ovat selkeitä ja tukevat vastuiden ja velvollisuuksien mukaista suorittamista.

Tekniset menettelyt turvallisuusvaatimusten täyttämiseksi ja inhimillisten virheiden välttämiseksi perustuvat teknisten vaatimusten määrittelyyn ja niiden viemiseen turvallisiksi ja toimiviksi suunnitteluratkaisuksi ja niistä edelleen rakennesuunnitelmiksi toteutusta varten. Ihmisen ja järjestelmän vuorovaikutus ydinlaitoksen järjestelmien käytössä on myös potentiaalinen inhimillisen virheen lähde. Ihmisen ja laitteen vuorovaikutusta hallitaan HFE-suunnittelulla (Human Factor Engineering).

Ehkä merkittävin inhimillisten tekijöiden hallintaa koskeva periaate ydinlaitoksella on yksittäisen vian kestäminen ilman merkittävää seurausta. Periaatetta sovelletaan sekä teknisesti että hallinnollisesti. Yksittäisvikakestoisuudella tarkoitetaan teknistä ratkaisua tai toimintamallia, jossa yksittäinen tekijän virhe tai laitteen vikaantuminen ei voi aiheuttaa turvallisuuden kannalta epätoivottua toimintaa.

Inhimillisten virheiden estämisessä käytetään turvallisuutta varmentavia menetelmiä kuten parityöskentely, riippumaton arviointi, aloitus- ja lopetuskokoukset sekä varmennettu kommunikointi. Näillä varmentavilla menetelmillä varmistetaan että kukaan ei tee turvallisuuden kannalta merkittävää toimenpidettä yksin ilman varmennusta tai puutteellisen tilannetiedon va-

rassa. Näitä työkaluja käytetään ydinlaitoksen koko elinkaaren ajan suunnittelussa, rakentamisessa, käytössä ja käytöstäpoistossa niin teknisissä kuin hallinnollisissakin ratkaisuissa.

## YDINJÄTELAITOSTEN SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHTANA ON OLLUT TURVALLINEN KÄYTTÖ JA PITKÄAIKAISTURVALLISUUDEN VARMISTAMINEN

Posiva on tehnyt seuraavat päätökset ja valinnat referenssiratkaisuksi, jotka on otettu huomioon käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustoimenpiteissä ja kapselointi- ja loppusijoituslaitosten rakenteissa ja tekniikassa:

- Loppusijoitusratkaisuna on pystysijoitusratkaisu (KBS-3V), jossa kapselit sijoitetaan loppusijoitustunnelin lattiaan porattuihin pystyreikiin.
- Kapselointilaitos sijaitsee loppusijoituslaitoksen yläpuolella ja on kytketty loppusijoituslaitoksen maanalaisiin tiloihin kapselikuilulla.
- Kapselin kuparikannen hitsauksen referenssimenetelmänä on kitkatappihitsaus, FSW.
- Kapselin hitsin tarkastuksen referenssimenetelmät ovat visuaalinen, ultraääni- ja pyörrevirtatarkastus.
- Kapselit siirretään kapselointilaitoksesta loppusijoituslaitokseen kapselihissillä.
- Loviisan käytetty polttoaine kuljetetaan maanteitse ajoneuvolla Olkiluotoon kuivakuljetuksena. Olkiluodon käytetty polttoaine siirretään ydinvoimalaitosalueen sisäisenä siirtona kapselointilaitokselle märkäkuljetuksena.

- Loppusijoitustilat sijoitetaan yhteen kerrokseen maan alle, tasolle 400...-450 m.
- Loppusijoitustunnelit täytetään bentoniitista valmistetulla granulilla.

Lisäksi suunnittelun lähtökohtina pidetään seuraavia asioita:

- Suunnitelmissa otetaan huomioon laitossyköiden Olkiluoto 1, 2 ja 3 (OL1, OL2, OL3) ja Loviisa 1 ja 2 (LO1 ja LO2) polttoainemäärät ja polttoaineen ominaisuudet.
- Olkiluodon valmista infrastruktuuria hyödynnetään mahdollisimman paljon.
- Laitossuunnitelmissa varaudutaan loppusijoituskapselien takaisinpalauttamiseen.
- Huomioidaan ydinmateriaalivalvonnan vaatimukset.
- Huomioidaan maanalaisen tutkimustilan (ONKALO) ja loppusijoituslaitoksen yhteensovittaminen.
- Kapselointi- ja loppusijoituslaitosten käyttöaika on pitkä, noin 100 vuotta.
- Loppusijoitustilojen laajentamista koskevassa periaatesuunnitelmassa on huomioitu laitossyköiden polttoaineen loppusijoituksen myönteiset periaatepäätökset, joka johtaa loppusijoituslaitoksen kokonaispolttoainemäärään 6 500 tU ja noin 3300 loppusijoituskapselia.

Kapselointilaitoksen keskimääräinen kapselointitehokkuus on noin 40–50 kapselia vuodessa. Suurin kapselointitehokkuus on 100 kapselia vuodessa. Kaikki kapselointilaitoksen työvaiheet on suunniteltu niin, että ne voidaan tehdä turvallisesti ja ilman merkittäviä päästöjä ja henkilöstön saamia säteilyannoksia. Häiriötilanteessakin kapselointiprosessi jää hallittuun tilaan.

Loppusijoitustilat sijoitetaan noin tasolle -400...-450 metriä, pääasiassa noin 430 metrin syvyyteen. Loppusijoitustilat on asemoitu 6500 tU polttoainemäärälle. Loppusijoitustilojen laajuus on suunniteltu 5 % suuremmalle kapselimäärälle kuin suunniteltujen polttoainemäärien sijoittaminen vaatisi. Käytettävä marginaali perustuu kallion soveltuvuusluokituksen (RSC-työn) tuloksena arvioituun Olkiluodon kallioperän käytettävyyssasteeseen. Loppusijoitustilojen

lopullista asemointia päivitetään kallioperätiedon tarkentuessa. Lisäksi, jos lopullinen jättemäärä muuttuu, vaikuttaa se osaltaan tilojen asemointiin. Asemointityö on siten kokonaan valmis vasta loppusijoitustilojen käyttövaiheen lopussa, kun viimeinen sijoitusreikä on porattu ja hyväksytty käytettäväksi loppusijoitukseen.

Laitokset on suunniteltu ja toteutettu konfiguraationhallintasuunnitelman mukaisilla menetelyillä ja suunnitteluprosessilla, jossa suunnittelu perustuu etukäteen määriteltyihin teknisiin vaatimuksiin. Määriteltyjen vaatimusten täyttymistä on todennettu toteutuksen eri vaiheissa siten, että vaatimustenmukaisuudesta on pystytty varmistumaan. Määritelty vaatimukset ovat tärkeitä myös tulevaisuuden laitoksen muutoksissa, jolloin näitä olemassa olevia vaatimusmäärittelyjä voidaan käyttää muutosten suunnitteluperusteina.

## YDINJÄTELAITOSTEN SIJAINNIPAIKKA ON OLKILUODON VOIMALAITOSALUEELLA

Posivan käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitokset rakennetaan Olkiluodon saarelle Lounais-Suomeen. Olkiluodon saari sijaitsee Eurajoen kunnassa noin 13 kilometriä pohjoiseen Raumalta ja noin 34 kilometriä Porista lounaaseen. Olkiluoto on iso saari (noin 12 km<sup>2</sup>), jonka erottaa mantereesta pieni salmi. Kapselointilaitos sijoitetaan saaren keskiosiin Posivan ydinlaitosalueelle. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitos tulee sijaitsemaan noin 430 metrin syvyydellä saaren keskiosissa. Valtioneuvoston vuonna 2000 tekemän periaatepäätöksen mukaan käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen sijaintipaikka on Eurajoen Olkiluodon saari.

Posivan kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen sijaintipaikka täyttää ne alue- ja maankäytölle asetetut vaatimukset, jotka on esitetty lainsäädännössä ja Säteilyturvakeskuksen antamissa ydinvoimalaitosohjeissa (YVL-ohjeet) liittyen alue- ja maankäyttöön. Olkiluodon voimalaitosalueen alue- ja maankäyttöä ohjaavat tällä hetkellä maakuntakaava, Olkiluodon osayleiskaava ja asemakaavat, joiden ajantasaisuus on vahvistettu vuonna 2014. Posivan ydinlaitosten sijainti Olkiluodon voimalaitosalueella mahdol-





**Kuva 4.** Pituussuuntainen leikkauskuva kapselointilaitoksesta. Oikealla on kuljetus- ja siirtosäiliöiden vastaanotto- ja varastotila (1). Siitä vasemmalle päin sijoittuvat mm. polttoaineen käsittelykammio (2), kuparikannen hitsauslaite sekä koneistus- ja tarkastusasema (3), tyhjien kapselien vastaanotto- ja varastointitila (4) ja kapselihiisi (5).

listaa turva- ja valmiusjärjestelyiden järjestämisen. Teollisuuden Voima Oyj:n (TVO) ydinlaitosten sijainti samalla voimalaitosalueella myös minimoi käytöstä ympäristölle aiheutuvat haitat ja uhat sekä mahdollistaa käyttöturvallisuutta osaltaan. Käyttölupahakemuksen liitteessä 3 on kuvattu sijaintipaikkaa enemmän.

## YDINJÄTELAITOSTEN KÄYTTÖ ON SÄTEILYTURVALLISTA TYÖNTEKIJÖILLE JA YMPÄRISTÖLLE

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen mahdollisista päästöistä aiheutuvia säteilyannoksia normaalikäytön, käyttöhäiriöiden ja onnettomuustilanteiden seurauksena on analysoitu laajasti. Raportoivat säteilyannokset lasketaan edustavalle henkilölle, joka edustaa pientä, iältään ja elintavoiltaan riittävän yhtenäistä eniten altistuvaa väestöryhmää. Kapselointilaitoksen harvaan asutetun lähiympäristön osalta aikuinen on luonteva ja perusteltu valinta edustavan henkilön ikäryhmäksi. Aikuisen ikäryhmää puoltaa myös se, että lasten säteilyannoksen kannalta merkittävä radioaktiivinen jodi I-131 on jo ehtinyt hajota pitkään jäähtyneestä käytetystä polttoaineesta käytännössä kokonaan pois eikä kapselointilaitoksen välittömässä lä-

heisyydessä ole maitotiloja. Edustavan henkilön säteilyannokset raportoidaan konservatiivisesti suurimman annoksen laskentapisteessä. Suurin annos saadaan tyypillisesti lähellä kapselointilaitosta, missä vakituista asutusta ei ole.

Analyysien tuloksista voidaan todeta, että missään käsitellyssä tilanteessa säteilyannokset eivät ylitä asetettuja säteilyannosrajoja. Normaalikäytössä ympäristön väestön vuosittaiset säteilyannokset jäävät merkityksettömän pieniksi, edustavan henkilön säteilyannos on noin 0,001 % normaalitoiminnalle asetetusta vuosiannoksen rajoituksesta (raja 0,01 mSv). Käyttöhäiriötilanteissa annokset jäävät myös merkityksettömiksi, edustavan henkilön säteilyannos on noin 0,002 % asetetusta vuosiannoksen rajoituksesta (raja 0,1 mSv). Myös onnettomuustilanteissa edustavan henkilön annokset jäävät selkeällä marginaalilla alle vuosiannoksen rajoitusten. Suhteellisesti lähimmäksi vuosiannosrajaa päästään erittäin harvinaisessa tapauksessa, jossa polttoaineen kuljetussäiliö putoaa kapselointilaitoksella korkeimman mahdollisen matkan ja säiliön sisältämä polttoaine vaurioituu. Konservatiivisella oletuksella, että samaan aikaan menetetään laitoksen sähköt ja päästö vapautuu ulkoilmaan rakennuksen epätiiviyden aukkojen kautta, päädytään edustavan henkilön annokseen 2,30 mSv, joka on noin



puolet vuosiannosrajasta 5 mSv.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella pidetään työntekijöiden kollektiivinen säteilyannos niin pienenä kuin mahdollista ALARA-periaatteen mukaisesti. Toiminta on suunniteltu siten, että työntekijälle aiheutuva efektiivinen säteilyannos jää selvästi alle yksilön annosrajojen. Annosrajojen mukaisesti työntekijän annos ei saa ylittää 20 mSv vuodessa. Tämän lisäksi laitoksilla on asetettu tavoitteeksi, ettei yksittäisen henkilön saama ulkoinen säteilyannos ylitä vuodessa 5 mSv.

Pääosa henkilöstön säteilyaltistuksesta kapselointilaitoksella tulee kuljetussäiliön vastaanottamiseen liittyvistä työvaiheista, joka edellyttää työskentelyä säiliön läheisyydessä. Säteilytasojen kannalta mitoittavana kuljetussäiliönä on Loviisasta tuleva kaasutäytteen kuljetussäiliö, jossa voi olla 84 polttoaine-elementtiä kerrallaan. Kuljetussäiliön pinnalla sallitaan korkeintaan 2 mSv/h annosnopeustaso ja 0,1 mSv/h yhden metrin päässä.

Suurimmissa osassa muita työvaiheita työ tehdään etäältä ohjaamosta ja laitosten taustasäteily on rakenteellisella säteilysuojelulla vaimennettu hyvin matalalle tasolle. Rakenteellinen säteilysuojaus perustuu kiinteisiin ratkaisuihin, kuten teräsbetonisiin säteilysuojaseiniin ja labyrinttirakenteisiin.

## **KAPSELOINTI- JA LOPPUSIJOITUSLAITOKSEN TURVALLISUUSPERIAATTEET**

### **YDINJÄTELAITOSTEN TURVALLISUUS ON VARMISTETTU NOUDATTAMALLA RAKENTEELLISTA SYVYSSUUNTAISTA TURVALLISUUSPERIAATETTA**

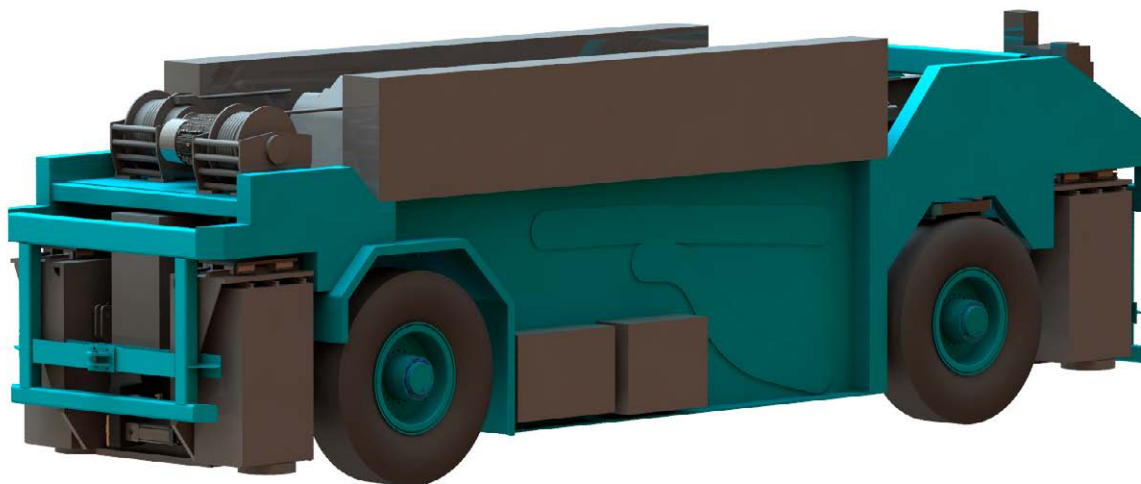
Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella noudatetaan rakenteellista syvyysuuntaista turvallisuusperiaatetta radioaktiivisten aineiden leviämisen estämiseksi ympäristöön. Kapselointilaitoksella käytetyn ydinpolttoaineen sisältämien radioaktiivisten aineiden leviämisestä ovat kuljetus- tai siirtosäiliö, käsittelykammio ja muut valvonta-alueen rakenteet sekä loppusijoituskapseli. Loppusijoituslaitoksella radioaktiivisten aineiden leviämisestä ovat lisäksi

loppusijoituskapselin ympärille asennettavat pitkäaikaisturvallisuuteen liittyvät leviämisseet sekä kallioperä.

Kapselointilaitokselle sovelletaan toiminnallisen syvyysuuntaisen turvallisuusperiaatteen neljää puolustustasoa. Suunnittelussa on huomioitu toisistaan mahdollisimman riippumattomat puolustustasot, joita ovat ennalta ehkäiseminen, häiriötilanteiden hallinta, onnettomuuksien hallinta ja seurausten lieventäminen. Syvyysuuntaisen puolustusperiaatteen soveltamiseksi loppusijoituslaitoksella varmistetaan toiminnot, joiden vikaantuminen voisi aiheuttaa merkittävään radioaktiivisten aineiden päästöön tai laitoksen henkilöstön säteilylle altistumiseen johtavan onnettomuuden.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella toiminnallisen syvyysuuntaisen puolustusperiaatteen soveltaminen toteutetaan ensisijaisesti huolehtimalla käyttöhäiriöiden ja onnettomuuksien ennalta ehkäisemisestä eli huolehtimalla siitä, että laitoksen käyttö on luotettavaa ja poikkeamat normaaleista käyttöolosuhteista ovat harvinaisia. Tämä tarkoittaa sitä, että laitoksia käytetään hyväksytyjen käyttöohjeiden mukaisesti; laitoksen ympäristöolosuhteet pysyvät suunniteltuina sekä laitosten järjestelmien, että niitä käyttävän henkilöstön kannalta; turvallisuustoimintoa toteuttavat järjestelmät toimivat odotetulla tavalla; sekä polttoaineen siirtoihin, nostoihin ja käsittelyyn liittyvät käytöjärjestelmät toimivat siten, että polttoaine-elementit säilyttävät eheydensä ja tiiveytensä. Myös vioittuneiden polttoaine-elementtien käsittelyyn suunnitellaan soveltuvat menettelyt. Ohjausautomaatio suorittaa laitoksen säätö- ja ohjaustoiminnot sekä toimii operaattorin valvontajärjestelmänä ja käsiohjausten välittäjänä. Ohjausautomaation säätö- ja ohjaustoiminnot valvovat toiminnalle asetettuja turvallisia rajoja.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella häiriötilanteiden hallinta tarkoittaa huolehtimista ydinpolttoaineen reaktiivisuuden hallinnasta ja jälkilämmön poistosta. Kapselointilaitoksella on huolehdittava myös polttoaineen suojakuorten eheydestä polttoaineen käsittelyn aikana. Jälkilämmön poistosta huolehditaan varmistamalla, etteivät polttoaineen tai loppusijoituskapselien käsittelyjärjestelmät estä jälkilämmön poistumista tarpeettomasti. Kapselointilaitok-



■ **Kuva 5.** Käytettyä ydinpolttoainetta sisältävää loppusijoituskapselia käsitellään aina säteilyturvallisesti. Kuvassa on kapselin siirto- ja asennusajoneuvon havainnekuva, jolla kapselia siirretään säteilysuojaputken sisään suojattuna.

sella ei ole erillisiä reaktiivisuuden hallintaan tarkoitettuja järjestelmiä, vaan reaktiivisuutta hallitaan ydinpolttoainetta väliaikaisesti tai pitkäaikaisesti sisältävien järjestelmien rakenteellisilla ominaisuuksilla. Suoja-automaatio valvoo prosessin pysymistä hallitussa tilassa. Suoja-automaatio suorittaa suojauksen, mikäli prosessissa tapahtuu suojarajojen ylitys, ja saattaa prosessin hallittuun tilaan.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella onnettomuuksien hallinta tarkoittaa huolehtimista kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ilmastoinnin suodatuksen toimivuudesta tilanteissa, joissa polttoaineen suojakuoren eheys tai tiiveys, ja loppusijoituslaitoksen osalta myös loppusijoituskapselin tiiveys, on menetetty. Tarvittaessa on mahdollista myös sulkea päästöreitit ilmanvaihdon peltejä sulkemalla, koska jälkilämmön poisto ei vaadi aktiivista ilmanvaihtoa. Tilanteen pysymistä hallinnassa seurataan lämpötila- ja säteilymittauksin. Mikäli radioaktiivisten aineiden hallinta epäonnistuu ja kapselointi- tai loppusijoituslaitokselta pääsee vapautumaan radioaktiivisuutta, huolehditaan työntekijöihin ja väestöön kohdistuvien säteilyvaikutusten rajoittamisesta valmiusjärjestelyin.

**YDINJÄTELAITOSTEN  
TURVALLISUUSTOIMINTOINA ON  
YDINPOLTTOAINEESTA  
HUOLEHTIMINEN KÄSITTELYN  
KAIKISSA VAIHEISSA**

Käytetyn ydinpolttoaineen käsittelyssä ja varastoinnissa on varmistettava polttoaineen riittävä jäähtytys, sekä estettävä polttoaineen vaurioituminen ja itseään ylläpitävän fissioiden ketjureaktion syntyminen. Tähän perustuen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ydinturvallisuustoiminnoiksi on määritelty jälkilämmön poisto, radioaktiivisten aineiden hallinta ja reaktiivisuuden hallinta.

Kun käytetty ydinpolttoaine tuodaan kapselointilaitokselle, on se jäähtynyt vähintään 20 vuotta, todennäköisimmin kuitenkin 30–50 vuotta reaktorista poiston jälkeen. Tässä ajassa polttoaine-elementtien lämmöntuotto on vähentynyt noin tuhannesosaan. Polttoaineessa kehittyvä jälkilämpö siirtyy käytetystä ydinpolttoaineesta sitä ympäröiviin käsittelytiloihin, joista lämpö poistuu sekä passiivisesti johtamalla että aktiivisesti poistumista tehostamalla ilmastointijärjestelmien avulla. Loppusijoitusta kapselista jälkilämpö siirtyy kallioperään. Jälkilämmön poiston näkökulmasta keskeistä on varmistua siitä, ettei polttoainetta sisältävien tai sitä käsittelevien järjestelmien rakenteilla ei tarpeettomasti estetä jälkilämmön poistumista käytetystä ydinpolttoaineesta.

Radioaktiivisten aineiden hallintaan kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella sisältyvät polttoaineen suojakuorien eheydestä huolehtiminen, radioaktiivisten päästöjen leviämisen estäminen ja rajoittaminen sekä väestön ja henkilöstön säteilyaltistuksen rajoittaminen. Lisäksi



■ Kuva 6. Näkymä polttoaineen käsittelykammion sisältä, kuva laitosmallista.

aktiivisuus- ja annosnopeusmittauksilla valvotaan laitostiloja sekä mahdollisia päästöjä ympäristöön. Radioaktiivisten aineiden hallintaan kuuluu myös dekontaminoinnista kertyvien radioaktiivisten aineiden, radioaktiivisten viemäriesien sekä kiinteiden matala- ja keskiaktiivisten jätteiden huolellinen käsittely. Laitosten järjestelmiin kohdistuvat keskeiset radioaktiivisten aineiden hallinnan tehtävät liittyvät radioaktiivisuutta sisältävien järjestelmien ja rakenteiden eheyden ja tiiveyden varmistamiseen. Tämä varmistetaan estämällä törmäykset ja raskaiden taakkojen pudotukset sekä huolehtimalla alipainetasoista ja suodatuksesta ja tarvittaessa eristämisestä.

Reaktiivisuuden hallinta on huomioitu kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ydinpolttoainetta sisältävien järjestelmien sekä käsittely- ja siirtojärjestelmien suunnittelussa ensisijaisesti rakenteellisilla ratkaisulla. Polttoainetelineiden materiaalit ja geometria on valittu siten, että kriittistä konfiguraatiota ei pääse syntymään. Lisäksi kapselointilaitoksella estetään veden pääsy polttoaine-elementtien väliseen tilaan rakenteellisesti ja rajoittamalla käsittelykammioon tulvimaan pääsevän veden määrä hyvin pieneksi.

## YDINJÄTELAITOKSILLA ESTETÄÄN RADIOAKTIIVISTEN AINEIDEN LEVIÄMINEN

Kapselointilaitoksella käsitellään lähtökohtaisesti ehjää polttoainetta, jolloin polttoaineen suojakuori toimii ensimmäisenä vapautumissesteenä. Kapselointilaitoksella on kuitenkin mahdollista kapseloida myös tiiveytensä menettänyttä polttoainetta, jolloin muut tekniset leviämissesteet huolehtivat radioaktiivisten aineiden hallinnasta.

Polttoaineen käsittelytilat ja järjestelmät on suunniteltu siten, että polttoainesauvojen suojakuorien eheys säilytetään suurella varmuudella. Suojakuorien eheyden säilyttäminen on erityisen tärkeää kapselointilaitoksen käsittelykammiossa, joka on kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ainoa paikka, jossa ydinpolttoainetta käsitellään suojaamattomana. Muissa kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen tiloissa käytettyä ydinpolttoainetta käsitellään kuljetussäiliössä tai kapselissa, jotka antavat säteilysuojaa ja estävät radioaktiivisten aineiden leviämistä polttoainesauvojen vauriotilanteissa.

Käsittelykammion rakenteet rajoittavat radioaktiivisten aineiden leviämistä käsittelykammiossa tapahtuvissa polttoaineen vaurioitumiseen johtavissa tilanteissa tai käsiteltäessä vuotavaa polttoainetta. Käsittelykammion tiiveys varmistetaan huolehtimalla käsittelykammion aukkojen ja läpivientien tiiveydestä. Radioaktiivisten aineiden leviämistä rajoitetaan myös aktiivisin käsittelykammion tiiveyteen, käsittelykammion ja valvonta-alueiden alipaineen ylläpitoon sekä käsittelykammion ilman suodattamiseen liittyvin järjestelmin.

Käsittelykammiota ympäröivät muut kapselointilaitoksen rakenteet, jotka antavat suojaa sisäisiä ja ulkoisia uhkia vastaan. Kaikki radioaktiivisuutta mahdollisesti sisältävät järjestelmät on sijoitettu valvonta-alueen tiloihin, joilla on oma muusta rakennuksesta erillinen viemäröinti ja ilmastointi. Radioaktiivisuuden vapautumistilanteissa vedet saadaan kerättyä valvonta-alueen viemäröinnin keruusäiliöihin ja ilmaan vapautunut aktiivisuus suodatettua valvonta-alueen poistoilmastointijärjestelmässä.

Loppusijoituslaitoksella käsitellään ainoastaan kontaminaatiosta puhtaaksi todettuja kapseleita, joten loppusijoituslaitoksen tiloissa keskeistä on suojata henkilöstö etäisyyksin ja säteilysuojauksin loppusijoituskapseleiden suoralta säteilyltä. Samalla säteilysuojarakenteet myös suojaavat kapseleita esimerkiksi putoavilta lohkarailta. Kapseleita loppusijoitusreikään siirrettäessä kapselia suojaa kapselin siirto- ja asennusajoneuvon säteilysuoja. Välittömästi loppusijoitusreikään asennuksen jälkeen kapselin päälle asennetaan bentoniittipuskuri, joka paitsi alentaa säteilyannosnopeuden taustasäteilyn tasolle, myös suojaa kapselia putoavilta taakoilta.

## YDINJÄTELAITOKSILLA SYNTYVIEN KÄYTTÖJÄTTEIDEN KÄSITTELY, VARASTOINTI JA KÄSITTELY HOIDETAAN TURVALLISESTI OLKILUODON YDINVOIMALAITOKSELLE

Kapselointilaitoksella syntyy vähäisessä määrin mm. käytössä, huoltotöissä ja laitosmuutoksissa matala- ja keskiaktiivisia ydinjätteitä, johtuen käsitellyn ydinpolttoaineen säteilystä. Posiva luovuttaa näiden jätteiden huolehtimisvelvollisuuden Teollisuuden Voima Oyj:lle (TVO), jonka kolme ydinvoimalaitosyksikköä sijaitsevat

samalla Olkiluodon saarella. Tämä tarkoittaa sitä, että kapselointilaitoksella syntyvät kiinteät tai nestemäiset radioaktiiviset jätteet viedään Olkiluodon ydinlaitoksille valvonnasta vapautettavaksi tai käsiteltäväksi, varastoitavaksi ja myöhemmin loppusijoitettavaksi Olkiluodon VLJ-luolaan tai maaperäloppusijoitukseen. TVO:lla on yli 40 vuoden kokemus ydinjätteistä.

Posiva varautuu kuitenkin omaan jätehuoltoonsa jättämällä kapselointilaitoksille tilavaroja jätehuollon järjestelmille, Posivalla on myös tilavaraukset omalle käyttö- ja käytöstäpoistojätteiden loppusijoitustilalle, joka sijaitsee alustavien suunnitelmien mukaan noin 180 metrin syvyydessä ONKALOn ajotien varrella. Tätä tilaa tullaan tarvitsemaan todennäköisesti vasta Olkiluodon VLJ-luolan toiminnan päätyttyä eli tässä vaiheessa tilaa ei vielä toteuteta.

Ydinjätteeksi luettavan käytetyn ydinpolttoaineen käsittely ja varastointi on hoidettu Posivalla turvallisesti, polttoaineen loppusijoitusprosessi varastointivaiheineen, on suunniteltu ottamaan huomioon riittävä polttoaineen jäähdytys, säteilysuojaus ja kriittisyysturvallisuus. Polttoaineen eheys on loppusijoitustoiminnan keskiössä, polttoaineniippujen tiiviys ja mekaaninen kestävyys varmistetaan ja käsittelylaitteet on toteutettu siten että polttoaineen eheys voidaan varmistaa.

## YDINJÄTELAITOKSILLA ON VARAUDUTTU ULKOISIIN JA SISÄISIIN TURVALLISUUTEEN VAIKUTTAVIIN TAPAHTUMIIN

Erilaisten sisäisten ja ulkoisten uhkien vaikutukset kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen turvallisuuteen on arvioitu systemaattisesti. Uhat, jotka voisivat vaarantaa laitosten turvallisuuden, on tunnistettu ja niiden osalta on esitetty varautumissuunnitelmat ja suunnittelu-perusteet, joiden avulla voidaan varmistaa, että uhista ei aiheudu kohtuutonta riskiä laitosten turvallisuudelle, ja että laitoksille asetetut turvallisuustavoitteet voidaan saavuttaa.

Kapselointilaitoksen toiminnoista johtuen keskeisimpinä sisäisinä uhkina voitaneen pitää tulipaloja sekä taakkojen pudotuksia tai kolhimisia. Tulipalojen turvallisuusmerkitys voidaan pitää vähäisenä palosuojelun syvyydspuolus-



tusperiaatteen mukaisella laitossuunnittelulla ja käyttötoiminnalla. Nostojen kannalta tärkeät osat ja komponentit suunnitellaan yksittäisvikasietoisiksi tai, milloin tämä ei ole mahdollista, varmistetaan nostojen turvallisuus korvaavin menetelmin. Ydinpolttoaine on suurimman osan kapselointiprosessista joko polttoaineen kuljetussäiliön tai loppusijoituskapselin sisällä. Tämä tarjoaa polttoaine-elementeille hyvän suojan erilaisia uhkia vastaan. Sisäisten uhkien kannalta keskeistä on varmistaa, että mikään potentiaalinen uhka ei voi samanaikaisesti johtaa radioaktiivisuuden vapautumiseen ja sen leviämisen estämisen epäonnistumiseen. Tyypillinen vaste onkin kapselointiprosessin pysäyttäminen ja tilanteen turvaaminen.

Äkilliset ulkoiset ilmiöt huomioidaan turvallisuuden kannalta tärkeiden rakenteiden, järjestelmien ja komponenttien suunnittelussa konservatiivisesti, koska erillistä varautumista tai laitoksen turvallisuuden varmistamista erityismenettelyin ei välttämättä ole mahdollista tehdä. Tällaisia uhkia ovat mm. maanjäristys, myrskytuulet, rankkasateet ja ukkonen. Hitaasti kehittyvien ja ennustettavissa olevien uhkien osalta voidaan huomioida myös mahdolliset erilliset varautumistoimet. Käynnissä oleva kapselointiprosessi voidaan pysäyttää, laitos voidaan ajaa turvalliseen tilaan, valvonta-alueen puhtaus voidaan varmistaa, käyttöön voidaan ottaa erityisiä tällaista tilannetta varten suunniteltuja menettelyitä ja laitteita. Tällaisia ennustettavissa olevia ilmiöitä ovat mm. hyvin korkea tai matala ilman lämpötila sekä laitosalueella tai sen läheisyydessä tehtävät erikoistyöt, joihin voi liittyä kohonnut onnettomuusriski.

Ulkoisten uhkien yksi ominaispiirre on se, että useat uhat voivat olla kytköksissä toisiinsa, jolloin ne voivat vaikuttaa laitoksella samanaikaisesti. Tyypillisiä uhkia, joiden yhteistapahtuman todennäköisyys on suurempi kuin riippumattomien tapahtumien, ovat esimerkiksi myrskytuulet ja salamointi, myrskytuulet ja rankkasateet, korkea ilman lämpötila ja metsäpalot sekä korkea ilman lämpötila ja korkea meriveden lämpötila. Kapselointilaitoksen osalta on huomattavaa, että laitos ei ole riippuvainen merivesipohjaisista järjestelmistä ja että laitos sijaitsee noin 10 m korkeudella merenpinnasta. Tämän johdosta merivesi-ilmiöihin liittyvät uhat eivät ole relevantteja laitoksen kannalta.

Varautumisessa ulkoisiin uhkiin on keskeistä varmistaa, että mikään kuviteltavissa oleva äkillinen ilmiö ei voi johtaa kapselointilaitoksen turvallisuuden kannalta tärkeiden rakenteiden lujuuden menetykseen. Vaikka suurin osa tai jopa kaikki laitoksella olevasta ydinpolttoaineesta olisikin tapahtumahetkellä kuljetussäiliön tai loppusijoituskapselin suojaamana, seinä- tai kattorakenteiden mahdollinen osittainenkin romahtaminen vaarantaisi joka tapauksessa valvonta-alueen eheyden ja saattaisi johtaa ainakin radioaktiivisten jätejärjestelmien vuotoihin. Tähän varautumalla voidaan lähtökohtaisesti olettaa, että erilaisista ulkoisista uhista ei seuraa merkittävää uhkaa ydinturvallisuudelle tai radioaktiivisuuden pidättämiselle, vaan että vaikutukset kohdistuvat korkeintaan laitoksen käytettävyyteen.

Loppusijoituslaitoksella on hyvät rakenteelliset ja passiiviset ydinturvallisuusominaisuudet. Ydinpolttoaine on koko loppusijoitusprosessin ajan tiiviissä loppusijoituskapselissa, joka suojaa polttoainetta pudotuksia, tulipaloja, räjähdys- ja sortumia vastaan ja estää samalla mahdollisen radioaktiivisuuden leviämisen. Lisäksi siirtoprosessin ajan loppusijoituskapselia suojaa kapselin siirto- ja asennusajoneuvon säteilysuoja. Loppusijoituslaitoksen maanalaisia tiloja ympäröivä kallioperä tarjoaa vakaan ympäristön.

Tulipaloja, rakenteiden sortumia, räjähdysnettoumuksia sekä kallioperästä vuotavan pohjaveden aiheuttamaa tulvimista voidaan perustellusti pitää loppusijoituslaitoksen keskeisimpinä riskitekijöinä. Erityisen haasteen muodostaa toimiminen syvällä maan alla, sillä se rajoittaa mm. pelastustoimien ja operatiivisen palontorjunnan mahdollisuuksia. Moniin sisäisiin uhkiin liittyy henkilöturvallisuusriski. Loppusijoitustilojen laajentaminen loppusijoitustoiminnan aikana vaatii huolellisia hallinnollisia menettelyitä sekä selkeää käytössä olevien loppusijoitustilojen ja rakenteilla olevien tilojen erottelua. Näin voidaan varmistua siitä, että rakentamistoimet räjäytystöineen eivät vaaranna loppusijoituskapseleiden varastointia tai siirto-operaatioita.

Loppusijoituslaitoksen järjestelmien ja tukitoimien osalta on huomattava, että osa laitteista ja laitetiloista sijaitsee maan päällä olevissa raken-

nuksissa (nostinlaiterakennus, IV-rakennus, tunneliteknikkarakennus, kapselointilaitos). Näin ollen myös näissä rakennuksissa tapahtuvat onnettomuudet, kuten tulipalot tai räjähdykset, voivat vaikuttaa maanalaisen loppusijoituslaitoksen järjestelmien toimintaan. Mahdollisilla onnettomuuksilla ei kuitenkaan ole huomattavaa ydinturvallisuusmerkitystä, sillä vaikka seurauksena olisi sähkönjakelun, ilmastoinnin, jäähdytyksen, lämmityksen, vuotoveden poispumppauksen tai henkilökulun estyminen, voidaan polttoaineen eheys edelleen turvata.

Syvällä maan alla sijaitseva loppusijoituslaitos on kapselointilaitosta paremmin turvassa erilaisen ulkoisten uhkien suhteen. Voidaankin todeta, että on erittäin epätodennäköistä, että mikään ulkoinen uhka voisi suoraan vaikuttaa loppusijoituslaitoksen ydinturvallisuuteen. Tukitoimien menetyksen myötä laitoksen normaali käyttö voisi vaarantua ja pahimmassa tapauksessa seurauksena voisi olla loppusijoituslaitoksen jonkinasteinen tulviminen vuotoveden poistopumppauksen pysähtyttyä. Maanpäällisten tilojen riittävä suojaus on tärkeää henkilöturvallisuuden, laitoksen käytettävyyden sekä merkittävien taloudellisten vahinkojen estämisen kannalta, mutta ydinturvallisuuden kannalta kuviteltavissa olevat sisäiset tai ulkoiset uhat eivät aiheuta merkittävää riskiä loppusijoituslaitokselle.

## YDINJÄTELAITOSTEN VALVONTA JA OHJAUS ON SUUNNITELTU TURVALLISEKSI

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ohjauksen pääperiaatteena on, että palo- ja säteily-suojelun sekä kapselointiprosessin suojaustoiminnot toteutetaan pääosin automaattisesti. Suurinta osaa käyttötoiminnoista ohjataan puoliautomaattisin sekvenssiohjauksin eli operaattori antaa ohjausjärjestelmälle luvan edetä seuraavaan prosessivaiheeseen.

Kapselointiprosessia ohjataan ja valvotaan kapselointilaitoksen ohjaamosta. Ohjaamo sijaitsee polttoaineen käsittelykammion välittömässä läheisyydessä ja ohjaamosta on myös näköyhteys käsittelykammioon lyijylasi-ikkunan avulla. Ohjaamosta ohjataan suurinta osaa tuotantotilan toiminnoista, pois lukien ainoastaan lähiohjauspaikoista ohjattavat toiminnot kuten laitoksen siltanosturien ohjaukset. Laitoksen

tuotantotilassa myös suojaus- ja turvallisuus-toimintojen valvonta suoritetaan ohjaamosta.

Loppusijoituslaitoksen valvontatilana toimii nostinlaiterakennuksen käyttökeskus. Loppusijoituslaitoksessa on lisäksi lähiohjauspaikkoja kalliorakennus- ja loppusijoitusprosessin ohjauksia varten. Loppusijoituslaitoksen varaohjauspaikka sijaitsee tunneliteknikkarakennuksessa. Valmiustilanteita varten loppusijoituslaitoksen hälytys- ja tilatiedot ovat käytettävissä myös nostinlaiterakennuksessa sijaitsevassa Posivan tukiryhmän tilassa. Nostinlaiterakennuksen käyttökeskuksesta valvotaan myös kapselointilaitoksen tilaa ja se on miehitettyä myös silloin kun kapselointilaitoksessa ei ole aktiivista toimintaa.

## Ilmastointijärjestelmien valvonta

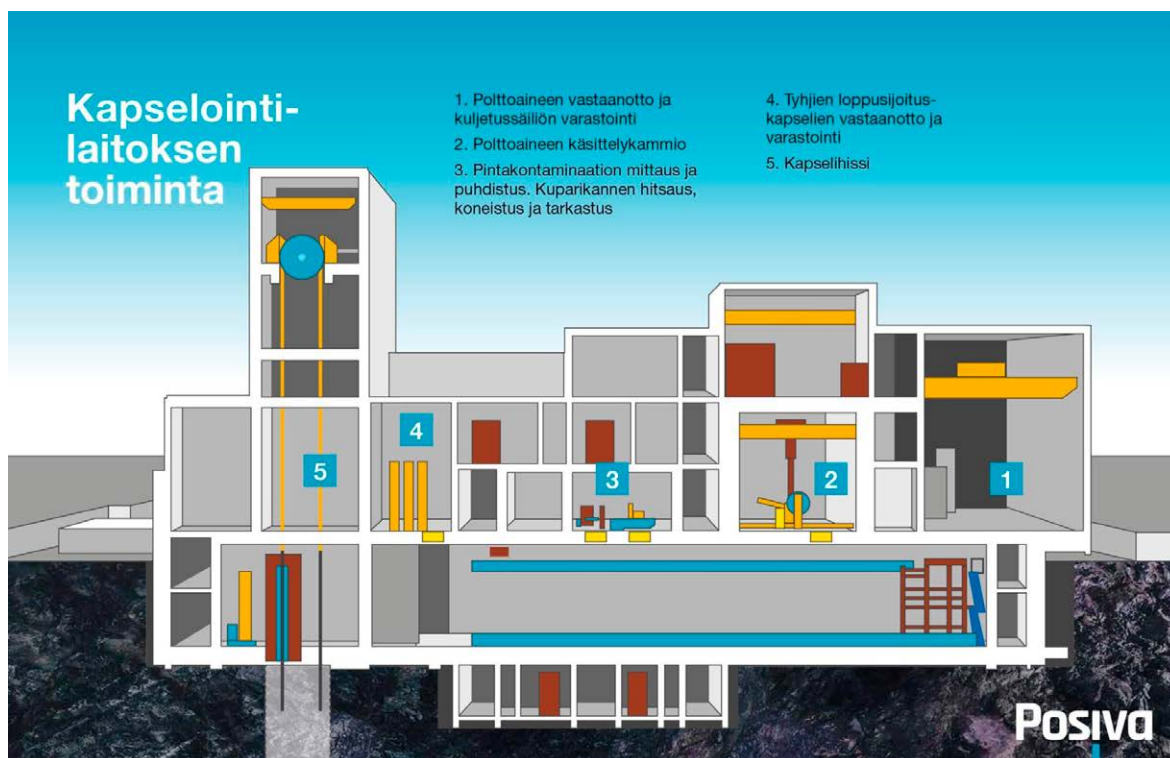
Ilmastointijärjestelmien avulla valvotaan mm. huonetilojen alipaineistusta ja virtaussuuntia mahdollisen aktiivisuuden leviämisen estämiseksi. Tarvittaessa poistoilma johdetaan suodattimien kautta ja ilmastointilinjoja suljetaan. Turvallisuuden kannalta merkittävät toiminnot tapahtuvat pääosin automaattisesti ohjausautomaatiojärjestelmän, suojausautomaatiojärjestelmän ja säteilymittausjärjestelmien ohjaamina. Ilmastointijärjestelmien valvonta perustuu pääosin hälytysten seurantaan ja tarvittaessa niihin reagointiin. Valvontaa tehdään tuotantotilassa kapselointilaitoksen ohjaamosta ja ylläpitotilassa nostinlaiterakennuksen käyttökeskuksesta.

## Lämpötilavalvonta

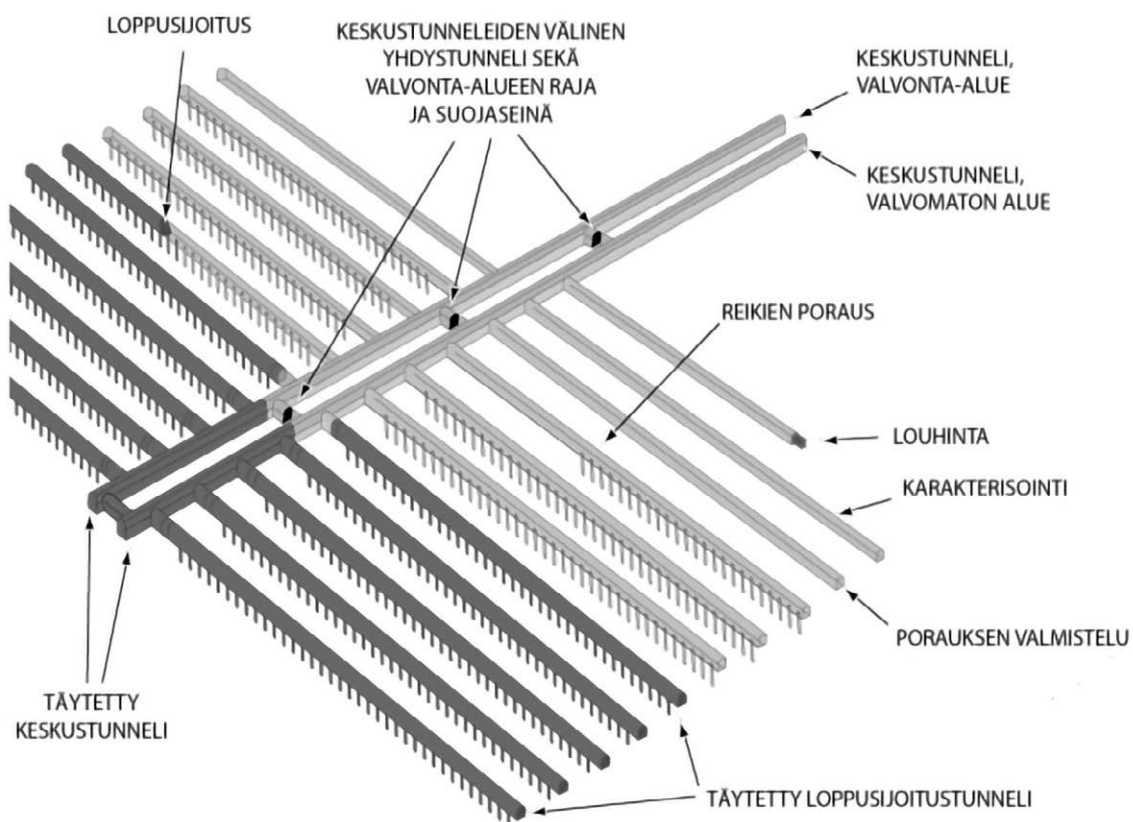
Polttoainetta sisältävien tilojen lämpötiloja valvotaan tuotantotilassa kapselointilaitoksen ohjaamosta. Kyseisten tilojen lämpötilamittaukset syötetään varasähköjärjestelmästä ulkoisen sähkönsyötön menettämisen varalta. Jos ulkoisen sähkönsyötön menetys kestää yli 3 tuntia, lämpötiloja aletaan lukea manuaalisesti kiertolistojen mukaisesti. Polttoainetta sisältävien tilojen lämpötiloja valvotaan myös mekaanisilla lämpömittareilla.

## Säteilyvalvonta

Säteilyvalvonta käsittää mm. huonetilojen, ilmanvaihtokanavien ja aktiivisia aineita (esim. jätevedet ja kiinteät prosessijätteet) sisältävien



**Kuva 7.** Kapselointilaitoksen poikkileikkaus, jossa kuvattu eri toiminnot.



**Kuva 8.** Rinnakkaistunneliperiaatteella mahdollistetaan mm. parempi käytettävyys ja palo-osastointi.

prosessijärjestelmien aktiivisuuden seurannan. Säteilymittausjärjestelmät hälyttävät liian korkeista aktiivisuus- tai annosnopeustasoista, ja valvonta perustuu pääosin näiden hälytysten seurantaan. Valvontaa tehdään tuotantotilassa kapselointilaitoksen ohjaamosta ja ylläpitotilassa nostinlaiterakennuksen käyttökeskuksesta.

## **Palovalvonta**

Palovalvonta perustuu pääosin palohälytysten valvontaan. Kapselointilaitoksen paloilmoinjärjestelmän hälytykset ohjataan kapselointilaitoksen ohjaamoon, nostinlaiterakennuksen käyttökeskukseen, Olkiluodon hälytyskeskukseen sekä laitospalokunnalle (suojelukeskus). Paloilmoinjärjestelmän pääkäyttölaitteet sekä erilliset grafiikkapäätteet sijaitsevat kapselointilaitoksen ohjaamossa sekä nostinlaiterakennuksen käyttökeskuksessa. Tämän lisäksi rinnakkaiset pääkäyttölaitteet ja grafiikkapäätteet on sijoitettu Olkiluodon hälytyskeskukseen ja laitospalokuntaan (suojelukeskus). Päävastuu palovalvonnasta on tuotantotilassa kapselointilaitoksen ohjaamossa ja käyttövalmius- ja seis-tilassa nostinlaiterakennuksen käyttökeskuksessa.

## **Kulunvalvonta**

Kulunvalvontatietojen ja kameroiden avulla valvotaan, ettei henkilökuntaa pääse kone- tai säteilyturvallisuusmielessä vaara-alueelle. Osa tiloista on suojattu myös automaattisilla lukituksilla: Esimerkiksi käsittelykammioon, kuivausasemaan tai kapselin siirtokäytävään ei pääse, jos tilan annosnopeus on liian korkea tai prosessi on käynnissä. Kone- ja säteilyturvallisuuteen liittyviä kulunvalvontatietoja voidaan seurata kapselointilaitoksen ohjaamosta ja nostinlaiterakennuksen käyttökeskuksesta. Tuotantotilassa vastuu seurannasta on kapselointilaitoksen ohjaamossa ja ylläpitotilassa nostinlaiterakennuksen käyttökeskuksessa.

## **Toiminta häiriötilanteissa**

Häiriötilanteissa kapselointilaitoksen ohjaamon ja lähiohjauspaikkojen operaattorit keskeyttävät toiminnan. Mikäli mahdollista, käynnissä olevat nosto-operaatiot suoritetaan loppuun. Kapselointiprosessi voidaan pysäyttää millä hetkellä tahansa ja laitos on hallitussa tilassa. Jos häiriötilanne alkaa muulloin kuin kapselointiprosessin ollessa käynnissä, kapselointilai-

toksen ohjaamossa ei lähtökohtaisesti ole henkilökuntaa. Tällöin kapselointilaitosta valvovan nostinlaiterakennuksen käyttökeskuksen operaattorin ensisijaisena tehtävänä on hälytyksen järjestelmästä saatuaan kutsua paikalle muuta henkilöstöä tilannetta hoitamaan.

Loppusijoitusprosessin häiriötilanteissa nostinlaiterakennuksen käyttökeskuksen ja lähiohjauspaikkojen käyttövuoron jäsenet ja muut loppusijoitusprosessin työntekijät keskeyttävät muun toiminnan kuitenkin niin, että käynnissä olevat nosto-operaatiot suoritetaan loppuun ja säteilyturvallisuus ei vaarannu. Mahdollisesti samaan aikaan käynnissä olevaa loppusijoitustunnelin kalliorakennustyötä voidaan jatkaa, mikäli häiriöllä ei ole vaikutusta laitoksen ydin- ja säteilyturvallisuuteen eikä käyttöturvallisuudelle tärkeisiin järjestelmiin, esimerkiksi ilmanvaihtoon, sähkönsaantiin tai paloturvallisuuteen. Kalliorakennusprosessin häiriötilanteissa tulee ensisijaisesti varmistua käyttöturvallisuudelle tärkeiden järjestelmien kuten ilmanvaihdon, sähkönsyötön ja paloturvallisuuden toimivuudesta.

## **YDINJÄTELAITOKSILLA ON JO SUUNNITTELUSTA ALKAEN OTETTU HUOMIOON KÄYTÖSTÄPOISTON TURVALLISUUS**

Käytöstäpoiston yhteydessä kapselointilaitos puretaan kokonaan ja loppusijoituslaitoksesta puretaan varustelut ja kaikki avoinna olevat tilat täytetään vaatimukset täyttävillä sulkemisarakeilla ja -materiaaleilla. Käytöstäpoiston yhteydessä kapselointilaitoksen radioaktiiviset osat ja järjestelmät puretaan ja pakataan. Jätteet toimitetaan käyttö- ja käytöstäpoistojätetilaan, jonka on suunniteltu sijaitsevan loppusijoituslaitoksen ajotunnelin varrella noin tasolla -180 metriä tai Olkiluodon VLJ-luolaan. Myös Olkiluodolle suunnitella oleva maa-peräloppusijoitustila saattaa tulla kyseeseen osalle jätteestä riippuen käytöstäpoistojätteen laadusta.

Laitosten käytöstäpoisto on otettu huomioon jo laitosten toteutuksen aikana. Laitosten toteutuksessa käytettävien materiaalien aktivoitumista on selvitetty ja aktivoituvan materiaalin määrää on pyritty minimoimaan jo toteutusvaiheessa. Lisäksi aktivoitumista seurataan laitosten käytön aikana, jotta laitosten käytös-



täpoistovaiheessa voidaan työntekijöiden säteilyaltistusta ja kertyvän radioaktiivisen jätteen määrää rajoittaa. Käytöstäpoistosuunnitelma liitetään mukana STUK:lle toimitettavaan aineistoon ja se päivitetään säännöllisesti laitosten käytön aikana.

## **YDINJÄTELAITOKSEN RAKENTAMISEN JA KÄYTTÖÖNOTON TURVALLISUUS**

### **YDINJÄTELAITOKSET RAKENNETAAN TURVALLISESTI TURVALLISEKSI**

Ydinjätelaitokset, kapselointi- ja loppusijoituslaitos, on rakennettu valtioneuvoston rakentamisluvassa sekä Eurajoen kunnan rakennusluvassa esitettyjen ehtojen mukaan turvalliseksi. Posiva on muodostanut rakennuttamiseen ja rakentamiseen kattavan ohjeiston sekä osaa- van ja kokeneen organisaation, joka on valvonut toteutusta ja sen laatua. Rakennustöiden toteuttajiksi on valittu mahdollisuuksien mukaan ydinlaitoskokemusta omaavat luotettavat toimittajat, joilta on myös vaadittu osaava ja kokenut organisaatio. Laitosten rakenteet ja järjestelmät on luokiteltu turvallisuusmerkityksen mukaan. Turvallisuusluokiteltujen rakenteiden osalta suunnittelua ja toteutusta ovat valvoneet myös Säteilyturvakeskus sekä sen valtuuttamat riippumattomat tarkastuslaitokset.

Ydinlaitokset on rakennettu vaatimusten sekä hyväksyttyjen suunnitelmien mukaan turvallisiksi. Lopputulos on varmistettu riittävin tarkastuksin ja dokumentoitu kattavasti.

### **YDINJÄTELAITOKSET OTETAAN KÄYTTÖÖN TURVALLISESTI**

Ydinjätelaitoksen käyttöönoton turvallisuutta hallitaan käyttöönottokäsikirjaan kootuilla käyttöönoton hallinnollisilla menettelytapaohjeilla sekä teknisillä laite-, järjestelmä- ja laitostason käyttöönotto-ohjeilla. Ohjeissa esitetään hyväksytyt menettelytavat sekä tekniset kriteerit kunkin kokeen suorittamiselle ja hyväksymiselle. Kokeiden aikana validoidaan myös käyttövaihetta varten laaditut käyttöohjeet. Validoinnilla varmistetaan, että ohjeet soveltuvat laitoksen turvalliseen käyttämiseen.

Ennen käyttöluvan myöntämistä tehtävissä käyttöönottokokeissa ei ole riskiä ydinturvallisuuden vaarantumiseen, koska laitoksella ei vielä käsitellä ydinpolttoainetta. Käyttöönoton ohjeistuksella varmistetaan erityisesti käyttöönottohenkilökunnan työturvallisuus sekä käyttöönotettavalle laitokselle turvallisuudelle sekä toiminnallisuudelle asetettujen vaatimusten täyttyminen.

## **YDINJÄTELAITOKSEN KÄYTTÖTOIMINNAN TURVALLISUUS**

### **YDINJÄTELAITOSTEN KÄYTTÖTOIMINTA ON TURVALLISTA**

Posivan käyttötoimintaan kuuluvat loppusijoituskapseloiden tuottaminen kapselointilaitoksessa ja loppusijoituskapseloiden, bentoniittipuskureiden ja tunnelin bentoniittitäytön asennus loppusijoituslaitoksessa sekä näihin liittyvät työt, kuten säteilysuojelu, kapseloiden lataussuunnittelu, ydinmateriaalikirjanpito, käytönsuunnittelu ja kunnossapito. Käyttötoiminnasta vastaa jo perustettu Tuotanto-organisaatio, joka rakentuu edelleen rakentamisen ja käyttöönottojen rinnalla. Organisaatio koostuu toisaalta osittain omasta henkilöstöstä, kun taas konsernisynergiaa sisältävillä alueilla, kuten säteilysuojelu ja kunnossapito, käytetään myös TVO:n resursseja. Tuotantopäällikkö toimii ydinjätelaitosten käytön vastuullisena johtajana. Rakennettavat laitokset ja niiden tuleva käyttö ovat uusia, joten tuotannon linjan toimintaedellytysten kertaluonteista perustusta tehdään projektimaisesti. Tämä tapahtuu hankkeeseen kuuluvassa Tuotantoon Valmistautuminen -ohjelmassa alaprojekteineen.

Laitosten organisaatio, johtosuhteet ja käyttötoiminnan kannalta keskeiset päätöksen tekoelementit on kuvattu johtosäännössä. Eri organisaatioiden tarkempia tehtäviä ja vastuista on kuvattu tekniikanalakohtaisissa käsikirjoissa, kuten käyttö- ja säteilysuojelukäsikirjat.

Käyttötoiminta tapahtuu pääsääntöisesti normaalinä päivänä, sillä laitosten käytön pääprosessi on panosperiaatteella toimivaa mekaanista siirtelyä ja kokoonpanoa. Varsinainen käyttö koostuu etäohjaustoimenpiteistä



**Kuva 9.** Kapselointilaitoksen (kuvassa sovitetuna) ja loppusijoituslaitoksen loppusijoitustoiminnot ovat suunniteltu säteilyturvallisiksi.

suorittavista operaattoreista ja kentän toimenpiteitä tekevistä nosturinkuljettajasta ja käyttöhenkilöistä. Operaattorit ohjaavat varsinkin järjestelmiä, joissa polttoaineen tai loppusijoituskapselin käsittelyn aikana on korkea säteilytaso. Kentällä paikallisesti tehtäviä toimenpiteitä ovat mm. kapseliosien kasausta ja lasku tuotantolinjalle, käytetyn polttoaineen siirtosäiliön siirrot, käsittely ja valmistelu sekä loppusijoituslaitoksessa bentoniittisaven liikennöinti ja vastaanotto. Näitä töitä tukee säteilysuojelu, jolla varmistetaan toisaalta työn turvallinen suoritus ja toisaalta pidetään kontaminaatio vyöhykeajattelun mukaisesti lähellä syntypaikkaansa levittämättä sitä henkilöiden tai tavarain mukana.

Käyttöpäällikkö tai hänen varahenkilönsä toimii operaattoreiden ja käyttöhenkilöiden esimiehenä. Hän vastaa, että laitoksia käytetään turvallisuusteknisten käyttöehtojen mukaisesti ja että töitä toteutetaan työluoprosessin mukaisesti. Panosperiaatteella toimivan tuotannon suunnittelua tekee käytönsuunnitteluinsinööri, jonka kanssa tiiviissä yhteistyössä toimii loppusijoituskapselin ja siirtosäiliön laatu- ja suunnittelumat laativa polttoaineinsinööri.

Laitosten normaalille käytölle, häiriö- ja onnettomuustilanteille on olemassa ohjeet osana käyttökirjaa. Normaalien käytön ohjeilla suoritetaan käyttötoimenpiteet panosperiaatteella etenevän tuotannon mukaisesti tai järjestelmien palautusta kohti alkutilaa. Häiriö- ja

onnettomuustilanteiden ohjeilla tunnistetaan ensin poikkeava tilanne ja sen hallitaan ja ohjataan tilannetta ohjeiden mukaisesti. Nämä ohjeet perustuvat laitoksen suunnittelussa huomioon otettuihin häiriö- ja onnettomuustilanteisiin.

Osaamisen varmistaminen on Posivalla jatkuvaa toimintaa, ja henkilöstö saa tehtäviensä erityisvaatimusten edellyttämän koulutuksen. Erityisvaatimuksia osaamiselle asettavat laitosten tekniikka, loppusijoitusprosessin aineellaisuus ja ydinlaitosten toimintatavat. Siirtyminen laitosten rakentamis- ja käyttöönotto- ja käyttövaiheista ydinlaitoksen käyttövaiheeseen on otettu huomioon henkilöstön koulutuksessa.

Laitosmuutosten toteutus hallitaan omalla hallintaprosessillaan. Aluksi muutos suunnitellaan ja turvallisuusmerkityksestä riippuen hyväksytetään Säteilyturvakeskuksella. Suunnittelusta vastaa tekninen tukijärjestelmä ja sen yhteydessä päivitetään keskeinen suunnitteluaineisto muutoksen mukaiseksi. Muutoksen toteutusvaiheessa tehdään tarvittavat purkamiset, asennukset ja parametrimuutokset laitoksella sekä varmistetaan, että laitoksen käyttämisessä ja kunnossapitämisessä tarvittavat dokumentit päivitetään muutoksen mukaiseksi.

Kunnossapito on jatkuvaa toimintaa, josta osa tehdään tuotannon aikana ja osa seiso-kin aikana. Kunnossapitotöiden ja tuotannon

turvallinen keskinäinen hallinta tapahtuu työ-lupaprosessilla, jolla ohjataan työn toteutuk-sen toimenpiteiden laajuutta sekä ohjataan töitä tehtäväksi joko rinnakkain tai peräkkäin. Toimenpiteiden laajuudessa työlupan voi tul-la lisänä alalupia, kuten säteilytyöluja tai säi-liötyöluja. Peräkkäin tekemisessä esimerkiksi tuotannon aikana kovan säteilytason sisältä-vässä huonetilassa kunnossapitotyön työluja vapautetaan toteutukseen vasta, kun säteilyä tuottava polttoaineen tai loppusijoituskapselin käsittely huonetilassa on tullut valmiiksi.

### KÄYTTÖKOKEMUKSIA JA TURVALLISUUSTUTKIMUKSIA HYÖDYNNETÄÄN TURVALLISUUDEN PARANTAMISESSA

Posivalla tutkitaan turvallisuuden kannalta mer-kittävät käyttötapahtumat perussyiden selvittä-miseksi sekä korjaavien ja ehkäisevien toimen-piteiden määrittelemiseksi ja toteuttamiseksi.

Olkiluodossa käyttökokemustoiminta on TVOn ja Posivan yhteistä, konsernitaseista toimin-taa. Konsernin käyttökokemustoimintaa hoitaa käyttökokemusryhmä, jonka tehtävänä on kan-sallisista ja kansainvälisistä käyttötapahtumista ja toimintaa parantavista havainnoista tehtyjen käyttökokemusraporttien järjestelmällinen seu-ranta ja käsittelyyn saattaminen sekä toimenpi-teiden seuranta.

Posivasta käyttökokemusryhmän seurantaan ja käsittelyyn viedään Posivan toimialalla sekä toi-minnassa havaitut merkitykselliset käyttötapah-tumat sekä toimintaa parantavat havainnot (ml. kalliorakentamiseen ja pitkäaikaisturvallisuuteen liittyvät tapahtumat). Käyttökokemusten lähteinä Posivalla toimivat poikkeamajärjestelmään kirjatut käyttökokemukset, poikkeamat, turval-lisuushavainnot, ympäristövahingot, vahingot ja mahdolliset muut kirjatut havainnot sekä tehdyt trendianalyysit ja koosteet.

### YDINJÄTELAITOKSILLE ON LAADITTU TURVALLISUUSTEKNISET KÄYTTÖEHDOT

Kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle on laa-dittu ja toimitettu STUK:lle hyväksyttäväksi tur-vallisuustekniset käyttöehdot (TTKE). TTKE:ssa

kuvataan ehdot, vaatimukset ja rajoitukset mi-ten kapselointi- ja loppusijoituslaitosta voidaan käyttää ydinturvallisuutta vaarantamatta. TTKE sisältää tekniset ja hallinnolliset vaatimukset, joilla varmistetaan laitoksen suunnittelupe-rusteiden ja turvallisuusanalyysien mukainen käyttö. Kapselointi- ja loppusijoituslaitosta käytetään TTKE:n käyttöehtojen vaatimusten ja rajoitusten mukaisesti, ja niiden noudattamista valvotaan ja TTKE:sta poikkeamisista raportoi-daan. TTKE:n lisäksi kapselointi- ja loppusijoi-tuslaitokselle laaditaan käyttö-, häiriötilanne- ja onnettomuusohjeistus.

### YDINJÄTELAITOSTEN KUNTOA VALVOTAAN TURVALLISUUDEN VARMISTAMISEKSI

Käyttökuntoisuutta ja käyttöympäristön vaiku-tuksia valvotaan tarkastusten, testien, mittaus-ten ja analyysien avulla. Käyttökuntoisuus var-mistetaan ennakolta säännöllisillä huolloilla sekä kunnostamiseen ja korjauksiin on varauduttava käyttökuntoisuuden heikkenemisen varalta. Tä-män mahdollistamiseksi kunnossapitotoiminta perustuu suunnitelmalliseen toimintaan.

#### Kunnossapitosuunnittelu

Kunnossapitotoiminnan tehtävänä on osaltaan taata laitoksen turvallinen ja häiriötön käyttö sekä varmistaa osakkaille varma ja kilpailuky-kyinen sähköntuotanto. Kunnossapitosuunnit-telun osalta tämä tarkoittaa sitä, että

- kunnossapitotoimenpiteet kohdennetaan laitoksen turvallisuuden ja käytettävyyden kannalta tärkeille laitepaikoille ja vältetään turhia toimenpiteitä
- varmistetaan riittävä vikakorjausvalmius
- määritetään ja varmistetaan tarvittavat kun-nossapitoresurssit
- optimoidaan tarvittava varaosamäärä niin vikakorjausvalmiuden kuin huoltojenkin kannalta
- optimoidaan laitepaikan kunnossapitokus-tannukset pitkällä tähtäimellä
- hyödynnetään tehokkaasti kerääntynyt käyttö- ja kunnossapito-kokemus kunnon-valvonta- ja huolto-/tarkastusohjelman arvi-oinnissa ja suunnittelussa

- kirjataan perusteet myöhempää uudelleen-arviointia varten
- hyödynnetään kunnossapidon tietojärjestelmiä tehokkaasti ja lisätään ”tietojen avoimuutta” niin, että kunnossapitotoimintaan liittyvät tiedot ovat helposti niitä tarvitsevien osapuolten (käyttö, kunnossapito, tekniikka, turvallisuus ym.) käytettävissä ja arvioitavissa
- lisätään kunnossapitotoimintaan osallistuvien osapuolten henkilöiden tietämystä eri laitepaikkojen toiminnan merkityksestä laitosten turvallisuudelle ja käytettävyydelle.
- Posivan kunnossapito jaetaan kolmeen eri osa-alueeseen:
- Ennakkohuollolla pyritään estämään laitosten käytettävyyttä ja turvallisuutta alentavat laiteviat, parantamaan laitteiden toimintavarmuutta ja jaksottamaan tarpeelliset huoltotoimenpiteet sopivalla tavalla.
- Korjaavalla kunnossapidolla laite saataan vikaantumisen jälkeen alkuperäiseen kuntoon.
- Parantava kunnossapito pitää sisällään laitteiden ja järjestelmien muutos- ja perusparrannustyöt.

Posivan ydinlaitosten laitteistot jaetaan laitevastuualueisiin. Kullekin laite-vastuualueelle nimetään laitevastaava, joka vastaa laitevastuualueensa kunnossapitosuunnittelusta. Kunnossapitosuunnittelu käsittää mm. laitevastuualueen laitteiden ennakkohuolto- ja kunnonvalvontaohjelmien suunnittelun, varaosasuunnittelun, laitteiden muutos- ja perusparrannustarpeiden esittämisen sekä vikakorjausvalmiuksien ylläpidon ja kehittämisen.

Laitteiden kunnossapitosuunnittelun perustana on laitepaikkojen jako neljään kunnossapitoluokkaan. Kunnossapitoluokan valintaan vaikuttaa ko. laitteen vikaantumisen merkitys järjestelmän ja koko laitoksen toimintaan. Luokituksessa otetaan huomioon eri laitteiden käyttövarmuus- ja turvallisuusmerkitys sekä kunnossapito-kustannukset. Kunnossapitoluokka vaikuttaa mm. laitepaikan varaosahuollon järjestelyyn sekä ennakkohuolto- ja kunnonvalvontatehtävien valintaan seuraavasti:

- luokka 1: laite pyritään pitämään aina kunnossa

- luokka 2: laitteen rajoitettu epäkäytettävyys sallitaan
- luokka 3: laitteelle sallitaan taloudellisesti perusteltu ennakkohuolto
- luokka 4: laitteella ei ole suunniteltua ennakkohuoltoa

## Ennakkohuollon suunnittelu

Ennakkohuolto jaetaan: määräaikaishuoltoihin, kunnonvalvontaan ja määräaikaistarkastuksiin.

Laitteen ennakkohuoltotoimenpiteiden ja -ohjelman suunnittelun suorittaa laitevastaava. Suunnittelun perusteina käytetään laitteen kunnossapitoluokkaa, valmistajan ennakkohuolto-ohjeita ja huolto-ohjelmia sekä omia ja ulkopuolisia käyttökokemuksia.

Ennakkohuollon tietojärjestelmään (ENKKU) kirjataan laitteiden EH-toimenpiteet. Sen avulla ylläpidetään laitteiden EH-ohjelmia ja ohjataan kaikkia ennakkohuoltotöitä. Laitepaikan ennakkohuolto-ohjelma suunnitellaan kunnossapitoanalyysin pohjalta, jolloin huoltotoimenpiteet voidaan kohdentaa todennäköisien vikojen poistamiseksi.

## Kunnossapito-ohjelman arviointi

Ohjelman riittävyys arvioidaan niin, että se varmistaa vaaditun laitepaikan luotettavuuden, korjausvalmiuden vikatapauksissa ja optimoi laitepaikalle kohdistuneet korjaavan ja ennakkoivan kunnossapidon kokonaiskustannukset. Laitepaikan huoltotoimenpiteitä arvioitaessa huomioidaan laitepaikkojen vanhenemis- ja kulumisilmiöt niin, että laitepaikkojen toimintavarmuus pysyy tavoitellulla tasolla ja mahdolliset parannustoimenpiteet voidaan tehdä riittävän ajoissa

## SÄTEILYMÄÄRIÄ JA RADIOAKTIIVISTEN AINEIDEN PÄÄSTÖJÄ VALVOTAAN

Kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle toteutetaan kattava aktiivisuus- ja annosnopeuksien valvonta. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen huonetilojen säteilyturvallisuutta valvotaan huonetilojen säteilymittausjärjestelmällä. Valvonnan piirissä ovat kaikki ne tilat, joissa siirretään, käsitellään ja varastoidaan käytettyä polttoai-



netta sisältäviä kuljetussäiliöitä tai loppusijoituskapsелеita. Polttoaineen käsittelykammiolla on lisäksi oma kohdennettu säteilymittausjärjestelmänsä. Huonetilojen valvontaan kuuluu lisäksi joitakin polttoaineen käsittelyprosessihin liittyviä tiloja, joita valvotaan prosessien oikean toiminnan ja tilojen säteilyturvallisuuden varmistamiseksi. Käytettävät laitteet ovat suurimmalta osin gamma-säteilyn annosnopeutta mittaavia, mutta järjestelmään kuuluu myös muita mittauksia. Järjestelmä antaa varoituksia ja hälytyksiä kohonneesta tai liian korkeasta annosnopeudesta.

Huonetilojen valvonnan lisäksi säteilyturvallisuuden kannalta tärkeimmille prosessijärjestelmille on toteutettu oma valvontansa. Käsittelykammion ilmakehän radioaktiivisuutta ja suodatusta valvotaan jatkuvasti säteilymittauksin. Kapselointilaitoksen poistoilmapiipun kautta laitosympäristöön johdettavan poistoilman aktiivisuutta valvotaan myös jatkuvasti. Lisäksi valvotaan kapselointilaitoksen aktiivisten vesien keruujärjestelmän sisältämää radioaktiivisuutta. Loppusijoituslaitoksella ei odoteta syntyvän lainkaan radioaktiivisia jätteitä tai jätevesiä. Kapselointilaitoksen valvonta-alueen viemäriverdet joko viedään edelleen jatkokäsitteltäviksi Olkiluodon ydinvoimalaitoksen laitosyksiköille tai pumpataan puhtaksi havaittuina ja valvonnasta vapautettuina laitosympäristöön.

Kannettavan säteilymittausjärjestelmän laitteita käytetään säteilyannosten, annosnopeuksien ja aktiivisuuksien mittaamiseen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella siltä osin kuin tehtäviä ei voida suorittaa kiinteällä säteilymittausjärjestelmällä. Järjestelmään kuuluvat myös henkilöstön saamien säteilyannosten ja annosnopeuksien mittaamiseen tarkoitetut dosimetrit.

Säteilyturvallisuuden valvonnan varmistamisessa tukeudutaan pysyvien aluevalvonnan säteilymittauskanavien lisäksi työntekijöiden henkilökohtaiseen annos- ja annosnopeusvalvontaan kannettavien dosimetricien (TLD ja sähköinen) avulla. Näin toimitaan mm. kohteissa, joissa on saatavissa muitakin luotettavia tietoja (käytettyä polttoainetta sisältävän) kuljetussäiliön tai loppusijoituskapselin läsnäolosta (esim. kameravalvonta), tai joissa ihmisten oleskelu on muutoin luotettavasti estetty samaan aikaan kapselin kanssa (tilojen lukitukset), tai

tilan käyttötarkoitus ei aseta merkittäviä työskentelyyn liittyviä säteilyturvallisuusriskejä tilan käyttäjille. Tällöinkin ydinpolttoaineen käsittely kyseisessä tilassa on sallittua vain jos sen kiinteä säteilymittaus on käyttökunnossa.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen lähiympäristön säteilyn annosnopeusvalvonta toteutetaan laajentamalla TVO:n olemassa olevaa ympäristön annosnopeuden mittaussysteemiä. Järjestelmää laajennetaan asentamalla kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen alueelle uusia mittausasemia.

## TURVALLISUUSKULTTUURI ON POSIVAN ORGANISAATION LÄHTÖKOHTA

Posivan organisaatorakenne on kuvattu tämän hakemuksen liitteessä 7 ”*Selvitys hakijan käytettävissä olevasta asiantuntemuksesta ja ydinlaitoksen käyttöorganisaatiosta*”.

Posivalla on omaksuttu pitkälle kehittynyt turvallisuuskulttuuri. Kehittyneellä turvallisuuskulttuurilla tarkoitetaan organisaatiossa vallitsevaa ajattelutapaa ja asennetta, toimintatapaa ja työilmapiiriä, jossa korostetaan laitoksen käytön turvallisuuden sekä turvallisuuden kannalta merkityksellisten seikkojen asettamista ensisijalle toiminnan kaikissa vaiheissa. Se tarkoittaa edelleen turvallisuustietoisuutta, korkeaa ammattitaitoa, huolellisia työtapoja sekä valppautta ja aloitteellisuutta turvallisuutta heikentävien tekijöiden havaitsemiseksi ja poistamiseksi. Hyvään turvallisuuskulttuuriin pyrittäessä käytetään ohjenuorana kansainvälisen atomienergiajärjestön (IAEA) määrittelemiä tunnuspiirteitä, jotka kuuluvat hyvään turvallisuuskulttuuriin pyrkivän organisaation käytännön toimintaan.

- Johtamisjärjestelmän tavoitteena on varmistaa, että ydin- ja säteilyturvallisuus asetetaan aina etusijalle ja että laadun hallintaa koskevat vaatimukset vastaavat toiminnon turvallisuus-merkitystä. Johtamisjärjestelmää on suunnitelmallisesti arvioitava ja kehitettävä.
- Kunkin toiminnon osalta on tunnistettava turvallisuuden kannalta merkittävät vaatimukset ja kuvattava suunnitellut toimenpiteet sen varmistamiseksi, että vaatimukset täytetään.

- merkittävien poikkeamien tunnistamiseksi ja korjaamiseksi on oltava järjestelmälliset menettelytavat.
- Luvanhaltijan on sitoutettava ja veloitettava palveluksessaan oleva henkilöstö sekä toimittajat, alihankkijat ja muut turvallisuuteen vaikuttaviin toimintoihin osallistuvat yhteistyökumppanit turvallisuuden ja laadun järjestelmälliseen hallintaan
- Merkittävien organisaatiomuutosten turvallisuus-vaikutukset on arvioitava ennakoon
- Turvallisuuden kannalta merkittävät tehtävät on nimettävä.
- Luvanhaltijalla on oltava palveluksessaan riittävä ja osaava henkilöstö ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta huolehtimiseksi
- Luvanhaltijalla on oltava vastuullisen johtajan tukena toimiva, muusta organisaatiosta riippumaton asiantuntijaryhmä, joka koontuu säännöllisesti käsittelemään turvallisuutta koskevia kysymyksiä ja antaa tarvittaessa niistä suosituksia.

## LOPPUSIJOITUSTOIMINNAN PROSESSIKUVAUS

Loppusijoitusprosessin aikana käytetty ydinpolttoaine kuljetetaan välivarastosta kapselointilaitokseen pakattavaksi loppusijoituskapseliin ja siirrettäväksi yli 400 metrin syvyydessä sijaitseviin loppusijoitustiloihin. Prosessiin liittyviin työvaiheisiin on kehitetty koko maailman mittakaavassa ainutkertaisia teknologisia ratkaisuja.

Kun loppusijoitustoiminta on käynnissä, käytetty ydinpolttoaine tuodaan välivarastoista kapselointilaitokseen pakattavaksi kuparista ja pallografiittiraudasta valmistettuihin loppusijoituskapseleihin. Kapselointilaitos on kytketty maanalaiseen loppusijoituslaitokseen kapselihissillä, jolla kapselit kuljetetaan alas loppusijoitustasolle 430 metrin syvyyteen maanalaiselle vastaanottoasemalle. Sieltä ne siirretään siirto- ja asennusajoneuvolla loppusijoitustunneliin.

Kapselointilaitoksessa loppusijoituskapselia siirrellään eri työvaiheissa kapselointilaitoksen maan alla olevissa tiloissa. Käytetty ydinpolttoaine ladataan loppusijoituskapseleihin polttoai-

neen käsittelykammiossa, jonka betoniseinien paksuus on noin 1,3 metriä. Kun kaikki polttoaineniput on siirretty kapseliin, se täytetään argonkaasulla ja suljetaan tiiviisti kapselin sisemmällä teräskannella. Kapselin päällimmäiseksi tuleva kuparikansi suljetaan kitkatappihitsauksella hitsauskammiossa, ja sauman tiiveys varmistetaan visuaalisesti sekä pyörrevirta- ja ultraäänitarkastuksella. Hitsaukseen valittu kitkatappihitsaus muodostaa kuparikanteen liittosauman siten, että sauman eheys vastaa kapselin vaipan eheyttä. Posiva on kehittänyt menetelmää yhdessä Ruotsin käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta vastaavan SKB:n kanssa.

## LOPPUSIJOITUSREIÄT PORATAAN KALLIOON

Loppusijoitusreikien poraukseen kehitetty loppusijoitusreiän porauslaite DHBM (Deposition Hole Boring Machine) on yksi loppusijoitukseen kehitetyistä erikoislaitteista. Porattaville rei'ille on asetettu vaatimuksia, joilla varmistetaan että reikä on soveltuva loppusijoittamiseen. Tärkeintä on, että kahdeksan metrin syvyyden loppusijoitusreiän mitattu keskipiste ei poikkea millään syvyydellä yli 25 millimetriä pystysuorasta keskilinjasta alkupisteen ja loppupisteen välillä.

## LOPPUSIJOITUSREIKÄ JA TUNNELI SULJETAAN PUSKURILLA JA TÄYTÖLLÄ

Maanalaiseen loppusijoitukseen kuuluu useita erilaisia savikomponenttien siirto- ja asennuslaitteita: AGV-alustat (vihivaunut), puskurin asennusjärjestelmä (BIS) sekä tunnelintäytön asennusjärjestelmä (GBIS). Sekä puskurin että loppusijoitustunnelin täytön asennusjärjestelmän ajoneuvotekniikkana toimivat AGV-alustat, jotka ovat autonomisesti navigoivia ja liikkuvia vaunuja. Nämä laitteet ovat suunniteltu asentamaan puskuri ja tunnelitäyttö vaatimusten mukaisesti. Vaatimuksilla varmistetaan muun muassa pitkäaikaisturvallisuuden toteutuminen.

### Puskurilohkojen asennusjärjestelmä

Puskurin asennuslaitteen tehtävänä on asentaa puskurilohkot loppusijoitusreikään. Pus-

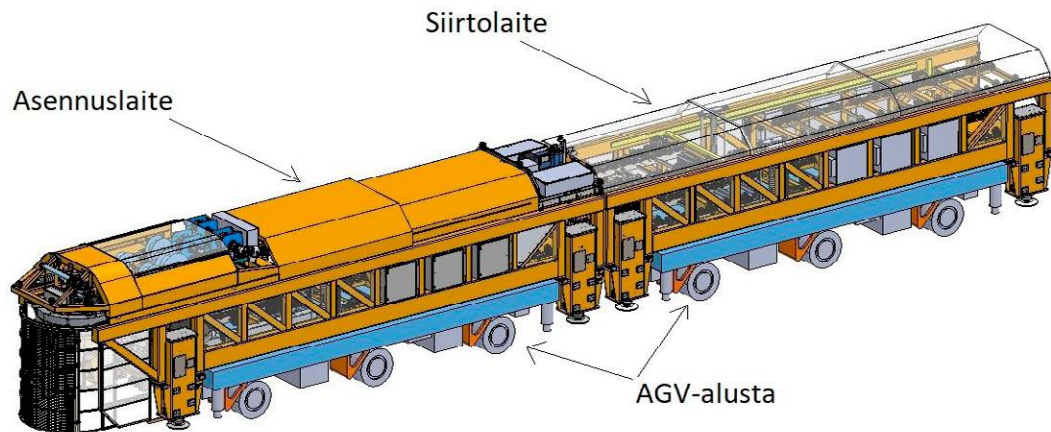
kurin asentaminen tehdään kahdessa osassa. Ensimmäisessä vaiheessa asennetaan reiän pohjalle kiinteät lohkot ja tämän jälkeen lohkot, joissa on kapselin mentävä reikä keskellä. Kapselin asennuksen jälkeen ylimmät puskurilohkot asennetaan vielä kapselin päälle. Näihin molempiin vaiheisiin kuuluu lisäksi tyhjäksi jääneen tilan täyttäminen hienojakoisella bentoniitilla, jotta puskurista tulee tiivis. Puskurin asennus loppusijoituskapselin ympärille on siis millintarkkaa työtä alusta loppuun.

### Tunnelitäytön asennusjärjestelmä

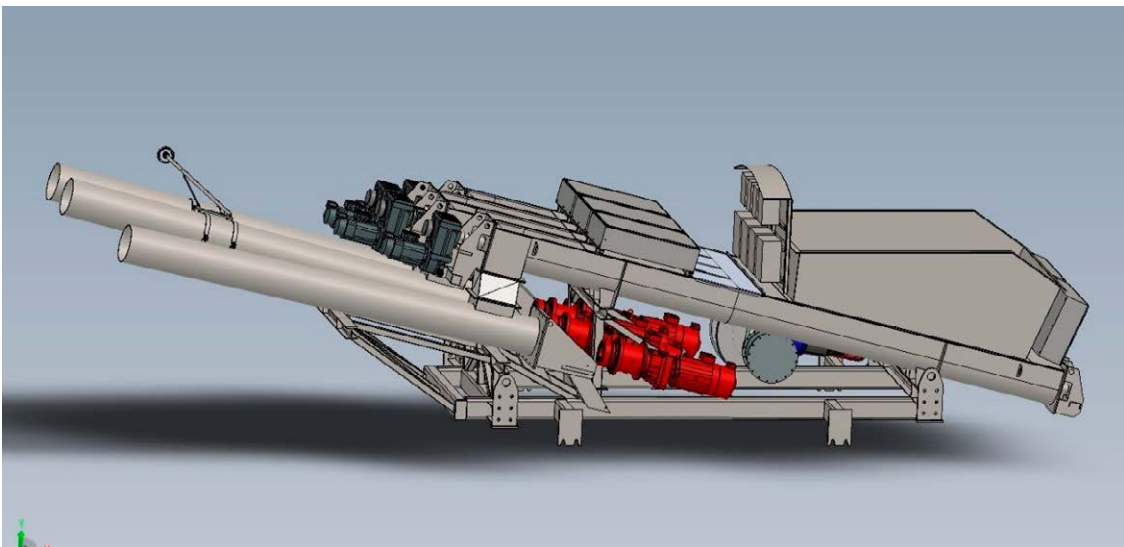
Posiva päätti vuonna 2019, että loppusijoitus-tunnelit täytetään granuliseoksella, joka koostuu eri kokoon murskatuista bentoniittipelle-

teistä. Aiemmin tunnelit oli ajateltu täytettävän bentoniittisavesta valmistetuilla lohkoilla ja -pelleteillä. Tämä kuitenkin arvioitiin toteutettavuuden kannalta haastavaksi, minkä vuoksi Posiva lähti selvittämään vähintään yhtä turvallista, mutta taloudellisesti edullisempaa sekä materiaalinvalmistuksen ja asentamisen kannalta teollisempaa vaihtoehtoa.

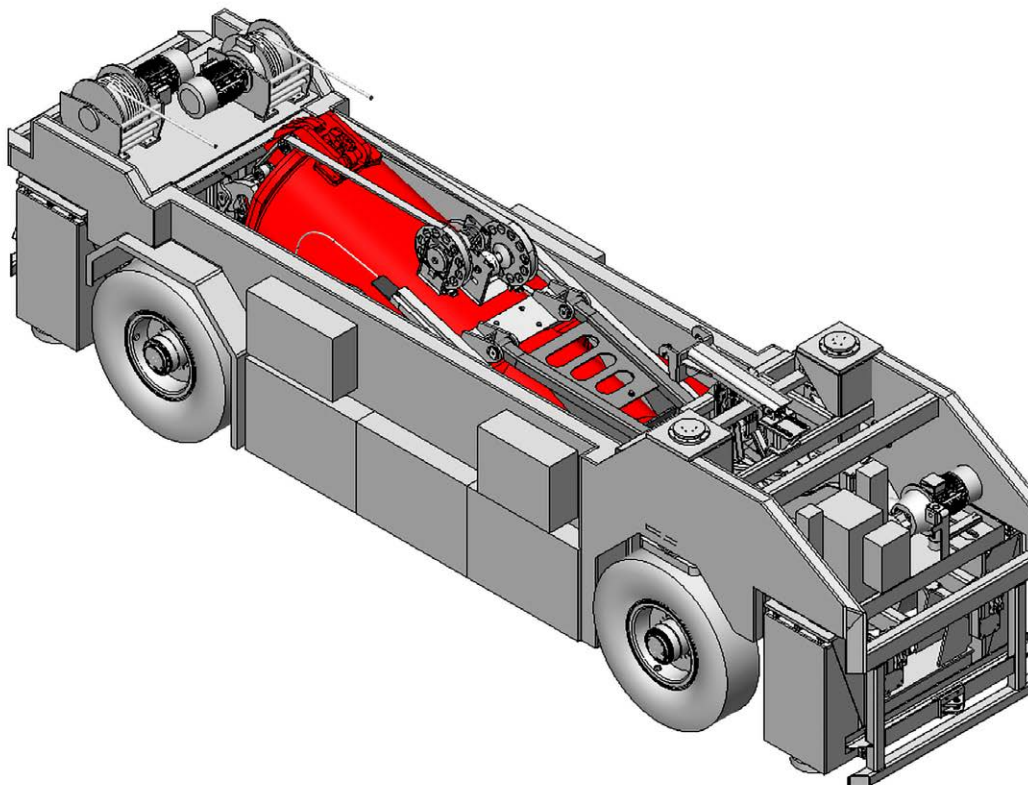
Loppusijoituksen täyttöratkaisun idea on sovellettu sveitsiläisen loppusijoitusyhtiön NAGRAn kapselia ympäröivästä puskuriratkaisusta. Granulitäyttöratkaisulla varmistetaan kapselia ympäröivän puskurin toimintakyky siten, ettei puskuri pääse nousemaan kapselin ympäriltä loppusijoitustunneliin.



**Kuva 10.** Puskurilohkojen asennusjärjestelmä



**Kuva 11.** Tunnelitäytön asennuslaite.



**Kuva 12.** Kapselin siirto- ja asennusajoneuvo. Punaisella kuvassa on säteilysuoja, jonka sisällä loppusijoituskapselia kuljetetaan.

Tunnelitäytön asennuslaitteen päätehtävänä on siirtää granulimateriaali loppusijoitustunneliin täyttäen sen lattiasta kattoon. Tunnelia täytettäessä laitteella peruutetaan hitaasti, kunnes koko tunneli on saatu täytettyä.

### Kapselin siirto- ja asennusajoneuvo

Kapselin siirto- ja asennusajoneuvo (KSAA) on ainoa maanalaisen loppusijoitusprosessin turvallisuusluokiteltu järjestelmä (TL3). Sen tehtävänä on kuljettaa ja asentaa käytettyä ydinpolttoainetta sisältävät loppusijoituskapselit loppusijoitusreikään. Kapselit kuljetetaan 150-millisen teräksisen säteilysuojaputken sisällä. Lisäksi putken sisustassa on PE-muovikerros, joka absorboi neutronisäteilyä.

Laitteen oma paino on 90 tonnia, mutta kapselin ollessa kyydissä paino nousee jopa 120 tonniin.

Kapselin siirto- ja asennusajoneuvon toiminta alkaa, kun kapselivarastosta nostetaan kuparikapseli säteilysuojaputken sisälle. Ennen liikkeellelähtöä putki käännetään vaaka-asentoon, minkä jälkeen kapseli kuljetetaan haluttuun tunneliin. Lopulta ajoneuvo vääritetään oikean reiän päälle ja kapseli lasketaan puskurilohkojen keskelle.

## YDINJÄTELAITOKSILLA ON TURVA- JA VALMIUSJÄRJESTELYT

### VALMIUSJÄRJESTELYT TULEE OLLA SUUNNITELTUNA ONNETTOMUUDEN VARALTA

Säteilyturvakeskus määrittelee ydinvoimalaitosten valmiusjärjestelyiden kokonaisuudesta sekä valvoo toimintaa.

Valmiustilanteet on jaettu kolmeen luokkaan niiden vakavuuden ja hallittavuuden perusteella: varautumistilanne, laitoshätätilanne ja yleishätätilanne. Posivan loppusijoitustoiminnassa varaudutaan myös mahdolliseen valmiustilanteeseen, joskin tällaisen tilanteen muodostuminen on hyvin epätodennäköistä. Luokitus kuvastaa tilanteen vakavuutta ja hallittavuutta sekä sen aiheuttamien valmiussuunnitelman mukaisen toimien laajuutta. Jokainen valmiustilanne määritellään kunakin ajanhetkenä kuuluvaksi johonkin edellä mainituista luokista. Luokka voi vaihtua tilanteen kehittymisen myötä.

### VALMIUSOHJEET OVAT YHTEISIÄ OLKILUODOSSA

Valmiustoiminnan ohjeet muodostavat TVO-konsernin valmiussuunnitelman, joka kattaa niin TVO:n ydinvoimalaitokset kuin Posivan ydinlaitoksenkin. Valmiussuunnitelman tarkoi-



tuksena on varautuminen laitoksen henkilökuntaa, laitoksen ympäristöä ja itse laitosta mahdollisesti uhkaavien säteilyonnettomuuksien ja niiden seurausten rajoittamiseen. Valmiussuunnitelma on laadittu TVO-konsernin organisaation toimintojen ohjaamiseksi onnettomuustilanteessa siten, että Olkiluodon alueella edellytetyt toimenpiteet tulevat suoritetuiksi.

Ydinlaitos sekä ydinvoimalaitokset (Posiva, OL1, OL2, OL3) huolehtii valmiusjärjestelyistä Olkiluodon alueella ja Olkiluodon valmiusorganisaation ylläpitämisestä valmiussuunnitelman mukaan. Onnettomuustilanteessa valmiusorganisaation tehtävänä on:

- tehdä onnettomuusilmoitukset
- osallistua pelastus- ja sammutustoimintaan Olkiluodon laitosalueella
- varoittaa väestöä tarvittaessa laitosalueen lähialueella (0–5 km)
- osallistua säteilymittaukseen laitosalueella ja sen lähiympäristössä
- antaa tietoja onnettomuuden kehittymisestä, toimenpidesuosituksia ja muuta asiantuntija-apua
- toimeenpanna tarvittaessa suojaväistö laitoksen alueella pelastusorganisaation tukeksi

## OLKILUODON VALMIUS- ORGANISAATION VASTUUT ON MÄÄRITELTY

Valmiussuunnitelmaan perustuvasta toiminnasta onnettomuustapauksissa - valmiustoitinnasta - huolehtii konsernin valmiusorganisaatio. Valmiusorganisaatio on muodostettu lähtien normaalista linjaorganisaatiosta, joka on esitetty organisaatiokäsikirjassa. Henkilöstön vastuualueet ovat pyritty säilyttämään mahdollisuuksien mukaan, jotta siirtyminen onnettomuustilanteen edellyttämien toimintojen suoritukseen tapahtuisi kitkattomasti.

## VALMIUSORGANISAATIO HARJOITTELEE SÄÄNNÖLLISESTI

Posivan valmiusjärjestelyt ovat osa TVO-konsernin valmiusjärjestelyitä. Konsernitaseista

valmiussuunnitelmaa noudatetaan myös Posivan valmiusjärjestelyiden osalta. Valmiusorganisaatiota on täydennetty Posivan Tukiryhmän edustajilla, jotta valmiusorganisaation toimintakyky kyetään varmistamaan myös Posiva lähitöisessä valmiustilanteessa.

Suunniteltu valmius saavutetaan ja ylläpidetään perus- ja jatkokoulutuksilla, valmiusharjoituksilla ja tiedottamalla. Valmiussuunnitelmassa olevien toimenpideohjeiden noudattamisesta ja toimintojen täytäntöönpanosta vastaa laitosten vastuullinen johtaja/ valmiuspäällikkö. Valmiussuunnitelman toimeenpanovalmiudesta, kalustosta, koulutustilaisuuksien järjestämisestä ja valmiusharjoitusten käytännön toteutuksesta vastaa valmiusjärjestelystä vastuullinen henkilö.

## TOIMINTA VALMIUSTILANTEESSA PERUSTUU TUNNISTETTUIHIN TOIMINTOIHIN

Toiminta valmiustilanteessa perustuu tunnistettuihin toimintoihin. Valmiustilanteessa tunnistetut toiminnot ovat:

- Valmiustilanteen toteaminen
- Hälyttäminen
- Oma henkilöstö
- Viranomaisen hälyttäminen
- lähialueen hälyttäminen
- Kokoontuminen, tilannetietoisuus
- Onnettomuuden hallinta
- Laitosalueen evakuointi
- Ympäristön tarkkailu
- Avustustoimenpiteet
- Turvajärjestelyt
- Tiedotus
- Laitoksen ennalleen saattaminen
- Dokumentointi

## VALMIUSTILANNE PURETAAN HALLITUSTI

Laitoksen ja ympäristön tilannetta aletaan palauttaa ennalleen heti, kun onnettomuustilanne

on saatu hallintaan. Valmiuspäällikkö johtaa toimenpiteitä apunaan tukiryhmä. Myöhemmin palataan normaalin linjaorganisaation puitteissa tapahtuviin toimintoihin. Valmiustilanteen purkamisen ehtona on, että ydinvoimalaitos on saatettu turvalliseen tilaan, päästöt eivät ylitä normaalitoiminnalle asetettuja rajoja ja jälkitoimenpiteet käynnistetään.

Jälkitoimenpiteisiin kuuluvat ainakin seuraavat toimenpiteet:

- niiden ydinlaitoksen rakenteille, laitteille tai järjestelmille aiheutuneiden muutosten selvittäminen, jotka vaikuttavat laitoksen pysymiseen turvallisessa tilassa
- radioaktiivisten aineiden hallintaan mahdollisesti tarvittavat toimenpiteet
- onnettomuuden aiheuttamien säteilyannosten arvioiminen
- tapahtuman syiden selvittäminen ja raportin laatiminen tapahtumasta.

Tarvittaessa tulee lisäksi ryhtyä puhdistustoimenpiteisiin ja huolehtia jätteiden käsittelystä. Mikäli pelastustoiminta jatkuu ydinvoimalaitoksen koskevan hätätilanteen purkamisen jälkeen, on varauduttava vastaavaan yhteistoimintaan kuin hätätilanteen aikana. Dekontaminointitehtävissä pyritään noudattamaan normaalikäytön aikaisia säteilyannosrajoja. Jälkitilanteen selvitys ja päätökset jatkotoimista tehdään yhteistyössä STUK:n kanssa.

## YDINJÄTELAITOKSILLA ON TURVAJÄRJESTELYT KUNNOSSA

Kapselointi- ja Loppusijoituslaitosten, sekä kuljetusten ja siirtojen turvajärjestelyt perustuvat Säteilyturvakeskuksen (STUK) YVL A.11 ja A.12 ohjeisiin, STUKin määräykseen ydinenergian käytön turvajärjestelyistä STUK/Y/2/2020, Suunnitteluperusteuhkaan, Ydinenergilakiin sekä viranomaisten kanssa tehtyyn yhteistyöhön.

Posivan ydinlaitokset sijaitsevat Olkiluodon voimalaitosalueella, tästä syystä saadaan se etu, että suuri osa turvajärjestelyistä on yhteisiä TVO:n kanssa.

Turvajärjestelyjen tarkoituksena on havaita ja estää lainvastainen toiminta, ja täten omal-

ta osaltaan taata laitosten turvallinen käyttö. Tämä saavutetaan muun muassa hallinnollisilla toimilla ja rakenteellisilla ratkaisuilla.

Turvajärjestelyjä riittävyttä ja toimivuutta seurataan, tähän osallistuu tarpeen vaatiessa myös poliisiviranomainen, tämän seurannan perusteella turvajärjestelyjä ylläpidetään ja kehitetään jatkuvasti, jotta voidaan varmistaa turvajärjestelyiden riittävä taso kaikissa tilanteissa.

## TYÖSKENTELY JA ASIOINTI YDINJÄTELAITOKSELLA TAPAHTUVAT LUVITETUSTI

Ydinlaitoksilla työskentelyyn vaaditaan kulkulupa, jonka saamiseksi työntekijälle tehdään turvallisuusselvitys. Muu asiointi ja vierailut hoidetaan vierailuluvalla, vierailulupaa myönnettäessä varmistutaan vierailijoiden henkilöllisyydestä sekä vierailun tarkoituksesta. Oli sitten kyseessä työntekijä taikka vierailija, niin kaikkea henkilö- ja tavaraliikennettä valvotaan, tämä toteutetaan läpivalaisuilla ja metallinpallastimilla. Tavaraliikenteen ollessa kyseessä, kuljetuksen laillisuus varmistetaan sekä kuljetus tarkastetaan. Alueelle tultaessa suoritetaan myös satunnaisia alkoholi- ja huumetestejä.

## TURVAHENKILÖSTÖ ON KOULUTETTU UHKATILANTEISIIN

Uhkatilanteita kuin myös normaalia turvavalvontaa varten ydinlaitoksilla on sitä varten koulutettuja turvahenkilöitä. Turvahenkilöillä on ydinenergiain mukaan erityisiä voimankäyttöoikeuksia, joita voidaan käyttää uhkatilanteissa vähimmän mahdollisen vahingon periaatteen mukaisesti. Uhkatilanteen uhatessa tai toteutuessa turvahenkilöt toimivat hälytyskeskuksen ohjeiden mukaan siihen saakka kunnes poliisiviranomainen ilmoittaa ottavansa tilanteen johon vastuun. Tämän jälkeen turvahenkilöt toimivat poliisiviranomaisten ohjeistuksen mukaisesti.

## TURVALLISUUDEN TOTEUTTAMISELLA ON KANSAINVÄLISIÄ VELVOITTEITA

Posivan toiminta edellyttää myös kansainvälisten sopimuksien noudattamista muun muassa

ydinmateriaalivalvonnan osalta. Euratomin perustamissopimuksen mukaisesti ydinlaitoksen rakentamiseen tähtäävästä investointihankkeesta on ilmoitettava Euroopan komissiolle tiedot, joiden perusteella komissio voi arvioida hankkeen vaikutuksia. Ydinlaitoksen käyttöön liittyvistä ympäristövaikutuksista on myös tehtävä ns. ympäristöilmoitus Euroopan komissiolle. Ympäristöilmoituksessa annettujen tietojen perusteella kansainvälinen asiantuntijaryhmä arvioi ydinlaitoksen mahdolliset naapurivaltioiden alueelle ulottuvat vaikutukset.

Kansainvälisiin sopimuksiin perustuvaa ydinmateriaalivalvontaa toteuttavat kansainvälinen atomienergiajärjestö IAEA ja Euratom (käytännössä Euroopan komissio). Tätä varten laitoksista on ilmoitettava tekniset perustiedot, joiden avulla Euratom ja IAEA voivat suunnitella laitoksiin kohdistuvan ydinmateriaalivalvonnan. Ydinlaitoksen toiminnanharjoittajan on mahdollistettava kansainvälisten organisaatioiden tarkastajien pääsy laitoksille. IAEA ja Euratom tekevät suunnittelutietojen todentamista, määräaikaista tarkastuksia sekä myös lyhyen varoitusajan ns. yllätystarkastuksia varmentakseen laitoksilla olevien ydinmateriaalien rauhanomaisen käytön. Toiminnanharjoittajalla on oltava ydinmateriaalien kirjanpito- ja raportointijärjestelmä, jonka avulla voidaan seurata, kuinka paljon laitoksilla on ydinmateriaaleja ja missä ne sijaitsevat. Näitä tietoja raportoidaan Euroopan komissiolle kuukausittain.

Käytetyn polttoaineen loppusijoituksella on se erityispiirre, että loppusijoitettu ydinaine joutuu pysyvästi perinteisen valvonnan ulottumattomiin. Tämän vuoksi on erityisesti tarpeellista varmistua loppusijoitettavan polttoaineen määrästä ja laadusta ennen loppusijoituskapselin sulkemista. Ydinmateriaalivalvonnan toteuttaminen, velvoitteet sekä kirjanpito- ja raportointi ohjeistetaan ajan tasalla pidettävässä Säteilyturvakeskuksen hyväksymässä ydinmateriaalivalvonnan käsikirjassa.

# LOPPUSIJOITUKSEN HISTORIA SUOMESSA

Käytetyn ydinpolttoaineen tai korkea-aktiivisen jälleenkäsittelyjätteen loppusijoitus syvälle kallioon louhittuihin tiloihin nousi esiin varteenotettavana vaihtoehtona jo 1950-luvulla. Geologisen loppusijoituksen sijasta harkittujen vaihtoehtojen todettiin sisältävän merkittäviä turvallisuus- ja toteutettavuusongelmia. Valvottu pitkäaikainen varastointi on vain väliaikainen ratkaisu, jonka jälkeen loppusijoittaminen on edessä ennemmin tai myöhemmin. Geologinen loppusijoitus ei edellytä valvontaa tai huolenpitoa eikä siten aiheuttaisi tarpeetonta räsistystä tuleville sukupolville. Yleisimmäksi periaateratkaisuksi loppusijoituksessa kehitettiin konsepti, jossa jätepakkaukset sijoitettaisiin syvälle (0,5–1 kilometrin syvyyteen) kallioon louhittuihin tai porattuihin tiloihin.

Selvitykset käytetyn ydinpolttoaineen turvallisuudesta loppusijoituksesta aloitettiin jo 1970-luvulla. Teollisuuden Voima Oy (TVO) ja Imatran Voima Oy (IVO) julkaisivat vuonna 1978 yhteisen ydinjätteselvityksen, jonka tavoitteeksi oli asetettu käytetyn ydinpolttoaineen, jälleenkäsittelyjätteen ja voimalaitosjätteen huoltoa koskevien periaatteiden ja ratkaisujen kokoominen. Jälleenkäsittelyjätteen ja käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusratkaisuna esitettiin malli, joka perustui aiemmin Ruotsissa kehitetyn KBS- konseptin ensimmäiseen versioon.

Suomi määritteli ydinjätehuollon suuntaviivat ja aikataulutavoitteet vuonna 1983, kun valtioneuvosto esitti ydinjätehuollon periaatteellisen ohjelman aikataulutavoitteineen. Vuonna 1994 tuli voimaan ydinenergialaki, jonka mukaan ydinjäte pitää käsitellä, varastoida ja loppusijoittaa Suomen omalla alueella, eikä muiden maiden ydinjätettä saa tuoda Suomeen. Posiva Oy perustettiin 1995 etsimään ratkaisua tähän vaatimukseen.

Loppusijoituspaikkatutkimukset alkoivat jo 1980-luvun alussa sen jälkeen, kun Suomen hallitus teki periaatepäätöksen käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen liittyen. Päätöksessä määritettiin pääpiirteittäin loppusijoituksen tavoitteet ja aikataulu. Ensimmäinen Suomessa tehty turvallisuusanalyysi on TVO-

82 (Anttila ym. 1982), liittyi paikanvalintatutkimuksia edeltävään yleisten geologisten tutkimusten vaiheeseen, jossa selvitettiin Suomen kallioperän soveltuvuutta käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen. Vuonna 1985, paikanvalintavaiheessa, laadittiin seuraava turvallisuusanalyysi, TVO-85 (Peltonen ym. 1985).

Alkuvaiheen selvitysten jälkeen Suomessa tehtiin paikkatutkimuksia 1990-luvulla. Lukuisista eri vaihtoehdoista tarkentavia tutkimuksia päädyttiin tekemään Eurajoen Olkiluodon lisäksi Äänekosken Kivetyssä, Kuhmon Romuväärassa ja Loviisan Hästholmenissa. Geologisten tutkimusten lisäksi paikkakunnilla tutkittiin loppusijoituksen sosio-ekonomisia vaikutuksia sekä tarkasteltiin käytetyn ydinpolttoaineen logistiikkaa ja alueiden infrastruktuuria. Loppusuoralle tutkimuksissa päätyivät Loviisa ja Eurajoen Olkiluoto. Näillä paikkakunnilla asukkaat olivat tottuneet siihen, että suomalaiset ovat vastuullisia toimijoita ydinvoima-alalla. Ajatus loppusijoittamisesta paikkakunnalle oli siten luontevampaa.

Kun viisi paikkaa (ml. Olkiluoto) oli valittu paikkatutkimuksia varten, laadittiin TVO-92-turvallisuusanalyysi (Vieno ym. 1992). Neljä vuotta myöhemmin tehdyssä TILA-96-turvallisuusarvioinnissa (Vieno & Nordman 1996) huomioitiin puolestaan kolme sijoituspaikkaa, Kivetty, Olkiluoto ja Romuvaara. Myöhemmin otettiin mukaan uutena paikkana Hästholmen (TILA-99, Vieno & Nordman 1999). TILA-99:ssä jatkettiin ja päivitettiin TVO-92:ssa ja TILA-96:ssa tehtyä työtä pitkäaikaisturvallisuuden arvioimiseksi. Johtopäätöksenä oli, että loppusijoitus voidaan toteuttaa säteilyturvallisuusmääräysten mukaisesti millä tahansa neljästä tutkimuspaikasta.

Pääosin nykyisen kaltainen KBS-3- konsepti kehitettiin Ruotsissa 90-luvulla. Siinä valurautaisen sisäkapsein ympärillä on 5 cm paksuinen kuparivaippa, kapselit sijoitetaan loppusijoitusreikiin bentoniittisavipuskurin ympäröiminä ja loppusijoitustunneleihin asennetaan bentoniittitäyttö. Posivan käyttöluopakemuksen yhteydessä referenssiratkaisunaan esittämä konsepti pohjautuu KBS-3- konsept-





■ Kuva 13. Olkiluodon kallioperä on Suomen tutkituimpia paikkoja, näin on todistettu kallion soveltuvuus loppusijoitukseen.

tiin, muun muassa teknisten vapautumisesta -komponenttien valmistustekniikkaan ja täyttömateriaalien muotoon liittyvin muutoksiin.

Vuosituhaten vaihe oli merkittävä virsantypylväs ydinpolttoaineen loppusijoituksen suunnittelussa, kun Eurajoen Olkiluoto valittiin loppusijoituspaikaksi. Koska valtioneuvoston periaatepäätös edellytti kallioperän tutkimista perusteellisemmin, Posivan oli päästävä loppusijoitusrypyydelle saakka. Tuolloin pohdittiin, mennäänkö syvälle kallioon kuilujen, ajotunnelin vai näiden yhdistelmän kautta. ONKALOa lähdettiin lopulta rakentamaan kuilujen ja ajotunnelin yhdistelmänä vuonna 2004.

Loppusijoituksen paikanvalintaan liittyviä tutkimuksia on toteutettu eri vaiheissa laajemmista paikanvalintatutkimuksista yksityiskohtaisiin Olkiluodon paikkatutkimuksiin. Posivan perustamisen (1995) ja periaatepäätöksen (2001), jossa Olkiluoto valittiin loppusijoituspaikaksi, jälkeen paikkatutkimusten tavoitteena on ollut varmentaa Olkiluodon kallioperän soveltuvuutta loppusijoitusryyttöön. Kahdenkymmenen viime vuoden ajan tutkimukset ovat keskittyneet Olkiluodon saarelle. Niiden tehtävänä on ollut varmentaa Olkiluodon soveltuvuus loppu-

sijoitukseen, tutkimuksilla on pystytty varmentamaan, että Olkiluodon kallioperä soveltuu loppusijoitukseen.

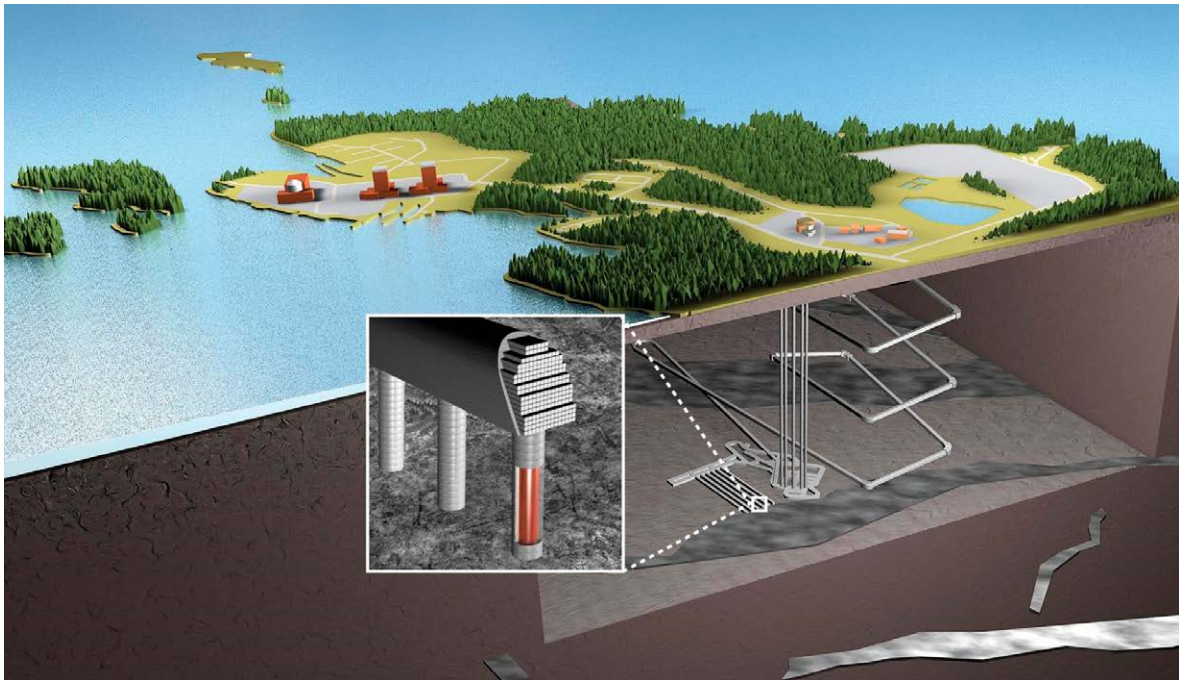
Ydinenergialain mukaan Suomessa syntynyt ydinjäte pitää loppusijoittaa Suomeen ja muualla syntyynyttä ydinjätettä ei saa tuoda Suomeen.

# LOPPUSIJOITUSJÄRJESTELMÄ MAHDOLLISTAA TURVALLISEN LOPPUSIJOITUKSEN

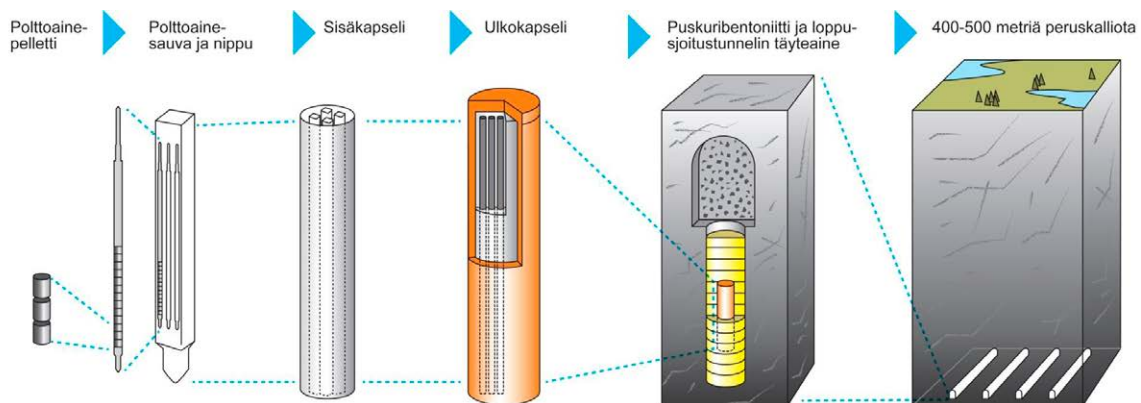
Posivan loppusijoitusjärjestelmä perustuu Ruotsin ydinjätehuollosta vastaavan yhtiön Svensk Kärnbränslehantering AB:n (SKB) kehittämään periaateratkaisuun, joka tunnetaan nimellä KBS-3V, jossa kapselit sijoitetaan pystysuoraan maanpintaan nähden (pystysijoitusratkaisu) (Kuva 14). Loppusijoitusratkaisun pitkäaikaisturvallisuuskonsepti perustuu moniesteriaatteeseen eli useaan toisiaan varmistavaan vapautumisesteseen siten, että

yhden vapautumisesteen toimintakyvyn vajavaisuus ei vaaranna pitkäaikaisturvallisuutta.

Loppusijoitusjärjestelmässä teknisinä vapautumisesteinä toimivat tiivis rauta-kupari-kapseli, kapselia ympäröivä bentoniittipuskuri, paisuvasta savesta valmistettu tunnelitäyttömateriaali, tunnelien ja tilojen sulkurakenteet ja luonnollisena vapautumisesteenä toimii ympäröivä kallio (Kuvat 14 ja 15).



**Kuva 14.** Loppusijoituskapselit sijoitetaan pystysuoraan maanpintaan nähden, ratkaisua kutsutaan nimellä KBS-3V.



**Kuva 15.** Loppusijoitusjärjestelmän eri osat moniesteriaatteen mukaisesti.

## KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN OMINAISUUDET EDESAUTTAVAT LOPPUSIJOITTAMISTA

Polttoaineen keraaminen olomuoto on yksi vapautumiseste. Kaasutiiviiden metallisauvojen sisällä oleva uraani on kiinteää ja huonosti veteen liukenevaa ainetta, mikä hidastaa radioaktiivisten aineiden vapautumista. Tämä ominaisuus tukee pitkäaikaisturvallisuuden toteutumista, siinä tapauksessa, jos loppusijoituskapseli menettäisi tiiveytensä.

Ydinpolttoaine muuttuu sähköntuotannossa tapahtuvan fissioreaktion aikana voimakkaasti radioaktiiviseksi. Säteilystä voidaan suojautua erilaisten materiaalien avulla. Muutaman vuoden päästä reaktorista poistamisen jälkeen käytetty polttoaine siirretään välivarastoon. Siellä polttoainetta säilytetään vesialtaissa. Altainen reunalla voi oleilla, sillä nippujen päällä oleva 8 metrin vesimassa pysäyttää nippujen säteilyn. Loppusijoitushetkellä jo pari metriä kalliota pysäyttää nipuista tulevan säteilyn kokonaan.

Käytetty ydinpolttoaine on heti käytön jälkeen voimakkaasti radioaktiivista, mutta jo vuodessa sen aktiivisuus vähenee sadasosaan. Käytetyn ydinpolttoaineen säteily vähenee nopeasti ensimmäisten vuosikymmenien aikana siitä, kun se on poistettu reaktorista. Loppusijoitettaessa polttoainetta 40 vuoden päästä, radioaktiivisuudesta on jäljellä enää tuhannesosa alkuperäisestä. Loppusijoitushetkellä kapselin seinämät ja pari metriä kalliota riittävät pysäyttämään käytetystä polttoaineesta lähtevän säteilyn kokonaan. Vähentäminen jatkuu tämän jälkeen siten, että aktiivisuus laskee tuhannen vuoden kuluessa noin tuhannesosaan ensimmäisen vuoden tasosta. Samalla myös säteilytaso kapselin pinnalla laskee noin sadasosaan loppusijoitushetkellä vallitsevasta tasosta. Loppusijoitetun käytetyn ydinpolttoaineen radioaktiivisuus laskee runsaan uraanimalmiesiintymän tasolle 250 000 vuoden kuluessa.

Pieni osa käytetyn polttoaineen sisältämistä radioaktiivisista aineista on hyvin pitkäikäisiä ja vaatii pitkäaikaista eristystä elollisesta luonnosta. Tästä syystä loppusijoitusratkaisussa käytettävät kapselit suunnitellaan siten, että ne säilyvät tiiviinä lopullisessa sijoituspaikassaan

niin pitkän aikaa, että käytetyn polttoaineen radioaktiivisuus on vähentynyt tasolle, josta ei ole haittaa ympäristölle ja ihmisille.

Loviisan ja Olkiluodon neljä reaktoria ovat tähän asti tuottaneet noin 2 440 uraanitonnia (tU) käytettyä polttoainetta ja noin 15 000 polttoaine-elementtiä. Suomessa oli vuoden 2021 alkusyksyllä 2380 tonnia korkea-aktiivista ydinjätettä ja sitä syntyy vuosittain 65 tonnia lisää, OL3-yksikön käynnistyttyä yhteensä noin 100 tonnia.

## KÄYTETTY YDINPOLTTOAINETTA JÄÄHDYTETÄÄN VÄLIVARASTOSSA KUNNES SE SOVELTUU LOPPUSIJOITUKSEEN

Polttoaine-elementin käyttöikä on noin viisi vuotta ja osa polttoaineesta vaihdetaan kerran vuodessa vuosihuollon aikana. Käytetty polttoaine jäähtyy laitosaltaissa muutaman vuoden, jonka jälkeen se siirretään välivarastointiin KPA-varastolle vesialtaisiin. Käytetyn ydinpolttoaineen minimijäähtymisaika KPA-varastolla on noin 20 vuotta, mutta keskimääräinen jäähtymisaika on yli 30 vuotta.

Polttoaine-elementti koostuu seuraavista komponenteista:

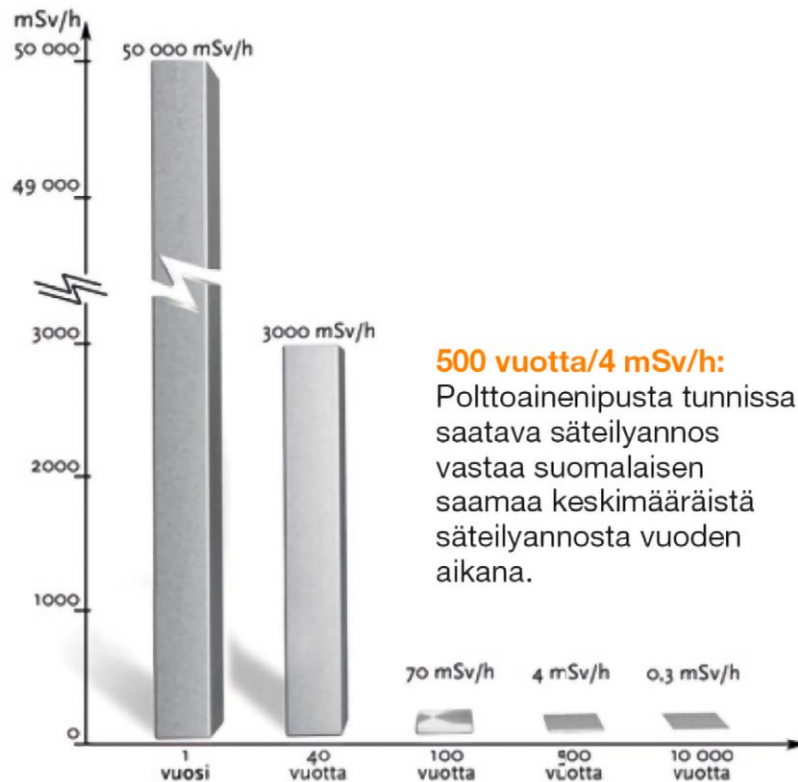
- polttoainesauvan polttoainepelletti ( $\text{UO}_2$ ),
- polttoainesauvan suojakuori ja mahdollinen virtauskanava/kotelo (Zr-seokset),
- muut tukirakenteet sis. mm. välituet ja päätykappaleet.

Edellä mainittujen lisäksi esim. EPR-polttoaineen osalta tullaan loppusijoittamaan säätösauvaelementin säätösauvat. Enemmän tietoa käytetystä ydinpolttoaineesta löytyy käyttölu-pahakemuksen liitteestä 4 ”Ydinjätehuolto”.

Suomessa on kolme erilaista polttoainetyyppiä: BWR, VVER ja EPR. Suurimmat erot näiden tyyppien välillä ovat uraanimassat, kokonaisu-massat, dimensiot (pituus ja poikkileikkaus), polttoaine-elementin muoto sekä polttoainesauvojen lukumäärä. Edellä mainittujen tyyppien osalta yhteistä on polttoainematriisin uraanidioksi ( $\text{UO}_2$ ) näin ollen jälkilämmön ja säteilyn tuotto ovat eri polttoainetyypeissä hyvin samanlaisia. Radioaktiivisuutta nostavat ennen



## KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN SÄTEILY



**Kuva 16.:** Havainnollistava kuva kuinka ydinpolttoaine säteilee ajan myötä. Säteilyyn vuoksi käytetty ydinpolttoaine loppusijoitetaan kallioperään turvallisesti.

kaikkea fissiotuotteet, joiden radioaktiivisuus putoaa nopeasti jo sinä aikana, kun käytettyä polttoainetta säilytetään reaktiohallin vesialtassa. Esimerkiksi strontiumin ja cesiumin puoliintuminen kestää noin 30 vuotta. Jodin isotooppien puoliintuminen kestää satojatuhansia tai miljoonia vuosia.

Loppusijoitusratkaisun pitää olla turvallinen, koska kestää noin 200 000 vuotta, ennen kuin jätteen radioaktiivisuus on laskenut luonnon uraanin tasolle.

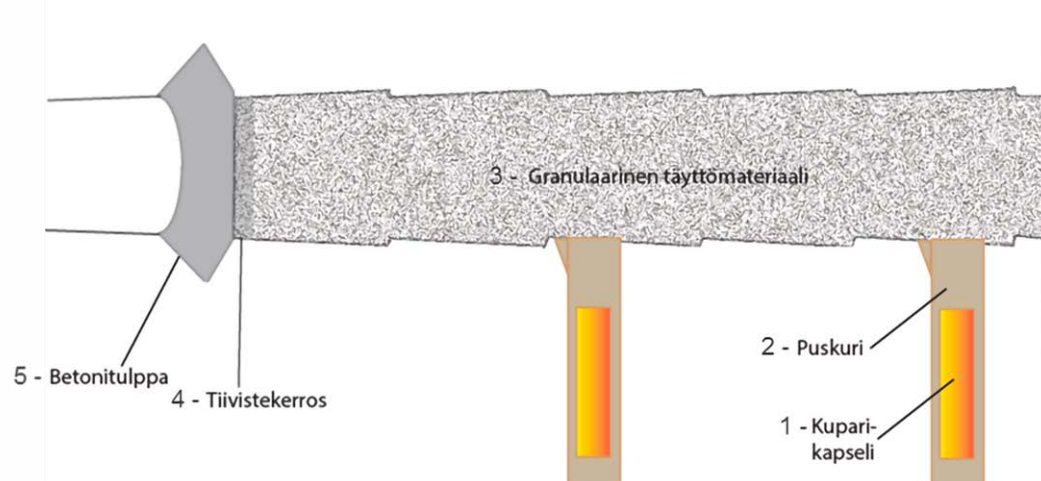
### PITKÄAIKAISTURVALLISUUS VARMISTETAAN TEKNISILLÄ VAPAUTUMISESTEILLÄ

#### Loppusijoituskapseli on tärkein vapautumiseste

Loppusijoituskapseli koostuu valurautaisesta sisäosasta sekä kuparisesta ulko-osasta. Sisäosan tehtävänä on kantaa kapselikokoon-

panoon kohdistuva mekaaninen kuorma ja kuparisen ulkokuoren tehtävänä on eristää käytetty polttoaine ympäristöstään sekä kestää loppusijoitusjärjestelmässä vallitsevat olosuhteet pitkäaikaisesti. Kapselin korroosionkestävyys varmistetaan komponenttien materiaalivalinnoilla sekä varmistamalla sen ja muiden teknisten vapautumisesteiden yhteensopivuus koko loppusijoitusjärjestelmässä. Kapseliin kohdistuvia mekaanisia rasituksia, kuten viruminen, tarkastellaan huomioiden erilaiset mahdolliset kuormitustapaukset. Loppusijoituksen eri tarkasteluajankohtiin liittyy erilaisia kapseliin kohdistuvia kuormitustapauksia. Sekä mekaanisia että kemiallisia kuormitustapauksia tarkastellaan niin odotettavissa olevissa olosuhteissa kuin myös vaihtoehtoisissa kehityskuluissa kattaen lisäksi kuormitusten yhteisvaikutukset. Analyysit koostuvat kokeellisesta työstä, laskelmista ja erilaisista simuloinneista. Myös luonnonanalogioita hyödynnetään perustellessa teknisten vapautumisesteiden pitkäaikaista toimintakykyä.





**Kuva 17.** Tekniset vapautumisesteet: 1 - Loppusijoituskapseli, 2 - Puskuri, 3 - Täyttö (4 - Tiivistyskerros on osa täyttöä), 5 - Loppusijoitustunnelin päätytulppa (ei luokitella tekniseksi vapautumisesteeksi).



**Kuva 18.** Olkiluodon vierailukeskuksessa on nähtävillä oikean kokoinen loppusijoituskapseli.

Loppusijoituskapseli suljetaan hitsaamalla kupariputkeen sekä kansi että pohja. Hitsaukseen kohdistuu vastaavanlaiset kokeelliset työt ja analyysit, joilla varmistetaan ja osoitetaan kapselin sulkemisen pitkäaikaisturvallisuus.

Kapselin tuotannossa laatu varmistetaan kattavalla tarkastussuunnitelmalla. Tarkastussuunnitelma kattaa vaiheet kapselikomponenttien tuotannosta asennukseen. Tarkastussuunnitel-

man mukaan varmistetaan kapselikomponenttien ja kapselikokoonpanon vaatimustenmukaisuus sekä asennuksen hyväksyttävyys.

### **Puskuri auttaa loppusijoituskapselia säilyttämään tiiveytensä**

Puskurin tarkoituksena on pitää kapseli paikoillaan loppusijoitusreiässä, tiivistää kapselin lähiympäristö loppusijoitusreiässä sekä olla



**Kuva 19.** Posiva on tutkinut ja testannut loppusijoitusjärjestelmän rakentamista vuosien ajan Onkalossa.

kemiallisilta ja mekaanisilta ominaisuuksiltaan kapselin turvallisuustoimintoja tukeva tekninen vapautumiseste. Puskuri saavuttaa toivotun toimintakykynsä kun se saa ympäröivästä kallioperästä vettä ja paisuu veden vaikutuksesta. Puskurimateriaali on pääasiassa paisuvahilaisesta savimineraalista koostuvaa bentoniittia.

Puskurin pitkäaikainen toimintakyky varmistetaan valmistamalla sekä asentamalla vaatimukset täyttävät puskurikomponentit alkutilan kriteerien mukaisesti. Puskurin tarkastussuunnitelman mukaisesti varmistetaan alkutilan saavuttaminen ja vaatimusten täytyminen.

### **Täyttö tukee loppusijoitusjärjestelmälle edullisia olosuhteita**

Täytön tarkoituksena on pitää puskuri loppusijoitusreiässä sekä täyttää ja tiivistää loppusijoitustunnelin louhittu avoin tila. Täyttö on myös kemiallisilta ominaisuuksiltaan puskurin kaltainen eli se ei vaikuta haitallisesti kapselin korrosioon ja sen kautta haitallisten aineiden kulkeutuminen kapselille minimoidaan materiaalin tiiveydellä. Täytön toimintakyky perustuu puskurin lailla veden aiheuttamaan savimateriaalin paisumiseen. Myös täytön materiaali koostuu pääasiassa paisuvahilaisista savimineraaleista.

Täytön vaatimustenmukainen alkutilan saavuttaminen varmistetaan tarkastussuunnitelmalla, kuten muidenkin teknisten vapautumisesteiden osalta. Täytösävi koostuu alkutilassa tietyn raekokojakauman omaavasta bulkkimassasta. Vaatimustenmukaisuus perustuu määritellyn tiheysikkunan saavuttamiseen jolloin asennuk-

sen aikainen laadunvarmistus pohjautuu täytön asennetun massan seuraamiseen.

### **OLKILUODON KALLIOPERÄ SOVELTUU LOPPUSIJOITUKSEEN**

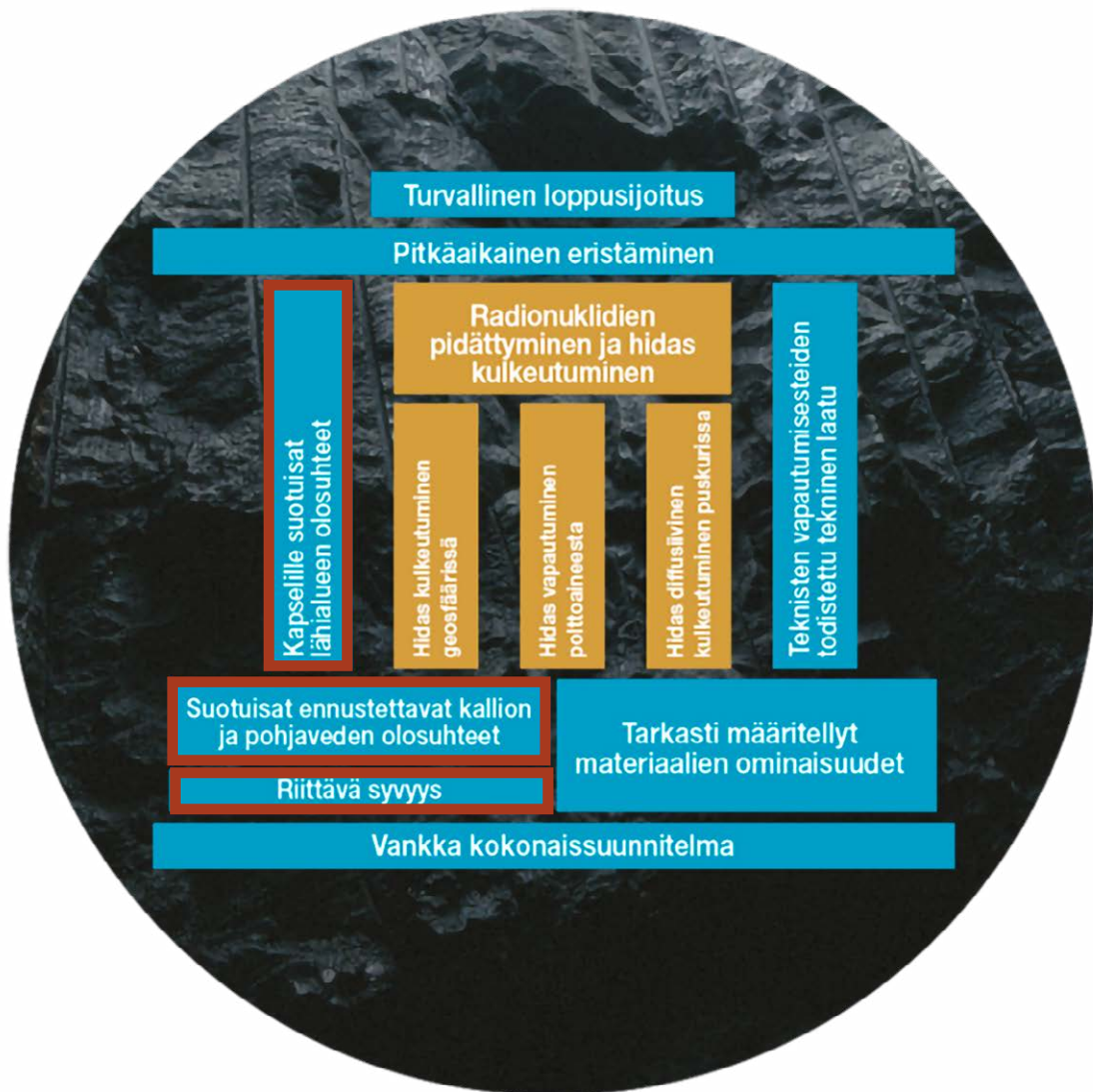
Olkiluodon kallioperää on tutkittu kymmeniä vuosia ja sen soveltuvuus käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamiseen on osoitettu. Loppusijoitus tehdään noin 430 metrin syvyyteen Olkiluodon kallioperään.

Kallioperän turvallisuustoimintona on:

- erottaa käytetyn polttoaineen loppusijoitus-tila pintaympäristöstä sekä ihmisten, kasvien ja eläinten normaalista elinympäristöstä, rajoittaa ihmisen tunkeutumisen mahdollisuutta sekä eristää loppusijoitus-tila maanpinnan muuttuvista olosuhteista.
- Kallioperän turvallisuustoimintona on loppusijoitus-tiloille suotuisten lämpöolosuhteiden tarjoaminen.
- Kallioperän turvallisuustoimintona on mekaanisesti vakaiden sekä hydrologisesti ja geokemiallisesti suotuisten olosuhteiden tarjoaminen teknisille vapautumisesteille.
- Kallioperän turvallisuustoimintona on loppusijoitus-tilasta mahdollisesti vapautuvien haitallisten aineiden kulkeutuminen rajoittaminen

Kallion soveltuvuusluokittelu (RSC) luo linkin pitkäaikaisturvallisuuden ja suunnittelun välille toimittamalla tiedon pitkäaikaisturvallisuuden osalta rakentamiseen soveltuvista kalliotila-





■ **Kuva 20.** Turvallisuuskonsepti KBS-3 loppusijoitusjärjestelmälle kiteisessä kallioperässä. Siniset pylväät ja lohkot kuvaavat ensisijaisia turvallisuustoimintoja. Keltaiset pylväät ja lohkot toissijaisia turvallisuustoimintoja, jotka tulevat tärkeiksi tapahtumissa, joissa radionuklideja voi vapautua kapselista. Punaisilla laatikoilla on osoitettu kallioperän rooli turvallisuuskonseptissa.



■ **Kuva 21.** Kalliotilojen soveltuvuus ohjaa isossa mittakaavassa asemointia ja tarkentuu lopulta määrittäen loppusijoitusreialle soveltuvan paikan.

vuuksista suunnittelun käyttöön ja ohjaa tätä kautta osaltaan loppusijoitustilojen rakentamista ja asemointia.

Kallion soveltuvuusluokittelu:

- Hyödyntää viimeisintä saatavilla olevaa tutkimustietoa ja malleja
- Tuottaa soveltuvuusarvioita, jotka ovat lähtötietoja tilojen suunnitteluun ja päätösten tekoon
- Soveltuvuusluokittelu etenee vaiheittain ja tarkentuu tilojen suunnittelun ja rakentamisen edetessä vaiheesta toiseen.

Posiva on tunnistanut myös neljä pitkäaikais-  
turvallisuuden kannalta kriittistä toimintaa loppusijoituslaitoksen rakentamiseen liittyen:

### **1. Vuotovesien hallinnalla mahdollistetaan suotuisat ympäristöolosuhteet**

Maanalaisten tilojen rakentaminen aiheuttaa sitä ympäröivän kallioperän pohjavesiolosuhteisiin häiriön. Vuotovesien hallintaan liittyen määritetään mittaustuloksille ja vuotovesien hallinnan tekniselle toteutukselle raja-arvoja siten, että pitkäaikaisturvallisuus ei mallinnustarkastelujen perusteella vaarannu. Vuotovesien hallinnan tavoitteena on loppusijoituspaikan pohjavesiympäristöön liittyvien turvallisuustoimintojen säilyttäminen eli mahdollistaa suotuisat ja ennustettavat kemialliset ja hydrogeologiset olosuhteet EBS-komponenteille.

### **2. Turvallisuusluokiteltujen tarveaineiden (TLTA) hallinnalla varmistetaan vapautumisesteiden toimintaa**

TLT-aineilla tarkoitetaan kaikkia maanalaisessa rakentamisessa ja muussa toiminnassa käytettäviä materiaaleja, jotka eivät kuulu KBS 3V -moniesteperiaatteen teknisiin vapautumisesteisiin (loppusijoituskapseli, kapselia loppusijoitusreiässä ympäröivä puskurimateriaali, loppusijoitustunnelien täyttömateriaali) tai luonnolliseen vapautumisesteeseen. TLT-aineiden hallinnalla pyritään varmistamaan, että tekniset vapautumisesteet toimivat kuten on tarkoitettu.

### **3. Hallitsemalla louhinnan aiheuttamaa vauriovyöhykettä pidetään kallio pitkäaikaisturvallisena**

Kallion louhinta aiheuttaa kallion pintaan vauriovyöhykkeen, jonka muodostuminen pitää ymmärtää ja hallita siten, että louhinnalla ei vaaranneta loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuutta ja että kallioperän luonnolliset olosuhteet säilyvät loppusijoitukseen soveltuvina. Louhinnan vauriovyöhykkeestä käytetään englanninkielistä termiä Excavation Damaged Zone ja lyhennelmää EDZ.

### **4. Kairausten ja porausten hallinnalla estetään uusien reittien muodostuminen maan pinnalle**

Maan alta tai pinnalta tehtävät reiät muodostavat mahdollisesti virtausreitin loppusijoitustilojen ja maanpinnan välille joko suoraan tai reikien ja loppusijoitustilojen lävistämien vettä johtavien rakenteiden kautta. Tästä syystä kaikki loppusijoitusalueella yli viiden metrin päähän louhituista tai louhittaviksi suunnitelluista tiloista ulottuvat reiät sekä maanpinnalta tehtävät reiät, jotka ulottuvat yli 30 metrin syvyyteen kalliossa käsitellään erillisen pitkäaikaisturvallisuusmenettelyn kautta. Näin varmistetaan, ettei synny uusia virtausreittejä jotka voisivat vaarantaa pitkäaikaisturvallisuuden.

Posivan loppusijoituspaikan ja -laitoksen pitkäaikaisen kehityksen seurantaan varten toteutetaan Olkiluodon loppusijoituspaikan monitorintiohjelmia.

Olkiluodon kallioperä on todettu turvallisiksi loppusijoitukseen.



# LOPPUSIJOITUSPAIKAN SOVELTUVUUS LOPPUSIJOITUKSEEN ON VARMISTETTU TUTKIMUKSIN

## LOPPUSIJOITUSPAIKKA- TUTKIMUKSET OVAT KERTONEET MENNEISYYDESTÄ JA ENNUSTAVAT TULEVAISUUTTA

Loppusijoituspaikkatutkimukset alkoivat jo 1980 -luvun alussa sen jälkeen, kun Suomen hallitus teki periaatepäätöksen käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen liittyen. Päätöksessä määritettiin pääpiirteittäin loppusijoituksen tavoitteet ja aikataulu. Loppusijoituksen paikanvalintaan liittyviä tutkimuksia on toteutettu eri vaiheissa laajemmista paikanvalintatutkimuksista yksityiskohtaisiin Olkiluodon paikkatutkimuksiin. Posivan perustamisen (1995) ja periaatepäätöksen (2001), jossa Olkiluoto valittiin loppusijoituspaikaksi, jälkeen paikkatutkimusten tavoitteena on ollut varmentaa Olkiluodon kallioperän soveltuvuutta loppusijoituskäyttöön.

Vuoden 2004, jolloin aloitettiin tutkimustunnelin (ONKALO) louhinta, jälkeen tutkimukset ovat keskittyneet yksityiskohtaisemmalla tasolla paikan ominaisuuksien selvittämiseen loppusijoituslaitoksen suunnittelua ja rakentamista varten sekä turvallisuusperustelun tarpeisiin. ONKALO on myös mahdollistanut loppusijoitustekniikan testauksen syvällä kallioperässä loppusijoitusvyöhykkeellä noin 430 m syvyydessä. Tutkimustunnelin rakentaminen valmistui vuonna 2012 ja se on nykyään osa loppusijoituslaitosta. Rakentamisluvan saamisen (2015) jälkeen käyttöluopahakemusta edeltävässä vaiheessa on tarkennettu ja laajennettu Olkiluodon paikanymmärrystä lisätutkimuksilla ja paikkamallinnuksella. Perinteisten maanpäällisten ja tunnelista käsin toteutettavien paikkatutkimusten lisäksi tutkimustietoa loppusijoituspaikasta on tuotettu kallion soveltuvuusluokittelun (RSC) tarpeisiin sekä osana Olkiluodon tutkimus ja -tarkkailuohjelmaa (kuvataan jäljempänä).

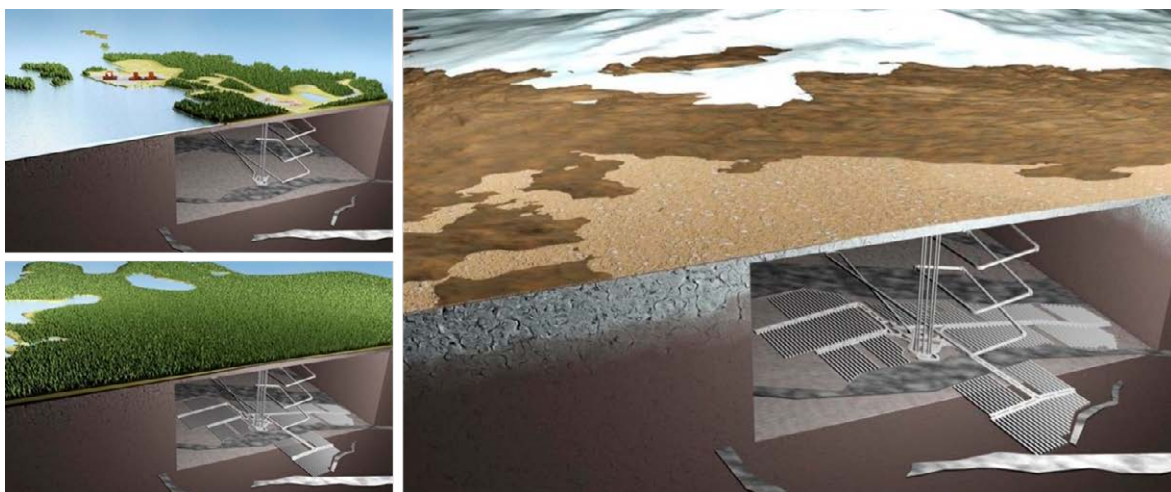
Loppusijoituspaikkaan liittyviä tutkimuksia tehdään eri tieteenaloihin liittyen sekä paikan mittakaavassa että yksityiskohtaisemmalla tasolla. Geologian tutkimukset keskittyvät kallioperän ominaisuuksiin, mm. kivilajeihin, kallion rakoi-

luun ja rikkonaisuusvyöhykkeisiin. Geofysiikan tutkimusten avulla saadaan kallioperän fysikaalisista ominaisuuksista kuten sähkönjohtokyvystä ja magneettisista ominaisuuksista. Kalliomekaniikka tutkii kallioperän mekaanisia ominaisuuksia kuten jännitystilaa sekä esim. kallion lämmönjohtavuusominaisuuksia. Hydrogeologian osalta keskitytään pohjaveden esiintymiseen maan pinnalla ja kallioperässä, pohjaveden virtaukseen, rakojen vedenjohtokykyominaisuuksiin, painekorkeuteen ja pohjaveden pinnankorkeuteen. Hydrogeokemia taas tutkii pohjaveden kemiallisia prosesseja sekä mm. mikrobien esiintymistä pohjavesissä. Loppusijoituspaikkaan liittyvät myös pintaympäristön tutkimukset, joita on käsitelty seuraavassa kappaleessa.

Paikkatutkimukset ja niiden perusteella tuotettu Olkiluodon paikankuvaus (Olkiluoto Site Description) toimii turvallisuusperusteluanalyysien ja -mallinnusten lähtötietona paikan ominaisuuksien ja prosessien osalta. Nykyhetken paikkaan liittyvää tietoa käytetään lähtötietona kun mallinnetaan mennyttä aikaa (ns. paleomallinnus) sekä tulevaisuuden kehityskulkuja (evoluutiomallinnus) osana loppusijoituksen turvallisuusperustelua.

## PINTAYMPÄRISTÖN TUTKIMUKSET JA MALLINNUKSET PALJASTAVAT TULEVAISUUDEN OLKILUODON OLOSUhteita

Pintaympäristöön liittyvät eli ns. biosfääritutkimukset toimivat tärkeässä roolissa turvallisuusperustelussa. Niitä käytetään lähtötietona mallinnuksissa, joissa kuvataan radionuklidien kulkeutumista pintaympäristössä. Näiden mallinnusten osalta tärkeässä roolissa ovat mm. maankohoamismallit, jotta nähdään miten Olkiluodon pintaympäristö kehittyä, kun maa rannikolla kohoaa edellisen jääkauden aiheuttaman kuorman takia (tällä hetkellä n. 6 mm/v). Lisäksi ilmasto-mallinnuksilla ennustetaan tulevaisuuden ilmastolosuhteita, kuten tulevia jääkausia, ja niiden vaikutuksia Olkiluodon alueeseen (kuva 22)



**Kuva 22.** Olkiluoto ja loppusijoituslaitos (vasemmalla ylhäällä vuonna 2020) tulee olemaan sisämaassa tulevien tuhansien vuosien aikana maankohoamisen vuoksi (vasemmalla alhaalla ~4000 vuoden kuluttua) sekä peittymään mannerjäätikön alle (oikealla ~100 000 vuoden kuluttua).

## TUTKIMUS- JA TARKKAILU-OHJELMALLA VARMISTETAAN LOPPUSIJOITUSPAIKAN SOVELTUVUUTTA

Loppusijoituspaikan ja -laitoksen pitkäaikaisen kehityksen seurantaan toteutetaan STUKin määräyksen Y/4/2018 sekä YVL-ohjeen D.5 mukaista tutkimus- ja tarkkailuohjelmaa, jota kutsutaan Olkiluodon monitorointiohjelmaksi. Monitorointiohjelma käynnistettiin vuonna 2003 samaan aikaan loppusijoituspaikan rakennustöiden kanssa, mutta monitorointiin rinnastettavia sijoituspaikan ominaisuuksia seuraavia tutkimuksia on tehty alueella jo 1980-luvulta asti. Monitorointiohjelma sisältää erilaisia mittauksia ja näytteenottoja. Valtaosa monitorointiohjelman tutkimuksista tehdään maan alla, joko loppusijoitustiloista tai alueelle kairatuista tutkimusrei'istä käsin, mutta tutkimuksia tehdään myös maan päällä ja useiden kilometrien etäisyydellä varsinaisesta loppusijoituspaikasta. Monitorointiohjelman tutkimukset ovat luonteeltaan jatkuvia, mutta erilaisin aikajaksoin: osa tutkimuksista on tunnin välein tehtäviä mittauksia ja osa taas useamman vuoden välein toistuvia näytteenottoja.

Monitorointiohjelma on jaettu viiteen alaan tieteenaloittain:

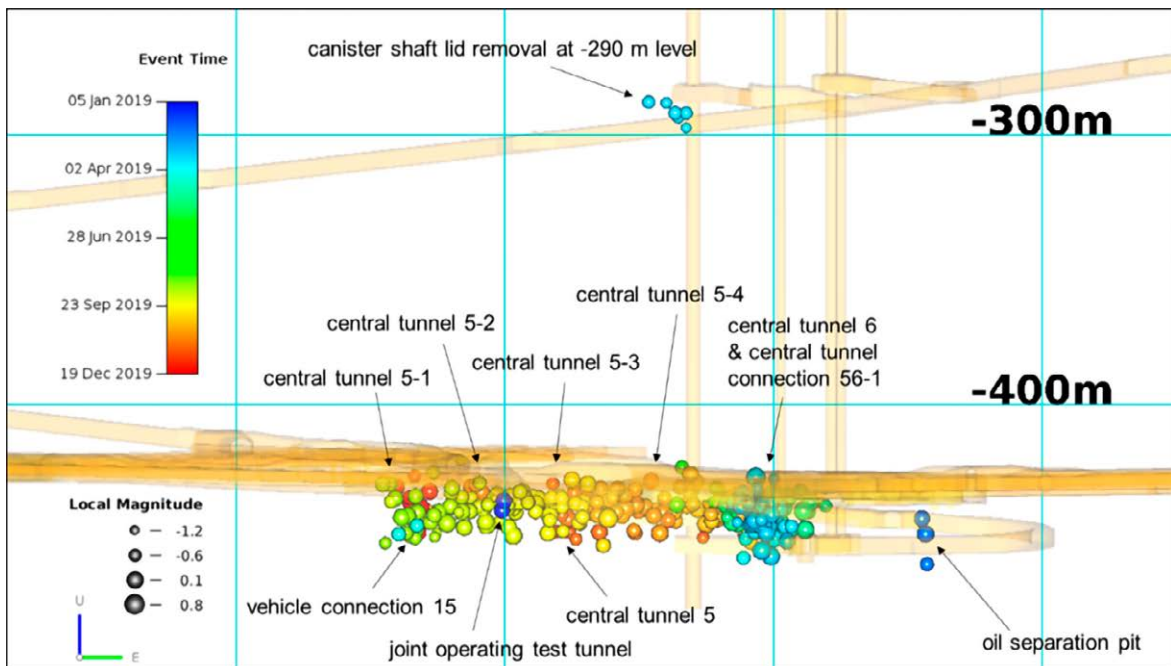
1. Kalliomekaniikka
2. Hydrologia ja hydrogeologia

3. Hydrogeokemia
4. Pintaympäristö
5. Teknisten vapautumisesteiden monitorointi

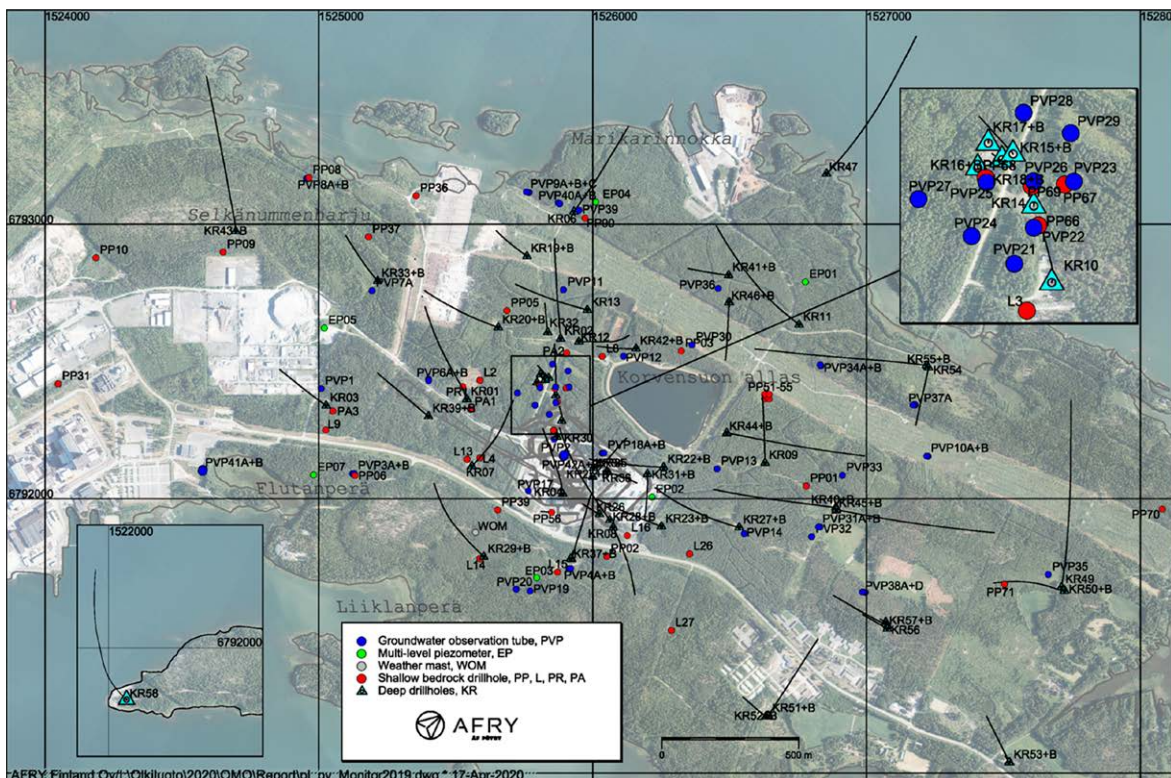
Kalliomekaniikan monitoroinnissa seurataan Olkiluodon ja lähialueen mikroseismisiä tapahtumia (Kuva 1), kalliolohkojen liikkeitä ja maankohoamista. Lisäksi loppusijoitustiloissa mitataan kallion lämpötilaa ja kirjataan ylös tunnelien kalliopinnoissa havaittuja tapahtumia (kuten kallion hilseilyä).

Hydrologinen ja hydrogeologinen monitorointi perustuu pohjaveden pinnankorkeuksien ja virtausten mittaamiseen lukuisissa syvissä ja matalissa kairareijissä ja pohjavesiputkissa Olkiluodon kallioperässä (Kuva 24). Tämän lisäksi loppusijoitustiloihin vuotavan veden määrää mitataan useilla ONKALO:ssa sijaitsevilla havaintopisteillä. Hydrogeokemian monitorointi perustuu kallio- ja maaperän pohjaveden kemiallisen koostumuksen seurantaan. Pohjavesinäytteitä kerätään kemiallisia analyysejä varten samoista havaintopisteistä, joista suoritetaan hydrologian monitoroinnin mittauksia.

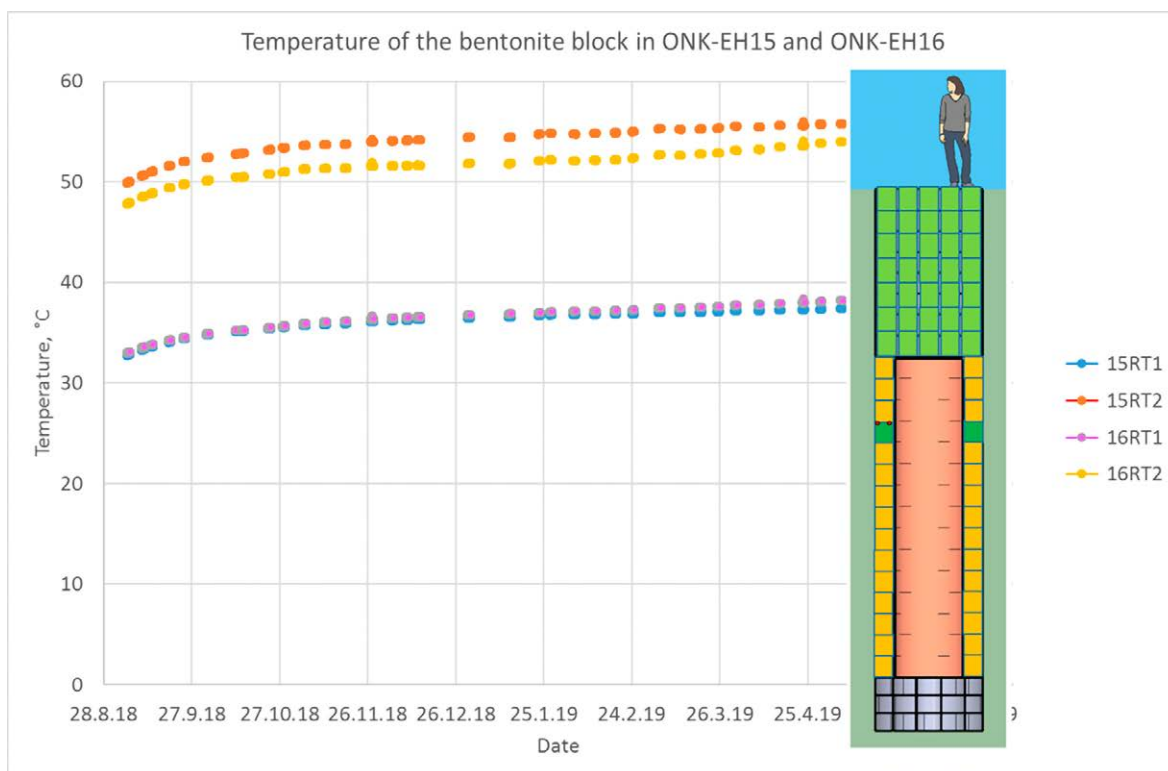
Pintaympäristön monitoroinnilla on tarkoitus seurata loppusijoitustoiminnan ympäristövaikutuksia. Seuranta pitää sisällään mm. ympäristömelun ja pintavalunnan mittauksia, sekä ONKALO-poistovesien, läjitysalueen valumavesien, yksityisten porakaivojen ja sääolosuhdeiden seurantaa.



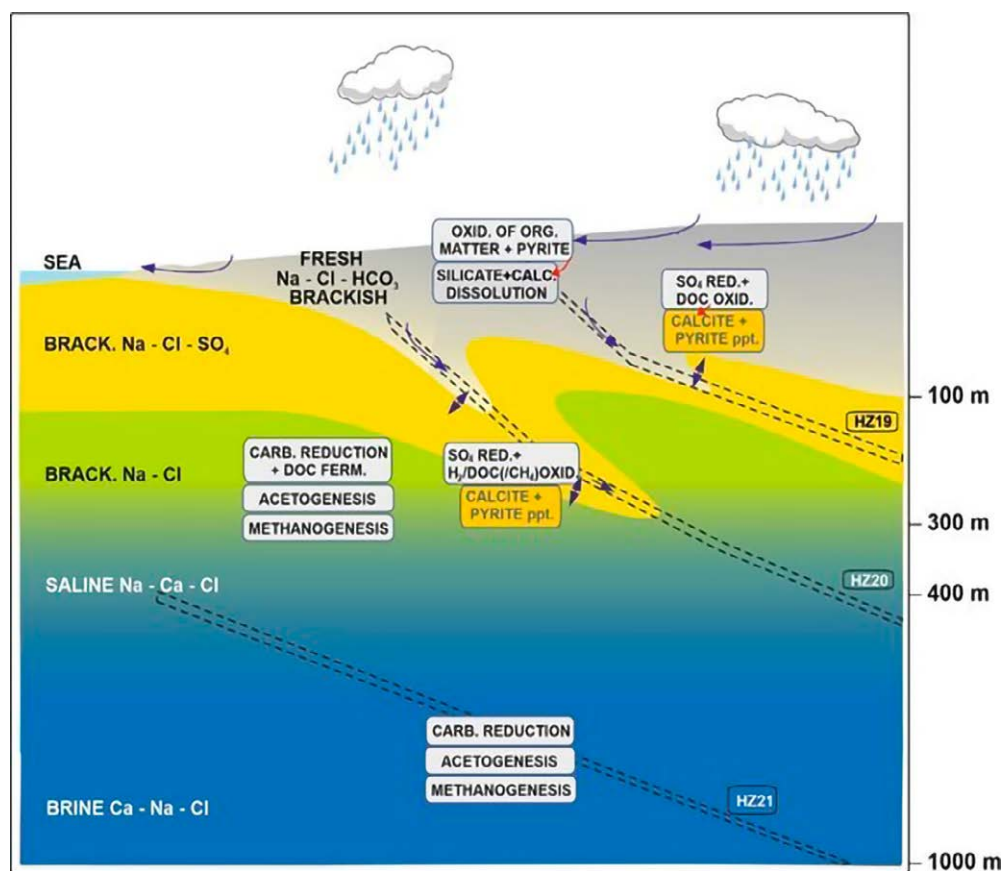
**Kuva 23.** Esimerkki mikroseismisten tapahtumien seurannasta loppusijoituslaitoksessa vuonna 2019. Kaikki kuvan seismitapahtumat liittyvät loppusijoituslaitoksen rakentamisen räjäytystöihin.







**Kuva 25.** Bentoniti-puskurin lämpötilamittausten tuloksia loppusijoituksen täyden mittakaavan kokeessa (FISST-koe)



**Kuva 26.** Olkiluodon hydrogeokemiallinen perustila ja eri pohjavesityyppien kerroksellisuus.



Teknisten vapautumisesteiden monitoroinnilla tarkoitetaan loppusijoitustiloihin asennettavien teknisten vapautumisesteiden (kuparikapseli, bentoniittipuskuri, loppusijoitustunnelin täyttö ja tulppa) toiminnan seuraamista. Vapautumisesteiden toimintaa voidaan seurata suoraan asentamalla mittaavia antureita komponentteihin, epäsuorasti muiden monitoroinnin tieteenalojen tulosten kautta tai loppusijoitustiloissa tehtävien kokeiden kautta (Kuva 25).

Monitorointiohjelman eri tieteenalat ovat vahvasti yhteyksissä toisiinsa ja ohjelman tuottamia tuloksia tulee arvioida kokonaisuuden kannalta. Esimerkiksi maan pinnalla tehtävät rakentamistyöt voivat aiheuttaa hetkellisiä muutoksia maaperän tai kallioperän pintaosan pohjaveden koostumukseen tai korkeuteen. Lisäksi maanalaisten tilojen ollessa avoimina, on niillä myös paikallisia, väliaikaisia vaikutuksia syvän kalliopohjaveden painekorkeuksiin ja edelleen kemialliseen koostumukseen painealensemien hydrogeokemialliseen perustilaan aiheuttamien paikallisten, väliaikaisten häiriöiden kautta. Vesien sekoittuminen puolestaan näkyy siinä, että kairarei'ästä saatujen pohjavesinäytteiden kemiallisessa koostumuksessa huomataan muutoksia suhteessa aikaisempiin tuloksiin. Monitorointiohjelman tutkimusalojen tuloksista laaditaan vuosittain useita muistioita ja raportteja YVL-ohjeiden mukaisesti. Eri tutkimusalojen julkaistavat vuosiraportit ovat kooste yksittäisen vuoden tutkimustuloksista, mutta myös loppusijoituspaikan ja -laitoksen havaituista kehityslinjoista pidemmällä aikavälillä.

Monitoroinnin tärkein tehtävä on seurata, että olosuhteet loppusijoituslaitoksessa ja loppusijoituskalliossa säilyvät suotuisina loppusijoitukselle ja täyttävät niihin liittyvät vaatimukset. Lisäksi monitorointidataa käytetään myös kerättyä aineistoa pitkäaikaisturvallisuuden arvioinnissa käytettävien mallinnustöiden tarpeisiin. Monitorointiohjelmasta saatuja tuloksia toimitetaan loppusijoituslaitoksen rakentajille ja suunnittelijoille, jotta rakentamisen vaikutukset kallioperään ja pintaympäristöön voidaan ottaa huomioon töiden aikana. Monitorointiohjelman tehtävänä on myös tarkkailla teknisten vapautumisesteiden toimintaa niiden odotetun ja ennustetun käyttäytymisen varmistamiseksi.

## Loppusijoitusalueen suojavyöhykkeet

Loppusijoitusalueen ja Olkiluodon suojavyöhykkeet on kuvattu tämän hakemuksen liitteessä 3 ”*Selvitys ydinlaitoksen sijaintipaikan ja sen lähiympäristön asutuksesta ja muista toiminnoista sekä kaavoitusjärjestelyistä*”.

# KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN LOPPUSIJOITTAMINEN ON TURVALLISTA

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksessa keskeisintä on ratkaisun pitkäaikaisturvallisuus, jota arvioidaan ja osoitetaan turvallisuusperustelulla (Safety Case). Turvallisuusperustelulla arvioidaan turvallisuus satojen tuhansien vuosien ajaksi. Säteilyturvakeskus arvioi ja hyväksyy turvallisuusperustelun osana käyttölupahakemusaineiston turvallisuusarviota, turvallisuusarvio pitää olla myönteinen jotta käyttölupa kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle voidaan myöntää. Pitkäaikaisturvallisuuden turvallisuusperustelu on nähtävillä Posivan internet-sivuilla.

Kansainvälisen määritelmän mukaan turvallisuusperustelulla tarkoitetaan kaikkea sitä teknistieteellistä aineistoa, analyysyjä, havaintoja, kokeita, testejä ja muita todisteita, joilla perustellaan loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuudesta tehtyjen arvioiden luotettavuus. Posivassa tämä tarkoittaa yli neljä vuosikymmentä

tutkitun ja testatun geologisen loppusijoitusratkaisun toimivuuden osoittamista Olkiluodon kallioperäolosuhteissa sekä ympäristöön aiheutuvien säteilyannosten aiheutumisen osoittamista yhden tai useamman teknisen päästö-esteen pettäessä ja radioaktiivisten aineiden vapautuessa loppusijoitustiloista elinympäristöön.

Turvallisuusperustelun asiakirjakokonaisuuden avulla osoitetaan pitkäaikaisturvallisuutta koskevien vaatimusten täyttyminen.

Ensimmäistä yksinomaan Olkiluodolle tehtyä kokonaisvaltaista turvallisuusperustelua, TURVA-2012:ta, edelsi vuonna 2010 alustava versio Olkiluodon suunnitellun käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen turvallisuusperustelun yhteenvedoraportista (Posiva 2010). Raportissa esiteltiin loppusijoituksen senhetkinen tekninen suunnitelma ja turvallisuuskonsepti sekä yh-



**Kuva 27.** Turvallisuusperustelun asiakirjakokonaisuus.

teenveto loppusijoitusjärjestelmän kehityskulun tarkastelussa käytettävien skenaarioiden muodostamisesta. Loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuutta arvioitiin myös viranomaisvaatimusten täyttymisen osalta (Posiva 2010).

Olkiluodon loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemusta varten laadittu turvallisuusperustelu TURVA-2012 toteutettiin raporttisalkkuna, joka koostui pääraporteista ja taustaraporteista. Turvallisuusperustelun synteisiraportissa (Posiva 2012, *Synthesis report*) esitettiin yhteenveto Olkiluotoon rakennettavan loppusijoituslaitoksen suunnitteluperusteista, turvallisuusperustelun metodologiasta sekä toimintakykyanalyysin ja turvallisuusanalyysin keskeisimmistä tuloksista. Raportissa esitettiin myös yhteenveto turvallisuutta tukevista perusteluista, arvio pitkäaikaisturvallisuuteen ja turvallisuusperustelua koskevien viranomaisvaatimusten täyttymisestä sekä arvio pitkäaikaisturvallisuuden ja Posiva Oy:n turvallisuusanalyysien luotettavuudesta. Posiva Oy:n näkemyksen mukaan loppusijoituksen turvallisuus osoitettiin riittävän luotettavasti ra-

kentamislupahakemusta varten (Posiva 2012, *Synthesis report*). STUK hyväksyi rakentamislupahakemuksen turvallisuusperustelun, mutta asetti 34 vaatimusta kehityskohteina seuraavaan turvallisuusperusteluun. Näiden toteutumista STUK arvioi nyt jätettävän käyttöluupahakemuksen turvallisuusperustelun arvioinnin yhteydessä. Turvallisuusperustelu tullaan päivittämään vähintään 15 vuoden määrävälein tehtävän määräaikaisen turvallisuusarvion yhteydessä, näin varmistetaan muun muassa, että uusin tutkimustieto on otettu huomioon.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuutta arvioidaan loppusijoituslaitoksen käyttötöiminnan aikana ja sen jälkeen. Pitkäaikaisturvallisuuden tarkastelujakso on jaettu eri ajanjaksoille, käytön aikaisesta noin 100 vuodesta, seuraavien tuhansien tai satojentuhansien vuosien ajanjaksolle aina miljoonaan vuoteen saakka. Turvallisuusperustelussa on esimerkiksi analysoitu, miten loppusijoitusratkaisu kestää maanjäristykset, tulevaisuuden jääkaudet aina miljoonaan vuoteen asti sekä mannerjään aiheuttaman rasituksen (Kuva 28).



■ Kuva 28. Loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuutta arvioitaessa, myös jääkaudet on otettu huomioon.

Vaikka kaikkia mahdollisia tapahtumakulkuja ei pystytä koskaan kattavasti tarkastelemaan ja arvioimaan, voidaan turvallisuusperustelun avulla osoittaa, että konservatiivisestikin arvioituna käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta ei aiheudu haittaa ihmisille eikä ympäristölle.

Posivan turvallisuusperustelukokonaisuuden muodostavat raportit ovat myös julkisesti saatavilla Posivan internetsivuilla.

## **TURVALLISUUSPERUSTELULLA ARVIOIDAAN PITKÄAIKAIS-TURVALLISUUTTA OTTAEN HUOMIOON KATTAVASTI ERILAISIA TULEVAISUUDEN KEHITYSKULKUJA**

Loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuus perustuu pitkäaikaisturvallisuusperiaatteiden mukaisesti käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksessa käytettävään moniesteperiaatteeseen, joka koostuu teknisistä vapautumisesteistä (EBS) ja loppusijoitustiloja ympäröivästä kallioperästä. Teknisiä vapautumisesteitä ovat loppusijoituskapseli, bentoniittipuskuri sekä loppusijoitustunnelien täyttö ja tilojen sulkemisrakenteet. Niiden tehtävänä on toimia ensisijaisina suojarakenteina radionuklidien leviämistä vastaan; kallioperän tehtävä on ennen kaikkea muodostaa suotuisat olosuhteet teknisten vapautumisesteiden pitkäaikaiselle toimintakyvyille, mutta myös osaltaan rajoittaa tai hidastaa radionuklidien kulkeutumista. Moniesteperiaatteen mukaisesti loppusijoitus on turvallista silloinkin, kun jonkin yksittäisen vapautumisesteen toimintakyky on vajavainen.

Turvallisuusperustelussa loppusijoitusjärjestelmän ja sen ympäristön kehityskulkujen tarkastelu jakautuu toimintakykyarvioon ja radionuklidien vapautumisskenaarioiden analyysiin.

Toimintakykyarviossa käsitellään toimintakykytavoitteiden täyttymistä tai täyttymättä jäämistä eri kehityskulkukuvauksissa, skenaarioissa, joilla katetaan keskeisimmät koko loppusijoitusjärjestelmän tulevaan kehitykseen liittyvät epävarmuudet. Toimintakykyarvio kuvaa lähötötietoinaan kallon ja rakennetun maanalaisen järjestelmän niihin liittyvine epävarmuuksineen, joista tärkeimmät esitetään maanalaisen loppusijoituslaitoksen havaitsematta jäävinä laa-

tupoikkeamina, alkutilavikoina. Ilmaston tulevaa kehitystä koskeva epävarmuus katetaan kahdella vaihtoehtoisella ilmastolla, joiden epävarmuudet pohjautuvat kansainvälisen ilmasto-paneelin RCP-skenaarioihin mutta laajentavat ilmaston kehityskulkukuvaukset koko miljoonan vuoden tarkasteluajaksolle. Tähän sisältyy 7–8 jääkautta niitä edeltävine ikirouta- ja seuraavine laukean ilmaston jaksoineen. Yksi skenaarioista vastaa odotettua kehityskulkua siten, että vapautumisesteiden oletetaan toimivan suunnitellusti. Toimintakykyanalyysissä tarkastellaan erikseen neljää eri ajanjaksoa:

1. Aikainen kehitysvaihe 10 000 vuoteen saakka,
2. Lauhkean ajan loppujakso seuraavaan ikiroutavaiheeseen saakka
3. Seuraava ikirouta- ja sitä seuraava jäätiköitymisvaihe
4. toistuvien jääkausisykliä aika miljoonan vuoden päähän asti.

Toimintakykyarviossa muodostetut skenaariot on jaoteltu asetuksen ja YVL-ohjeiden mukaisesti jaoteltu seuraavasti:

- Perusskenaario: Turvallisuustoiminnoille määritellyt tavoitteet täyttyvät.
- Muunnelmaskenaariot: Laajemmin tilanteita, joissa loppusijoitusjärjestelmä toimii puutteellisesti.

Epätodennäköisiin kehityskulkuihin perustuvat ”mitä jos” -skenaariot, joissa pitkäaikaisturvallisuutta heikentäviä hyvin epätodennäköisiä tapahtumia, ei voida täysin sulkea pois. Edellä esitettyjen lisäksi toimintakykyarviossa muodostetaan odotetun kehityskulun mukainen skenaario, jossa vapautumisesteet toimivat suunnitellusti, mutta ottaen huomioon tunnistetut mahdolliset alkutilaviat.

Toimintakykyarvio vahvistaa, että kun vapautumisesteet toimivat suunnitellulla, siis odotetulla tavalla loppusijoituslaitoksen mahdolliset radioaktiivisuuspäästöt paitsi, että ne ajoittuvat hyvin kauaksi tulevaisuuteen jäävät selvästi alle säteilyturvallisuusviranomaisen asettamien raja-arvojen. Epävarmuuksien puitteissa on kuitenkin mahdollista, että huomattavasti odotuksia epäedullisempien olosuhteiden tai epätodennäköisten tapahtumien seuraukset



ovat huomattavasti suuremmat. Tällöinkään ei ylitetä viranomaisen asettamia aktiivisuuspäästöjen raja-arvoja. Tämä tukee käsitystä toimintakykyarvion luotettavuudesta. Lisäksi on tunnistettu joitain hyvin epätodennäköisiä ihmisen toiminnan tuottamia tapahtumia, jotka voivat häiritä loppusijoitustilaa.

Radionuklidien vapautumisen ja kulkeutumisen mallinnus tarkastelee loppusijoitustilasta mahdollisesti vapautuvien radionuklidien aiheuttamia radiologisia vaikutuksia, sekä näihin arvioihin liittyviä epävarmuuksia. Epävarmuudet voidaan jakaa kolmeen luokkaan: i) skenaarioihin liittyvät epävarmuudet, ii) malleihin liittyvät epävarmuudet ja iii) parametreihin liittyvät epävarmuudet. Skenaarioihin liittyvät epävarmuudet on tunnistettu ja käsitelty yllä olevan mukaisesti osana toimintakykyanalyysiä. Malleihin ja parametreihin liittyviä epävarmuuksia käsitellään deterministisin ja todennäköisyyspohjaisin analyysin YVL-ohjeen mukaisesti (YVL D.5 kappaleet A08a ja A09). Havaintoihin perustuva analyysi koostuu yksittäisistä laskentatapauksista, jotka erikseen tarkastelevat jotain mallin oletuksiin tai parametreihin liittyviä epävarmuuksia. Todennäköisyyspohjaisessa analyysissä lasketaan suuri määrä tapauksia vaihtelemalla parametriarvoja valittujen todennäköisyysjakaumien mukaisesti.

Laskentatapaukset analysoivat perusskenaariosta ja epätodennäköisistä tai hypoteettisista tapahtumakuluista johtuvia päästöjä. Perusskenaariossa oletetaan vapautumisesteiden toimintakykytavoitteiden täyttyvän, jolloin radionuklidien vapautuminen on mahdollista ainoastaan matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilasta. Epätodennäköiset ja hypoteettiset tapahtumakulut perustuvat toimintakykyanalyysissä tunnistettuihin skenaarioihin, jotka voivat johtaa radionuklidien vapautumiseen. Tämän lisäksi radionuklidien vapautumista ja kulkeutumista on analysoitu useissa ”mitä jos” – tyyppisissä tarkasteluissa. Nämä tapaukset eivät liity suoraan toimintakykyanalyysin tunnistamiin tapahtumakulkuihin, vaan niillä mm. testataan yksittäisten turvallisuustoimintojen heikentymisen tai menettämisen vaikutuksia loppusijoitusjärjestelmän toimintaan.

Radionuklidien vapautumis- ja kulkeutumisanalyysien pohjana oleva pohjavesivirtauksen

simulointi on toistettu kymmenelle eri rakoverkkorealisaatiolle. Näin on vapautumis- ja kulkeutumislaskuissa on mahdollista erotella kallion luontaisesta heterogeenisuudesta seuraava epävarmuus parametridataan liittyvästä epävarmuudesta.

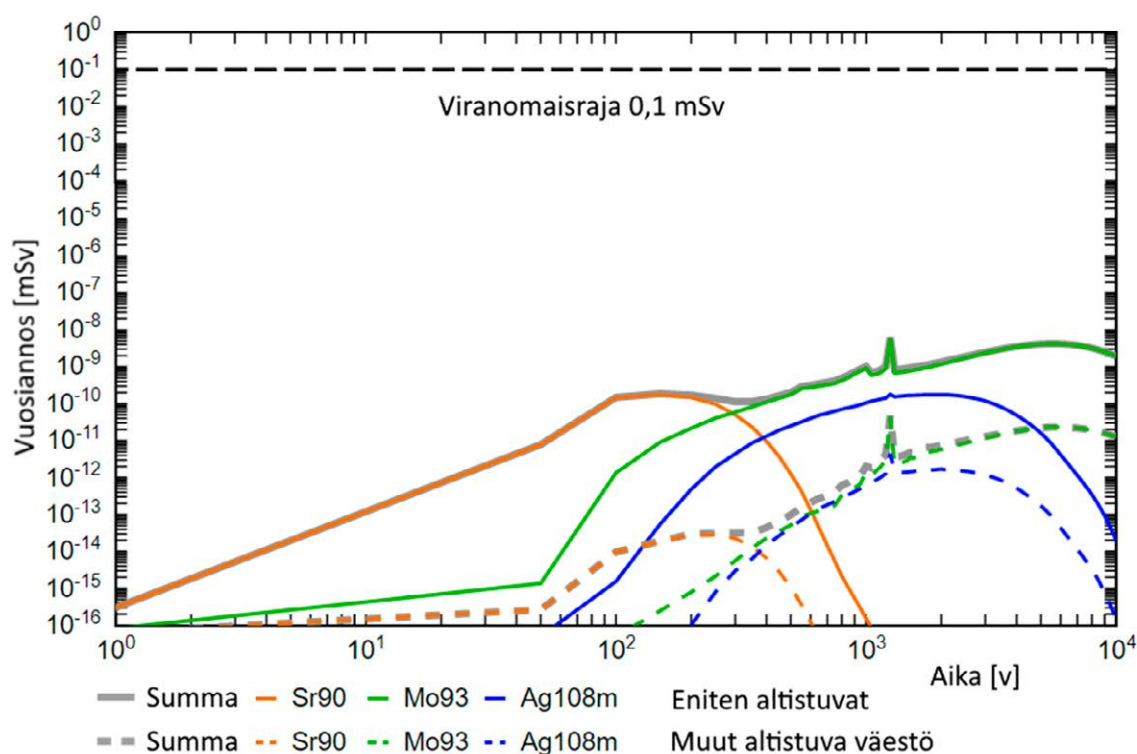
Kaikissa radionuklidien vapautumis- ja kulkeutumislaskuissa on otettu huomioon jääkausisykliin vaikutukset pohjaveden virtaukseen. Tämä on toteutettu muuttamalla vapautumisreittien virtauksia ajasta riippuvalla tekijällä, joka on määritetty jääkausisyklin yli tehdystä transientista virtausmallista.

## **LOPPUSIJOITUKSEN SULKEMISEN JÄLKEISENÄ AJANJAKSONA AIHEUTTAMA SÄTEILYALTISTUS**

Ympäristönmallinnuksen (biosfääriin) keskeiset tulokset ovat pintaympäristön kehityskulun projisointi loppusijoitusta seuraavien 10 000 vuoden aikana sekä ihmisille, kasveille ja eläimille aiheutuvat vuosittaiset säteilyannokset. Nykyisessä biosfääriarvioinnissa yksilökohtaiset altistusreitti-, radionuklidi- ja paikkakohtaiset vuosittaiset annokset muodostavat väestön annosjakaman, josta tunnistetaan keskimääräinen yksilöannos perhe- tai pienkyläyhteisössä, johon kohdistuu suurin säteilyrasitus, sekä muun altistuvan väestön keskimääräinen yksilöannos. Kasveille ja eläimille lasketaan tyypilliset imeytyneet (absorboituneet) annokset. Perusskenaarion referenssitapauksen tulokset on esitetty lyhyesti alla ja yksityiskohtaisemmin STUK:lle toimitettavassa turvallisuusperustelussa, joka löytyy myös Posivan internet-sivuilta.

### **Säteilyannokset ihmisille**

Perustapauksessa, päästö vain matala- ja keskiaktiivisen ydinjätteen loppusijoitustilasta, vapautuvien radionuklidien seulonta-analyysin perusteella tunnistettiin kolme radiologisesti oleellista nuklidia, joille yksityiskohtainen mallinnus tehtiin: Mo-93, Ag-108m ja Sr-90. Kuvassa 29 esitetään keskimääräinen yksilöannos perhe- tai pienkyläyhteisössä, johon kohdistuu suurin säteilyrasitus. Muun altistuvan väestön keskimääräinen yksilöannos käytäytyy ajallisesti samoin, mutta on tasoltaan vielä noin kaksi kertaluokkaa pienempi. Suu-



**Kuva 29.** Keskimääräinen yksilöannos eniten altistuvassa perhe- tai pienkyläyhteisössä ja muun altistuvan väestön osalta, sekä radionuklidien osuudet perustapauksessa, loppusijoitustilan sulkemisen jälkeen.

rimman säteilyrasituksen ryhmää edustava yksilöannos on suurimmillaan  $6 \times 10^{-12}$  mSv (noin 1300 vuotta loppusijoitustilojen sulkemisen jälkeen), ja muun altistuvan väestön keskimääräinen yksilöannos on suurimmillaan  $5 \times 10^{-14}$  mSv (noin 1300 vuotta sulkemisen jälkeen). Nämä tulokset ovat sadastuhannes- ja miljoonasosia asetettujen säteilyannosrajojen alapuolella (Kuva 29). Käytännössä Mo-93:n, Ag-108m:n ja Sr-90:n päästöt määräävät säteilyannosten suuruuden referenssitapauksessa.

Kaiken kaikkiaan säteilyannokset mahdollisista päästöistä ovat hyvin pieniä (pienempiä kuin miljoonasosa), verrattuna suomalaisten saamasta taustasäteilystä (keskimääräinen efektiivinen säteilyannos), joka on 5,9 millisieverttiä (mSv) vuodessa. Suuri osa tästä on peräisin sisäilman radonista, noin 4 mSv vuodessa ja noin 1,1 mSv vuodesta saadaan muista lähteistä esim. röntgen tutkimuksista ja lentomat-kustuksesta.

### Säteilyannokset kasveille ja eläimille

Kasveille ja eläimille lasketaan tyypilliset absor-

boituneet annokset. Perusskenaariossa suurin tyypillinen annosnopeus (kullekin organismille soveliaiden kontaminoituneiden elinympäristöjen pinta-alojen mukaan painotettu keskimääräinen absorboitunut annosnopeus)  $5.9 \times 10^{-10}$   $\mu\text{Gy/h}$  aiheutuu n. 1200 vuoden kuluttua loppusijoitustilojen sulkemisen jälkeen liejuputkimadolle. Tämä on useita kertaluokkia (noin miljardisosa) alle kansainvälisten ERICA- ja PROTECT-hankkeiden ehdottaman viitearvon 10  $\mu\text{Gy/h}$ , kuten on tilanne myös muiden 45 tarkastellun Olkiluodon ympäristön maa- ja vesiekosysteemejä edustavan kasvi- ja eläinlajin kohdalla.

### HARVINAISTEN TAPAHTUMIEN HUOMIOON OTTAMINEN LOPPUSIJOITUKSEN PITKÄAIKAIS- TURVALLISUUTTA ARVIOITAESSA

Käyttölupahakemuksen yhteydessä pitkäaikaisturvallisuuden perusskenaarion lisäksi tarkastellaan harvinaisempia tapahtumia, joilla voi olla merkitystä radionuklidien kulkeutumiseen maan pinnalle.

Toimintakykyanalyysissä tunnistetut radionu-

klidipäästöihin johtavat tapahtumakulut vaikuttavat kapselien eheyteen eri ajanjaksoilla. Epätavallisen suuri isostaattinen jännitys on mahdollinen jääkauden maksimin aikana. Kallioliikunto tapahtuu todennäköisimmin jäätiköitymisen vetäytymisvaiheessa. Kemiallinen eroosio ja siitä mahdollisesti seuraava kapselien korroosio voivat johtaa kapselien rikkoutumiseen eri aikoina, kuitenkin niin, että kemialliseen eroosioon johtavien olosuhteiden kehittyminen vaatii ensin pitkäaikaisen laimean veden suotautumisen sijoitusreikiin.

Isostaattisen jännityksen vaikutuksesta rikkoutuvan yksittäisen kapselin aiheuttamia vaikutuksia on arvioitu olettamalla kapselin rikkoutuvan ensimmäisen jääkauden maksimin hetkellä, noin 60 000 vuotta tilojen sulkemisen jälkeen. Malliepävarmuuksia on kartoitettu laajasti. Merkittävimmät nuklidit näissä tapauksissa ovat I-129, Cl-36 ja Ra-226. Näistä Ra-226 pidättyy voimakkaasti kallioperässä eikä kulkeudu maan pinnalle. Normitettu kokonaispäästö kallioperästä on sekä vertailutapauksessa että kaikissa vaihtoehtoisissa laskentatapauksissa alle sadasosaan YVL D.5 ohjeessa asetetun viranomaispäästörajan alapuolella.

Kallioliikunnon on oletettu perustapauksessa aiheuttavan yhden kapselin rikkoutumisen ensimmäisen jääkauden vetäytymisvaiheessa noin 68 000 vuotta tilojen sulkemisen jälkeen. Malliepävarmuuksia on selvitetty laskentatapauksella, jossa kallioliikunnon oletetaan uudelleen aktivoivan rakoja loppusijoitusreiän ympäristössä ja johtavan siten pohjaveden virtauksen kasvuun. Kallion heterogeenisuuden vaikutusta on arvioitu sijoittamalla rikkoutuva kapseli kaikkiin sijoitusreikiin, joita leikkaa yli 150 m kokoinen rako. Päästönopeuksia hallitsevat samat nuklidit kuin isostaattisen jännityksen tapauksessa. Vapautumista kallioperästä hallitsevat I-129 ja Cl-36. Yhden rikkoutuvan loppusijoituskapselin tapauksessa maksimi normitettu päästönopeus on noin kolme kertaluokkaa pienempi kuin YVL D.5 ohjeessa annettu yläraja. Toimintakykyanalyysin perusteella suurin rikkoutuvien kapselien määrä kallioliikunnon tapahtuessa voisi olla 9 loppusijoituskapselia.

Korroosiosta johtuva kapselin rikkoutuminen on seurausta puskurin pois kulkeutumisen seurauksena kasvavasta sulfidivuosta kapselin

pinnalle. Perustatapauksessa oletetaan kemiallisen eroosion alkavan, kun kationipitoisuus sijoitusreiässä on laimentunut pinnalta suotautuvan laimean veden seurauksena toimintakykyanalyysin määrittelemälle referenssisitasolle (8 meq/l). Tässä tapauksessa miljoonan vuoden kuluessa rikkoutuvien kapselien lukumäärä on 14. Malliepävarmuuksia on otettu huomioon laskemalla tapaukset, joissa käytetään varovaisempaa kationipitoisuuden rajaa eroosion alkamiselle (12 meq/l) sekä lisäksi ohuempaa kuparin korroosiopaksumutta. Näissä rikkoutuvien kapselien määrät ovat 38 ja 111. Suurimmat normitetut vapautumisnopeus kallioperästä näissä häiriötapauksissa on hieman alle kymmenesosan pienempi kuin YVL D.5 ohjeen viranomaisyläraja. Merkittävin nuklidi useimmissa tapauksissa on Ra-226.

### ”Mitä jos” – tapaukset

Laskentatapauksilla tarkastellaan yksittäisten turvallisuustoimintojen heikentymistä. Laskentatapaukset on jaettu viiteen eri ryhmään. Yksi laskentatapauksen joukko tarkastelee matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilan turvallisuustoimintoja. Neljä laskentatapauksen ryhmää tarkastelee käytetyn polttoaineen loppusijoitustilaa. Nämä laskentatapaukset on jaettu ajan perusteella ryhmiin niin, että eri ryhmässä turvallisuustoimintojen heikkeneminen johtaa kapselin tai kapselien rikkoutumiseen muutaman sadan vuoden sisällä (kapseli(e)n oletetaan rikkoutuvan 300 vuoden päästä nykyhetkestä), muutaman tuhannen vuoden päästä (kapseli(e)n oletetaan rikkoutuvan 1000–10000 vuoden nykyhetkestä), muutaman kymmenen tuhannen vuoden päästä (kapseli(e)n oletetaan rikkoutuvan 60 000 vuoden nykyhetkestä) tai muutaman sadan tuhannen vuoden päästä (kapseli(e)n oletetaan rikkoutuvan 300 000 vuoden nykyhetkestä).

Ainoastaan kapselin rikkoutuminen voi johtaa radionuklidien päästöön. Siten ”mitä jos” – tapauksen perimmäinen oletus on, että kapseli tai kapseleita rikkoutuu valitun aika ikkunan sisällä syystä tai toisesta. Tämän lisäksi voidaan tarkastella joidenkin muiden turvallisuustoimintojen samanaikaista heikentymistä.

Tarkasteltavia tapauksia ovat kapseli(e)n rikkoutuminen erityisen aikaisin eli nykyisen läm-

pimän jakson aikana, kapselin rikkoutumisen lisäksi polttoaine ja metalliosat liukenevat odotettua nopeammin, edellisen lisäksi puskurin toimintakyky on heikentynyt tai puskurin toimintakyky on vakavasti heikentynyt. Myös useamman kapselin hajoamista myöhempänä ajan hetkenä tarkastellaan erillisellä laskentatapauksella. Matala- ja keskiaktiivisen loppusijoitustilan osalta tarkastellaan tapausta, jossa jätteen betonointi heikkenee odotettua nopeammin, kemialliset olosuhteet poikkeavat oletetusta tai virtaus kallioperässä on voimakkaasti kanavoitunutta. Ja lopuksi, tarkastelemalla erikseen lähialueen ja kallioperän päästöjä voidaan arvioida tilannetta, jossa kallioperän kyky pidättää nuklidien kulkeutumista on heikentynyt).

Kaikissa tapauksissa maksimi normitettu vapautumisnopeus kallioperästä on vähintään kertaluokkaa pienempi kuin YVL D.5 -ohjeen yläraja eli noin kymmenesosa ylärajasta. Tämän perusteella voidaan todeta, että loppusijoituksesta aiheutuvat säteilyannokset alittavat viranomaisrajat ja ovat hyvin paljon pienemmät kuin normaali taustasäteilyn aiheuttama säteilyannos.

Radionuklidien vapautumista ja kulkeutumista on tarkasteltu myös todennäköisyyspohjaisilla analyyseillä. Tarkastelun kohteena ovat olleet vapautuminen matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilasta ja käytetyn polttoaineen loppusijoitustilasta toimintakykyanalyysin pohjalta johdetuissa isostaattisesta kuormituksesta ja kallioliikunnosta johtuvissa vapautumisskenaarioissa. Todennäköisyyspohjaisilla epävarmuus- ja herkkyystarkasteluilla on tutkittu sekä episteemisten että aleatoristen epävarmuuksien vaikutuksia. Kaikissa todennäköisyyspohjaisissa laskentatapauksissa on käytetty yksinkertaistettua kallioperän kuvasta. Yksinkertaistetun kallioperämallin riittävä tarkkuus on varmistettu erillisillä vertailutapauksilla. Todennäköisyyspohjaisissa laskentatapauksissa analyysien tulokset alittavat myös YVL D.5 asetetut raja-arvot.

## **PITKÄAIKAISTURVALLISUUDEN MALLINTAMISEN LUOTETTAVUUS**

Pitkäaikaisturvallisuus osoitetaan turvallisuusperustelussa erilaisten mallinnusten avulla. Mallien luotettavuuden osoittamiseksi arvioidaan, että kattava joukko konseptuaalisia eli

käsitteellisiä, matemaattisia ja laskennallisia malleja edustavat riittävästi kaikkia kyseessä olevan laskennan kannalta merkityksellisiä ilmiöitä ja ovat siten tarkoituksenmukaisia.

Konseptuaalisissa malleissa luotettavuus viittaa esimerkiksi siihen, että sopivat ilmiöt, tapahtumat ja prosessit on sisällytetty malliin ja niiden välinen vuorovaikutus on huomioitu. Konseptuaalisten mallien määrittely suoritetaan mahdollisuuksien mukaan vertaamalla vastaaviin muissa maissa käytettyihin konseptuaalisiin malleihin. Kokeelliset tulokset ja luonnonanalogiat voivat parantaa luottamusta siihen, että kaikki asiaankuuluvat ilmiöt, tapahtumat ja prosessit on sisällytetty konseptuaalisiin malleihin.

Matemaattisten ja laskennallisten mallien luotettavuus koostuu taustalla olevien konseptuaalisten mallien luotettavuudesta (ks. edellä) sekä validoinnista, joka tyypillisesti sisältää laskennallisen mallinnuksen tulosten vertailun kokeellisiin tuloksiin ja/tai havaintoihin luonnon omista prosesseista. Laboratoriokokeet ovat yleensä hyvin hallittuja, mutta ne kattavat lyhyitä ajan jaksoja suhteessa loppusijoituksen kokonaisaikaskaalaan. Luonnon omat prosessit, eli luonnonanalogiat taas käsittävät usein tarpeeksi pitkiä aikaskaaloja, mutta ympäristöolosuhteet, jotka vaikuttavat luonnon omiin prosesseihin, eivät ole yhtä tarkasti tiedossa kuin laboratorio olosuhteissa.

Laskennallisissa malleissa luotettavuus viittaa myös koodin todentamiseen, joka on prosessi, jolla varmistetaan, että matemaattisen mallin yhtälöt ratkaistaan oikein ja riittävän tarkasti koodiin sisällytettyjen numeeristen algoritmien avulla.

## **TURVALLISUUSPERUSTELUN LUOTETTAVUUS**

Posivalle on kertynyt erittäin laajaa kokemusta ja tietämystä turvallisuusperustelun ja taustatutkimusten ja mallinnusten laatimisesta vuosien mittaan. Käyttölupahakemusta varten tehty turvallisuusperustelu on jo toinen kaiken kattava turvallisuusperustelu, jonka Posiva on Olkiluodon loppusijoituspaikalle tehnyt. Ensimmäinen tehtiin rakentamislupahakemusta varten, ja siihen saatiin STUK:lta palautetta, joka on otettu huomioon käyttölupahakemuksen yhteydes-



sä toimitettavassa turvallisuusperustelussa.

Posiva on hankkinut turvallisuusperustelun laatimisen aikana näkemyksiä ja kommentteja laajalta joukolta pitkäaikaisturvallisuuden kansainvälisiä asiantuntijoita. Taustatutkimusten laatua on myös parannettu kehittämällä keskitettyä tiedonhallintajärjestelmiä. Käytetyt mallit ja menetelmät ovat talletetut ja arvioitu arviointiin soveltuviksi. Turvallisuusperustelun kehittymistä ja laadintaa on seurattu STUK:n kanssa yhteisissä kokouksissa ja STUK:lla on ollut mahdollisuus kommentoida turvallisuusperustelua jo ennen sen valmistumista. Turvallisuusperustelu on laadittu kansallisten ja kansainvälisten suositusten ja vaatimusten pohjalta.

Turvallisuusperustelun Complementary considerations -raportti luo osaltaan lisää luotettavuutta turvallisuusperusteluun, sillä muun muassa luonnonanalogioilla voidaan perustella kuparin ja saven soveltuvuutta pitkäaikaisturvallisuuden varmistamiseen.

Huolimatta yksityiskohtaisesta analyysistä monista arviointitapauksista, jotka on johdettu huolellisesti ja menetelmällisesti, tällä hetkellä saatavilla olevien tietojen perusteella ei ole tunnistettu ratkaisemattomia ongelmia, jotka voivat vaarantaa turvallisuuden. Turvallisuusperustelu on osa määräaikaista turvallisuusarviointia, joka tehdään ydinenergiain mukaan vähintään 15 vuoden välein loppusijoituslaitoksille, tässä yhteydessä arvioidaan pitkäaikaisturvallisuus seuraavan kerran.

STUK arvioi ja hyväksyy käyttölupahakemusta aineistosta tekemällään turvallisuusarviolalla turvallisuusperustelun. Käyttölupa voidaan myöntää, kun turvallisuusarvio on myönteinen. STUK, kuten Posiva, käyttää turvallisuusperustelun arvioinnissa kansainvälisiä asiantuntijoita, joka lisää luotettavuutta muun muassa turvallisuusperustelun kattavuuteen ja laatuun.

Posivan turvallisuusperustelu on laadittu siten, että se voidaan esittää Posivan internet-sivuilla muodossa, joka mahdollistaa erillisiin aiheisiin tutustumisen tarkemmin.

## **YHTEENVETO PITKÄAIKAIS- TURVALLISUUDEN TOTEUTUMISESTA**

Ennen käyttölupahakemusta varten tehtyä tur-

vallisuusperustelua pitkäaikaisturvallisuutta on jo aiemmin arvioitu aikaisemmin periaatepäättös- ja rakentamislupavaiheessa, näissä arvioinneissa ei ole löytynyt sellaista, joka estäisi loppusijoituksen toteuttamista. Loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuutta arvioidaan kattavasti nyt myös vuonna 2021 valmistuneessa täysimittaisessa SC-OLA -turvallisuusperustelussa, joka on osa kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttölupahakemuksen STUK:lle toimitettavaa käyttölupahakemusaineistoa.

Turvallisuusperustelun mukaan vakaaseen peruskallioon sijoitetut, bentoniittisavella ympäröidyt, mekaanisesti vahvat ja korroosiota kestävät kapselit tulevat mitä todennäköisimmin pitämään kaikki radionuklidit sisällään vähintään miljoonan vuoden ajan. Yksittäisten kapselien rikkoutumisen mahdollisuutta tänä aikana ei kuitenkaan voida kokonaan sulkea pois. Tällaisissa tapauksissa radioaktiiviset aineet voisivat hiljalleen vapautua ympäristöön. Kapselivuotoihin voisi johtaa alun perin viallisen kapselin päätyminen loppusijoitustiloihin, muutaman epäedullisiin paikkoihin sijoitetun kapselin rikkoutuminen voimakkaissa maanjäristyksissä (joita saattaa tapahtua jääkauden lopulla jäätikön vetäytymisvaiheissa) sekä jään sulamisvesien aiheuttama kapselia ympäröivän bentoniittisaven eroosio ja sitä seuraava kapselin syöpyminen. Seuraavien satojen tuhansien vuosien aikana kapselirikkoja odotetaan kuitenkin tapahtuvan huonoimmassakin tapauksessa sen verran vähän, että niistä aiheutuvilla radioaktiivisten isotooppien päästöillä olisi vain hyvin pieni vaikutus ihmisiin ja muuhun elolliseen ympäristöön. Turvallisuusarvioissa on otettu huomioon myös radioaktiivisten aineiden vapautumiseen ja kulkeutumiseen vaikuttavat epävarmuudet. Turvallisuuteen vaikuttavien seikkojen selvittäminen jatkuu epävarmuuksien pienentämiseksi.

Turvallisuusperustelu on laadittu viranomaisvaatimusten mukaisesti. Se osoittaa, että Posivan loppusijoitussuunnitelmat täyttävät STUKin määräysten (STUK Y/4/2018) ja ydinlaitosohjeiden (YVL-ohjeet) vaatimukset pitkäaikaisturvallisuuden osalta. Vaatimusten täytyminen on osoitettu yksityiskohtaisesti turvallisuusperustelun asiakirjakokonaisuudessa, joka on myös nähtävillä Posivan internet-sivuilla.

Turvallisuusperustelun päätuloksena on, että kuparikapselien rikkoutuminen edellyttää vakavaa vapautumisesteiden toimintakyvyn menetystä. Tässäkin poikkeustilanteessa kapselit säilyvät ehjinä vähintään seuraavaan jääkauteen, liki satatuhatta vuotta. Kapselin rikkoutuminen vaatii kuitenkin erittäin paksun jäätikön muodostumista Olkiluotoon, mitä ei ensimmäisen 100 000 vuoden kuluessa pidetä todennäköisenä. Käytetyn ydinpolttoaineen tuottama säteily vähenee nopeasti, niin että 10 000 vuodessa annosnopeus polttoaineen läheisyydessä on vähemmän kuin yksi viideskymmenestuhannesosa siitä, mitä se on silloin, kun polttoaine on ollut ulkona reaktorista yhden vuoden. Sadan tuhannen vuoden jälkeen käytetty ydinpolttoaine tuottaa vähemmän säteilyä kuin vastaava määrä luonnonuraanimalmia. Kun huomioidaan myös teoreettiset ”mitä jos” skenaariot, pysyvät säteilyannokset ihmisille ja luonnolle myös niissä viranomaisen asettamia rajoja sekä terveydelle haitallisia tasoja vähäisempinä. Pitkäaikaisturvallisuuden arviointi suoritetaan erittäin pitkällä ajanjaksoille (jopa miljoona vuotta), arvioinnissa otetaan huomioon erilaisia ilmastoskenaarioita, jotka sisältävät sekä jäätiköitymisiä, että lämpimämpiä ajanjaksoja. Arvioissa on käytetty konservatiivisia olettamuksia eli olettamukset ovat huonompia vaihtoehtoja. Palautettavuus säilytetään teknisesti mahdollisena vaihtoehtona loppusijoituksen kaikissa vaiheissa ja myös tilojen lopullisen sulkemisen jälkeen.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus on arvioitu turvalliseksi ihmisille ja ympäristölle.

## YHTEENVETO TURVALLISUUSPERIAATTEIDEN TOTEUTUMISESTA

Tämän selvityksen mukaisesti kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen turvallisuusperiaatteet ovat suunniteltu ja toteutettu siten, että käytöturvallisuus sekä pitkäaikaisturvallisuus toteutuvat. Myös työ- ja yritysturvallisuus sekä valmiusjärjestelyt ovat järjestetty viranomaisvaatimusten mukaisesti.

Loppusijoitustoiminnan aikana ei ole odotettavissa ihmisille ja ympäristölle säteilyannoksia. Loppusijoituslaitoksen pitkäaikaisturvallisuus on varmistettu kattavin analyysein, joiden mukaan radioaktiivisia aineita ei pääse nousemaan kallioperästä millään tavalla siten, että niillä olisi vaikutusta ihmisen tai ympäristön säteilyturvallisudelle.

Säteilyturvakeskus arvioi käyttölupahakemuksen yhteydessä heille toimitetun aineiston ja tekee sen perusteella turvallisuusarvionsa. Turvallisuusarvion tulee olla myönteinen, jotta käyttölupa voidaan kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle myöntää.





# 06

SELVITYS TOIMENPITEISTÄ  
YDINLAITOKSEN  
YMPÄRISTÖRASITUKSEN  
RAJOITTAMISEKSI



 Kuva: Posiva Oy



# SISÄLLYSLUETTELO

|                                                                                                                 |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1 POSIVAN YMPÄRISTÖASIOIDEN HALLINTAJÄRJESTELMÄ .....</b>                                                    | <b>124</b> |
| <b>2 YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTI .....</b>                                                                   | <b>125</b> |
| <b>3 LOPPUSIJAITUSTOIMINNAN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET .....</b>                                                      | <b>127</b> |
| 3.1 Kuljetusten ja liikenteen vaikutukset .....                                                                 | 127        |
| 3.2 Vaikutukset maankäyttöön, kulttuuri-perintöön, maisemaan, rakennuksiin ja rakenteisiin .....                | 127        |
| 3.3 Vaikutukset maa- ja kallioperään sekä pohjavesiin .....                                                     | 127        |
| 3.4 Vaikutukset ilmanlaatuun .....                                                                              | 130        |
| 3.5 Melu- ja värinävaikutukset .....                                                                            | 130        |
| 3.6 Vaikutukset kasvillisuuteen, eläimiin sekä suojelukohteisiin .....                                          | 130        |
| <b>4 VAIKUTUKSET IHMISIIN JA SUHTAUTUMINEN KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN LOPPUSIJAITUKSEEN .....</b>                | <b>131</b> |
| 4.1 Sosiaaliset vaikutukset, vaikutukset yhdyskuntarakenteeseen, aluetalouteen ja Eurajoen kunnan imagoon ..... | 131        |
| 4.2 Häiriö- ja onnettomuustilanteiden vaikutukset .....                                                         | 131        |
| <b>5 TOIMENPITEET YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN VÄHENTÄMISEKSI .....</b>                                                 | <b>133</b> |
| 5.1 Säteilysuojelliset suunnitteluperusteet .....                                                               | 133        |
| 5.2 Radioaktiivisten aineiden vapautumisen rajoittaminen .....                                                  | 133        |
| 5.3 Työntekijöiden säteilyaltistuksen rajoittaminen .....                                                       | 134        |
| 5.4 Säteilyvalvonta .....                                                                                       | 134        |
| 5.5 Käyttöhäiriöiden ja onnettomuuksien ehkäiseminen ja seurausten hallinta .....                               | 134        |
| 5.6 Palo- ja räjähdysvaaran ehkäiseminen .....                                                                  | 135        |
| 5.7 Ulkoisten tapahtumien huomioon ottaminen suunnittelussa .....                                               | 136        |
| <b>6 KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN KULJETUSTEN VAIKUTUSTEN HALLINTA .....</b>                                       | <b>137</b> |
| <b>7 LOUHINNASTA JA MURSKAUKSESTA AIHEUTUVIEN VAIKUTUSTEN HALLINTA .....</b>                                    | <b>139</b> |
| <b>8 KAPSELOINTILAITOKSEN VAIKUTUSTEN HALLINTA .....</b>                                                        | <b>140</b> |
| 8.1 Kapselin siirrot kapselointilaitokselta maanalaiseen loppusijoitustilaan .....                              | 140        |
| 8.2 Maanalaiset loppusijoitustilat ja loppusijoitustunnelien suojaetäisyydet .....                              | 140        |
| 8.3 Loppusijoituspaikan soveltuvuuden arviointiperusteet .....                                                  | 140        |
| 8.4 Pitkäaikaisturvallisuus .....                                                                               | 141        |
| 8.5 Loppusijoitustunnelien sulkeminen .....                                                                     | 141        |
| 8.6 Vaikutukset pohjavesiin .....                                                                               | 142        |
| <b>9 LAITOKSEN VALVONTA .....</b>                                                                               | <b>143</b> |
| 9.1 Säteilyvalvonta kapselointi ja loppusijoituslaitoksessa .....                                               | 143        |
| 9.2 Kulunvalvonta kapselointi- ja loppusijoituslaitoksessa .....                                                | 143        |
| 9.3 Kunnonvalvonta .....                                                                                        | 143        |
| 9.4 Säteilyturvakeskuksen suorittama valvonta .....                                                             | 143        |
| 9.5 Ympäristön säteilyvalvontaohjelma .....                                                                     | 144        |
| 9.5.1 Säteilyn ympäristövaikutusten analysointimenetelmät .....                                                 | 145        |
| <b>10 MUUT YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET .....</b>                                                                       | <b>146</b> |
| 10.1 Vaikutukset Natura-alueisiin .....                                                                         | 146        |
| 10.2 Ympäristöluvut ja muut luvat .....                                                                         | 146        |
| <b>11 JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>                                                                                  | <b>147</b> |

# 1 POSIVAN YMPÄRISTÖASIOIDEN HALLINTAJÄRJESTELMÄ

Posiva Oy:llä (Posiva) on dokumentoitu ja sertifioitu toimintajärjestelmä, joka ympäristöasioiden osalta täyttää kansainväliseen standardin SFS-EN ISO 14001 vaatimukset. Toimintajärjestelmän yhtenä tarkoituksena on varmistaa, että ympäristöasioiden hallinta on ohjattua ja systemaattista. Posiva on asettanut toiminnalleen seuraavat ympäristöpäämäärät:

- Toiminta tähtää turvallisen ydinjätehuollon toteuttamiseen siten, että ympäristöön kohdistuva kuormitus on mahdollisimman pieni.
- Mahdolliset ympäristön tilaan vaikuttavat riskit tunnistetaan jo toiminnan suunnittelu- vaiheessa.
- Henkilöstö on tietoinen oman työnsä ympäristömerkityksestä.

Posivan toiminnan ympäristö- ja energianäkökohtia kartoitetaan ja niiden merkittävyys arvioidaan säännöllisesti. Merkittäviin ympäristönäkökohtiin liittyen laaditaan ja ylläpidetään hallintaohjelmia, joiden avulla pyritään jatkuvaan parantamiseen ja vähentämään toiminnan haitallisia vaikutuksia ympäristöön.



## 2 YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTI

Ympäristövaikutusten arviointimenettely (YVA) on järjestelmällinen päätöksentekoa valmisteleva prosessi, jolla pyritään jo tietyn hankkeen alkuvaiheessa tuottamaan systemaattinen ja yhtenäinen kuva hankkeen ja sen toteutusvaihtoehtojen vaikutuksista ympäristöön. Kattavilla ympäristöselvityksillä on jo pitkät perinteet ydinvoima-alalla Suomessa.

Olkiluodon saarelle suunnitellusta käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksesta tehtiin YVA-lain mukainen ympäristövaikutusten arviointi vuonna 1999. Ajan tasalle saatettu selvitys käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ympäristövaikutuksista, jossa tarkastelun kohteena on 6 500 tU suuruisen käytetyn ydinpolttoainemäärän loppusijoittaminen, on käyttöluopakemuksen liitteenä 10 ”*Päivitetty selvitys laitoskokonaisuuden ympäristövaikutuksista*”.

Tässä liitteessä on kuvattu käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen keskeisiä ympäristövaikutuksia sekä suunnitteluperusteita ympäristövahinkojen välttämiseksi ja ympäristökuormituksen rajoittamiseksi.

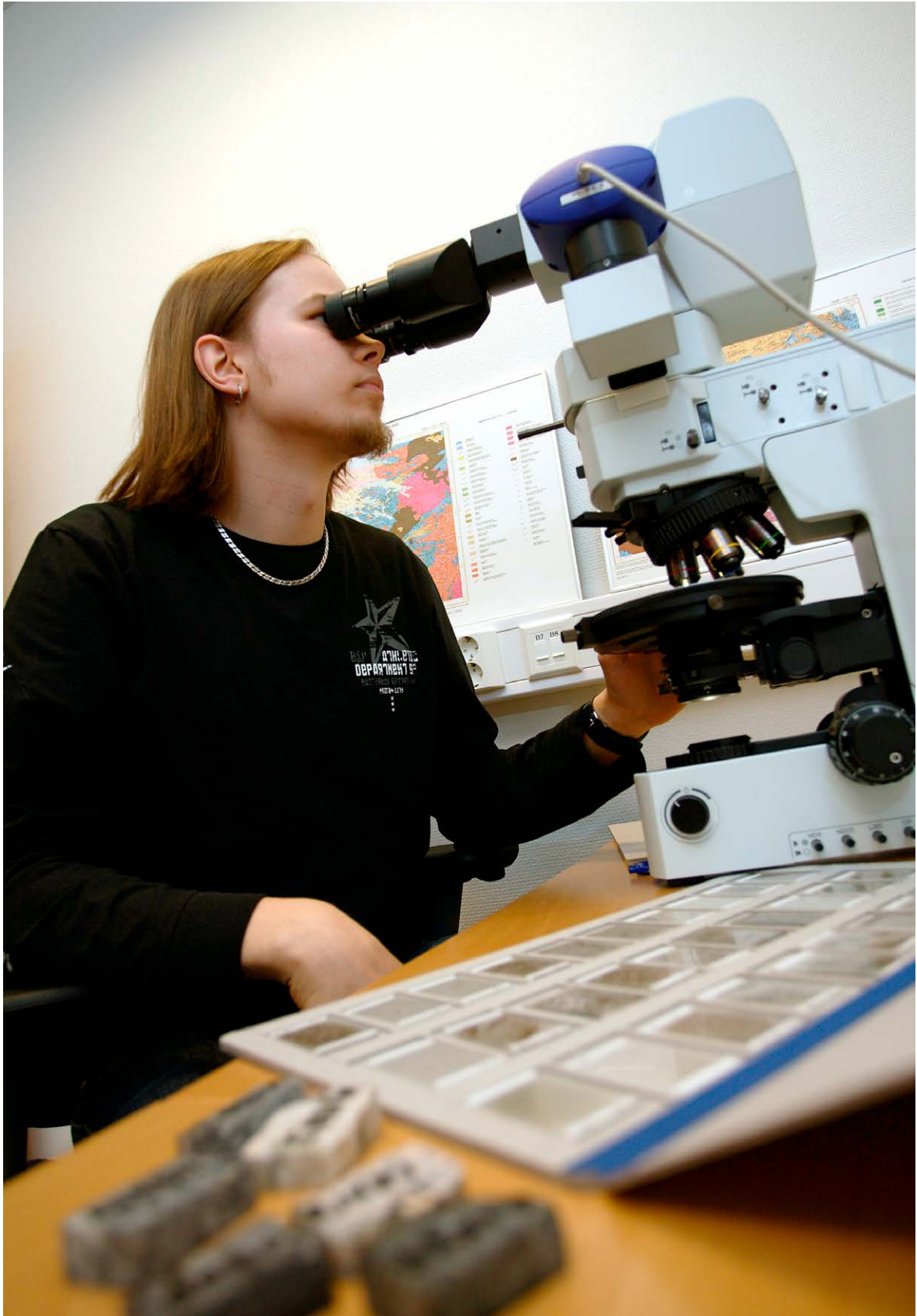
Ydinlaitoksen ympäristövaikutuksia arvioidaan laitoksen koko elinkaaren aikana. Ympäristötutkimuksia on tehty Olkiluodossa jo yli 40 vuoden ajan. Tutkimukset aloitettiin kattavilla ympäristön perustilaselvityksillä, ja Olkiluodon voimalaitoksen käynnistymisen jälkeen käytön vaikutuksia on seurattu laajamittaisilla viranomaisten hyväksymillä ympäristötarkkailuohjelmilla, joista merkittävimpiä ovat voimalaitoksen ympäristön säteilyvalvontaohjelma sekä tavanomaisten päästöjen tarkkailuohjelma, johon sisältyy mm. jäähdytys- ja jätevesistä aiheutuvan kuormituksen tarkkailu. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamisen vaikutuksia ympäristöön on seurattu rakennustöiden aloittamisesta asti ja laitosten toiminnan vaikutuksia tullaan seuraamaan koko loppusijoitustoiminnan ajan.

Epätodennäköiset, mutta mahdolliset päästöt kapselointilaitokselta ympäristöön tapahtuvat valvotusti kaasumaisten ja nestemäisten radioaktiivisten aineiden keruu- ja käsittelyjärjes-

telmien kautta. Kapselointilaitoksella on tilat, joita tarvitaan kapseloidun käytetyn ydinpolttoaineen välivarastointiin sekä matala- ja keskiaktiivisten ydinlaitosjätteiden välivarastointiin. Ydinlaitosjätteiden käsittelyä kapselointilaitoksella varten on jätetty tilavaraus käsittelyjärjestelmille. Lisäksi Posiva tulee käyttämään ydinjätehuollossaan Olkiluodon ydinvoimalaitosalueella sijaitsevia jätteiden käsittelyjärjestelmiä ja keskiaktiivisen jätteen välivarastoa (KAJ-varasto) ja matala-aktiivisen jätteen välivarastoa (MAJ-varasto) sekä loppusijoitukseen voimalaitosjätteen loppusijoitustilaa (VLJ-luola) ja hyvin matala-aktiivisen ydinlaitosjätteen loppusijoitustilaa (maaperäloppusijoitus).

Ympäristöön kohdistuvien vaikutusten arvioinnissa on huomioitu alueella olevien ja sinne suunniteltujen toimintojen yhteisvaikutukset. Laitospaikan ympäristössä ei ole tapahtunut sellaisia merkittäviä muutoksia, jotka olisivat vaikuttaneet ympäristövaikutusten arvioinnin tuloksiin.

Posivalla on käytössä sertifioitu ympäristöasioiden hallintajärjestelmä, joka täyttää kansainvälisen ISO 14001 -standardin vaatimukset. Lisäksi Olkiluodon voimalaitos ja käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitos ovat mukana elinkeinoelämän energiatehokkuussopimuksessa, ja energiatehokkuusjärjestelmä on liitetty osaksi ympäristöjärjestelmää. Posivan ympäristöjärjestelmä sisältää ympäristö- ja energia-asioiden huomioon ottamisen koko elinkaaren osalta sekä ympäristönsuojelun ja energiatehokkuuden tason jatkuvan parantamisen periaatteen.



**Kuva 1.** Loppusijoituspaikan ominaisuuksia ja loppusijoituksen ympäristövaikutuksia on arvioitu kattavasti ja aineisto on toimitettu Säteilyturvakeskukselle. Posiva julkaisee internetsivuillaan tutkimuksiaan raporttimuodossa.

## 3 LOPPUSIJOITUSTOIMINNAN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

### 3.1 KULJETUSTEN JA LIIKENTEEN VAIKUTUKSET

Posivan kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle suuntautuva liikenne muodostaa pienen osan Olkiluodon saaren liikenteestä (noin 5 % kokonaisliikennemäärästä), joten sillä ei ole suurta vaikutusta liikennemääriin eikä liikenteestä aiheutuviin vaikutuksiin.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle tuodaan käytettyä ydinpolttoainetta Olkiluodon ydinvoimalaitoksen lisäksi myös Loviisan ydinvoimalaitokselta. Loviisan ydinpolttoaineiden kuljetukset Olkiluotoon on suunniteltu tapahtuvan vaihtoehtoisesti meri- tai maantiekuljetuksina tai näiden yhdistelminä. Kuljetusten on suunniteltu alkavan 2040-luvulla, jolloin Loviisan laitosyksiköiden käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamisen on suunniteltu alkavan.

Polttoainekuljetusten määrä riippuu ydinpolttoaineen määrästä, kuljetuspakkauksen koosta ja kuljetustavasta. Eri kuljetustapavaihtoehdoissa pakokaasupäästöistä aiheutuvat ympäristövaikutukset ovat kuljetusten pienestä määrästä johtuen merkityksettömät.

Väestön saama säteilyannos kuljetusten yhteydessä on huomattavasti pienempi kuin mitä samana ajanjaksona aiheutuu normaalista luonnon taustasäteilystä. Kuljetussäiliöiden käsittelijöiden ja kuljetushenkilöstön altistuminen säteilylle kuljetuksissa voi kuitenkin olla taustaltistusta suurempi.

Jos käytetyn ydinpolttoaineen kuljetuksissa sattuisi liikenneonnettomuus, sen säteilyannoksen aiheuttamat vaikutukset olisivat vähäiset, koska kuljetussäiliö kestää erilaisia onnettomuustapahtumia kansallisten ja kansainvälisten vaatimusten mukaisesti.

### 3.2 VAIKUTUKSET MAAN-KÄYTTÖÖN, KULTTUURI-PERINTÖÖN, MAISEMAAN, RAKENNUKSIIN JA RAKENTEISIIN

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen normaali käyttö, odotettavissa olevat käyttöhäiriöt tai oletetut onnettomuudet eivät aiheuta rajoituksia maankäytölle maanpäällisen laitosalueen ulkopuolella. Mahdolliset päästöt onnettomuuden seurauksena ovat pieniä ja rajoittuvat laitoksen lähialueelle.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen lopullisen sulkemisen yhteydessä, joka tapahtuu nykyisten suunnitelmien mukaan 2120-luvulla, voidaan asettaa maankäytön rajoituksia, jotka merkitään asianomaisiin rekistereihin. Rajoitukset voivat koskea esimerkiksi kairaus- ja maankaivuutoimintaa.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen maise-mavaikutukset jäävät vähäisiksi. Alueella ei ole valtakunnallisesti tai maakunnallisesti arvokkaita kulttuurihistoriallisia rakennuksia, merkittäviä rakennettuja kulttuuriympäristöjä tai muita kohteita. Olkiluodon alueelta ei ole löydetty muinaismuistokohteita.

### 3.3 VAIKUTUKSET MAA- JA KALLIOPERÄÄN SEKÄ POHJAVESIIN

Maanalaisen laitoksen tarvitsema pinta-ala, kun loppusijoitettava polttoainemäärä on 6 500 tU, on noin 150 hehtaaria. Maanalaisten tunnelien pituus on noin 35 kilometriä, kun kaikki käytetty ydinpolttoaine on loppusijoitettu, tunneliä kuitenkin suljetaan loppusijoitustoiminnan aikana heti tunnelien täytyttyä.

Loppusijoitettavan polttoainemäärän mukainen louheen kokonaistuotto on noin 1,7 miljoonaa kiintokuutiota. Louhetta syntyy vuosittain keskimäärin noin kaksikymmentä tuhatta kiintokuutiota. Maanalaisesta loppusijoitustilasta ylös tuotu kiviaines varastoidaan Olkiluodossa sijaitsevalla louheen läjitysalueella. Louhe voidaan tarvittaessa murskata siten, että siitä saadaan sopivaa materiaalia loppusijoitustilojen täyteaineeksi. Kaikkea louhetta ei tarvita maanalaisten tilojen täyttömateriaaliksi, vaan sitä voidaan käyttää muihin tarkoituksiin. Yhte-





**Kuva 2.** Loppusijoituspaikan olosuhteiden ymmärtäminen nyt ja tulevaisuudessa on vaatinut suuren määrän tutkimuksia eri olosuhteissa.



nä vaihtoehtona on myös myydä louhetta joko sellaisenaan tai murskattuna esimerkiksi täyttö- tai rakennusmateriaaliksi.

Käytetyn ydinpolttoaineen jälkilämmön aiheuttama kallion laajentuminen kohottaa maanpintaa loppusijoitustilan kohdalla hyvin vähän suhteessa Olkiluodon luonnolliseen jääkauden aiheuttamaan maankohoamaan. Lämpölaajenemisen aiheuttama maankohoaminen on muutaman senttimetrin luokkaa tuhannen vuoden aikana loppusijoituksesta.

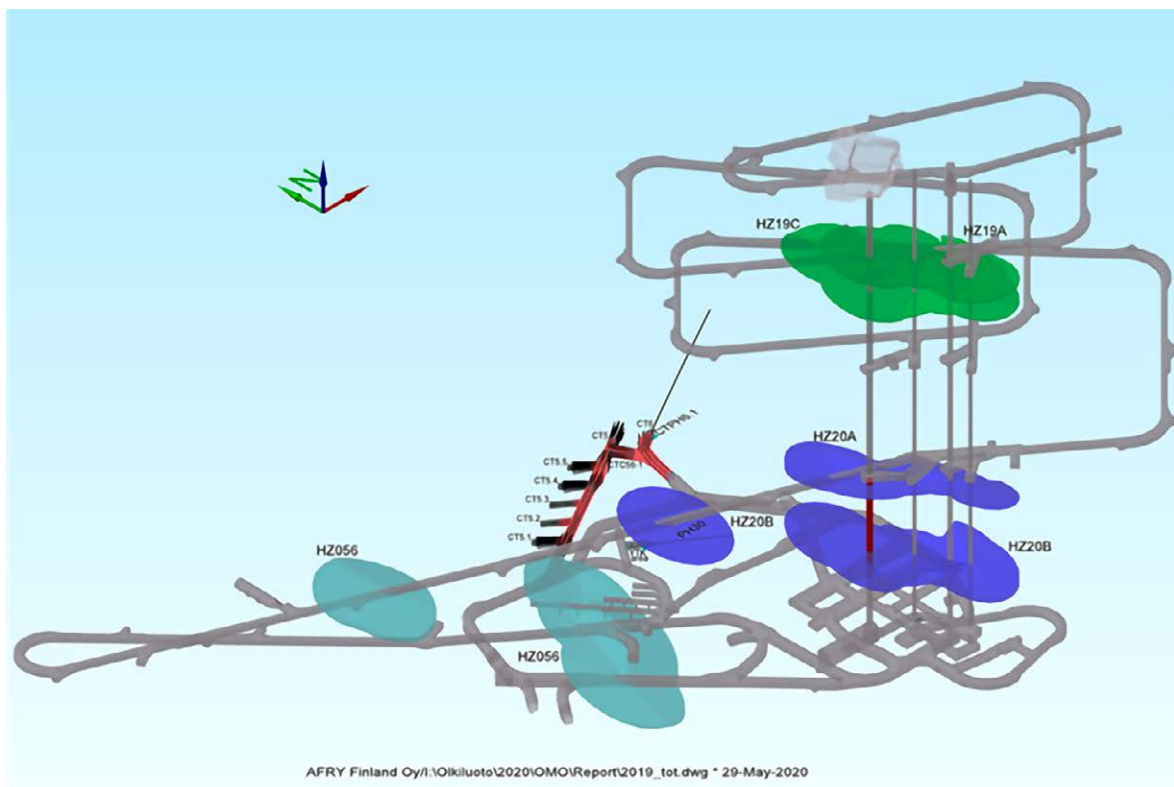
Avoimiin tunnelitiloihin vuotaa pohjavettä, joka pumpataan maanpinnalle. Tämä alentaa pohjaveden painekorkeutta tunneliston ympärillä ja aiheuttaa mahdollisesti myös pohjaveden pinnankorkeuden alenemista Olkiluodon saaren alueella. Vuotovesien määrää ja vaikutusten laajuutta vähennetään rakennustyön edetessä tiivistämällä kalliota tunnelien ympärillä.

ONKALOn loppusijoitustilojen louhimisen ja rakentamisen vaikutusta pohjaveden pinnankorkeuteen on arvioitu numeerisen virtausmallin avulla. Virtausmallia päivitetään jatkuvasti ja tuloksia verrataan havaittuihin arvoihin. Sekä

mallinnuksen että havaittujen tulosten perusteella ONKALOn rakentaminen on aiheuttanut vain hyvin pieniä pysyviä muutoksia pohjaveden pinnankorkeuteen.

Suoranaisia ONKALOn rakentamisesta johtuvia muutoksia matalissa pohjavesissä ei ole havaittu ennen vuotta 2010, jolloin matalien pohjavesien tuloksissa havaittiin paikoittain sulfaattipitoisuuden nousua maankäyttöön liittyvien rakennustöiden seurauksena ONKALOn alueen yläpuolella ja ympärillä.

Pohjaveden kemiallisessa koostumuksessa on havaittu suolaisuuden laimentumista paikamittakaavan merkittävässä vettäjohtavassa hydrogeologisessa rakenteessa (HZ20, HZ=hydrogeological zone) (Kuva 3) sekä kallion pintaosassa. ONKALOn rakentamisesta johtuva avoimien maanalaisten tilojen hydraulinen gradientti on aiheuttanut pohjaveden lisääntyntä virtausta ja erilaisten pohjavesityyppien sekoittumista, joka on ollut nähtävissä pohjavesikemiassa tapahtuvina prosesseina, mm. sulfidin muodostuksena. Syväällä kalliossa havaitut muutokset ovat olleet pieniä.



**Kuva 3.** Paikkamittakaavan merkittävimmät vettäjohtavat hydrogeologiset rakenteet esitettynä ONKALO®:n tunneleita leikkaavina kiekkoina. Rakenteiden värikoodit ovat vihreä: HZ19, tummansininen: HZ20 ja vaaleansininen: HZ056.

### 3.4 VAIKUTUKSET ILMANLAATUUN

Maarakennustyöt, työmaaliikenne sekä erillis-toiminnot (esim. kivenmurskaus ja louheen läjitys) aiheuttavat paikallista pölyämistä. Ajoneuvot ja työkoneet aiheuttavat päästöjä ilmaan. Nämä päästöt ovat määrältään vähäisiä eikä niillä ole vaikutusta ilmanlaatuun alueen ulkopuolella.

### 3.5 MELU- JA TÄRINÄVAIKUTUKSET

Maarakennustöistä, räjäytyksistä ja louheen käsittelystä ja murskauksesta sekä ajoneuvojen ja työkoneiden käytöstä aiheutuu melua ja tärinää. Tärinää ja melua aiheuttavat toiminnot toteutetaan siten, ettei niistä aiheudu merkittäviä vaikutuksia ympäristöön.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilaa rakennetaan sitä mukaa, kun käytettyä ydinpolttoainetta loppusijoitetaan. Loppusijoitustilojen louhinnasta syntyvä ääni ei kuulu laitosalueen ulkopuolelle. Rakennustöiden aikana louheen murskaus aiheuttaa melua päiväaikaan. Murskauksen aiheuttaman melun vaikutusalueella ei ole melusta häiriintyviä kohteita. Vaikutukset eivät ole merkittäviä toimintojen lyhyen keston ja vaikutusalueen pienuuden ansiosta. Louheen murskaus päättyy, kun Olkiluodon kallioperään sijoitettava käytetty ydinpolttoaine on loppusijoitettu.

### 3.6 VAIKUTUKSET KASVILLISUUTEEN, ELÄIMIIN SEKÄ SUOJELUKOhteisiin

Hankkeen vaikutukset kasvillisuuteen ja eläimiin liittyvät pääasiassa rakennusten ja rakennelmien tarvitsemiin maa-alueisiin ja rakennustöihin. Loppusijoitustilojen käytön aikana ja sulkemisen jälkeen merkittäviä vaikutuksia ei ole.

Pääosa kasveista ottaa vetensä kalliopinnan yläpuolisesta maavedestä. Tällöin maanalaisen tilojen aiheuttama kalliopohjaveden alenema ei vaikuta kasveihin. Merkittävää vedenpinnan alenemaa maakerroksissa ei ole odotettavissa.

Loppusijoituksen vaikutuksia Liiklankarin Natura-alueeseen on tutkittu ja arvioitu Olkiluodon

osayleiskaavoituksen yhteydessä. Natura-arvioinnin tuloksena on todettu, että yleiskaavoituksella Olkiluotoon mahdollistetut hankkeet (ml. kapselointi- ja loppusijoituslaitos) eivät merkittävällä tavalla vaikuta niihin luonnonarvoihin, joiden vuoksi Olkiluodon saaren etelärannalla sijaitseva Liiklankarin luonnonsuojelualue on otettu mukaan Natura 2000 -suojeluohjelmaan.

Loppusijoituslaitostoimintaan varatun alueen ulkopuolella luonnonvarojen hyödyntämistä, kuten sienestystä, marjastusta, metsästystä, kalastusta ja metsänhoitoa, voidaan jatkaa nykyiseen tapaan.

## 4 VAIKUTUKSET IHMISIIN JA SUHTAUTUMINEN KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUKSEEN

### 4.1 SOSIAALISET VAIKUTUKSET, VAIKUTUKSET YHDYSKUNTA RAKENTEeseen, ALUE- TALOUTEEN JA EURAJOEN KUNNAN IMAGOON

Tämän käyttöluvhakemuksen liitteen 10 ”Päivitetty selvitys laitoskokonaisuuden ympäristövaikutuksista” kappaleessa 6.10 on kuvattu käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen vaikutuksia ihmisiin ja ihmisten suhtautumista loppusijoitukseen.

### 4.2 HÄIRIÖ- JA ONNETTOMUUSTILANTEIDEN VAIKUTUKSET

Käytetyn ydinpolttoaineen kapseloinnissa kapselointi- ja loppusijoituslaitokselta normaalitilanteessa tapahtuvat radioaktiivisten aineiden päästöt ovat merkityksettömiä. Kapselointilaitoksella kerrallaan käsiteltävät radioaktiivisten aineiden määrät ovat pieniä verrattuna ydinvoimaloiden vastaaviin määriin. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella ei ole muun muassa tästä syystä vakava onnettomuus mahdollista.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen yleiset säteilyturvallisuusvaatimukset esitetään ydinenergia-asetuksessa, jonka mukaan väestön eniten altistuvan yksilön efektiivinen annos ei saa ylittää normaalikäytössä 0,01 mSv vuodessa. Kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle tehdyissä analyyseissä on osoitettu, että normaalikäytössä ympäristön väestön vuosittaiset säteilyannokset jäävät merkityksettömän pieniksi, edustavan henkilön säteilyannos on noin 0,001 % normaalitoiminnalle asetetusta vuosiansiannoksen rajoituksesta.

Häiriötilanteet eroavat onnettomuustilanteista siten, että häiriötilanteiden seuraukset ovat onnettomuustilanteita lievemmät, mutta niitä voi tapahtua useammin. Häiriötilanteissa radioaktiivisuutta voi vapautua yksittäisiin kapselointilaitoksen tiloihin, joista päästö ohjataan ilmastoinnin avulla suodatettuna ulos. Loppusijoitustiloissa sellaiset häiriöt ja onnettomuudet, joissa vapautuu radioaktiivisia aineita, ovat erittäin epätodennäköisiä.

Käyttöhäiriötilanteissa annokset jäävät myös merkityksettömiksi, edustavan henkilön säteilyannos on noin 0,002 % asetetusta vuosiansiannoksen rajoituksesta 0,1 mSv.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakenteet toteutetaan siten, että sellaisetkaan ydinpolttoaineelle eri käsittelyvaiheissa mahdollisesti tapahtuvat onnettomuudet, jotka johtavat ydinpolttoaineen merkittävään vaurioitumiseen, eivät aiheuta henkilökunnalle tai ympäristön asukkaille välitöntä terveydellistä vaaraa. Onnettomuustilanteissa vuosiansiannokset jäävät selvästi pienemmiksi kuin vaatimusten mukaiset raja-arvot 1, 5 ja 20 mSv vuodessa. Tarkastellussa onnettomuudessa, jossa kuljetussäiliö putoaa noston yhteydessä menettäen tiiveyteensä ja rikkoen säiliössä olevat polttoaine-elementit, suodatuksen kautta vapautuva päästö aiheuttaisi vuoden kuluessa enintään 0,01 mSv:n annoksen edustavalle henkilölle. Mikäli olettaisiin osan päästöstä vapautuvan sähkönmenetyksen seurauksena suodattamattomana, edustavan henkilön vuosiansiannos olisi 2,3 mSv, joka olisi noin puolet vuosiansiannoksen raja-arvosta 5 mSv.

Suurin annos aiheutuu aivan laitosalueen vieressä olettaen, että siinä asutaan vakituisesti, harjoitetaan maataloutta ja käytetään ravinnoiksi pääosin omia tuotteita. Pääosa annoksesta kertyy maahan laskeutuneista radionuklideista ravintoketjujen välityksellä samaan tapaan kuin häiriötilanteiden yhteydessä.

Laskeumasta tulevan ulkoisen säteilyannoksen merkitys kasvaa, kun tarkastelu aika pitenee. 50 vuoden kuluessa kertyvästä annoksesta ulkoinen altistus muodostaa valtaosan. Annostasot vuoden aikana jäävät niin pieniksi, että välittömien terveysvaikutusten vaaraa ei ole. Väestöannosten perusteella myös myöhäisvaikutusten riski säilyy hyvin pienenä.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suunnittelussa on otettava huomioon mahdollisina pidettävistä luonnonilmiöistä ja muista laitoksen ulkopuolisista tapahtumista aiheutuvat vaikutukset. Huomioon otettavia luonnonilmiöitä

ovat ainakin salamanisku, maanjäristys ja tulva. Muita laitoksen ulkopuolisia tapahtumia ovat ainakin sähkömagneettinen häiriö, lentokoneen törmäys, maastopalo ja räjähdys. Nämä luonnonilmiöt ja ulkopuoliset tapahtumat otetaan huomioon kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suunnittelussa riittävällä tavalla.



## 5 TOIMENPITEET YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN VÄHENTÄMISEKSI

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suunnittelun ja ympäristövaikutusten arviointityön aikana on selvitetty mahdollisuudet ehkäistä, rajoittaa tai lieventää hankkeen haittavaikutuksia suunnittelun tai toteutuksen keinoin.

### 5.1 SÄTEILYSUOJELULLISET SUUNNITTELUPERUSTEET

Loppusijoituksesta ei saa millään tarkasteluajanjaksolla aiheutua sellaisia terveydellisiä tai ympäristöllisiä vaikutuksia, jotka ylittäisivät loppusijoituksen toteutusajankohtana hyväksyttävänä pidettävän enimmäistason. Säteily-suojelun tavoitteena on huolehtia kaikissa käyttötilanteissa siitä, että noudatetaan oikeutus-, yksilönsuoja- ja ALARA-periaatetta. Tarpeetonta säteilyaltistusta vältetään, yksilöannosrajoja ei ylitetä ja kaikki säteilyannokset pidetään niin pieninä kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitos on suunniteltu siten, että todennäköisenä pidettävien kehityskulkujen seurauksena aiheutuvat säteilyvaikutukset eivät ylitä edellä esitettyjä enimmäisarvoja.

### 5.2 RADIOAKTIIVISTEN AINEIDEN VAPAUTUMISEN RAJOITTAMINEN

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttötoimet sekä sen rakenteet ja järjestelmät on suunniteltu siten, että radioaktiivisten aineiden vapautuminen laitostiloihin ja ympäristöön estyy tai sitä rajoitetaan kaikin käytännöllisin keinoin. Säteilymittauksilla saadaan ajantasainen tieto huonetilojen säteilytilanteesta. Laitoksella on järjestelmät, joilla otetaan talteen käsittelytiloihin vapautuneet radioaktiiviset aineet, puhdistetaan pinnat niille levinneistä radioaktiivisista aineista sekä käsitellään ja pakataan kertyneet radioaktiiviset jätteet asianmukaisesti.

Sellaisissa laitoksen tiloissa, joiden ilmatilaan voi joutua merkittäviä määriä radioaktiivisia aineita, on ilmastointi- ja suodatusjärjestelmät, joiden tehtävä on:

- vähentää radioaktiivisten aineiden pitoisuuksia näissä tiloissa,
- estää radioaktiivisten aineiden leviäminen muihin laitostiloihin,
- estää radioaktiivisten aineiden pääsy ympäristöön.

Nämä ilmastointi- ja suodatusjärjestelmät toimivat suunnitellulla tehollaan myös odotetavissa olevan käyttöhäiriön tai oletetun onnettomuuden tilanteissa.

Kontaminoituneisiin tiloihin kulkua rajoitetaan ja radioaktiivisten aineiden leviämistä estetään erilaisin suojavarustein ja kenkäräjoin. Valvonta-alueiden huoneet on luokiteltu ulkoisen annosnopeuden, kontaminaation ja ilmakontaminaation perusteella. Näiden luokitusten avulla kulkua tiloihin rajoitetaan ja sen näin estetään radioaktiivisten aineiden leviäminen laitostiloissa. Laitostilojen pintoja mitataan säännöllisesti, jotta radioaktiiviset aineet eivät pääse leviämään laitoksella. Valvonta-alueelta poistuessa työntekijöiden vaatteet ja kaikki varusteet, kuten työkalut mitataan ja tarvittaessa puhdistetaan, jotta voidaan varmistua, että radioaktiivisia aineita ei kulkeudu ulos laitostiloista.

Kapselointilaitoksen valvonta-alueen poistoilman aktiivisuutta mitataan jatkuvasti. Jos ilmassa havaitaan aktiivisuutta, poistoilman suodatus kytketään päälle ja säteilyvuodon lähde selvitetään. Tarvittaessa säteilymittausten perusteella poistoilmastointi pysäytetään ja säteilyvuodon lähde selvitetään. Tiloissa, joissa käsitellään polttoaine-elementtejä, poistoilmasta suodattetaan jatkuvasti pois radioaktiiviset aineet. Loppusijoituslaitoksen kapselivaraston alueen poistoilma poistuu kapselikuilun ja kapselointilaitoksen valvonta-alueen ilmastoinnin kautta.

Kapselointilaitoksessa poistovesi varmistetaan säteilymittauksin puhtaaksi, ennen sen laskemista ulos laitoksesta. Jos aktiivisuutta havaitaan, pysäytetään veden virtaus putkissa ja selvitetään mistä aktiivisuus on päässyt poistoveteen. Loppusijoitustilan vuotovesiä ei ole tarvetta erottaa valvomattoman alueen

vuotovesistä, koska vuotovesissä ei suurella varmuudella ole kontaminaatiota

### 5.3 TYÖNTEKIJÖIDEN SÄTEILY- ALTISTUKSEN RAJOITTAMINEN

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen säännöllisessä käytössä olevat työtilat ja kulkuväylät on sijoitettu siten, että ulkoisen säteilyn annosnopeus ja sisäisen säteilyaltistuksen mahdollisuus on mahdollisimman pieni. Radioaktiivisia aineita sisältävät rakenteet, järjestelmät ja laitteet sijoitetaan omiin huonetiloihinsa tai suojataan tehokkaasti. Näitä rakenteita avattaessa käytetään tarvittaessa lisävarusteita radioaktiivisten aineiden leviämisen ja sisäisen säteilyannoksen estämiseksi. Suoralta säteilyltä suojautumista varten tehtävät fyysiset säteilysuojaukset suunnitellaan riittävin turvallisuusmarginaalein. Lisäksi toiminnot, joissa säteilyn annosnopeus on huomattava, ovat kauko-ohjattuja.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen tilat on luokiteltu arvioitujen säteilyolosuhteiden perusteella. Säteilysuojelun kannalta valvontaa vaativiin tiloihin kulkua rajoitetaan ja niitä valvotaan tarkoituksenmukaisella tavalla. Maanalaisten tilojen valvonta-alueiden järjestelyissä otetaan huomioon näiden tilojen ja niissä tehtävien töiden erityispiirteet. Laitteiden käyttöä, tarkastuksia ja huoltoa varten suunnitellaan sellaiset edellytykset ja olosuhteet, että säteilyn alaisena tehtävien työvaiheiden määrät jäävät vähäisiksi ja kestoltaan niin lyhyiksi, kuin on käytännöllisesti mahdollista.

Säteilyvalvonnassa käytetään hälyttäviä henkilökohtaisia mittalaitteita, dosimetrejä, ettei kukaan altistu merkittäville säteilyannoksille kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttötilanteissa. Dosimetrien avulla seurataan henkilökohtaisia ja työkohtaisia säteilyannoksia, joiden perusteella parannetaan säteilyvalvonnan tehokuutta. Eri-tyisen säteileville kohteille pääsy estetään ilman säteilyvalvonnan hyväksyntää ja säteilevät kohteet merkitään säteilyvaaramerkinnöin.

### 5.4 SÄTEILYVALVONTA

Säteilyvalvonnan tarkoitus on ehkäistä ihmisiä, eläimiä ja ympäristöä saamasta merkittäviä säteilyannoksia valvomalla säteily- ja aktiivi-

suustasojä. Säteilyvalvontaa suoritetaan kapselointi- ja loppusijoituslaitoksessa kaikkien valvonta-alueen töiden aikana.

Loppusijoituslaitoksessa suurin osa säteilyannoksista aiheutuu loppusijoituskapselien suorasta säteilystä. Luolatiloihissa on myös radonia, jonka pitoisuudet pidetään alhaisina ilmanvaihdon avulla. Kapselointilaitoksessa pääasiallisesti aktiivisuutta voi vapautua kuljetussäiliön purkamisen, polttoaine-elementtien kapselointiprosessin aikana sekä huolto- ja korjaustöissä, jotka kohdistuvat radioaktiivisia aineita sisältäviin järjestelmiin. Kaikki säteilyalaiset työt kapselointi- ja loppusijoituslaitoksessa suunnitellaan etukäteen siten, että työn suorituksesta koituu mahdollisimman vähän säteilyannosta työn suorittajille.

Säteilyannoksia kapselointilaitoksessa voidaan saada loppusijoituskapselin, polttoaine-elementtien ja muiden radioaktiivisia aineita sisältävien järjestelmien suorasta säteilystä. Loppusijoituslaitoksessa ainoa suoran säteilyn lähde on loppusijoituskapseli. Loppusijoituskapselin siirtoreitti muodostaa alueen, jossa ihmisten tarpeeton oleskelu ja kulku estetään. Alueella työskentelevien henkilöiden kulku rekisteröidään ja saadut säteilyannokset mitataan luotettavasti. Käytännössä tällainen alue erotetaan omaksi suljetuksi alueeksi, valvonta-alueeksi, johon kuljetaan valvontapisteen kautta. Tarkistuspisteessä rekisteröidään henkilöstön ja vierailijoiden saamat säteilyannokset.

### 5.5 KÄYTTÖHÄIRIÖIDEN JA ONNETTOMUUKSIEN EHKÄISEMINEN JA SEURAUSTEN HALLINTA

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen toiminnassa on varauduttu käyttöhäiriöihin ja onnettomuuksiin ja erityisesti niiden ennalta ehkäisemiseen. Odotettavissa olevia käyttöhäiriöitä ja oletettuja onnettomuuksia koskevien turvallisuusmääräysten täyttyminen osoitetaan analyysin käyttöluvahakemuksen yhteydessä.

Käytetyn ydinpolttoaineen käsittelyssä ja varastoinnissa on varmistettava polttoaineen riittävä jäähdytys, estettävä polttoaineen vaurioituminen ja itseään ylläpitävän fissioiden ketjureaktion syntyminen. Loppusijoitettava käy-

tetty ydinpolttoaine on jo jäähtynyt kymmeniä vuosia ja lämmöntuotto on vähentynyt noin tuhannesosaan. Kapselointilaitoksella kehittyvä jälkilämpö siirtyy käytetystä ydinpolttoaineesta sitä ympäröiviin käsittelytiloihin, joista lämpö poistuu sekä passiivisesti johtumalla että aktiivisesti poistumista tehostamalla ilmastointijärjestelmien avulla. Loppusijoitetusta kapselista jälkilämpö siirtyy kallioperään.

Radioaktiivisten aineiden hallintaan kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella sisältyvät polttoaineen suojakuorien eheydestä huolehtiminen, radioaktiivisten päästöjen leviämisen estäminen ja rajoittaminen sekä väestön ja henkilöstön säteilyaltistuksen rajoittaminen. Lisäksi aktiivisuus- ja annosnopeusmittauksilla valvotaan laitostiloja sekä mahdollisia päästöjä ympäristöön. Radioaktiivisten aineiden hallintaan kuuluu myös dekontaminoinnista kertyvien radioaktiivisten aineiden, radioaktiivisten viemäriesien sekä kiinteiden matala- ja keskiaktiivisten jätteiden huolellinen käsittely.

Reaktiivisuuden hallinta on huomioitu kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ydinpolttoainetta sisältävien järjestelmien sekä käsittely- ja siirtojärjestelmien suunnittelussa ensisijaisesti rakenteellisilla ratkaisulla. Polttoainetelineiden materiaalit ja geometria on valittu siten, että kriittistä konfiguraatiota ei pääse syntymään. Lisäksi kapselointilaitoksella estetään veden pääsy polttoaine-elementtien väliseen tilaan rakenteellisesti ja rajoittamalla käsittelykammioon tulvimaan pääsevän veden määrää. Loppusijoitetut kapselit säilyttävät alikriittisyytensä myös hyvin pitkällä aikavälillä odotettavissa olevissa tilanteissa.

Säteilyturvakeskukselle (STUK) toimitetaan hyväksyttäväksi onnettomuusanalyysit ja niiden ehkäisemiseen liittyvät ohjeistukset ja suunnitelmat. STUK arvioi nämä osana turvallisuusarviotaan, ennen kuin käyttöä voidaan myöntää.

## 5.6 PALO- JA RÄJÄHDYSVAARAN EHKÄISEMINEN

Kapselointi- ja loppusijoituslaitos on suunniteltu siten, että tulipalon todennäköisyys on pieni ja tulipalon seuraukset turvallisuuden kannalta vähäiset. Myös räjähdykset, jotka voisivat vaarantaa polttoaine-elementtien, kapselien tai

radioaktiivisia aineita sisältävien laitteiden tai tilojen eheyden, estetään luotettavasti.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen paloturvallisuusjärjestelyiden tavoitteena on:

- estää palojen syttyminen,
- havaita ja sammuttaa palot nopeasti,
- estää palojen leviäminen tiloihin, joissa ne voisivat vaarantaa käytetyn ydinpolttoaineen käsittelyn tai varastoinnin turvallisuuden,
- räjähdysvaaran minimointi.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksessa tulipalon ja räjähdysten ehkäiseminen perustuu ensisijaisesti tilasuunnitteluun ja palotekniiseen osastointiin. Käytettävät materiaalit ovat pääsääntöisesti palamattomia ja kuumuutta kestäviä. Turvallisuuden kannalta tärkeisiin palotekniisiin osastoihin tai niiden välittömään läheisyyteen ei sijoiteta tarpeettomasti materiaaleja tai laitteita, jotka lisäävät palokuormaa tai aiheuttavat syttymis- ja räjähdysvaaraa. Tilat, joissa on huomattavia palokuormakeskittymiä, erotellaan omiksi paloteknisiksi osastoikseen.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitos on varustettu automaattisella paloilmoitinjärjestelmällä, joka suunnitellaan siten, että palo voidaan paikantaa riittävällä tarkkuudella. Lisäksi laitoksen tilat varustetaan tarvittaessa kohteeseen soveltuvalla sammutusjärjestelmällä ja operatiiviseen palontorjuntaan soveltuvalla alkusammutuskalustolla. Paloilmoitin- ja sammutusjärjestelmät toimivat tehokkaasti myös odotettavissa olevan käyttöhäiriön tai oletetun onnettomuuden sattuessa.

Kalliorakentamisessa käytettävät räjähdysaineet varastoidaan maanpinnalla omissa suojatuissa varastoissaan. Kerralla ei kuljeteta sallittua määrää enempää räjähteitä ja räjähdysainevarastot sijoitetaan siten, että mahdollinen räjähdys ei vaaranna loppusijoituslaitoksen turvallisuutta. Räjähdysaineet kuljetetaan maanpinnalta loppusijoitustiloihin eri reittiä tai eri aikaan kuin radioaktiiviset aineet. Kalliorakentamisessa käytetään myös räjähdysainetta, jonka yksinään turvalliset ainesosat sekoitetaan räjähtäväksi yhdistelmäksi vasta räjäytyspaikalla. Louhintatyössä räjäytyskohteen ja loppusijoituskapseleita sisältävien sijoitustunnelien väliin jätetään aina riittävä suojaetäisyys.



## 5.7 ULKOISTEN TAPAHTUMIEN HUOMIOON OTTAMINEN SUUNNITTELUSSA

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suunnittelussa on huomioitu mahdollisina pidettävistä luonnonilmiöistä ja muista laitoksen ulkopuolisista tapahtumista aiheutuvat vaikutukset. Varautumisessa ulkoisiin uhkiin on keskeistä varmistaa, että mikään kuviteltavissa oleva äkillinen ilmiö ei voi johtaa kapselointilaitoksen turvallisuuden kannalta tärkeiden rakenteiden lujuuden menetykseen. Tässä suhteessa keskeisimmiksi ilmiöiksi nousevat kovat myrskytuulet, maanjäristykset, lentokoneen törmäys sekä mahdolliset räjähdykset laitosalueella. Myös rankkojen vesi- ja lumisateiden sekä salamoinnin vaikutuksilta suojaudutaan riittävässä määrin. Lisäksi varmistetaan, että ääriämpötilat eivät aiheuta merkittävää vaaraa laitoksen turvallisuudelle. Varautumisella huolehditaan, että erilaisista ulkoisista uhista ei seuraa merkittävää uhkaa ydinturvallisuudelle tai radioaktiivisuuden pidättämiselle, vaan mahdolliset vaikutukset kohdistuvat korkeintaan laitoksen käytettävyyteen.

Syvällä maan alla sijaitseva loppusijoituslaitos on kapselointilaitosta paremmin turvassa erilaisen ulkoisten uhkien suhteen. Onkin erittäin epätodennäköistä, että mikään ulkoinen uhka voisi suoraan vaikuttaa loppusijoituslaitoksen ydinturvallisuuteen, mutta välillisiä vaikutuksia erilaisilla uhilla voi kuitenkin olla. Monet loppusijoituslaitoksen käytön kannalta tärkeät tukitoimet kuten sähköjakelu, ilmastointi, jäähdytys, lämmitys ja vuotoveden pumppaus perustuvat ainakin osittain laitteisiin ja rakenteisiin, jotka sijaitsevat laitosalueella olevissa maanpäällisissä rakennuksissa. Edellä mainitut tukitoimet eivät kuitenkaan ole välttämättömiä ydinturvallisuuden kannalta, sillä vaikka kaikkien laitteiden toiminta menetettäisiin, polttoaineen eheys ei vaarantuisi. Tämä johtuu laitoksen hyvistä passiivista turvallisuusominaisuuksista. Tukitoimien menetyksen myötä laitoksen normaali käyttö voisi keskeytyä ja seurauksena olla loppusijoituslaitoksen jonkinasteinen tulvittuminen veden poistopumppauksen pysähtyttyä. Kokonaisuutena voidaan siis todeta, että maanpäällisten tilojen riittävä suojaus on tärkeää henkilöturvallisuuden, laitosten käytettävyyden sekä taloudellisten vahinkojen estämisen kannalta.



**Kuva 4.** Kapselointilaitos on rakennettu kestäämään erilaisia ulkoisia tapahtumia. Laitosten toteutuksessa on otettu huomioon työ-, palo-, säteily- ja ydinturvallisuus.



## 6 KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN KULJETUSTEN VAIKUTUSTEN HALLINTA

Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetus kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen toiminnan aikana on erikseen luvanvaraista toimintaa ja Suomessa tarvittavat luvat ydinaineiden ja ydinjätteiden kuljetuksiin myöntää STUK. Kuljetukseen saa ryhtyä vasta sen jälkeen, kun STUK on todennut, että kuljetuskalusto ja kuljetusjärjestelyt sekä turva- ja valmius- järjestelyt täyttävät niille asetetut vaatimukset ja että vahingonkorvausvastuu ydinvahingon varalta on järjestetty. (YEA 56 §, 115 §) Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetukset Loviisasta on suunniteltu alkavan 2040-luvulla. Olkiluodon ydinvoimalaitoksen välivarastolta käytetyn ydinpolttoaineen kuljetukset hoidetaan laitosalueen sisäisinä siirtoina.

Kuljetuspakkaukselle, pakkauksen käsittelylle, onnettomuustilanteisiin varautumiselle ja dokumentaatiolle on asetettu korkeat vaatimukset. Kuljetuspakkaus ei saa menettää säteilysuojelumuinaisuuksiaan pahimmassakaan ajateltavissa olevassa onnettomuudessa. Kuljetuspakkauksessa olevan käytetyn ydinpolttoaineen tulee kuljetuksen aikana pysyä kaikissa tilanteissa alikriittisenä. Kuljetuspakkaukselle asetetaan tavanomaista tiukemmat vaatimukset poikkeustilanteiden varalta.

Radioaktiivisten aineiden kuljetuksia koskevien säännösten tarkoituksena on taata kuljetusten turvallisuus siten, että kulloinkin käytettävä kuljetuspakkaus suojaa riittävästi ympäristöä ja kuljetettavia aineita niin, ettei ympäristölle aiheudu sallittua säteilyannosta suurempaa rasitusta. Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetuspakkaukseen sovelletaan niin sanotulle B(U)-tyypin säiliölle asetettuja säännöksiä, jotka perustuvat kansainvälisen atomienergiajärjestön IAEA:n (International Atomic Energy Agency) ohjeisiin radioaktiivisen materiaalin turvallisesta kuljetamisesta (*IAEA 2018 edition "Regulations for the safe transport of radioactive material", SSR-6*). Kuljetuksessa käytettävän pakkaustyyppin tulee kestää kokeet, joilla varmistetaan säiliötyypin soveltuvuus käytetyn ydinpolttoaineen kuljetukseen. Loviisan käytetyn polttoaineen kuljetuksille tullaan hankkimaan vaatimusten mukai-

set kuljetussäiliö tai -säiliöt. Olkiluodon sisäisiin siirtoihin käytetään OL1- ja OL2-polttoaineen osalta TVO:lla nykyisin käytössä olevaa säiliötä, joka on lisensoitu B(U)-tyypin säiliöksi. OL3-polttoaineen siirtosäiliö hankitaan myöhemmin OL3-polttoaineen loppusijoituksen tullessa ajankohtaiseksi.

Kuljetusten osalta edellytetään, että säteilyannosnopeus yhden metrin etäisyydellä pakkauksen ulkopinnasta ei saa ylittää arvoa 0,1 mSv/tunti eikä pinnalla arvoa 2 mSv/tunti. Lisäksi pakkauksen ja sen sisällä kuljetettavan ydinpolttoaineen tulee kestää kuljetuksessa normaalisti syntyvän tärinän aiheuttama materiaaleja väsyttävä kuormitus. Kuljetusympäristön lämpötilalla on myös merkitystä materiaalien vaurioitumistodennäköisyyden kannalta. Kuljetuksen aikana ympäristön lämpötila ei saa olla liian alhainen. Kuljetuksissa pakkauksesta sallitaan vain hyvin pieni vuotovirtaus ympäristöön. IAEA:n vaatimusten mukaisesti kuljetuspakkauksen tulee kestää normaalikuljetuksessa:

- vesisuihku tunnin ajan,
- pudotus 0,3–1,2 metrin korkeudelta peräänantamattomalle alustalle,
- pakkauksen painoon nähden viisinkertainen levykuorma,
- tunkeumatesti, jossa 6 kilogramman terästanko pudotetaan yhden metrin korkeudelta pakkauksen sivuseinämää kohti.

Pakkauksen pintakontaminaation (pakkauksen pinnalla mahdollisesti olevat radioaktiiviset aineet) aktiivisuus saa olla enintään 4 Bq/cm<sup>2</sup> ja alfa-hajoaville radionuklideille enintään 0,4 Bq/cm<sup>2</sup>. Poikkeustilanteiden varalta käytetyn ydinpolttoaineen kuljetuspakkauksen tulee täyttää huomattavasti tiukemmat vaatimukset eli sen tulee kestää muun muassa:

- pudotus peräänantamattomalle alustalle seurauksiltaan epäedullisimmalla kohtausmiskulmalla yhdeksän metrin korkeudelta,
- pudotus halkaisijaltaan 0,15 metrin terästangon päälle yhden metrin korkeudelta,

- altistuminen vähintään 30 minuutin ajan tulipalolle, jossa liekkiä lämpötila on vähintään 800 °C,
- upotus 200 metrin syvyyteen vähintään tunnin ajaksi.

Poikkeustilanteisiin liittyvät testit pyrkivät kattamaan mahdollisten onnettomuustilanteiden synnyttämät mekaaniset ja termiset kuormitukset, kuten törmäysten aiheuttamat pakkaukseen kohdistuvat iskut ja palavia nesteitä kuljettavan ajoneuvon tulipalon. Lisäksi on otettava huomioon, että todellisuudessa kohde ei ole peräänantamaton. Yhdeksän metrin pudotuskokeessa kuljetuspakkaus saavuttaa iskeytymishetkellä lähes nopeuden 50 km/h, mikä käytännön onnettomuustilanteissakin on mahdollinen törmäysnopeus toiseen ajoneuvoon tai esteeseen. Kuljetuspakkauksessa olevan käytetyn ydinpolttoaineen tulee kuljetuksen aikana pysyä kaikissa tilanteissa alikriittisenä.

Maantiekuljetukset ovat valvottuja, jolloin kuljetuksen mukana seuraa tarvittava saattuehenkilöstö: varoitusajoneuvojen kuljettajat, poliisiajoneuvojen kuljettajat sekä tarvittavat muut henkilöt, kuten säteilyvalvoja. Suurempien taajamien läpiajon ajaksi tarvitaan liikenteenohjaukseen useita poliisipartioita. Käytettyä ydinpolttoainetta kuljetettaessa on saattueen mukana lisäksi turvahenkilö. Kuljetusten nopeusrajoitukset ovat alhaiset ja kuljetuksissa pyritään välttämään suuria taajamia. Vastaavalla tavalla myös muut kuljetusmuodot tapahtuvat valvotusti.

## 7 LOUHINNASTA JA MURSKAUKSESTA AIHEUTUVIEN VAIKUTUSTEN HALLINTA

Louhinnan ja murskauksen aikaisen melun ja muun häiriön kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen lähialueella aiheuttamaa haittaa voidaan lieventää ajoittamalla työvaiheet päiväsaikaan. Louhekasaa käytetään murskauksessa melusuojana. Murskaamo ja louhekasa voidaan sijoittaa niin, ettei melu- ja pölyalueille jää rakennuksia.

Olkiluodon seismisen järjestelmän avulla on mitattu loppusijoituslaitoksen ja kapselointilaitoksen rakennustyömaiden vaikutuksia kallio-perään. Olkiluodon tilaa seurataan jatkuvasti mittalaitteiden kautta ja järjestelmän kautta pystytään seuraamaan reaaliajassa, mitä työmailla on tapahtunut. Loppusijoituslaitoksen työmaan räjäytykset ovat maksimissaan olleet  $M_L=1.4$  magnitudin luokkaa. Vastaavasti kapselointilaitoksen louhinnat  $M_L=1.5$  magnitudin luokkaa. Molempien työmaiden aikana yli 99 % räjäytyksistä jää alle  $M_L=1.0$  magnitudin ja 90% jää alle  $M_L=0.5$  magnitudin.

Merkittävimpiä havaintoja ovat olleet louhintaperäiset mikromaanjäritykset vuosina 2017 ja 2018 loppusijoituslaitoksella. Mikromaanjäritykset ovat olleet magnitudiltaan suurimmillaan  $M_L=-0.5$ . Suhteessa louhinnan räjäytyksiin mikromaanjäritykset vapauttavat n. 1 000 kertaa vähemmän energiaa kuin louhinnan räjäytykset. Tulokset raportoidaan säännöllisesti ja tiedot toimitetaan Säteilyturvakeskukselle.

hykkeitä läpäistään mahdollisimman vähän ja että tarvittavat tutkimukset haluttujen kallioalueiden karakterisointia varten voidaan toteuttaa.

### 7.1 MAANPINTAYHTEYKSIEN RAKENTAMINEN

Ajotunnelin suuaukon ja kuilujen yläpään sijainti on valittu niin, että ne ovat Korvensuon vesialtaan pinnan yläpuolella ja myös riittävästi merenpinnan yläpuolella, jotta ulkoisen häiriön seurauksena vesi ei tulvi ajotunneliin tai kuiluihin. Sisäänkäyntiaukon sijoittelussa on huomioitu myös olemassa olevat sähkövoimalinjat, muuntaja-asemat, vesialtaat, putkistot, tiet ja potentiaalisen loppusijoitusalueen sijainti kalliooperässä, jotta suuaukko sijaitsee edullisesti myös niiden suhteen. Kalliooperässä ajotunneli on sijoitettu siten, että kallion rikkonaisuusvyö-

## 8 KAPSELOINTILAITOKSEN VAIKUTUSTEN HALLINTA

Kapselointilaitos on suunniteltu turvallisuusmääräyksiä noudattaen siten, että radioaktiivisten aineiden pääsy ympäristöön häiriö- ja onnettomuustilanteissakin jää merkityksettömän pieneksi. Kaikki kapselointilaitoksen työvaiheet tehdään turvallisesti ilman merkittäviä päästöjä ja henkilöstön säteilyannoksia.

Laitoksessa noudatetaan ydinmateriaalien valvonalle asetettuja kansallisia ja kansainvälisiä vaatimuksia. Valvonta tapahtuu ydinmateriaalin kirjanpidolla sekä visuaalisilla että teknisillä valvontamenetelmillä ydinpolttoaineen kapselointiprosessin kaikissa vaiheissa.

### 8.1 KAPSELIN SIIRROT KAPSELOINTILAITOKSELTA MAANALASEEN LOPPU-SIJOITUSTILAAN

Kapselin siirtäminen maanpinnalta loppusijoitussyvyydelle tapahtuu kapselihissillä. Kuljetusturvallisuus on taattu suunnittelulla ja yksinkertaisin ja luotettavin rakenneratkaisuin korkealle tasolle. Lisäksi luotettavuus, käytettävyys ja turvallisuus varmistetaan ydinlaitokselle vaadittavin kunnossapito- ja määräaikaiskoestuksin sekä varautumalla kuviteltavissa oleviin onnettomuusskenaarioihin.

### 8.2 MAANALAISET LOPPU-SIJOITUSTILAT JA LOPPU-SIJOITUSTUNNELIEN SUOJAETÄISYYDET

Loppusijoitustiloja rakennettaessa ja suljettaessa pyritään säilyttämään kallion alkuperäiset ominaisuudet ja rajoittamaan muutokset mahdollisimman pienelle alueelle tunnelien ja kuilujen ympäristössä. Esimerkiksi kallio louhitaan selaisilla menetelmillä, jolla louhinnan aiheuttama häiriövyöhyke jää mahdollisimman pieneksi. Häiriövyöhykkeen laajuuden selvittämiseksi on Posivalla kehitetty menetelmä, jonka avulla voidaan seurata louhinnan toteutuvaa laatua. Vesivuotoja rajoitetaan välttämällä vettä johtavia rakenteita ja tiivistämällä vuotokohtia esimerkiksi injektoinnilla.

Loppusijoituksen käyttövaiheen aikana louhittaessa keskus- ja loppusijoitustunneleita louhintakohteen ja loppusijoitettavien tunnelien välille jätetään riittävästi suojaetäisyyttä työteknisistä ja yleisistä turvallisuussyistä johtuen. Tällöin louhittavasta loppusijoitustunnelista purkautuva räjäytyksen aiheuttama paineaalto ei vaurioita esimerkiksi keskustunnelissa olevaa valvonta-alueen ja valvomattoman alueen välistä seinää.

### 8.3 LOPPUSIJOITUSPAIKAN SOVELTUVUUDEN ARVIOINTIPERUSTEET

Suomessa vaatimukset loppusijoituspaikan ominaisuuksista on kirjattu Säteilyturvakeskuksen määräykseen (STUK Y/4/2018). Loppusijoituspaikalla tarkoitetaan tässä tapauksessa kalliotilavuutta, joka pitää sisällään maanalaisen loppusijoituslaitoksen, eivätkä vaatimukset sellaisenaan kosketa maanpäällisiä loppusijoitustoimintaan liittyviä elementtejä, kuten esimerkiksi kapselointilaitosta. Turvallisuusmääräysten lähtökohtana on, että loppusijoituspaikan kallioperän ominaisuuksien on kokonaisuutena oltava suotuisat loppusijoitettavien aineiden eristämiseksi elinympäristöstä. Loppusijoituspaikaksi ei tule valita paikkaa, jossa on jotakin pitkäaikaisturvallisuuden kannalta ilmeisen epäedullista.

Sijoituspaikan soveltumattomuutta ilmentäviä tekijöitä voivat olla muun muassa hyödyntämiskelpoisten luonnonvarojen läheisyys, epätavallisen suuret kalliojännitykset, poikkeuksellinen seisminen tai tektoninen aktiivisuus sekä tärkeiden pohjavesiominaisuuksien poikkeukselliset arvot. Tällaisia ominaisuuksia ei ole havaittu loppusijoituslaitoksen alueeksi varatulla alueella.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilan, käsittäen loppusijoitustunnelit ja -reiät, asementointi perustuu paikka- ja turvallisuustutkimusten avulla tehtyyn kallioluokitukseen ja sen soveltuvuus-kriteereihin. Soveltuvuus-kriteereissä otetaan huomioon muun muassa



kallion rakoilu, vedenjohtavuus ja pohjaveden koostumus. Kriteereitä koskevaa tutkimusta tullaan tekemään jatkuvasti loppusijoitustilojen laajentuessa käytön aikana. Kapselien jälkilämpötehon vaikutusta voidaan hallita asemoinnin keinoin huomioimalla kapselien lähialueen lämmönsiirtokyky loppusijoitustilassa ja sijoittamalla kapselit ja loppusijoitustunnelit riittävän etäälle toisistaan.

Loppusijoitustilojen eri osien rakentaminen toteutetaan vaiheittain siten, että louhittavaksi suunnitellun kalliolohkon soveltuvuutta koskevat tutkimukset ja kallion luokittelu tehdään ennen kyseisen vaiheen rakentamisen aloittamista. Loppusijoitustiloja ympäröivän kallion rakenteet ja ominaisuudet, joilla voi olla merkitystä pohjaveden virtauksen, kallio liikuntojen tai muiden pitkäaikaisturvallisuuden kannalta tärkeiden seikkojen kannalta, määritetään ja luokitellaan. Maanalaisten tilojen sijoittelua varaudutaan muuttamaan, mikäli suunniteltuja tiloja ympäröivän kallion laatu osoittautuu merkittävästi suunnitteluperusteita epäedullisemmaksi.

Kunkin käytettyä ydinpolttoainetta sisältävän loppusijoituskapselin siirto loppusijoitusreikään voidaan tehdä, kun STUK on todennut, että kyseistä paikkaa ympäröivän kallion ominaisuudet ovat hyväksyttävät.

## 8.4 PITKÄAIKAISTURVALLISUUS

Vakaaseen peruskallioon 400–450 metrin syvyyteen sijoitetut, bentoniittisavella ympäröidyt, mekaanisesti vahvat ja korroosiota kestävät loppusijoituskapselit tulevat mitä todennäköisimmin pitämään kaikki radioaktiiviset aineet sisällään vähintään usean miljoonan vuoden ajan. Yksittäisten kapselien rikkoutumisen mahdollisuutta tänä aikana ei kuitenkaan voida kokonaan sulkea pois. Tällaisissa tapauksissa radioaktiiviset aineet voisivat hiljalleen vapautua ympäristöön. Kapselivuotoihin voisi johtaa alun perin viallisen kapselin joutuminen loppusijoitustiloihin, muutaman epäedullisiin paikkoihin sijoitetun kapselin rikkoutuminen voimakkaissa maanjäristyksissä, joita saattaa tapahtua jääkauden aikaisen jään vetäytymisvaiheissa, sekä jään sulamisvesien aiheuttama kapselia ympäröivän bentoniittisaven eroosio ja sitä seuraava kapselin syöpyminen.

Seuraavien satojen tuhansien vuosien aikana kapselirikkoja odotetaan kuitenkin tapahtuvan huonoimmassakin tapauksessa vain muutamia. Niistä aiheutuvilla radioaktiivisten isotooppien päästöillä olisi vain hyvin pieni vaikutus ihmisiin ja muuhun elolliseen ympäristöön. Turvallisuusarvioissa on otettu huomioon myös radioaktiivisten aineiden vapautumiseen ja kulkeutumiseen vaikuttavat epävarmuudet. Teknisten ratkaisujen toteutuskelpoisuus ja riittävä laatu sekä turvallisuus osoitetaan kokeellisesti.

Vaatimusten toteutumista tarkastellaan lupahkemusta varten laaditussa turvallisuusperustelussa. Sen mukaan todennäköisinä pidettävien kehityskulkujen seurauksena aiheutuvat vuotuiset säteilyannokset eniten altistuvillekin henkilöille jäävät seuraavien kymmenen tuhannen vuoden aikana selvästi alle valtioneuvoston asetuksessa annetun rajan ja muiden ihmisten saamat annokset jäävät merkityksettömän pieniksi. Tämän jälkeen todennäköisinä pidettävistä kehityskuluista johtuvien radioaktiivisten aineiden päästöjen arvioidaan enimmilläänkin jäävän alle tuhannesosaan STUK:n asettamista enimmäisarvoista. Tämän lisäksi tyypillisten säteilyannosten perusteella arvioituna loppusijoituspaikan nykyisenkaltaisen eliöstön säteilyaltistus jää selvästi kansainvälisissä hankkeissa ehdotettua viitearvoa pienemmäksi. Aiheutuvat säteilyannokset ja radioaktiivisten aineiden vapautumisnopeudet on arvioitu ottaen huomioon mahdolliset satunnaiset poikkeamat loppusijoitusjärjestelmältä vaadituista toimintakykyvaatimuksista samoin kuin arvioinnissa käytettyjen laskentamallien ja lähtötietojen epävarmuudet.

Edellä esitetyt johtopäätökset perustellaan yksityiskohtaisesti STUK:lle toimitettavassa turvallisuusperusteluaineistossa. Pitkäaikaisturvallisuuden arvioinnin tulokset on esitetty tämän hakemuksen liitteessä 5.

## 8.5 LOPPUSIJOTUSTUNNELIEN SULKEMINEN

Loppusijoitustunnelit ja keskustunnelit täytetään loppusijoituksen (kapselin ja puskurimateriaalin asennuksen) jälkeen ja täyttööä tehdään vaiheittain koko laitoksen toiminnan ajan. Lisäksi loppusijoitustilan tekniset tilat ja maanpintayhteydet, kuten ajotunneli ja kuilut, täyte-

tään loppusijoitustoiminnan päätteeksi.

Täyttämisen ja sulkurakenteiden pääasiallinen tarkoitus on palauttaa loppusijoitusolosuhteet mahdollisimman lähelle luonnontilaa, esimerkiksi estämällä tunnelien ja kuilujen muuttuminen pohjaveden päävirtausreiteiksi, sekä estää luvaton pääsy loppusijoitustiloihin.

## 8.6 VAIKUTUKSET POHJAVESIIN

Loppusijoitustiloja tiivistetään sementti- tai sili-cainjektioinneilla, joiden avulla loppusijoitustilojen vaikutukset pohjaveden pinnankorkeuteen jäävät vähäisiksi. Myös painekorkeuden muutoksia rajoitetaan injektioimalla mahdollisimman tehokkaasti kaikki suuret vuotokohtat. Paikallisia pohjaveden painekorkeuden suuria muutoksia ei saatujen kokemusten perusteella voida kokonaan välttää, koska pieneksi-kin jäävä vuoto on aiheuttanut suuria alenemia etenkin ONKALOn lähellä, mutta paikoin myös useiden satojen metrien päässä. Tämä johtuu siitä, että vuotokohtaan liittyvä rakenne on rajallinen, eikä sillä ole yhteyksiä korvaavaa vettä tuottaviin kallio-osuuksiin. Vuotovirtausten kokonaismäärää rajoitetaan siten, että tunneleita rakennetaan ja niitä suljetaan sitä mukaa kun niihin on sijoitettu loppusijoituskapseleita; käyttövaiheen aikana kerrallaan avoimena olevia kalliotilavuuksia minimoidaan.

## 9 LAITOKSEN VALVONTA

### 9.1 SÄTEILYVALVONTA KAPSELOINTI- JA LOPPU- SIJOITUSLAITOKSESSA

Kapselointi- ja loppusijoituslaitos jaetaan käyttövaiheessa kolmeen toisistaan erotettuun alueeseen, valvonta-alueeseen, tarkkailualueeseen ja valvomattomaan alueeseen. Valvonta-alueelle pääsyä valvotaan säteilysuojellisuudesta.

Kaikki käytetyn polttoaineen ja kapseloiden käsittely tapahtuu aina valvonta-alueella. Bentonittilohkojen asentaminen loppusijoitusreikään tapahtuu myös valvonta-alueella. Valvomattomalla alueella tehdään kapselointiprosessin valvonta, maanalaisten tilojen louhinta- ja rakennustyöt sekä tunnelien täyttötyöt. Tarkkailualueella sijaitsevat mm. pukuhuoneet ja sanitititilat.

Valvonta-alueen ilmastointi on erillinen valvomattoman alueen ilmastoinnista, jotta loppusijoituskapseloiden käsittely- ja asennusolosuhteet säilyisivät puhtaina. Poistoilman aktiivisuutta valvonta-alueella mitataan, vaikka ilmaa ei normaalissa käyttötilanteessa suodateta. Valvonta-alueen ilmastoinnissa suodatus menee päälle, jos säteilymittauksessa havaitaan rajan ylittävä aktiivisuus. Kriittisissä työvaiheissa suodatus voidaan myös ennalta kääntää valmiiksi päälle. Käsittelykammi- on ilmaa suodatetaan suodatetaan jatkuvasti. Radonaltistusta seurataan radonpitoisuuksia tarkkailemalla ja säätämällä ilmanvaihtomääriä kaikissa loppusijoitustiloissa.

### 9.2 KULUNVALVONTA KAPSELOINTI- JA LOPPU- SIJOITUSLAITOKSESSA

Kulunvalvonnan tarkoituksena on olla selvillä siitä, mitä ja missä kapselointi- ja loppusijoituslaitoksessa kullakin hetkellä työskentelee sekä hallita kulkua laitoksen eri laitoksen tiloihin, kuten esimerkiksi valvonta-alueelle tai valvomattomalle alueelle. Kulunvalvonnassa sovelletaan nykyaikaisia tietokonepohjaisia

valvontajärjestelmiä. Asianmukainen kulunvalvonta on yritysturvallisuussyyden lisäksi myös henkilöturvallisuuskysymys, kun kyseessä ovat säteilyvalvottavat ja syvällä kallioperässä olevat tilat.

Valvonta-alueen ja valvomattoman alueen rajan ylitys maan alla on normaaliolosuhteissa rajoitettu kulkujärjestelyillä. Hätätilanteessa, esimerkiksi tulipalotilanteessa, siirtyminen valvonta-alueelta valvomattomalle alueelle tai päinvastoin tarvittaessa vapautetaan.

Louhittavien tunnelien ja kapseloita sisältävien loppusijoitustunnelien väliin jätetään louhintatärintöitä vaimentava riittävä suojaetäisyys. Rakennustarvikkeet, koneet, räjähdysaineet ja louhe kuljetetaan ajotunnelin kautta. Loppusijoituskapselit kuljetetaan kapselikuilun tai vaihtoehtoisesti ajotunnelin kautta. Loppusijoitusreikien ja -tunnelien savimateriaalit kuljetetaan ajotunnelin kautta.

### 9.3 KUNNONVALVONTA

Kunnonvalvonnan tarkoituksena on valvoa käyttövaiheen aikana kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ja sen järjestelmien kuntoa. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen kuntoa valvotaan mittauksin, määräaikaistarkastuksin ja tarkastuksin. Loppusijoitustilan kuntoa valvotaan mittaamalla vuotovesimäärää, kallion jännityksiä ja siirtymiä loppusijoitustiloissa. Myös instrumentointijärjestelmän avulla kerätään ja käsitellään tietoa loppusijoitustilan kunnosta sekä valvotaan, että työturvallisuus säilyy hyvänä loppusijoitustilassa.

### 9.4 SÄTEILYTURVAKESKUKSEN SUORITTAMA VALVONTA

Säteilyturvakeskus valvoo ydinjätteen käsittelyn, varastoinnin ja loppusijoituksen turvallisuutta omien rakentamisen aikaisen (RTO) ja käytön aikaisen (KTO) ohjelmien mukaisesti. Käytetyn ydinpoltoaineen asianmukaisen loppusijoituksen varmistamiseksi viranomaiset ovat asettaneet ydinjätteen tuottajille viran-

omaisohjeissa (YVL) määrämuotoisia raportointivelvoitteita rakentamis- ja käyttövaiheessa.

Säteilyturvakeskus tarkastaa ydinjätteiden turvalliseen loppusijoittamiseen tähtäävät tutkimukset ja tekniset suunnitelmat muiden asiantuntijaorganisaatioiden avustamana ja antaa palautteen hankkeen toteuttajalle.

## 9.5 YMPÄRISTÖN SÄTEILY-VALVONTAOHJELMA

Ydinvoimalaitosten ja kapselointi- ja loppusijoituslaitosten radioaktiivisten aineiden päästöt tapahtuvat valvottujen päästöreittien kautta.

Päästöjen kokonaisaktiivisuus ja nuklidikoostumus mitataan. Päästöjen aiheuttamien annosten suoranainen mittaaminen ympäristössä on mahdotonta johtuen niiden pienuudesta verrattuna luonnossa vallitsevaan taustasäteilyyn ja sen vaihteluihin. Päästöjen aiheuttamia radioaktiivisuuspitoisuuksia valvotaan koko Olkiluotoa koskevalla ympäristön säteilyvalvontaohjelmalla, johon liittyen muun muassa määritetään vuosittain noin 400 ympäristönäytteen aktiivisuuspitoisuus.

Olkiluodon voimalaitoksen ympäristön säteilyä ja radioaktiivisuutta valvotaan vähintään viiden vuoden välein päivitettävän säteilyvalvontaohjelman mukaisesti. Vuosien 2008 ja



**Kuva 5.** Olkiluodon voimalaitosaluetta ja sen ympäristöä seurataan tutkimuksilla tarkasti.



2009 päivityksissä lisättiin ohjelmaan uusia näytteenottopisteitä, joiden avulla voidaan havaita Olkiluoto 3 -laitosyksikön myötä kasvavan jäähdytevirtauksen takia mahdollisesti kauemmas merelle ajautuvat päästöt. Säteilyvalvontaohjelma on päivitetty viimeksi vuonna 2018 ohjeen YVL C.7 mukaiseksi. Mittaus- ja näytteenottokohteet ovat ulkoinen säteily, ilma, sadevesi, maaperä, puutarhatuotteet, luonnon kasvit, talousvesi, kaatopaikkavesi, merivesi, ja lähiympäristön asukkaat. Tämän lisäksi STUK toteuttaa rinnalla omaa ympäristön säteilyvalvontaohjelmaansa Olkiluodossa. STUK:n valvontaohjelmaan kuuluvat mm. maito, viljat, kalat, pohjasedimentti, perifyton, pohjaeläimet ja vesikasvit.

Posivan laitosten läheisyydessä on vuosien 2018-2020 aikana suoritettu YVL C.7. edellyttämä ympäristön radioaktiivisuuden perustilaselvitys. Perustilaselvityksessä ympäristönäytteitä kerättiin radioaktiivisuusmäärittäystä varten paikoista, joissa Posivan laitosten mahdolliset ilma- tai vesipäästöt voisivat olla havaittavissa. Näytteitä kerättiin mm. loppusijoitustilojen poistovesiojan varrelta, merestä poistovesiojan purkautumiskohteesta ja louheen läjitysalueen läheisyydestä. Näytteenottokohteita olivat sadevesi, maaperä, luonnon kasvit, ojavesi, pohjavedet, merivesi, kalat, perifyton, laskeutuva kiintoainekas, pohjasedimentti, vesikasvit ja pohjaeläimet. Perustilaselvityksen tulosten mukaan ympäristön radioaktiivisuuspitoisuudet ovat Posivan laitosten läheisyydessä samaa tasoa kuin muuallakin Olkiluodossa.

Posivan laitosten käyttövaiheen aikana Posivalla ja TVO:lla tulee olemaan yhteinen koko konsernia koskeva ympäristön säteilyvalvontaohjelma. TVO:n nykyiseen voimassaolevaan säteilyvalvontaohjelmaan lisätään näytteenotto- ja mittauskohteita, jotka kattavat myös Posivan mahdolliset päästöreitit. Posivan osalta ohjelmassa tullaan huomioimaan mm. mahdolliset vesipäästöt, jotka siirtyisivät ONKALO:n poistovesiojaa pitkin mereen ja ilmapäästöt, jotka leviäisivät kapselointilaitoksen ilmastointipiipun kautta lähiympäristöön. Posiva tulee raporttoimaan ympäristön säteilyvalvontaohjelman tuloksista Säteilyturvakeskukselle erillisen suunnitelman mukaisesti (vähintään vuosittain).

### 9.5.1 SÄTEILYN YMPÄRISTÖ- VAIKUTUSTEN ANALYSOINTI MENETELMÄT

Radioaktiivisten aineiden kulkeutumisen arvioimiseen vesiympäristössä, ilmakehässä ja ravintoketjuissa on käytetty vakiintuneita laskentamalleja, jotka ovat Säteilyturvakeskuksen hyväksymiä. Niiden avulla voidaan ympäristön säteilyannokset arvioida mitattujen ja ennakoitujen päästömäärien avulla. Mallit ottavat huomioon kaikki tärkeät aiheutumisreitit, joiden kautta päästöjen radioaktiiviset aineet voivat kulkeutua ihmiseen. Malleissa tarvittavat ympäristöä ja asukkaiden elintapoja koskevat tiedot on selvitetty ja valittu laitospaikan ympäristöön soveltuviksi. Ilmassa tapahtuvan kulkeutumisen laskemisessa käytetään meteorologisia mittaustietoja, joita tuottavat laitospaikalla olevat säämaston jatkuvatoimiset mittauslaitteet.

Annoslaskentamalleilla ei voida täysin kuvata laitospaikkaa ja sen ympäristöä vastaavia todellisia olosuhteita johtuen ympäristöä ja ihmisten elintapoja kuvaavien muuttujien suuren vaihteluvuuden vuoksi. Tämä korvataan valitsemalla mallien muuttujille sellaisia numeroarvoja, jotka vaikuttavat päästöistä laskettua säteilyannosta suurentavasti. Tämän annoksia yliarvioivan eli niin sanotusti konservatiivisen lähestymistavan avulla pyritään varmistamaan, että todelliset ihmisille aiheutuvat annokset ovat aina laskettuja arvoja pienemmät.

## 10 MUUT YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Muita kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttövaiheen aiheuttamia ympäristövaikutuksia ovat mm. melu, jätteet, loppusijoituslaitoksen prosessivedet, kiven murskauksen ja louheen läjityksen vaikutukset (mm. pöly, melu, tärinä), vaikutukset pohjaveden painekorkeuteen sekä kemikaalien, räjähdeseineiden ja polttonesteiden varastointi ja käyttö laitosalueella. Kyseisten vaikutusten aiheutumista säädelään Posivan louheen murskauksen ja varastoinnin ympäristöluvassa ja vaarallisten kemikaalien teollista käsittelyä ja varastointia koskevassa luvassa sekä melun seuranta Olkiluodon voimalaitosalueen ympäristöluvalla.

### 10.1 VAIKUTUKSET NATURA-ALUEISIIN

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen mahdollisia vaikutuksia Natura 2000 -alueisiin on tarkasteltu jo ympäristövaikutusten arvioinnin yhteydessä ja päivitetty ajantasalle tämän käyttölupahakemuksen liitteenä ”Päivitetty selvitys laitospäilyisuuden ympäristövaikutuksista”. Kapselointilaitoksen eteläpuoleista Natura-alueen ja Liiklankarin vanhojen metsien suojelualueen tilaa seurataan osana Posivan monitoriointiohjelmaa. Alueen kasvillisuudessa ja pinta- ja pohjavesissä ei ole havaittu kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen aiheuttamia haitallisia vaikutuksia.

### 10.2 YMPÄRISTÖLUVAT JA MUUT LUVAT

Etelä-Suomen aluehallintoviraston päätöksen (ESAVI-0000426-05.14.00-2011 19.1.2011) mukaisesti kapselointi- ja loppusijoituslaitos ei tarvitse ympäristölupaa. Käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitos vaatii muun muassa rakentamisen ja käyttötoiminnan aikana muun muassa rakennusluvat sekä luvan räjähteiden tilapäiseen varastointiin ja louheen varastointiin. Nämä luvat haetaan ennen kyseisen toiminnan aloittamista voimassa olevien kansallisten ja kunnallisten säädösten mukaisesti.

## 11 JOHTOPÄÄTÖKSET

Vähäisestä kerrallaan käsittelyssä olevan käytetyn ydinpolttoaineen määrästä ja eristysperiaatteen huolellisesta noudattamisesta johtuen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käytön aikaiset radioaktiivisuuspäästöt ovat niin vähäisiä, että niillä ei ole vaikutusta ympäristöön tai ympäristön asukkaisiin. Myös erittäin harvinaisessa onnettomuustilanteessa päästöt jäävät niin pieniksi, että ei tule tarvetta väestön suojaustoimenpiteille. Kuljetusten ympäristövaikutukset loppusijoitustoiminnassa jäävät vähäisiksi, sillä Posivan kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle suuntautuva liikenne muodostaa vain pienen osan Olkiluodon saaren liikenteestä (noin 5 % kokonaisliikennemäärästä). Käytetyn polttoaineen kuljetusten pakokaasupäästöistä aiheutuvat ympäristövaikutukset ovat kuljetusten pienestä määrästä johtuen merkityksettömät. Väestön saama säteilyannos kuljetusten yhteydessä on huomattavasti pienempi, kuin mitä samana ajanjaksona aiheutuu normaalista luonnon taustasäteilystä.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen toiminnan ei katsota aiheutuvan kohtuutonta haittaa alueen vesistölle. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käytön ympäristövaikutuksia seurataan tarkkailuohjelmilla, ja tulokset raportoidaan valvontaviranomaisille tarkkailuohjelmien edellyttämällä tavalla. Ydinlaitoksen ympäristövaikutuksia ja tarkkailuohjelmaa arvioidaan myös aina käyttöluvan uusimisen sekä tarvittaessa louheen läjityksen ympäristöluvan tarkistamisen yhteydessä.





# 07

SELVITYS HAKIJAN KÄYTETTÄVISSÄ  
OLEVASTA ASiantuntemuksesta  
JA YDINLAITOKSEN  
KÄYTTÖORGANISAATIOSTA



Kuva: Posiva Oy

# SISÄLLYSLUETTELO

|     |                                                                         |     |
|-----|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1   | HALLINTOELIMET JA TOIMIKUNNAT .....                                     | 152 |
| 2   | YLEISJOHTO.....                                                         | 153 |
| 3   | ORGANISAATION YLEISKUVAUS .....                                         | 154 |
| 3.1 | Organisaation toiminnot .....                                           | 154 |
| 4   | TVO-KONSERNIN<br>YHTEISET TOIMINNOT.....                                | 157 |
| 5   | SELVITYS POSIVA OY:N KÄYTETTÄVISSÄ<br>OLEVASTA ASiantuntemuksesta ..... | 159 |
| 5.1 | Posivan henkilöstöpolitiikka.....                                       | 159 |
| 5.2 | Henkilöstö ja kouluttaminen .....                                       | 160 |
| 6   | TURVALLISUUS JA<br>TURVALLISUUSKULTTUURI .....                          | 162 |

# 1 HALLINTOELIMET JA TOIMIKUNNAT

Yhtiöllä on hallitus, joka koostuu yhtiökokouksen nimeämistä edustajista.

Posivan hallitus nimittää vuosittain projekti-, talous- ja teknisen toimikunnan. Toimikuntien puheenjohtajien toimikausi on kaksi vuotta ja puheenjohtajuus vuorottelee omistajayhtiöiden välillä. Tavoitteena on, että toimikuntien jäsenet voivat valvoa ja ohjata sekä nykyisen rakentamisvaiheen että tulevan tuotantovaiheen aikana johtamista sekä valmistella merkittävien päätösten viemistä hallitukseen.



## 2 YLEISJOHTO

Posivan toimintaa johtaa toimitusjohtaja, jonka suoranaudessa alaisuudessa toimivat rakennusvaiheessa turvallisuuspäällikkö, kehitysjohtaja, hankepäällikkö, rakennuspäällikkö, tekninen päällikkö ja tuotantopäällikkö. Toimitusjohtajalla on apunaan toiminnan suunnittelussa, toteuttamisessa, arvioinnissa ja kehittämisessä johtoryhmä. Toimitusjohtajan ja hänen suoranaudessa alaisuudessa toimivien em. henkilöiden lisäksi johtoryhmätyöskentelyyn osallistuvat Posivan henkilöstön edustaja, TVO:lta viestintäpäällikkö ja resurssipäällikkö/HR Partner ja Posiva Solutions Oy:ltä yhtiön toimitusjohtaja. Posiva Solutions Oy on kytketty osaksi Posivan organisaatiota.

Tuotantovaiheen aikana toimitusjohtajan suoranaudessa alaisuudessa toimivat tuotanto-, konsepti-, laitostekniikka-, rakentaminen- ja turvallisuustoiminnot. Lisäksi toimitusjohtajan alaisuudessa toimivat TVO:n palvelutoiminnoista Posivalla vastaavat business partnerit. Toimitusjohtaja vastaa yhtiön toiminnasta ja tuloksesta hallitukselle.

Rakennusaikainen projektiorganisaatio koostuu ohjelmista ja näiden alla toimivista projekteista sekä ohjelmien ulkopuolella toimivista erillisprojekteista. Ohjelmiksi on nimetty kapselointilaitos, loppusijoituslaitos, kapseli, puskuri, täyttö ja sulkeminen, turvallisuusperustelu, loppusijoituksen tuotantolaitteet sekä tuotantoon valmistautuminen. Ohjelmien ohjauksesta ja valvonnasta huolehtivat erikseen kullekin ohjelmalle nimetyt ohjausryhmät ja niiden puheenjohtajat. Erillisprojekteiksi on nimetty käytölupa ja monitorointi. Posiva toimii kaikissa ohjelmissa ja projekteissa rakennuttajana, joten sillä on kokonaisvastuu sekä suunnittelusta että toteuttamisesta. Rakennuttajana Posiva hankkii tarvittaessa suunnittelun ja toteutuksen ulkoisilta tahoilta.

Poikkitoiminnallisten tehtävien tai aihekokonaisuuksien hoitamista ja koordinoimista varten yhtiön johto on perustanut työryhmiä, joihin kuuluu henkilöitä eri organisaatioyksiköistä. Tällaisia ovat muun muassa:

- Turvallisuusryhmä
- Tekniikkaryhmä
- Laitoskokous
- Pitkäaikaisturvallisuusryhmä
- Turvallisuuskulttuuriryhmä.

Posiva on mukana myös TVO-konsernin eri työryhmissä, kuten:

- ALARA-ryhmä (säteilyturvallisuus)
- CAP-ryhmä (jatkuva parantaminen)
- Infrastruktuurin ja maankäytön ohjausryhmä
- Ikääntymisen hallintaryhmä
- Käyttökokemusryhmä
- Riskienhallintaryhmä
- Tietoturvallisuusryhmä
- Tietohallintoryhmä.

Erilaisia asiantuntijaryhmiä voidaan tarvittaessa koota käsittelemään tiettyjä asiakokonaisuuksia. Näiden ryhmien tarkoituksena on helpottaa asioiden käsittelyä ja edesauttaa tiedon välitystä ja yhteistyötä yli organisaatioyksikkörajojen.

### 3 ORGANISAATION YLEISKUVAUS

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ns. käytölinja sekä ydinturvallisuutta varmistava organisaatio, johtosuhteet, tehtävät, valtuudet ja pätevyysvaatimukset on esitetty ydinenergia-asetuksen (12.2.1988/161) 122 §:ssä edellytetyssä Posiva Oy:n johtosäännössä. Lisäksi johtosäännössä esitetään ydinenergialain 7 k §:n tarkoittamat vastuulliset johtajat ja heidän varamiehensä sekä ydinenergialain 7 i §:n tarkoittamat valmiusjärjestelyistä, turvajärjestelyistä ja ydinmateriaalivalvonnasta huolehtivat henkilöt ja varahenkilöt tehtävineen, toimivaltuuksineen ja vastuineen. Johtosäännössä on huomioitu vastuu- ja johtosuhteet käyttämisen aikana. Johtosäännön hyväksyy Säteilyturvakeskus. Posivan tuotantovaiheen perusorganisaatio on esitetty kuvassa 1.

Henkilöresurssien hallinnan tavoitteena on varmistaa, että Posivalla on käytettävissään strategisten päämäärien saavuttamiseksi jokaisessa loppusijoitusvaiheessa oikein mitoitettu ja kohdennettu henkilöstö. Käytön aikana Posivalla on organisaatio, joka huolehtii mm. seuraavista toiminnoista:

- ydin-, pitkäaikais- ja säteilyturvallisuus sekä ydinmateriaalin hallinta
- loppusijoituskonseptin hallinta, kehittäminen ja ylläpito
- turvallisuusarvion laadinta ja ylläpito

- luvituksen hallinta
- suunnittelutoiminnot ja teknisten järjestelmien ylläpito
- rakentaminen ja rakennuttaminen
- yrityssuunnittelu
- hankinta ja logistiikka
- käyttö ja kunnossapito
- yritysturvallisuus (turva- ja valmiusjärjestelyt sekä palo-, työ- ja tietoturvallisuus)
- laatu ja ympäristö
- tukitoiminnot, kuten henkilöstöhallinto, koulutus, laki, talous, tietohallinto ja viestintä.

Posivan organisaatio ja organisaatioyksiköiden tehtävät on yksityiskohtaisemmin esitetty valvovalle viranomaiselle (STUK) tiedoksi.

#### 3.1 ORGANISAATION TOIMINNOT

##### Turvallisuus

Turvallisuus-toiminto toimii asiantuntija- ja valvontaorganisaationa ydinturvallisuuden, laadunhallinnan, laadunohjauksen ja yritysturvallisuuden osalta. Turvallisuus-toiminnon tehtävänä on osaltaan huolehtia siitä, että Posivan toiminta täyttää turvallisuudelle ja laadukkaalle toiminnalle asetetut vaatimukset. Turvallisuus-



**Kuva 1.** Posivan tuotantovaiheen perusorganisaatio.

toiminnon tehtäviin sisältyy ydinenergia-alan säännöstöasioiden, viranomaisyhteyksien ja luvituksen koordinointi sekä valmiusjärjestelyistä ja yritysturvallisuudesta huolehtiminen. Toiminto huolehtii myös turvallisuusryhmän hallinnollisista tehtävistä sekä koordinoi Posivan turvallisuus- ja turvallisuuskulttuuriryhmän toimintaa.

Turvallisuus-toiminnon toimintaa johtaa turvallisuuspäällikkö, joka raportoi toimitusjohtajalle ja toimii johtoryhmän jäsenenä.

### Konsepti

Konsepti-toiminto vastaa tuotantovaiheessa loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden hallinnasta, Olkiluodon paikan monitorointiohjelmasta ja monitoroinnin tulosten analysoinnista. Tätä toteutetaan operatiivisten käyttötoimien, määräajoin laadittavien turvallisuusarvioiden sekä loppusijoituskonseptin optimointiin, turvallisuusperustelun epävarmuuksien pienentämiseen ja käyttötoimintaprosessien tehostamiseen suuntautuvien tutkimus- ja kehitysohjelmien avulla. Operatiivisiin käyttötoimiin sisältyy tutkimus-, seuranta- ja valvontaohjelmien suunnittelu ja toteutus, kallion soveltuvuusluokittelu sekä loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuskriittiset toiminnot. Toiminnon vastuulle kuuluu myös loppusijoitusjärjestelmään kuuluvien teknisten vapautumisestaiden kehitys ja hankinnan tekninen tuki sekä suunnitteluperusteiden hallinta.

Konsepti-toimintoa johtaa kehitysjohtaja, joka raportoi toimitusjohtajalle ja toimii johtoryhmän jäsenenä.

### Laitostekniikka

Laitostekniikka-toiminto vastaa laitosten eri järjestelmistä sekä niiden laajennus- ja muutostöiden suunnittelusta, loppusijoituslaitoksen lay-out -suunnittelusta sekä laitoksen lämpöteknisestä mitoituksista. Laitostekniikan tehtävänä on huolehtia muutostyöprosessista ja laitosteknifiguraation ylläpitämisestä. Toiminto huolehtii myös laitosten eliniän hallinnasta ja teknisestä ylläpidosta, jolloin laitoksia voidaan käyttää turvallisesti kaikissa elinkaaren vaiheissa.

Laitostekniikka-toimintoa johtaa tekninen päällikkö, joka raportoi toimitusjohtajalle ja toimii johtoryhmän jäsenenä.

### Rakentaminen

Rakentaminen-toiminto vastaa rakentamisesta sekä siitä ettei tuotantovaiheen aikainen rakentaminen vaaranna käyttötoimintaa ja laitoksen pitkäaikaisturvallisuutta. Rakentaminen käsittää kaikki tuotantovaiheen aikaiseen loppusijoituslaitoksen rakentamiseen liittyvät toiminnot sisältäen tarvittavat rakennus-, valmistus-, asennus- ja käyttöönototyöt sekä kalliosoveltuvuusluokittelun ja monitoroinnin toteutuksen. Posiva tulee käyttämään pääsääntöisesti ulkoista resurssia rakentamiseen ja louhintaan liittyvissä töissä. Rakentaminen-toiminto toimii myös kalliorakennustekniikan asiantuntijayksikkönä.

Rakentaminen-toimintoa johtaa rakennuspäällikkö, joka raportoi toimitusjohtajalle ja toimii johtoryhmän jäsenenä.

### Tuotanto

Tuotanto-toiminto vastaa loppusijoitusprosessin käytännön toteutuksesta. Toimintoon kuuluvat käytön, kunnossapidon, käytön tuen (ml. ydinmateriaalin valvonta ja säteilysuojelu) ja tuotantoprosessin kehityksen toiminnot. Tuotanto-toiminto vastaa ydinlaitoksen käytöstä lainsäädännön, lupien, määräysten ja ohjeiden mukaisesti.

Tuotanto-toimintoa johtaa tuotantopäällikkö, joka raportoi toimitusjohtajalle ja toimii johtoryhmän jäsenenä. Tuotantopäällikkö tulee toimimaan myös käytöstä vastaavana johtajana.

Tuotanto-toimintoon kuuluva käyttöorganisaatio vastaa kaikesta ydinlaitoksella tapahtuvasta käyttötoiminnasta seuraten, tarkastaen ja ohjaten tehtäväalueeseensa kuuluvia laitoksen käyttöön liittyviä päivittäisiä asioita. Käyttö vastaa työlupien hallinnoinnista, käytetyn polttoaineen siirtojen koordinoinnista ja polttoainetietokannan ylläpidosta, laitoksen käyttöohjeista, käytössä syntyvien jätteiden hallinnoinnista sekä kemiaan ja säteilysuojeluun liittyvistä toiminnoista.

Turvallisuuden kannalta tärkeiden järjestelmien ja laitteiden käyttöä koskevista päätöksistä ja niiden toimeenpanosta vastaavat ensisijaisesti tuotantopäällikkö ja käyttöpäällikkö, joka toimii myös työlupakonttorin päällikkönä. Prosessin ohjaajat hallinnoivat kapselointi- ja loppusijoi-

tusprosessia ohjaamosta käsin työlupakonttorin johdon alaisena vastaten siitä, että kaikki toiminnot suoritetaan käyttöohjeiden, määräimien ja työlupien mukaisesti.

Tuotanto-toimintoon kuuluva kunnossapito-organisaatio huolehtii ydinlaitoksen kunnossapidosta. Se pitää sisällään koneiden ja laitteiden sekä tilojen, rakennusten ja järjestelmien kunnossapidon.

Tärkeimmät käyttötoimintaa valvovat ja ohjaavat ryhmät ovat turvallisuusryhmä, laitostokous ja turvallisuustoiminto. Ryhmien tarkoitus ja tehtävät on määritelty johtosäännössä.

### **Yrityssuunnittelu**

Yrityssuunnittelu-toiminto vastaa taloudesta, toiminnan suunnittelusta sekä yhtiön yleisistä kustannusarvioista että PTS-tuotantosuunnittelusta ja kustannusarvioista.

Yrityssuunnittelu-toiminnon toimintaa johtaa yrityssuunnittelupäällikkö, joka raportoi toimitusjohtajalle ja toimii johtoryhmän jäsenenä.



## 4 TVO-KONSERNIN YHTEISET TOIMINNOT

Posiva on osa TVO-konsernia ja tulee hyödyntämään myös konsernin henkilöresursseja tuotantovaiheen organisaatiossa, jotta voidaan varmistaa osaavat ja riittävät resurssit Posivan käyttöön sekä samalla mahdollistaa resurssien tehokas ja joustava käyttö. TVO:lla työsopimussuhteessa olevien Posivalle töitä tekevien henkilöresurssien työpanos hankitaan TVO-Posiva -palvelusopimuksen kautta.

Seuraavassa on kuvattu TVO:n yksiköitä, joita mm. Posiva tulee hyödyntämään tuotantovaiheessa:

### Kunnossapito

Yksikköön kuuluvat seuraavat tiimit:

- OL1/OL2 Mekaaninen kunnossapito
- OL1/OL2 Automaatiokunnossapito
- OL1/OL2 Sähkökunnossapito
- OL3 Mekaaninen kunnossapito
- OL3 Automaatiokunnossapito
- OL3 Sähkökunnossapito
- Kiinteistökunnossapito
- OL1/OL2 Työnsuunnittelu
- OL3 Työnsuunnittelu
- Kunnossapidon vuosihuoltosuunnittelu
- Kunnossapidon kehitys

Yksikkö on jaettu toiminnallisesti kolmeen osaan: OL1/OL2 kunnossapito, OL3 kunnossapito ja Kunnossapidon tuki. Kunnossapidoilla on omat kunnossapitopäälliköt ja kunnossapidon tuella kehityspäällikkö. Henkilöt vastaavat oman toimintonsa tiimien toiminnasta. Yksikköpäällikkö vastaa koko kunnossapidon toiminnasta.

Yksikön tehtävänä on huolehtia Olkiluodon alueen rakennusten ja kiinteistöjen, mekaanisten laitteiden, sekä sähkö-, automaatio, prosessiteknologien ja -järjestelmien ennakkohuolto-, kunnonvalvonta-, korjaus- ja muutostöistä. Yksikön tehtävänä on lisäksi osallistua rakenteellisten muutosten suunnitteluun ja toteutukseen.

### Polttoaine

Yksikkö huolehtii TVO:n ydinpolttoaineesta sen elinkaaren ajan, eli uraanin hankinnasta aina siihen saakka, kun polttoaine-elementit on lopputuotteen sijaitseva. Tähän sisältyy polttoaineen hankinta, sen kuljetuksen, käsittelyn, käytön, laskennan, tarkastusten ja varastoinnin suunnittelu sekä näiden toteutuksen varmistaminen ja valvonta. Posivan käyttö hyödyntää polttoaineinsinöörin ja ydinmateriaalin valvonnan palveluja.

### Tuotannon tuki

Yksikköön kuuluvat seuraavat tiimit:

- Säteilysuojelu
- Kemia
- Polttoaineen- ja jätteenkäsittely

Yksikön tehtävänä on huolehtia voimalaitoskemiaan, aktiivisuusmittauksiin, säteilyvalvontaan sekä Sähköntuotantoliiketoiminnan vastuulla olevien ympäristötutkimuksiin ja -valvontaan liittyvien toimintojen suunnittelusta, toteutuksesta ja valvonnasta, radioaktiivisten jätteiden käsittelytoimenpiteiden suunnittelusta, toteutuksesta ja valvonnasta sekä osallistua polttoaineen käsittelytoimenpiteiden suunnitteluun, toteutukseen ja valvontaan.

Yksikölle kuuluu dekontaminointitehtävistä, pesulatoiminnasta sekä valvotun alueen ja muiden määriteltävien alueiden puhtaanapidon ja jätehuollon operatiivisesta toiminnasta, valvonnasta, raportoinnista ja kehittämisestä huolehtiminen.

Yksikölle kuuluu dekontaminointitehtävistä, pesulatoiminnasta sekä valvotun alueen ja muiden määriteltävien alueiden puhtaanapidon ja jätehuollon operatiivisesta toiminnasta, valvonnasta, raportoinnista ja kehittämisestä huolehtiminen.

### Tekniikka

Tekniikka-toiminto toimii teknisenä asiantuntijaorganisaationa Olkiluodon voimalaitosyksiköiden ja ydinlaitosten käytölle sekä rakenteilla tai suunnitteilla olevien laitosyksiköiden/laitosten toteutuksessa.

Toiminto vastaa siitä, että konsernin liiketoiminnoilla on käytössään riittävä tekninen tuki ydinlaitosten rakenteiden ja järjestelmien jatkuvaan taloudelliseen optimointiin ja elinkaaren hallintaan turvallisuusmääräykset täyttäen.

Tekniikka-toiminto muodostuu seuraavista yksiköistä:

- Tekniikan ohjaus
- Laitosmuutokset
- Automaatiotekniikka
- Sähkötekniikka
- Voimalaitostekniikka
- Rakennustekniikka
- Ydinturvallisuussuunnittelu

Toiminnon tehtävien suorittaminen edellyttää sekä konsernin omien että ulkopuolisten resurssien tehokasta käyttöä, ulkopuolisten kokemusten hyödyntämistä ja ydinvoima-alalla tapahtuvan teknisen kehityksen seuraamista. Yksiköiden yleisenä tehtävänä on varmistaa vastuualueen osaaminen, sen kehittäminen ja ulkoisten henkilöresurssien optimaalinen hankinta sekä henkilöiden ja osaamisen optimoitu käyttö.

## Turvallisuus

Toiminnon tehtävänä on huolehtia yhtiön ydinlaitosten ydinturvallisuuden, laadunhallinnan, laadunohjauksen, yritysturvallisuuden ja ydinmateriaalivalvonnan varmistamiseksi tarpeellisten ohjelmien ja suunnitelmien laadinnasta ja toteutuksesta tai toteutuksen koordinoimisesta, ydinturvallisuuteen tai käytettävyyteen vaikuttavien tai niitä vaarantavien tapahtumien tai olosuhteiden analysoinnista ja tarvittavien parannustoimenpiteiden toteuttamisen valvonnasta.

Toiminnon tehtävänä on lisäksi riippumattomasti valvoa rakenteellisten muutosten toteutusta, ydinlaitosten yleisten suunnitteluperiaatteiden ja turvallisuusanalyysien vaatimustenmukaisuutta sekä huolehtia ydinenergiain edellyttämistä ydinlaitosten luvista. Toiminto vastaa ja huolehtii myös yhtiön tarkastuslaitoksen toiminnasta.

Turvallisuus-toimintoon kuuluvat seuraavat osaamiskeskukset ja vastuualueet/vastaavat:

- Ydinturvallisuuden osaamiskeskus
- Yritysturvallisuuden osaamiskeskus
- Palo-, työ-, ympäristöturvallisuus sekä turva- ja valmiusjärjestelyt
- Laadunhallinnan osaamiskeskus
- Laadunohjauksen osaamiskeskus
- Ydinmateriaalivalvontavastaava
- Turvallisuuden tutkimus- ja kehitysvastaavat

## Tukipalvelut

Tukipalvelutoiminnot tuottavat kaikkien liiketoiminta- ja palveluyksiköiden tarvitsemat tukipalvelut TVO-konsernissa ja vastaavat niihin liittyvistä linjauksista ja suorituskyvystä.

Tukipalvelutoimintojen johtajat ovat vastuussa tukipalveluiden tuottamisesta liike- ja palvelutoiminnoille sekä vastuullansa olevien palveluiden suorituskyvystä.

Osaamiskeskusten päälliköt ovat vastuussa kokonaisuutena oman tuki-toimintonsa johtamisesta, organisoinnista ja resursoinnista sekä osallistuvat tukitoimintojen toimintamallin kehittämiseen ja synergioiden etsimiseen.

Palvelukeskustoimintojen päälliköt vastaavat oman palvelukeskusyksikkönsä organisoitumisesta ja resursoinnista.

Nimetyt Business Partnerit tukevat liiketoimintajohtoa strategisessa, taktisessa ja operatiivisessa suunnittelussa, päätöksenteossa ja toteutuksessa oman funktio-osaamisensa näkökulmasta.

## 5 SELVITYS POSIVA OY:N KÄYTETTÄVISSÄ OLEVASTA ASiantuntemuksesta

### 5.1 POSIVAN HENKILÖSTÖPOLITIikka

Posivalla henkilöstön kehittäminen nähdään investointina turvalliseen ja laadukkaaseen toimintaan myös tulevaisuudessa. Posivalla henkilöstöpolitiikka noudattelee johtamisjärjestelmän periaatteita sekä strategian painopisteitä. Yksi Posivalla olevista visioelementeistä on ”hyvä työyhteisö”, joka tuo esille seuraavat visiotavoitteet:

- Johtaminen ja yrityskulttuuri ohjaa tekemisen meininkiä oikeiden asioiden tekemiseksi yhteisten tavoitteiden saavuttamiseksi - hyvä vire
- Strategian toteuttamiseen tarvittavat osaamiset ja kyvykkyudet on määritelty ja käytettävissä
- Sitoutuneet ja omistautuneet henkilöt tekevät oikeita asioita.

Posivalla periaatteena on ollut kehittää henkilöstön kehittämisen menetelmiä sekä koulutustoimintaa siten, että se mahdollistaa hen-

kilöstön osaamisen ylläpitämisen, jatkuvan oppimisen ja kehittymisen. Osaaminen sitoutuu organisaatiossa paitsi ihmisiin myös toimintatapoihin. Ydinvoimalaitoksen toimintaa ohjaavat lukuisat ohjeet ja käyttöehdot, joista merkittävimmät on hyväksytetty myös valvovalla viranomaisella.

Yhtiöllä on asiantuntijapalveluja koskevat sopimukset useiden kotimaisten ja ulkomaisten tahojen kanssa. Toimittajien asiantuntemusta ja osaamista selvitetään säännöllisillä arvioinneilla.

Posiva on osallistunut ja osallistuu moniin eri kansallisiin ja kansainvälisiin käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen kehitysohjelmiin. Tätä kautta saadaan lisätietoa alan viimeisistä kehityksestä sekä ylläpidetään toimivia yhteyksiä alan asiantuntijoihin. Yhtiön edustajat osallistuvat aktiivisesti kotimaisten ja kansainvälisten energia-alan- ja ydinenergia-alan järjestöjen toimintaan.

Posivalla on tarkoituksenaan hyödyntää myös TVO:n WANO-jäsenyyttä ydin- ja ydinjätelaitosten käyttökokemusten hyödyntämisessä.



■ Kuva 2. Oman henkilöstön lisäksi Posivalla on laaja asiantuntijaverkosto omistajiensa ja konsulttiyritysten kanssa.

Posiva ja SKB (Svensk Kärnbränslehantering Ab) ovat jatkaneet tiivistä yhteistyötään, jonka yhteisenä tavoitteena on saada loppusijoituskonsepti valmiiksi ja valmistautua loppusijoituslaitoksen teolliseen käyttötoimintaan. Posiva on jatkanut yhteistyötä kansainvälisen atomienergiajärjestön IAEA:n, OECD/NEA:n ydinjätetoimiston sekä ydinjäteorganisaatioiden yhteistyöelimen EDRAMin (International Association for Environmentally Safe Disposal of Radioactive Material) sekä yli 20 eurooppalaisten jäteorganisaatioiden yhteistyöryhmän Club of Agencies:in piirissä.

## 5.2 HENKILÖSTÖ JA KOULUTTAMINEN

Yhtiön vakinaisessa palveluksessa oli 31.12.2020 tilanteen mukaan 87 henkilöä, kun mukaan lasketaan vakinaiset ja määräaikaisten työsuhteet. Vuoden aikana Posivan palveluksessa oli keskimäärin 90 henkilöä, joista 92 %:lla on tekninen tai luonnontieteellinen koulutustausta: mm. tohtoreita ja lisensiaatteja 12, diplomi-insinöörejä 21, insinöörejä 16, teknikoita ja konemestareita 2. Teknisen tai luonnontieteellisen koulutuksen saaneiden ohella yhtiön palveluksessa on ydinalan taloudellista ja juridista asiantuntemusta omaavia henkilöitä.

Lisäksi Posivan hankkeessa tekee Posivalle 50-100 prosenttisesti töitä yli 40 TVO:laista. Posiva Solutionsin henkilöstön määrä oli vuoden lopussa 5 henkilöä.

Posivan henkilöstön kehittämisen ja koulutus toiminnan tavoitteena on varmistaa ja ylläpitää ydinalalla tarvittava henkilöstön ja ulkoisen resurssin ammattitaito ja osaaminen (tieto, taito ja asenteet). Korkea osaamistaso saavutetaan esimerkiksi eri toiminnoille kohdennetuilla koulutusvaatimuksilla, osaamiskartoituksella, työnkierrolla, perehdyttämisellä ja työnopastuksella. Ennen käytön aloittamista Posiva varmistaa henkilöstön osaamisen heille annetuista työtehtävistä, jonka myös Säteilyturvallisuuskeskus käy läpi turvallisuusarviossaan käyttötulopahakemuksesta.

Posivan sisäisen koulutuksen on täytettävä yhtiön strategiasta johdetut henkilöstön kehittämisen painopisteet, viranomaisohjeiden mukaiset ja muut tehtävien hoidon asettamat vaatimukset. Näiden vaatimusten toteutumista

seurataan osana esimiestoimintaa sekä koordinoitusti yhtiötasolla.

Posivan henkilöstö vaikuttaa joko suoraan tai epäsuorasti ydinlaitoksen turvallisuuteen. Siksi tulee varmistaa, että jokainen henkilö ymmärtää oman tehtävänsä turvallisuusmerkityksen ja on pätevä hänelle määritellyissä tehtävissä. Henkilöstön pätevyysvaatimukset perustuvat koko henkilöstöltä edellytettävään hyvän turvallisuuskulttuurin mukaiseen toimintaan sekä tehtävälle määriteltäviin työtehtäviin ja vastuualueisiin.

Myös alihankkijoiden on sitouduttava Posivan toimintatapoihin ja toimia koulutuksissa esitettyjen tapojen mukaisesti. Alihankkijoiden esimiehet ja työnjohtajat ovat vastuussa alihankkijoiden pätevyyksistä ja ovat velvollisia perehdyttämään henkilö työtehtäviin ja ohjaamaan henkilö tarvittaessa lisäkoulutukseen.

Posivan henkilöille määritellyt yksilökohtaiset koulutussuunnitelmat koostuvat toimintokohtaisista koulutuksista, erityisroolien, lupien sekä perehdyttämisen ja työnopastuksen edellyttämistä koulutusvaatimuksista sekä muusta täydennys- ja jatkokoulutuksesta, jotka on esimiehen kanssa määriteltä.

Systemaattisen perehdyttämisen ja työnopastuksen tarkoituksena on antaa uudelle henkilölle ja TVO-konsernissa tehtäviä vaihtavalle henkilölle riittävät tiedot konsernista yrityksenä, työympäristöstä, työehdoista, työtehtävistä sekä häntä koskevista odotuksista, jotta hän kykenee itsenäisesti toimimaan työyhteisössään.

TVO-konsernilla on käytössään henkilöstön kehittämisen ja koulutuksen suunnittelun työvälineenä vuosikoulutusohjelma, jonka suunnittelun tarkoituksena on keskitetysti ja suunnitellusti resursseja järkevästi käyttäen rakentaa kattava koulutusohjelma henkilöstön osaamisen ylläpitämiseksi ja kehittämiseksi. Vuosikoulutusohjelmaan kootaan suunnitelmallisesti vuosittain TVO:n ja Posivan koulutustarpeet. Runkona ovat toimintokohtaiset, erityisrooleihin tai lupiin liittyvät koulutusvaatimukset, joita täydentävät erilaisilta sidosryhmiltä kuten organisaatioilta, käyttökokemusryhmästä (KÄKRY) ja laadunhallinnan tietojärjestelmästä (KELPO) tulevat koulutusehdotukset. Vuosikoulutusohjelma sisältää seuraavat pääaihealueet:



- Yleinen tekniikka
- Ydinvoimatekniikka
- Laitostekniikka
- Käyttötekniikka
- Kunnossapito
- Suojelu ja valmius
- Hallinto ja talous
- IT ja tietotekniikka
- Yhteistyö ja kommunikointi
- Muu koulutus

Posiva hyödyntää omistajiensa sekä muiden pitkäaikaisten yhteistyökumppanien ja alihankkijoiden osaamista, mutta säilyttää loppusijoi-

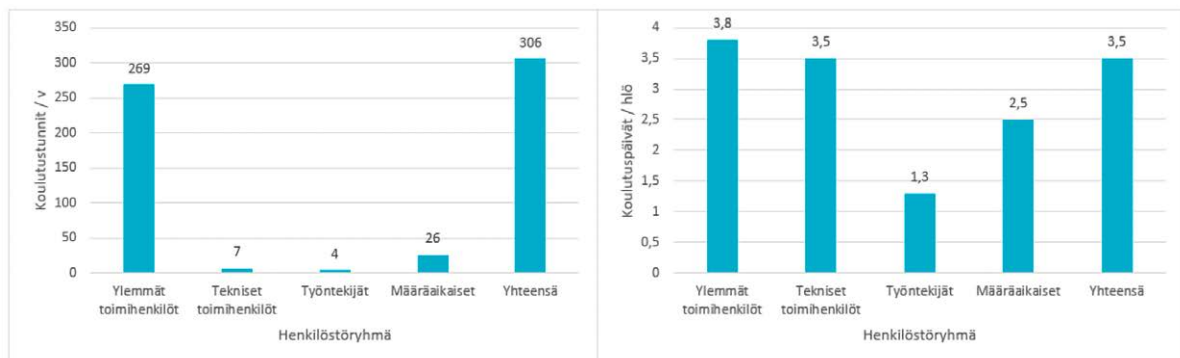
tuksen turvallisen käytön edellyttämät vastuulliset avaintehtävät omassa organisaatiossaan.

Systemaattisesti henkilöstön pätevyyteen ja sen ylläpitoon panostamalla henkilöstön ammattitaito edustaa Posivan näkemyksen mukaan sitä asiantuntemusta, jota ydinlaitokseen liittyvien tehtävien hoitamisessa tarvitaan.

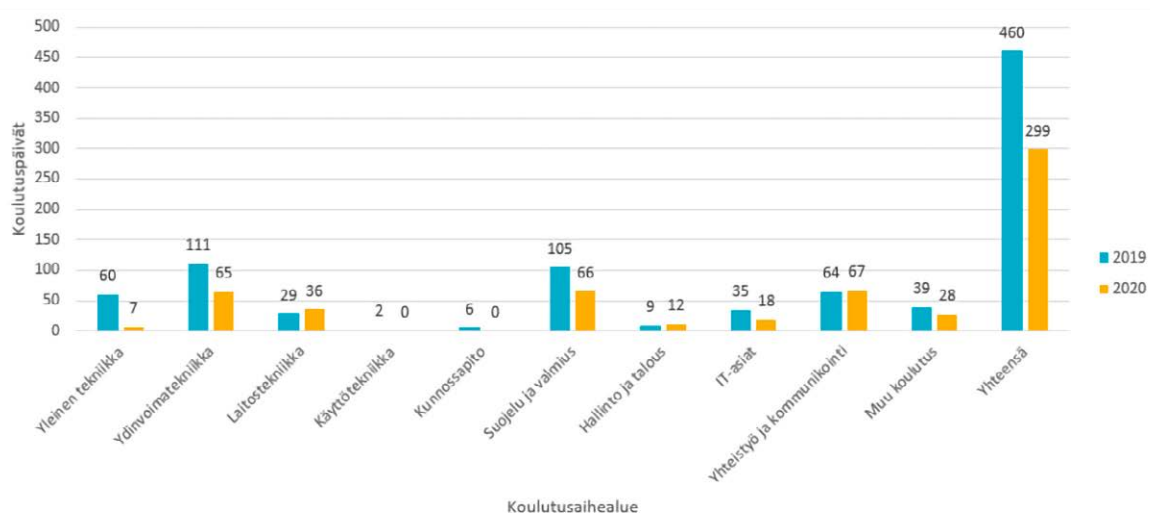
Posiva kouluttaa henkilöstöään ja alihankkijoita erityisesti ydinlaitoksen erityispiirteistä, toimintatavoista, turvallisuuskulttuurista sekä teknistä.

Taulukossa 1 esitetään posivalaisten koulutustuntien ja -päivien määrä vuonna 2020.

Taulukossa 2 esitetään posivalaisten sisäisen koulutuksen koulutuspäivien jakauma koulutusalueittain vuosina 2019 ja 2020.



■ **Taulukko 1.** Posivalaisten koulutustuntien ja -päivien jakauma henkilöstöryhmittäin 2020



■ **Taulukko 2.** Posivalaisten sisäisen koulutuksen koulutuspäivät koulutusalueittain vuosina 2019 ja 2020.

## 6 TURVALLISUUS JA TURVALLISUUSKULTTUURI

Turvallisuuskulttuuri muodostuu organisaation ja yksittäisten ihmisten piirteistä ja asenteista, joiden tuloksena ydinlaitosten turvallisuuteen vaikuttavat tekijät saavat kukin tärkeytensä edellyttämän huomion ja ovat etusijalla päätöksiä tehtäessä. Posivan kaikessa toiminnassa on ylläpidettävä hyvää turvallisuuskulttuuria. Tämä tarkoittaa sitä, että

- johto osoittaa päätöksillään ja toiminnallaan sitoutumisensa turvallisuutta edistäviin toimintatapoihin ja ratkaisuihin
- henkilöstöä motivoidaan vastuuntuntoiseen työskentelyyn
- työyhteisössä edistetään avointa ilmapiiriä, joka kannustaa turvallisuutta vaarantavien tekijöiden tunnistamiseen, raportointiin ja poistamiseen
- henkilöstöllä on mahdollisuus osallistua turvallisuuden jatkuvaan parantamiseen.

Posivalla on oma turvallisuuskulttuuriryhmänsä, josta on edustus TVO-konsernin vastaavassa CAP-ryhmässä. Posivan turvallisuuskulttuuriryhmässä on vastaavasti mukana myös TVO:n turvallisuuskulttuuriasiantuntija. Posivan turvallisuuskulttuuriryhmä laatii vuosittain turvallisuuskulttuurin toimenpideohjelman, joka sisältää yleiset kehitysalueet ja -tavoitteet kolmen vuoden jaksolle ja yksityiskohtaisemman toimenpideohjelman tavoitteineen vuositason.

Turvallisuuskulttuurin periaatteiden toteutumista arvioidaan vuosittain turvallisuuskulttuuriryhmän tekemässä arviossa Posivan turvallisuuskulttuurin tilasta, joka esitetään Posivan johto- ja turvallisuusryhmälle.

Osana turvallisuuskulttuurin toimenpideohjelmaa 2020–2023 Posivan turvallisuustoiminto valvoi turvallisuutta johtamisjärjestelmän mukaisesti. Yhtiön turvallisuuskulttuurin toimenpideohjelma 2020 toteutui ilman merkittäviä poikkeamia, joskin koronaviruksen vaikutusten estäminen vaikutti jonkin verran ohjelman toteutukseen. Posivassa toteutettiin vuonna 2020 johtamisjärjestelmän ja turvallisuuskulttuurin itsearviointi, jonka tulokset olivat hyvät ja kehittyneet edellisestä arvioinnista.

Posivan turvallisuuden sekä turvallisuuskulttuurin taso vuonna 2020 oli hyvä.

# 08

SELVITYS HAKIJAN  
RAHOITUSASEMASTA,  
YDINLAITOKSEN RAHOITUKSEN  
HOITOSUUNNITELMA  
SEKÄ YDINLAITOKSEN  
TUOTANNOLLINEN SUUNNITELMA





■ Kuva: Posiva Oy



# YDINLAITOSHANKKEEN KUSTANNUSARVIO JA RAHOITUSSUUNNITELMA

## YHTIÖN RAHOITUSASEMA

Posiva Oy:n toimintaedellytykset määräytyvät Posivan ja sen omistajien välisistä sopimuksin määritellyistä suhteista. Omistajat ovat ydinenergialain mukaan vastuussa laitossykloitensa käytetystä ydinpolttoaineesta ja mm. sen loppusijoituksen kustannuksista. Posiva toteuttaa loppusijoituksen ja veloittaa kustannukset omistajilta.

Posivan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen kustannusarvio vuonna 2021 pohjautuu YJH-2018-ohjelmaan, laitoskuvaukseen vuodelta 2018 ja niiden pohjalta laadittuun kustannusarvioon. Kustannusarvion pohjana ovat laitosyksiköiden Loviisa 1, Loviisa 2, Olkiluoto 1, Olkiluoto 2 ja Olkiluoto 3 koko käyttöikään tuottama, määrältään mahdollisimman tarkkaan arvioitu käytetty ydinpolttoaine, yhteensä noin 5 500 tonnia uraania (tU). Kustannusarvio on laadittu vuoden 2018 hintatasossa. Arvion mukaan loppusijoitus maksaa yhteensä noin 3 520 miljoonaa euroa. Tästä ONKALO®:n ja kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamisen osuus on noin 840 miljoonaa euroa. Käytön kustannus, mukaan lukien kapselointi ja kapselimateriaalit sekä loppusijoitusreikien ja -tunnelien täyttö materiaaleineen sekä keskustunnelien täyttö, on noin 2 575 miljoonaa euroa ja kapselointilaitoksen käytöstäpoiston sekä loppusijoitustilojen sulkemisen kustannus noin 105 miljoonaa euroa. Kustannuksia on lisäksi aiheutunut ja aiheutuu toteutusta edeltävästä ja käytön aikaisesta tutkimustyöstä, hallinnosta, veroista ja viranomaisvalvonnasta. Kustannukset ajoittuvat noin sadan vuoden ajalle.

Posivan taloudellisia toimintaedellytyksiä käsitellään vuosikertomuksissa, jotka julkaistaan Posivan internet-sivuilla. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käytön kustannusten rahoitukseen sovelletaan samaa yleisperiaatetta, jota on käytetty tutkimus- ja kehitystyön sekä ONKALO®:n, kapselointi- ja loppusijoituslaitosten rakentamisen rahoitukseen eli Posiva perii tehtäviensä suorittamisen aiheuttamat kustannukset omistajiltaan tehtyjen sopimusten mukaisesti.

Valtion ydinjätehuoltorahasto kerää ydinjätteen tuottajilta etukäteen varat, joiden avulla varmistetaan resurssit ydinjätehuollon hoitamiseksi kaikissa olosuhteissa. Rahaston määrä kattaa kaikkien vielä tekemättömien ydinjätehuoltotoimenpiteiden kustannukset. Rahasto toimii työ- ja elinkeinoministeriön alaisuudessa. Rahaston pääoma muodostuu jätehuoltovelvollisten vuosittaisista maksuista ja rahaston tuotosta. Vastuumääräarviot sisältävät varsinaiset jätehuoltokaaviot seuraaville 3 vuodelle päivitetään kolmen vuoden välein ja välivuosina arviot päivitetään tarvittaessa. Posivan omistajien osuus rahaston pääomasta vuoden 2021 lopussa on noin 2 600 miljoonaa euroa.

## YHTIÖN OSAKKAAT

Yhtiön omistajat ovat Teollisuuden Voima Oyj (TVO) ja Fortum Power and Heat (FPH). TVO omistaa Posivan osakkeista noin 60 % ja FPH noin 40 %. Posivan osakkaat vastaavat yhtiöjärjestyksen mukaisista muuttuvista ja kiinteistä vuosikustannuksista.

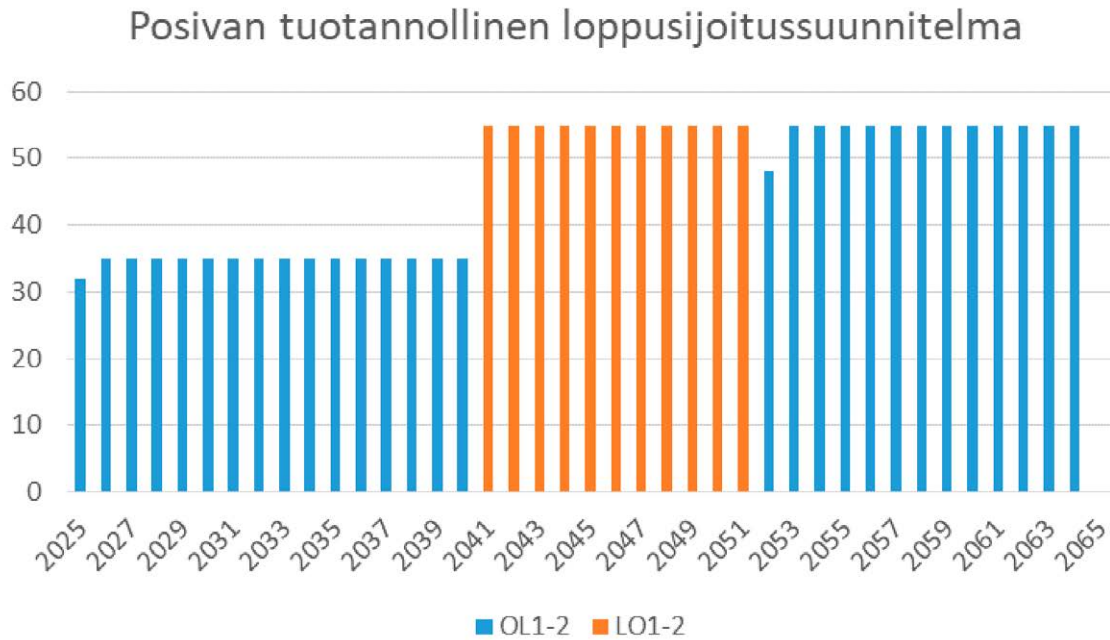
## YHTIÖN TALOUDELLINEN TILA JA RAHOITUSSUUNNITELMA

Yhtiön taloudellista tilaa koskevat tiedot ilmenevät liitteessä 11 yhtiön vuosikertomuksista löytyvistä tilinpäätöksistä vuosilta 2010-2020, vuosikertomukset löytyvät Posivan internet-sivuilta. Yhtiön toiminnan taloudellisen tilan takaamiseksi yhtiön omistajat ovat keränneet varoja valtion ydinjäterahastoon, josta kustannetaan loppusijoituksen kustannukset.

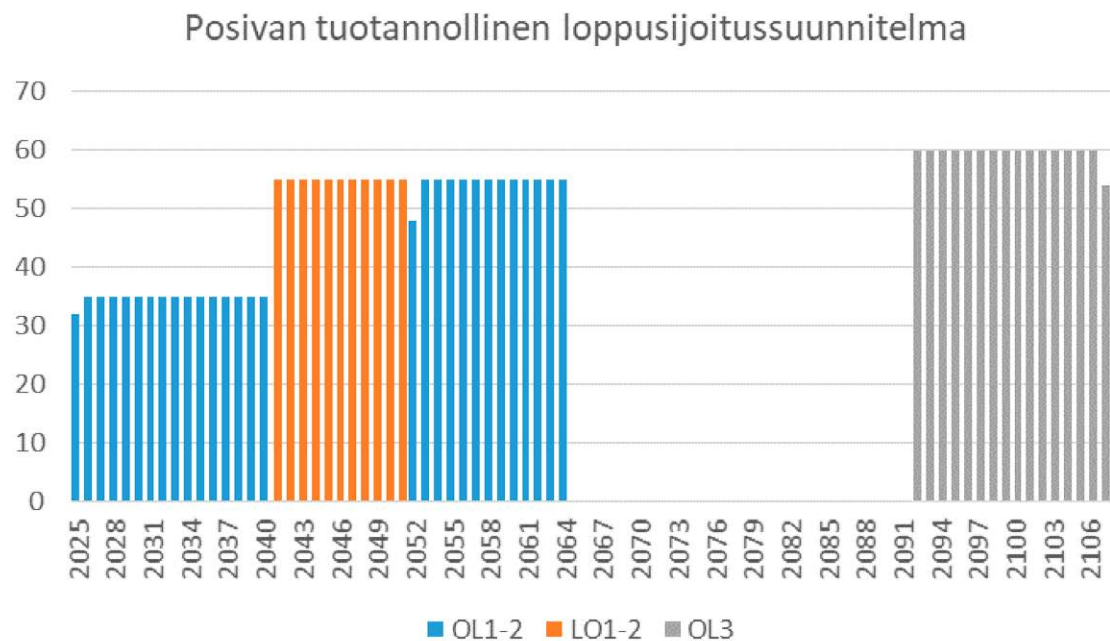
## TUOTANNOLLINEN SUUNNITELMA

Posivan tuotanto on mitattavissa kapseloidun käytetyn ydinpolttoaineen määränä. Tuotannon ajoituksen ja loppusijoitettavan määrän eri polttoaineilla ohjaa käytetyn polttoaineen jäähtyminen. Turvallisuuden vuoksi käytettyä

polttoainetta on jäähdytettävä välivarastoissa ennen loppusijoitusta. Posivan tuotannollinen suunnitelma haetulle käyttöluvajaksolle on kuvattu kuvassa 1.



**Kuva 1.** Posivan tuotannollinen loppusijoitussuunnitelma ensimmäiselle neljälle kymmenelle vuodelle. Kuvassa on esitetty kuinka monta loppusijoituskapselia vuodessa loppusijoitetaan.



**Kuva 2.** Posivan käyttötoiminta kestää 2120-luvulle. Kuvassa esitetty yksi mahdollinen tuotantosuunnitelma, jossa loppusijoituskapseleita loppusijoitetaan alussa noin 35 kappaletta per vuosi, myöhemmin 55-60 kappaletta per vuosi. Olki-luoto 3 -laitosyksikön käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus aloitetaan, kun se jäähtynyt välivarastossa riittävästi.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen on suunniteltu kestävän 2120-luvulle. Esimerkki Posivan tuotannolliselle suunnitelmalle kaiken syntyneen käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamiselle ennen ydinlaitosten käytöstäpoistoa on kuvattu kuvassa 2. Posivan loppusijoitustoiminnassa on 2060–2090 -luvuilla rajoitetun tuotannon jakso ennen OL3-laitosyksikön polttoaineen loppusijoitusta. Rajoitetun tuotannon aikana on aikomuksena loppusijoittaa erikoispolttoaineita ja modernisoida laitokset eliniän varmistamiseksi. OL3-laitosyksikön polttoaine jäähtyy tämän ajan KPA-varastossa siten, että loppusijoitus on turvallisempaa ja tuotannollisesti järkevämpää aloittaa. Rajoitetun tuotannon jakso mahdollistaa myös nykyisten laitosyksiköiden käyttöään jatkamista. Loppusijoitustoiminta ulottuu niin pitkälle ajanjaksolle, että myös muita mahdollisia tuotannollisia loppusijoitussuunnitelmia on laadittu ja tullaan laatimaan loppusijoitustoiminnan aikana. Kuvassa 2 on esimerkki yhdestä tehokkaimmista tuotantosuunnitelmista, jossa on optimoitu muun muassa loppusijoitusnopeutta.





# 09

## HAKIJAN TILINPÄÄTÖSASIAKIRJAT VUOSILTA 1999-2015

Posiva Oy:n vuosikertomukset löytyvät yhtiön internet-sivuilta, [posiva.fi](http://posiva.fi).



# 10

## PÄIVITETTY SELVITYS LAITOSKOKONAISUUDEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSISTA

Selvitys käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ympäristövaikutuksista sekä selvitys suunnitteluperusteista, joita hakija aikoo noudattaa ympäristövahinkojen välttämiseksi ja ympäristörasituksen rajoittamiseksi





Kuva: Posiva Oy



# SISÄLLYSLUETTELO

|          |                                                                                                     |            |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1</b> | <b>ESIPUHE .....</b>                                                                                | <b>177</b> |
| <b>2</b> | <b>TIIVISTELMÄ .....</b>                                                                            | <b>178</b> |
| <b>3</b> | <b>HANKKEEN TARKOITUS, SIJAINTI<br/>JA AIKATAULU .....</b>                                          | <b>179</b> |
| <b>4</b> | <b>LIITTYMINEN MUIHIN HANKKEISIIN<br/>JA SUUNNITELMIIN .....</b>                                    | <b>180</b> |
| <b>5</b> | <b>LOPPUSIJOITUSRATKAISUN KUVAUS .....</b>                                                          | <b>181</b> |
| 5.1      | Varmentava tutkimusvaihe .....                                                                      | 181        |
| 5.2      | Rakentamisvaihe .....                                                                               | 181        |
| 5.3      | Käyttövaihe .....                                                                                   | 181        |
| 5.4      | Sulkemisvaihe ja loppusijoitetun<br>ydinpolttoaineen palautettavuus .....                           | 182        |
| <b>6</b> | <b>TUTKIMUS- JA RAKENTAMISAIKAISET<br/>SEKÄ KÄYTTÖTOIMINNAN<br/>YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET .....</b>      | <b>183</b> |
| 6.1      | Kuljetusten ja liikenteen vaikutukset .....                                                         | 183        |
| 6.2      | Vaikutukset maankäyttöön, kulttuuri-<br>perintöön, maisemaan, rakennuksiin<br>ja rakenteisiin ..... | 183        |
| 6.3      | Vaikutukset maa- ja kallioperään<br>sekä pohjavesiin .....                                          | 183        |
| 6.4      | Vaikutukset ilmanlaatuun .....                                                                      | 184        |
| 6.5      | Melu- ja värinävaikutukset .....                                                                    | 184        |
| 6.6      | Vaikutukset kasvillisuuteen, eläimiin<br>sekä suojelukohteisiin .....                               | 184        |
| 6.7      | Vaikutukset ihmisiin ja<br>suhtautuminen käytetyn<br>ydinpolttoaineen loppusijoitukseen .....       | 185        |
| 6.8      | Vaikutukset yhdyskuntarakenteeseen,<br>aluetalouteen ja Eurajoen<br>kunnan imagoon .....            | 185        |
| <b>7</b> | <b>HÄIRIÖ- JA ONNETTOMUUSTILANTEIDEN<br/>VAIKUTUKSET .....</b>                                      | <b>187</b> |
| <b>8</b> | <b>PITKÄAIKAISTURVALLISUUS .....</b>                                                                | <b>188</b> |
| <b>9</b> | <b>YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN SEURANTA .....</b>                                                          | <b>189</b> |

|          |                                                                              |            |
|----------|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1</b> | <b>SELVITYKSEN TAUSTA JA TARKOITUS .....</b>                                 | <b>195</b> |
| 1.1      | Nykyiset päätökset ja menettelyt .....                                       | 195        |
| 1.2      | Selvityksen tarkoitus .....                                                  | 196        |
| <b>2</b> | <b>LOPPUSIJOITUSHANKE .....</b>                                              | <b>197</b> |
| 2.1      | Toimintavaihtoehdot väliarastoinnin<br>jälkeen .....                         | 197        |
| 2.1.1    | Suomen nykyisen<br>toimintavaihtoehdon tausta .....                          | 197        |
| 2.1.2    | Suora loppusijoitus .....                                                    | 197        |
| 2.2      | Loppusijoitushankkeen kuvaus .....                                           | 197        |
| 2.3      | Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen<br>sijainti ja maankäyttötarve .....  | 198        |
| 2.4      | Hankkeen aikataulu .....                                                     | 198        |
| 2.5      | Liittyminen muihin hankkeisiin,<br>suunnitelmiin ja ohjelmiin .....          | 199        |
| 2.5.1    | TVO:n Olkiluodon<br>ydinvoimalaitos (SAMY) .....                             | 199        |
| 2.5.2    | Fortumin Loviisan<br>ydinvoimalaitos .....                                   | 199        |
| 2.6      | Ympäristövaikutusten arvioinnin rajaus ..                                    | 199        |
| <b>3</b> | <b>KAPSELOINTI- JA LOPPU-SIJOITUS-<br/>LAITOKSEN KUVAUS .....</b>            | <b>201</b> |
| 3.1      | Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen<br>yleiskuvaus .....                  | 201        |
| 3.2      | Loppusijoituksen<br>suunnitteluperiaatteet .....                             | 202        |
| 3.3      | Tutkimustoiminta ja laaditut selvitykset ..                                  | 203        |
| 3.4      | Käytetyn ydinpolttoaineen<br>enimmäismäärät .....                            | 204        |
| 3.5      | Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ja<br>-tekniikan kuvaus .....         | 204        |
| 3.5.1    | Varmentava tutkimusvaihe<br>- tutkimustila ONKALO .....                      | 204        |
| 3.5.2    | Rakentamisvaihe .....                                                        | 205        |
| 3.5.3    | Käytetyn ydinpolttoaineen<br>kuljetukset ja siirrot .....                    | 207        |
| 3.5.4    | Käyttövaihe .....                                                            | 210        |
| 3.5.5    | Sulkemisvaihe ja loppusijoitetun<br>ydinpolttoaineen<br>palautettavuus ..... | 211        |

#### 4 YDINPOLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUSTA KOSKEVA LAINSÄÄDÄNTÖ JA OHJEET ....213

#### 5 HANKKEEN EDELLYTTÄMÄT LUVAT, SUUNNITELMAT, ILMOITUKSET JA PÄÄTÖKSET .....214

|       |                                                                   |     |
|-------|-------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1   | Kaavoitus.....                                                    | 214 |
| 5.2   | Ympäristövaikutusten arviointi ja kansainvälinen kuuleminen ..... | 214 |
| 5.3   | Ydinenergiain mukaiset päätökset ja luvat .....                   | 214 |
| 5.3.1 | Periaatepäätös .....                                              | 214 |
| 5.3.2 | Rakentamislupa.....                                               | 215 |
| 5.3.3 | Käyttölupa.....                                                   | 215 |
| 5.3.4 | Lupa käytöstä poistamiseen .....                                  | 216 |
| 5.4   | Euratomin perustamissopimuksen mukaiset ilmoitukset.....          | 216 |
| 5.5   | Muut luvat.....                                                   | 217 |

#### 6 ARVIOINTIMENETELMÄT, YMPÄRISTÖN NYKYTILA JA ARVIOIDUT VAIKUTUKSET..218

|         |                                                                                    |     |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.1     | Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetukset ja muu liikenne.....                         | 218 |
| 6.1.1   | Arviointimenetelmät .....                                                          | 218 |
| 6.1.2   | Kuljetusten ja liikenteen vaikutukset .....                                        | 218 |
| 6.1.2.1 | Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusten vaikutukset ja niihin liittyvät riskit ..... | 220 |
| 6.2     | Maankäyttö, kulttuuriperintö, maisema, rakennukset ja rakenteet .....              | 220 |
| 6.2.1   | Arviointimenetelmät .....                                                          | 220 |
| 6.2.2   | Ympäristön nykytila .....                                                          | 221 |
| 6.2.2.1 | Kaavoitustilanne .....                                                             | 222 |
| 6.2.2.2 | Maisema .....                                                                      | 222 |
| 6.2.2.3 | Kulttuurihistoria.....                                                             | 223 |
| 6.2.3   | Arvioidut vaikutukset.....                                                         | 223 |
| 6.2.3.1 | Vaikutukset maankäyttöön .....                                                     | 223 |
| 6.2.3.2 | Vaikutukset rakennuksiin, rakenteisiin ja maisemaan.....                           | 223 |
| 6.2.3.3 | Vaikutukset kulttuuriperintöön.....                                                | 224 |
| 6.3     | Maa- ja kallioperä sekä pohjavesi .....                                            | 224 |
| 6.3.1   | Arviointimenetelmät .....                                                          | 224 |
| 6.3.2   | Alueen maa- ja kallioperän sekä pohjavesien nykytila.....                          | 225 |
| 6.3.2.1 | Maa- ja kallioperä .....                                                           | 225 |
| 6.3.2.2 | Olkiluodon mallinnus.....                                                          | 225 |
| 6.3.2.3 | Olkiluodon pintahydrologinen malli.....                                            | 226 |
| 6.3.2.4 | Maankohoaminen.....                                                                | 226 |
| 6.3.2.5 | Seismologia.....                                                                   | 227 |

|         |                                                               |     |
|---------|---------------------------------------------------------------|-----|
| 6.3.2.6 | Pohjavesi.....                                                | 227 |
| 6.3.3   | Vaikutukset maa- ja kallioperään sekä pohjavesiin .....       | 229 |
| 6.3.3.1 | Maanpäälliset rakenteet .....                                 | 229 |
| 6.3.3.2 | Maanalaisen loppusijoituslaitoksen vaikutus kallioperään..... | 229 |
| 6.3.3.3 | Kapselien lämmöntuoton vaikutukset kallioperään.....          | 230 |
| 6.3.3.4 | Syntyvän louheen ja muun kiviaineksen määrä .....             | 230 |
| 6.3.3.5 | Vaikutukset pohjavesiin.....                                  | 230 |

|         |                                                                  |     |
|---------|------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.4     | Ilmasto ja ilmanlaatu .....                                      | 233 |
| 6.4.1   | Arviointimenetelmät .....                                        | 233 |
| 6.4.2   | Ilmaston ja ilmanlaadun nykytila .....                           | 233 |
| 6.4.3   | Vaikutukset ilmastoon ja ilmanlaatuun .....                      | 233 |
| 6.4.3.1 | Louhinnan, murskauksen ja läjityksen vaikutus ilmanlaatuun ..... | 233 |
| 6.4.3.2 | Ajoneuvoista aiheutuvat päästöt.....                             | 233 |

|         |                                                                                        |     |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.5     | Vesistöt.....                                                                          | 233 |
| 6.5.1   | Arviointimenetelmät .....                                                              | 233 |
| 6.5.2   | Vesistön nykytila .....                                                                | 234 |
| 6.5.3   | Vesistövaikutukset .....                                                               | 234 |
| 6.5.3.1 | Vedenhankinta.....                                                                     | 234 |
| 6.5.3.2 | Talousjätevesien käsittely .....                                                       | 234 |
| 6.5.3.3 | Vuotovesien käsittely .....                                                            | 235 |
| 6.5.3.4 | Kapselointilaitoksen jätevesien käsittely .....                                        | 235 |
| 6.5.3.5 | Maarakennustöiden vaikutukset vesiin .....                                             | 235 |
| 6.5.3.6 | Louhinnan, murskauksen ja läjityksen vaikutus vesiin .....                             | 236 |
| 6.5.3.7 | Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen vaikutukset talousveteen ja porakaivoihin ..... | 236 |
| 6.5.3.8 | Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen vaikutus yleisiin uimarantoihin.....            | 236 |

|         |                                                         |     |
|---------|---------------------------------------------------------|-----|
| 6.6     | Jätteet ja sivutuotteet sekä niiden käsittely .....     | 237 |
| 6.6.1   | Arviointimenetelmät .....                               | 237 |
| 6.6.2   | Vaikutukset jätteiden määriin ja niiden käsittely ..... | 237 |
| 6.6.2.1 | Jätteet ja jätehuolto .....                             | 237 |
| 6.6.2.2 | Kapselointilaitoksen ydinjätehuolto .....               | 237 |

|         |                                            |     |
|---------|--------------------------------------------|-----|
| 6.7     | Melu ja värinä .....                       | 238 |
| 6.7.1   | Arviointimenetelmät .....                  | 238 |
| 6.7.2   | Nykyinen melutilanne .....                 | 238 |
| 6.7.3   | Melu- ja värinävaikutukset .....           | 239 |
| 6.7.3.1 | Olkiluodon meluselvityksen tulokset) ..... | 240 |

|          |                                                                                              |     |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.8      | Kasvillisuus, eläimet ja suojelukohteet ....                                                 | 242 |
| 6.8.1    | Vaikutusten arviointi ja menetelmät .....                                                    | 242 |
| 6.8.2    | Alueen luonnon nykytila .....                                                                | 242 |
| 6.8.2.1  | Kasvillisuus ja eläimistö .....                                                              | 242 |
| 6.8.2.2  | Suojelukohteet .....                                                                         | 244 |
| 6.8.3    | Vaikutukset kasvillisuuteen, eläimiin ja suojelukohteisiin .....                             | 244 |
| 6.9      | Luonnonvarat .....                                                                           | 247 |
| 6.9.1    | Arviointimenetelmät .....                                                                    | 247 |
| 6.9.2    | Vaikutukset luonnonvarojen hyödyntämiseen .....                                              | 247 |
| 6.9.2.1  | Kuparin käyttö .....                                                                         | 247 |
| 6.9.2.2  | Bentoniitin käyttö .....                                                                     | 247 |
| 6.9.2.3  | Kiviaineksen käyttö .....                                                                    | 247 |
| 6.10     | Ihmiset, yhdyskuntarakenne, aluetalous ja Eurajoen kunnan imago .....                        | 247 |
| 6.10.1   | Arviointimenetelmät .....                                                                    | 247 |
| 6.10.1.1 | Terveysvaikutukset .....                                                                     | 248 |
| 6.10.1.2 | Elinolot, viihtyvyys ja virkistys .....                                                      | 248 |
| 6.10.1.3 | Yhdyskuntarakenne, aluetalous ja Eurajoen kunnan imago .....                                 | 249 |
| 6.10.2   | Alueen nykytila .....                                                                        | 249 |
| 6.10.3   | Vaikutukset ihmisiin, yhdyskuntarakenteeseen, aluetalouteen ja Eurajoen kunnan imagoon ..... | 249 |
| 6.10.3.1 | Epäpuhtauksista, melusta ja tärinästä aiheutuvat terveysvaikutukset .....                    | 249 |
| 6.10.3.2 | Säteilyä johtavat terveysvaikutukset .....                                                   | 249 |
| 6.10.4   | Suhtautuminen käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen .....                              | 252 |
| 6.10.4.1 | Suomalaisten suhtautuminen ydinjätteiden loppusijoitukseen .....                             | 252 |
| 6.10.4.2 | Eurajoen kuntalaisten luottamus käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen .....            | 252 |
| 6.10.4.3 | Olkiluodon voimalaitosalueen asukas- ja työntekijäkysely .....                               | 253 |
| 6.10.4.4 | Vaikutukset yhdyskuntarakenteeseen, aluetalouteen ja Eurajoen kunnan imagoon .....           | 257 |

## 7 HÄIRIÖ- JA ONNETTOMUUSTILANTEIDEN VAIKUTUKSET .....259

|     |                                                 |     |
|-----|-------------------------------------------------|-----|
| 7.1 | Arviointimenetelmät .....                       | 259 |
| 7.2 | Turvallisuusperiaatteet .....                   | 259 |
| 7.3 | Säteilyturvallisuus .....                       | 260 |
| 7.4 | Käyttöhäiriöt ja niiden seuraukset .....        | 261 |
| 7.5 | Onnettomuustilanteet ja niiden seuraukset ..... | 261 |

## 8 PITKÄAikaisturvallisuus .....263

|         |                                                                                                      |     |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.1     | Arviointimenetelmät .....                                                                            | 263 |
| 8.2     | Loppusijoituslaitoksen turvallisuusperustelu .....                                                   | 263 |
| 8.3     | Turvallisuusvaatimukset .....                                                                        | 265 |
| 8.4     | Tarkastellut tapaukset .....                                                                         | 265 |
| 8.5     | Mallinnus .....                                                                                      | 266 |
| 8.6     | Analyysitulokset .....                                                                               | 267 |
| 8.6.1   | Toimintakykyanalyysi .....                                                                           | 267 |
| 8.6.1.1 | Louhinta- ja täyttövaihe .....                                                                       | 267 |
| 8.6.1.2 | Sulkemisesta 10 000 vuoden päähän .....                                                              | 268 |
| 8.6.1.3 | Kehitys lauhkean ilmastojakson loppuun saakka .....                                                  | 269 |
| 8.6.1.4 | Seuraava ikirouta- ja jäätikkövaihe .....                                                            | 270 |
| 8.6.1.5 | Toistuvien jääkausisykliä aikana .....                                                               | 271 |
| 8.6.2   | Radionuklidien vapautumisskenaario .....                                                             | 272 |
| 8.6.2.1 | Perusskenaario .....                                                                                 | 272 |
| 8.6.2.2 | Käytetyn polttoaineen loppusijoitustilasta päästöihin johtavat epätodennäköiset tapahtumakulut ..... | 274 |
| 8.6.2.3 | "Mitä jos" – tapaukset .....                                                                         | 275 |
| 8.6.2.4 | Yhteenveto .....                                                                                     | 277 |
| 8.7     | Arvio loppusijoitusratkaisun turvallisuudesta (AMLE) .....                                           | 277 |
| 8.8     | Kehityssuunnitelmat .....                                                                            | 278 |

## 9 TIEDOT MAHDOLLISESTI SUOMEN VALTION RAJAT YLITTÄVISTÄ YMPÄRISTÖVAIKUTUKSISTA .....279

## 10 HAITTOJEN EHKÄISEMINEN JA LIEVENTÄMINEN .....280

|      |                                                                         |     |
|------|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 10.1 | Säteilysuojelliset suunnitteluperusteet .....                           | 280 |
| 10.2 | Häiriöiden ja onnettomuuksien ehkäiseminen ja seurausten hallinta ..... | 281 |
| 10.3 | Ulkoisten tapahtumien huomioon ottaminen suunnittelussa .....           | 282 |
| 10.4 | Pitkäaikaisturvallisuus .....                                           | 283 |
| 10.5 | Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusten vaikutusten hallinta .....        | 283 |
| 10.6 | Louhinnasta ja murskauksesta aiheutuvien vaikutusten hallinta .....     | 284 |

|       |                                                                                 |     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 10.7  | Maanpintayhteyksien rakentaminen.....                                           | 284 |
| 10.8  | Kapselointilaitoksen<br>vaikutusten hallinta.....                               | 284 |
| 10.9  | Maanalaiset loppusijoitustilat ja<br>loppusijoitustunnelien suojaetäisyydet ... | 284 |
| 10.10 | Loppusijoituspaikan soveltuvuuden<br>arviointiperusteet.....                    | 285 |
| 10.11 | Loppusijoitustilojen ja maanalaisen<br>loppusijoituslaitoksen sulkeminen.....   | 285 |
| 10.12 | Vaikutukset pohjavesiin .....                                                   | 286 |
| 10.13 | Laitoksen valvonta .....                                                        | 286 |
| 10.14 | Sosiaaliset vaikutukset .....                                                   | 287 |

## **11 HANKKEEN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN SEURANTA .....288**

|        |                                                                                                    |     |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 11.1   | Kuormitus- ja vaikutustarkkailu<br>loppusijoituslaitoksen rakentamisen ja<br>toiminnan aikana..... | 288 |
| 11.1.1 | Tähän mennessä havaitut<br>vaikutukset .....                                                       | 288 |
| 11.1.2 | Säteilyvaikutusten seuranta .....                                                                  | 289 |
| 11.1.3 | Muiden vaikutusten seuranta.....                                                                   | 289 |
| 11.2   | Sulkemisen jälkeinen seuranta.....                                                                 | 289 |

## **12 KIRJALLISUUS (KAIKKI).....291**



# 1 ESIPUHE

Posiva Oy (jäljempänä Posiva) toteutti vuosina 1997–1999 käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamista koskevan ympäristövaikutusten arviointimenettelyn (YVA-menettely), joka kattoi kuuden ydinvoimalaitosyksikön käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustarpeen (9 000 tonnia uraania, tU). YVA-selostuksen tiedot saatettiin ajan tasalle vuonna 2008 Olkiluoto 4 -laitosyksikön käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta koskevaa periaatepäätöshakemusta varten. Posiva suoritti vuosien 2008–2009 aikana myös kokonaan uuden YVA-menettelyn, jossa arvioitiin suunnitellun kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen loppusijoituskapasiteetin laajentamista 9 000 uraanitonniin 12 000 uraanitonniin Loviisa 3 -laitosyksikköä varten. Uusi YVA-selostus liitettiin Loviisa 3 -laitosyksikön käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta koskevaan Posivan periaatepäätöshakemukseen.

Vuonna 2010 valtioneuvosto antoi myönteiset periaatepäätökset sekä Olkiluoto 4 -laitosyksikön rakentamisen osalta että laitosyksikkö Olkiluoto 4:n käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamisesta Olkiluotoon. Eduskunta jätti nämä periaatepäätökset voimaan. Loviisa 3 -laitosyksikön rakentamishankkeen sekä sen käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamisen osalta valtioneuvosto on todennut antamissaan periaatepäätöksissä, että Loviisa 3 -laitosyksikön rakentaminen ja Olkiluotoon rakennettavan ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen rakentaminen siten laajennettuna, että laitoksessa voidaan käsitellä ja sinne loppusijoittaa Loviisa 3 -ydinvoimalaitosyksikön toiminnassa syntyvä käytetty ydinpolttoaine, ei ole yhteiskunnan kokonaisedun mukaista.

Valtioneuvoston 21. päivänä joulukuuta 2000 ja 17. päivänä tammikuuta 2002 tekemissä periaatepäätöksissä tarkoitetun, valtioneuvoston

antamien periaatepäätösten perusteella Olkiluotoon voidaan loppusijoittaa käytettyä ydinpolttoainetta enintään 9 000 tU.

Vuonna 2015 Olkiluoto 4 -laitosyksikön periaatepäätös raukesi, koska Olkiluoto 4 -projekti keskeytettiin. Samalla myös Posivan periaatepäätös Olkiluoto 4 -laitosyksikön käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamiselle raukesi. Tästä syystä Posivan rakentamislupa marraskuussa 2015 myönnettiin 6 500 tU käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamiselle, joka vastaa OL1-3 laitosyksiköiden ja LO1-2 laitosyksiköiden käytetyn ydinpolttoaineen määrää. Tälle määrälle Posiva hakee nyt käyttö lupaa.

Tämä raportti on ajan tasalle saatettu selvitys käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ympäristövaikutuksista, jossa tarkastelun kohteena on nyt 6 500 tU suuruisen käytetyn ydinpolttoainemäärän loppusijoittaminen. Selvitys sisältää ajantasaiset tiedot sekä kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ympäristövaikutuksista että niistä suunnitteluperusteista, joita Posiva aikoo noudattaa ympäristövahtien välttämiseksi ja ympäristörasituksen rajoittamiseksi. Selvitys on laadittu perustuen siihen tietämykseen, joka tällä hetkellä on käytettävissä kapselointi- ja loppusijoituslaitoksesta, sen sijoituspaikasta ja käytetyn ydinpolttoaineen ominaisuuksista ja käyttäytymisestä loppusijoitustilassa.

Loppusijoitushankkeen ympäristövaikutuksia on tarkasteltu laajasti. Painopiste on asetettu merkittäviksi arvioituihin ja koettuihin vaikutuksiin. Ympäristövaikutusten merkittävyttä on arvioitu muun muassa tarkastelualueella olevan asutuksen ja luonnonympäristön perusteella sekä vertaamalla ympäristön sietokykyä kunkin ympäristörasituksen suhteen.

## 2 TIIVISTELMÄ

Käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttämistä varten tarvitaan valtioneuvoston myöntämä käyttöluja. Tämä raportti muodostaa Posivan valtioneuvostolle jättämään käyttölujahakemukseen liitettävän ajantasaisen selvityksen kapselointi- ja loppusijoituslaitoshankkeen ympäristövaikutuksista. Selvitys perustuu 6 500 tU määrään käytettyä ydinpolttoainetta ja vuoden 2021 mukaiseen tietotasoon loppusijoitustoiminnasta ja sen ympäristövaikutuksista. Ympäristövaikutuksia arvioitaessa hankkeen vaikutuksia on tarkasteltu laajalti. Painopiste on asetettu merkittäviksi arvioituihin ja koettuihin vaikutuksiin. Edellinen ympäristövaikutusten selvitys -raportin päivitys toimitettiin valtioneuvostolle osana Posivan rakentamislupahakemusta.

Posiva, joka on Teollisuuden Voima Oyj:n (TVO) ja Fortum Power and Heat Oy:n (Fortum) omistama yhtiö, huolehtii omistajiensa käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustutkimuksista, kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamisesta ja käytöstä sekä laitoksen sulkemisesta käytön jälkeen. Lisäksi Posiva tarjoaa ydinjätehuollon asiantuntijapalveluja omistajilleen ja muille asiakkailleen Posiva Solutions Oy:n kautta.

### 3 HANKKEEN TARKOITUS, SIJAINTI JA AIKATAULU

Posivalle myönnettiin rakentamislupa käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamiseksi Eurajoen Olkiluotoon marraskuussa 2015. Posiva aloitti, rakentamisluvan ehtojen mukaisesti, ydinlaitoksen rakentamisen loppusijoituslaitoksessa joulukuussa 2016 ja näin ollen rakentamislupa on voimassa. Käytetty ydinpolttoaine loppusijoitetaan Olkiluodon kallioperään 400–450 metrin syvyydelle louhittaviin loppusijoitustiloihin. Tätä varten rakennetaan kapselointilaitos, jossa käytetty ydinpolttoaine kapseloidaan ja josta siirretään kapselihiissillä loppusijoituslaitokseen loppusijoitettavaksi.

Vuosien 2013–2024 aikana on tehty kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen vaatimia yksityiskohtaisia toteutussuunnitelmia, optimoitu loppusijoituksen teollisia ratkaisuja, kelpoistettu järjestelmiä ja rakennetaan kapselointi- ja loppusijoituslaitokset. Lisäksi on suunniteltu käyttöorganisaatiota ja sen toimintoja mukaan lukien myös valmius- ja turvajärjestelyt. Käyttölupahakemus jätetään siten, että valmius loppusijoituksen aloittamiseen on olemassa vuonna 2024. Tämän hetken suunnitelmien mukaan loppusijoitus päättyisi noin vuonna 2120.

## 4 LIITTYMINEN MUIHIN HANKKEISIIN JA SUUNNITELMIIN

TVO:lla on Eurajoen Olkiluodossa kaksi kiehu-  
tusvesireaktoria (OL1- ja OL2-laitosyksiköt), joi-  
den kummankin nimellissähköteho on 890 MWe  
(netto) ja painevesireaktori (OL3-laitosyksikkö),  
jonka nimellissähköteho on noin 1 600 MWe  
(netto). Olkiluodon voimalaitoksella oli vuoden  
2021 vuosihuoltojen jälkeen varastoituna käy-  
tettyä ydinpolttoainetta yhteensä 9 728 poltto-  
aine-elementtiä, jotka sisältävät noin 1 629,5  
tonnia uraania (tU).

Fortumin Loviisan ydinvoimalaitosyksiköt Lovii-  
sa 1 ja Loviisa 2 (LO1 ja LO2) sijaitsevat Häst-  
holmenin saarella Loviisassa, noin 80 kilometriä  
Helsingistä itään. Loviisan voimalaitoksella on  
kaksi painevesireaktoria, kumpikin nimellissäh-  
köteholtaan 496 MWe (netto). Loviisan voimalai-  
toksella oli vuoden 2021 vuosihuoltojen jälkeen  
varastoituna käytettyä ydinpolttoainetta yhteen-  
sä 6807 polttoaine-elementtiä, mikä vastaa noin  
794 tonnia uraania.



## 5 LOPPUSIJOITUSRATKAISUN KUVAUS

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitokseen on tarkoitus sijoittaa TVO:n Olkiluodon ja Fortumin Loviisan ydinvoimalaitoksilla kertynyt käytetty ydinpolttoaine pysyväksi tarkoitetulla tavalla. Käytetty ydinpolttoaine voidaan eristää elollisesta luonnosta loppusijoittamalla se noin 430 metrin syvyydelle kallioon tiiviisiin kuparikapseleihin, joissa on pallografiittivalurautainen sisäosa. Satojen metrien syvyys takaa riittävän eristyksen tulevien jääkausien aiheuttamilta vaikutuksilta.

Posivan loppusijoitusratkaisu perustuu Ruotsin ydinjätehuollosta vastaavan yhtiön Svensk Kärnbränslehantering AB:n (SKB) kehittämään periaateratkaisuun, joka tunnetaan nimellä KBS-3. Loppusijoitusratkaisun pitkäaikais-turvallisuuskonsepti perustuu moniesteperiaatteeseen eli useaan toisiaan varmistavaan vapautumisesteeseen siten, että yhden vapautumisesteen toimintakyvyn vajavaisuus ei vaaranna pitkäaikaisurvallisuutta.

Tekniset vapautumisesteet käsittävät kapselit, niitä ympäröivän savipuskurin, joka suojaa kapsleita kallioperän liikunnoilta ja pohjaveden sisältämiseltä, mahdollisesti korrodoivilta aineilta, ja loppusijoitustunnelien täyteaineen, joka tukee sekä puskuria että kalliota. Puskuri ja loppusijoitustunnelien täyttö rajoittavat lisäksi pohjaveden virtausta kapselin ympäristössä. Vapautumisteisiin kuuluu myös muita komponentteja, kuten muiden tilojen täytöt, loppusijoitustunnelien, keskustunnelien, kuilujen, ajotunnelien ja tutkimusreikien tulpat ja sulut. Ne on suunniteltu yhteensopiviksi kapselin, puskurin, loppusijoitustunnelien täyteaineen ja kallioperän kanssa sekä tukemaan näiden turvallisuustoimintoja.

### 5.1 VARMENTAVA TUTKIMUSVAIHE

Tutkimusvaihetta, jonka päätavoitteena on ollut hankkia kallioperästä tiedot loppusijoituspaikan ominaisuuksista kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen yksityiskohtaista suunnittelua varten, kutsutaan varmentavien tutkimusten vaiheeksi. Tätä varten Olkiluotoon on rakennettu loppusijoitusyvydelle ulottuva maanalainen tutkimustila, ONKALO®<sup>1</sup>.

ONKALO on käsittänyt spiraalinmuotoisen ajotunnelin, henkilö- ja ilmanvaihtokuilut, tutkimus-, testaus- ja demonstraatiotilat sekä teknisiä tiloja. Vuosien 2000–2020 välinen ajanjakso on ollut Olkiluotoon keskittyvää tutkimus-, kehitys- ja suunnitteluvaihetta. Maan alla tehtävillä tutkimuksilla on hankittu tarvittava tietämys käyttöluvan hakemiseksi. Tutkimusten yhteydessä on selvitetty kallioperän geologisia, kalliomekaanisia, termisiä, hydrogeologisia ja hydrogeokemiallisia ominaisuuksia sekä tutkittu mm. louhintavauriovyöhykettä. Tietoa on käytetty loppusijoitustunnelien ja -reikien sijoittelun suunnittelussa sekä turvallisuusperustelun lähtötietona.

### 5.2 RAKENTAMISVAIHE

ONKALOn maanalainen tutkimustila ja loppusijoitustilat on suunniteltu siten, että ONKALO voi toimia osana loppusijoituslaitosta, kun käytettyä ydinpolttoainetta sisältävien kapselien loppusijoitus aloitetaan noin vuonna 2025. Osa loppusijoituslaitoksen rakennusteknisistä töistä on tehty jo ONKALO:n rakennusvaiheessa. ONKALO:n rakentamisessa käytettävät työmenetelmät ja materiaalit on valittu niin, että ne ovat hyväksyttäviä myös loppusijoituslaitoksen kannalta.

Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitoskokonaisuus muodostuu maanpäällisestä ja maanalaisesta laitososasta. Maanalainen laitososa koostuu syvälle kallioon johtavista kulkureiteistä, siellä olevista tunneleista ja loppusijoitusrei'istä, joihin loppusijoituskapselit sijoitetaan, sekä tarvittavista maanalaisista aputiloista ja kulkuyhteyksistä. Maanpinnalta loppusijoitustilaan johtaa ajotunneli ja tarvittava määrä pystykuiluja ilmanvaihtoa, henkilöliikennöintiä ja kapselien siirtoa varten.

### 5.3 KÄYTTÖVAIHE

Käytettyä ydinpolttoainetta varastoidaan Fortumin Loviisan ydinvoimalaitoksen ja TVO:n Olkiluodon ydinvoimalaitoksen välivarastoissa vähintään 20 vuoden ajan ennen loppusijoitusta. Välivarastoista käytetty ydinpolttoaine

1 ONKALO on Posiva Oy:n rekisteröity tavaramerkki.

kuljetetaan Olkiluodossa sijaitsevaan kapselointi- ja loppusijoituslaitokseen kuljetuspakkausissa erikoissiirtoina ja -kuljetuksina. Kuljetus Loviisasta Olkiluotoon voi tapahtua joko meri- tai maantiekuljetuksina, tällä hetkellä suunnitelmassa kuljetukset tapahtuisivat maanteitse 2040-luvulla. Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetamista säädellään tarkoin kansallisin ja kansainvälisin määräyksiin ja sopimuksiin. Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetuksille on Suomessa haettava Säteilysurvakeskuksesta (STUK) kuljetuslupa. STUK tarkastaa kuljetussuunnitelman, kuljetuspakkauksen rakenteen, kuljetushenkilöstön pätevyyden sekä järjestelyt onnettomuuksiin ja vahingontekoihin varautumiseksi. Olkiluodon välivarastolta käytetyn ydinpolttoaineen kuljettaminen kapselointilaitokselle tapahtuu ydinvoimalaitosalueen sisäisenä siirtona.

Maanpäällisen laitoksen tärkein rakennus on kapselointilaitos. Kapselointilaitos on suunniteltu siten, että siellä pystytään käsittelemään Posivan omistajien ydinvoimalaitosyksiköiden käytetty ydinpolttoaine. Ydinvoimalaitosten välivarastoista kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle tuotu käytetty ydinpolttoaine pakataan kuparikapseleihin kapselointilaitoksessa ja siirretään sen jälkeen hissillä tai vaihtoehtoisesti ajotunnelia pitkin loppusijoitustilaan. Loppusijoitustila sijoittuu yhteen kerrokseen noin 430 metrin syvyyteen maanpinnasta.

Loppusijoitustilojen suunnitelmat perustuvat kapselien pystysijoitusratkaisuun (KBS-3V). Sen ohella kyseeseen voi tulla vaakasijoitusratkaisu (KBS-3H), jossa kapselit asennetaan vaakatasoon porattuihin tunneleihin.

Pystysijoitusratkaisussa loppusijoitustunnelien lattiaan porataan pystysuorat loppusijoitusreiät, joihin tiiviit ja korroosiota kestävät kapselit sijoitetaan. Kapselin ja kallion väliin jäävä tila täytetään kokonaisuudessaan molemmissa ratkaisuvaihtoehdoissa kapselit ympäröivillä puskureilla ja tunnelitäytöllä.

## 5.4 SULKEMISVAIHE JA LOPPUSIJOITETUN YDINPOLTTOAINEEN PALAUTETTAVUUS

Loppusijoitusosastoja suljetaan loppusijoitus toiminnan aikana sitä mukaa kun kapsелеita

loppusijoitetaan. Kun kaikki käytetty ydinpolttoaine on loppusijoitettu, kapselointilaitos puretaan, tunnelit täytetään täyteaineella ja maanpinnalle johtavat yhteydet suljetaan. Kun ydinjätehuoltovelvollinen on hyväksytysti sulkenut loppusijoitustilat ja suorittanut valtiolle maksun ydinjätteiden tulevasta tarkkailusta ja valvonnasta, siirtyy jätteiden omistusoikeus ja vastuu jätteistä valtiolle. Loppusijoitus on ydinenergialain mukaan kokonaisuudessaan toteutettava siten, ettei jälkivalvontaa tarvita turvallisuuden takaamiseksi.

Kallioon loppusijoitetun ydinpolttoaineen palauttaminen maanpinnalle on kuitenkin mahdollista, mikäli käytettävissä on riittävät tekniset ja taloudelliset resurssit. Palautettavuus tarjoaa tuleville sukupolville mahdollisuuden arvioida ratkaisua oman aikansa tietämyksen valossa. Palauttamisessa käytetään samoja tavanomaisia työtekniikoita ja menetelmiä kuin loppusijoitustiloja louhittaessa ja rakennettaessa. Kapselien palauttaminen loppusijoitustiloista maanpinnalle on mahdollista hankkeen kaikissa vaiheissa eli ennen loppusijoitusreiän täyttämistä, loppusijoitusreiän täyttämisen jälkeen ennen loppusijoitustunnelin sulkemista, loppusijoitustunnelin sulkemisen jälkeen ennen kaikkien tilojen sulkemista ja kaikkien tilojen sulkemisen jälkeen. Palauttaminen on helpointa heti ennen loppusijoitusreiän täyttämistä ja työläintä kaikkien tilojen sulkemisen jälkeen.

## 6 TUTKIMUS- JA RAKENTAMISAIKAISET SEKÄ KÄYTTÖTOIMINNAN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

### 6.1 KULJETUSTEN JA LIIKENTEEN VAIKUTUKSET

Posivan kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle suuntautuva liikenne muodostaa pienen osan Olkiluodon saaren liikenteestä (noin 5 % kokonaisliikennemäärästä), joten sillä ei ole suurta vaikutusta liikennemääriin eikä liikenteestä aiheutuviin vaikutuksiin.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle tuodaan käytettyä ydinpolttoainetta Olkiluodon ydinvoimalaitoksen sisäisten siirtojen lisäksi myös Loviisan ydinvoimalaitokselta. Loviisan ydinpolttoaineiden kuljetukset Olkiluotoon on suunniteltu tapahtuvan meri-, tai maantiekuljetuksina. Kuljetukset Loviisasta on suunniteltu alkavan 2040-luvulla.

Polttoainekuljetusten määrä riippuu ydinpolttoaineen määrästä, ja kuljetuspakkauksen koosta ja kuljetustavasta. Eri kuljetustapavaihtoehtoisissa pakokaasupäästöistä aiheutuvat ympäristövaikutukset ovat kuljetusten pienestä määrästä johtuen merkityksettömät.

Väestön saama säteilyannos kuljetusten yhteydessä on huomattavasti pienempi kuin mitä samana ajanjaksona aiheutuu normaalista luonnon taustasäteilystä. Kuljetussäiliöiden käsittelijöiden ja kuljetushenkilöstön altistuminen säteilylle kuljetuksissa voi kuitenkin olla tausta-altistusta suurempi. Säteilysuojelu on otettu huomioon kuljetusten suunnittelussa ja kuljetuksille myönnetään oma lupansa Säteilyturvakeskuksen toimesta.

Liikenneonnettomuuksista aiheutuvat säteilyannokset olisivat vähäiset. Vakavimmissa liikenneonnettomuuksissa seurauksena voisi olla jalokaasun ja muiden haihtuvien aineiden muodostama radioaktiivinen päästö. Realistisen onnettomuusskenaarion seurauksena käytetyn polttoaineen kuljetukset eivät aiheuta merkittävästi kohonnuttua säteilyaltistuksesta aiheutuvaa terveydellistä riskiä väestölle. (Suolanen ym. 2021)

### 6.2 VAIKUTUKSET MAANKÄYTTÖÖN, KULTTUURI- PERINTÖÖN, MAISEMAAN, RAKENNUKSIIN JA RAKENTEISIIN

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen normaali käyttö, odotettavissa olevat käyttöhäiriöt tai mahdolliset onnettomuudet eivät aiheuta rajoituksia maankäytölle maanpäällisen laitosalueen ulkopuolella.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen sulkemisluvan myöntämisen yhteydessä voidaan asettaa maankäytön rajoituksia, jotka merkitään asianomaisiin rekistereihin. Rajoitukset voivat koskea esimerkiksi kairaus- ja maankaivuutointia.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen maise-mavaikutukset jäävät vähäisiksi. Alueella ei ole valtakunnallisesti tai maakunnallisesti arvokkaita kulttuurihistoriallisia rakennuksia, merkittäviä rakennettuja kulttuuriympäristöjä tai muita kohteita. Olkiluodon alueelta ei ole löydetty muinaismuistikohteita.

### 6.3 VAIKUTUKSET MAA- JA KALLIOPERÄÄN SEKÄ POHJAVESIIN

Maanalaisen laitoksen tarvitsema pinta-ala, kun loppusijoitettava polttoainemäärä on 6 500 tU, on noin 150 hehtaaria. Loppusijoitustunnelien kokonaispituus on noin 35 kilometriä.

Loppusijoitettavan polttoainemäärän mukainen louheen kokonaistuotto on noin 1 250 000 kiintokuutiota. Louhetta syntyy käyttötoiminnan aikana vuosittain keskimäärin noin 10 000 kiintokuutiota. Maanalaisesta loppusijoitustilasta ylös tuotu kiviaines varastoidaan Olkiluodossa sijaitsevalla louheen läjitysalueella. Läjitetty kiviaines käytetään ensisijaisesti muihin käyttötarkoituksiin Olkiluodossa sellaisenaan täytömassana tai murskattuna ja/tai seulottuna murskemateriaalina. Yhtenä vaihtoehtona on myydä tunnelista saatavaa kiviainesta ulko-

puoliselle toimijalle joko sellaisenaan tai murskattuna.

Käytetyn ydinpolttoaineen jälkilämpö aiheuttaa kallion lämpötilan nousua, josta seuraa myös kallion lämpölaajenemista. Tästä johtuen loppusijoituslaitoksen yläpuolella voidaan havaita pienimuotoista maankohoamaan noin tuhan vuoden aikajaksolla käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamisen aloittamisesta, kunnes jälkilämpö on haihtunut pois.

Avoimiin tunnelitiloihin vuotaa pohjavettä, joka pumpataan maanpinnalle. Tämä alentaa pohjaveden painekorkeutta tunneliston ympärillä ja suuret vuotovesimäärät saattavat aiheuttaa myös pohjaveden pinnankorkeuden alenemista Olkiluodon saaren alueella. Vuotovesien määrää ja vaikutusten laajuutta vähennetään rakennustyön edetessä tiivistämällä kalliota tunnelien ympärillä. ONKALO:n ja loppusijoitustilojen vaikutusta pohjaveden pinnankorkeuteen on arvioitu numeerisen virtausmallinnuksen avulla. Virtausmallia päivitetään säännöllisesti ja tuloksia verrataan havaittuihin arvoihin. Sekä mallinnuksen että havaittujen tulosten perusteella ONKALO-alueen rakennustyöt ovat aiheuttaneet vain hyvin pieniä pysyviä muutoksia pohjaveden pinnankorkeuteen.

Pohjaveden kemiallisessa koostumuksessa on havaittu pieniä laimenemisen merkkejä kallion pintaosissa sekä viitteitä Korvensuon altaasta suotautuvasta vedestä. Syväällä kalliossa havaitut muutokset ovat olleet pieniä.

## 6.4 VAIKUTUKSET ILMANLAATUUN

Maarakennustyöt, työmaaliikenne sekä erillistoi-minnot (esim. kivenmurskaus ja louheen läjitys) aiheuttavat paikallista pölyämistä. Ajoneuvot ja työkoneet aiheuttavat päästöjä ilmaan. Nämä päästöt ovat määrältään vähäisiä eikä niillä ole vaikutusta ilmanlaatuun alueen ulkopuolella.

## 6.5 MELU- JA TÄRINÄVAIKUTUKSET

Maarakennustöistä, räjäytyksistä ja louheen käsittelystä ja murskauksesta sekä ajoneuvojen ja työkoneiden käytöstä aiheutuu melua ja tärinää. Tärinää ja melua aiheuttavat toiminnot toteutetaan siten, ettei niistä aiheudu merkittäviä vaikutuksia ympäristöön.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilaa rakennetaan sitä mukaa, kun käytettyä ydinpoltoainetta loppusijoitetaan. Loppusijoitustilojen louhinnasta syntyvä ääni ei kuulu laitosalueen ulkopuolelle. Rakennustöiden aikana louheen murskaus aiheuttaa melua päiväaikaan. Murskauksen aiheuttamalla melualueella ei ole melusta häiriintyviä kohteita. Vaikutukset eivät ole merkittäviä toimintojen lyhyen keston ja vaikutusalueen pienen ansiosta. Louheen murskaus päättyy, kun Olkiluodon kalliooperään sijoitettava käytetty ydinpolttoaine on loppusijoitettu. Mikäli louhintamenetelmissä päästään tulevaisuudessa käyttämään mekaanisia louhintamenetelmiä, ei louhetta ole tarpeen enää samassa laajuudessa murskata, koska mekaaninen louhinta tuottaa valmiiksi murskattua louhetta.

## 6.6 VAIKUTUKSET KASVILLISUUTEEN, ELÄIMIIN SEKÄ SUOJELUKOhteisiin

Hankkeen vaikutukset kasvillisuuteen ja eläimiin liittyvät pääasiassa rakennusten ja rakennelmien tarvitsemiin maa-alueisiin ja rakennustöihin. Loppusijoitustilojen käytön aikana ja sulkemisen jälkeen merkittäviä vaikutuksia ei ole. Pääosa kasveista ottaa vetensä kalliopinnan yläpuolisesta maavedestä. Tällöin maanalaisten tilojen mahdollisesti aiheuttama kalliopohjaveden alenema ei vaikuta kasveihin. Merkittävää vedenpinnan alenemaa maakeroksissa ei ole odotettavissa.

Loppusijoituksen vaikutuksia Liiklankarin Natura-alueeseen on tutkittu ja arvioitu Olkiluodon osayleiskaavoituksen yhteydessä. Natura-arvioinnin tuloksena on todettu, että yleiskaavoituksella Olkiluotoon mahdollistetut hankkeet (ml. kapselointi- ja loppusijoituslaitos) eivät merkittävällä tavalla vaikuta niihin luonnonarvoihin, joiden vuoksi Olkiluodon saaren etelärannalla sijaitseva Liiklankarin luonnonsuojelualue on otettu mukaan Natura 2000 -suojeluohjelmaan.

Liiklankarin metsä kuuluu lisäksi vanhojen metsien suojeluohjelmaan (suojeltu asetuksella 3.12.1993/1115) ja on valtion luonnonsuojelualueena. Luonnonsuojelualueilla on kielletty toimet, jotka saattavat vaikuttaa epäedullisesti alueiden luonnonoloihin, maisemaan taikka eläin- tai kasvilajien säilymiseen. Liiklankarille



tehdyn Natura-arvion perusteella voidaan todeta, että hanke ei myöskään aiheuta merkittävää haittaa suojellulle luonnonmetsä metsätyypille.

Loppusijoituslaitostoimintaan varatun alueen ulkopuolella luonnonvarojen hyödyntämistä, kuten sienestystä, marjastusta, metsästystä, kalastusta ja metsänhoitoa, voidaan jatkaa nykyiseen tapaan.

## 6.7 VAIKUTUKSET IHMISIIN JA SUHTAUTUMINEN KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUKSEEN

Käytetyn ydinpolttoaineen kapseloinnissa kapselointi- ja loppusijoituslaitokselta normaalilanteessa tapahtuvat radioaktiivisten aineiden päästöt ovat merkityksettömiä. Kapselointilaitoksella kerrallaan käsiteltävät radioaktiivisten aineiden määrät ovat pieniä verrattuna ydinvoimaloiden vastaaviin määriin.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen säteilyturvallisuutta ja päästöistä aiheutuvia säteilyannoksia arvioivat analyysit osoittavat, että normaalikäytössä vuosittaiset säteilyannokset jäävät merkityksettömän pieniksi eli edustavan henkilön säteilyannos on noin 0,001 % normaalitoiminnalle asetetusta vuosiansiannon rajoituksesta 0,01 mSv (vrt. luonnonsäteily noin 5,9 mSv / vuosi). (Räihä 2021.)

Suomalaisten suhtautumista ydinjätteisiin on tutkittu osana ”Suomalaisten energia-asenteet” -seurantatutkimusta. Tutkimussarjalla on selvitetty ja seurattu suhtautumista energiapoliittisiin kysymyksiin jo 37 vuoden (1983–2020) ajan. Ydinjätteisiin on aiemmissa tutkimuksissa todettu kohdistuvan selviä ennakkoluuloja. Vuonna 2020 tehdyssä tutkimuksessa yli kolmannes (36 %) katsoo ydinjätteiden loppusijoituksen Suomeen turvalliseksi. Epäileviä on hieman enemmän (38 %) väestöstä. Luottamus turvalliseen loppusijoitukseen on vuosikymmenten aikana pikku hiljaa parantunut. (Suomalaisten energia-asenteet 2020.)

Jyväskylän ja Tampereen yliopistojen vuonna 2008 toteuttaman tutkimuksen (Litmanen ym. 2010) mukaan Eurajoen asukkaista kolmannes katsoi saavansa tarpeeksi tietoa loppusijoituksesta, kolmannes oli asiasta eri mieltä ja kolmannes ei osannut arvioida asiaa. Posivaan luottavia

ja ei-luottavia oli yhtä suuri osuus (39 %) asukkaista. Tutkimuksen mukaan 42 % Eurajoen asukkaista on valmiita hyväksymään loppusijoituslaitoksen laajentamisen.

Vuosina 2007–2008 suoritettussa tutkimuksessa (Aho 2008) tarkasteltiin Eurajoen kuntalaisten luottamusta käytetyn ydinpolttoaineen turvalliseen loppusijoitukseen. Lomakekyselyn tulosten perusteella noin 40 % kyselyyn vastanneista Eurajoen kuntalaisista suhtautui käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen myönteisesti ja 12 % neutraalisti. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen sijoittaminen kotikuntaan pelotti kuitenkin kyselyn mukaan noin 45 % kuntalaisista.

Kesäkuussa 2008 tutkittiin eurajokelaisten loppusijoitusta koskevia mielipiteitä, asenteita ja mahdollisia huolia teemahaastattelututkimuksella (Pöyry Environment Oy 2008). Suurin osa haastatelluista suhtautui kapselointi- ja loppusijoituslaitokseen neutraalisti tai melko myönteisesti. Kalliosijoitusta pidettiin mahdollisista loppusijoitusvaihtoehdoista parhaana. Kuitenkin myös turvallisuusriskejä nähtiin, pääasiassa pidemmällä aikavälillä. Kukaan haastatelluista ei kokenut varsinaisia pelkoja loppusijoitukseen liittyen, vaikka joitain huolia olikin, esimerkiksi ydinjätteen kuljetuksien riskit. Kunnan kannalta positiivisena asiana nähtiin kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen vaikutukset työllisyyteen ja verotuloihin. Yksikään haastateltu ei kokenut, että loppusijoitukseen liittyvät huolet varjostaisivat omaa elämää tai aiheuttaisivat stressiä. Vain yksi haastateltu arvioi, että loppusijoituksesta saattaisi aiheutua vaaraa henkilökohtaiselle turvallisuudelle.

## 6.8 VAIKUTUKSET YHDYSKUNTA RAKENTEeseen, ALUE- TALOUTEEN JA EURAJOEN KUNNAN IMAGOON

Vuonna 2021 alkaneen rakentamisvaiheen suoran työllisyysvaikutuksen arvioidaan olevan yhteensä noin 1700 henkilötyövuotta. Loppusijoitustoiminnan eli tuotantovaiheen aikana suorat työllisyysvaikutukset ovat noin 130 henkilötyövuotta. Eurajoen kuntaan ja seudulle kohdentuvat työllisyysvaikutukset vaikuttavat merkittäväällä tavalla positiivisesti kunnan ja seudun työllisyyteen.

Vuonna 2007 laaditun selvityksen ”Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen aluetaloudelliset, sosioekonomiset ja kunnallistaloudelliset vaikutukset” (Laakso ym. 2007) mukaan kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen sijoittumispäätöksellä, Posivan siirtymisellä Eurajoelle, Vuojoen kartanon peruskorjauksella ja toiminnan uudistamisella sekä kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen tutkimusvaiheen ja ONKALON rakentamisen aloittamisella on ollut positiivinen vaikutus Eurajoella ja koko seudulla 2000-luvun alkuvuosina toteutuneeseen sosioekonomiseen, aluetaloudelliseen ja kunnallistaloudelliseen kehitykseen.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentaminen ja toiminta vaikuttavat Eurajoen kunnallistalouteen. Kiinteistövero merkitsee kunnan verotulopohjan vähittäistä vahvistumista kiinteistöveron noustessa rakentamisen aikana.. Tämä mahdollistaa kunnalle muihin kuntiin verrattuna vahvan vuosikatteen sekä poikkeuksellista liikkumavaraa, joka johtaa potentiaalisten muuttajien kannalta kunnan houkuttelevuuden kasvuun suhteessa seudun muihin kuntiin.

Laakson selvityksen mukaan hankkeen positiivisiin aluetaloudellisiin vaikutuksiin ollaan seudun kunnissa tyytyväisiä. Myönteisenä pidetään erityisesti sitä, että laitoksen rakentaminen ja toiminta ovat pitkäkestoista toimintaa, jossa vaikutukset ovat kohtuullisen hyvin ennakoitavissa ja jakautuvat pitkälle ajalle. Kapselointi- ja loppusijoituslaitokseen ennakoon liitetyt potentiaaliset negatiiviset ulkoisvaikutukset eivät ole toteutuneet. Käytettävissä olevan tiedon perusteella laitoshanke ei ole haitannut asukkaita eikä yrityksiä, ja Eurajoen kunnan tunnetuus sekä imago ovat vahvistuneet.

## 7 HÄIRIÖ- JA ONNETTOMUUSTILANTEIDEN VAIKUTUKSET

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella käsitellään kerrallaan vähäisiä määriä jäädytettyä käytettyä ydinpolttoainetta, joten säteilyannos harvinaisessa häiriö- tai onnettomuustilanteessa jäisi tästä syystä hyvin pieneksi.

Poikkeavissa tilanteissa tapahtuvan radioaktiivisuuden mahdollisen vapautumisen seurauksien analysoimiseksi kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle on määritetty odotettavissa olevia käyttöhäiriöitä ja oletettuja onnettomuustilanteita. Käyttöhäiriöt eroavat onnettomuustilanteista siten, että häiriötilanteiden seuraukset ovat onnettomuustilanteita lievemmat, mutta niitä voi tapahtua useammin. Tyypilliset häiriötilanteet ovat laitevikoja tai virhetoimintoja, joiden seurauksena voi vapautua aktiivisuutta sitä sisältävistä järjestelmistä. Tyypilliset onnettomuustilanteet ovat raskaan taakan putoamistilanteita, jossa käsiteltävänä oleva ydinpolttoaine voi vaurioitua.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suunnittelussa on otettava huomioon myös mahdollisina pidettävistä luonnonilmiöistä ja muista laitoksen ulkopuolisista tapahtumista aiheutuvat vaikutukset. Tällaisia luonnonilmiöitä ovat esimerkiksi salamaniskut, maanjäristys ja tulva. Muita huomioitavia laitoksen ulkopuolisia tapahtumia ovat sähkömagneettinen häiriö, lentokoneen törmäys, maastopalo ja räjähdys. Nämä uhkatilanteet otetaan huomioon kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suunnittelussa riittävällä tavalla.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakenteet toteutetaan siten, että sellaisetkaan ydinpolttoaineelle eri käsittelyvaiheissa mahdollisesti tapahtuvat onnettomuudet, jotka johtavat ydinpolttoaineen vaurioitumiseen, eivät aiheuta henkilökunnalle tai ympäristön asukkaille välitöntä terveydellistä vaaraa. Häiriötilanteissa radioaktiivisuutta voi vapautua rajattuihin kapselointilaitoksen tiloihin, joista päästö ohjataan ilmastoinnin avulla suodatettuna ulos. Loppusijoitustiloissa sellaiset käyttöhäiriöt ja onnettomuudet, joissa vapautuu radioaktiivisia aineita, ovat erittäin epätodennäköisiä.

Tehtyjen analyysien tuloksena voidaan todeta, että missään käsitellyssä tilanteessa säteilyan-

notukset eivät ylitä asetettuja säteilyannosrajoja, eli

- normaalikäytössä ympäristön väestön vuosittaiset säteilyannokset jäävät merkityksettömän pieniksi, edustavan henkilön säteilyannos on noin 0,001 % normaalitoiminnalle asetetusta vuosiannoksen rajoituksesta (raja 0,01 mSv)
- käyttöhäiriötilanteissa annokset jäävät myös merkityksettömiksi, edustavan henkilön säteilyannos on noin 0,002 % asetetusta vuosiannoksen rajoituksesta (raja 0,1 mSv)
- luokan 1 oletetuissa onnettomuuksissa annokset jäävät arvoon 0,0004 mSv (0,04 % raja-arvosta 1 mSv)
- luokan 2 oletetuissa onnettomuuksissa annokset jäävät arvoon 0,17 mSv (3,4 % raja-arvosta 5 mSv), herkkyytstarkasteluna analysoidussa tapauksessa 2,3 mSv (46% raja-arvosta 5 mSv)
- oletetun onnettomuuden laajennustilanteissa annokset jäävät arvoon 2,1 mSv (10,5 % raja-arvosta 20 mSv).

Analyysien perusteella voidaan todeta, että kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen normaalikäyttö, häiriötilanteet ja onnettomuudet eivät aiheuta vaaraa laitoksen henkilöstölle eivätkä ympäristön väestölle. Suurin annos aiheutuu aivan laitosalueen vieressä olettaen, että siinä asutaan vakituisesti, harjoitetaan maataloutta ja käytetään ravintoksi pääosin omia tuotteita. Pääosa annoksesta kertyy maahan laskeutuneista radionuklideista ravintoketjujen välityksellä samaan tapaan kuin häiriötilanteiden yhteydessä.

Laskeumasta tulevan ulkoisen säteilyannoksen merkitys kasvaa, kun tarkastelu aika pitenee. Ulkoinen altistus muodostaa valtaosan 50 vuoden kuluessa kertyvästä annoksesta. Annostasot vuoden aikana jäävät niin pieniksi, että välittömien terveysvaikutusten vaaraa ei ole. Väestöannosten perusteella myös myöhäisvaikutusten riski säilyy hyvin pienenä.

## 8 PITKÄAIKAISTURVALLISUUS

Vakaaseen peruskallioon noin 430 metrin syvyyteen sijoitetut, bentoniittisavella ympäröidyt, mekaanisesti vahvat ja korroosiota kestävät kapselit tulevat mitä todennäköisimmin pitämään kaikki radioaktiiviset aineet sisällään vähintään miljoonan vuoden ajan. Yksittäisten kapselien rikkoutumisen mahdollisuutta tänä aikana ei kuitenkaan voida kokonaan sulkea pois. Tällaisissa tapauksissa radioaktiiviset aineet voisivat hiljalleen vapautua ympäristöön. Kapselivuotoihin voisi johtaa alun perin viallisen kapselin joutuminen loppusijoitustiloihin, muutaman epäedullisiin paikkoihin sijoitetun kapselin rikkoutuminen voimakkaissa maanjäristyksissä, joita saattaa tapahtua jääkaudella jään vetäytymisvaiheissa, sekä hyvin laimeiden pohjavesien aiheuttama kapselia ympäröivän bentoniittisaven eroosio ja sitä seuraava kapselin syöpyminen.

Seuraavien satojen tuhansien vuosien aikana kapselirikkoja odotetaan kuitenkin tapahtuvan huonoimmassakin tapauksessa sen verran vähän, että niistä aiheutuvilla radioaktiivisten isotooppien päästöillä olisi vain hyvin pieni vaikutus ihmisiin ja muuhun elolliseen ympäristöön. Turvallisuusarvioissa on otettu huomioon myös radioaktiivisten aineiden vapautumiseen ja kulkeutumiseen vaikuttavat epävarmuudet. Teknisten ratkaisujen toteutuskelpoisuus ja riittävä laatu sekä turvallisuus osoitetaan kokeellisesti. Loppusijoitustilojen käyttöluvahakemusta tukeva täysimittainen turvallisuusperustelu perustuu näihin kokeisiin ja niiden tuloksiin. Vaatimusten toteutumista tarkastellaan lupahakemusta varten laaditussa, YVL D.5 mukaisesti tehdyssä turvallisuusperustelussa (SC-OLA). Sen mukaan todennäköisinä pidettävien kehityskulkujen seurauksena aiheutuvat vuotuiset säteilyannokset eniten altistuvillekin henkilöille jäävät seuraavien kymmenen tuhannen vuoden aikana selvästi alle YVL D.5 ohjeessa annetun rajan ja muiden ihmisten saamat annokset jäävät merkityksettömän pieniksi. Tämän jälkeen todennäköisinä pidettävistä kehityskuluista johtuvien radioaktiivisten aineiden päästöjen arvioidaan enimmilläänkin jäävän alle tuhannesosaan STUK:n asettamista enimmäisarvoista. Tämän lisäksi myös eliöstön sätei-

lyaltistus jää selvästi kansainvälisissä hankkeissa ehdotettua viitearvoa pienemmäksi. Aiheutuvat säteilyannokset ja radioaktiivisten aineiden vapautumisnopeudet on arvioitu ottaen huomioon mahdolliset satunnaiset poikkeamat loppusijoitusjärjestelmältä vaadituista toimintakykyvaatimuksista samoin kuin arvioinnissa käytettyjen laskentamallien ja lähtötietojen epävarmuudet.

Edellä esitetyt johtopäätökset perustellaan yksityiskohtaisesti STUK:lle toimitettavassa turvallisuusperusteluaineistossa ja myöhemmin tämän selvityksen luvussa 8.



## 9 YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN SEURANTA

Posiva seuraa loppusijoitushankkeen ympäristövaikutuksia osana Olkiluodon Monitorointiohjelmassa (OMO) (Posiva 2021a), jonka suunnittelussa on otettu huomioon tässä ja aiemmissa arviointiselostuksissa tunnistetut mahdolliset vaikutukset ympäristöön.

Ympäristövaikutusten seurannan tavoitteena on

- tuottaa tietoa hankkeen ympäristövaikutuksista
- selvittää, mitkä muutokset ovat seurauksia hankkeen toteuttamisesta
- selvittää, miten vaikutusten arvioinnin tulokset vastaavat todellisuutta
- selvittää, miten mahdollisten haittojen lieventämistoimet ovat onnistuneet
- käynnistää tarvittavat toimet, jos ennakkoimattomia, merkittäviä haittoja esiintyy.

Monitorointiohjelmassa ympäristövaikutusten seuranta toteutetaan lähinnä pintaympäristön monitoroinnin osa-alueen kautta, sen lisäksi pohjavesiolosuhteita monitoroidaan sekä hydrogeokemian että hydrologian ja hydrogeologian osa-alueiden osana.

Monitorointiohjelmassa kuuluu muiden kuin säteilyyn liittyvien kohteiden seuranta, kuten melu, kasvillisuus, eläimistö sekä pinta- ja pohjavedet. Tähän mennessä tehtyjä havaintoja ja arvioita loppusijoituksen aikaisista vaikutuksista on mainittu edellä.

Loppusijoitustoiminnan vaikutuksia ympäristön säteilytasoihin ja radionuklidipitoisuuksiin seurataan Olkiluodossa ympäristön säteilyvalvontaohjelmassa. Säteilyvaikutusten seuranta perustuu radioaktiivisten aineiden päästöjen ja pitoisuuksien sekä säteilyn annosnopeuden mittauksiin. Pitoisuuksia ja annosnopeuksia arvioidaan myös laskennallisesti muun muassa päästö- ja säätietojen avulla, koska on odotettavissa, että laitoksesta peräisin olevia radioaktiivisia aineita ei pienen määrän takia voida ympäristössä havaita. Odotettavissa olevat säteilyvaikutukset ovat niin pienet, ettei erityistä väestön terveydentilan seuranta katsota tarpeelliseksi: mahdollisia ter-

veyshaittoja ei kyettäisi havaitsemaan normaalin sairastavuuden joukosta (Smith 2016). Tarvittaessa ympäristön väestön terveydentilan vertaaminen kauempana asuvaan väestöön on kuitenkin mahdollista esimerkiksi Kansanterveyslaitoksen ylläpitämien tietojen avulla.

Radioaktiivisten aineiden pitoisuuksien ja säteilyn annosnopeuden seuranta on aloitettu jo ennen loppusijoitustoimintaa ympäristön radioaktiivisuuden perustilaselvityksen muodossa vertailutietojen saamiseksi eri suunnilta ja etäisyyksiltä. Pitoisuuksia mitataan ilmasta, vedestä, maaperästä, eliöistä, maataloustuotteista, keräilytuotteista ja riistasta. Myös säätietoja ja muita vaikutusten laskennallisessa arvioinnissa tarvittavia tietoja kerätään, kuten jo nykyisinkin.

Loppusijoitusvaiheessa mitataan radioaktiivisten aineiden päästöjä ympäristöön. Tyypillisiä mitauspaikkoja ovat ilmastointi-ilman ja jätevesien poistoreitit. Jo aloitettuja pitoisuuksien ja annosnopeuden mittauksia jatketaan.

Sulkemisen jälkeinen ympäristövaikutusten seuranta voi sisältää muun muassa radioaktiivisuuden mittausta maanpinnalta ja syvistä kairarei'istä. Rei'istä voidaan myös seurata pohjaveden pinnankorkeuksia, virtauksia, kemialla, lämpötilaa ja niin edelleen. Maan pinnalta voidaan geofysikaalisilla mittauksilla seurata mikromaanjärityksien esiintymistä. Ydinmateriaalin koskemattomuuden vaarantaminen lainvastaisella toiminnalla vaatisi maanpinnalla näkyviä toimia. Toimet voitaisiin havaita ja niitä voitaisiin valvoa kansainvälisesti esimerkiksi satelliiteista.

## SANASTO

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ajotunneli         | Kallioperässä maanpinnalta loppusijoitustasolle kaltevuudella 1:10 kulkeva vinoajotie (ramppi). Maanalaisen tutkimustilan, ONKALOn, pääkulkuyhteys.                                                                                                                                                                           |
| Aktiivisuus        | Aktiivisuus ilmaisee radioaktiivisessa aineessa tietyssä ajassa tapahtuvien ydinhajoamisten lukumäärän. Aktiivisuuden yksikkö on becquerel (Bq), joka tarkoittaa yhtä hajoamista sekunnissa.                                                                                                                                  |
| Annosnopeus        | Annosnopeus ilmaisee, kuinka suuren säteilyannoksen ihminen saa tietyssä ajassa.                                                                                                                                                                                                                                              |
| Asemakaava         | Maankäyttö- ja rakennuslain mukaisessa asemakaavassa annetaan yksityiskohtaiset määräykset alueen käytön järjestämisestä.                                                                                                                                                                                                     |
| Bentoniitti        | Luonnosta löytyvä savilaji, joka on syntynyt vulkaanisen tuhkan muuntumistuloksena. Bentoniittisaven erityisominaisuutena on sen paisuminen kostumisen (vettymisen) seurauksena. Bentoniittia on suunniteltu käytettäväksi puskurimateriaalina kapselin ja kallioperän välissä sekä yhtenä loppusijoitustilojen täyteaineena. |
| Becquerel (Bq)     | Aktiivisuuden mittayksikkö, joka tarkoittaa yhtä radioaktiivista hajoamista sekunnissa. Elintarvikkeiden radioaktiivisten aineiden pitoisuudet ilmaistaan becquereleina massa- tai tilavuusyksikköä kohti (Bq/kg tai Bq/l).                                                                                                   |
| Biosfääri          | Elonkehä; maapallon pinnan osa, jossa elämä on mahdollista. Käytetään loppusijoituspaikan tutkimuksessa ja turvallisuuden arvioinnissa (erotukseksi kallioperästä) ja sisältää elollisen luonnon, maaperän ja siinä olevan pohjaveden, vesistöt sekä ilmakehän.                                                               |
| BWR                | Kiehutusvesireaktori (Boiling Water Reactor). Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2 ovat kiehutusvesireaktoreita.                                                                                                                                                                                                                        |
| Desibeli (dB)      | Äänenvoimakkuuden yksikkö. Kymmenen desibelin nousu melutasossa tarkoittaa äänen energian kymmenkertaistumista. Ympäristömelumittauksissa käytetään tyypillisesti A-painotusta dB(A), jonka avulla painotetaan sellaisia äänen taajuuksia, jotka ihmisen korva aistii herkimmin.                                              |
| Diffuusio          | Ilmiö, jossa molekyylit pyrkivät siirtymään väkevämmästä pitoisuudesta laimeampaan tasoittaan mahdolliset pitoisuuserot ajan mittaan.                                                                                                                                                                                         |
| Efektiivinen annos | Säteilylle alttiiksi joutuneiden kudosten ja elinten ekvivalenttiannosten painotettu summa. Efektiivisen annoksen yksikkö on sievert (Sv).                                                                                                                                                                                    |
| Ekvivalenttiannos  | Ekvivalenttiannos on absorboituneen annoksen ja säteilyn laatulajin tulo, jonka yksikkö on sievert (Sv). Ekvivalenttiannosten avulla voidaan verrata eri ionisoivien säteilylajien aiheuttamia säteilyannoksia.                                                                                                               |
| EPR                | EPR (European Pressurized Water Reactor) on kehittynyt versio kolmannen sukupolven painevesireaktorista, jossa varsinkin turvallisuuskysymyksiin on kiinnitetty erityisesti huomiota. Olkiluoto 3 –ydinvoimalaitosyksikkö on EPR-tyyppinen painevesireaktori.                                                                 |
| EURATOM            | Euroopan unionin (EU) Euroopan atomienergiayhteisö (European Atomic Energy Community), jonka jäsen Suomi on.                                                                                                                                                                                                                  |

|                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gray (Gy)                         | Absorboituneen annoksen mittayksikkö, jolla ilmaistaan, paljonko energiaa ionisoiva säteily luovuttaa kohdeaineeseen. 1 Gy = 1 joule/kg.<br>Kerrannaisyksiköt mGy = 1/1 000 grayta ja µGy = 1/1 000 000 grayta.                                                                                                           |
| Hydrogeokemiallinen malli         | Pohjaveden kemiallisten ominaisuuksien ja niihin vaikuttavien prosessien mallinnettu kuvaus.                                                                                                                                                                                                                              |
| Hydrogeologinen malli             | Pohjaveden fysikaalisten ominaisuuksien ja olosuhteiden sekä virtauksen mallinnettu kuvaus.                                                                                                                                                                                                                               |
| IAEA                              | Kansainvälinen atomienergiajärjestö (International Atomic Energy Agency).                                                                                                                                                                                                                                                 |
| ICRP                              | Kansainvälinen säteilysuojelutoimikunta (International Commission on Radiological Protection).                                                                                                                                                                                                                            |
| Ionisaatio                        | Atomin elektronirakenteen muutos, joka voi aiheuttaa muutoksia molekyyileissä, esimerkiksi DNA:ssa.                                                                                                                                                                                                                       |
| Ionisoiva säteily                 | Lyhytaaltainen sähkömagneettinen säteily ja hiukkassäteily, jotka aiheuttavat ionisaatiota suoraan tai välillisesti.                                                                                                                                                                                                      |
| Jälleenkäsittely                  | Hyödyllisten nuklidien erottaminen käytetystä ydinpolttoaineesta. Jäljelle ääivät fissiotuotteet ja osa transuraaneista.                                                                                                                                                                                                  |
| Kapseli                           | Kuparikuoresta, pohjasta ja kansista sekä valurautaisesta sisäosasta muodostuva käytettyjen polttoaine-elementtien loppusijoitukseen tarkoitettu tekninen vapautumiseste.                                                                                                                                                 |
| KBS-3                             | Ruotsin ydinjätehuollosta vastaavan yhtiön SKB:n kehittämä loppusijoituksen periaateratkaisu. KBS on lyhenne sanasta KärnBränsleSäkerhet (ydinpolttoaineen turvallisuus).                                                                                                                                                 |
| KBS-3H                            | Loppusijoituksen periaateratkaisu, joka perustuu moniesteperiaatteeseen. Ensimmäinen vapautumiseste eli kapseli sijoitetaan kalliooperään vaaka-asentoon (H=horizontal eli vaaka).                                                                                                                                        |
| KBS-3V                            | Loppusijoituksen periaateratkaisu, joka perustuu moniesteperiaatteeseen. Ensimmäinen vapautumiseste eli kapseli sijoitetaan kalliooperään pystyasentoon (V=vertical eli pysty). Posivan tämänhetkisten suunnitelmien mukaan loppusijoituskapselit tullaan sijoittamaan loppusijoitustunneleihin porattuihin pystyreikiin. |
| kgU                               | Kiloa urania tai uraanikilo. Tarkoittaa tuoreen ydinpolttoaineen uraanimäärää. Käytetyssä ydinpolttoaineessa tästä uranista on jäljellä 95–96 %. Loppuosa on muuttunut fissiotuotteiksi, plutoniumiksi ja muiksi transuraaneiksi.                                                                                         |
| Kollektiivinen efektiivinen annos | Efektiivinen kokonaissäteilyannos, joka aiheutuu jollekin tietylle ihmisryhmälle. Sen yksikkö on mansievert (manSv).                                                                                                                                                                                                      |
| KPA-varasto                       | Käytetyn ydinpolttoaineen välivarasto.                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| KTM                               | Kauppa- ja teollisuusministeriö, jonka tehtävät siirtyivät 1.1.2008 toimintansa aloittaneelle työ- ja elinkeinoministeriölle (TEM).                                                                                                                                                                                       |

|                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kuljetussäiliö                                 | Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetuksiin ja lyhytaikaiseen säilytykseen tarkoitettu säteilysuojattu erikoisvalmistainen säiliö. Säteilysuojan lisäksi säiliö on mekaaninen ja lämpötekninen suoja käytetyn polttoaineen kuljetuksen, käsittelyn ja varastoinnin aikana. Voidaan käyttää myös termiä siirtosäiliö.                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Käytetty ydinpolttoaine                        | Ydinpolttoainetta sanotaan käytetyksi, kun se on poistettu reaktorista. Käytetty ydinpolttoaine on voimakkaasti säteilevää.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Luonnon taustasäteily                          | Luonnon radioaktiivisista aineista ja avaruudesta peräisin oleva säteily.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Mansievert (manSv)                             | Kollektiivisen annoksen yksikkö. Jos esimerkiksi 1 000 hengen suuruudessa väestöryhmässä jokainen saa keskimäärin 20 millisievertin säteilyannoksen, kollektiivinen annos on $1\,000 \times 0,02\text{ Sv} = 20\text{ manSv}$ .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Moniesteperiaate                               | Loppusijoittamisen toteuttaminen siten, että radionuklidien on läpäistävä useita peräkkäisiä toisistaan riippumattomia esteitä ennen kuin ne voivat päästä elollisen luonnon piiriin.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Megawatti (MW)                                 | Tehoyksikkö ( $1\text{ MW} = 1\,000\text{ kW}$ ).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Natura 2000                                    | EU:n luontodirektiivin mukainen luonnonsuojelukohteiden verkosto, jonka tavoitteena on suojella erityisesti Euroopan luonnon uhanalaisia, harvinaisia tai luonteenomaisia luonnonympäristöjä sekä eläimiä ja kasveja.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Nuklidi                                        | Nuklidi on atomin ydin, jolla on määrätty protoniluku (Z) ja määrätty neutroniluku (N).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitos | Ydinlaitoskokonaisuus, joka muodostuu kahdesta ydinjätelaitoksesta; maanpäällisestä kapselointilaitoksesta ja kallioperään louhittavasta loppusijoituslaitoksesta, johon kuuluvat myös sitä palvelevat maanpäälliset rakennukset. Kapselointilaitoksessa käytetty ydinpolttoaine sijoitetaan loppusijoituskapseliin ja kapseli suljetaan. Kapseloitu käytetty ydinpolttoaine loppusijoitetaan loppusijoituslaitokseen.                                                                                                                                                                                      |
| ONKALO                                         | Termiä käytettiin alun perin käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen maanalaisen kallioperän tutkimustilalle, nykyään loppusijoitustilaa kutsutaan kokonaisuutena ONKALoksi.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Palama                                         | Palama on suure, joka kertoo, kuinka paljon lämpöenergiaa polttoaine on tuottanut yhtä uraanikiloa kohti. Palaman yksikkö on MWd/kgU (megawattipäivää uraanikiloa kohti).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Polttoaine-elementti                           | Polttoaine-elementillä tarkoitetaan Posivan loppusijoitettavaksi tulevaa ydinpolttoaine-yksikköä. Polttoaine-elementti voi muodostua polttoainenipusta ja -kanavasta (BWR, VVER) tai polttoainenipusta (PWR) tai ilman polttoainekanavaa olevasta BWR-polttoainenipusta. Polttoainenippu koostuu polttoainesauvoista, joihin ydinpolttoaineena käytettävä uraani on sijoitettu. Polttoainesauvat on koottu yhteen välitukien ja päätykappaleiden avulla. Joissain polttoainetyypeissä nippua ympäröi metallinen kotelo, jota kutsutaan virtauskanavaksi (tai VVER-polttoaineen tapauksessa suojakoteloksi). |
| Posivan kapselointi- ja loppusijoituslaitos    | Posivan ydinlaitoskokonaisuus kattaen kapselointilaitoksen ja loppusijoituslaitoksen sekä muut niiden toiminnassa tarpeelliset rakenteet.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |



|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PWR                | Painevesireaktori (Pressurized Water Reactor). Olkiluoto 3 –laitosyksikkö on tyypiltään PWR, vaikkakin sen kaupallinen nimi on EPR.                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Radioaktiivinen    | Radioaktiivinen aine sisältää atomiytimiä, jotka voivat muuttua tai hajota itsestään toiseksi ytimiksi. Hajoamisen yhteydessä syntyy tavallisesti ionisoivaa säteilyä (esim. alfa-, beeta- ja gammasäteilyä). Ks. radioaktiivisuus.                                                                                                                                                                                       |
| Radioaktiivisuus   | Atomiytimen (nuklidin) ominaisuus muuttua itsestään toiseksi ytimeksi (nuklidiksi). Radioaktiivinen ydin voi lähettää alfa- tai beetahiukkasen muuttuen toiseksi ytimeksi, joka puolestaan voi lähettää sähkömagneettista säteilyä. Muuttumista kutsutaan radioaktiiviseksi hajoamiseksi. Kullakin atomiytimellä (nuklidilla) on sille ominainen hajoamiskäyri (puoliintumisaika).                                        |
| Radionuklidi       | Radioaktiivinen nuklidi. Ks. nuklidi.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Radon              | Rn-222. Radioaktiivinen kaasu, jolla ei ole yhtään pysyvää isotooppia. Kallioperässä olevan uraanin hajoamistuotteena syntyvä Rn-222 aiheuttaa suurimman osan luonnonsäteilyaltistuksesta Suomessa.                                                                                                                                                                                                                       |
| Richterin asteikko | Matemaattinen logaritminen asteikko, jolla mitataan maanjäristysten voimakkuutta (magnitudia).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Sievert (Sv)       | Ekvivalenttiansiön ja efektiivisen ansiön yksikkö. Suure, jolla kuvataan ihmiseen kohdistuvan säteilyn (säteilyansiön) tilastollisia haittavaikutuksia. Sievert on hyvin suuri yksikkö. Siksi ansiöistä puhuttaessa käytetään yleensä joko millisievertejä (mSv) tai mikrosievertejä (µSv). Yksi sievert on 1 000 millisievertiä eli 1 000 000 mikrosievertiä.                                                            |
| SR-Site            | Ruotsin ydinjätehuollosta vastaavan yhtiön, SKB:n, vuonna 2011 julkaisema turvallisuusarvio, joka keskittyy KBS-3V –loppusijoitusratkaisuun Forsmarkissa. Suurin osa turvallisuusarviosta soveltuu pitkälti myös Olkiluodon loppusijoitustiloihin, koska tekninen ratkaisu ja loppusijoituspaikan pääpiirteet ovat samanlaiset.                                                                                           |
| STUK               | Säteilyturvakeskus.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Säteilyannos       | Säteilyannos on suure, jolla kuvataan ihmiseen kohdistuvan säteilyn haitallisia vaikutuksia. Säteilyansiön yksikkö on sievert (Sv). Säteilyannosta kutsutaan usein lyhyesti ansiöksi.                                                                                                                                                                                                                                     |
| TEM                | Työ- ja elinkeinoministeriö, jolle kauppa- ja teollisuusministeriön (KTM) tehtävät siirtyivät 1.1.2008.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| tU                 | Tonnin uraania tai uraanitonni.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Uraani             | Alkuaine, jonka kemiallinen merkki on U. Uraania on maan kuorella 0,0004 % kaikista aineista (neljä grammaa tonnissa). Kaikki uraanin isotoopit ovat radioaktiivisia. Suurin osa luonnonuraanista on isotooppia U-238, jonka puoliintumisaika on 4,5 miljardia vuotta. Ydinvoimalaitoksen polttoaineeksi soveltuva uraani-235:ä on luonnonuraanin massasta 0,71 %. Uraani-235:n puoliintumisaika on 700 miljoonaa vuotta. |
| Vapautumisesta     | Vapautumisesta tarkoitetaan estää radionuklidien kulkeutumista loppusijoitusjärjestelmässä. Vapautumisesta ovat esimerkiksi kapseli, bentoniittipuskuri ja kallioperä. Vapautumisesta käytetään myös nimitystä päästöeste.                                                                                                                                                                                                |
| VLJ-luola          | Matala- ja keskiaktiivisen voimalaitosjätteen loppusijoitustila.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| VTT                | Teknologian tutkimuskeskus VTT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

|                |                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VVER-440       | Loviisa 1:n ja Loviisa 2:n reaktortyyppi (painevesireaktori).                                                                                                                                                                       |
| Väkevöintiaste | Uraani-isotoopin U-235 suhde uraanin kokonaismäärään.<br>Luonnonuraanissa isotooppia U-235 on 0,72 %. Kevytvesireaktoreiden polttoaineen väkevöintiaste on 3–4 %.                                                                   |
| YVA            | Ympäristövaikutusten arviointi. YVA-lain mukainen menettely eli YVA-menettely.                                                                                                                                                      |
| YVL-ohje       | YVL-ohje (ydinvoimalaitosohje) on Säteilyturvakeskuksen julkaisema viranomaisohje, jossa kuvataan säteily- ja ydinturvallisuusvalvonnan vaatimustasoa. Ydinenergian käyttöä koskevat turvallisuusvaatimukset kuvataan YVL-ohjeissa. |

# 1 SELVITYKSEN TAUSTA JA TARKOITUS

## 1.1 NYKYISET PÄÄTÖKSET JA MENETTELYT

Posiva Oy (Posiva) toteutti vuosina 1997–1999 YVA-menettelyn käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukselle. Tuolloin menettely kattoi kuuden ydinvoimalaitosyksikön tuottaman käytetyn ydinpolttoaineen määrän; yhteensä 9 000 uraanitonnia (tU).

Posiva esitti vuonna 1999 valtioneuvostolle jättämässään periaatepäätöshakemuksessaan, että käytössä olevien Olkiluodon ja Loviisan ydinvoimalaitosten käytetty ydinpolttoaine tulitisiin loppusijoittamaan Eurajoen Olkiluodon kallioperään KBS-3-konseptia käyttäen.

Valtioneuvosto teki asiasta myönteisen periaatepäätöksen joulukuussa 2000, ja eduskunta vahvisti sen toukokuussa 2001. Periaatepäätöksen mukaan kapselointi- ja loppusijoituslaitoksessa voidaan käsitellä ja loppusijoittaa enintään 4 000 tU vastaava määrä käytettyä ydinpolttoainetta. Suomeen rakennettavasta viidennestä ydinvoimalaitosyksiköstä (Olkiluoto 3) tehtiin myönteinen periaatepäätös vuonna 2002. Samassa yhteydessä tehtiin Posivan aiempaan hakemukseen perustuen periaatepäätös käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen rakentamisesta laajennettuna siten, että myös Olkiluoto 3:n käytetty ydinpolttoaine voidaan loppusijoittaa sinne. Tämän periaatepäätöksen nojalla loppusijoitustiloja voidaan rakentaa enintään 2 500 tU. Näin ollen vuosien 2000 ja 2002 periaatepäätösten perusteella käytettyä ydinpolttoainetta voidaan käsitellä ja loppusijoittaa Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitoksessa yhteensä enintään 6 500 tU.

Vuoden 2008 alkupuoliskolla Posiva laati ajantasaisen selvityksen loppusijoituslaitoksen ympäristövaikutuksista. Aiemmin toteutettu YVA kattoi jo kuudennen ydinvoimalaitoksen käytetyn ydinpolttoaineen määrän, mutta yhteysviranomaisen katsoi, että YVA-selostuksen tiedot tuli päivittää ajantasaisiksi. Päivitetty selvitys liitettiin Olkiluoto 4 -laitosyksikön käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta koskevaan periaatepäätöshakemukseen.

Posiva toteutti vuosien 2008–2009 aikana myös kokonaan uuden YVA-menettelyn loppusijoitustilan kapasiteetin korottamiseksi 3 000 tU:lla. Uusi ympäristövaikutusten arviointiselostus liitettiin Loviisa 3 -laitosyksikön käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta koskevaan periaatepäätöshakemukseen.

Samaan aikaan Olkiluoto 4 -laitosyksikön käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen periaatepäätöshakemuksen kanssa oli käsitellyssä hakemus Loviisa 3 -laitosyksikön käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamisesta. Valtioneuvosto teki 21.4.2010 myönteisen periaatepäätöksen Olkiluoto 4 -laitosyksikön käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamisesta Olkiluotoon. Eduskunta vahvisti päätöksen 1.7.2010. Fortumin Loviisa 3 -laitosyksikön rakentamishankkeen sekä sen käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamisen osalta valtioneuvosto on todennut antamissaan periaatepäätöksissä 6.5.2010, että Loviisa 3 -laitosyksikön rakentaminen ei ole yhteiskunnan kokonaisedun mukaista eikä yhteiskunnan kokonaisedun mukaista ole myöskään käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen rakentaminen Olkiluotoon siten laajennettuna, että laitoksessa voidaan käsitellä ja sinne loppusijoittaa Loviisa 3:n toiminnassa syntyvä käytetty ydinpolttoaine. Valtioneuvoston antamien periaatepäätösten perusteella Olkiluotoon voidaankin loppusijoittaa käytettyä ydinpolttoainetta enintään 9 000 tU.

Myöhemmin vuonna 2015 Olkiluoto 4 -laitosyksikön periaatepäätös raukesi, koska projekti keskeytettiin. Samalla Posivan periaatepäätös Olkiluoto 4 -laitosyksikön käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamiselle raukesi. Näin ollen Posivalle myönnettiin vuoden 2015 marraskuussa rakentamislupa 6 500 tU käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamiselle. Tälle samalle määrälle Posiva hakee nyt käyttöilupaa.

Olkiluodolla sijaisevien laitosyksiköiden (OL1, OL2 ja OL3) käyttöluvista on otettu huomioon Posivan ydinlaitoksilla syntyvien käyttöjätteiden käsittely ja varastointi. Posivan käyttöjätteiden loppusijoitus on otettu huomioon myös Olkiluodolle suunnitellun maaperäloppusijoituksen luovuttamisessa ja VLJ-luolan käyttöluvan ehtojen

muuttamisessa, jotka on suunniteltu toteutettavan 2020-luvun alkupuoliskolla. Posiva luovuttaa käyttöjätteidensä huolehtimisvelvollisuuden TVO:lle ja TVO tulee huolehtimaan Posivan käyttöjätteistä vakiintuneiden käytäntöjensä mukaisesti.

## 1.2 SELVITYKSEN TARKOITUS

Käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttämistä varten tarvitaan valtioneuvoston myöntämä käyttö lupa. Tämä raportti on ajantasainen selvitys loppusijoitustoiminnan ympäristövaikutuksista, ja se liitetään valtioneuvostolle jätettävään käyttö lupahakemukseen. Selvitys perustuu 6 500 tU määrään käytettyä ydinpolttoainetta ja vuoden 2021 mukaiseen tietotasoon loppusijoitustoiminnasta ja sen ympäristövaikutuksista. Edellinen ympäristövaikutusten selvitys raportin päivitys toimitettiin valtioneuvostolle osana Posivan rakentamislupahakemusta.



## 2 LOPPUSIJOITUSHANKE

### 2.1 TOIMINTAVAIHTOEHDOT VÄLIVARASTOINNIN JÄLKEEN

#### 2.1.1 SUOMEN NYKYISEN TOIMINTAVAIHTOEHDON TAUSTA

Ihmisten ja ympäristön suojelemiseksi käytetty ydinpolttoaine on pidettävä eristettynä luonnosta. Nykyiset välivarastot täyttävät tämän tavoitteen. Varastojen käyttöä voidaan turvallisesti jatkaa vuosikymmeniä asianmukaisin huolto- ja ylläpitotoimin. Välivarastoja ei kuitenkaan ole tarkoitettu lopullisiksi ratkaisuiksi, vaan tavoitteena on löytää käytetyn ydinpolttoaineen huollolle pysyvä ratkaisu.

Yhtenä vaihtoehtona on aikanaan esitetty ydinpolttoaineen jälleenkäsittelyä. Jälleenkäsittelyssä käytetyn ydinpolttoaineen jäljellä oleva uraani ja syntynyt plutonium erotetaan uudelleenkäyttöä varten. Uudelleenkäyttö suunniteltiin tapahtuvaksi joko samoissa tai samanlaisissa reaktoreissa tai myöhemmin niin sanotuissa hyötöreaktoreissa. Jälleenkäsittelystä syntyy kuitenkin ydinjätettä, joiden jätehuolto on järjestettävä.

Loviisan reaktoreiden käytetyn ydinpolttoaineen palauttamisesta Neuvostoliittoon (Venäjälle) sovittiin neuvostoliittolaisten aloitteesta voimailtoskaupan yhteydessä. Neuvostoliitossa oli pyrkimyksenä käytetyn ydinpolttoaineen sisältämien hyödyllisten aineiden uudelleenkäyttö.

Myös Olkiluodon reaktoreiden käytetyn ydinpolttoaineen jälleenkäsittelyvaihtoehtoja selvitettiin ja jälleenkäsittelysopimuksista neuvoteltiin ulkomaisten yhtiöiden kanssa. Jälleenkäsittelykapasiteettia oli kuitenkin tarjolla niukasti ja palveluista pyydytetyt hinnat korkeita. Lisäksi sopimukset olisivat edellyttäneet jälleenkäsittelyssä syntyneiden ydinjätteiden palauttamista Suomeen. Kun uraanin hinnat 1980-luvun alussa kääntyivät laskuun eikä jälleenkäsittelyssä erotetun uraanin tai plutoniumin hyötykäytöstäkään ollut takeita, jälleenkäsittelysopimuksia ei solmittu. Vähäisen tarpeen vuoksi jälleenkäsittelylaitoksen rakentamista Suomeen ei ole koskaan edes harkittu.

Vuonna 1994 ydinenergialakia muutettiin siten, että Suomeen ei saa enää tuoda eikä Suomesta saa viedä ydinjätteitä toiseen maahan. Loviisan ydinpolttoaineen palauttaminen Venäjälle loppui vuonna 1996 ydinjätteen tuonti- ja vientikiellon seurauksena. Lakimuutoksen seurauksena Suomessa on päädytty käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusratkaisun kehittämiseen.

#### 2.1.2 SUORA LOPPUSIJOITUS

Posivan loppusijoitussuunnitelmat perustuvat KBS-3-konseptiin, joka on Ruotsin ydinjätehuollosta vastaavan yhtiön Svensk Kärnbränslehantering AB:n (SKB) kehittämä. Toteutuksen lähtökohtana on moniesteperiaate. Radioaktiiviset aineet ovat useiden toisiaan varmentavien vapautumisesteiden sisällä siten, että yhden esteen vajavuus tai ennustettavissa oleva geologinen tai muu muutos ei vaaranna eristyksen toimivuutta. Ratkaisu ei vaadi tulevilta sukupolvilta huolenpitoa tai valvontaa.

Loppusijoituskapselit tullaan sijoittamaan loppusijoitustunneleihin porattuihin pystyreikiin (KBS-3V). Posiva on kuitenkin sopinut SKB:n kanssa myös vaakasijoitusvaihtoehdon (KBS-3H) kehitystyön sekä turvallisuuden ja toteutettavuuden arvioinnin jatkamisesta pystysijoitusratkaisun rinnalla.

### 2.2 LOPPUSIJOITUSHANKKEEN KUVAAUS

Posiva hakee käyttö lupaa käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttämiseen Olkiluodossa. Loppusijoituslaitokseen on tarkoitus sijoittaa TVO:n Olkiluodon ja Fortumin Loviisan ydinvoimalaitoksilla kertynyt käytetty ydinpolttoaine pysyväksi tarkoitetulla tavalla. Posivalle kuuluvat omistajiensa ydinvoimalaitosten tuottaman käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus sekä muut ydinjätehuollon asiantuntijatehtävät.

Olkiluodon loppusijoitusalueelle on rakennettu käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen tutkimukseen käytettävä maanalainen tutkimustila

(ONKALO). ONKALO:sta on hankittu tarvittavaa lisätietoa loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemusta varten. Kallioperää tutkitaan geologian, hydrologian sekä geokemian ja -fysiikan tutkimusmenetelmien avulla. Kallioperätutkimusten lisäksi ONKALO tarjoaa mahdollisuuden kehittää kalliorakentamis- ja loppusijoitustekniikkaa aidoissa olosuhteissa. ONKALO:n kalliotilat ovat liitetty osaksi loppusijoituslaitosta.

### 2.3 KAPSELOINTI- JA LOPPU-SIJOITUSLAITOKSEN SIJAINTI JA MAANKÄYTTÖTARVE

Posivan loppusijoituslaitosalue sijaitsee Olkiluodon saarella, Eurajoen kunnassa, Suomen länsirannikolla (Kuva 2-1). Lähimmästä kaupungista, Raumalta, on Olkiluotoon etäisyyttä linnuntietä noin 13 kilometriä ja maanteitse noin 25 kilometriä. Porista Olkiluotoon on etäisyyttä maanteitse noin 54 kilometriä. Valtatie 8:ltä loppusijoituslaitosalueelle on matkaa noin 14 kilometriä.

Suomen naapurivaltioista loppusijoituslaitosta lähin on Ruotsi, jonka lähimmät manteralueet sijaitsevat noin 200 kilometriä länteen Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitoksesta.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitosalue sijaitsee Olkiluodon saaren keskiosassa (Kuva

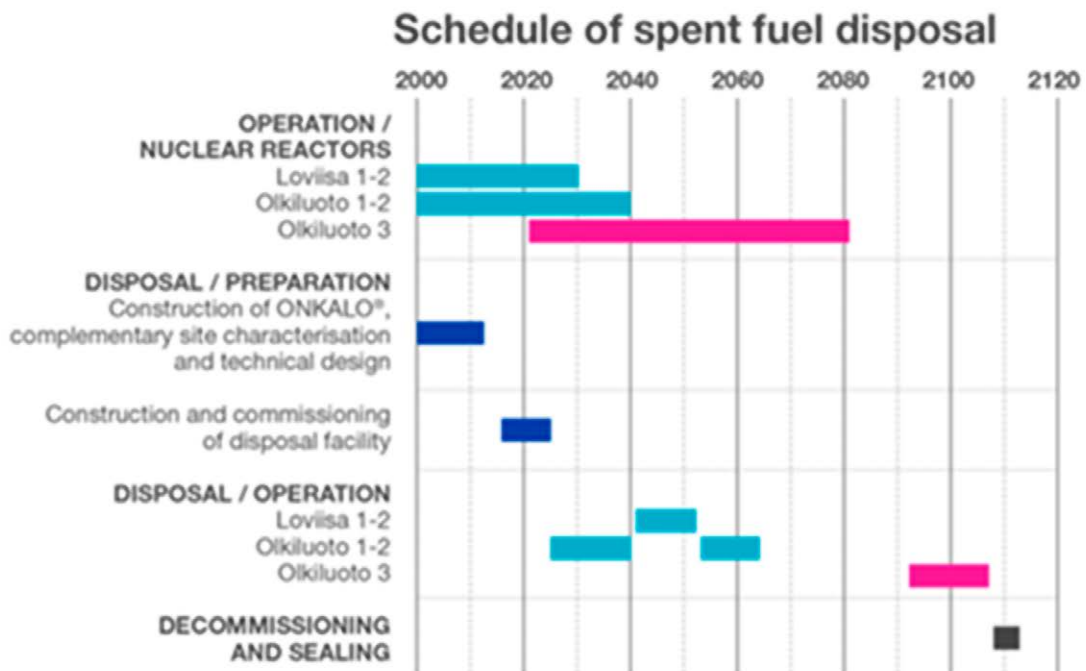


**Kuva 2-1.** Eurajoen ja Olkiluodon sijainti. Eurajoki sijaitsee valtatie 8:n varrella.

6-3). Loppusijoituslaitosalueen maanpäällinen rakennusala, eli rakennusten, teiden, varastojen ja kenttien pohja-ala, on yhteensä noin 20 hehtaaria. Maanalaisen laitoksen tarvitsema pinta-ala, kun loppusijoitettava polttoainemäärä on 6 500 tU, on noin 150 hehtaaria.

### 2.4 HANKKEEN AIKATAULU

Kapselointi- ja loppusijoituslaitos rakennetaan vuosien 2016–2024 aikana siten, että noin vuon-



**Kuva 2-2.** TVO:n Olkiluodon ja Fortumin Loviisan ydinvoimalaitosyksiköiden suunnitellut käyttöajat sekä niistä tulevan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustoiminnan aikataulu.

na 2025 aloitetaan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus. Tämän hetken suunnitelmien mukaan loppusijoitus päättyisi noin vuonna 2110, päättymisajankohtaan kuitenkin vaikuttaa monet tulevaisuuden päätökset.

Loppusijoittamisen aikatauluun vaikuttaa eniten ydinpolttoaineen pitkä jäähdytysaika. Laitosyksiköillä Olkiluoto 1 ja 2 sekä Loviisa 1 ja 2 käytössä olevan ydinpolttoaineen pitää jäähtyä noin 40 vuotta ja laitosyksikön Olkiluoto 3 ydinpolttoaineen noin 60 vuotta ennen loppusijoittamista. Vähintään ydinpolttoaineen pitää jäähtyä noin 20 vuotta ennen loppusijoittamista. Kuvassa (Kuva 2-2) on esitetty loppusijoitusaikataulu, jossa esitetään käytössä olevien laitosyksiköiden käytetyn ydinpolttoaineen suunnitellut loppusijoitusaikataulut.

## 2.5 LIITTYMINEN MUIHIN HANKKEISIIN, SUUNNITELMIIN JA OHJELMIIN

### 2.5.1 TVO:N OLKILUODON YDINVOIMALAITOS

Olkiluodon saarella toimii Suomen suurin sähkötuotantokeskittymä. TVO:lla on Olkiluodossa kaksi kiehuvesireaktoria, joiden kummankin nimellissähköteho on 890 MWe (netto). Olkiluoto 1 -laitosyksikkö kytkettiin valtakunnan verkkoon ensimmäisen kerran syyskuussa 1978 ja Olkiluoto 2 -laitosyksikkö helmikuussa 1980. Lisäksi Olkiluoto 3 -laitosyksikkö, painevesireaktori, jonka nimellissähköteho on noin 1 600 MWe (netto) kytketään valtakunnan verkkoon vuonna 2022. Olkiluodon voimalaitoksella oli vuoden 2021 vuosihuoltojen jälkeen varastoituna käytettyä ydinpolttoainetta yhteensä 9 728 polttoaine-elementtiä, jotka sisältävät noin 1 630 tonnia uraania (tU). Kuvassa (Kuva 2-2) on esitetty Olkiluodon ydinvoimalaitosyksiköiden suunnitellut käyttöajat.

### 2.5.2 FORTUMIN LOVIISAN YDINVOIMALAITOS

Fortumin Loviisan ydinvoimalaitosyksiköt LO1 ja LO2 sijaitsevat Hästholmenin saarella Loviisassa, noin 80 kilometriä Helsingistä itään. Loviisan voimalaitoksella on kaksi painevesireaktoria, kumpikin nimellissähkötehoaltaan 496 MWe (netto).

LO1:n kaupallinen käyttö alkoi toukokuussa 1977 ja LO2:n tammikuussa 1981. Loviisan voimalaitoksella oli vuoden 2021 vuosihuoltojen jälkeen varastoituna käytettyä ydinpolttoainetta yhteensä 6807 polttoaine-elementtiä, mikä vastaa noin 794 tonnia uraania. Kuvassa (Kuva 2-2) on esitetty Loviisan ydinvoimalaitosyksiköiden suunnitellut käyttöajat.

## 2.6 YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINNIN RAJAUS

Ympäristövaikutukset on arvioitu kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen koko laajuudelta. Tässä selvityksessä on esitetty loppusijoitushankkeen aiheuttamia ympäristövaikutuksia tilanteessa, jossa loppusijoituslaitokseen sijoitettaisiin 6 500 uraanitonnia käytettyä ydinpolttoainetta. Loppusijoitustoiminnan on tarkoitus alkaa noin vuonna 2025. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus päättyy nykyisillä suunnitelmilla noin vuonna 2120.

Arvioinnissa on otettu huomioon loppusijoituslaitoksen pitkäaikaisturvallisuus eli sulkemisen jälkeinen aika. Pitkäaikaisturvallisuuden tarkasteluajanjakso ulottuu satojen tuhansien, jopa miljoonien vuosien päähän. Loppusijoitusjärjestelmän käyttäytymistä on kuvattu ja analysoitu ensimmäisten kapselien sijoittamisesta alkaen hyvin kaukaiseen tulevaisuuteen, aina noin miljoonan vuoden päähän.

Tässä selvityksessä on esitetty pääasiassa laitostontilla tapahtuvien toimintojen ja käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusten ympäristövaikutuksia. Olkiluodon nykyisten ja alueelle suunniteltujen toimintojen yhteisvaikutuksia on tarkasteltu osana ympäristövaikutusten arviointia. Lisäksi on arvioitu, aiheutuuko hankkeesta vaikutuksia Suomen aluerajojen ulkopuolelle. Edellinen ympäristövaikutusten selvitys raportin päivitys toimitettiin valtioneuvostolle osana Posivan rakentamislupahakemusta.

Tarkastelualueella tarkoitetaan tässä kullekin vaikutustyyppille määriteltyä aluetta, jolla kyseistä ympäristövaikutusta selvitetään ja arvioidaan. Tarkastelualueen laajuus riippuu tarkasteltavasta ympäristövaikutuksesta. Vaikutusalueella taas tarkoitetaan aluetta, jolla selvityksen tuloksena ympäristövaikutuksen arvioidaan ilmenevän.

Posivan ydinsäiliöiden käyttöikä on hyvin pitkä (noin 100 vuotta) tänä aikana niitä tullaan kunnostamaan ja modernisoimaan, kuitenkin säiliöiden yksinkertaisten periaatteiden vuoksi vaikutukset ympäristöön ovat vähäisiä ja modernisointeja ei ole ajateltu olevan käyttöikänsä aikana muutamia enempää. Modernisointeja ja kunnostamisia tullaan ajoittamaan niihin ajankohtiin kun käytetty ydinsäiliötyyppi vaihtuu, samalla suoritetaan myös tarpeelliseksi katsottuja parannuksia turvallisuusjärjestelmiin.

Posivalla on toiminnassa monitorointiohjelma jolla seurataan vaikutuksia ympäristöön, ohjelmaa arvioidaan säännöllisesti jotta oleelliset parametrit ovat seurannassa. Posiva jatkaa ympäristön monitorointia säiliöiden käyttöajan, ja luovuttaa tietonsa viranomaisille, sen jälkeen kun ydinsäiliöt on suljettu ja vastuu siirtyy valvonnasta siirtyä valtiolle.



## 3 KAPSELOINTI- JA LOPPUSIJOITUSLAITOKSEN KUVAUS

### 3.1 KAPSELOINTI- JA LOPPUSIJOITUSLAITOKSEN YLEISKUVAUS

Posivan loppusijoitusratkaisu perustuu Ruotsin ydinjätehuollosta vastaavan yhtiön Svensk Kärnbränslehantering AB:n (SKB) kehittämään periaateratkaisuun, joka tunnetaan nimellä KBS-3. Ratkaisun kehittäminen aloitettiin jo 1970-luvulla ja KBS-3-ratkaisu raportoitiin vuonna 1983. Tämän jälkeen Posiva on kehittänyt yhteistyössä SKB:n KBS-3-ratkaisua edelleen. 2010- ja 2020-luvuilla Posivan kehitystyön painopiste on ollut teollisten ratkaisuiden kehittäminen, joilla varmistetaan sama turvallisuustaso kuin aiemmilla ratkaisuilla.

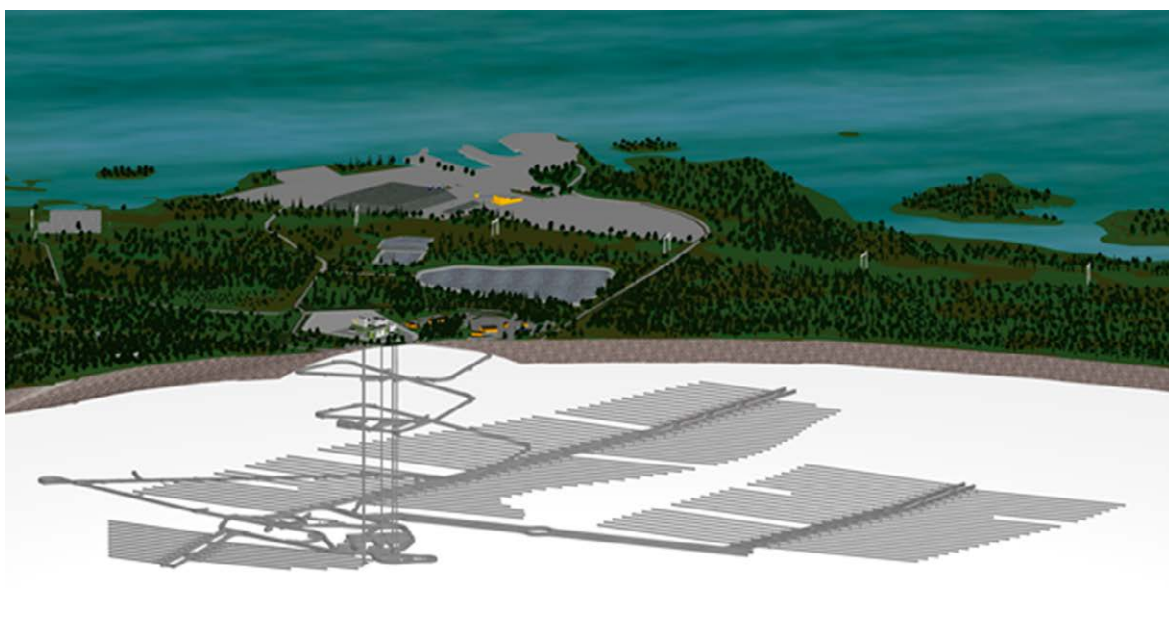
Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen tarkoituksena on Posivan omistajien ydinvoimalaitoksissa kertyneiden käytettyjen ydinpolttoaine-elementtien

- pakkaaminen (kapseloiminen) kallioperään tapahtuvan pysyvän sijoittamisen edellyttämään muotoon, sekä
- sijoittaminen pysyväksi tarkoitettulla tavalla Suomen kallioperään.

Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitos muodostuu kahdesta osasta (Kuva 3-1):

- maanpäällisestä kapselointilaitoksesta, jossa Loviisan ja Olkiluodon ydinvoimalaitoksilta toimitettava käytetty ydinpolttoaine otetaan vastaan, ja jossa se pakataan loppusijoituskapseleihin, sekä
- maanalaisesta loppusijoituslaitoksesta, johon kapseloitu käytetty ydinpolttoaine loppusijoitetaan.

Maan päällä sijaitsevat varsinaisen kapselointilaitoksen lisäksi tilat apu- ja oheistoimintoja varten, kuten kuilurakennukset, konttori- ja laboratoriotilat, varasto- ja korjaamotilat sekä LVIAS-järjestelmien vaatimat tilat. Louheen ja murskeen varastoinnille varataan oma alueensa. Bentoniittilohkot ja granulimateriaali valmistetaan bentoniittijauheesta ja ne toimivat loppusijoitusreikien eristemateriaalina. Maanpinnalta alas loppusijoitustiloihin johtaa yksi ajotunneli ja neljä pystykuilua, kaksi ilmanvaihtokuilua sekä henkilö- ja kapselikuilut. Loppusijoituskapselit siirretään kapselihissillä loppusijoitusvyöhykkeelle. Laitosalueen rakennusala eli rakennusten, teiden, varastojen ja kenttien pohja-ala on yhteensä noin 20 hehtaaria (Kuva 3-2).



■ Kuva 3-1. Havainnekuva maan päältä/alta Posivan laitosalueelta.



■ Kuva 3-2. Posivan maanpäällinen laitosalue.

Maanalainen loppusijoituslaitos jakautuu kahteen osaan:

- loppusijoitustilat, joihin käytettyä ydinpolttoainetta sisältävät kapselit sijoitetaan, sekä
- muut maanalaiset tilat, joita ovat muun muassa sijoitustunneleita yhdistävät keskustunnelit, tekniset tilat ja pystykuilut.

### 3.2 LOPPUSIJOITUKSEN SUUNNITTELUPERIAATTEET

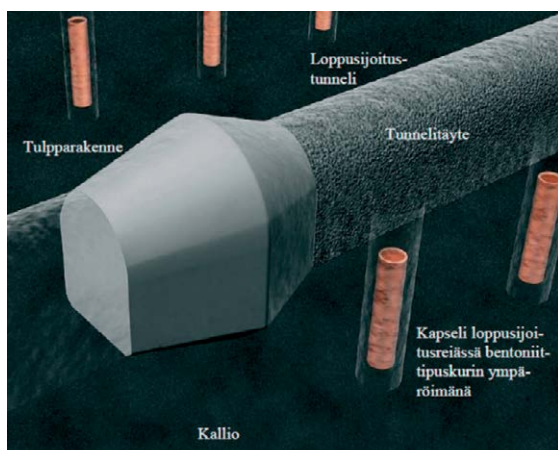
Loppusijoitusratkaisun pitkäaikaisturvallisuus-konsepti perustuu moniesteperiaatteeseen eli useaan toisiaan varmistavaan vapautumisestseen siten, että yhden vapautumisestseen toimintakyvyn vajavaisuus ei vaaranna pitkäaikaisturvallisuutta. Tekniset vapautumisestseet käsittävät kapselit, niitä ympäröivän savipuskurin, joka suojaa kapseleita kallioperän liikunnoilta ja pohjaveden sisältämillä, mahdollisesti haitallisilta aineilta, ja loppusijoitustunnelien täyteaineen, joka tukee sekä puskuria että kalliota. Puskuri ja loppusijoitustunnelien täyttö rajoittavat lisäksi pohjaveden virtausta kapselin ympäristössä. Vapautumisestseisiin kuuluu myös muita komponentteja, kuten muiden tilojen täytöt, loppusijoitustunnelien, keskustunnelien, kuilujen, ajotunnelien ja tutkimusreikien tulpat ja sulut. Ne on suunniteltu yhteensopiviksi kapselin, puskurin, loppusijoitustunnelien täyteaineen ja kallioperän kanssa sekä tukemaan näiden turvallisuustoimintoja. Lähinnä

käytettyä ydinpolttoainetta oleva vapautumisestse eli kapseli sijoitetaan ehjään kallioperään porattuun pystyreikään. Tätä kutsutaan KBS-3V-ratkaisuksi. Toisiaan varmistavien vapautumisestseiden lisäksi radionuklidien vapautumista hidastaa merkittävästi myös käytetyn ydinpolttoaineen rakenne; syvällä kalliossa vallitsevissa oloissa uraanin liukeneminen veteen on hyvin hidasta. Loppusijoituksen moniesteperiaate on esitetty oheisessa kuvassa (Kuva 3-3).

Kaasu- ja vesitiivis kapseli eristää käytetyn ydinpolttoaineen ja sen sisältämät radioaktiiviset aineet sisäänsä ("containment"). Loppusijoituskapselit ovat massiivisia, niiden sisäosa on pallografiittivalurautaa ja ulkokuori kuparia. Polttoaineelementit pakataan kapselin sisäosaan. Kapselin sisätila täytetään inertillä kaasulla, argonilla, jotta kosteuden ja säteilyn aiheuttama kapselin sisäpuolinen korroosio hidastuu ja jää mahdollisimman vähäiseksi. Kuparikapselin kansi ja vaippa suljetaan tiiviisti. Näin varmistetaan radionuklidien pitkäaikainen eristäminen ympäristöstään.

Yksittäiset kuparikapselit asennetaan ehjään kallioperään louhittujen loppusijoitustunnelien lattiaan porattuihin pystyreikiin noin 430 metrin syvyyteen maanpinnasta. Puskurimateriaalina käytetään segmenteiksi puristettua bentoniittisavea. Loppusijoitustiloissa bentoniitin käyttö perustuu sen alhaiseen vedenjohtavuuteen ja sen kykyyn paisua, kun se joutuu kosketuksiin veden kanssa. Loppusijoitustunnelit täytetään granu-





**Kuva 3-3.** Loppusijoituksen moniesteperiaate. Eri vapautumisesteet varmistavat toisiaan. Loppusijoituskapseli on sijoitettu tunnelin lattiaan porattuun pystyreikään, joka on vuorattu bentoniittipuskurisegmenteillä. Tunneli täytetään lopuksi täytemateriaalilla ja tunnelin suulle valetaan teräsbetonitulpparakenne.

laarisella täyttömateriaalilla kapselien ja puskurimateriaalin asennuksen jälkeen. Loppusijoitustunneleita yhdistävät keskustunnelit suljetaan vaiheittain loppusijoituksen edetessä. Tekniset tilat ja maanpintayhteydet kuten ajotunneli ja kuilut täytetään loppusijoitustoiminnan päätteeksi.

Kallio eristää loppusijoitetun polttoaineen elollisesta ympäristöstä. Se suojaa kapseleita ulkoisilta vaikutuksilta, luo mekaanisesti ja kemiallisesti vakaat olosuhteet loppusijoitustilaan sekä rajoittaa loppusijoituskapselien kanssa kosketuksiin pääsevän pohjaveden määrää. Tutkimustulokset osoittavat, että satojen metrien syvyydessä kalliossa pohjavesi on käytännössä hapetonta ja sen virtaus on vähäistä, minkä vuoksi sen syövyttävä vaikutus niin kapseleihin kuin käytettyyn ydinpolttoaineeseenkin on hyvin pieni. Jos käytetty ydinpolttoaine joutuu kosketuksiin pohjaveden kanssa, siitä liukenevat aineet jäävät suurimmalta osaltaan säiliöitä ympäröivään bentoniittipuskuuriin ja kalliooperään. Lisäksi kallio pysäyttää tehokkaasti kapseleista lähtevän suoran säteilyn, sillä jo kahden metrin paksuinen kallio riittää vaimentamaan säteilyn luonnon taustasäteilyn tasolle.

### 3.3 TUTKIMUSTOIMINTA JA LAADITUT SELVITYKSET

Posivalla on runsaasti Olkiluodosta kertynyttä tutkimustietoa jo muutaman vuosikymmenen ajalta. Se käsittää tutkimustietoja muun muassa alueen kalliooperästä, ympäristön vesistä, kasvilli-

suudesta, eläimistöstä ja sääolosuhteista. Tietoa laadituista selvityksistä löytyy Posivan internetsivuilta (<http://www.posiva.fi/tietopankki.html>).

Loppusijoitusratkaisun tekninen suunnittelu perustuu ratkaisevasti tietoon syvällä kalliooperässä vallitsevista oloista ja niiden muutoksista. Suomen kalliooperän ominaisuuksia loppusijoituksen kannalta on tutkittu 1980-luvun alusta lähtien, aluksi yleisellä tasolla ja tutkimusmenetelmien kehittämiseksi. Myöhemmin, vuodesta 1986 lähtien, tutkimukset ovat tähdänneet suoranaisesti käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen soveltuvan kalliooperän ominaisuuksien selvittämiseen aluksi viidellä tutkimuspaikalla, myöhemmin neljällä paikalla, joiden joukosta vuonna 1999 loppusijoituspaikaksi valittiin Eura-joen Olkiluoto. Paikanvalinta vahvistettiin eduskunnan vuonna 2001 vahvistamassa valtioneuvoston periaatepäätöksessä.

Tutkimuksia on tehty pääosin maan pinnalta, mutta tutkimustila ONKALO:n rakentamisen myötä tutkimuksia on tehty Olkiluodossa myös maan alla. Maanpäälliset paikkatutkimukset pitivät sisällään tutkimusreikien kairauksia, tutkimuskaivantoja sekä pohjavesi- ja ympäristötutkimuksia. ONKALO on tarjonnut mahdollisuudet kalliooperän tutkimiseen loppusijoitusyvytydellä. Kattava yhteenveto noin 20 vuoden aikana loppusijoituspaikasta kerätystä tiedosta on esitetty raportissa Olkiluoto Site Description 2018.

Loppusijoituspaikan ominaispiirteet häiriintyvät ONKALOn ja loppusijoitustilojen rakentamisen ja käytön seurauksena. Näiden häiriöiden ymmärtäminen on ensisijaisen tärkeää loppusijoituspaikan ja loppusijoitusjärjestelmän kehittymisen ja ympäristövaikutusten ymmärtämiseksi. Tuoreinta loppusijoituspaikkaa ja rakentamisen aiheuttamia vaikutuksia koskevaa aineistoa ja viimeisimpiä malleja on hyödynnetty useissa analyyseissä ja paikan kuvaukseen olennaisesti sisältyvissä ennuste-toteutuma -arvioinneissa.

Loppusijoitusratkaisun teknisiä ominaisuuksia sekä kallioympäristön vaikutuksia käytettyihin aineisiin ja rakenteisiin on tutkittu rinnan kalliooperätutkimusten kanssa. Loppusijoituskapselin ja sitä ympäröivän bentoniitin ominaisuuksista ja käyttäytymisestä on ollut käytettävissä myös Posivan tutkimusten lisäksi runsaasti Ruotsin ydinjätehuollosta vastaavan yhtiön SKB:n tuottamaa tutkimusaineistoa.

Bentoniitin ominaisuuksia on tutkittu 1970-luvulta lähtien ja sen käyttäytymisestä odotettavissa olevissa kallio-oloissa on saatu runsaasti kokeellista ja mallinnustietoa. Vaikka Posivan turvallisuus-konseptissa radionuklidit eristetään luonnosta ennen kaikkea kapselin avulla. Kapselin kestävyys sekä mahdollisten vuotojen varalta kapselia ympäröivällä bentoniittipuskurilla on sekä pystytty- että vaakasijoituksessa keskeinen turvallisuusmerkitys.

Loppusijoitusratkaisun toteutettavuutta on testattu pienen mittakaavan ja komponenttikohtaisilla kokeilla maan pinnalla ja ONKALossa sekä täyden mittakaavan loppusijoitusjärjestelmäkokeella FISST-projektissa. ONKALOn demonstraatiotunneli 2 varustettiin sadoilla mittaustantureilla, tunnelin kahteen koeloppusijoitusreikään asennettiin kapselit ja niiden ympärille bentoniittipuskurit. Tunneli täytettiin bentoniittilohkoilla ja -pelleteillä sekä suljettiin teräsbetonitulpalla. Kapseleiden sisällä olevat termoelementit tuottavat polttoaineen jälkilämpöä vastaavaa lämpöenergiaa. Koe on seurantavaiheessa ja se tuottaa tietoa mm. lämpötilan, paineen ja bentoniitin vettymisen kehityksestä sekä hapen kulutuksesta.

Loppusijoitusta koskevan tutkimuksen, kehitystyön ja teknisen suunnittelun yhteisenä tavoitteena on ratkaisu, jolla ydinjätteet eristetään niin, että minkäänlaisia terveys- tai ympäristöhaittoja ei tulevaisuudessa ole odotettavissa. Huomattava osa tutkimuksesta on kuitenkin kohdistunut niiden tilanteiden syiden ja seurausten selvittämiseen, joissa eristys ei toimi odotusten mukaisesti. Kyseisissä tutkimuksissa kohteena ovat olleet erityisesti radioaktiivisten aineiden liukoisuus- ja kulkeutumisominaisuudet bentoniitti- ja kallioympäristössä sekä niistä aiheutuva säteilyaltistus. Mahdollisten päästöjen merkitystä on arvioitu niin sanotuin turvallisuusanalysein, joita on tehty jo useita vuodesta 1982 lähtien. Lopulliseen turvallisuusarvioon liitettävä turvallisuusperustelu, SC-OLA esitetään kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttöluvahakemuksen yhteydessä.

Myös sosiaalisia ja taloudellisia vaikutuksia on tutkittu. Vuosina 1999 ja 2008 valmistuneissa YVA-selostuksissa esitettyjen seurantaohjelmien perusteella on tehty useita seurantatutkimuksia ja -selvityksiä. Tehtyjä selvityksiä ovat muun muassa suomalaisten energia-asenteita mittaava tutkimus (*Suomalaisten energia-asenteet 2011 &*

2020), KYT2010-ohjelman puitteissa Eurajoelle ja sen naapurikunnille tehty mielipidekyselytutkimukset (*Kari ym. 2010 & Litmanen ym. 2010*), imagoselvitys (*Corporate Image Oy 2007*) ja taloudellisia vaikutuksia koskeva selvitys (*Laakso ym. 2007*).

### 3.4 KÄYTETYN YDINPOLTTO-AINEEN ENIMMÄISMÄÄRÄT

Nykyisistä Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosyksiköistä (Olkiluoto 1, 2 ja 3 sekä Loviisa 1 ja 2) kertyvän käytetyn ydinpolttoaineen enimmäismäärä on 6 500 uraanitonnia (tU). Jos nykyisten laitosyksiköiden käyttöikää jatketaan Olkiluodossa, saattaa käytetty ydinpolttoainetta kertyä enemmän, mutta siinä tapauksessa tämä luvitetaan erikseen. Loviisan laitosyksiköiden käyttöikien pidentäminen on otettu huomioon nykyisessä enimmäismäärässä.

Käytetyn ydinpolttoaineen kertymä riippuu yleisesti ottaen ydinvoimalaitosten tuottamasta energiamäärästä ja polttoaineen poistopalamista eli

- laitosyksiköiden tehotasoista,
- käyttöajan pituudesta,
- käyttökertoimesta,
- polttoaineen ominaisuuksista.

### 3.5 KAPSELOINTI- JA LOPPU-SIJOITUSLAITOKSEN JA -TEKNIIKAN KUVAUS

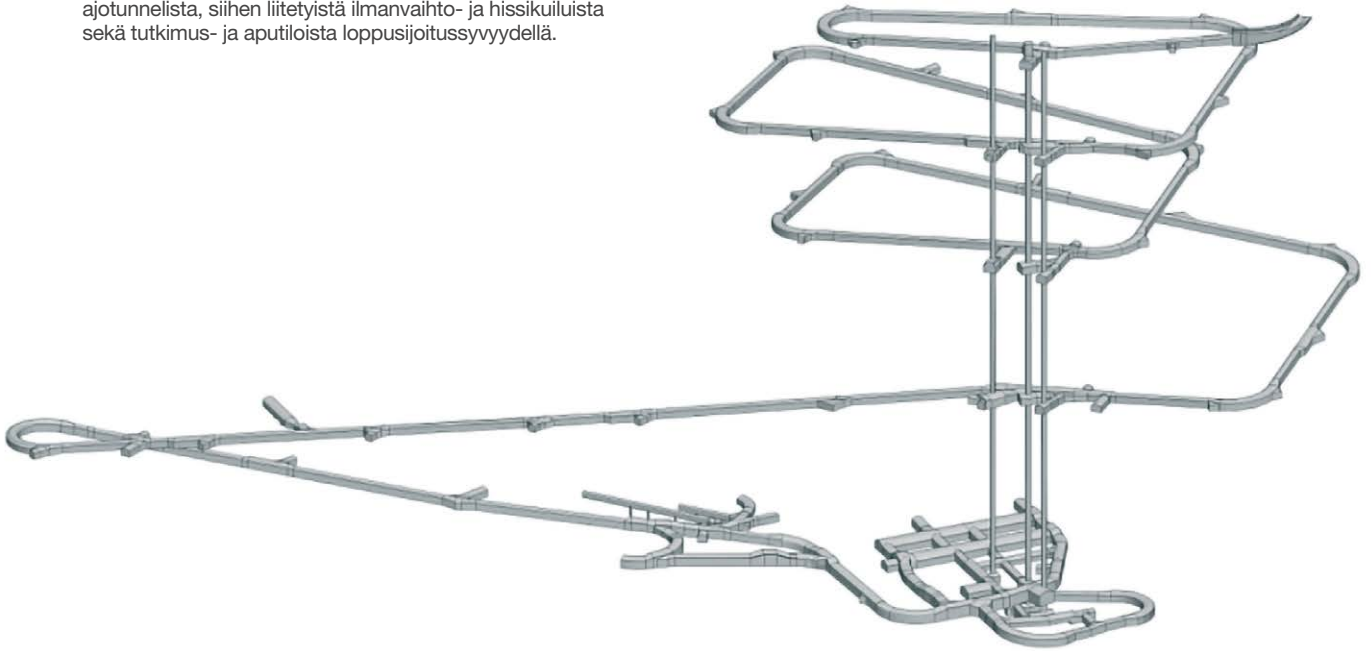
Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen periaatteet ja käyttötoiminnan kuvaus on esitetty käyttöluvahakemuksen liitteessä 5.

#### 3.5.1 VARMENTAVA TUTKIMUSVAIHE - TUTKIMUSTILA ONKALO

Rakentamislupahakemusta edeltävää tutkimusvaihetta on kutsuttu varmentavien tutkimusten vaiheeksi. Vaiheen päätavoitteena oli hankkia kallioperästä tiedot loppusijoituspaikan ominaisuuksien varmistamiseksi ja loppusijoituslaitoksen yksityiskohtaista suunnittelua varten. Tähän tarkoitukseen on Olkiluotoon rakennettu loppusijoitusvyöhykelle ulottuva tutkimustila ONKALO (Kuva 3-4). Myöhemmin ONKALO-nimi vakiintui koko loppusijoitustilan nimeksi.



■ Kuva 3-4. Maanalainen tutkimustila eli ONKALO koostuu ajotunnelista, siihen liitetystä ilmanvaihto- ja hissikuiluista sekä tutkimus- ja aputiloista loppusijoitusvyödyllä.



Maanalainen tutkimustila ONKALO käsitti spiraalimuotoisen ajotunnelin, henkilö- ja ilmanvaihtokuilut, tutkimus-, testaus- ja demonstraatiotilat sekä teknisiä tiloja. ONKALO on suunniteltu ja toteutettu niin, että sitä voitaisiin käyttää myöhemmin mahdollista käyttää osana loppusijoituslaitosta. Rakentamisluvan alaisen rakentamisen käynnistymisen yhteydessä maanalainen tutkimustila liitettiin osaksi loppusijoituslaitosta.

Rakentamisluvan saamisen 2015 ja rakentamisluvan alaisen rakentamisen aloittamisen 2016 jälkeen ONKALOSSA on jatkettu tutkimus ja kehitystyötä, joista merkittävimpänä voidaan pitää FISST-koetta (Full scale In-Situ System Test), jossa sitä varten louhittiin koeloppusijoitustunneliin ja loppusijoitusreikiin asennettiin loppusijoituskonseptin mukaiset täyden mittakaavan tekniset vapautumisesteet ja niitä yhä monitoroivat seurantajärjestelmät. Koe antaa tietoa asennetun loppusijoituskonseptin käyttäytymisestä sulkemisen jälkeisessä vaiheessa.

Tällä hetkellä ONKALOSSA on valmisteilla yhteistoimintakoe, jossa edelleen testataan koko loppusijoitusjärjestelmän toteuttamista ilman loppusijoitettavaa polttoainetta. Yhteistoimintakokeessa noudatetaan niitä menettelyitä, laitteita ja konseptia, joilla loppusijoitus on tarkoitus aloittaa ja siinä osoitetaan menettelyiden ja laitteiden toimivuus.

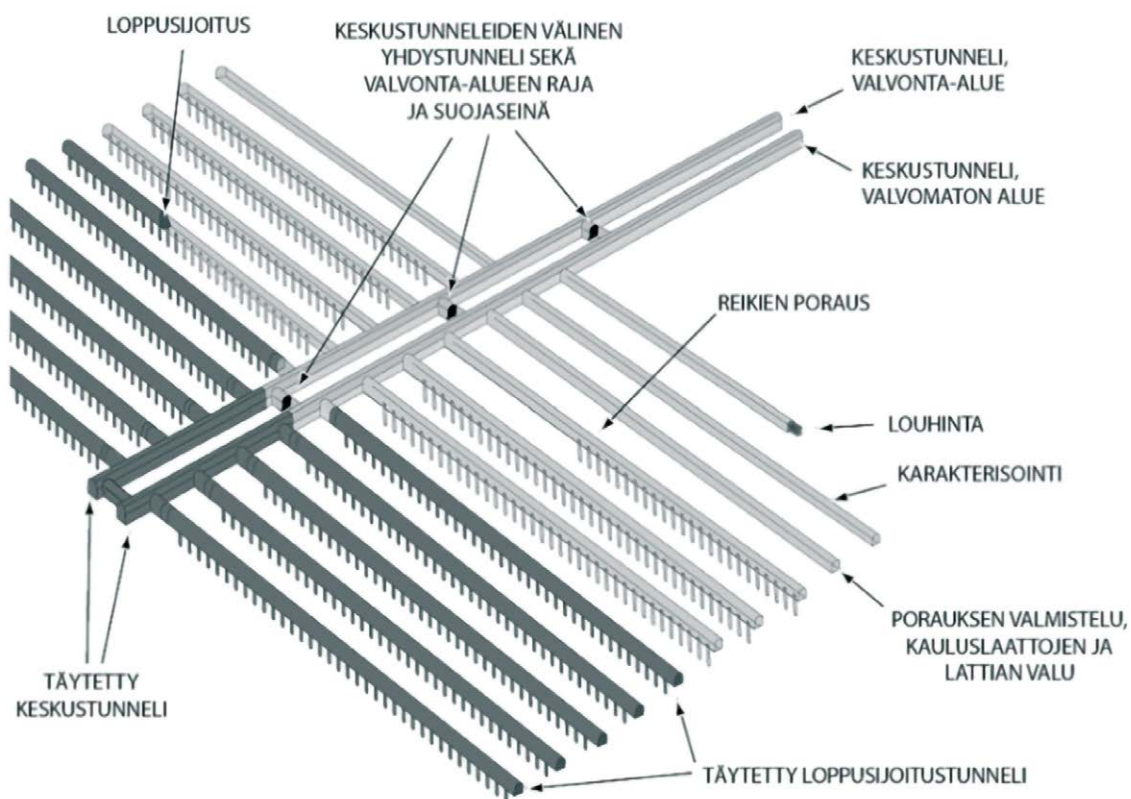
### 3.5.2 RAKENTAMISVAIHE

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suunnittelu on edennyt suunnitellusti myös rakentamisvaiheen aikana. ONKALON ja myöhemmin myös kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttötöimintää palveleva IV-rakennus valmistui vuonna 2011. Sen järjestelmien avulla huolehditaan myös loppusijoituslaitoksen ilmastoinnista.

Loppusijoitustoiminnassa tarvittavista laitteista valmistettiin ensin prototyypit ennen lopullisten tuotantolaitteiden suunnittelua ja valmistamista. Prototyyppilaitteita käytettiin mm. FISST-kokeen asennuksissa ONKALON demonstraatiotunnelissa.

Osa maanpäällisistä rakennuksista on rakennettu jo ONKALO-vaiheen aikana. Näitä ovat tutkimusrakennus, varastohalli, projektitoimisto, tunnelitekniikkarakennus, huolto- ja varastohalli, pesuhalli sekä tekniikkarakennus. Loput maanpäällisistä rakennuksista on toteutettu loppusijoituslaitososan toteutuksen aikana.

Maanalainen laitososa koostuu syvälle kalliioon johtavista kulkureiteistä, siellä olevista tunneleista ja loppusijoitusrei'istä, joihin loppusijoituskapselit sijoitetaan, sekä tarvittavista maanalaisista aputiloista ja kulkuyhteyksistä. Maanpinnalta loppusijoitustilaan johtaa ajotunneli ja neljä pystykuilua ilmanvaihtoa, henkilöliikennöintiä ja kapseleiden



**Kuva 3-5.** Loppusjoitustunnelien vaiheittainen rakentaminen.

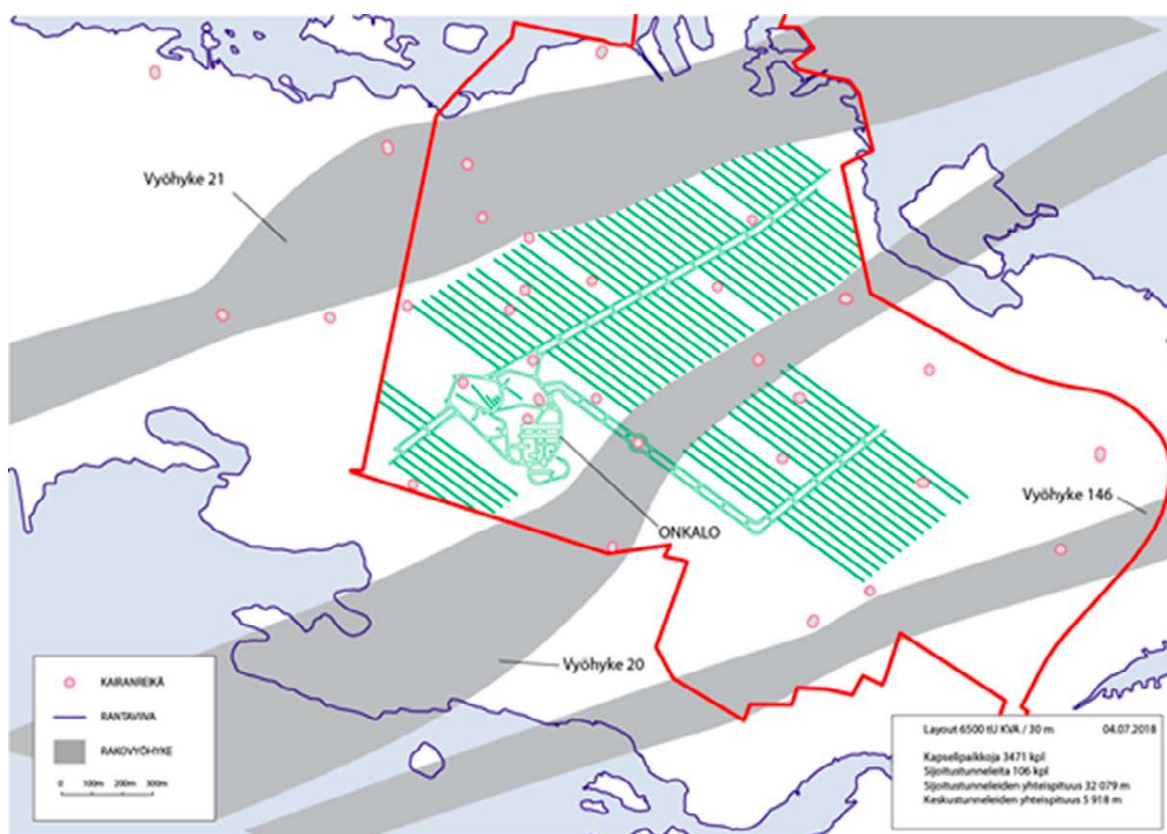
siirtoa varten. Osa loppusjoitustilojen rakennus-tekniisistä töistä tehtiin jo ONKALON rakennusvaiheessa. ONKALO suunniteltiin siten, että se voi toimia kulkureittinä loppusjoitustiloihin. ONKALON tuloilma- ja poistoilmakuilut toimivat loppusjoitusvaiheessa koko loppusjoituslaitoksen tuloilmakuiluna ja valvonta-alueen poistoilmakuiluna ja tekniset tilat toimivat valvonta- ja valvomattoman alueen teknisinä tiloina. ONKALON rakentamisessa käytettävät työmenetelmät ja materiaalit valittiin niin, että ne ovat hyväksyttäviä myös loppusjoitustilojen ja -toiminnan kannalta.

Loppusjoitustilojen asemointi maanalaisessa loppusjoituslaitoksessa perustuu tutkimuksen avulla tehtyyn kallioluokitteluun. Luvussa 8 on kuvattu, miten sijaintipaikan soveltuvuutta kapselointi- ja loppusjoituslaitoksen rakentamiseen arvioidaan. Loppusjoitustunneliteitä ja teknisiä tiloja yhdistää keskustunneliverkosto. Suunnitelman mukaan vain pieni osa loppusjoitustunneliteistä louhitaan valmiiksi ennen loppusjoituksen alkamista. Sen jälkeen tunnelistoa laajennetaan jaksoittain rinnan loppusjoitustoiminnan kanssa. Maanalaiset tilat jaetaan erillisiin osastoihin siten, että loppusjoitustilojen louhinta ja muu rakentaminen ja itse loppusjoitus tapahtuvat toisistaan

erillään ja riittävän etäällä toisistaan. Louhittaessa keskus- ja loppusjoitustunneliteitä on louhintakohteen ja käytössä olevien sijoitustunnelien välille jätettävä riittävästi suojaetäisyyttä. Osa keskustunneliteistä myös täytetään ja suljetaan jo loppusjoitustilojen käyttövaiheen aikana. Kuvassa (Kuva 3-5) on esitetty esimerkki loppusjoitustunnelien vaiheittaisesta rakentamisesta.

Loppusjoitustunnelien louhimisessa on käytetty tarkasti määriteltyä poraus-räjäytystekniikkaa, jolla on pyritty pitämään louhinnasta kallioon aiheutuvat vauriot mahdollisimman pieninä. Vaihtoehtoisesti tunnelien rakentamisessa voidaan tekniikan kehittyessä tulevaisuudessa käyttää niin sanottua mekaanista louhintaa, jolloin ei louhintaan tarvita räjähdysaineita. Maanalaisesta loppusjoitustilasta ylös tuotu kiviaines varastoidaan Olkiluodossa sijaitsevalle louheen läjitysalueelle.

Kuvassa (Kuva 3-6) on esitetty periaatekuva tämänhetkisen käsityksen mukaisista loppusjoitustiloista 6 500 tU loppusjoittamiseksi Olkiluotoon. Maanalaisen laitoksen tarvitsema pinta-ala, kun loppusjoitettava polttoainemäärä on 6 500 tU, on noin 150 hehtaaria.



**Kuva 3-6.** 6500 tU suuruiselle käytetyn polttoaineen määrälle tarkoitetut loppusijoitustilat asemituna asema-alue-alueelle, asema-alueen raja on merkitty punaisella. Kuvassa näkyvät myös tämänhetkisen tiedon mukaiset merkittävimmät sijoittelua rajoittavat kalliorakenteet harmaalla.

### 3.5.3 KÄYTETYN YDINPOLTTO- AINEEN KULJETUKSET JA SIIRROT

Käytettyä ydinpolttoainetta varastoidaan Fortumin Loviisan ydinvoimalaitoksen ja TVO:n Olkiluodon ydinvoimalaitoksen välivarastoissa noin 40 vuotta mutta vähintään 20 vuotta ennen loppusijoitusta. Tällöin käytetty ydinpolttoaine on jäähtynyt riittävästi, jotta se voidaan loppusijoittaa. Välivarastoista käytetty ydinpolttoaine siirretään Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitokseen erikoiskuljetuspakkauksissa.

Käytetyn ydinpolttoaineen (KPA) kuljettamista säädelään tarkoin kansallisin ja kansainvälisin määräyksiin ja sopimuksiin. Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetukselle on Suomessa haettava Säteilyturvakeskuksen (STUK) lupa. STUK tarkastaa kuljetussuunnitelman, kuljetussäiliön rakenteen, kuljetushenkilöstön pätevyyden sekä turvajärjestelyt ja onnettomuuksiin varautumisen.

### Kuljetus- ja siirtosäiliöt

Polttoainetta voidaan kuljettaa säiliön sisällä kuiviltan tai siten, että säiliö on täytetty vedellä. Maailmalla suurin osa pitkän matkan KPA-kuljetuksista hoidetaan nykyisin kuivasäiliöillä, joten Posivallakin on päätetty kuljettaa Loviisan polttoaine kuivasäiliössä. Laitosalueen sisäiset siirrot taas on yksinkertaisempaa hoitaa vesitäytteisellä säiliöllä, joten TVO:n polttoaine tullaan siirtämään kapselointilaitokseen märäsäiliössä.

Kuljetussäiliöille, säiliön käsittelylle, onnettomuustilanteisiin varautumiselle ja dokumentaatiolle on asetettu korkeat vaatimukset. Periaate on, että kuljetussäiliö ei saa menettää säteily-suojeluoimaisuuksiaan pahimmassakaan ajateltavissa olevassa onnettomuudessa. Kuljetussäiliöissä olevan käytetyn ydinpolttoaineen tulee kuljetuksen aikana pysyä kaikissa tilanteissa alikriittisenä. Kuljetussäiliöille asetetaan tavanomaista kuljetuskalustoa tiukemmat vaatimukset ja niiden on täytettävä poikkeustilanteiden varalta



tiukat vaatimukset, eli kuljetussäiliön tulee kestää mm.

- pudotus 9 metrin korkeudelta peräänantamattomalle alustalle seurauksiltaan epäedullisimmalla kohtaamiskulmalla,
- pudotus halkaisijaltaan 0,15 m terästangon päälle 1,0 metrin korkeudelta,
- vähintään 30 min ajan tulipalon aiheuttama terminen ympäristö, kun liekkien lämpötila on 800 °C, ja
- upotus veteen 200 metrin syvyyteen vähintään tunnin ajaksi. (IAEA 2018)

### Olkiluodon laitoksen käytetyn ydinpolttoaineen siirrot

Käytetyn ydinpolttoaineen siirrot Olkiluodon KPA-varastosta kapselointilaitokseen tullaan tekemään TVO:n omistamilla, tähän tarkoitukseen suunnitelluilla vesitäytteisillä siirtosäiliöillä. TVO:lla on jo nykyisin käytössä säiliö OL1-2-polttoaineelle ja hankinnassa säiliö OL3-polttoaineelle. Lisäksi Posiva voi käyttää siirroissaan olemassa olevaa siirtokalustoa.

Olkiluodon laitoksen käytetyn ydinpolttoaineen siirrot kapselointilaitokselle ovat yksinkertaisem-

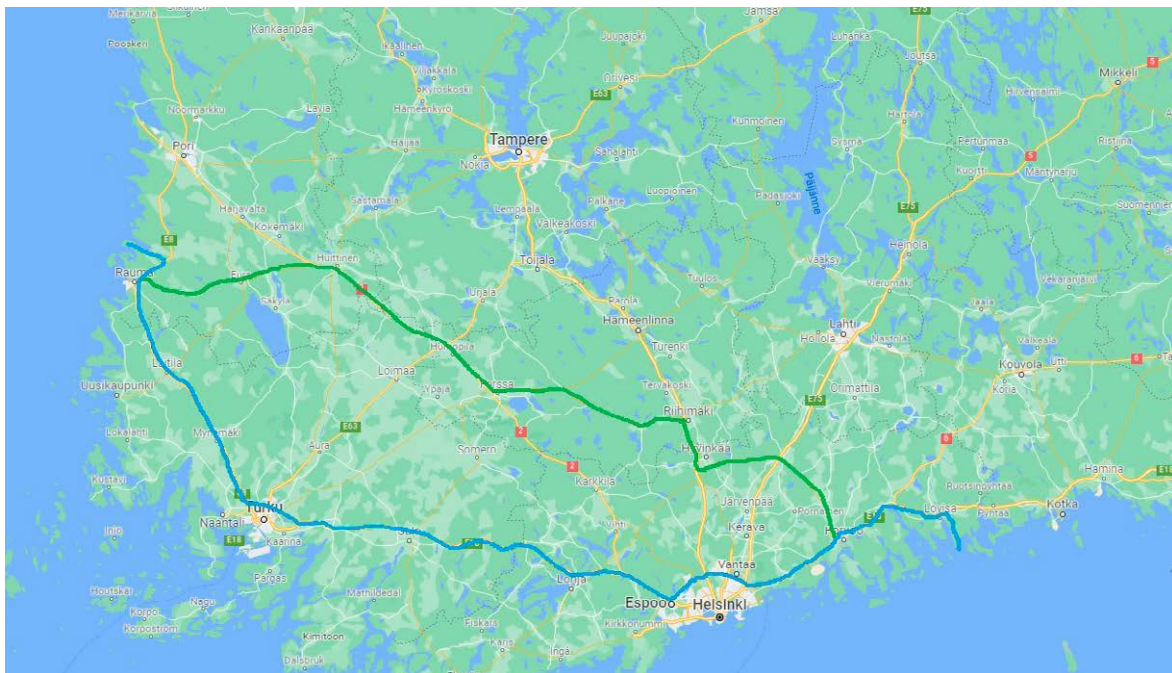
mat kuin Loviisasta tapahtuvat kuljetukset, koska kuljetettava matka on lyhyt eikä reittiin sisälly yleisiä teitä. Polttoainesiirroissa välivarastolta kapselointilaitokselle käytetään nykyisiä tieyhteyksiä sekä osittain uusia teitä Olkiluodon voimalaitosalueella. Tiestöä suunniteltaessa otetaan huomioon käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusten vaatima raskaan kuljetuksen reitti. Siirrot ja niiden luvitus tehdään YVL D.3 -ohjeen vaatimusten mukaisesti.

### Kuljetukset Loviisasta Olkiluotoon

Posivan nykyisen tuotantosuunnitelman mukaan Loviisan polttoaineen loppusijoitus alkaa 2040-luvulla. Tästä johtuen Loviisan kuljetuksista ei ole tässä vaiheessa tehty tarkkoja suunnitelmia, vaan on tutkittu eri vaihtoehtojen toteutusmahdollisuuksia.

Vaihtoehtoisina käytetyn ydinpolttoaineen kuljetustapoina Loviisasta Olkiluotoon on tarkasteltu maantie- ja merikuljetusta sekä näiden yhdistelmää. Merikuljetuksiin voi liittyä maakuljetusajoneuvolla suoritettavat kuljetukset tai lyhyet siirrot Loviisassa sekä Olkiluodossa.

Polttoainekuljetusten määrä riippuu ydinpolttoaineen määrästä sekä kuljetuspakkauksen koosta ja kuljetustavasta. Jokaista kuljetusta varten



**Kuva 3-7.** Maantiekuljetusreittivaihtoehdot Loviisasta Olkiluotoon.



laaditaan kuljetussuunnitelma (YVL D.2), jossa esitetään, miten kuljetusjärjestelyt toteutetaan kuljetuksia koskevien säännösten sisältämien vaatimusten mukaisesti. Kuljetussuunnitelma tulee toimittaa STUKin hyväksyttäväksi viimeistään kolme kuukautta ennen kuljetusta/kuljetuksia. Kuljetuksia varten tehdään myös valmius- ja turvasuunnitelmat.

Maantiekuljetuksissa käytetyn ydinpolttoaineen kuljetuspakkaus lastataan nosturilla erikoisajoneuvoyhdistelmään ydinvoimalaitoksen käytetyn ydinpolttoaineen varastossa. Jokaista kuljetuspakkausta varten hankitaan oma teline, jonka päälle pakkaus voidaan laskea, kääntää vaakasuoraan ja kiinnittää. Telineä voidaan käyttää myös kuljetuspakkauksen varastointiin. Kokopöytävaunu mahtuu telineen alle ja kiinnityksen jälkeen telineen

jalat nostetaan ylös kuljetuksen ajaksi. Pakkaus ja kuljetusalusta peitetään kuljetuksen ajaksi sääsuojailla. Kuljetukseen voidaan käyttää sellaista raskaskuljetuskalustoa, joka soveltuu 150–200 tonnin kuljetuksiin ja on tällaisia varten katsastettu. Kuljetus tapahtuu valvottuna kuljetuksena, jolloin kuljetuksen mukana seuraa tarvittava saatuehenkilöstö, kuten poliisi ja STUKin valvoja.

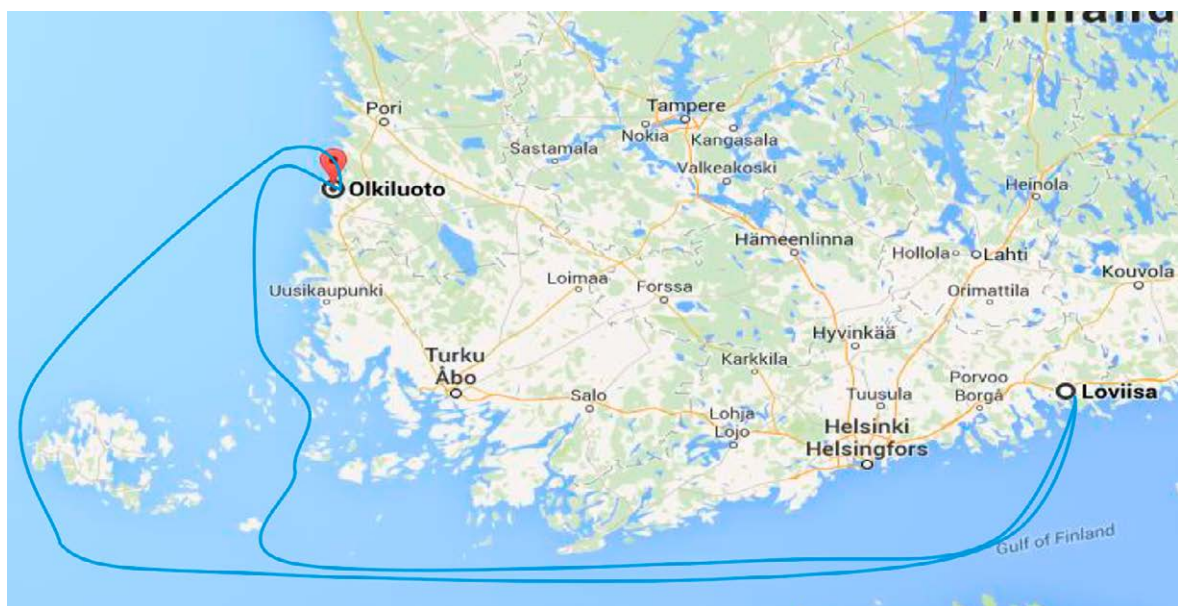
Ensisijaisesti kuljetus pyritään toteuttamaan päätteitä pitkin, koska niiden kantavuus on hyvä eikä reitillä ole heikkoja siltoja tai matalia alikulkuja.

Teknisesti parhaiten kuljetukseen soveltuu moottoritie, koska sen kantavuus on hyvä, vastaantulevaa liikennettä ei ole ja liittymiä on harvakseltaan. Maanteitse tapahtuvissa kuljetuksissa kaksi merkittävintä erityyppistä reittivaihtoehtoa olisivat rannikkoalueella kulkeva reitti tai sisämaan kautta kulkeva reitti (Kuva 3-7).

Merikuljetuksissa kuljetusmatkat pyritään suunnittelemaan mahdollisimman lyhyiksi. Loviisan laitospaikalle on mahdollista rakentaa tarkoitukseen sopiva satama. Lisäksi Loviisan Valkon satama sijaitsee kohtuullisen matkan päässä laitosalueesta. Myös Olkiluodossa pyritään käyttämään laitosalueella tai sen läheisyydessä olevaa satamaa. Merikuljetusreitin on useita vaihtoehtoja (Kuva 3-8). Lopullinen reitinvalinta tehdään kuljetussuunnitelman mukaisesti.

Merikuljetus on toteutettavissa Ruotsin ydinpoltoaine- ja ydinjätehuollosta vastaavan SKB:n omistaman M/S Sigridin tyyppisellä aluksella, joka on suunniteltu ydinjätekuljetuksia varten.

Lastausta varten tarvitaan toimintaan sopiva satama ja siirtoajoneuvo, jolla kuljetuspakkaukset siirretään yhdessä kuljetustelineen kanssa voimalaitokselta laivaan ja laivasta Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle. Siirtoajoneuvo on periaatteessa samanlainen kuin maantiekuljetuskalusto. Kun kuljetuspakkaus telineineen on siirretty laivaan, teline irrotetaan siirtoajoneuvosta



**Kuva 3-8.** Merireittivaihtoehdot Saaristomeren tai Ahvenanmeren kautta.

ja kiinnitetään laivan kanteen. Siirtoajoneuvon on tarkoitus kulkea laivan mukana.

Käytetyn ydinpolttoaineen siirtoja Olkiluodon KPA-varastosta kapselointilaitokseen on kuvattu tarkemmin Posivan STUK:lle toimitetussa käyttö lupa-aineistossa. Käytetyn polttoaineen kuljetuksia Loviisan KPA-varastolta Olkiluotoon kapselointilaitokseen on kuvattu tarkemmin tämän käyttö lupahakemuksen liitteessä "Selvitys kuljetusriskeistä" ja "Selvitys ydinjätehuollosta".

### 3.5.4 KÄYTTÖVAIHE

#### Käytetyn ydinpolttoaineen käsittely kapselointilaitoksessa

Posivan laitost kokonaisuuden tärkein maanpäällinen rakennus on kapselointilaitos. Kapselointilaitoksen tärkeimmät osat ovat ydinpolttoaineen vastaanottotila, käsittelykammio ydinpolttoaineen kapselointiin, hitsausasema kapselin kannen sulkemiseen, hitsin koneistus- ja tarkastusasema, polttoaineen kuljetussäiliön ja kapselien siirtokäytävät, ohjaamo, kapselihissi sekä kapselointilaitoksen toimintaan liittyvät järjestelmät. Kapselointilaitoksen toimintoihin kuuluvat kuljetuspakkausten vastaanotto, ydinpolttoaineen kapselointi, kannen kiinnittäminen kapseliin hit-

saamalla ja hitsisauman tarkastus. Kapselointilaitoksesta on suora yhteys alapuolella olevaan loppusijoituslaitokseen kapselihissin välityksellä. Kapselointilaitoksen pituusleikkaus on esitetty kuvassa (Kuva 3-9).

Kapselointilaitos on suunniteltu siten, että siellä pystytään käsittelemään Posivan omistajien nykyisten ydinvoimalaitosyksiköiden käytetty ydinpolttoaine. Kuljetusajoneuvo ajetaan vastaanottotilaan, kuljetuspakkauksesta poistetaan iskunvaimentimet, kuljetuspakkaus nostetaan pystyasentoon ja siirretään joko vastaanottotilan varastointipaikalle tai kuljetuspakkauksen siirtokäytävään. Kuljetuspakkauksen ulompi suojakansi poistetaan, ylipaineen annetaan purkautua ja kuljetuspakkauksen kaasutilasta otetaan näyte. Kuljetuspakkaus telakoidaan käsittelykammioon ja käsittelykammion suojakansi avataan. Sen jälkeen kuljetuspakkauksen säteilysuojakansi nostetaan käsittelykammioon. Polttoaine-elementit siirretään kuljetuspakkauksesta polttoaineen kuivausasemaan. Polttoaineen kuivausjärjestelmän avulla on mahdollista poistaa polttoaine-elementteihin välivarastoinnin ja kuljetuksen aikana jäänyt kosteus ennen polttoaine-elementtien sijoittamista loppusijoituskapseliin, mikäli polttoaine tuodaan laitokseen vesitäytteisessä siirtosäiliössä.



**Kuva 3-9.** Pituussuuntainen leikkauskuvaa kapselointilaitoksesta. Oikealla on polttoaineen vastaanottotila (1). Siitä vasemmalle päin sijoittuu polttoaineen käsittelykammio (2), kuparikannen hitsausasema sekä hitsin koneistus- ja tarkastusasema (3). Vasemmassa reunassa on uusien kapselien vastaanotto- ja varastotila (4) sekä kapselihissi (5).

Kuivauksen jälkeen polttoaine-elementit siirretään yksitellen loppusijoituskapseliin. Kapselin sisäosan ilma vaihdetaan suojakaasuun kaasunvaihtokuvun avulla, sisäosan kansi ruuvataan kiinni ja sen tiiveys tarkastetaan. Sisäkannen kiinnittämisen jälkeen käsittelykammion erotuskansi asetetaan paikoilleen ja loppusijoituskapseli irrotetaan käsittelykammion telakoinnista. Kuparikansi nostetaan hitsauskammioon ja loppusijoituskapseli siirretään hitsauskammion kohdalle. Kapseli telakoidaan hitsausasemaan, jossa kuparikansi asennetaan paikoilleen ja hitsataan kiinni kitkatappihitsauslaitteella. Kapselin hitsi koneistetaan ja laatu tarkastetaan visuaalisen tarkastuksen lisäksi ultra ääni- ja pyörrevirtalaitteilla. Tarkastuksen jälkeen kapseli voidaan siirtää kapselivarastoon odottamaan siirtoa loppusijoituslaitokseen kapselihissillä.

### Kapseleiden sijoitus kallioperään

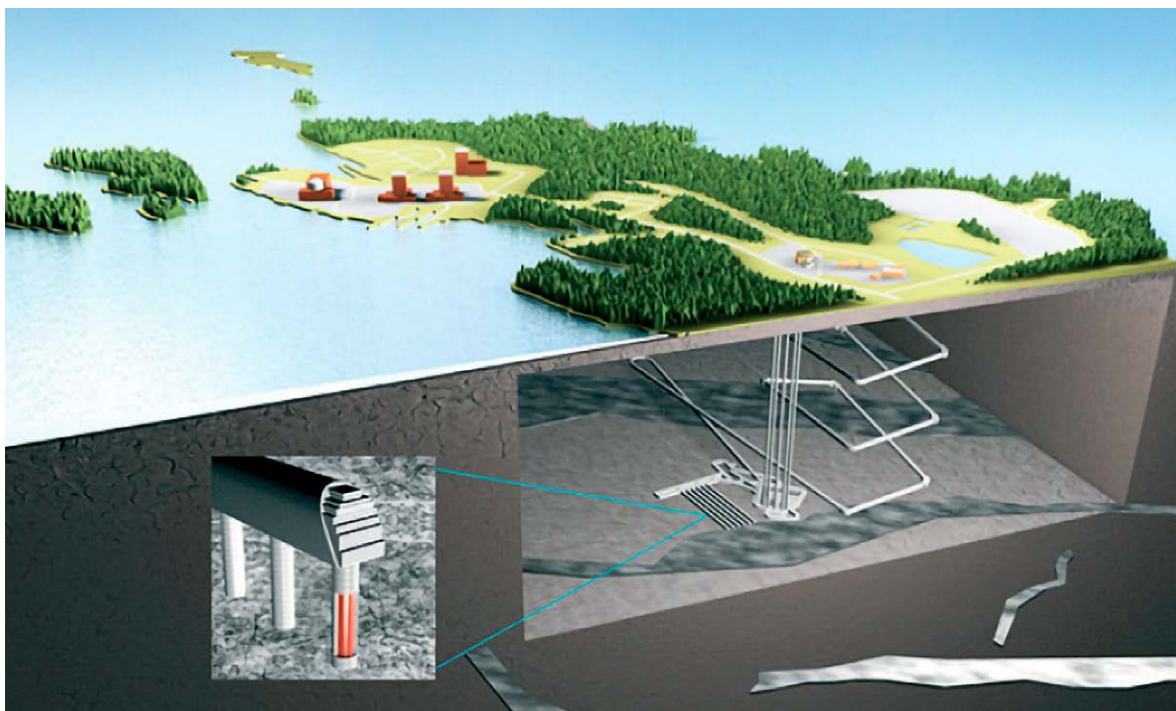
Loppusijoitustila sijoittuu yhteen kerrokseen 400–450 metrin syvyyteen. Loppusijoitustoiminta perustuu ainakin käyttötoiminnan alussa kapselien pystysijoitusratkaisuun (KBS-3V). Sen ohella kyseeseen voi tulla vaakasijoitusratkaisu (KBS-3H), missä kapselit asennetaan vaakatasoon porattuihin tunneleihin. KBS-3V ratkaisu on esitetty kuvassa (Kuva 3-10).

Pystysijoitusratkaisussa loppusijoitustunnelien lattiaan porataan pystysuorat loppusijoitusreiät, joihin tiiviit ja korroosiota kestävä kapselit sijoitetaan. Kapselin ja kallion väliin jäävä tila täytetään bentoniittilohkoilla. Kapseleita ympäröivät näin ollen kauttaaltaan bentoniittilohkot, jotka paisuvat voimakkaasti vettymisen seurauksena. Loppusijoitustunnelit täytetään loppusijoituksen (kapselin ja puskurimateriaalin asennuksen) jälkeen. Vastaavasti keskustunneliä täytetään sitä mukaa kun yhteyttä loppusijoitustunneliin ei enää tarvita.

Tilojen täyttämisen pääasiallinen tarkoitus on palauttaa loppusijoitusolosuhteet mahdollisimman lähelle luonnontilaa esimerkiksi estämällä tunnelien ja kuilujen muuttuminen pohjaveden päävirtausreiteiksi. Loppusijoitustunnelien täyttämisen tarkoituksena on lisäksi pitää puskurimateriaali paikallaan kapselin ympärillä ja säilyttää tunnelien mekaaninen vakaus.

### 3.5.5 SULKEMISVAIHE JA LOPPU-SIJOITETUN YDINPOLTTO-AINEEN PALAUTETTAVUUS

Loppusijoitustoiminnassa syntyy ydinjätteitä eli ydinlaitoksen radioaktiivisia jätteitä vain käytetyn ydinpolttoaineen kapselointilaitoksessa. Posiva



■ Kuva 3-10. Havainnekuva KBS-3V-loppusijoitusratkaisusta.

luovuttaa näiden matala- ja keskiaktiivisten käyttöjätteidensä huolehtimisvelvollisuuden TVO:lle, se tarkoittaa sitä että TVO käsittelee, varastoi ja loppusijoittaa nämä käyttöjätteet vakiintuneiden toimintatapojensa mukaan kuten ne olisivat heidän omia käyttöjätteitään. Radioaktiivisia jätteitä muodostuu, kun ydinpolttoaineesta irronneet radioaktiiviset aineet kontaminoivat laitoksen rakenteita ja laitteita. Normaalikäytössä radioaktiivista jätettä syntyy vain käsittelykammiossa, käsittelykammion korjaamon dekontaminointikeskuksessa, kammion ilmastoinnin suodattimissa sekä kuljetuspakkauksen siirtokäytävässä, mikäli kuljetuspakkauksen pinta on kontaminoitunut.

Periaatteena on, että radioaktiiviset jätteet loppusijoitetaan sitä mukaa kun niitä syntyy. Kaikki keskiaktiiviset jätteet loppusijoitetaan kiinteitettyinä. Nestemäiset radioaktiiviset jätteet kiinteitetään ennen loppusijoitusta. Matala- ja keskiaktiiviset jätteet siirretään TVO:n laitoksyksiköille käsiteltäväksi ja loppusijoitettavaksi TVO:n VLJ-luolaan. Kaikki polttoaine-elementeistä mahdollisesti irtoavat korkea-aktiiviset jätteet pyritään sijoittamaan loppusijoituskapseleiden sisälle ja loppusijoittamaan ne kapseleissa yhdessä käytetyn ydinpolttoaineen kanssa.

Loppusijoitustunnelit suljetaan loppusijoitustoiminnan aikana sitä mukaa kun kapseleita loppusijoitetaan. Kun kaikki käytetty ydinpolttoaine on loppusijoitettu ja kapselointilaitos purettu, muut tunnelit ja maanalaiset tilat täytetään täyteaineella ja maanpinnalle johtavat yhteydet suljetaan. Kun ydinjätehuoltovelvollinen on hyväksytysti sulkenut loppusijoitustilat ja suorittanut valtiolle maksun ydinjätteiden tulevasta tarkkailusta ja valvonnasta, siirtyy jätteiden omistusoikeus ja vastuu jätteistä valtiolle. Loppusijoitus on ydinenergialain mukaan kokonaisuudessaan toteutettava siten, ettei jälkivalvontaa tarvita turvallisuuden takaamiseksi.

Kallioon loppusijoitetun käytetyn ydinpolttoaineen palauttaminen maanpinnalle on kuitenkin mahdollista, mikäli käytettävissä on riittävät tekniset ja taloudelliset resurssit. Palautettavuus tarjoaa tuleville sukupolville mahdollisuuden arvioida ratkaisua oman aikansa tietämyksen valossa. Palauttamisessa käytetään samoja tavanomaisia työtekniikoita ja menetelmiä kuin loppusijoitustilaa louhittaessa ja rakennettaessa. Kapselien

palauttaminen loppusijoitustilasta maanpinnalle on mahdollista hankkeen kaikissa vaiheissa eli ennen loppusijoitusreiän täyttämistä, loppusijoitusreiän täyttämisen jälkeen ennen loppusijoitustunnelin sulkemista, loppusijoitustunnelin sulkemisen jälkeen ennen kaikkien tilojen sulkemista ja kaikkien tilojen sulkemisen jälkeen. Palautettavuudesta on oma selvityksensä Posivan käyttölu-pahakemuksessa liitteenä 11.



## 4 YDINPOLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUSTA KOSKEVA LAINSÄÄDÄNTÖ JA OHJEET

Suomen ydinjätehuoltoa ohjaavat vuonna 1988 voimaan astuneet ydinenergialaki (YEL 990/1987) ja ydinenergia-asetus (YEA 161/1988), joissa määritellään muun muassa ydinenergian tuottajan velvollisuudet, ydinjätehuollon toteuttaminen, lupakäsittelyt ja valvontaoikeudet.

Vuonna 1994 ydinenergialakia muutettiin niin, että kaikki Suomessa syntyvä ydinjäte on loppusijoitettava Suomeen. Ydinenergialaki kieltää myös ydinjätteen tuonnin Suomeen.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitosta koskee erityisesti Säteilyturvakeskuksen määräys ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudesta (STUK Y/4/2018). Määräystä sovelletaan ydinlaitoksesta peräisin olevaan käytetyn ydinpolttoaineen ja muun ydinjätteen loppusijoittamiseen sekä muuhun radioaktiiviseen jätteeseen, joka sijoitetaan loppusijoitustilaan. Ydinenergia-asetuksessa säädetään ydinjätelaitoksen käytöstä sekä käytön suunnittelusta ja asetetaan muun muassa säteilyannosrajat laitoksen normaalikäytölle sekä häiriö- ja onnettomuustilanteille.

STUK:n antamissa ydinvoimalaitosohjeissa (YVL-ohjeissa) esitetään yksityiskohtaiset ydinlaitosten turvallisuutta koskevat määräykset. Luvanhaltioden tulee noudattaa YVL-ohjeita, paitsi jos ne esittävät STUK:lle muun hyväksyttävän menettelytavan tai ratkaisun. Kapselointi- ja loppusijoituslaitosta koskee erityisesti ohje YVL D.5 ydinjätteiden loppusijoituksesta ja YVL D.7 Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen vapautumisesteet.

## 5 HANKKEEN EDELLYTTÄMÄT LUVAT, SUUNNITELMAT, ILMOITUKSET JA PÄÄTÖKSET

### 5.1 KAAVOITUS

Loppusijoituksen kaavoitusta on kuvattu käyttölupahakemuksen liitteessä 3 "Selvitys ydinlaitoksen sijaintipaikan ja sen lähiympäristön asutuksesta ja muista toiminnoista sekä kaavoitusjärjestelyistä".

### 5.2 YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTI JA KANSAINVÄLINEN KUULEMINEN

Ympäristövaikutusten arviointimenettelystä annetun lain ja asetuksen mukaan laitoksilta, jotka on suunniteltu radioaktiivisen jätteen loppusijoittamiseen, edellytetään ympäristövaikutusten arviointimenettelyn järjestämistä. Ydinenergiailain mukaan ympäristövaikutusten arviointiselostus tulee liittää ydinlaitoksen rakentamista koskevaan periaatepäätöshakemukseen.

Valtioiden rajat ylittävien ympäristövaikutusten arvioinnista on sovittu niin sanotussa Espoon sopimuksessa (Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context). Suomi ratifioi tämän YK:n Euroopan talouskomission yleissopimuksen vuonna 1995. Sopimus astui voimaan vuonna 1997. Sopimuksen osapuolella on oikeus osallistua Suomessa tehtävään ympäristövaikutusten arviointimenettelyyn, mikäli arvioitavan hankkeen haitalliset ympäristövaikutukset todennäköisesti kohdistuvat kyseiseen valtioon. Vastaavasti Suomella on oikeus osallistua toisen valtion alueella sijaitsevan hankkeen ympäristövaikutusten arviointimenettelyyn, mikäli hankkeen vaikutukset todennäköisesti kohdistuvat Suomeen.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen YVA-menettely toimeenpantiin vuosina 1998–1999. Posiva päivitti tällöin tehdyn YVA-selostuksen tiedot vuoden 2008 alkupuoliskolla ajantasaisiksi. Posiva suoritti vuosien 2008–2009 aikana myös kokonaan uuden YVA-menettelyn. YVA-menettelyssä tarkasteltiin loppusijoituslaitoksen laajennusta niin, että laitokseen sijoitet-

taisiin yhteensä 12 000 tU aiemmin suunnitellun 9 000 tU sijaan. YVA-menettelyihin sisältyi myös Espoon sopimuksen mukainen kansainvälinen kuulemismenettely.

Tämä selvitys on Posivan rakentamisluvan ehdoissa mainittu ympäristövaikutusten selvitysraportin päivitys, jossa päivitetään hankkeen tiedot ajan tasalle. Edellinen vastaava päivitys toimitettiin Posivan rakentamislupahakemuksen osana.

### 5.3 YDINENERGIALAIN MUKAISET PÄÄTÖKSET JA LUVAT

#### 5.3.1 PERIAATEPÄÄTÖS

Käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitos on ydinenergiailaissa tarkoitettu yleiseltä merkitykseltään huomattava ydinlaitos, jonka rakentaminen edellyttää valtioneuvoston hankekohtaista periaatepäätöstä siitä, että laitoksen rakentaminen on yhteiskunnan kokonaisedun mukaista.

Periaatepäätöstä haetaan valtioneuvostolle osoitetulla hakemuksella. Periaatepäätöshakemuksen käsittely ei perustu yksinomaan hakijan toimittamaan aineistoon, vaan viranomaiset hankkivat sekä ydinenergia-asetuksessa määriteltäviä muita tarpeelliseksi katsomiaan selvityksiä, joissa hanketta tarkastellaan yleisemmistä lähtökohdista. Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) pyytää periaatepäätöshakemuksen käsittelyä varten lausunnon suunnitellun laitoksen sijaintikunnan kunnanvaltuustolta ja naapurikunnilta sekä ympäristöministeriöltä ja ydinenergia-asetuksessa mainituilta muilta viranomaisilta. Lisäksi ministeriön on hankittava STUK:n alustava turvallisuusarvio hankkeesta.

Hakijan on ennen periaatepäätöksen tekemistä julkistettava TEM:n ohjeiden mukaan laadittu ja sen tarkastama yleispiirteinen selvitys laitoshankkeesta, laitoksen arvioiduista ympäristövaikutuksista ja sen turvallisuudesta siten, että selvitys on yleisesti saatavilla. YVA-selostus on liitettävä periaatepäätöshakemukseen.

TEM:n on varattava ydinlaitoksen lähiympäristön asukkaille ja kunnille sekä paikallisille viranomaisille mahdollisuus esittää mielipiteensä hankkeesta ennen periaatepäätöksen tekemistä. Lisäksi ministeriön on järjestettävä laitoksen suunnitellulla sijaintipaikkakunnalla julkinen tilaisuus, jossa hankkeesta voidaan esittää mielipiteitä. Mielipiteet on saatettava valtioneuvoston tietoon.

Periaatepäätöksen myöntämistä harkitaan valtioneuvostossa ydinenergialain 14 §:n mukaisesti. Suunnitellun ydinlaitoksen sijaintikunnan puolto hankkeelle on välttämätön edellytys myönteiselle periaatepäätökselle. Valtioneuvosto kiinnittää harkinnassaan erityisesti huomiota:

- ydinlaitoshankkeen tarpeellisuuteen maan energiahuollon kannalta,
- ydinlaitoksen suunnitellun sijaintipaikan soveltuvuuteen ja ydinlaitoksen ympäristövaikutuksiin,
- ydinpolttoaine- ja ydinjätehuollon järjestämiseen.

Valtioneuvoston tekemä periaatepäätös annetaan eduskunnan tarkastettavaksi. Eduskunta voi joko kumota periaatepäätöksen tai jättää sen voimaan, mutta ei muuttaa sen sisältöä. Ennen periaatepäätöksen voimaantuloa luvanhakija ei saa tehdä laitoksen rakentamiseen liittyviä taloudellisesti merkittäviä hankintasopimuksia. Valtioneuvosto teki joulukuussa 2000 loppusijoituslaitoksen rakentamista koskevan periaatepäätöksen. Tämä periaatepäätös koskee laitossyksiköiden Loviisa 1 ja 2 sekä Olkiluoto 1 ja 2 toiminnassa syntyvää käytettyä ydinpolttoainetta, jonka kokonaismäärä on enintään noin 4 000 tU. Valtioneuvosto teki tammikuussa 2002 erillisen periaatepäätöksen, jonka mukaan loppusijoituslaitos voidaan rakentaa laajennettuna niin, että sinne voidaan loppusijoittaa myös uuden Olkiluoto 3 -yksikön käytetty ydinpolttoaine, mikä tarkoittaa enintään 2 500 tU. Lisäksi valtioneuvosto teki toukokuussa 2010 erillisen periaatepäätöksen loppusijoituslaitoksen laajentamisesta Olkiluoto 4 -yksikköä varten, joka raukesi vuonna 2015 kun Olkiluoto 4 -projekti keskeytettiin omistajiensa päätöksellä.

Näin ollen loppusijoituslaitokseen sijoitettavan käytetyn ydinpolttoaineen enimmäismäärä on

siten enintään 6 500 tU ja tälle määrälle Posiva sai rakentamisluvan marraskuussa 2015.

### 5.3.2 RAKENTAMISLUPA

Valtioneuvoston periaatepäätöstä seuraa varsinainen lupamenettely. Luvan ydinlaitoksen rakentamiseen ja käyttämiseen myöntää valtioneuvosto. Lupa voidaan myöntää, mikäli ydinlaitoksen rakentaminen on eduskunnan voimaan jättämässä periaatepäätöksessä katsottu yhteiskunnan kokonaisedun mukaiseksi ja mikäli ydinenergialain 19 §:ssä säädetty edellytykset ydinlaitoksen rakentamisluvan myöntämiselle täyttyvät.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamislupakäsittelyä varten hakijan on toimitettava viranomaisille useita ydinenergialain ja -asetuksen mukaisia laitoksen turvallisuuden osoittavia selvityksiä. Tällaisia ovat esimerkiksi selvitys ydinlaitoksessa varastoitavien ydinjätteen laadusta ja enimmäismäärästä, selvitys ydinlaitoksen ympäristövaikutuksista sekä selvitys suunnitteluperusteista, joita hakija aikoo noudattaa ympäristövahinkojen välttämiseksi ja ympäristörasituksen rajoittamiseksi.

Posiva sai rakentamisluvan kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle valtioneuvostolta vuoden 2015 marraskuussa.

### 5.3.3 KÄYTTÖLUPA

Ydinlaitoksen käyttäminen edellyttää valtioneuvoston myöntämää käyttölupaa. Lupa ydinlaitoksen käyttämiseen voidaan myöntää sitten, kun lupa sen rakentamiseen on myönnetty edellyttäen, että ydinenergialain 20 §:ssä luetellut edellytykset täyttyvät. Näitä edellytyksiä ovat muun muassa:

- ydinlaitoksen käyttö on järjestetty siten, että työsuojelu, väestön turvallisuus ja ympäristönsuojelu on asianmukaisesti otettu huomioon,
- hakijan käytettävissä olevat menetelmät ydinjätehuollon järjestämiseksi ovat riittävät ja asianmukaiset,
- hakijalla on käytettävissään tarpeellinen asiantuntemus ja erityisesti ydinlaitoksen käyttöhenkilökunnan kelpoisuus ja käyttö-

organisaatio ovat asianmukaiset,

- hakijalla harkitaan olevan taloudelliset ja muut tarpeelliset edellytykset harjoittaa toimintaansa turvallisesti ja Suomen kansainvälisten sopimusvelvoitteiden mukaisesti.

Ydinlaitoksen käyttämiseen ei saa ryhtyä siihen myönnetyn luvan perusteella ennen kuin STUK on todennut, että laissa säädetty edellytykset täyttyvät, ja TEM on todennut, että varautuminen ydinjätehuollon kustannuksiin on järjestetty lain edellyttämällä tavalla.

Suomessa ydinlaitoksen käyttöluva myönnetään aina määräaikaisena. Luvan kestoa harkittaessa kiinnitetään huomiota erityisesti turvallisuuden varmistamiseen ja toiminnan arvioituaan keston. STUK voi keskeyttää ydinlaitoksen käytön, mikäli turvallisuuden varmistaminen sitä edellyttää. Ydinerģialain mukaan ydinjätteiden loppusijoitus on suoritettu, kun STUK on todennut ydinjätteet sijoitetuksi pysyväksi hyväksymällä tavalla.

Tämä selvitys on osa Posivan käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttöluvahakemusta valtioneuvostolle. Posivan tavoite on, että loppusijoituksen aloittaminen tapahtuisi noin vuonna 2025.

### 5.3.4 LUPA KÄYTÖSTÄ POISTAMISEEN

Lopetettuaan ydinlaitoksen käytön 20 §:n mukaisen käyttöluvan haltijalla on velvollisuus käynnistää toimenpiteet ydinlaitoksen käytöstä poistamiseksi 7 g §:ssä tarkoitetun käytöstä poistamista koskevan suunnitelman ja vaatimusten mukaisesti sekä haettava lupa ydinlaitoksen käytöstä poistamiselle. Lupa on haettava riittävän ajoissa siten, että viranomaisten käytettävissä on riittävästi aikaa hakemuksen arviointiin ennen ydinlaitoksen käyttöluvan päättymistä.

Lupa ydinlaitoksen käytöstä poistamiselle voidaan myöntää jos:

1. ydinlaitos ja sen käytöstä poistaminen täyttävät tämän lain mukaiset turvallisuutta koskevat vaatimukset ja työntekijöiden ja väestön turvallisuus sekä ympäristönsuojelu on otettu asianmukaisesti huomioon;

2. hakijan käytettävissä olevat menetelmät ydinlaitoksen käytöstä poistamiseksi sekä muu ydinjätehuolto, ovat riittävät ja asianmukaiset;

3. hakijalla on käytettävissään tarpeellinen asiantuntemus ja erityisesti ydinlaitoksen henkilökunnan kelpoisuus sekä ydinlaitoksen organisaatio ovat asianmukaiset ja käytöstä poistamiseen soveltuvat;

4. hakijalla on taloudelliset ja muut tarpeelliset edellytykset toteuttaa käytöstä poistaminen turvallisesti ja Suomen kansainvälisten sopimusvelvoitteiden mukaisesti; sekä

5. ydinlaitos ja sen käytöstä poistaminen täyttävät 5, 6, 6 a, 6 b ja 7 §:ssä säädetty periaatteet.

Ydinlaitoksen käytöstä poistamista ei saa aloittaa ennen sitä koskevan luvan myöntämistä, ellei luvanhaltijan muissa luissa toisin määrätä. Ydinlaitoksen käytöstä poistamista ei saa aloittaa siihen myönnetyn luvan perusteella ennen kuin:

1. Säteilyturvakeskus on todennut, että ydinlaitos täyttää käytöstä poistamisen turvallisuusvaatimukset, turvajärjestelyt sekä valmiusjärjestelyt ovat riittävät, ydinaseiden leviämisen estämiseksi tarpeellinen valvonta on asianmukaisesti järjestetty ja ydinlaitoksen haltijan vahingonkorvausvastuu ydinvahingon varalta on järjestetty sitä koskevien säännösten mukaisesti; sekä
2. työ- ja elinkeinoministeriö on todennut, että varautuminen ydinjätehuollon kustannuksiin on järjestetty 7 luvun mukaisesti.

Posivalla kapselointilaitos poistetaan käytöstä 2100-luvun alkuvuosikymmeninä, jolloin Posivan tulee hakea lupaa tätä varten. Loppusijoituslaitos suljetaan lopullisesti ja sille on omat menettelyt.

### 5.4 EURATOMIN PERUSTAMIS-SOPIMUKSEN MUKAISET ILMOITUKSET

Euroopan Atomiennergia-yhteisön (Euratom) perustamissopimus edellyttää, että jäsenvaltio toimittaa komissiolle ydinjätteen hävittämistä koskevat suunnitelmat (37. artikla) sen arvioi-



miseksi, aiheuttaako suunnitelman toteuttaminen veden, maaperän tai ilman radioaktiivista saastumista toisen jäsenvaltion alueella. Komission tehtävänä on myös artiklan 77 mukaan ylläpitää turvavalvontaa, jonka tarkoituksena on varmistaa, ettei esimerkiksi käytettyä ydinpolttoainetta siirretä muualle kuin on ilmoitettu, ja että toiminnanharjoittaja tekee komissiolle turvavalvontaa varten ilmoituksen laitoksen teknisistä tiedoista (78. artikla) sekä investointi-ilmoituksen (41. artikla). Posiva on huolehtinut ja huolehtii, että tarvittavat ilmoitukset toimitetaan komissiolle.

## 5.5 MUUT LUVAT

Käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitos vaatii rakentamisen ja käyttötoiminnan aikana muita lupia, joita ovat muun muassa rakennuslupa ja lupa räjähteiden tilapäiseen varastointiin. Nämä luvat haetaan ennen kyseisen toiminnan aloittamista voimassa olevien kansallisten ja kunnallisten säädösten mukaisesti.

Kullekin rakennukselle haetaan oma rakennuskohtainen rakennuslupa kunnan rakennuslautakunnalta. Rakennuslupa on haettu muun muassa IV-rakennukselle, tutkimusrakennukselle sekä varasto- ja huoltorakennuksille.

Etelä-Suomen aluehallintoviraston päätöksen (ESAVI-0000426-05.14.00-2011 19.1.2011) ja ELY-keskuksen 28.6.2016 antaman lausunnon mukaisesti kapselointi- ja loppusijoituslaitos ei tarvitse ympäristölupaa.

Louheen varastoinnille ja murskaukselle on toistaiseksi voimassaoleva ympäristölupa. Maanalaiselle tutkimustilalle, ONKALO@:lle, on haettu luvat itsenäisenä kokonaisuutena. ONKALO@:lle ja sitä palvelevalle maanpäälliselle aluerakentamiselle on haettu Eurajoen kunnan rakennuslupa, jonka kunnan rakennuslautakunta myönsi 12.8.2003. Rakennuslupa on voimassa viisi vuotta. Posiva haki jatkolupaa toukokuussa 2008 ja uudelleen joulukuussa 2011. Viimeisin jatkolupa myönnettiin 18.9.2020 ja se on voimassa 18.9.2023 asti. Loppusijoituslaitoksen ja kapselointilaitoksen rakennusluvut ovat molemmat voimassa 12.6.2024 saakka.

Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetus on ydin-

energialain 8 §:n perusteella luvanvaraista, ja kuljetukselle on haettava ydinenergia-asetuksen 56–60 §:ien mukainen lupa. Suomessa tarvittavat luvat ydinaineiden ja ydinjätteiden kuljetuksiin myöntää STUK.

Käytetyn polttoaineen kuljetuksia ja siihen käytettävää tekniikkaa sääntelevät lisäksi muun muassa:

- laki vaarallisten aineiden kuljetuksesta (719/1994),
- valtioneuvoston asetus vaarallisten aineiden kuljetuksista tiellä (194/2002) ja liikenne- ja viestintäministeriön asetus vaarallisten aineiden kuljetuksesta tiellä (369/2011),
- valtioneuvoston asetus vaarallisten aineiden kuljetuksesta rautatiellä (195/2002) ja liikenne- ja viestintäministeriön asetus vaarallisten aineiden kuljetuksesta rautatiellä (370/2011),
- asetus vaarallisten aineiden kuljetuksesta kappaletavaran aluksessa (666/1998),
- STUK:n ohjeet YVL D.2, ”Ydinaineiden ja -jätteiden kuljetus”.

Kuljetukseen saa ryhtyä vasta sitten, kun STUK on todennut, että kuljetuskalusto ja kuljetusjärjestelyt sekä turva- ja valmiusjärjestelyt täyttävät niille asetetut vaatimukset ja että vahingonkorvausvastuu ydinvahingon varalta on järjestetty. Ensimmäisen kuljetusluvan hakeminen on ajankohtaista noin 2040-luvulla kuljetusten alkaessa Loviisan voimalaitoksen käytetyn ydinpolttoaineen välivarastolta. Olkiluodon käytetyn ydinpolttoaineen siirrot välivarastolta kapselointilaitokselle hoidetaan voimalaitosalueen sisäisinä siirtoina.

Olkiluodon ydinvoimalaitosyksiköiden käyttöluvut mahdollistavat Posivan käytöstä syntyneiden jätteiden käsittelyn ja varastoinnin. Olkiluodon VLJ-luolan ja maaperäloppusijoitustilan luissa tullaan ottamaan huomioon Posivan käyttöjätteiden loppusijoitus.

## 6 ARVIOINTIMENETELMÄT, YMPÄRISTÖN NYKYTILA JA ARVIOIDUT VAIKUTUKSET

### 6.1 KÄYTETYN YDINPOLTTO- AINEEN KULJETUKSET JA MUU LIIKENNE

#### 6.1.1 ARVIOINTIMENETELMÄT

Hankkeen merkittävimmät liikennevaikutukset aiheutuvat kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamisesta ja käytöstä sekä käytetyn ydinpolttoaineen kuljetuksista. Kuljetuksista aiheutuvat muutokset nykyisiin liikennemääriin sekä käytettävät liikennevälineet ja -reitit on esitetty. Liikenteen aiheuttamat meluvaikutukset ja vaikutukset viihtyvyyteen on arvioitu asutusalueille kohdistuvien liikenteellisten muutosten perusteella. Tarvittavat muutokset alueiden liikennejärjestelyihin ja niiden vaikutukset on arvioitu.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle tuodaan käytettyä ydinpolttoainetta TVO:n ja Fortumin ydinvoimalaitoksilta. Ydinpolttoaineen kuljetuksen Loviisasta Olkiluotoon on suunniteltu tapahtuvan vaihtoehtoisesti maantie- tai merikuljetuksena tai näiden yhdistelminä. Tässä selvityksessä on esitetty tehtyihin selvityksiin perustuva arvio käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusvaihtoehtojen turvallisuudesta ja vaikutuksista ympäristöön.

Kuljetuksista aiheutuvat säteilyannokset on arvioitu käyttäen apuna raporttia ”Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusten riskiselvityksen päivitys Posivan käyttöluupahakemusta varten.” (Suolanen ym. 2021). Raportissa on tarkasteltu riskejä käytetyn ydinpolttoaineen kuljetuksissa Loviisan ydinvoimalaitokselta Olkiluodon loppusijoituslaitokselle säteilyturvallisuuden kannalta. Tarkastelu on käsittänyt eri reittivaihtoehtoihin ja kuljetusmuotoihin liittyvien säteilyvaikutusten ja riskien vertailua.

Työssä on yksityiskohtaisesti mallinnettu kaasujäähdytteinen CASTOR-440/84M kuljetussäiliö ja tehty Serpent-mallilla säteilysuojauslaskuja säiliön ulkopuolisen annosnopeuden määrittämiseksi. Kahden metrin etäisyydellä säiliön vaipasta, annosnopeus on laskujen mu-

kaan yhteensä 0,03 mSv/h, mikä on selvästi alle IAEA:n esittämän annosrajan 0,1 mSv/h.

Normaalikuljetuksissa suurimmat säteilyannokset aiheutuvat henkilöstölle kuljetussäiliön käsittelyvaiheissa. Väestön saamat säteilyannokset kuljetuksen aikana ovat henkilöstön annoksia pienemmät. Maantiekuljetuksissa vuotuinen kokonaissäteilyannos on 0,01 manSv rannikkoreitillä ja 0,013 manSv sisämaan reitillä. Merikuljetuksissa vuotuinen kokonaissäteilyannos on Valkon sataman kautta tapahtuvalle kuljetukselle 0,01 manSv ja suoraan Hästholmenilta lähtevälle kuljetukselle 0,007 manSv.

Aiemmin kuljetusten riskejä on tarkasteltu vuonna 2004 raportissa ”Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusriskitarkastelun päivitys” (Suolanen ym. 2004) sekä Posivan rakentamislupahakemuksessa raportissa ”Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusten riskienhallinta” vuonna 2012 (Suolanen 2012).

Kuljetusten ja tieliikenteen vaikutuksia on tarkasteltu niillä teillä, joiden liikenteeseen hanke aiheuttaa muutoksia.

#### 6.1.2 KULJETUSTEN JA LIIKENTEEN VAIKUTUKSET

Eurajoen kirkonkylä sijaitsee valtatie 8 varrella Rauman ja Porin välissä. Olkiluotoon johtava Olkiluodontie (yhdystie 2176 Lapijoki – Olkiluoto) erkanee valtatiestä 8 Lapijoen kohdalla. Risteyksestä on Raumalle matkaa noin seitsemän kilometriä ja Poriin noin 40 kilometriä. Lisäksi Raumalta pääsee Sorkan kautta Olkiluotoon. Eurajoen keskustasta johtaa tie Linnamaan kautta Olkiluodontielle. Olkiluodon alueella on toimivat liikenneyhteydet satamineen, teineen ja paikoitusalueineen.

Olkiluodon liikennemäärät vaihtelevat hyvin voimakkaasti suurten rakennushankkeiden (OL3 ja ONKALO) ja ydinvoimalaitosten vuosihoitojen johdosta. Olkiluodontien vilkkaan tieosuus on heti valtatie 8 liittymästä noin kilometri Olkiluodon suuntaan. Vuonna 2020 Olkiluodontien keskimääräinen vuorokausili-



■ Kuva 6-1. Loppusijoitusalueen lähiympäristön tiet.

kenne oli keskimäärin 3 185 ajoneuvoa vuorokaudessa, joista raskaita ajoneuvoja oli noin 159 vuorokaudessa (Väylävirasto 2020). Suurin osuus liikenteestä on työmatkaliikennettä. Valtatie 8 liittymän keskimääräinen vuorokausiliikenne oli 10 595 ajoneuvoa, josta raskasta liikennettä noin 1 262 (Väylävirasto 2020).

Olkiluodontiella on kevyen liikenteen väylä Hankkilaan asti ja tienvarren herkkänä kohteena on Lapijoen koulu tien alkupäässä.

### Liikenneturvallisuus

Liikenneonnettomuustilastojen perusteella (tiet 2176 ja valtatie 8) liikenneonnettomuuksia on sattunut vuosina 2015–2019 molempien tieosuuksien osalta keskimäärin noin 5 kpl vuodessa ja yleisin syy on ollut hirvieläinvahinko. Tien 2176 osalta on ilmoitettu koko tieosuuden onnettomuustilasto ja valtatie 8 osalta Olkiluodontien liittymän osuus. Myös peräänajoja sekä kohtaamisonnettomuuksia on sattunut. Yhteensä 11 kolaria em. vuosijaksolla on johtanut henkilövahinkoon. Kuolonkolareita ei ole sattunut.

Rakentamisvaiheessa aiheutuu lisääntynyt

määrä raskasta liikennettä, joka heikentää liikenneturvallisuutta kuljetusreiteillä etenkin hankealueen lähiseudulla. Raskas liikenne vaikuttaa myös koettuun turvallisuuteen.

Liikennemäärien kasvun vaikutusta onnettomuusmääriin voidaan arvioida onnettomuuksien sattumisen todennäköisyyksien avulla. Yleisesti puhutaan onnettomuusriskistä, joka voidaan määritellä tieosuuden onnettomuuksien suhteena tieosuudella liikkuvien altistumisen riskille, tyypillisesti liikennesuoritteeseen. Jos liikennemäärän kasvaessa ei tehdä liikenneturvallisuutta kehittäviä toimenpiteitä, myös onnettomuuksien määrän voidaan arvioida kasvavan samassa suhteessa. Tällä tavoin arvioituna liikenneonnettomuuksien määrät kasvavat tarkastelluilla tieosuuksilla (tiet 2176 ja valtatie 8) keskimäärin alle 1 kpl vuodessa raskas liikenne huomioiden. On kuitenkin huomiotava, että käytännössä rakentamisen aikainen raskas liikenne ajoittuu muutamien kuukausien ajalle ja tällöin myös onnettomuusriski kasvaa ajallisesti lyhyellä välillä.

Olkiluodontien varrella on teollisuustoimintaa ja harvakseltaan asutusta. Olkiluodontiella on



kevyen liikenteen väylä Hankkilaan asti ja tienvarren herkkänä kohteena on Lapijoen koulu tien alkupäässä. Kuljetuksien ja rakennusaikeisen liikenteen ei kuitenkaan arvioida aiheuttavan erityistä riskiä em. kohteisiin. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta aiheutuva liikennekuormitus on selvästi vähäisempi kuin aiempina vuosina Olkiluodon ydinvoimalaitosten rakentamisen yhteydessä aiheutunut raskeaan liikenteen kuormitus.

#### 6.1.2.1 KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN KULJETUSTEN VAIKUTUKSET JA NIIHIN LIITTYVÄT RISKIT

Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusten riskitarkastelu on käyttöluopahakemuksen liitteenä 12 "Selvitys käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusriskeistä".

### 6.2 MAANKÄYTTÖ, KULTTUURI- PERINTÖ, MAISEMA, RAKENNUKSET JA RAKENTEET

#### 6.2.1 ARVIOINTIMENETELMÄT

Hankkeen vaikutuksia nykyiseen ja suunniteltuun maankäyttöön, maisemaan sekä rakennettuun ympäristöön on arvioitu alueen maankäyttösuunnitelmien ja kehittämisen kannalta.

Maisemavaikutukset on arvioitu hankkeesta tehtyjen suunnitelmien, olemassa olevien selvitysten, maastokäyntien sekä kartta- ja ilmakuvatarkastelujen perusteella. Maisemalliset vaikutukset johtuvat kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen maanpäällisistä rakennuksista ja niihin liittyvistä toiminnoista. Vaikutusten arvioinnissa on kuvattu loppusijoituspaikan lähiympäristön maiseman piirteet sekä maiseman ja kulttuuriympäristön arvokohteet. Lisäksi arvioinnissa on tutkittu, muuttaako loppusijoitusalue kohteiden maiseman luonnetta, mistä suunnista näkymät kohti loppusijoituslaitos- aluetta muuttuvat merkittävästi ja aiheutuuko maiseman ja kulttuuriympäristön arvokohteisiin merkittäviä vaikutuksia. Erityisesti on tarkasteltu vaikutuksia kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen läheisyydessä sijaitseviin asuin- ja virkistysalueisiin.



**Kuva 6-2.** Olkiluoto. Kartalla näkyvät muun muassa Olkiluoto 1 ja 2 (1), Olkiluoto 3-työmaa (2), KPA-varasto (3), VLJ-luola (4), Posivan ONKALO-työmaa (5) ja vierailukeskus (6).





■ **Kuva 6-3.** Olkiluodon alue kesällä 2021. Kuvan yläreunassa näkyvät TVO:n ydinvoimalaitosyksiköt Olkiluoto 1, 2 ja 3. Kuvassa keskellä näkyvät rakennukset kuuluvat Posivan kapselointi- ja loppusijoituslaitokseen. Rakennusten oikealla puolella on Korvensuon vesiallas.

## 6.2.2 YMPÄRISTÖN NYKYTILA

Olkiluodon ympäristössä sijaitsevat toiminnot ja maan omistus Olkiluodon lähin kylä, Hankkila, sijaitsee noin kahdeksan kilometrin etäisyydellä Olkiluodon loppusijoituslaitosalueesta. Noin kymmenen kilometrin päässä loppusijoituslaitosalueesta sijaitseva Linnamaa kuuluu Vuojoen kulttuurimaisemaan, johon liittyvät Vuojoen kartanoalue sekä Liinmaan linnanraunio 1360-luvulta. Kuivalahden kyläkeskus sijaitsee Eurajoensalmen pohjoispuolella noin yhdeksän kilometrin päässä loppusijoituslaitosalueelta ja Lapijoen kyläkeskus valtatie 8:n varrella noin 14 kilometrin päässä loppusijoituslaitosalueelta. Rauman puolella lähin kyläkeskus on Sorkka, noin yhdeksän kilometriä loppusijoituslaitosalueelta kaakkoon.

Olkiluodon saaren länsipuoliskolla sijaitsee TVO:n noin 500 hehtaarin suuruinen ydinvoimalaitosalue. Alueella sijaitsevat TVO:n nykyiset voimalaitosyksiköt Olkiluoto 1, 2 ja 3

Ydinvoimalaitosyksiköiden ja ONKALO-työmaan lisäksi alueella on hallintorakennuksia, monitoimikeskus, vierailukeskus, varastoja, korjaamoja, vuosihuoltorakennus, varalämpölaitos, raakavesiallas, raakaveden puhdistamo, välppeentalteenottorakennus, suolanpoistolaitos, saniteettijätevedenpuhdistamo,

kaatopaikka, käytetyn polttoaineen välivarasto (KPA-varasto), matala- ja keskiaktiivisten voimalaitosjätteiden välivarastot (MAJ- ja KAJ-varastot), voimalaitosjätteen loppusijoitustila (VLJ-luola), urakoitsija-alue ja majoituskylä. Lisäksi alueelle ollaan rakentamassa maaperäloppusijoituslaitosta hyvin matala-aktiiviselle laitosjätteelle (HMAJ-laitos). Olkiluodossa on myös Fingrid Oyj:n sähköasema ja Fingrid Oyj:n ja TVO:n yhteisesti omistama kaasuturbiinivoimalaitos varavoimatarpeisiin. Olkiluodossa sijaitsevat toiminnot on esitetty kuvassa (Kuva 6-2).

Posivan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusalue sijaitsee saaren keskiosassa, voimalaitosalueen itäosassa. Alue on pinta-alaltaan noin 36 hehtaaria ja se rajoittuu etelässä saaren läpi voimalaitoksille johtavaan ja idässä satama- ja telakka-alueelle johtavaan tiehen. Välttämättä alueen pohjoispuolella sijaitsee Korvensuon allas, jonka kautta Eurajoesta otettu vesi johdetaan ydinvoimalaitoksen käyttöön. Posivalla on käytössään laitosalueen ulkopuolella louheen varastointialue, jonne kuljetetaan Posivan loppusijoituslaitoksen louhinnassa syntyvä louhe. Louheen varastoinnille ja murskaukselle on toistaiseksi voimassaoleva ympäristölupa.

Kuvassa (Kuva 6-3) näkyy kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen sijainti Olkiluodon saarella.

Olkiluodon ydinvoimalaitosyksiköt näkyvät kuvan yläreunassa.

Posivan alueen maanpäälliseen osaan on rakennettu loppusijoituslaitoksen maanalaisen osan sisäänkäynnin lisäksi muun muassa projektitoimisto, kenttälaboratorio, erilaisia varasto- ja korjaamorakennuksia, palovesipumppaamo, ilmanvaihto- ja nostinlaiterakennukset sekä käytetyn ydinpolttoaineen kapselointilaitos. Lisäksi laitosalueella ja sen ympäristössä tehdään muun muassa kallio- ja maaperän ominaisuuksiin liittyvää tutkimustoimintaa, minkä vuoksi alueelle ja sen ympäristöön on rakennettu yhdysteitä ja tutkimusreikien suojarakennelmia sekä muita tutkimustoimintaan liittyviä rakenteita.

Olkiluodon saari voimalaitosalueelta itään on pääasiassa metsää. Saaren pohjoisrannan keskivaiheilla sijaitsee Olkiluodon teollisuussatama. Olkiluodon saaren itäpäässä on maatalousaluetta ja loma-asutusta. Alueella on ydinvoimalaitosten rakennus- ja huoltohenkilökunnalle tilapäiseen majoitukseen tarkoitettu majoituskylä ja asuntovaunualue.

TVO omistaa suurimman osan Olkiluodosta. Itäosassa on rantayleiskaavan mukaisia rakennettuja ja rakentamattomia loma-asuntotontteja ja muutama yksittäinen laajempi maa-alue yksityishenkilöiden omistuksessa. Valtio omistaa Olkiluodossa Liiklankarin suojelualueen ja Kornamaan saaren länsiosan. Liiklankarin aluetta hallinnoi Metsähallitus. Olkiluotoa ympäröivästä vesialueesta TVO omistaa osan kokonaan ja osan yhteisomistuksen kautta.

### 6.2.2.1 KAAVOITUSTILANNE

Kaavoitustilanne on esitetty käyttölupahakemuksen liitteessä 3 *"Selvitys ydinlaitoksen sijaintipaikan ja sen lähiympäristön asutuksesta ja muista toiminnoista sekä kaavoitusjärjestelyistä"*.

### 6.2.2.2 MAISEMA

Olkiluodon saari sijaitsee Eurajoen kunnassa Selkämeren rannikolla. Selkämeren rannikolle tyypillisiä piirteitä ovat luoteeseen suuntautuvat niemet, näiden väliset matalat lahdet sekä pienialaiset saaristoalueet.

Olkiluodon alue kuuluu maisemallisessa maakuntajaossa Satakunnan rannikkoseutuun. Seudulle on ominaista maaston alavuus ja maaperän pienipiirteisyys: kalliomaiden ohella on sekä moreenialueita, pienialaisia savikoita että harjumuodostumia. Rannikolla on pitkiä suojaisia ja ruovikkoisia lahtia, jotka kasvavat umpeen vähitellen maan kohotessa noin kymmenen millimetrin vuosivauhdilla.

Olkiluodon saari on noin kuusi kilometriä pitkä ja 2,5 kilometriä leveä. Saaren länsipuolella avautuu Selkämeri. Saaren eteläpuoli rajoittuu Rauman saaristoon. Olkiluodon saaren itäpuolelle, Olkiluodon ja Orjasaaren väliseen kapeaan salmeen, laskee Lapinjoki. Eurajoki laskee saaren pohjoispuolelle Eurajoensalmeen.

Olkiluoto on saari, jonka mantereelta erottavat vesiväylät kasvavat hiljalleen umpeen. Olkiluodon korkeimmat kohdat ovat Liiklankallio, joka kohoaa noin 18 metriä merenpinnasta ja Selkänummenharju, joka kohoaa noin 15 metriä meren pinnan yläpuolelle. Olkiluodon maisemarakenteessa on karkeasti jaettuna seuraavanlaisia vyöhykkeitä:

- metsäinen sisämaan vyöhyke,
- metsäinen ja osin kallioinen rantavyöhyke,
- asutuksen vyöhyke alueen etelä- ja itärannoilla,
- teollisuusvyöhyke alueen länsipäässä (voimalaitosalue) ja pohjoisrannalla (satama).

Metsäisen vyöhykkeen jakavat leveä voimajohdotkäytävä ja Olkiluodontie. Metsäisessä sisämaan vyöhykkeessä on kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ja voimalaitoksen toimintaan liittyviä toimintoja, jotka eivät näy kauko- ja tiemaisemassa. Metsäisen vyöhykkeen tiemaisemassa näkyvin elementti on majoituskylä tien molemmin puolin.

Katsottaessa mereltä päin Olkiluoto näyttää pääasiassa puustoiselta alueelta, josta voimalaitos- ja loppusijoitustoiminnasta kertovat elementit, voimalaitosrakennukset piippuineen, ilmanvaihtorakennus, voimajohdot, kohoavat näkyen kaukomaisemassa etäälle. Pohjoisrannan puustoisesta rantavyöhykkeestä erottuu teollisuussatama nostureineen. (*Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy & Ramboll Oy 2007a.*)

### 6.2.2.3 KULTTUURIHISTORIA

Olkiluoto on pääosin ollut vielä 1960-luvulla osa Satakunnan merkittävimpiin kulttuurihistoriallisiin rakennuksiin kuuluvan Vuojoen kartanon maita. Olkiluodon keski- ja länsiosat olivat asumatonta metsämaastoa, jossa laidunnettiin Vuojoen kartanon hevosia. Itäpuolella oli pienialaisia kalastajataloja metsälaitumiseen ja peltotilkkuihin, jotka ovat säilyneet lähes samankokoisina ja viljelykäytössä nykypäivään asti. Varsinainen tie saareen tehtiin vasta 1960-luvulla. Olkiluodon ensimmäisen voimalaitoksen rakennustyöt aloitettiin 1970-luvulla. Lähisaarissa on pieniä kalastajataloja, joista osa on purettu ja osa laajennettu sekä peruskorjattu vapaa-ajan asunnoiksi. Olkiluodon vanhin rakennuskanta on 1900-luvun alkupuolelta. Pääosa asuinrakennuksista on jälleenrakennuskauden ajalta tai sitä uudempia. Loma-asutusta on rakennettu 1960–70 -luvulta lähtien.

### 6.2.3 ARVIOIDUT VAIKUTUKSET

#### 6.2.3.1 VAIKUTUKSET MAANKÄYTTÖÖN

Olkiluodon alue on ollut yli 40 vuoden ajan ydinvoimalaitoskäytössä ja se on osoittautunut hyvin tarkoitukseen soveltuvaksi sijaintipaikaksi. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen maanpäälliset osat sijaitsevat Olkiluodon saaren keskiosassa. Laitosten sijaintipaikan maankäyttö on sopusuhteissa Olkiluodon saaren muun maankäytön kanssa, ja ne tukeutuvat hyvin olemassa olevaan jo rakennettuun Olkiluodon infrastruktuuriin. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen osalta voidaan käyttää hyväksi nykyisten ydinvoimalaitosyksiköiden käyttöä tukevia toimintoja sekä niitä varten rakennettuja tiloja ja rakennelmia. Laitosten tarvitsema ulkopuolinen infrastruktuuri muodostuu liikenneyhteyksistä. Tämä infrastruktuuri on jo nyt pääosin olemassa ONKALON rakentamisen ansiosta.

Osayleiskaavassa on varattu alueet loppusijoituksen maanpäällisille toiminnoille. Lisäksi osayleiskaavassa on määritelty alue loppusijoituksen maanalaisten toiminnoille ja muodostettu sen suojavyöhyke. Alueen laajuus määräytyy

loppusijoituksen kannalta edullisimman kallion esiintymisen perusteella loppusijoitusvyöhykellä. Kallioperän louhimisessa ja poraamisessa on huomioitava, että alue on kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suojavyöhykettä. Ennen kallioperän louhimista ja poraamista on kuultava loppusijoitustoimintaa harjoittavaa tahoa.

Asemakaavassa osoitetaan maanalaisten loppusijoitustilojen sijainti ja syvyys sekä kerrosalaan luettavien tilojen maanalainen rakennusoikeus. Lisäksi asemakaavassa on osoitettu rakennusoikeus maanpäälliselle rakentamiselle, eli ydinlaitokselle ja sen toiminnoille. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen normaali käyttö, odotettavissa olevat käyttöhäiriöt tai mahdolliset onnettomuudet eivät aiheuta rajoituksia maankäytölle maanpäällisen laitoksen alueen ulkopuolella. Olkiluodon ydinvoimalaitoksen ympäristössä on varauduttu onnettomuuden mahdollisuuteen laatimalla lähialueiden käyttöä ja väestön suojelua koskevia suunnitelmia. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen osalta tarvittavissa valmius- ja turvajärjestelyissä tukeudutaan näihin järjestelyihin.

Loppusijoituslaitoksen sulkemisluvan myöntämisen yhteydessä voidaan asettaa maankäytön rajoituksia. Rajoitukset voivat koskea esimerkiksi kairaus- tai maankaivutoimintaa alueella.

#### 6.2.3.2 VAIKUTUKSET RAKENNUKSIIN, RAKENTEISIIN JA MAISEMAAN

Maanpäällä sijaitsevat kapselointilaitoksen lisäksi tilat apu- ja oheistoimintoja varten. Näitä ovat esimerkiksi kuilurakennukset, konttori- ja laboratoriotilat, varasto- ja korjaamotilat sekä LVIS-järjestelmien vaatimat tilat. Louheen ja murskeen varastoinnille sekä tarvittaville työmaatoiminnoille varataan omat alueensa. Maanpinnalta alas loppusijoitustiloihin johtaa ajotunneli sekä tarvittava määrä pystykuiluja ilmanvaihtoa, henkilöliikennöintiä ja kapseloiden siirtoa varten. Laitosalueen rakennusala maanpinnalla, eli rakennusten, teiden, varastojen ja kenttien pohja-ala, on yhteensä noin 20 hehtaaria.

Kaukolämpöjohdot sekä putkiverkko talous-



vedelle kulkevat kaivannoissa laitosalueella pääasiassa tielinjoja pitkin. Muita putkiverkkoja ovat perusvesiviemäröinnin putkiverkko sekä sadevesiviemäröintiverkko. Kaapeleille rakennetaan omat kaivantonsa.

Laitosalueelle toteutetut rakennukset on esitetty kuvassa (Kuva 3-2). Kapselointilaitos on näistä keskeisin. Kapselointilaitos on noin 72 metriä pitkä ja 42 metriä leveä. Rakennuksen alin lattiataso on noin -2,9 metriä, ylin +26,1 metriä ja maantasokerros noin +10,3 metriä. Rakennuksen tilavuus on noin 73 000 m<sup>3</sup> ja pinta-ala noin 3100m<sup>2</sup>. Kapselointilaitos on erotettu laitosaidalla muusta laitosalueesta. Kuvassa (Kuva 6-3) on näkymä Olkiluodon saarelta. Keskellä saarta on louheen läjitysalue. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen maisemavaikutukset jäävät vähäisiksi.

### 6.2.3.3 VAIKUTUKSET KULTTUURIPERINTÖÖN

Alueella ei ole valtakunnallisesti tai maakunnallisesti arvokkaita kulttuurihistoriallisia rakennuksia, merkittäviä rakennettuja kulttuuriympäristöjä tai muita kohteita (*Ympäristöhallinnon karttapalvelu 2012 ja Museovirasto 2007*). Olkiluodon alueelta ei ole löydetty muinaismuistoja (*Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy & Ramboll Oy 2007a*).

## 6.3 MAA- JA KALLIOPERÄ SEKÄ POHJAVESI

### 6.3.1 ARVIOINTIMENETELMÄT

Hankkeen vaikutukset laitosalueen maa- ja kallioperään on arvioitu alueen maastonmuotojen, maa- ja kallioperän laadun sekä kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ja niihin liittyvien rakenteiden tarvitseman alueen ja maanalaisten osien laajuuden avulla. Käytetyn ydinpolttoaineen lämmöntuoton vaikutukset kallioperään on arvioitu.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen suunnittelua varten Olkiluodossa on tehty ja tehdään runsaasti tutkimusta, kuten tutkimuskaivantoja, kairauksia, geofysikaalisia tutkimuksia, pohjaveden virtausmittauksia ja pohjaveden koostumukseen liittyviä tutkimuksia.

Tutkimuksilla selvitetään kallion ominaisuuksia ja pohjaveden virtausreittejä. Lisäksi ONKALON rakentamisen aloittamisesta lähtien on kerätty tietoa kallioperän ominaisuuksista muun muassa kairanreikä tutkimuksin sekä kartoittamalla tunnelin kallopinnat systemaattisesti. Kertynyttä laajaa havainto- ja mittaustietoa on käytetty pohjana mallinnuksiin, joiden avulla on muodostettu kokonaisvaltainen kuva Olkiluodon kallioperästä ja sen pohjavesiolosuhteista (*Posiva 2021b*).

Pohjavesiin kohdistuvien vaikutusten arvioimiseksi on selvitetty loppusijoitusalueen sijoittuminen pohjavesialueisiin nähden ja rakentamisesta ja toiminnasta pohjavesiin kohdistuvat mahdolliset riskit, esimerkiksi pohjaveden pinnan alenema ja pohjaveden kemiallisen koostumuksen muutokset. Arviointi perustuu olemassa oleviin selvityksiin, laskelmiin ja tutkimuksiin. Maanalaisiin kalliotiloihin vuotava pohjaveden määrä (kokonaisvuoto) on mitattu ajotunnelin ja kuilujen osalta.

ONKALON rakentamisen vaikutuksia seurataan Olkiluodon monitorointiohjelmassa lukuisten hydrologiaan ja hydrogeologiaan, hydrogeokemiaan, ympäristöön ja kalliomekaniikkaan liittyvien parametrien mittaamisella ja seurannalla (*Posiva 2021a*). Hydrologian ja hydrogeologian seurantaohjelmaan kuuluvat mm. pohjaveden pinnankorkeus, pohjaveden painekorkeus, avoimien reikien virtausolosuhteet, pohjaveden virtaus (reikien poikkivirtaus), vedenjohtavuus, pohjaveden suolaisuus ja sähkönjohtavuus, sadanta (mukaan lukien lumi), meriveden pinnankorkeus, pintavalunta, suotautuminen, routa, vuotovedet tunneleissa, tunnelijärjestelmän vesitase ja Korvensuon altaan vesitase. Sadanta, routa ja pintavalunta raportoidaan vuosittain pintaympäristön monitoroinnin vuosiraportissa.

Hydrogeokemiallinen monitorointi keskittyy pohjaveden ominaisuuksien sekä alkuperän selvittämiseen sekä pohjaveden kemiassa mahdollisesti tapahtuvien muutosten tutkimiseen. Kalliomekaniikan seurantaohjelmaan kuuluvat muun muassa mikromaanjärjestysten ja kallioperän liikkeiden monitorointi. Malleja päivitetään kerättävän uuden tiedon perusteella.

Vierasaineiden määrää ja käyttöä loppusijoitus-tiloissa seurataan konsernin TLTA (turvallisuusluokitellut tarveaineet) -prosessin kautta. Vain



TLTA-prosessin kautta luvitettuja vierasaineita voidaan käyttää loppusijoitustiloissa.

### 6.3.2 ALUEEN MAA- JA KALLIO- PERÄN SEKÄ POHJAVESIEN NYKYTILA

#### 6.3.2.1 MAA- JA KALLIOPERÄ

Olkiluodon kallioperä koostuu pääasiassa migmatiiteista, joka on kiillegneissistä ja graniitista koostuva seoskilaji. Kallioperä alueella on noin 1 800–1 900 miljoonaa vuotta vanhaa (Aaltonen et al. 2016).

Tutkimusten perusteella kallion pintaosa noin 120–140 metrin syvyydelle asti on enemmän rakoillutta kuin syvemmällä oleva kallio. Lisäksi kallion pintaosien raot ovat yleisemmin vettä johtavia kuin syvemmällä oleva kallio.

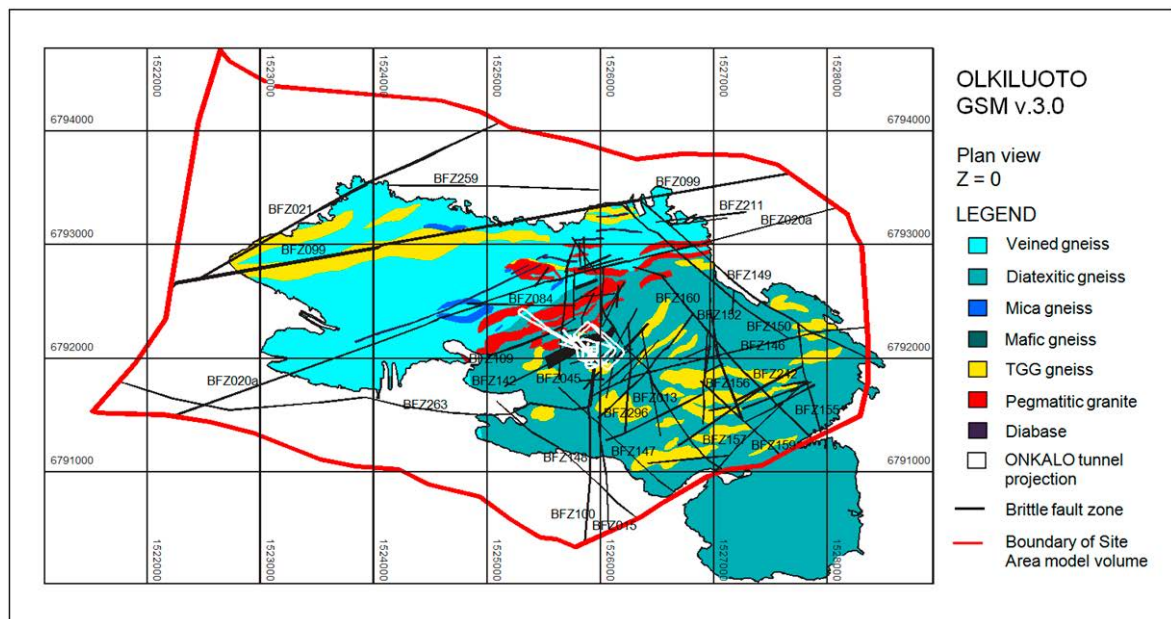
Olkiluodon saari on varsin tasainen eikä suuria korkeuseroja esiinny. Maanpinta on keskimäärin viisi metriä merenpinnan yläpuolella. Saaren korkein kohta (Liiklankallio) on noin 18 metriä merenpinnasta. Peruskallion pinnan korkeus vaihtelee, mutta moreeni tasoittaa maastonmuotoja. Painumissa on paksuja moreenikerroksia, kun taas korkeimmilla kohdilla peruskallio on paljaana tai sen päällä on vain ohuelti maata. (Lahdenperä ym. 2005.) Maankohoamisen, noin kuusi millimetriä vuodessa (Eronen

ym. 1995), yhdistettynä mataluuteen on pitänyt saaren luonnon muutostilassa, ja muutokset jatkuvat edelleen niin kasvillisuudessa kuin maaperässäkin. Saaren läheiset merialueet ovat enimmäkseen matalia, joten saaren pinta-ala kasvaa ja saari yhdistyy aikanaan manteeeseen. Olkiluotoa välittömästi ympäröivän merialueen pohja on enimmäkseen kalliota, savea ja moreenia. (Rantataro 2001.)

Koska Olkiluodon saari on noussut merestä viimeisen 3 000 vuoden aikana, sen maaperä on pääosin nuorta ja vasta kehityksensä alussa. Sekä nuoruus että meren läheisyys näkyvät maan ja maaveden ominaisuuksissa. (Haapanen ym. 2007.) Vallitseva maalaji on hienoaimesmoreeni. Kivisyys on kuitenkin huomattavaa. Kangasmailla orgaaninen kerros on tyypillisesti kangashumusta tai turvemultaa. (Tamminen ym. 2007.)

#### 6.3.2.2 OLKILUODON MALLINNUS

Periaatepäätöksen (2001) jälkeinen Olkiluodon paikankuvaus julkaistiin paikankuvausraportissa *Olkiluoto Site Description 2004* (Posiva 2005). Ennen rakentamislupahakemuksen paikankuvausta vuonna 2011 (Posiva 2012b), paikankuvaus päivitettiin myös vuosina 2004 (Posiva 2005), 2006 (Andersson et al. 2007) ja 2008 (Posiva 2009). Olkiluodon geologinen



**Kuva 6-4.** Olkiluodon saaren alueelle tulkitut kallioperän kivilajit ja rikkonaisuusrakenteet.

paikkamalli päivitettiin vuonna 2016 raportissa *Geology of Olkiluoto* (Aaltonen et. al. 2016). Olkiluodon saaren alueelle tulkittujen rakenteiden maanpintaleikkaukset esitetään kuvassa (Kuva 6-4). Olkiluodon hydrogeologinen mallinnus ja sen kehitys on esitetty raportissa *Hydrogeology of Olkiluoto* (Posiva 2021) ja kalliomekaniikan paikankuvaus raportissa *Rock Mechanics of Olkiluoto* (Posiva 2021). Hydrogeokemiallinen malli sekä viimeisin pintaympäristön ominaisuuksista ja kallioperän paikkamalleista laadittu yhteenveto esitetään Käyttölupahakemusta varten laaditussa Olkiluodon paikankuvausraportissa (*Olkiluoto Site Description* 2018).

### 6.3.2.3 OLKILUODON PINTAHYDROLOGINEN MALLI

Olkiluodon pinta- ja kalliopohjaveden hydrogeologinen malli (ns. SHYD) käsittelee sekä saturoitumatonta että saturoitunutta veden virtausta maakerroksessa kytkien pintaosassa tapahtuvan virtauksen kalliopohjaveden virtaukseen. Mallinnuksen lähtötietoihin kuuluvat muun muassa Olkiluodon saaren ojaverkosto (Kuva 6-5), maankäyttö- ja kasvillisuustiedot, maakerroksen hydrologiset mittaustiedot sekä kalliopohjaveden virtaukseen liittyvät ominaisuudet. Olennaisiin maakerroksen hydrologisia ominaisuuksia kuvaaviin tietoihin kuuluvat

maa-aineksen vedenpidätysominaisuudet ja saturoimattoman maa-aineksen vedenjohtavuus.

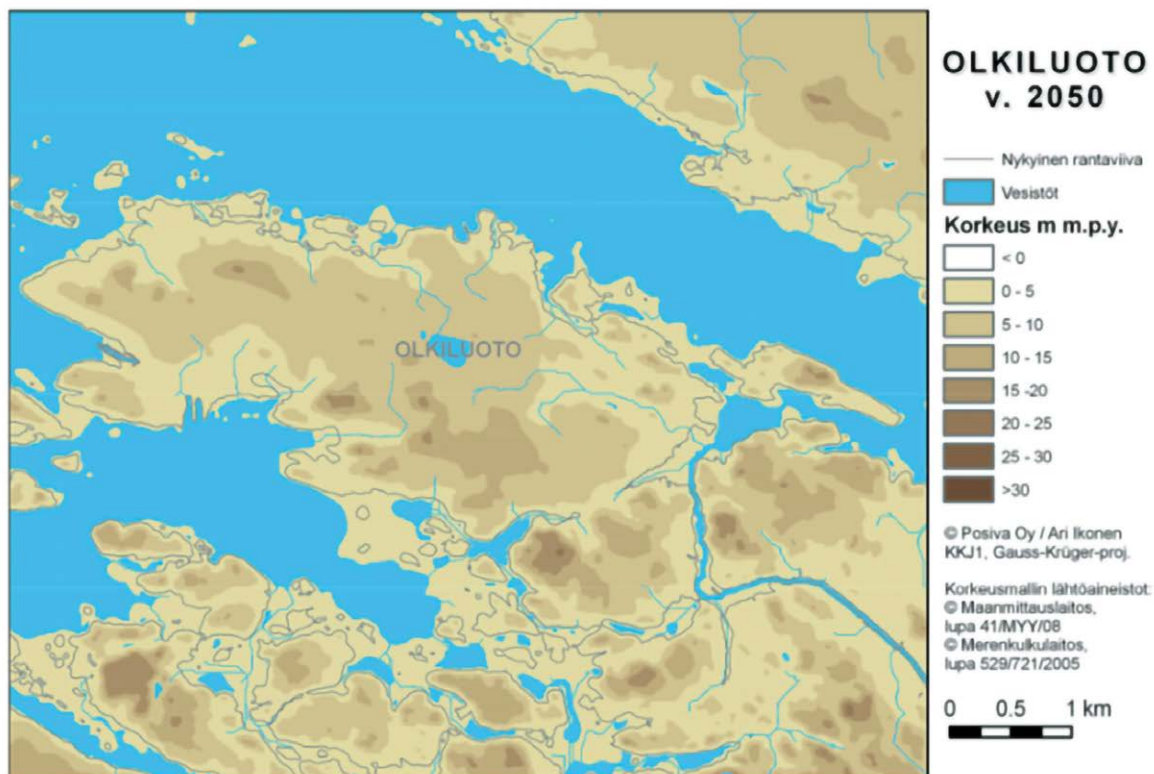
Olkiluodon saaren ojat ovat metsäojia, tienvierusojia tai maatalouden kuivatusojia, jotka kuljettavat valuma-alueiden vedet saarta ympäröivään mereen. Mallinnustulosten mukaan vuosittainen pintavalunta edustaa noin 17 % ja kokonaishaihdunta 66 % sadannasta (Posiva 2019-02). Mallin avulla arvioitiin myös kalliopohjavedeksi suotautuvan veden määrää. Tulosten mukaan maanpinnan läpi suotautuvan veden määrä on noin 405 mm vuodessa ja siitä syväksi pohjavedeksi yli 50 metrin syvyyteen kulkeutuvan veden määrä noin 5 mm vuodessa (Posiva 2019-02). Mallinnuksissa on huomioitu myös Korvensuon altaan ja ONKALON mahdollinen vaikutus virtausolosuhteisiin (Karvonen 2010, Posiva 2019-02).

### 6.3.2.4 MAANKOHOAMINEN

Olkiluodon alueella ei tapahdu merkittäviä maankohoamisesta aiheutuvia vaikutuksia tulevan sadan vuoden aikana. Munakarista tulee osa Olkiluotoa ja nykyisen, niitä erottavan salmen kohdalle muodostuu järvi tai kosteikko-alue (Kuva 6-6). Olkiluoto yhdistyy mantereeseen niitä nykyisin erottavan kapean salmen kuivuessa.



**Kuva 6-5.** Olkiluodon saaren maastonkorkeus (liioiteltu) ja ojaverkosto.



■ Kuva 6-6. Olkiluodon topografiaa 2050-luvulla.

### 6.3.2.5 SEISMOLOGIA

Fennoskandian kilpi, ja etenkin siihen kuuluva Suomen prekambriinen kallioperä on eräs maailman seismisesti stabiileimmista geologisista alueista.

Olkiluodon laitospaikan nykyistä seismistä aktiivisuutta on monitoroitu sekä Helsingin Yliopiston Seismologian Instituutin ylläpitämän makroseismisen monitorointiverkoston, sekä vuodesta 2002 alkaen Posiva Oy:n mikroseismisen monitorointiverkoston avulla. Posiva Oy:n ylläpitämän seismisen monitorointiverkoston tulokset julkaistaan vuosittain. Vuoden 2019 seismisen verkoston monitorointitulokset ovat esitetty raportissa Haapalehto et al. (2020).

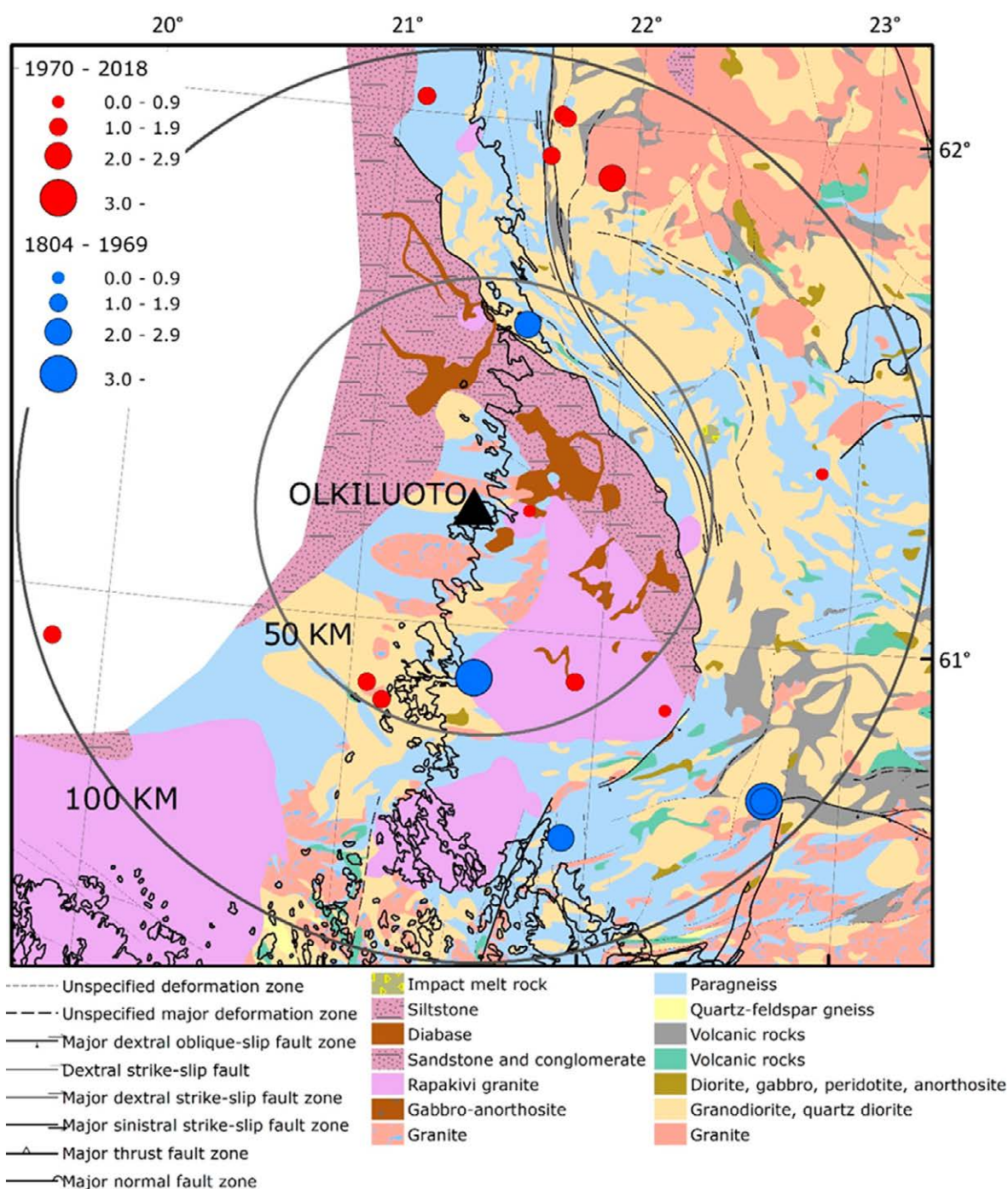
Olkiluodon saarella ei ole havaittu makroseismisiä tapahtumia koko tämän seismisen monitoroinnin aikajaksolla (Saari 2003; Ahjos & Uski 1992; ISUH 2019a & 2019b). Kaikki tunnetut makroseismiset tapahtumat alle 100 km etäisyydellä Olkiluodosta ovat olleet suuruudeltaan pieniä ( $M < 3.1$ ), ja olemassa olevien historiallisiin havaintoihin sisältyvän maanjäristyskatalogien perusteella vuosien 1804 - 2018 välillä

luonnollisia maanjäristyksiä 100 km etäisyydellä on tunnistettu tapahtuneen 17 kpl (Kuva 6-7). Alle 50 km etäisyydellä Olkiluodosta on samalla aikajänteellä tunnistettu tapahtuneen 6 kpl maanjäristyksiä (Kuva 6-9), joista lähin on tapahtunut Eurajoella 29. Syyskuuta 2008 ollen kuitenkin suuruudeltaan pieni  $ML = 0.8$  (Kuva 6-7). Ennen monitorointiverkon asentamista historialliseen aineistoon pohjautuen on vuonna 1926 tunnistettu Uudenkaupungin alueella tapahtuneen maanjäristys jonka suuruudeksi on arvioitu  $M = 3.1$  (Kuva 6-7). Historiallisiin, sekä monitoroituihin havaintoihin, sekä Posiva Oy:n jatkuvaluontoisen monitorointiaineiston perusteella luonnollinen seisminen aktiivisuus Olkiluodon alueella on vähäistä.

### 6.3.2.6 POHJAVESI

Pohjaveden pinta myötäilee väljästi maanpinnan topografiaa; moreenipeitteisillä alueilla pohjavesi on tyypillisesti 1–2 metrin syvyydellä ja rannassa pohjaveden pinta yhtyy meriveden pintaan. Olkiluodossa ei ole luokiteltuja pohjavesialueita, eikä alue ole yhdyskuntien vedenhankinnan kannalta merkityksellistä aluetta.





**Kuva 6-7.** Olkiluodon laitospaikalta 100km ja 50km etäisyydellä tunnistetut luonnolliset maanjäristykset Satakunnan geologisella kartalla. Punaiset ympyrät kuvaavat monitorointiverkolla havaittuja maanjäristyksiä, ja siniset ympyrät kuvaavat historiallisia maanjäristyksiä ennen seimisen monitorointiverkon asentamista. Kuvan tuottanut Outi Kaisko ja datat pohjautuvat (Ahjos & Uski 1992; ISUH 2019a & 2019b).

Saarella on muutamia yksityisten henkilöiden omistamia porakaivoja, jotka ovat joko jatkuvassa tai vapaa-ajan käytössä. Lähin luokiteltu pohjavesialue sijaitsee Kuivalahdella Eurajoen salmen pohjoispuolella, noin kuusi kilometriä kapselointi- ja loppusijoituslaitokselta koilliseen.

Perustilassa Olkiluodon kallioperän pohjavesi on jakautunut kerroksiin, jotka eroavat mm. suolapitoisuudeltaan ja anionikoostumukseltaan. Pitoisuuserojen perusteella pohjavedet on jaettu perustilan vesityyppeihin ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$  ja  $\text{Cl}^-$  vesityyppi), sekä näiden sekoituksiin



(Pitkänen ym. 202X). Pohjavesi on makeaa ensimmäisten kymmenien metrien matkalla (suolapitoisuus alle 1 g/l), jonka alapuolella esiintyy murtovettä noin 400 metrin syvyyteen asti (suolapitoisuus 1–10 g/l). Loppusijoitus­syvyydellä (–420m) vesi on joko murtovettä tai suolaista pohjavettä (enintään 21 g/l). Suolapitoisuus lisääntyy edelleen syvyyden kasvaessa. Korkein Olkiluodossa mitattu suolapitoisuus (130 g/l) on mitattu vuonna 2015 kairareistä OL-KR1 syvyydeltä –902m otetusta vesinäytteestä (Lamminmäki ym. 2017a).

Pohjavesi virtaa kallioperän raoissa ja rikkonaisuusvyöhykkeissä. Tunnetuista Olkiluodon kallioperän vettä johtavista vyöhykkeistä ylläpidetään hydrogeologian rakennemallia (HZ-malli, Vaittinen ym. 2020a). Kallioperän pohjavesikerroksista, virtausolosuhteista ja virtausreiteistä saadaan tietoa syvien kairareikien painekorkeuden seurannan, virtausmittausten ja vesinäytteenottojen avulla. Tyypillisesti rako­jen vedenjohtavuudet ovat suurimpia kallion yläosissa ja pienenevät syvyyden kasvaessa. Merkittävimpää vettä johtavia rakenteita Olkiluodossa ovat HZ19A-C ja HZ20A-B.

Maanalaisten tilojen rakentaminen vaikuttaa Olkiluodon kallioperässä liikkuvan veden virtausreitteihin ja -nopeuksiin sekä sitä kautta myös veden hydrogeokemiallisiin ominaisuuksiin eri pohjavesityyppien sekoittuessa. Näitä muutoksia seurataan vuosittain Olkiluodon monitorointiohjelmassa, jonka tulokset esitetään vuosittain ilmestyvissä raporteissa. Viimeisimmät monitorointiraportit koskevat vuoden 2019 tuloksia (Yli-Kaila ym. 2020, Vaittinen et al. 2020b).

### 6.3.3 VAIKUTUKSET MAA- JA KALLIOPERÄÄN SEKÄ POHJAVESIIN

#### 6.3.3.1 MAANPÄÄLLISET RAKENTEET

Loppusijoitustoimintaan liittyvät maanpäälliset kalliolouhinnat ovat jo valmistuneet. Nämä pinta­louhinnat on tehty lähinnä alueen rakennuksia, teitä ja pihoja rakennettaessa. Tarvittavat maanpäälliset rakennukset on rakennettu jo ennen loppusijoituksen aloittamista.

#### 6.3.3.2 MAANALAISEN LOPPUSIJOITUSLAITOKSEN VAIKUTUS KALLIOPERÄÄN

Maanalaisen laitoksen tarvitsema pinta-ala, kun loppusijoitettava polttoainemäärä on 6 500 tU, on noin 150 hehtaaria. Loppusijoitustunnelien kokonaispituus on noin 35 kilometriä.

Loppusijoitustilojen louhintatyöt loppusijoitusreikiä ja kuiluja lukuun ottamatta on tehty poraus-räjäytys -menetelmällä, tulevaisuudessa tekniikan kehittyessä voidaan harkita myös mekaanista louhintaa. Louhinnassa on kiinnitetty erityistä huomiota louhintajälkeen ja louhinnan vaikutukseen tunneliteitä ympäröivään kallioon. Sallittava yllilouhintatoleranssi pidetään pienenä, jottei turhaan kasvateta myöhemmin täytettävää tilavuutta. Tunneliteitä louhittaessa voidaan tunnelin pohjaosa louhia erikseen, jolloin vaikutus lattian ja seinien alaosien kallioon jää pienemmäksi.

Louhinnassa käytettävä poraus-räjäytys -menetelmä koostuu useista eri välivaiheista. Tunnelin perään porataan ensin yhden katkon irrottamiseen tarvittavat louhintareitit. Seuraavassa vaiheessa reiät panostetaan ja panostuksen jälkeen katko räjäytetään ja tunneli tuuletetaan. Räjäytetty louhe lastataan ajoneuvoihin ja kuljetetaan ajotunnelia pitkin maanpinnalle. Louhittavan perän tyhjennyksen jälkeen aloitetaan jälleen uuden katkon louhintareikien poraus. Injektointi- ja lujitustöitä tehdään tarvittaessa eri vaiheiden välissä. Louhintatyön saattavat keskeyttää erilaiset kartoitukset ja tutkimukset. Loppusijoitustunnelien lattiaan tehtävät loppusijoitusreitit porataan tarkoitukseen kehitetyllä porausmenetelmällä. Porauksessa syntyvä aines poistetaan reiän pohjalta alipaineella toimivan ilmahuuhtelun avulla. Laitteistolla voidaan porata suuriläpimittaisia reikiä ylhäältä alaspäin matalassa loppusijoitustunnelissa. Suurin osa loppusijoitustilojen rakennusteknisistä töistä tehdään ONKALOn rakennusvaiheessa, muun muassa ajotunnelin, henkilö-, tulo- ja poistoilmakuilun sekä valvomattoman alueen teknisten tilojen rakenteet.

Loppusijoitusta edeltävässä rakennusvaiheessa toteutettavia rakennusteknisiä töitä ovat muun muassa valvonta-alueen tilojen, kapse-

likuilon, sekä keskustunnelien ja ensimmäisten sijoitustunnelien rakentaminen. Käyttövaiheen aikana rakennustöitä tehdään keskus- ja sijoitustunneleissa noin 5–10 vuoden välein toteutettavien louhintaurakoiden yhteydessä.

### 6.3.3.3 KAPSELIEN LÄMMÖN- TUOTON VAIKUTUKSET KALLIOPERÄÄN

Jokaisen kapselin lämmöntuotto nostaa lähi-alueen lämpötilaa. Tämän takia kunkin reaktori poistetun käytetyn polttoaine-erän tulee olla jäähtynyt siten, että kapseleita ympäröivän bentoniitin lämpötila ei loppusijoituksen aikana ylitä +100 °C:n lämpötilaa. Mikäli kapseleiden lähialueiden lämpötila nousisi liian korkeaksi, bentoniittipuskurissa saattaisi ilmetä kemiallisia muutoksia, jotka heikentäisivät sen kapselia suojaavia ominaisuuksia. Loppusijoitustilojen kokonaislämmöntuotto on kutakuinkin suoraan verrannollinen loppusijoitustiloissa olevien jätekapseleiden määrään. Kapseleiden lähialueen lämpötila ei kuitenkaan ole erityisen herkkä loppusijoitustiloihin sijoitettujen kapseleiden kokonaismäärän suhteen, koska kapselit sijoitetaan lämpömitoitusta noudattaen toisistaan erilleen siten, että liiallinen lämpötilan nousu vältetään. Käytetyn ydinpolttoaineen jälkilämpö aiheuttaa kallion laajentumista. Elementtimenetelmällä ja analyyttisesti on laskettu maanpinnan kohoavan loppusijoitustilan keskikohdalla lämpölaajenemisen johdosta enimmillään noin seitsemän senttimetriä runsaan tuhannen vuoden kuluessa. (Ilkonen 2007.)

### 6.3.3.4 SYNTYVÄN LOUHEEN JA MUUN KIVIAINEKSEN MÄÄRÄ

6500tU:n polttoainemäärälle maanalaisen loppusijoituslaitoksen kokonaistilavuus on noin 1 250 000 m<sup>3</sup>, josta noin 40 % eli noin 500 000 m<sup>3</sup> on varsinaisia loppusijoitustiloja. Noin puolet loppusijoituslaitoksen kokonaistilavuudesta on jo louhittu. Jatkossa louhetta syntyy vuosittain noin 10 000–20 000 kiintokuutiota riippuen louhintojen jaksotuksesta.

Maanalaisesta loppusijoitustilasta ylös tuotu kiviaines varastoidaan väliaikaisesti Olkiluodossa sijaitsevalle louheen läjitysalueelle. Louhe

voidaan tarvittaessa murskata. Rakentamisen kehityksessä pyritään siihen, että tunnelit tehtäisiin myöhemmin mekaanisilla louhintamene-  
telmillä. Näin syntynyt murskaantunut kiviaines kuljetetaan louheen tapaan maanpinnalle ja läjitetään.

Läjitetty kiviaines käytetään ensisijaisesti muihin käyttötarkoituksiin Olkiluodossa sellaisenaan täyttömassana tai murskattuna ja/tai seulottuna murskemateriaalina. Yhtenä vaihtoehtona on myydä tunnelista saatavaa kiviainesta ulkopuoliselle toimijalle joko sellaisenaan tai murskattuna.

Louhintamateriaalien lisäksi syntyy vähäisiä määriä muita kaivumassoja. Hankkeen rakentamiseen kelpaamattomat kaivettavat maa-  
massat läjitetään Olkiluodon nykyiselle maanläjitysalueelle.

### 6.3.3.5 VAIKUTUKSET POHJAVESIIN

Maanalaisten tilojen rakentaminen vaikuttaa Olkiluodon kallioperässä liikkuvan veden virtausreitteihin ja -nopeuksiin sekä sitä kautta myös pohjaveden kemialliseen koostumukseen. Muutoksia havainnoidaan loppusijoituslaitoksen käytön aikaisen monitorointiohjelman avulla (Posiva 2021a). Kuvassa (Kuva 6-8) on esitetty pohjavesiputkien ja matalien kallioreikien tarkkailupisteiden sijainti Olkiluodossa. Niiden lisäksi pohjavesiä seurataan syvistä kairarei'istä, joita on kairattu Olkiluotoon kaikkiaan 58 kappaletta, sekä maanalaisissa tiloissa sijaitsevista mittauspisteistä.

Tunneleita rakennettaessa ja loppusijoitustiloja käytettäessä avoimiin tunnelitilavuuksiin vuotaa pohjavettä, joka pumpataan maanpinnalle. Tämä alentaa pohjaveden painekorkeutta tunneliston ympärillä ja vuotovesisuurekset saattavat aiheuttaa myös pohjaveden pinnankorkeuden alenemista Olkiluodon saaren alueella. Vuotovesi-  
määriä ja vaikutusten laajuutta hallitaan rakennustyön edetessä tiivistämällä kalliota tunnelien ympärillä.

ONKALON kokonaisvuoto on noin 30 litraa minuutissa (Vaitinen ym. 2020b). Kokonaisvuoto tulee arvioiden mukaan olemaan enimmillään noin 60 l minuutissa riippuen siitä, miten paljon avoimia loppusijoitustiloja on kerrallaan

auki ONKALOn ajotunnelin lisäksi. Vuotoveden lisääntyminen rakentamisen edetessä ei todennäköisesti enää lisää jo havaittua hyvin pientä vaikutusta (alle 0.5 metriä ONKALOn päällä) pohjaveden pinnankorkeuteen, koska ONKALOn pinnanläheiset osat on jo rakennettu. Paikallisesti alenema on voinut ja voi tulevaisuudessa muodostua suuremmaksi kohtiin, joissa keskimääräistä paremmin vettä johtavia rakenteita sijoittuu pinnan läheisyyteen ja joista vedet vuotavat ONKALOon. Nykyisissä numeerisissa virtausmalleissa on lähtökohdaksi otettu arvio, että pohjaveden pinnankorkeus ei muutu ONKALOn rakentamisen vaikutuksesta.

Pohjaveden painekorkeudessa on havaittu sekä lyhytaikaisia että pitkäaikaisia muutoksia. Lyhytaikaiset muutokset ovat johtuneet useista eri tutkimustoimenpiteistä sekä tutkimusalueella että ONKALOSSa ja tilapäisistä vuodoista ONKALOSSa tehtyjen reikien lävistäessä vettä johtavia vyöhykkeitä ja rakoja. Eräissä tunneleita leikkaavissa vettä johtavissa kallioperän vyöhykkeissä pohjaveden painekorkeudet ovat tasaisten vuotojen johdosta vakiintuneet tasolle, jolla alenema vaihtelee ONKALOn lähellä noin metristä (HZ19-vyöhykkeet) selvästi yli 10 metriin (HZ20-vyöhykkeet) (Vaittinen ym. 2020b). ONKALOn lähialueella (alle 100metrin etäisyydellä) painekorkeus on alentunut paikoin yli 100 metriä yksittäisissä raoissa tai hyvin paikallisissa vyöhykkeissä, vaikka niiden leikkauskohta ONKALOSSa vuotaa alle 1 dl minuutissa. Tämä johtuu siitä, että kyseisten rakojen vedenjohtavuus on hyvin pieni, eivätkä ne saa korvaavaa vettä ympäristöstään. Syvien kairareikien painekorkeuksissa ja virtausolosuhteissa tapahtuvien muutosten seurannalla on havaittu hydraulisia yhteyksiä eri kairareikien ja maanalaisten tilojen välillä, kuten myös eri kairareikien välillä. Hydrogeologista rakennemallia (Vaittinen ym. 2020a) päivitetään havaintojen perusteella.

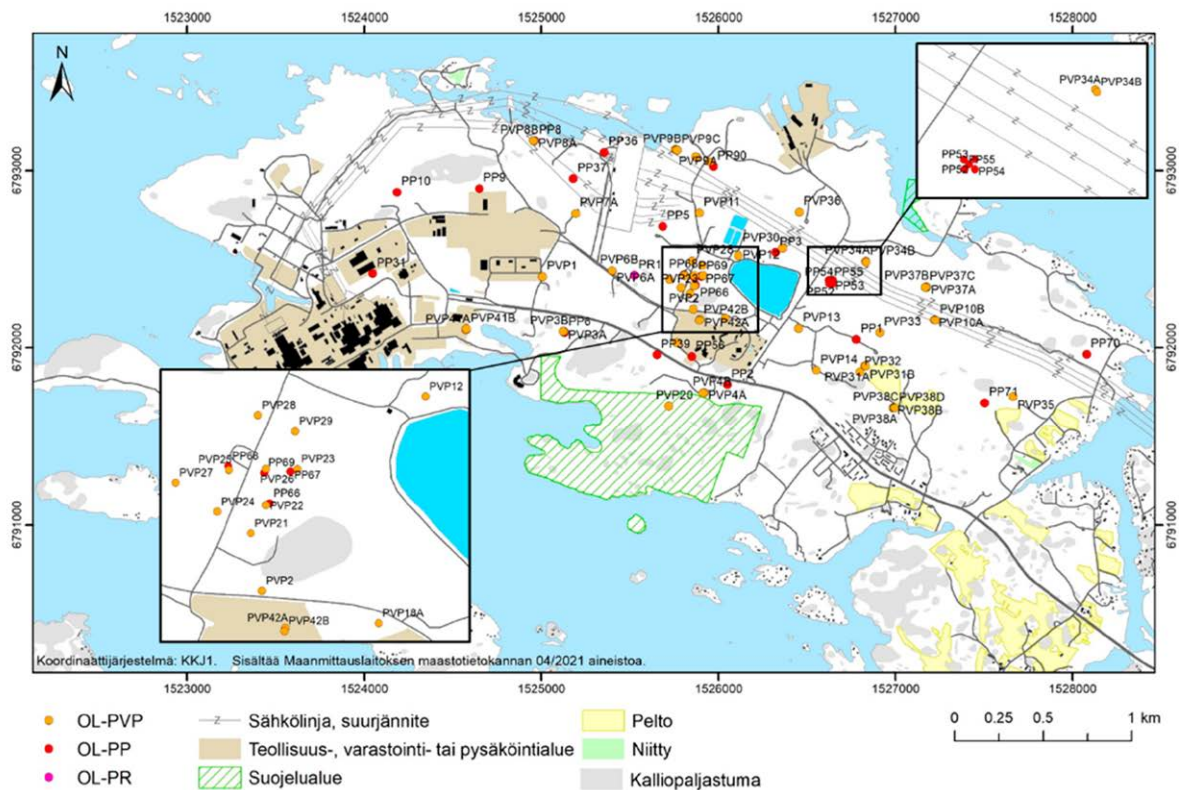
Matalien pohjavesien kemiassa havaitut muutokset johtuvat esimerkiksi luonnollisesta vuosittaisesta vaihtelusta hydrologisissa olosuhteissa tai vuodenaikaisvaihtelusta, jota tyyppillisesti havaitaan osassa matalia pohjavesinäytteenottopisteitä (esim. Yli-Kaila ym. 2020). Myös maaperän paksuus ja laatu vaikuttavat matalien pohjavesien kemiaan. Olkiluodontien suolauksesta johtuvaa suolapitoisuuden nousua on havaittu Olkiluodontien eteläpuo-

lella pohjavesiputkissa OL-PVP4A ja OL-PP2 vuodesta 2006 alkaen. Maankäytöllä on ollut paikallisia vaikutuksia matalien pohjavesien koostumukseen. Kohonneita sulfaatti- sekä nitraatti- ja nitriittipitoisuuksia on havaittu kapselointilaitostyömaan pohjavesiputkissa OL-PVP42A ja OL-PVP42B, mitkä ovat peräisin työmaalle ajetusta, ONKALOSTa louhitusta kivimurskeesta (esim. Yli-Kaila ym. 2020). Murskeesta liuennutta sulfaattia on havaittu myös muutamissa ONKALOn yläosan havaintopisteissä, esimerkiksi pohjavesiasemassa ONK-KR1. Alueella sijaitsevan Korvensuon altaan veden suotautuminen lähiympäristöön on ollut nähtävissä altaan pohjoispuolella sijaitsevilla matalissa pohjavesinäytteenottopaikoissa sekä muutamissa syvien pohjavesien näytteissä (esim. Yli-Kaila ym. 2020, Pitkänen ym. 202X).

Kallion syvemmissä pohjavesissä nähty muutokset ovat olleet merkittävimpiä ONKALOn ajotunnelia leikkaavissa, suurissa loivasti laskevissa vyöhykkeissä HZ19A-C ja HZ20A-B (Pitkänen ym. 202X). Näiden rakenteiden alkuperäiseen pohjaveteen on päässyt sekoittumaan laimeampaa vettä ONKALOn aiheuttaman hydraulisen painegradientin johdosta ja joissain tapauksissa myös auki olleet kairareivät ovat voimistaneet vaikutusta. Laimeneminen on ollut suurinta ONKALOn läheisyydessä. Kauempana ONKALOSTa havaitut muutokset ovat pääasiassa johtuneet avoimen tutkimusreiän (kairareikä) aikana tapahtuneesta vesien sekoittumisesta. Avoin kairareikä muodostaa hydraulisen yhteyden eri rakenteiden välille, jota myöden pohjavesi pääsee virtaamaan korkeammassa paineessa olevasta vyöhykkeestä matalammassa paineessa olevaan. Näin tapahtuu erityisesti jos yhteys ONKALOon voimistaa imua (Pitkänen ym. 202X). Tällaisissa tapauksissa laimeampia, bikarbonaatti- ja sulfaattipitoisia vesiä on päässyt virtaamaan syvemmälle kallioperään. Tulppakalustojen asennusten myötä palautumista on tapahtunut erityisesti kauempana ONKALOSTa olevissa kohteissa. Havaintojen perusteella yli 600m syvyydessä kemialliset olosuhteet ovat pysyneet vakaina. Syvien pohjavesien sekoittumisella ei ole suoria ympäristövaikutuksia. Maanalaisten tilojen rakentamisen pitkäaikaisturvallisuusvaikutuksia on käsitelty tarkemmin kappaleessa 8.6.1.1.

Mikrobiologisia prosesseja ja niiden vaikutusta pohjaveden kemialliseen koostumukseen on tutkittu useiden eri tutkimusprojektien ja näytteenottojen avulla Olkiluodossa viime vuosikymmenien aikana. Tutkimusten perusteella on laadittu Olkiluodon mikrobiologinen malli (Tuomi ym. 2020). Loppusijoituskonseptin kannalta merkityksellinen vyöhyke sijaitsee heti kallion pintaosassa, jossa hapellinen pohjavesi muuttuu hapettomaksi, koska hapettomat olosuhteet ovat yksi tärkeä suunnitteluperuste teknisille vapautumisesteille. Olkiluodon kallio-perässä on iso puskurikapasiteetti hapen suotautumista vastaan jopa geologisten ajanjaksojen kuluessa. Toinen tärkeä vaihtumisvyöhyke sijaitsee n. 300 m syvyydellä, jossa  $SO_4$ -tyypin pohjavesi vaihtuu  $Cl$ -tyypin pohjavedeksi. Tässä vyöhykkeessä on havaittu kohonneita mikrobimääriä sekä niiden aktiivisuutta ja sen seurauksena kohonneita liuenneen sulfidin ( $HS^-$ ) pitoisuuksia (Tuomi ym. 2020). Sulfidipitoisuudella on merkitystä loppusijoituskapselin pitkänajan toimintakyvylle.

Vaikka sulfaatin pelkistysprosessia ja sulfaatinpelkistäjäbakteereja löydetään Olkiluodon pohjavesistä yleisesti, niin  $HS^-$ :n kertymistä rajoittaa mm. rajallinen muodostumisnopeus prosessin vaatimien elektronin vastaanottajien ja luovuttajien saatavuudesta johtuen ja sulfidin saostuminen raudan kanssa, joka muodostaa lopulta pyriittiä (pitkänajan nielu sulfidille). Rajoittavien tekijöiden ansiosta sulfidipitoisuus pysyy alhaisena perustilassa, mutta kohonneita pitoisuuksia havaitaan erityisesti tilanteissa, joissa pohjavesi pääsee sekoittumaan. Pitemmällä ajalla tilanne kuitenkin palautuu lähelle stabiilia tilaa, jolloin sulfaatin pelkistykseen tarvittavan energian, hiilen ja ravinteiden määrä on rajoittunutta ja sulfidipitoisuus alkaa vähentyä edellä mainittujen tekijöiden vaikutuksesta (Tuomi ym. 2020). Sijoituspaikan pohjaveden sulfidipitoisuuksien mallinnettuja kehityskulkuja tulevaisuudessa on esitetty raportissa Posiva 2021c.



**Kuva 6-8.** Pohjavesiputket ja matalat kallioreiät Olkiluodossa vuonna 2021 (Posiva 2021a).



## 6.4 ILMASTO JA ILMANLAATU

### 6.4.1 ARVIOINTIMENETELMÄT

Maarakennustyöt, työmaaliikenne sekä erillistoiminnot (esimerkiksi kivenmurskaus ja louheen läjitys) aiheuttavat toiminnan aikaista paikallista pölyämistä. Ajoneuvot ja työkoneet aiheuttavat pakokaasupäästöjä ilmaan. Nämä päästöt ja niiden vaikutukset on arvioitu asian-  
tuntijatyönä.

### 6.4.2 ILMASTON JA ILMANLAADUN NYKYTILA

Olkiluoto sijaitsee Selkämeren rannikolla merellisessä ilmastossa. Merelliselle ilmastolle tyypillistä on lämpöolojen tasaisuus. Keväällä lämpötila on rannikon tuntumassa selvästi alempi kuin kauempana sisämaassa. Syksyllä lämmin meri tasoittaa vuorokauden lämpötila-eroja, eikä yöpakkasia juurikaan esiinny. Talvi Satakunnan alueella on lauha, koska Selkämeren keskiosa pysyy jäättömänä lähes koko talven. Lumipeite on yleensä alle 20 senttimetrin paksuinen. Routa ulottuu tyypillisesti 10–70 senttimetrin syvyyteen. Kasvukauden pituus on viime vuosina ollut keskimäärin 180 päivää. Vallitseva tuulen suunta on lounaasta. Olkiluodon vuotuinen sademäärä vaihtelee 400–700 millimetriin. (Haapanen 2011.)

Päästöt ilmaan ovat Eurajoella vähäiset. Pienemmistä teollisuuslaitoksista ja muista pistelähteistä (esimerkiksi omakotitalot, saunat) aiheutuvien päästöjen määrää ei ole arvioitu. Eurajoella ei ole ilmanlaadun seurantaa. Lähin seurantamittauspiste on Raumalla. Myös teollisuuspaikkakunnilla Harjavallassa ja Porissa seurataan ilmanlaatua. Rauman alueen päästöt ovat pieniä verrattuna Porin ja Harjavan päästöihin.

### 6.4.3 VAIKUTUKSET ILMASTOON JA ILMANLAATUUN

#### 6.4.3.1 LOUHINNAN, MURSKAUKSEN JA LÄJITYKSEN VAIKUTUS ILMANLAATUUN

Pintaräjäytyksestä ilmaan joutuvan pölyn voi havaita tuulen suunnassa muutaman sadan metrin päähän (LT-Konsultit Oy 1998). Louhinnan kesto ja ajoittuminen sekä vaikutusalueen koko huomioiden merkittäviä ympäristövaikutuksia ei ole. Käyttötoiminnan alkaessa maanpinnalla tehtävät louhintatyöt on saatu valmiiksi. Maanalaisen räjäytyksen pöly ei vaikuta maanpinnalla.

Käyttö- ja sulkemisvaiheessa louhetta murskataan noin kuukauden ajan joka toinen vuosi. Louhintaa ja murskausta ei tehdä yöllä. Mikäli tulevaisuudessa siirrytään mekaanisiin louhintamenetelmiin, ei erillistä murskausta maanpinnalla tarvita.

Siirrettävän murskaamon pölyvaikutusta on arvioitu valtioneuvoston määräämien ohjearvojen ja Tiehallinnon ohjeiden avulla. Murskaus tehdään lämpimään vuodenaikaan ja pölyämistä rajoitetaan kastelemalla. Talvella pölylähteet suojataan peittein tai koteloinnein. Suojaetäisyys on 300 metriä. Mikäli pölyämistä rajoitetaan vasta tarpeen ilmetessä, on suojaetäisyys 500 metriä. Suojaetäisyyksissä ei ole huomioitu kasvillisuuden suojaavaa vaikutusta (LT-Konsultit Oy 1998, Tolppanen 1998).

Murskauksen ja läjityksen ympäristövaikutukset eivät ole merkittäviä toimintojen lyhyen kes-  
ton ja vaikutusalueen pienuuden ansiosta.

#### 6.4.3.2 AJONEUVOISTA AIHEUTUVAT PÄÄSTÖT

Vuonna 1999 ja 2008 valmistuneissa Posivan ympäristövaikutusten arviointiselostuksissa todettiin hankkeen aiheuttavan korkeintaan muutaman prosentin lisäyksen laitospaikkakuntien tieliikenteen kokonaispäästöihin. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen aiheuttamalla liikenteellä ei ole merkitystä paikallisen ilmanlaadun kannalta. Esimerkiksi typpioksidin pitoisuudet alittavat selvästi ohjearvot.

## 6.5 VESISTÖT

### 6.5.1 ARVIOINTIMENETELMÄT

Vedenhankintajärjestelyt on kuvattu ja veden hankinnan vaikutukset ympäristöön on arvioi-

tu olemassa olevan tutkimustiedon, Posivan ja TVO:n tarkkailuohjelmien tulosten ja asiantuntija-arvioiden perusteella.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen toiminnan aikana syntyvien jätevesien käsittely ja niiden aiheuttama kuormitus on arvioitu lopullisessa turvallisuusselosteessa. Jätevesien vaikutukset meriveden laatuun on arvioitu olemassa olevan tutkimustiedon, tarkkailuohjelmien tulosten ja asiantuntija-arvioiden perusteella.

## 6.5.2 VESISTÖN NYKYTILA

Olkiluotoa rajaa pohjoispuolella noin 1,5 kilometriä leveä Eurajoensalmi ja eteläpuolella noin kolme kilometriä pitkä ja 0,7–1,0 kilometrin levyinen Olkiluodonvesi. Olkiluodon itä- ja kaakkoispuolille laskevat Eurajoki ja Lapinjoki. Olkiluodonveden eteläpuolelta alkaa Rautasaaristo. Olkiluodosta länteen on matalaa rannikkoaluetta, jossa on verrattain runsaasti pieniä saaria ja luotoja. Luotovyöhykkeen länsipuolella avautuu Selkämeri. (Kirkkala & Turkki 2005.)

Olkiluodon lähivesien fysikaalis-kemiallista ja biologista tarkkailua on tehty 1970-luvulta lähtien TVO:n tarkkailuohjelman puitteissa. Tarkkailun tarkoituksena on selvittää Olkiluodon voimalaitosten jäähdytysvesien vaikutuksia ympäröivän merialueen veden laatuun ja käytökelpoisuuteen sekä biologiseen tuotantoon.

Olkiluodon merialueen veden laatuun ja ekologiseen tilaan vaikuttavat Selkämeren rannikkovesien yleistila sekä jokien kuljettamat ravinteet ja muut aineet. Ydinvoimalaitosyksiköiden jäähdytysvesien aiheuttama veden lämpötilan nousu ja virtausolojen muutokset vaikuttavat merkittävästi ainoastaan jäähdytysveden otto- ja purkupaikkojen välittömässä läheisyydessä. Vain paikallisesti vedenlaatuun vaikuttaa myös jäähdytysvesien mukana johdettavien jätevesien ravinnekuorma. (Haapanen ym. 2009.)

Vedenlaatutarkkailutulosten perusteella ravinnepitoisuudet Olkiluodon edustan merialueella ovat Selkämeren alueen rannikkovesille tyypillistä tasoa. Erityisesti Eurajoensalmen alueella Eurajoen vaikutus näkyy korkeampina ravinne- ja kiintoainepitoisuuksina ja matalampana suolapitoisuutena. Tyypillinen kasvillisuus vaihtelee pohjan laadun mukaan, kovilla pohjilla vallitse-

vat makrolevät, kuten rakkolevä, ja pehmeillä pohjilla makean veden vesikasvit, kuten tähkä-ärviä ja järviruoko (Posiva 2012-10).

TVO:n ympäristön säteilyvalvontaohjelman mukaisissa tutkimuksissa on mitattu Olkiluodon edustan levistä, sedimentoituvasta aineksesta ja simpukoista vähäisiä määriä ja satunnaisesti myös kaloista erittäin vähäisiä määriä ydinvoimalaitokselta peräisin olevia radioaktiivisia aineita. Luonnon radioaktiivisuuden osuus näytteissä oli huomattavasti voimalaperäistä aktiivisuutta suurempi. (TVO 2012, Taivainen 2007.)

Olkiluodon alueella on hyvin vähän makeanveden ekosysteemejä. Saaren ainoa järvi on kuivunut ojituksen seurauksena. Nykyään Olkiluodon kartassa näkyvä järvi (Korvensuon allas) on tehty 1970-luvulla voimalaitoksen raakavesialtaaksi, ja se on voimakkaasti säännöstelty. TVO ja Posiva seuraavat säännöllisesti Korvensuon altaan vedenlaatua (Sojakka et al. 2019).

## 6.5.3 VESISTÖVAIKUTUKSET

### 6.5.3.1 VEDENHANKINTA

Poraus/louhintä-, pesu- ja sammutusvesijärjestelmiä on rakennettu jo loppusijoituslaitoksen tutkimusvaiheessa, ONKALON rakentamisen yhteydessä ja niitä on laajennettu loppusijoituslaitoksen toteutuksen aikana. Käyttövesiverkosto on johdettu teknisiin tiloihin henkilökuilua varustettaessa. Poraus/louhintä-, pesu- ja sammutusvesi otetaan Korvensuon altaasta humussuodatuksen jälkeen. Käyttövesi on normaalia vesijohtovettä. Vesi johdetaan Olkiluodon vesijohtoverkosta, jonka olemassa oleva kapasiteetti riittää tyydyttämään veden tarpeen.

Loppusijoitustilojen keskimääräiseksi päivittäiseksi veden tarpeeksi on arvioitu noin 25 m<sup>3</sup> ja vuositarpeeksi noin 9 300 m<sup>3</sup>. Käyttöveden päivittäiseksi tarpeeksi on arvioitu noin 6 m<sup>3</sup>.

### 6.5.3.2 TALOUSJÄTEVESIEN KÄSITTELY

Maanalaisen loppusijoituslaitoksen WC-viemäriverdet kootaan 5 m<sup>3</sup> suuruiseen säiliöön ja kul-

jetetaan maanpinnalle loka-autolla. Talousjätevedet johdetaan käsiteltäviksi läheiselle TVO:n jätevedenpuhdistamolle, eikä niistä aiheudu merkittäviä ympäristövaikutuksia.

#### 6.5.3.3 VUOTOVESIEN KÄSITTELY

Loppusijoituslaitoksen vuotovesijärjestelmän tarkoituksena on koota kalliosta vuotavat vedet sekä poraus- ja pesuvedet selkeytysaltaaseen, selkeyttää vedet sekä pumpata vesi selkeytysaltaasta maan pinnalle pois johdettavaksi. Vuoto- ym. vesien maanalainen kokoomaallas sijaitsee noin tasolla -430 metriä. Altaan tilavuus on 1 800 m<sup>3</sup>. Vuoto- ym. vedet pumpataan selkeytysaltaasta henkilökuilun kautta maanpinnalle (Saario et al. 2012). Sen jälkeen nämä maan pinnalle pumpatut vedet johdetaan öljynerotuskaivoon ja maanpäällisiin selkeytysaltaisiin ja niistä edelleen putkea pitkin ojaan, joka johtaa mereen.

#### 6.5.3.4 KAPSELOINTI-LAITOKSEN JÄTEVESIEN KÄSITTELY

Kaikki kapselointilaitoksen valvotulla alueella käytetyt pesuvedet kerätään lattiaviemäröinnin kautta suljettuun säiliöön ja analysoidaan laboratoriossa mahdollisten radioaktiivisten aineiden havaitsemiseksi. Mikäli radioaktiivisia aineita havaitaan, valvotun alueen jätevedet kuljetetaan edelleen käsiteltäväksi TVO:n olemassa olevilla jätteenkäsittelyjärjestelmillä. Kaikki kapselointilaitoksella syntyvät neste-mäiset radioaktiiviset jätteet kiinteytetään ja loppusijoitetaan TVO:n VLJ-luolaan. Jätevedet, joissa ei havaita radioaktiivisia aineita, johdetaan laitosalueen tavalliseen viemäriverkkoon. Valvotun alueen pesuvesien määrät ovat hyvin pieniä, eikä niistä ei aiheudu merkittäviä ympäristövaikutuksia.

#### 6.5.3.5 MAARAKENNUSTÖIDEN VAIKUTUKSET VESIIN

Maanrakennustyöt ONKALO-alueella on saatu valmiiksi käyttötoiminnan alkaessa. Loppusijoitustoimintaan liittyvien töiden vaikutuksia pintavesiin on seurattu osana monitorointioh-

jelmaa useiden vuosien ajan (esim. Sojakka et al. 2019). Maarakennustöiden vaikutusta pintavesiin on arvioitu maastokäyntien ja karttojen avulla (LT-Konsultit Oy 1998). Olkiluodon osalta maastoarviointeja on täydennetty tekemällä lisälaskelmia Olkiluodon pintahydrologiamallilla (Karvonen 2019). Olkiluodon pintavesiverkosto koostuu lähes yksinomaan kaivetuista metsäojista tai teiden rakentamisen yhteydessä muodostuneista maantieojista.

Laitoksen rakentaminen muuttaa pintavesien imeytymisolosuhteita, kun katoilta ja asfaltoiduilta piha-alueilta (yhteensä kolme hehtaaria) tuleva vesi johdetaan vesistöön.

Valuma-alueiden purkautumissuunnat voidaan säilyttää rumpuputkilla, vaikka valuma-alueet sinänsä muuttuisivatkin. Riippumatta toimintojen laajuudesta tai niiden sijoittelusta laitos ei merkittävästi vaikuta pintavesivirtauksiin. Rankkasateista aiheutuvan pintavalunnan kulkeutuminen ojiin on laskettu pintahydrologian mallilla ja laskelmien mukaan ojien vedenpintojen muutokset nykytilanteeseen verrattuna jäävät hyvin lyhytaikaisiksi eikä niillä ole haitallista vaikutusta. (Karvonen 2019.)

Olkiluodon alueella on valunnanmuutosten lisäksi arvioitu loppusijoituspaikan maatöiden ja asfaltoinnin vaikutus pintavesiuomien ja läheisen merialueen ravinne- ja kiintoainekuormitukseen. Maatöiden ja asfaltoinnin vaikutus purkautuviin ainemääriin saatiin kertomalla Olkiluodon pintahydrologian mallilla lasketut vesimäärät pitoisuuksilla, jotka arvioitiin Teknillisen korkeakoulun vesitalouden laboratoriossa tehtyjen tutkimusten perusteella (Kotola & Nurminen 2003).

Olkiluodon pintavesiuomat ovat pääosin metsä- tai maantieojia, joissa kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen alueelta tuleva kuormitus ei aiheuta merkittävää ympäristöhaittaa. Olkiluodon merialueen vedenlaatuun ja biologiseen tuotantoon vaikuttavat Selkämeren rannikkovesien yleistila sekä Eurajoen (valuma-alue 1 336 km<sup>2</sup>) ja Lapinjoen (valuma-alue 462 km<sup>2</sup>) kuljettamat ravinteet ja ainemäärät. Myös saarella sijaitsevan ydinvoimalaitoksen jäähdytysvesillä on vaikutuksensa. Edellä mainittuihin kuormituslähteisiin verrattuna kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen aiheuttama lisäkuormitus Olkiluotoa ympäröivälle merialueelle on erittäin pieni.

#### 6.5.3.6 LOUHINNAN, MURSKAUKSEN JA LÄJITYKSEN VAIKUTUS VESIIN

Louhinnasta jää louheeseen ja kallioon pieniä räjähdysainejäämiä, kuten typen yhdisteitä. ONKALossa käytettävien porausvesien ja sieltä pois pumpattavien vuoto- ym. vesien kemiallisia ominaisuuksia on seurattu. Maan pinnalla olevasta sedimentaatioaltaasta otetuissa vesinäytteissä voidaan selvästi havaita louhinnan aiheuttama nousu nitriitti-, nitraatti- ja kokonaistypipitoisuuksissa. Kallion tiivistämisessä käytetyn betonin vuoksi sedimentaatioaltaan pH-arvo on tyypillisesti ollut korkea eli vesi on ollut emäksistä. Tästä ei kuitenkaan ole arvioitu aiheutuvan ympäristölle haittaa, sillä pH on neutraloitunut purkuojasta tehtyjen mittausten perusteella lyhyellä matkalla, jo ennen vesien johtamista mereen. (Kasa 2011, Sojakka et al. 2020.)

Maanalaisesta loppusijoitustilasta ylös tuotu kiviaines varastoidaan louheen läjitysalueelle. Läjitysalueen valumavedet kerätään avo-ojiin ja johdetaan edelleen mereen. Louhe- ja murskekasoista tulevia valumavesiä on tarkkailtu säännöllisesti tutkimusvaiheessa, ONKALON rakentamisen yhteydessä. Tarkkailua jatketaan loppusijoituslaitoksen rakentamis- ja käyttövaiheissa. Tehdyissä tarkkailuissa valumavesien kiintoainepitoisuudet ovat olleet tyypillisesti alle 20 mg/l (Sojakka et al. 2020), kun louheen varastoinnin ympäristölupahakemuksessa keskimääräisiksi pitoisuuksiksi on arvioitu noin 50 mg/l. Valumavesillä ei ole merkittäviä vaikutuksia veden laatuun.

Monitorointiohjelman havaintojen perusteella louhintaan liittyvällä, murskauksella ja läjityksellä on havaittu olevan vaikutusta pintavesien ja kallioperän pintaosan sekä maaperän sisältämien pohjavesien kemialliseen koostumukseen loppusijoituslaitoksen rakentamisvaiheessa. Aluetöissä on käytetty ONKALON louhetta, jonka sisältämät sulfidimineraalit ovat murskauksen ja vedelle sekä hapelle altistumisen seurauksena hapettuneet ja vapauttaneet jonkin verran sulfaattia alueen pohja- ja pintavesiin ja laskeneet pohjaveden pH:ta (Pere et al. 2017 & Lamminmäki et al. 2017b). Havainnot eivät ole ympäristövaikutusten näkökulmasta huolestut-

tavia, mutta pitkäaikaisturvallisuuden näkökulmasta ilmiön kehittymistä on seurattava.

#### 6.5.3.7 KAPSELOINTI- JA LOPPUSIJOITUSLAITOKSEN VAIKUTUKSET TALOUSVETEEN JA PORAKAIVOIHIN

Olkiluodon saaren pohjavesitilannetta seurataan jatkuvasti tiheän havaintoverkon avulla. Osana tätä havainnointia eräitä Olkiluodon saaren käyttövesikaivoja seurataan säännöllisesti. Tarkkailun avulla saadaan hyvä käsitys loppusijoitustoiminnan vaikutuksista Olkiluodon saaren pohjavesiolosuhteisiin. Lisäksi Posivan toiminnan ja ONKALON vaikutus pohjaveden pinnan alentumiseen rajoittuu työmaa-alueelle sekä sen välittömään läheisyyteen. Toistaiseksi suurin vaikutus pohjaveden pinnankorkeuteen on ollut tunnelin sijaan maanpinnalla tehdyillä rakennustöillä. Vaikutus pohjaveden pinnan alentumiseen on hyvin vähäinen. Tarkkailuun kuuluvien kaivojen vedenpinta seurailee vertailukaivojen vedenpintaa, eikä mitään ONKALON rakentamisesta aiheutuvia selittämättömiä muutoksia tai vaikutuksia ole havaittu (esim. Sojakka et al. 2020).

Kapseleiden ja niiden sisällön aiheuttamia ympäristöriskejä talousveteen on myös arvioitu (Raiko & Nordman 1999). Ympäristövaikutusten kannalta merkityksellisten alkuaineiden pitoisuudet kaivovedessä on arvioitu konservatiivisesti olettaen muun muassa kapselin menettävän täysin tiiviytensä 10 000 vuoden kuluessa. Laskelmat osoittavat, että talousvedelle asetetut pitoisuusrajat alittuvat selvästi.

#### 6.5.3.8 KAPSELOINTI- JA LOPPUSIJOITUSLAITOKSEN VAIKUTUS YLEISIIN UIMARANTOIHIN

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen läheisyydessä sijaitsevat yleiset uimarannat on esitetty kuvassa (Kuva 6-16). Monitorointiohjelman tulosten perusteella ONKALO-alueella tapahtuvalla toiminnalla ja maanalaisten tilojen poistovesillä ei ole havaittu olevan vaikutuksia me-



riveden laatuun, eikä siten myöskään yleisten uimarantojen vedenlaatuun. Käyttövaiheessa toiminta ei olennaisesti muutu vesistökuorituksen näkökulmasta, joten tähänastisten havaintojen voidaan olettaa edustavan myös normaalin toiminnan mukaista tilannetta käyttövaiheen aikana.

## 6.6 JÄTTEET JA SIVUTUOTTEET SEKÄ NIIDEN KÄSITTELY

### 6.6.1 ARVIOINTIMENETELMÄT

Seuraavissa kappaleissa on kuvattu kapselointi- ja loppusijoituslaitoksessa syntyvien tavanomaisten, vaarallisten ja radioaktiivisten jätteiden määriä ja käsittelyä sekä arvioitu niihin liittyviä ympäristövaikutuksia asiantuntija-arviona.

### 6.6.2 VAIKUTUKSET JÄTTEIDEN MÄÄRIIN JA NIIDEN KÄSITTELY

#### 6.6.2.1 JÄTTEET JA JÄTEHUOLTO

Jätehuoltoa Suomessa ohjaavat jätelaki (646/2011) ja valtioneuvoston asetus (179/2012). Lisäksi jätteiden keräystä ohjaavat Eurajoen kunnan yleiset jätehuoltomääräykset. Jätteen tuottajan on ensisijaisesti vähennettävä syntyvän jätteen määrää ja haitallisuutta. Jos jätettä kuitenkin syntyy, on ensisijaisesti valmistettava jäte uudelleenkäyttöä varten tai toissijaisesti kierrätettävä se. Jos kierrätys ei ole mahdollista, jäte on hyödynnettävä muulla tavoin, mukaan lukien hyödyntäminen energiana. Jos hyödyntäminen ei ole mahdollista, jäte on loppukäsiteltävä.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käytössä muodostuu pieniä määriä tavanomaiselle teollisuustoiminnalle tyypillisiä yhdyskuntajätteitä sekä vaarallisia jätteitä, kuten jäteöljyjä, liuotimia, paristoja, akkuja ja loisteputkia. Jätteen koostumus ja ominaisuudet eivät poikkea muiden teollisuuslaitosten vastaavista jätteistä. Vaaralliset jätteet välivarastoidaan laitoksella asianmukaisissa tiloissa ja toimitetaan käsit-

telylaitokseen. Yhdyskuntajätteistä lajitellaan erikseen paperi, kartonki, puu, lasi, metalli, muovi, energiajäte, biojäte ja sekajäte. Nämä jätteet toimitetaan hyötykäyttöön.

#### 6.6.2.2 KAPSELOINTI-LAITOKSEN YDINJÄTEHUOLTO

Posivan loppusijoitustoiminnasta syntyvän matala- ja keskiaktiivisen käyttöjätteen huolehtimisvelvollisuus luovutetaan TVO:lle, joka käsittelee, varastoi ja loppusijoittaa ko. jätteet vakiintuneiden menettelyjensä mukaan. TVO:lla on yli 40 vuoden kokemus käyttöjätteistä. Posivan kapselointilaitoksella syntyvä jäte on samantyyppistä kuin TVO:n laitoksilla syntyy mm. vuosihuoltojen yhteydessä.

Loppusijoitettavista ydinjätteistä säädetään ydinenergialain (YEL 990/1987) lisäksi STUK:n määräyksessä ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudesta (Y/4/2018). Määräyksen mukaan ydinjätteet on käsiteltävä turvallisesti ja loppusijoitettavat jätteet on luokiteltava riittävän tarkasti. Loppusijoitettavista jätteistä annettavat tiedot kuvataan myös STUKin ydinvoimalaitosohjeessa (YVL D.5 ”Ydinjätteiden loppusijoitus”). Loppusijoitettavista jätteistä tehdään ohjeen mukaisesti tallenteita, joista ilmenee jätepakkauskohtaisesti ainakin seuraavat tiedot:

- jätelaji, sen käsittely- ja pakkaustapa sekä turvallisuuden kannalta merkittävät rakenne- ja materiaaliominaisuudet,
- pakkauksen tunnistetieto ja sijainti loppusijoitus-tilassa,
- merkittävimpien nuklidien aktiivisuudet yläraja-arvioina, käytetyn
- polttoaineen tapauksessa loppusijoituskapselikohtaisesti ja muiden jätteiden tapauksessa sijoituskohtaisesti, sekä
- käytetyn polttoaineen loppusijoituskapselle myös laskettu efektiivinen kasvutekijä ja lämmönkehitys.

Kapselointilaitoksessa aktiivista jätettä syntyy lähinnä polttoaineen käsittelykammiossa, dekontaminointikeskuksessa ja kuljetussäiliön siirtokäytävässä, jos kuljetussäiliön pinta on

kontaminoitunut ja siitä irtoaa kontaminaatioita. Käsittelykammiossa polttoaineesta peräisin olevat kiinteät jätteet (aktivoituneet korroosiotuotteet sekä mahdolliset polttoaineen kappaleet) kerätään talteen ja loppusijoitetaan yhdessä polttoaine-elementtien kanssa.

Matala-aktiivisia nestemäisiä jätteitä syntyy lähinnä käsittelykammion ja dekontaminointikeskuksen teräsvuorauksen sekä tarvittaessa esimerkiksi kuljetussäiliön pesuissa, polttoaineen kuivauksessa ja dekontaminointikeskuksessa käytettävistä liuoksista. Valvonta-alueen lattia-viemäröinnin keräämä vesi luokitellaan myös matala-aktiiviseksi jätteeksi, ellei mittauksilla voida osoittaa vettä puhtaaksi. Puhtaaksi todettu vesi voidaan johtaa laitosalueen viemärintiiniin. Kaikki radioaktiiviset jätteet loppusijoitetaan kiinteässä muodossa. Tämän hetkisen suunnitelman mukaan nestemäiset aktiiviset jätteet kuivataan tynnyreissä. Mikäli päädytään käyttämään suodatinhartseja, voidaan ne kiinteyttää esimerkiksi polymeeriin.

Käsittelykammioista poistettavat laitteet puhdistetaan radioaktiivisuudesta ennen korjausta. Puhdistusliuoksien suodatinmassat kiinteytetään. Jos laitteita ei voida korjata, ne dekontaminoidaan ja vapautetaan valvonnasta tai pakataan ja toimitetaan loppusijoitustilaan.

Valvotun alueen ja käsittelykammion ilmastoinnin suodattimet sekä imurointijärjestelmän suodattimet pakataan ja toimitetaan loppusijoitustilaan.

Eniten radioaktiivisia jätteitä syntyy kapselointilaitoksen käytöstäpoistossa. Kapselointilaitoksen käytöstäpoiston yhteydessä huolehditaan kontaminoitumisen seurauksena järjestelmiin ja laitteisiin mahdollisesti jääneistä radioaktiivisista aineista. Kaikki käsittelykammion laitteet pakataan ja viedään käyttö- ja käytöstäpoistojätteiden loppusijoitustilaan. Käsittelykammion ja aktiivisen korjaamon teräsvuoraukset pestään puhtaiksi, mutta vuorauksia ei pureta. Pesuvedet kiinteytetään. Kapselointilaitoksen käyttö- ja käytöstäpoistojätteiden arvioitu kokonaismäärä on noin 640m<sup>3</sup> (Paunonen et al 2016.)

## 6.7 MELU JA TÄRINÄ

### 6.7.1 ARVIOINTIMENETELMÄT

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttövaiheessa melua aiheuttavia työvaiheita ovat lähinnä louhinta, murskaus ja liikenne. Meluvaikutuksia on arvioitu Olkiluodossa tehtyjen melumittausten tulosten, suunnittelutietojen, vuonna 2021 Posivan YVA-menettelyn yhteydessä tehdyn melumallinnuksen (Ramboll 2021) sekä ympäristön melutasoa koskevien tietojen ja normien avulla.

Ramboll on selvittänyt Olkiluodon alueen toimintojen ja suunniteltujen toimintojen aiheuttamaa melua laskennallisesti keväällä ja syksyllä 2021 (Ramboll 2021). Meluselvitys perustuu suurelta osin aiemmin laadittuihin selvityksiin (Ramboll Analytics Oy 2007, Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2006a ja 2005). Melulaskennat on tehty 3D-maastomallin huomioivalla SoundPLAN-laskentaohjelmalla (versio 8.2), joka perustuu yhteispohjoismaiseen teollisuus- ja tieliikennemelun laskentamalliin. Meluvyöhykkeet laskettiin päiväajalle (LAeq7-22) ja yöajalle (LAeq 22-7). Mallissa otettiin huomioon muun muassa korkeuskäyrät, maaston muodot, rakennukset, akustisesti kovat pinnat, esteet ja muut seikat. Malli laskee melutasot ympäristössä ottaen huomioon mm. etäisyysvaimentumisen, ilman ääniabsorption, esteet, heijastukset sekä maanpinnan absorptio-ominaisuudet. Tiet sekä vesipinnat on mallinnettu koviksi pinnoiksi.

Melumallinnuksessa on huomioitu Teollisuuden Voima Oyj:n voimalaitosyksiköt OL1, OL2 ja OL3, satama ja Fingrid Oyj:n kaasuturbiinivoimalaitos vuonna 2007 laaditun aiemman melumallinnuksen mukaisesti.

Aikaisempaan melumalliin verrattuna mallista on poistettu Olkiluodon saarella sijainnut tuulivoimala (purettu) sekä Teollisuuden Voima Oyj:n voimalaitosyksikkö OL4. Melumallinnuksessa on huomioitu Olkiluodontien ajoneuvoliikenne.

Tärinä on arvioitu ONKALOn rakentamisen aikana saatujen seurantatulosten perusteella.

### 6.7.2 NYKYINEN MELUTILANNE

Olkiluodon alueella melutasoon vaikuttavat Posivan ONKALO-työmaa, TVO:n nykyiset voimalaitosyksiköt Olkiluoto 1 ja 2, rakenteilla olevan

voimalaitosyksikön Olkiluoto 3:n rakennustyömaa, satama ja Fingrid Oyj:n kaasuturbiinivoimalaitos. Olkiluodon melua on selvitetty vuosittain tehtävillä mittauksilla sekä laajemmalla melulaskennalla vuosina 2007, 2005 ja 2006.

Posivan merkittävin ympäristömelun lähde on louheen murskaus, LWA =122 dB. Murskausta tehdään vuoden aikana jaksoissa päiväaikaan. Melualuekartat kuvaavat melutilannetta, kun murskausta suoritetaan. Tällöin Munakarin loma-asunnoilla ollaan päiväajan raja-arvo 45 dB tasalla tai lievästi sen ylittävässä tasossa. Murskaimen sijaitessa louheen läjitysmäen länsipuolella mäki rajoittaa tehokkaasti melun leviämistä idän suuntaan. Natura 2000-alueen länsi reuna Olkiluodon vierailukeskuksen läheisyydessä on päivällä 40–45 dB murskausmelussa. Kun murskausta ei tehdä, Posivan melut jäävät huomattavasti esitettyjä alhaisemmiksi ja raja-arvot alittuvat myös Munakarissa.

ONKALO-työmaan ilmanvaihtopuhaltimien ja iv-rakennuksen savukaasupuhaltimien melualueet rajoittuvat käytännössä Posivan tehdaspiha-alueelle. Läheisellä Natura 2000-suojelualueella puhaltimien äänet ovat todennäköisesti kuultavissa, mutta tasoltaan ohjearvot alittavina ja Natura 2000 alueella ei esiinny ohjearvon ylitystä Posivan puhallinmelun johdosta.

Ydinjätteen kapselointilaitos on melupäästöltään hiljainen, sen kokonaisuäänitehotasoksi määritettiin LWA=92 dB. Sen toiminta ei lisää alueen ympäristön melutasoja tai aiheuta ohjearvojen ylittymistä.

### 6.7.3 MELU- JA TÄRINÄ- VAIKUTUKSET

Maarakennustöistä, räjäytyksistä ja louheen käsittelystä ja murskauksesta sekä ajoneuvojen ja työkoneiden käytöstä aiheutuu melua ja tärinää. Maarakennustöissä merkittävimmät melua aiheuttavat toiminnot ovat louhinta, louheen murskaus ja poraus.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilaa rakennetaan vaihteittain sitä mukaa kun käytettyä ydinpolttoainetta loppusijoitetaan. Rakennustöiden aikana louheen murskaus aiheuttaa melua päiväaikaan. Louheen murskaus päättyy, kun Olkiluodon kallio-perään sijoitettava käytetty ydinpolttoaine on loppusijoitettu.

Louhinnan ja murskauksen aikaisen melun ja muun häiriön kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen lähialueella aiheuttamaa häitää voidaan lieventää ajoittamalla työvaiheet päiväsaikaan. Louhekasaa käytetään murskauksessa melusuojana. Murskaamo ja louhekasaa voidaan sijoittaa niin, ettei melu- ja pölyalueille jää rakennuksia (*Haapalehto et. al. 2021, Kaisko et. al. 2019*).

Olkiluodon seismisen järjestelmän avulla on mitattu loppusijoituslaitoksen ja kapselointilaitoksen rakennustyömaiden vaikutuksia kallio-perään. Olkiluodon tilaa seurataan jatkuvasti mittalaitteiden kautta ja järjestelmän kautta pystytään seuraamaan reaaliajassa, mitä työmailla on tapahtunut. Loppusijoituslaitoksen työmaan räjäytykset ovat maksimissaan olleet ML=1.4 magnitudin luokkaa. Vastaavasti kapselointilaitoksen louhinnat ML=1.5 magnitudin luokkaa. Molempien työmaiden aikana yli 99 % räjäytyksistä jää alle ML=1.0 magnitudin ja 90% jää alle ML=0.5 magnitudin.

Merkittävimpiä havaintoja ovat olleet louhintaperäiset mikromaanjäritykset vuosina 2017 ja 2018 loppusijoituslaitoksella. Mikromaanjäritykset ovat olleet magnitudiltaan suurimmitaan ML=-0.5. Suhteessa louhinnan räjäytyksiin mikromaanjäritykset vapauttavat n. 1000 kertaa vähemmän energiaa kuin louhinnan räjäytykset.

Pintalouhinnan räjähdysäänien voi kuulla noin kilometrin, merialueella kahdenkin kilometrin, päähän tuuliolosuhteista riippuen (*LT-Konsultit Oy 1998*). Louhinnan kesto ja ajoittuminen sekä vaikutusalueen koko huomioiden merkittäviä ympäristövaikutuksia ei ole.

Maanalaisen räjäytysäänien kuulumista on arvioitu vastaavalla syvyydellä olevien kaivosten perusteella. Kaivoksissa käytetään suurempia räjähdysainemääriä avoimemmassa tilassa, jolloin äänilähde on voimakkaampi. Loppusijoitustilojen louhinnasta syntyvä ääni ei kuulu laitosalueen ulkopuolelle (*Tolppanen & Kokko 1998*).

Murskaamon melu on arvioitu Tielaitoksen ohjeiden mukaan. Meluntorjuntalain ohjearvo asuntoalueilla on päivällä 55 dB(A). Iskumaisen melun mittaustulokseen tehdään 5 dB(A):n korjaus. Tielaitos (1993) määrittelee murskaamoi-

den suojaetäisyydet 50 dB(A):n mukaan. Normaalin keskustelun melutaso on 50–60 dB(A) ja hiljaisen asuntoalueen melutaso yöllä on 40 dB(A). Äänitaso 50 dB(A) alitetaan alle 500 metrin ja 40 dB(A) alle 1 200 metrin etäisyydellä. Etäisyyksissä ei ole huomioitu rakenteiden tai maastonmuotojen vaimentavaa vaikutusta (Tielaitos 1993).

Mikäli louhe sijoitetaan murskaamosta 50 metrin etäisyydelle, alitetaan 50 dB(A) jo alle 200 metrin ja 40 dB(A) reilun 500 metrin etäisyydellä (Tielaitos 1993). Jos louheen lisäksi huomioidaan metsän ja maastonmuotojen yhteisvaikutus, alitettaisiin 40 dB(A) todennäköisesti 500 metrin päässä murskaamosta. Olkiluodossa lyhimmät etäisyydet murskausasemasta rantaan tai mökkiin ovat noin 500 metriä (LT-Konsultit Oy 1998).

Kuten seuraavassa esitetään, murskauksen ja läjityksen meluvaikutukset eivät ole merkittäviä toimintojen lyhyen keston ja vaikutusalueen pienenä ansiosta.

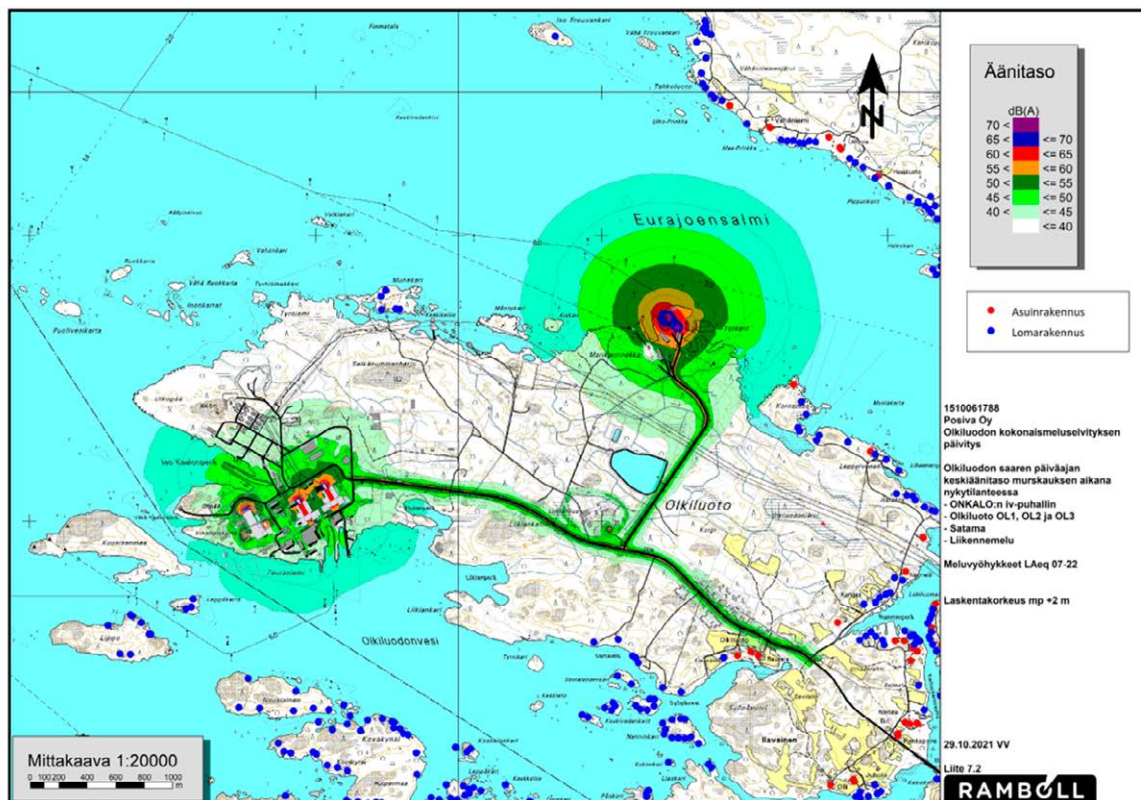
### 6.7.3.1

## OLKILUODON MELUSELVITYKSEN TULOKSET (PKMA)

Olkiluodon toimintojen aiheuttamat päivä- ja yöajan meluvyöhykkeet (LAeq 7-22 ja LAeq 22-7) on esitetty kuvissa (Kuva 6-9 – Kuva 6-11). Kuvissa (Kuva 6-9 ja Kuva 6-11) on esitetty päivä- ja yöajan meluvyöhykkeet tilanteessa, jossa TVO:n ydinvoimalaitosyksiköt Olkiluoto 1, 2 ja 3 ovat käytössä ja kapselointilaitos on toiminnassa (ei yöaikaan) sekä ONKALO:n IV-puhallin on käynnissä, päivänajan kuvassa (Kuva 6-9) satama. Kuvassa (Kuva 6-11) on esitetty päiväajan keskiäänitaso tilanteessa, jossa TVO:n ydinvoimalaitosyksiköt Olkiluoto 1, 2 ja 3 ovat käytössä ja satama, kapselointilaitos ja tieliikenne ja kaasuturbiinivoimalaitos käynnissä.

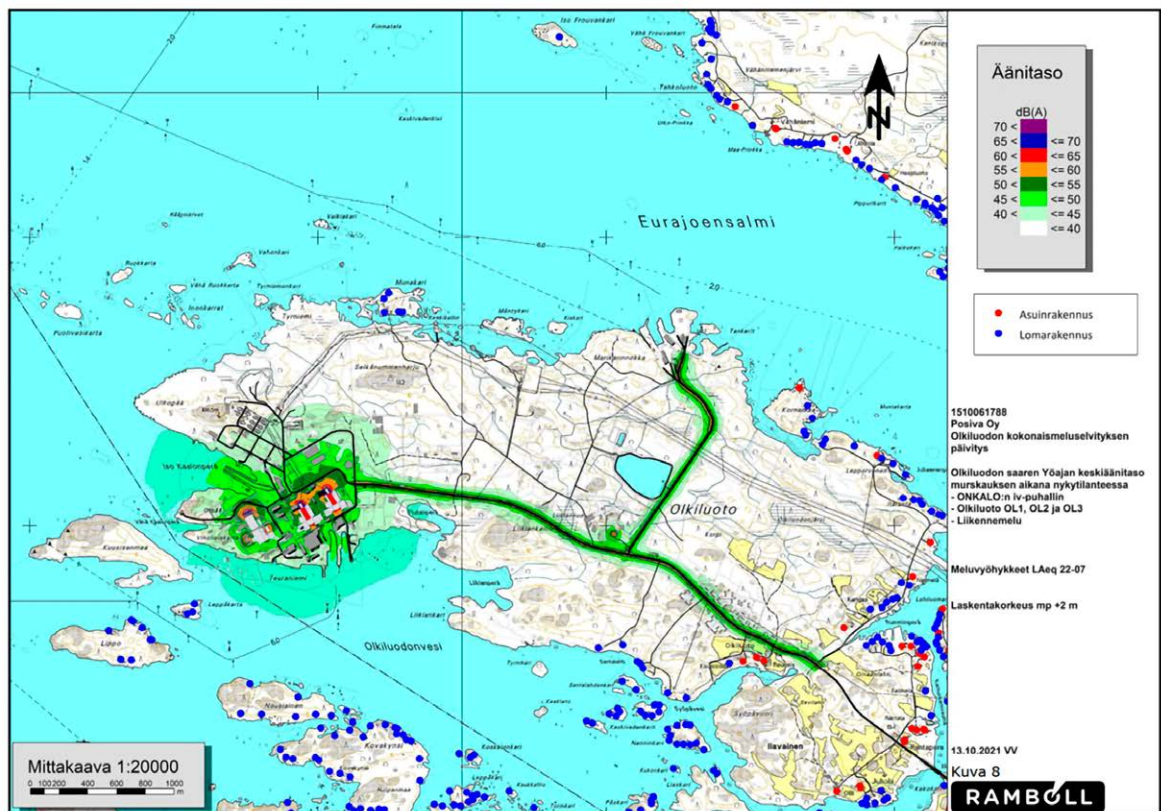
### Tärinä

Olkiluodon seismisen järjestelmän avulla on mitattu ONKALON rakennustyömaan vaikutuksia kallioperään. Toistaiseksi mitään merkittävää muutosta ei ole havaittu. Olkiluodon

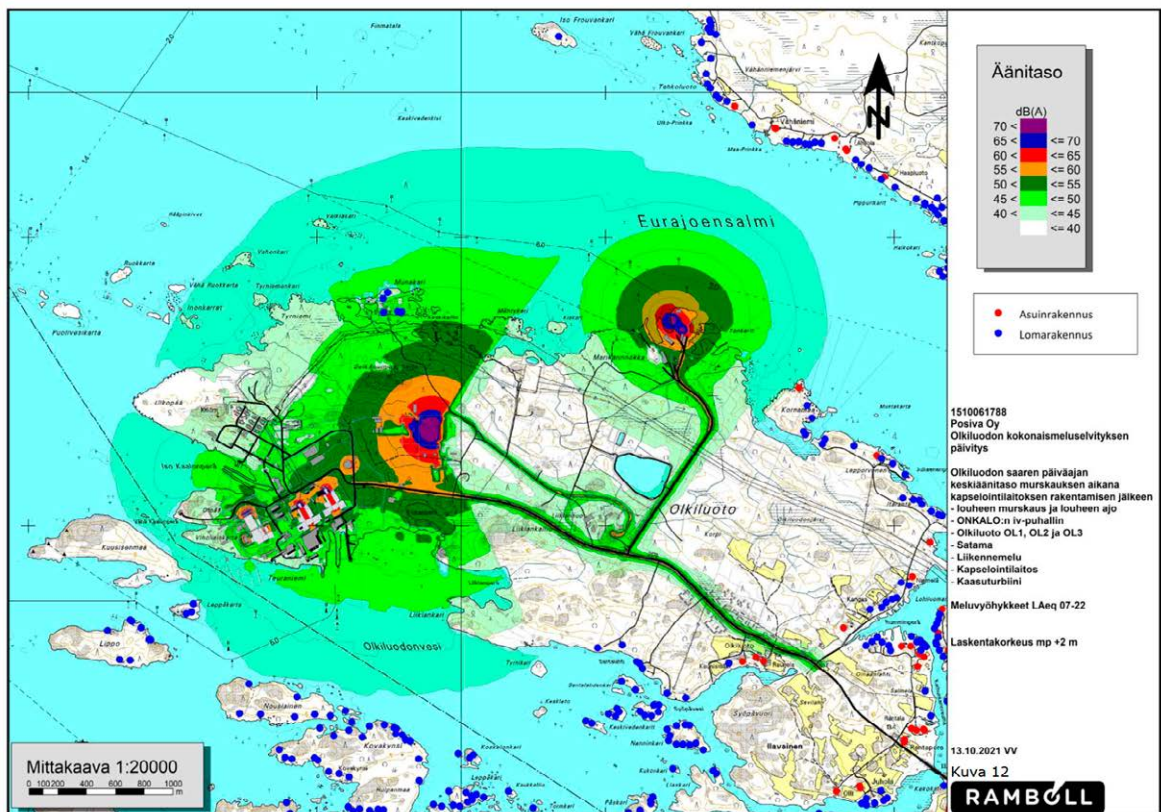


**Kuva 6-9.** Olkiluodon saaren päiväajan keskiäänitaso, LAeq7-22. Melulähteinä ONKALO:n IV-puhallin, Olkiluodon voimalaitosyksiköt OL1, OL2 ja OL3, satama ja tieliikenne.





**Kuva 6-10.** Olkiluodon saaren yöajan keskiäänitaso, LAeq22-7. Melulähteinä, ONKALO:n IV-puhallin, Olkiluodon voimalaitosyksiköt OL1, OL2 ja OL3 ja tieliikenne.



**Kuva 6-11.** Olkiluodon saaren päiväajan keskiäänitaso, LAeq7-22. Melulähteinä Louheen murskaus ja louheen ajo, ONKALO:n IV-puhallin, Olkiluodon voimalaitosyksiköt OL1, OL2 ja OL3, satama, kapselointilaitos ja tieliikenne ja kaasuturbiinivoimalaitos.

tilaa seurataan jatkuvatoimisilla mittalaitteilla ja järjestelmän kautta pystytään seuraamaan reaaliajassa, mitä loppusijoitustilojen louhintatyömaalla tapahtuu. ONKALON työmaan räjäytykset ovat maksimissaan olleet magnitudin 0,7 luokkaa.

## 6.8 KASVILLISUUS, ELÄIMET JA SUOJELUKOhteet

### 6.8.1 VAIKUTUSTEN ARVIOINTI JA MENETELMÄT

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen vaikutukset kasvillisuuteen ja eläimiin liittyvät pääasiassa rakennusten ja rakennelmien tarvitsemiin maa-alueisiin ja rakennustöihin. Hankkeen suorat ja mahdolliset epäsuorat vaikutukset on arvioitu asiantuntijatyönä. Arvioinnissa on käytetty hyödyksi Posivan alueella tehtyjen tarkkailujen tuloksia. Näiden tulosten pohjalta on arvioitu hankkeen vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen ja vuorovaikutussuhteisiin. Arviointityössä on selvitetty, heikentääkö hanke todennäköisesti, joko yksistään tai tarkasteltuna yhdessä muiden hankkeiden ja suunnitelmien kanssa, merkittävästi lähimpien Natura-alueiden ja luonnonsuojelualueiden suojelun perusteena olevia luonnonarvoja.

### 6.8.2 ALUEEN LUONNON NYKYTILA

#### 6.8.2.1 KASVILLISUUS JA ELÄIMISTÖ

Olkiluoto kuuluu Pohjanlahden rannikkoon, jossa maankohoaminen on nopeaa, noin kuusi millimetriä vuodessa (Eronen *ym.* 1995). Alavuus ja nopea maankohoaminen aiheuttavat muutoksen kasvillisuudessa elinympäristön muuttuessa. Maankohoamisalueiden soistuvia niittyarantoja reunustaa pensasvyöhyke, joka koostuu lähinnä pajusta, tyrnistä ja myrtistä. Pensaiden ja metsän väliin jää leppävyöhyke, joka Olkiluodon alueella koostuu lähes yksinomaan tervalepistä.

Kasvimaantieteellisessä aluejaossa Olkiluoto kuuluu eteläboreaaliseen vyöhykkeeseen ja siinä edelleen vuokkovyöhykkeeseen, jota

luonnehtivat sini- ja valkovuokon kaltaiset vaateliat metsäkasvit. Alueen rannikkokasvillisuudelle ominaista on vyöhykkeisyys, joka muuttuu jatkuvasti nopean maankohoamisen myötä. Kasvillisuuden vyöhykkeisyys näkyy rannikolla siten, että rantametsät ovat kosteampia ja rehevämpiä kuin sisämaan metsät. Metsät muuttuvat sisämaassa kuivemmiksi ja karummiksi pohjaveden syvyyden mukaan. Olkiluodossa tämä vyöhykkeisyys ei kuitenkaan ole selkeää, sillä saaren korkeuserot ovat vähäiset ja reheviä kasvupaikkoja esiintyy sekä rannoilla että sisämaassa. Karuimmat kasvupaikat sen sijaan sijaitsevat selkeästi saaren korkeimmilla kohdilla.

Olkiluodon alue on Liiklankarin luonnonsuojelu-aluetta lukuun ottamatta luonnonolosuhteiltaan tyypillinen lounaissuomalainen rannikkoalue, jossa eläin- ja kasvilajisto sekä maaperä ovat hyvin samanlaisia kuin ympäröivillä alueilla. Rakentamattomat ranta-alueet, erityisesti pohjoisrannalla, edustavat luonnontilaisia, usein reheviä rantabiotooppeja.

Olkiluodon eliölajisto on kohtalaisen runsas, mutta harvinaisuuksia tai uhanalaisia lajeja ei alueella juurikaan ole tavattu (Ramboll Oy 2014).

Olkiluodon saarella on TVO:n omistamia metsiä noin 570 hehtaaria Vuonna 2013 tehdyn biodiversiteettiselvityksen mukaan (Ramboll Oy 2014) suurin osa (noin 50 %) Olkiluodon metsistä on tuoreen kankaan kangasmetsiä. Noin 20 % metsäpinta-alasta on lehto-maista kangasta ja 20 % kuivahkoa kangasta. Loput 10 % koostuu kuivista kankaista, kalliomaasta ja pienistä lehtoaloista. Lehdot ovat tervaleppä- ja kuusivaltaisia kosteita ja tuoreita rantalehtoja. Valtaosa saaren metsistä on intensiivisesti hoidettuja talousmetsiä. Vanhan metsän kuivointia on lähinnä vain Liiklankarin ja Kornamaan alueilla. Pieniä aloja vanhaa metsää on lisäksi Liiklankallion ja Olkiluodontien luoteispuolella, Selkänummenharjulla ja sen eteläpuolella sekä Lepporvososen kallioalueella. Tyrniemen varttuneessa metsässä saaren luoteisosassa oli tehty harvennushakkuita, joiden ulkopuolelle oli jäänyt vain lehtipuustoinen rantametsikkö-kaistale. Tyrniemen kärjessä on kaksi vähäpuustoista avosuota, jotka ovat syntyneet pienten karujen lampien umpeenkasvun seurauksena.

Valtaosa Oikiluodon metsistä on metsätalouskäytön piirissä, 36 %:ssa metsäpinta-alaa oli tehty hakkuita tai taimien istutusta vuosi-en 2004–2014 välisenä aikana (Korhonen ym. 2016). Myös vähälukuiset yksityisten maat sekä Metsähallituksen hallinnoimat Liiklankarin Natura-alueen ulkopuoliset metsät ovat intensiivisessä talouskäytössä, eikä luonnontilaisia tai niiden kaltaisia sekametsiä alueella ole. Saaren eteläosa on maaperältään pohjoisosaa selvästi kosteampaa, mikä näkyy lievänä soistuneisuutena sekä kosteutta sietävien tai suosivien putkilokasvien suurempana määränä. Pensaita metsissä on vähän ja valtaosa pensaskerroksesta on alueella kasvavien puulajien taimia sekä katajaa. Alueen metsätalouskäytössä olevissa metsissä ei pääsääntöisesti myöskään ole lahoppua. (*Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy & Ramboll Oy 2007b.*)

Kalliometsille ominaista on luonnontilaisuus. Kaikissa kalliometsissä on avokallioalueita, joilla kasvaa jäkäliä ja matalia varpuja. Myös turvepeitteisiä kallioita esiintyy, mutta ne ovat erittäin pienialaisia. Tervaleppää kasvaa ohuina kaistaleina rannalla ja tervaleppä muodostaa yhdessä kenttäkerroksessa kasvavan mesiangervon kanssa koko saaren ympäröivän vyöhykkeen. Rannoilla järviruoko muodostaa lähes yhtenäisen vyön saaren ympärille. Matalat niityt ovat saaren alueella harvinaisia. Syitä tähän ovat Itämeren rehevöityminen, asutuksen leviäminen ja ojittaminen. (*Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy & Ramboll Oy 2007b.*)

Olkiluodon pesimälinnusto on melko monipuolinen ja runsas, mutta ei poikkea lajistoltaan ympäröivistä alueista. Paikallisen linnuston tilaa on selvitetty vuosien mittaan useilla tutkimuksilla. Olkiluodon maalinnustoa selvitettiin linjalaskentamenetelmällä viimeksi vuoden 2013 aikana (Ramboll Oy 2014) ja pienten saarten sekä lähimpien luotojen linnustoa kiertolaskentamenetelmällä vuosien 2009–2015 aikana (Alho & Sojakka 2018).

Vuonna 2013 tehtyjen linjalaskentojen perusteella Olkiluodon maalinnostotiheys on 237,3 paria/km<sup>2</sup>, joka on Satakunnan alueen keskiarvoa suurempi (225 paria/km<sup>2</sup>). Olkiluodon yleisimmät pesimälajit olivat peippo ja pajulintu. Muita yleisiä lajeja olivat talitiainen, hippiäinen ja punakylkirastas. Huomionarvoisista tai muista

ta harvalukuisista lajeista laskennoissa havaittiin sirittäjiä, punavarpusia, pikkulepinkäisiä, rantasipejä sekä palokärki ja ampuhaukka. Lahopuusta riippuvaista puukiipijää havaittiin Olkiluodolla runsaasti. (Ramboll 2014 Oy) On havaittu, että Olkiluodon maalinnuksessa ovat runsastuneet muun muassa ihmistoimintaa hyvin sietävät lajit. Kuusimetsää suosivat lajit, kuten teeri, ovat muuttuneet harvalukuisemmiksi (Yrjölä 2009.)

Vuosien 2009–2015 aikana tehtyjen kiertolaskentojen mukaan Olkiluodon läheisten vesialueiden yleisimmät havaitut lajit olivat merimetso, lapintiira, kalalokki ja naurulokki. Muita yleisiä lajeja olivat kalatiira ja harmaalokki. Kun vuosien 2009–2015 kiertolaskentojen tuloksia verrattiin 1980–1991 välillä tehtyihin vastaaviin vesilintulaskentoihin, todettiin, että lintupopulaatioissa on tapahtunut muutamia huomattaviakin muutoksia. Lomman saariston lajit, kuten haahka ja pilkkasiipi, ovat vähentyneet aikaisempiin seurantoihin verrattuna. Rehevien vesien lajit, kuten kyhmyjoutsen ja harmaalokki, ovat puolestaan runsastuneet. Myös merimetson kanta on runsastunut Olkiluodon vesialueilla, kuten muillakin Suomen merialueilla. Joidenkin lajien, kuten sinisorsan ja isokoskelon, määrät ovat pysyneet melko lailla samalla tasolla 1980-luvulta saakka. Muutokset lajistossa edustavat lähialueelle tyypillisiä trendejä. (Alho & Sojakka 2018)

Linnustoltaan arvokkaimpia alueita vuoden 2008 selvityksen perusteella olivat etelärannan luonnonsuojelualue, sekä länsi- ja pohjoisranta ja niiden edustan luodot. Saaren keskiosaa ja voimaloiden ympäristö on voimakkaasti ihmistoiminnan muuttama, minkä seurauksena myös alueiden linnusto on voimakkaasti muuttunut. (Yrjölä 2009.) Vuoden 2013 linnustoselvitysten mukaan uhanalaisista lajeista Olkiluodon alueella havaittiin vaarantunutta (VU) törmäpääskyä, tukkasotkaa, mustakurkku-uikkua ja selkälökkia. Näiden lajien kannat ovat vähentyneet viime vuosikymmeninä voimakkaasti Euroopan unionin lintudirektiivin (79/409/ETY) liitteen I lajeista alueella havaittiin valkoposkihanhi, pyy, teeri, mustakurkku-uikku, harmaahaikara, kurki, ruisrääkkä, kalatiira, lapintiira, huuhkaja, palokärki ja pikkulepinkäinen. (Rambooll Oy 2014)



Olkiluodon alueella tehtiin vuonna 2009 pikkunisäkäs-, muurahais-, kotilo- ja lieroselvitys. Pikkunisäkässeurannassa tavattiin metsämyyriä ja peltomyyriä. Muurahaispesiä löytyi 104 ja lajeja yhdeksän. Maakotiloita tavattiin 14 ja lie-roja seitsemän lajia. Kaiken kaikkiaan lajimäärät olivat melko alhaisia ja harvinaista lajistoa ei löytynyt tutkittujen elinympäristöjen tavanomaisuudesta johtuen. (Nieminen ym. 2009.) Myöskään vuoden 2008 pikkunisäkäskartoituksessa ei havaittu harvinaista lajistoa, kuu-desta havaitusta lajista runsain oli metsämyyrä (Nieminen & Saarikivi 2008).

Olkiluodon alueen hirvikannan suuruudeksi on arvioitu noin kolmesta viiteen yksilöä metsästyskauden päättymisen jälkeen laskettuna. Vuosien 2004–2015 aikana Olkiluodon alueella metsästettiin keskimäärin kolme hirveä vuodessa (luku sisältää vasat ja aikuiset). Valkohäntäauriskannan kooksi on arvioitu noin 15 yksilöä metsästyskauden päätyttyä. Vuosien 2004–2015 aikana alueella metsästettiin keskimäärin 10 yksilöä vuodessa. Valkohäntä- ja metsäauristen populaatiokoot vaihtelevat jonkin verran vuosittain, mutta ovat pysyneet pitkällä aikavälillä vakaina. Hirvipopulaatioiden koossa on taas havaittavissa laskevaa trendiä. Olkiluodon alueella viihtyvät muun muassa supikoira, minkki, kettu, metsäjänis, orava ja rusakko. Lisäksi alueella on satunnaisesti havaittu ilveksiä, mäyriä ja näätä. (Niemi & Nieminen 2018)

Olkiluodon alueella on tehty uhanalaisen ja lain nojalla rauhoitetun pikkuapollonperhosen kartoituksia keväällä ja kesällä 2007 (Ramboll Oy 2007) liittyen alueen osayleiskaavoitukseen. Näitä tuloksia päivitettiin vuonna 2013 tehdyllä biodiversiteettikartoituksella (Ramboll Oy 2014). Kartoitusten ja aiempien tutkimusten perusteella alue on todennäköisesti pikkuapollon elinympäristöä ja osa suurempaa metapopulaatiota, jonka osa-alueet sijaitsevat Olkiluodon saarella ja sen lähiympäristössä. Pikkuapollon kannalta tärkeitä kasvustoja ovat koillisosan paisteiset peltojen reunat ja pihapiirit. Liiklankarin luonnonsuojelualue ei ole lajille sopivaa elinympäristöä. (Ramboll Oy 2007.) Vuoden 2013 kartoituksessa selvitettiin myös erittäin uhanalaisten (EN) nelilehtivesikuusen ja pikkupungan esiintymistä. Kumpakaan lajia ei tässä selvityksessä havaittu, mutta pikkupun-

gan esiintyminen Liiklankarin lähes kasvittomilla ranta-alueilla on mahdollista, sillä alueen ympäristö on säilynyt pikkupungalle soveliaana. Liiklankarin suojelualueella havaittiin lisäksi kahden uhanalaisen sammallajin (kuulasammal ja aarnisammal) kasvupaikat. (Ramboll Oy 2014)

#### 6.8.2.2 SUOJELUKOhteet

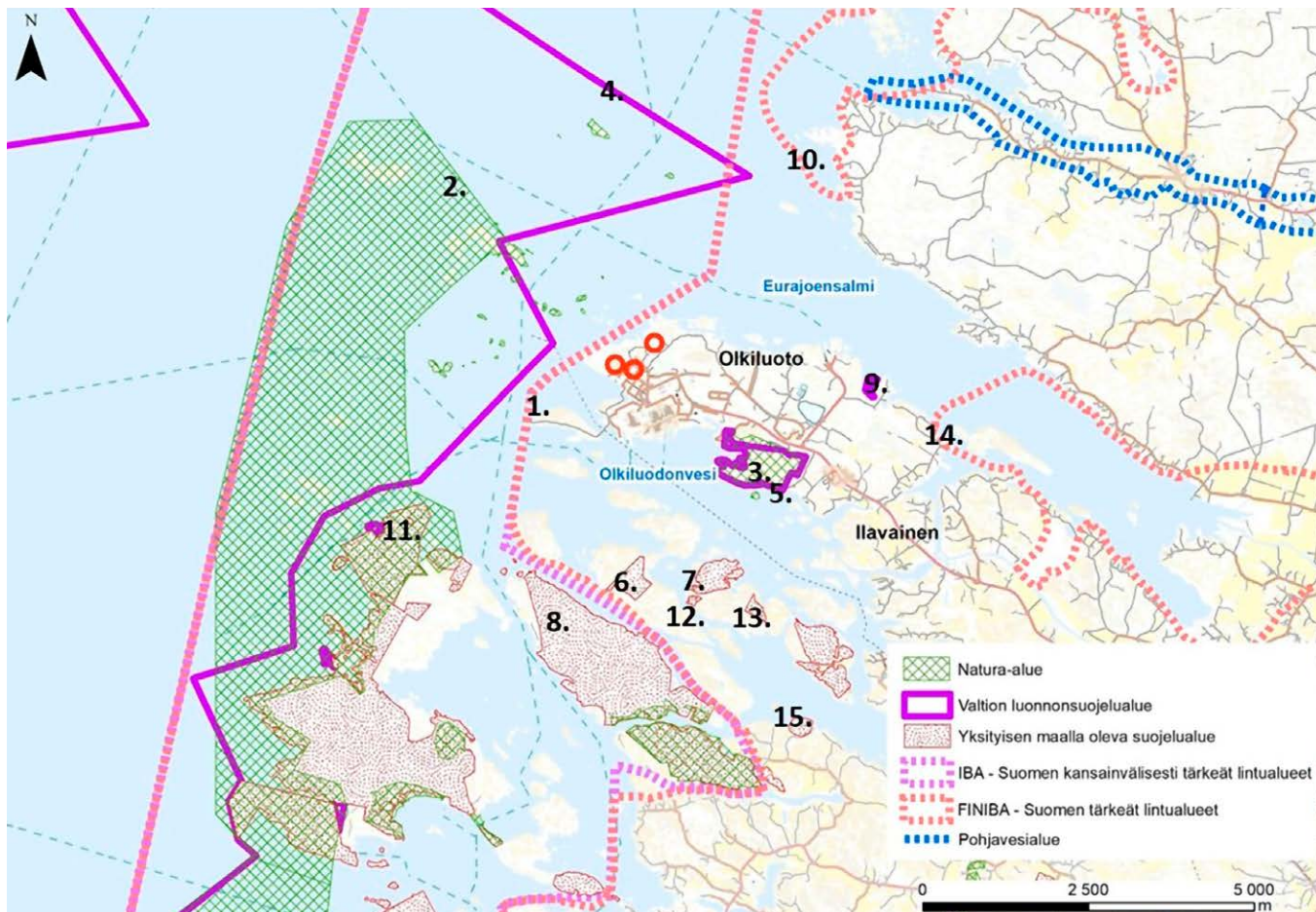
Noin viiden kilometrin säteellä sijaitsevat Natura-alueet, luonnonsuojelualueet, luonnonsuojeluohjelmien kohteet ja muut valtakunnallisesti arvokkaat luontokohteet (SYKE 2021) on esitetty oheisessa kuvassa 6-12 ja taulukossa 1. Olkiluodon ydinlaitostentoiminnasta ei ole aiheutunut merkittävää haittaa Natura-alueilla suojelluille luontotyypeille, joten ydinlaitosten tarvitseman infran rakentaminen on voitu toteuttaa sopusoinnussa ympäristön tilan kanssa vaarantamatta merkittävästi luonto- ja ympäristöarvoja.

#### 6.8.3 VAIKUTUKSET KASVILLISUUTEEN, ELÄIMIIN JA SUOJELUKOhteisiin

Hankkeen vaikutukset kasvillisuuteen ja eläimiin liittyvät pääasiassa rakennusten ja rakennelmien tarvitsemiin maa-alueisiin ja rakennustöihin. Loppusijoitustilojen käytön aikana ja sulkemisen jälkeen merkittäviä vaikutuksia ei ole. Läjitys- ja murskaustoiminnan ympäristövaikutuksia seurattiin vuosien 2003–2015 välillä märkälasseumaa keräämällä ja neulasnäytteitä analysoimalla alueen työalueen lähiympäristöstä. Neulasten pintaan kertyy kivipölyä, joka näkyy pesemättömien neulasten suurempina alumiini- ja rautapitoisuuksina. Neulasnäytteiden pintaa hieman rikkovan kloroformipesun perusteella voitiin kuitenkin todeta, että korkeammat pitoisuudet eivät pääse solukkoihin asti. Seurannan aikana todettiin, että raskasmetallienpitoisuudet neulasten pinnalla olivat laskusuunnassa.. Kivipölyllä ei arvioida olevan pitkällä aikavälillä vaikutuksia Olkiluodon metsiin. (Aro ym. 2018)

Pääosa kasveista ottaa vetensä kalliopinnan yläpuolisesta maavedestä. Tällöin maanalaisen tilojen aiheuttama kalliopohjaveden alenema ei vaikuta kasveihin. Kuten kohdassa 6.3.3





**Kuva 6-12.** Eurajoella sijaitsevat Natura 2000 -alueverkoston kohteet sekä luonnonsuojelualueet ja valtakunnallisesti arvokkaat luontokohteet. Numeroinnit ulottuvat 5 km etäisyydelle Olkiluodon voimalaitosalueesta.

**1. Rauman-Luvian** saaristojen IBA-alue (27 360 ha) ja Rauman-Luvian-Porin saariston FINIBA-alue (27 371 ha). Suomen kansainvälisesti tärkeisiin IBA-lintualueisiin kuuluva Rauman-Luvian saaristot on laaja yhtenäinen saaristoalue ja tärkeä merilintujen pesimäalue. Alue on osa Suomen tärkeisiin FINIBA-lintualueisiin kuuluvaa Rauman-Luvian-Porin saaristoa (Leivo ym. 2002).

**2. Rauman** saariston Natura-alue (FI0200073, SAC, 5350 ha). Natura-alueeseen sisältyy merilinnustolle tärkeää Selkämeren ulkosaaristoa ja merivöhykkeen saaristoa sekä sisäsaariston osia, joissa on muun muassa kasvistollisesti arvokkaita lehtoja (Varsinais-Suomen ELY-keskus 2013a). Lähimmät Natura-alueeseen sisältyvät Olkiluodon edustan pienet saaret sijaitsevat noin kilometrin päässä hankealueen luoteispuolella. Olkiluodon saaren eteläosasta Natura-alueeseen sisältyy Liiklankarin metsäalue (kohde 5). Olkiluodon etelä- ja etelälounaispuolella sijaitsevista Natura-alueen osista suuri osa sisältyy Raumanmeren luonto- ja retkeilyalueeseen (kohde 8) ja Laukkarin luonnonsuojelualueeseen (kohde 11). Natura-alueen pohjoisosa sisältyy Selkämeren kansallispuistoon (kohde 4). Natura-alue kattaa pääosan Rauman saariston rantojen suojeluohjelmakohteeseen (kohde 3) kuuluvista ranta-alueista. Lähes koko Natura-alue sisältyy IBA- ja FINIBA-lintualueisiin (kohde 1).

**3. Rauman** saariston rantojen suojeluohjelma-alue (RSO020020). Pääosa alueesta sisältyy Rauman saariston Natura-alueeseen (kohde 2).

**4. Selkämeren** kansallispuisto (KPU020037). Kansallispuisto on perustettu lailla (326/2011) Selkämeren aavan meren vedenalaisen luonnon, saaristojen ja luotojen, rannikon kosteikkojen sekä näihin liittyvien eliölajien suojelemiseksi ja niiden elinympäristöjen hoitamiseksi, luonnon- ja kulttuuriperinnön säilyttämiseksi sekä yleistä luonnonharrastusta, opetusta ja tutkimusta samoin kuin

ympäristömuutosten seurantaan varten. Kansallispuistoon kuuluu maa- ja vesialueita noin 91 200 hehtaaria. Kansallispuistoon sisältyy erillisenä alueena Kornamaan saaren länsipuolinen pieni vesialue Olkiluodon pohjoispuolella.

**5. Liiklankarin** suojelualue (VMA020001). Olkiluodon eteläosassa sijaitseva Liiklankarin suojelualue (57,5 ha) sisältyy valtakunnalliseen vanhojen metsien suojeluohjelmaan (AMO020001) ja Rauman saariston Natura-alueeseen (kohde 2).

**6. Kääntentilan** luonnonsuojelualue (YSA239598). Olkiluodon eteläpuolelle Kivi-Reksaareen sijoittuva luonnonsuojelualue (19,4 ha).

**7. Ympyräisen** luonnonsuojelualue (YSA239819). Luonnonsuojelualue (22,2 ha) sijaitsee Olkiluodon eteläpuolella Ympyräinenmaan saarella. Se kattaa pääosan saaresta rakennettuja ranta-alueita lukuun ottamatta.

**8. Raumanmeren** luonto- ja retkeilyalue (YSA236619). Vuonna 2016 perustettu luonnonsuojelualue on noin 1 100 hehtaarin laajuinen ja kattaa huomattavan osan Rauman saaristosta rajoittuen selkämeren kansallispuistoon. Alueeseen kuuluu muun muassa merkittäviä osia luonnonsuojelullisesti ja kulttuurihistoriallisesti arvokkaista Reksaaren, Omenapuumaan ja Nurmeksen saarista. Nurmeksen saaresta mukana on mm. Mustanperän metsän vanhojen metsien suojeluohjelman kohde (AMO020321). Osia alueesta sisältyy Rauman saariston Natura-alueeseen (kohde 2) ja rantojen suojeluohjelma-alueeseen (kohde 3).

**9. Kornamaan** vanhojen metsien suojeluohjelmakohde (AMO000093). Pienialainen metsäalue sijaitsee Olkiluodon pohjoisrannan lähellä Kornamaan saaren länsiosassa.

**10. Kuivalahden** FINIBA-alue (1 026 ha). Suomen tärkeisiin FINIBA-lintualueisiin kuuluva Kuivalahti on monipuol-

linen rannikkoalue, joka vaihtuu nopeasti avomeren rantamatalikosta suojaisaksi merenlahdeksi ja laajoiksi fladoiksi (Leivo ym. 2002).

**11. Laukkarin** luonnonsuojelualue (YSA024635). Kaksi-osainen luonnonsuojelualue (118,6 ha) Olkiluodon lounaispuolella Aikonmaan saaren pohjoisosassa. Alue sisältyy lähes kokonaan Rauman saariston Natura-alueeseen (kohde 2).

**12. Vasikkakarin** luonnonsuojelualue (YSA239926). Pieni luonnonsuojelualue (1,5 ha) sijoittuu Olkiluodon eteläpuolelle Ympyräinenmaan saaren eteläosaan.

**13. Mäntyrinteen** luonnonsuojelualue (YSA206416). Luonnonsuojelualue (6,0 ha) Taipalinenmaan saarella Olkiluodon eteläpuolella.

**14. Eurajoen** suiston FINIBA-alue (1 605 ha). Suomen tärkeisiin FINIBA-lintualueisiin kuuluva Eurajoen suisto on monimuotoinen kosteikon, taajamien, peltojen ja rantalehtojen muodostama suistoalue (Leivo ym. 2002). Alue sijaitsee Olkiluodon itäpuolella.

**15. Vähämaan** luonnonsuojelualue (YSA239599). Kaksi-osainen luonnonsuojelualue (12,4 ha) noin viiden kilometrin päässä Olkiluodon eteläpuolella Taipalmaan niemessä.

**Taulukko 1.** Natura 2000 -alueet (vihreä väri), luonnonsuojelualueet (keltainen väri) ja muut valtakunnallisesti arvokkaat luontokohteet (valkoinen väri) noin 5 kilometrin etäisyydellä Olkiluodon voimalaitosalueesta.

| Nro | Kohde                               | Kuvaus                                                                                                |
|-----|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Rauman-Luvian(-Porin) saaristot     | IBA-alue ja FINIBA-alue                                                                               |
| 2   | Rauman saaristo                     | Natura 2000 -alue                                                                                     |
| 3   | Rauman saaristo                     | Rantojensuojeluohjelman alue                                                                          |
| 4   | Selkämeren kansallispuisto          | Kansallispuisto                                                                                       |
| 5   | Liiklankarin suojelualue            | Luonnonsuojelualue, vanhojen metsien suojeluohjelman alue, sisältyy Rauman saariston Natura-alueeseen |
| 6   | Kääntentilan luonnonsuojelualue     | Luonnonsuojelualue                                                                                    |
| 7   | Ympyräisen luonnonsuojelualue       | Luonnonsuojelualue                                                                                    |
| 8   | Raumanmeren luonto- ja retkeilyalue | Luonnonsuojelualue                                                                                    |
| 9   | Kornamaa                            | Vanhojen metsien suojeluohjelma-alue                                                                  |
| 10  | Kuivalahti                          | FINIBA-alue                                                                                           |
| 11  | Laukkarin luonnonsuojelualue        | Luonnonsuojelualue                                                                                    |
| 12  | Vasikkakarin luonnonsuojelualue     | Luonnonsuojelualue                                                                                    |
| 13  | Mäntyrinne                          | Luonnonsuojelualue                                                                                    |
| 14  | Eurajoen suisto                     | FINIBA-alue                                                                                           |
| 15  | Vähämaan luonnonsuojelualue         | Luonnonsuojelualue                                                                                    |

on todettu, merkittävää vedenpinnan alenemaa maakerroksissa ei ole odotettavissa.

Louheen läjitys- ja murskaustoiminnan melu yltää satunnaisesti melutasoihin, joilla voisi olla häiritsevä vaikutus lähialueen pesimälinnustoon. . Läjitys- ja murskausmelu ei kuitenkaan ole jatkuvaluonteista, vaan kerrallaan muutamia päiviä kestävä. Linnuston kannalta merkittävimmät alueet (kuten Liiklankarin vanhojen metsien suojelualue) eivät myöskään ulotu voimakkaamman murskausmelun alueelle. Nisäkkäät eivät yleensä häiriinny voimakkaastakaan melusta. Posivan ydinlaitosten käyttötoiminnan aikainen melu tulee olemaan vähäistä ja liittyy lähinnä alueelle kohdistuvaan liikenteeseen ja rakennusten ilmanvaihtoon (katso kohta

6.7.31). Melun vaikutukset luontoon arvioidaan vähäisiksi.

Tutkimuksen perusteella louhintatärinän vaikutus kalastoon on lyhyen keston ja paikallisuutensa vuoksi merkityksetön (*Kala- ja vesitutkimus Oy ym. 1996*).

Loppusijoitustoimintaan varatulla alueella ei esiinny valtakunnallisesti uhanalaisia kasvi- tai eläinlajeja. Alue-ekologisia yhteyksiä ei katkea. Loppusijoituslaitostoimintaan varatun alueen ulkopuolella luonnonvarojen hyödyntämistä, kuten sienestystä, marjastusta, metsästystä, kalastusta ja metsänhoitoa voidaan jatkaa nykyiseen tapaan.

Loppusijoitustoimintaan varatulla alueella ei ole

valtakunnallisesti eikä maakunnallisesti merkittäviä luontokohteita tai Natura 2000 -alueita. Kapselointi- ja loppusijoituslaitosta lähin Natura 2000 -verkostoon kuuluva kohde on Olkiluodon etelärannalla sijaitseva Liiklankarin vanha metsä, joka kuuluu Rauman saariston Natura 2000 -alueeseen. Olkiluodon pintahydrologian mallilla (Karvonen 2020) tehtyjen laskelmien mukaan kalliotunneleihin purkautuvilla vesimäärillä on korkeintaan hyvin vähäinen vaikutus Liiklankarin luonnonsuojelualueen kasvien kasvuun. Muilla alueilla pohjavesivaikutteiset luontokohteet ovat niin kaukana mahdollisesta rakennusalueesta, ettei niihin todennäköisesti ole vaikutuksia. Tilojen sulkemisen jälkeen pohjaveden pinta palautuu entiselleen muutamassa vuodessa.

Liiklankarin suojelualueen Natura-luontotyyppit on selvitetty vuonna 2006 valmistuneissa inventoinneissa. Alueella on tehty lajistosiselvytyksiä (kovakuoriaiset, kääväkkäät, sammalet ja makrosienet) syksyllä 2006. Vuonna 2006 tehdyn Natura-arvioinnin mukaan yleiskaavotuksella Olkiluotoon mahdollistettut hankkeet (mukaan lukien loppusijoituslaitos) eivät merkittäväällä tavalla vaikuta niihin arvoihin, joiden vuoksi Liiklankarin alue on otettu mukaan Natura 2000 -suojeluohjelmaan. Toimenpiteillä ei ole merkittävää vaikutusta suotuisan suojelutason säilyttämiseen eteläisen Suomen vanhojen metsien verkostossa. (Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2006b.)

## 6.9 LUONNONVARAT

### 6.9.1 ARVIOINTIMENETELMÄT

Luonnonvarojen hyödyntämiseen kohdistuvilla vaikutuksilla tarkoitetaan sekä luonnonvarojen käyttöä että käytön estymistä. Tässä raportissa on kuvattu luonnonvarojen käyttö ja sen vaikutukset. Luonnonvarojen hyödyntämisessä on tarkasteltu muun muassa syntyvän louheen hyödyntämistä sekä hankkeen tarvitsemien materiaalien kulutusta (muun muassa bentoniitti ja kupari).

### 6.9.2 VAIKUTUKSET LUONNONVAROJEN HYÖDYNTÄMISEEN

#### 6.9.2.1 KUPARIN KÄYTTÖ

Käyttövaiheessa vuosittain tarvittavan kuparin määrä on alle 0,01 % koko maailman vuosituotannosta ja esimerkiksi alle 1 % Luvata Oy:n Porin yksikön vuosituotannosta. Posivan tarvitseman hapettoman kuparin saatavuus on riittävän hyvä. Kupari on yleisesti käytettävä materiaali maailmanlaajuisesti ja sen saatavuuden voidaan olettaa olevan hyvä myös tulevaisuudessa. Kuparivalmisteita voidaan hankkia tarvittaessa myös varastoon toiminnan jatkuvuuden varmistamiseksi.

#### 6.9.2.2 BENTONIITIN KÄYTTÖ

Bentoniitti on savea, joka koostuu voimakkaasti paisuvista savimineraaleista, joita ei suuressa mittakaavassa esiinny Suomessa. Käyttö ja -sulkemisvaiheessa vuosittain tarvittava bentoniitin määrä on alle 0,1 % maailman vuosituotannosta. Bentoniitin saatavuus on hyvä. Bentoniittia käytetään yleisesti eri tarkoituksiin ja sen saatavuuden voidaan olettaa olevan hyvä myös tulevaisuudessa.

#### 6.9.2.3 KIVIAINEKSEN KÄYTTÖ

Maanalaisesta loppusijoitustilasta ylös tuotu kiviaines varastoidaan Olkiluodossa sijaitsevalle louheen läjitysalueelle. Täysporausmenetelmässä syntynyt murskaantunut kiviaines kuljetetaan louheen tapaan maanpinnalle ja läjitetään. Ainesta ei tarvitse enää murskata, vaan sitä voidaan käyttää muihin käyttötarkoituksiin sellaisenaan.

## 6.10 IHMISET, YHDYSKUNTA-RAKENNE, ALUETALOUS JA EURAJOEN KUNNAN IMAGO

### 6.10.1 ARVIOINTIMENETELMÄT

Ympäristövaikutusten arviointityön aikana on selvitetty loppusijoituslaitoshankkeen vaikutuksia ihmisten terveyteen, viihtyvyyteen, virkistykseen ja elinoloihin muun muassa maankäytön muutosten, maisemavaikutusten, radioaktiivisten päästöjen aiheuttaman säteilyannoksen lisäksi, liikennevaikutusten ja melun osalta.



Lisäksi on tarkasteltu mahdollisten onnettomuustilanteiden vaikutuksia. Arvioinnin painopisteitä valittaessa on otettu huomioon alueen asukkailta ja alueella työssä käyville henkilöiltä saatu palaute. On huomioitava, että sosiaalisten vaikutusten arviointi yli 60 vuoden päässä tapahtuvalle toiminnalle on hyvin epävarmaa. Hankkeen ihmisiin kohdistuvien vaikutusten arviointia on palvellut vuosien 2008–2009 YVA-menettelyn aikana seurantaryhmässä ja keskustelutilaisuuksissa tapahtunut vuorovaikutus sekä eri sidosryhmistä ja mediasta saatu tieto.

#### 6.10.1.1 TERVEYSVAIKUTUKSET

Terveysvaikutuksilla tarkoitetaan tässä selvityksessä Sosiaali- ja terveysalan tutkimus- ja kehittämiskeskuksen (Stakes) laatiman ohjeen (Stakes 2012) mukaisesti hankkeen aiheuttamia muutoksia ihmisten terveydessä tai heidän elinympäristönsä terveydellisissä oloissa tai muutosten uhkaa (terveysriskit). Ohjeen mukaan muutokset voivat olla suoria tai epäsuoria, keraantuvia, lyhyt- tai pitkäaikaisia, myönteisiä tai kielteisiä, pysyviä tai

palautuvia, vakavia tai lieviä. Päähuomio tässä selostuksessa on kuitenkin pantu mahdollisten terveyshaittojen selvittämiseen.

Terveyshaitta on

- ihmisessä todettava sairaus,
- muu terveydenhäiriö,
- sellainen tekijä tai olosuhde, joka voi vähentää väestön tai yksilön elinympäristön terveellisyttä.

Päähuomio terveysvaikutuksia koskeissa selvityksissä on kiinnitetty radioaktiivisten aineiden mahdollisesti aiheuttamiin terveyshaittoihin. Aluksi tarkastellaan yleisesti, miten radioaktiivisten aineiden säteily voi vaikuttaa ihmisten terveydentilaan. Tämän jälkeen arvioidaan, mitä mahdollisuuksia ihmisillä on altistua radioaktiivisten aineiden säteilylle käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusten yhteydessä, kapselointi- ja loppusijoitusvaiheessa sekä tilojen sulkemisen jälkeen. Tarkastelu koskee sekä normaalitilannetta (toiminta sujuu suunnitelmien mukaan) että erilaisia häiriö- ja onnettomuustilanteita. Hankkeesta aiheutuvia terveysvaikutuksia ja -riskejä on arvioitu sätei-

lyaltistukseen perustuvien laskelmien avulla.

Säteilyvaikutusten lisäksi on arvioitu, mitä muita terveysvaikutuksia hankkeesta voi aiheutua. Tarkasteltavana ovat muun muassa liikenteestä, melusta ja pölystä aiheutuvat haitat. Tarkastelu perustuu esitettyihin arvioihin hankkeen aiheuttamista päästöistä ja muista konkreettisista muutoksista ympäristössä.

Kapselointilaitoksen ydinturvallisuuden hallinnalla ja loppusijoituslaitoksen pitkäaikaisturvallisuuden hallinnalla (luku 8) varmistetaan, että loppusijoituslaitoksesta ei aiheudu terveysvaikutuksia kaukaisessakaan tulevaisuudessa.

#### 6.10.1.2 ELINOLOT, VIIHTYVYYS JA VIRKISTYS

Posivan teettämiä asukaskyselyitä ja muita asennetutkimuksia on hyödynnetty soveltuvien osin selvitystä laadittaessa. Suomalaisten suhtautumista ydinjätteisiin on tutkittu ”Suomalaisten energia-asenteet” -tutkimuksissa. Tutkimussarjalla on selvitetty ja seurattu suhtautumista energiapolitiittisiin kysymyksiin jo 38 vuoden (1983–2020) ajan.

Eurajoen kuntalaisten luottamusta käytetyn ydinpolttoaineen turvalliseen loppusijoitukseen on tutkittu vuosien 2007–2008 suoritetuilla laadullisella haastattelututkimuksella ja määrällisellä asukaskyselyllä (Aho 2008) sekä osana kansallisen ydinjätteen tutkimusohjelman (KYT-2010-ohjelma) rahoittamaa yhteiskunnallista tutkimusta (Litmanen ym. 2010).

Osayleiskaavoituksen yhteydessä (vuosina 2006–2007) tehdyn asukaskyselyn (Ramboll Finland Oy 2007) avulla pyrittiin selvittämään asukkaiden käsitystä asuinympäristönsä nykytilasta sekä saamaan tietoa Olkiluodon nykyisen toiminnan aiheuttamista vaikutuksista alueen lähiympäristössä. Kyselylomakkeita postitettiin yhteensä 1 500 kappaletta Olkiluodon lähiasukkaille, Eurajoella tai Raumalla asuville henkilöille ja TVO:n työntekijöille. Vastauksia saatiin yhteensä 774 kappaletta ja vastausprosentiksi muodostui 52.

Eurajokelaisten loppusijoitusta koskevia mielipiteitä, asenteita ja mahdollisia huolia tutkittiin teemahaastattelututkimuksella (Pöyry Environment Oy 2008) kesäkuussa 2008. Yhteensä



haastateltiin 21 henkilöä. Haastatteluilla selvitettiin haastateltujen näkemyksiä kapselointi- ja loppusijoituslaitosten vaikutuksesta turvallisuuteen ja Eurajoen kunnan tulevaisuuteen.

#### 6.10.1.3 YHDYSKUNTARAKENNE, ALUETALOUS JA EURAJOEN KUNNAN IMAGO

Tässä selvityksessä on arvioitu kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamisen ja käytön luomien välittömien ja välillisten työpaikkojen määrää sijaintipaikkakunnan seudulla. Lisäksi on selvitetty hankkeen vaikutuksia elinkeinorakenteen kehitykseen, yhteiskunnan toiminnan suunnitteluun ja paikallisten yritysten tulevaisuudensuunnitelmiin.

Aluerakenteellisia ja aluetaloudellisia vaikutuksia on selvitetty laajimmillaan koko Satakunnan alueella. Aluetaloudellisia vaikutuksia on arvioitu käyttäen apuna Posivan työraporttia ”Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen aluetaloudelliset, sosioekonomiset ja kunnallistaloudelliset vaikutukset” (Laakso ym. 2007). Selvitys on tehty Posivan toimeksiannosta ja sen on tehnyt Kaupunkitutkimus TA Oy keväällä ja kesällä 2007.

Hankkeen vaikutuksia Eurajoen kunnan imagoon on arvioitu käyttäen apuna Posivan työraporttia ”Kuntaimagotutkimus 2006” (Corporate Image Oy 2007). Tutkimuksessa haastateltiin loka-joulukuussa 2006 puhelimitse 500 kuluttajaa, 200 yritysten edustajaa sekä 200 Eurajoen kuntalaista.

#### 6.10.2 ALUEEN NYKYTILA

Alueen nykytila on kuvattu käyttöluupahakemuksen liitteessä 3 ”Selvitys ydinlaitoksen sijaintipaikan ja sen lähiympäristön asutuksesta ja muista toiminnoista sekä kaavoitusjärjestelyistä”.

#### 6.10.3 VAIKUTUKSET IHMISIIN, YHDYSKUNTARAKENTEeseen, ALUETALOUTEEN JA EURAJOEN KUNNAN IMAGOON

#### 6.10.3.1 EPÄPUHTAUKSISTA, MELUSTA JA TÄRINÄSTÄ AIHEUTUVAT TERVEYSVAIKUTUKSET

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen tutkimus-, rakentamis- ja käyttövaiheiden aikaisia ei-radioaktiivisten aineiden päästöjä ilmaan ja vesiin samoin kuin toiminnasta aiheutuvaa melua ja tärinää on tarkasteltu edellä olevissa luvuissa. Toiminnasta aiheutuvat päästöt ja muut fysikaaliset muutokset ympäristössä arvioidaan vähäisiksi.

Seuraavassa esitetään yhteenveto näistä arvioista ihmisten terveyden ja terveysolojen kannalta:

- Hankkeen aiheuttamat konventionaaliset terveysvaikutukset ovat vähäiset. Hankkeen synnyttämällä liikennemäärien kasvulla ei ole vaikutusta paikalliseen ilmanlaatuun. Liikennemelu ei kasva hankkeen vaikutuksesta merkittävästi.
- Käytännössä terveyden kannalta suurin haitta ja viihtyvyyttä heikentävä tekijä on louhinta- ja murskaustyöstä sekä räjäytyksistä syntyvä melu. Louhinnasta ei aiheudu väestölle merkittäviä terveysvaikutuksia. Murskausasema on sijoitettu maastoon siten, ettei suojavyöhykkeellä ole rakennuksia.
- Louhinnan ja murskauksen aikaansaaman pölyämisen terveysriskit ovat minimoitavissa teknisin toimenpitein.

#### 6.10.3.2 SÄTEILYSTÄ JOHTUVAT TERVEYSVAIKUTUKSET

##### Ionisoivan säteilyn terveysvaikutukset

Radioaktiivisuuden terveyshaittoja tarkasteltaessa kiinnitetään huomio radioaktiivisen hajoamisen yhteydessä syntyvään ionisoivaan säteilyyn. Ionisoivan säteilyn terveysvaikutukset ja -riskit riippuvat muun muassa säteilyn ominaisuuksista, määrästä ja kohteena olevasta elimestä tai kudoksesta. (Paile 2002, STUK 2005.)

Fysikaalisen suureen, absorboituneen annoksen, ohella säteilyn määrää terveyshaittojen kannalta kuvataan suureella ekvivalenttiannos,

jonka yksikkö on sievert (Sv). Ekvivalenttiansios lasketaan absorboituneesta annoksesta kertomalla se säteilylajista riippuvalla luvulla. Luku on 1 beeta-, gamma- ja röntgensäteilylle, neutronisäteilylle luku on energiasta riippuen 5–20 ja alfasäteilylle 20. (Ikäheimonen 2002)

Kun otetaan säteilylajin lisäksi huomioon elinten tai kudosten erilainen merkitys terveydelle ja herkkyys säteilylle painokertoimien avulla, käytetään nimenomaan säteilyn terveysriskejä arvioitaessa efektiivistä annosta (painotettu ekvivalenttiansios), jolla on sama yksikkö (Sv) kuin ekvivalenttiansiosella. Sievert on suuri yksikkö; usein käytetään sen tuhannesosaa (mSv) tai miljoonasosaa ( $\mu$ Sv).

Tarkasteltaessa koko väestön tai väestönosan säteilyaltistusta käytetään suuretta kollektiivinen annos (yleensä kollektiivinen efektiivinen annos), jonka yksikkö on mansievert (manSv). Kollektiivinen annos on henkilöiden saamien säteilyannosten yhteenlaskettu määrä.

rveysvaikutukset voidaan jakaa kahteen pääryhmään: suoriin ja satunnaisiin vaikutuksiin. Suorat vaikutukset johtuvat hyvin suuren säteilyannoksen aiheuttamasta laajasta solutuhosta. Esimerkiksi, jos ihminen saa lyhyessä ajassa suuren säteilyannoksen koko kehoonsa, hän voi kuolla muutaman viikon kuluessa niin sanottuun säteily sairauteen. Varhaisvaikutuksia on esiintynyt lähinnä Hiroshiman ja Nagasakin ydinpommitusten, eräiden onnettomuuksien ja säteilyhoidon seurauksena.

Satunnaiset haitat ovat puolestaan vaikutuksia, joiden esiintyminen eri henkilöillä vaihtelee satunnaisesti muun muassa altistuneiden henkilöiden yksilöllisten erojen vuoksi. Satunnaisen haitan, esimerkiksi syövän, todennäköisyys kasvaa säteilyannoksen kasvaessa, mutta haitan vakavuus ei riipu annoksesta. Suora haitta, esimerkiksi kaihi tai ihovaurio, syntyy vasta kun säteilyannos ylittää tietyn kynnsarvon, ja haitan vakavuus kasvaa annoksen kasvaessa.

Pienten säteilyannosten vaikutusta ei ole kyetty havaitsemaan edes suuria ihmisjoukkoja koskeneissa tilastollisissa tutkimuksissa, koska mahdollinen vaikutus, jonka on väitetty pienillä annoksilla voivan olla myös myönteinen, on pieni ja esimerkiksi syöpiä esiintyy paljon muiden syiden johdosta.

Eräiden näkemysten mukaan tietyn kynnsarvon alapuolella säteilystä ei ole haitallisia vaikutuksia. Varovaisuusperiaatteen mukaisesti säteilysuojelussa oletetaan kuitenkin, että esimerkiksi syövän todennäköisyys on suoraan verrannollinen säteilyannokseen ilman kynnsarvoa. Kansainvälinen säteilysuojelutoimikunta ICRP käyttää riskikertoimenä syöväälle 0,0055 % / mSv pienillä annoksilla ja pienillä annosnopeuksilla. Tällöin oletetaan, että niistä noin 18 000 ihmisestä, jotka kaikki ovat saaneet 1 mSv:n annoksen, yksi syöpätapaus aiheutuisi säteilystä (ICRP 2007, Paile 2002, UNSCEAR 2008).

Säteilyn epäillään aiheuttavan perinnöllisiä vaikutuksia. Vaikka eläinkokeissa on osoitettu säteilyn aiheuttavan perinnöllisiä vaikutuksia, ei niitä ole pystytty ihmisillä havaitsemaan. Kansainvälisen säteilysuojelutoimikunnan ICRP:n riskierotin vakaville perinnöllisille vaikutuksille on 0,0002 % / mSv. Vakavalle terveyshaitalle ICRP käyttää siten riskierointia, joka on yhteensä 0,0057 % / mSv (ICRP 2007).

### **Vertailutietoa säteilyn lähteistä ja säteilyannoksista Suomessa**

Seuraavassa tarkastellaan vertailun vuoksi säteilystä saatavia annoksia Suomessa.

Suomalaisten keskimääräinen vuotuinen säteilyannos on noin 5,9 mSv. Suomalaiset saavat säteilyä pääasiassa luonnosta. Noin kaksi kolmasosaa suomalaisen saamasta säteilyannoksesta eli 4 mSv on peräisin huoneilman radonista. Säteilyn lääketieteellinen käyttö aiheuttaa keskimäärin 0,76 mSv efektiivisen annoksen. Maaperän ja rakennusmateriaalien ulkoisesta säteilystä aiheutuva annos on keskimäärin 0,45 mSv vuodessa yhtä suomalaista kohti. Avaruudesta peräisin olevalle säteilylle ihmiset joutuvat alttiiksi kaikkialla, lentokoneessa enemmän kuin maanpinnalla. Avaruudesta peräisin olevasta säteilystä suomalaiset saavat 0,33 mSv:n annoksen vuodessa. Ihmiset myös syövät, juovat ja hengittävät luonnon radioaktiivisia aineita. Ravinnossa ja juomavedessä olevista luonnon radioaktiivisista aineista aiheutuu noin 0,3 mSv:n sisäinen säteilyannos vuodessa. Ympäristössä olevien keinotekoisien radioaktiivisten aineiden osuus efektiivisestä annoksesta on hyvin pieni – ydinasekokeista ja ydinonnet-

tomuuksista arvioidaan aiheutuvan noin 0,01 mSv:n säteilyannos vuodessa. Määrät ovat kuitenkin olleet hyvin pieniä, eivätkä käytännössä näy nousuna suomalaisten vuosittain eri lähteistä saamassa annoksessa. (STUK 2021a)

Luonnon taustasäteilyn aiheuttaman säteilyannoksen suuruus vaihtelee alueittain. Sisäilman radonpitoisuus vaihtelee eri alueilla paljonkin. Suomalaiset saavat suurimman säteilyannoksen huoneilman radonista. Keskimääräinen radonpitoisuus suomalaisissa asunnoissa on noin 94 becquereliä kuutiometrissä ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ), joka vastaa noin neljän millisievertin säteilyannosta vuodessa. Asunnon ja muun oleskelutilan sisäilman radonpitoisuuden viitearvo on  $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$  ilmaa. Uusi asunto tulee suunnitella ja rakentaa siten, että radonpitoisuus ei ylittäisi arvoa  $200 \text{ Bq}/\text{m}^3$ . Suomessa on arviolta 70 000 asuntoa, joiden radonpitoisuus ylittää arvon  $400 \text{ Bq}/\text{m}^3$ . Asuminen asunnossa, jossa radonin pitoisuus on  $400 \text{ Bq}/\text{m}^3$ , aiheuttaa noin 7 mSv:n suuruisen vuotuisen annoksen. Maaperästä ja rakennuksista peräisin olevan ulkoisen säteilyn aiheuttama säteilyannos Suomen eri paikkakunnilla on 0,17–1 mSv/vuosi. Lento-henkilöstö saa avaruussäteilystä noin 2 mSv:n ylimääräisen säteilyannoksen vuodessa. Suomen nykyisten ydinvoimalaitosten aiheuttama säteilyannos voimalaitosten lähialueiden eniten altistuneelle ryhmälle on alle tuhannesosa suomalaisten keskimääräisestä säteilyannoksesta. (STUK 2021a, 2021b, 2021c, 2021d, 2021e, 2021f.)

Säteilyn hyötykäytöstä aiheutuva säteilyannos on Suomessa peräisin lähes kokonaan säteilyn lääketieteellisestä käytöstä. Suomessa tehdään vuosittain noin 3,7 miljoonaa röntgen-tutkimusta, noin 2,3 miljoonaa tavanomaista hammaskuvausta ja lähes 400 000 hampaiden panoraamakuvausta. Kun erilaisista röntgen-tutkimuksista potilaille aiheutuneet säteilyannokset jaetaan kaikkien suomalaisten kesken, saadaan keskimääräiseksi annokseksi noin 0,45 mSv vuodessa. Kaikkien röntgenkuvausten keskimääräinen säteilyannos yhtä tutkimusta kohti on noin 0,6 mSv. (STUK 2021g)

### Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksesta johtuvat terveysvaikutukset

Käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja lop-

pusijoituslaitokselta voi normaalissa käsittelyssä vapautua pieniä määriä radioaktiivisia aineita. Kalliosta ja kalliotiloihin vuotavasta pohjavedestä voi vapautua kaasumaista radonia loppusijoitustilojen ilmaan. Normaalien päästöjen muodostuminen on kuvattu yksityiskohtaisesti käyttöluvahakemuksen yhteydessä STUK:lle toimitetussa aineistossa. Normaaleissa oloissa radioaktiiviset aineet ovat kaiken aikaa tiiviisti eristettyinä luonnosta ja ihmisistä. Päähuomio onkin kiinnitetty erilaisten häiriö- ja onnettomuustilanteiden seurauksiin (luku 7) ja loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuutta koskeviin arvioihin (luku 8).

Taulukossa (Taulukko 7-1) on esitetty kollektiiviset annokset normaalikäytön päästöstä, häiriö- sekä onnettomuustilanteen päästöstä. Normaalit vuosittaiset radioaktiivisten aineiden päästöt ovat merkityksettömät.

Normaaleista yhden vuoden päästöistä aiheutuva annos 50 vuoden kuluessa väestöön kuuluvalla henkilöllä on suurella todennäköisyydellä alle 0,01 mSv laitosalueen välittömässä läheisyydessä. Tällöin on oletettu, että lähialueella asutaan vakituisesti, harjoitetaan maataloutta ja käytetään ravinnoksi pääosin omia tuotteita. Vaikutusten kannalta merkittävin radionuklidi on cesium-137.

Pääosa annoksesta kertyy maahan laskeutuneiden radionuklidien siirtyessä maataloustuotteisiin, esimerkiksi maitoon, ja siten ruokailun välityksellä aiheutuvasta sisäisestä säteilystä. Suora ulkoinen säteily laskeumasta ja ilmassa olevien radioaktiivisten aineiden hengittäminen aiheuttavat seuraavaksi suurimman annoksen. Suora säteily päästöpilvestä aiheuttaa tätä selvästi pienemmän annoksen. Annos on ainakin kertaluokkaa pienempi viiden kilometrin päässä kuin laitoksen välittömässä läheisyydessä. Kauempana annos on tätäkin pienempi. Normaaleista päästöistä aiheutuvat annokset ovat siten merkityksettömän pieniä esimerkiksi luonnonsäteilyyn verrattuna (noin 3 mSv/vuosi). Myöskään ympäristöön pääsevästä luonnon radonista ja sen hajoamistuotteista aiheutuvat annokset eivät ole merkittäviä.

Kalliotilojen louhinnasta aiheutuvan luonnon radonkaasun lisääntymistä ympäristössä on arvioitu Säteilyturvakeskuksen mittausten sekä Posivan kairaustulosten perusteella (Vester-

*backa & Arvela 1998*). Leviämistä arvioitiin pistemäisen lähteen gaussilaisella leviämismallilla, jolloin saatiin todellisuutta korkeammat pitoisuudet. Nämäkin pitoisuudet jäivät tilojen lähialueella niin pieniksi, että niiden erottaminen ulkoilman radonpitoisuudesta on käytännössä mahdotonta. Näin ollen merkittäviä ympäristövaikutuksia ei synny.

Kapselointilaitoksen työntekijöille aiheutuvat säteilyannokset ovat arvioiden mukaan pienempiä kuin ydinvoimalaitosten henkilökunnan saamat annokset. Myös kapselointilaitoksella kerrallaan käsiteltävät radioaktiivisten aineiden määrät ovat pieniä verrattuna ydinvoimaloiden vastaaviin määriin. Kapselointilaitoksesta ei pääse ympäristöön haitallisia määriä säteileviä aineita siinäkään tapauksessa, että ydinpolttoaineen käsittelyssä tapahtuisi häiriö.

Loppusijoitusjärjestelmän ja loppusijoituspaikan soveltuvuus sekä turvallisuusvaatimusten täyttyminen osoitetaan turvallisuusanalyysillä. Niissä tarkastellaan sekä todennäköisinä pidettäviä kehityskulkuja että pitkäaikaisturvallisuutta heikentäviä epätodennäköisiä tapahtumia ja arvioidaan kussakin tapauksessa ihmisille ja muulle luonnolle aiheutuvat seuraukset (luku 8).

## 6.10.4 SUHTAUTUMINEN KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUKSEEN

### 6.10.4.1 SUOMALAISTEN SUHTAUTUMINEN YDINJÄTTEIDEN LOPPUSIJOITUKSEEN

Suomalaisten suhtautumista ydinjätteisiin on tutkittu osana ”Suomalaisten energia-asenteet” -seurantatutkimusta. Vuonna 2020 tehdystä tutkimuksesta yli kolmannes (36 %) katsoo ydinjätteiden loppusijoituksen Suomeen turvalliseksi. Epäileviä on hieman enemmän (38 %). Suhtautuminen loppusijoitukseen on pikku hiljaa muuttunut myönteisemmäksi vuosikymmenten aikana.

Voimalaitoskunnissa ydinjätteisiin suhtaudutaan aiempaan tapaan vähemmän vieroksuvasti kuin maassa keskimäärin. Luottamus lop-

pusijoituksen turvallisuuteen on niissä, etenkin loppusijoituskohteeksi valitulla Eurajoella, merkittävästi laajempaa. Tarkasteluyhteydessä on paikallaan palauttaa mieliin myös tutkimussarjan aiempien vaiheiden tulokset. Niissä on tullut toistuvasti esiin niin eurajokelaisten kuin lovisalaistenkin periaatteellinen valmius ydinjätteiden vastaanottoon, eli sijoitukseen oman kuntansa alueelle. (*Suomalaisten energia-asenteet 2011 ja 2013.*)

### 6.10.4.2 EURAJOEN KUNTALAISTEN LUOTTAMUS KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUKSEEN

Vuosina 2007–2008 tehdyn haastattelututkimuksen (*Aho 2008*) mukaan suhtautuminen ydinvoimaan oli pääosin myönteistä, kuten myös tutkimukseen sisältyneen lomaketutkimuksen tulokset osoittivat (59 %).

Kyselyn tulosten perusteella noin 40 % kyselyyn vastanneista Eurajoen kuntalaisista suhtautui myönteisesti käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen ja neutraalisti 12 % kuntalaisista. Käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen sijoittaminen kotikuntaan pelotti kuitenkin kyselyn mukaan noin 45 % kuntalaisista. Haastattelujen perusteella suurin loppusijoitukseen liittyvä huolenaihe on käytetyn ydinpolttoaineen tuonti ulkomailta Suomeen ja Eurajoelle loppusijoitettavaksi.

Kukaan haastatelluista ei kertonut tunteneensa erityistä tarvetta tietää loppusijoitukseen liittyvistä asioista. Yli puolet (noin 56 %) vastanneista koki saaneensa riittävästi informaatiota loppusijoitukseen liittyvistä asioista. Heidän mukaansa tietoa aiheesta tulee kotiin ilmaisjakeluna niin usein, ettei varsinaisia tiedontarpeita pääse syntymään. Aiheesta saatavilla oleva informaatio nähtiin pääosin selkeänä ja kattavana. Valtaosa haastatelluista koki luottavansa Posivan viestintään.

Peräti 69 % vastanneista oli sitä mieltä, että Posivalla on hyvä asiantuntemus ydinpolttoaineen loppusijoitukseen. Posivaa pidettiin luotettavana asiantuntijaorganisaationa, sillä 69 % vastasi olevansa väittämän kanssa samaa mieltä. Posivan henkilökunnan asiantuntemuk-



seen luotti 68 % vastanneista. Kyselyn tulosten mukaan 75 % kuntalaisista on kiinnostunut loppusijoitukseen liittyvistä asioista. (Aho 2008.)

Jyväskylän ja Tampereen yliopistojen vuonna 2008 toteuttaman tutkimuksen (Litmanen ym. 2010) mukaan Eurajoen asukkaista kolmannes katsoi saavansa tarpeeksi tietoa loppusijoituksesta, kolmannes oli asiasta eri mieltä ja kolmannes ei osannut arvioida asiaa. Korrelaatioanalyysin perusteella tiedon ja luottamuksen välinen riippuvuus osoittautui varsin heikoksi. Loppusijoituslaitoksen laajentamisen kannatuksen ja loppusijoituksen terveysvaikutuksiin liittyvän tiedontarpeen välillä havaittiin tutkimuksen korkein käänteinen korrelaatio.

Institutionaalinen luottamus Posivaan osoittautui Eurajoella kaksijakoiseksi. Yhtiöön luottavia ja ei-luottavia oli yhtä suuri osuus (39 %) asukkaista. Luottamus Posivaan oli jonkin verran suurempaa kuin viranomaisiin. Loppusijoituslaitoksen laajentamisen hyväksynnän ja luottamuksen välillä on vahva positiivinen riippuvuus.

Loppusijoitukseen liitettyjen taloudellisten hyötyjen ja muiden vaikutusten (kunnan imago, ympäristön tila ym.) ja koetun luottamuksen välillä havaittiin tutkimuksessa vahva positiivinen korrelaatio. Loppusijoitukseen luottavat asukkaat kokivat yleisesti loppusijoituksen hyödyt haittoja suuremmiksi.

Ydinjätteistä koettava moraalinen vastuu selittää osaltaan asukkaiden luottamusta. Hankkeesta koituvat riskit ja uhat koetaan puolestaan suurimmaksi niiden asukkaiden joukossa, jotka vastustavat loppusijoituslaitoksen laajenusta. Yleinen ydinvoimamyönteisyys puolestaan korreloi vahvasti loppusijoitukseen liittyvän luottamuksen kanssa.

Tutkimuksen mukaan 42 % Eurajoen asukkaista on valmiita hyväksymään loppusijoituslaitoksen laajentamisen. Tutkimuksen yleishavaintona voidaan esittää, että asukkaiden luottamus ei perustu niinkään tietoon vaan luottamusta selittäviin muihin tekijöihin. Institutionaalisen luottamuksen ohella merkittäviä selittäjiä ovat hankkeesta koetut taloudelliset ja muut hyödyt, riskikäsitykset, moraalinen vastuu sekä yleinen ydinvoima-asenne. Merkittävää ja huomionarvoista on sekin, että vuosikymmenten saatossa ydinvoimasta on tullut tuttu teknologia paikalli-

sille asukkaille ja osa paikkakunnan identiteettiä.

#### 6.10.4.3 OLKILUODON VOIMALAITOSALUEEN ASUKAS- JA TYÖNTEKIJÄKYSELY

Olkiluodon osayleiskaavoituksen yhteydessä tehdyn asukaskyselyn (Ramboll Finland Oy 2007) mukaan kaikille vastaajaryhmille yhteinen tärkeä asia Olkiluodon osayleiskaavoituksessa oli ydinvoimalaitosten turvallisuus. Lähiasukkaat korostivat eniten nykyisten loma-asuntojen säilyttämistä. Lisäksi he pitivät tärkeinä kalastus- ja virkistysmahdollisuuksia Olkiluodon merialueella sekä venesataman kehittämistä. Työntekijät taas pitivät tärkeänä ydinvoimalaitosten laajennusmahdollisuuksia ja liikenneyhteyksien parantamista. Erityisesti kauempana asuvat toivat lisäksi esille maanalaisen loppusijoitusalueen rajauksen ja tuulivoimalaitosten lisäämisen merellä ja maalla.

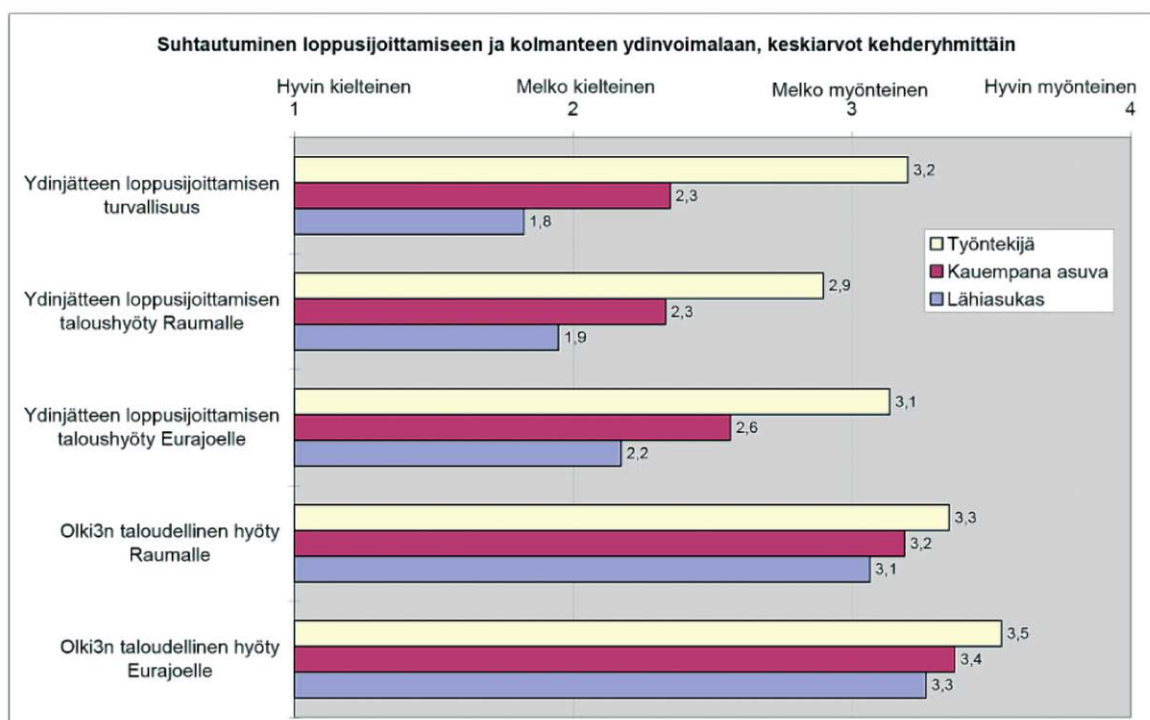
Loppusijoittamiseen suhtautumisessa naiset olivat tilastollisesti erittäin merkittävästi kielteisempiä kuin miehet ja yli 65-vuotiaat kielteisempiä kuin nuoremmat. Kyselyyn vastanneet asukkaat suhtautuivat kielteisesti ydinjätteen loppusijoittamisen turvallisuuteen ja kuntien taloushyötyyn, mutta myönteisesti Olkiluodon kolmannen ydinvoimalan taloushyötyyn (Kuva 6-13). Olkiluodossa työskentelevät suhtautuivat sekä loppusijoitukseen että OL3-laitosyksikköön myönteisesti.

Puolet kyselyyn vastanneista asukkaista piti haitallisimpana voimalaitostoimintona käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta (Kuva 6-14). Kauempana asuvat pitivät voimalinjoja haitallisempina kuin ydinvoimalaitoksia, lähiasukkaat taas päinvastoin.

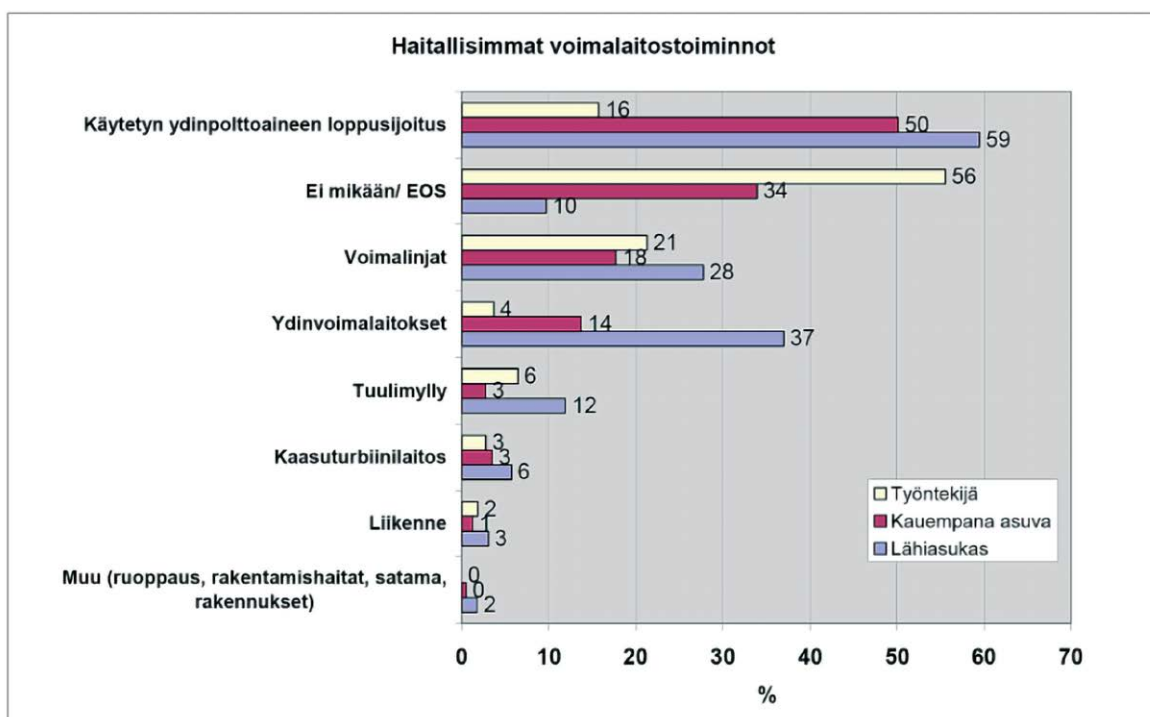
Avointen vastausten mukaan eniten tietoa kaivataan turvallisuudesta ja rakentamisen ongelmista. Erityisesti lähiasukkaita kiinnostavat ydinvoimalan haittavaikutukset ja loppusijoitus. Asukkaat halusivat tietoa myös ydinvoimalan toimintaan liittyvistä asioista sekä vaikutuksista loma-asutukseen. (Ramboll Finland Oy 2007.)

#### Teemahaastatteluiden tulokset

Eurajokelaisten loppusijoitusta koskevia mie-



**Kuva 6-13.** Suhtautuminen loppusijoittamiseen ja Olkiluodon kolmanteen ydinvoimalaan kohderyhmittäin. En osaa sanoa -vastaukset jätetty pois (Ramboll Finland Oy 2007).



**Kuva 6-14.** Haitallisimmat voimalaitostoiminnot kohderyhmittäin (Ramboll Finland Oy 2007).

lipiteitä, asenteita ja mahdollisia huolia selvittäneen teemahaastattelututkimuksen (Pöyry Environment Oy 2008) mukaan suurin osa haastatelluista suhtautui loppusijoitushankkeeseen neutraalisti tai melko myönteisesti. Kalliosijoitusta pidettiin mahdollisista loppusijoitusvaihtoehdoista parhaana. Kuitenkin myös turvallisuusriskejä nähtiin, pääasiassa pidemmällä aikavälillä. Kukaan haastatelluista ei kokenut varsinaisia pelkoja loppusijoitukseen liittyen, vaikka joitain huolia olikin. Kunnan kannalta positiivisena vaikutuksena nähtiin kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen vaikutukset työllisyyteen ja verotuloihin.

Tulokset olivat varsin yhteneväisiä Ahon (2008) tutkimuksen kanssa. Merkittävimpinä huolenaiheina näissä haastatteluissa nousivat esiin kuljetukset, mahdollinen ydinjätteen tuonti ulkomailta sekä pitkäaikaisturvallisuus, johon Ahon tutkimuksesta poiketen varsin monen haastatellun mielessä liittyi epäily maanjäristysriskeistä.

### **”Luotan, että kyllä ne siellä pysyy”**

Selkeä valtaosa haastatelluista piti loppusijoitusta kallioperään kohtalaisen turvallisenä ja totesi, ettei parempaakaan vaihtoehtoa ole. Käsittelyä Suomessa pidettiin ulkomaille viemistä turvallisempana ja myös suomalaisten moraalisenä veloitteena. Muutamat haastatellut kritisoivat loppusijoitusta voimakkaastikin. Tärkeimpinä syinä kritiikkiin olivat pitkän aikavälin turvallisuuteen kohdistuvat epäilyt sekä näkemys, että on väärin jättää ydinjätteet tulevien sukupolvien huoleksi. Toisaalta kriittisetkin haastatellut katsoivat, että kalliosijoitus lienee silti paras nykyvaihtoehdoista.

Monet haastatellut totesivat, etteivät itse ymmärrä asiaa kunnolla, mutta luottavat siihen, että asiat ovat kunnossa. Muutamat arvioivat, ettei lupaa annettaisi, jos vaaroja olisi. Lähes kaikki kokivat saaneensa riittävästi tietoa loppusijoituksesta. Muutamat totesivat, etteivät halua miettiä asiaa liian tarkasti, vaan luottavat niihin, joiden tehtävänä on hoitaa asia. Kaikki haastatellut pitivät Posivaa vähintään melko luotettavana.

Useimmat haastatellut suhtautuivat neutraalisti tai myönteisesti kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamiseen nimenomaan Eura-

joelle. Paikkaa ydinvoimalan vieressä pidettiin luontevana ja myös kuljetusten minimoimiseksi järkevänä. Pari haastateltua totesi kuitenkin, että kunkin voimalan jätteet pitäisi sijoittaa sen lähialueelle. Muutamat katsoivat, että jos on löytynyt hyvä ja turvallinen paikka, sitä pitää tietenkin käyttää. Jotkut arvelivat, että jos jostain sattuu, ei ole juuri väliä onko laitos vieressä vai kauempana. Muutamat toivoivat, että laitos olisi mieluummin jossain muualla.

Loppusijoitukseen liittyviä huolia nousi myös esiin. Monia mietitytti loppusijoituksen erittäin pitkä aikajänne, vaikka konkreettisia epäilyksiä tai huolia ei olisikaan. Pitkän ajan kuluessa voi tapahtua arvaamattomia asioita. Esiin tuotiin muun muassa epäilyksiä siitä, etteivät kapselit voi kestää ikuisesti. Katsottiin myös, ettei kukaan ihminen voi arvioida maailman muuttumista tuhansien vuosien aikana. Lähes puolet haastatelluista pohti, voiko olla varmaa, ettei Suomessa tulevaisuudessakaan esiinny voimakkaita maanjäristyksiä. Maanjäristyshuolen yleisyyteen vaikuttanee osaltaan se, että juuri ennen haastatteluja oli uutisoitu suuresta maanjäristyksestä Kiinassa. Muutamat toivat esiin ilmastomuutoksen, merenpinnan nousun ja sen mahdollisesti arvaamattomat seuraukset. Joitakin mietitytti, kerrottaisiinko kaikkia hankkeelle epäedullisia tutkimustuloksia julki, jos sellaisia ilmenisi.

Loppusijoitukseen liittyvät huolet ovat asioita, joita joskus tulee mietittyä. Yksikään haastateltu ei ilmaissut kokevansa varsinaista pelkoa loppusijoitushankkeen vuoksi tai että siihen liittyvät huolet varjostaisivat omaa elämää tai aiheuttaisivat stressiä. Vain yksi haastateltu arvioi, että loppusijoituksesta saattaisi aiheutua vaaraa henkilökohtaiselle turvallisuudelle.

Muutoinkin haastatellut kokivat elämänsä kokonaisuutena turvalliseksi. Turvallisuudentunteeseen vaikuttavat muun muassa oma terveys ja työtilanne, muutamien kohdalla sitä puolestaan heikentävät muiden seikkojen ohella ydinvoimalat. Etenkin nuoremmat kokivat tottuneensa voimaloihin. Lähiasukkaistakin osa totesi tottuneensa ydinvoimaan, toisaalta osa heistä muisteli Olkiluotoa ennen voimaloita ja totesi, että alue ei ole enää samanlainen.

Konkreettisimmat loppusijoitukseen liittyvät huolet koskivat ydinjätteen kuljetuksia, joita

monet pitivät kriittisimpänä vaiheena. Sekä maa- että merikuljetukset epäilyttivät. Puolet haastatelluista nosti esiin huolen, että Eurajoelle alettaisiin tuoda ydinjätteitä myös ulkomailta. Yhtä lukuun ottamatta kaikki asiasta maininneet vastustivat sitä voimakkaasti. Haastatellut olivat tietoisia siitä, että laki kieltää ydinjätteen tuonnin, mutta totesivat, että laki on muutettavissa. Perusteena mainittiin suomalaisten energiayhtiöiden ulkomaiset omistukset ja sijoituslaitoksen omistajien mahdollinen ahneus. Haastatellut pitivät erittäin negatiivisena ajatusta, että Suomesta tulisi Euroopan ”ydinjätkeätopaikka” ja katsoivat, että kunkin maan kuuluu hoitaa omat ydinjätteensä omalla alueellaan.

### **”Ihan valoisalta näyttää kunnan tulevaisuus”**

Kaikki haastatellut ilmoittivat viihtyvänsä Eurajoella. Viihtyvyyttä oli vaikea eritellä, mutta esiin nousivat kunnan pienuus ja rauhallisuus, luonnonläheisyys ja meri sekä kokoon nähden hyvät palvelut. Pienuus tosin nähtiin osin viihtyvyyttä heikentävänkin tekijänä. Pari henkilöä piti ydinvoimaloita kunnan viihtyisyyttä heikentävänä tekijänä.

Valtaosa haastatelluista aikoi tulevaisuudessa asua Eurajoella. Useimmilla tulevaisuuden suunnitelmat kiinnittyivät nimenomaan nykyiseen kotipaikkaan eikä Eurajokeen kuntana. Monet ilmaisivat voimakkaastikin aikovansa asua nykyisessä kodissaan niin kauan kuin mahdollista.

Haastatelluista kuusi aikoi muuttaa pois Eurajoelta. Pääasiassa nämä olivat nuorimpia haastateltuja, jotka suunnittelivat opintoja muualla. Opintojenjälkeistä tulevaisuutta ei oltu juuri suunniteltu. Kaksi toivoi palaavansa Eurajoelle ja kaksi piti sitä epätodennäköisenä. Eurajokea pidettiin hyvänä asuinympäristönä tulevalle perheelle ja lapsille. Kaikki pienten lasten vanhemmat pitivät Eurajokea hyvänä asuinpaikkana ja suunnittelivat jäävänsä paikkakunnalle. Kolme henkilöä totesi, ettei poismuuttokaan olisi poissuljettua esimerkiksi töiden vuoksi. Mahdolliset muuttosuunnitelmat liittyivät omaan elämään, vain yhdellä loppusijoitus vaikutti osaltaan asiaan.

Useimpien haastateltujen näkemysten mukaan Eurajoen tulevaisuus näyttää valoisalta. Kun-

ta arvioitiin vakavaraiseksi, ja työpaikkoja ja elämää ajateltiin riittävän jatkossakin. TVO:ta ja siltä saatavia tuloja pidettiin tärkeinä; pari haastateltua mainitsi tässä mielessä myös Posivan. Useat pohtivat mahdollista kuntaliitosta, jota ei toivottu. Muina kysymyksinä nousi esiin päättäjien kyky toimia kunnan kannalta hyvin sekä vastuu luonnon ja rantojen säilymisestä.

Keskusteltaessa kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen vaikutuksesta Eurajoen kunnan ja kuntalaisten tulevaisuuteen, useimmat näkivät positiivisia vaikutuksia. Tärkeimpinä tekijöinä nähtiin positiiviset vaikutukset työllisyyteen ja talouteen, tosin vain muutamat arvioivat, että vaikutukset ovat merkittäviä. Osa haastatelluista arvioi, että työpaikkoja tulee kuntalaisille, osa taas oletti pääosan työvoimasta tulevan muualta. Muutamat arvioivat, että kapselointi- ja loppusijoituslaitos saattaisi hieman parantaa omia mahdollisuuksia saada työtä paikkakunnalta.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella ajateltiin olevan kahdenlaisia vaikutuksia väestönkasvuun ja muuttohalukkuuteen. Toisaalta työpaikat voivat tuoda lisää väkeä, toisaalta arveltiin, että jotkut perheet eivät halua muuttaa ydinjättekuntaan. Jotkut jopa uskoivat, että kunnassa jo asuvia saattaa muuttaa tästä syystä pois. Muutamat haastatellut nostivat myös esiin loppusijoitukseen mahdollisesti liittyvät turvallisuusriskit kunnan tulevaisuudesta keskusteltaessa.

Vastaajaryhmien väliset näkemyserot olivat melko pieniä sekä naisten ja miesten että toisaalta vastaajaryhmien välillä. Naisista puolet suhtautui ainakin hieman kielteisesti hankkeeseen, kun taas miehistä valtaosa suhtautui neutraalisti. Naisilla oli jonkin verran enemmän huolia, toisaalta naisista myös useampi totesi luottavansa siihen, että asia hoidetaan kunnolla. Miehet näkivät hieman enemmän myönteisiä vaikutuksia kunnalle.

Lähes kaikki kielteisesti suhtautuvat olivat lähiasukkaita, joilla oli myös enemmän huolia kuin nuorilla. Muun muassa ulkomailta tuotaviin jätteisiin, kuljetuksiin ja maanjäristyksiin liittyvät huolet olivat lähiasukkailla yleisempiä kuin nuorilla. Lähiasukkaat olivat selvästi nuoria kiintyneempiä nimenomaan nykyiseen kotipaikkaansa. Monia lähiasukkaita huolestuttivat



aluelajennukset ja mahdolliset pakkolunastukset Olkiluodossa. Monilla oli myös konkreettisia paikallisia huolia, kuten huoli porakaivojen vedestä, liikenneturvallisuudesta Olkiluodon tiellä sekä kallioperän todellisesta kestäväydestä. (Pöyry Environment Oy 2008.)

#### 6.10.4.4 VAIKUTUKSET YHDYSKUNTARAKENTEeseen, ALUETALOUTEEN JA EURAJOEN KUNNAN IMAGOOON

Vuonna 2007 laaditun selvityksen (Laakso ym. 2007) mukaan kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen sijoittumispäätöksellä, Posivan siirtymisellä Eurajoelle, Vuojoen kartanon peruskorjauksella ja toiminnan uudistamisella sekä laitosten tutkimusvaiheen ja ONKALON rakentamisen aloittamisella on ollut positiivinen vaikutus Eurajoella ja koko seudulla 2000-luvun alkuvuosina toteutuneeseen sosioekonomiseen, aluetaloudelliseen ja kunnallistaloudelliseen kehitykseen. Kuitenkaan laitoshanke ei yksin selitä tapahtuneita muutoksia, vaan erityisesti Olkiluoto 3 -ydinvoimalahankkeen vaikutus on suurempi. Lisäksi on useita muitakin tekijöitä, jotka ovat vaikuttaneet myönteisesti Eurajoen seudun ja koko Satakunnan kehitykseen, kuten yleinen suhdannekehitys 2000-luvun alkuvuosina, EU:n rakennerahasto-ohjelmat sekä Aluekeskushjelma. (Laakso ym. 2007.)

#### Työllisyysvaikutukset

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suunnittelu-, tutkimus- ja rakentamisvaiheen kokonaistyöllisyysvaikutus vuosina 2001–2025 tulee olemaan noin 6 800 henkilötyövuotta (htv), josta välittömien vaikutusten osuus on 4 200 htv ja välillisten 2 600 htv. Koko hankkeen välittömät työllisyysvaikutukset vuodessa ovat korkeimmillaan noin 325 henkilötyövuotta. Toimintavaiheen aikana välittömäksi työllisyysvaikutukseksi vuodessa on arvioitu noin 130 henkilötyövuotta. Hankkeen välillisten työllisyysvaikutusten on arvioitu olevan noin 2/3 välittömistä vaikutuksista. Hankkeen vaikutuksen kokonaistyöllisyyteen arvioidaan olevan suurimmillaan noin 550 henkilötyövuotta vuodessa.

Kokonaistyöllisyysvaikutuksesta (välittömät ja välilliset vaikutukset) kohdentuu enimmillään

noin 45 henkilötyövuotta / vuosi Eurajoen kuntaan. Laitoksen toimintavaiheessa Eurajoen osuudeksi on arvioitu noin 30 henkilötyövuotta / vuosi. Koko seudun kannalta kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen työllistävä vaikutus on merkittävä, enimmillään asuvan pääosin seudulla. Lisäksi seudulle arvioidaan kohdentuvan merkittävästi myös rakentamisen ja välillisten vaikutusten työllisyyttä. Laitoksen toimintavaiheessa sen työllisyysvaikutuksen arvioidaan olevan seudulla vuosittain noin 90 henkilötyövuotta. Koko Satakunnassa hankkeen arvioidaan työllistävän enimmillään 300 henkilötyövuotta / vuosi ja toimintavaiheen aikana 125 henkilötyövuotta / vuosi.

Hankkeen välillisistä vaikutuksista huomattavan suuren osan arvioidaan kanavoituvan maakunnan ulkopuolelle muualle maahan etenkin rakentamisvaiheen aikana. Vaikka valtakunnalliset työllisyysvaikutukset ovat enimmillään varsin suuria alueellisiin verrattuna, niiden merkitys koko maan työllisyyden kannalta jää marginaaliseksi. Tästä syystä kiinnostavia ovat nimenomaan Eurajoen kuntaan ja seudulle kohdentuvat vaikutukset,

jotka ovat merkittävällä tavalla positiivisia kunnan ja seudun työllisyyden kannalta. Eurajoella hankkeen arvioidaan lisäävän kunnan työllisyyttä vuositason enimmillään vajaa 2 % ja seudulla vajaa 1 %. (Laakso ym. 2007.)

#### Väestövaikutukset

Kapselointi- ja loppusijoituslaitos luo sijoituspaikkakunnalle ja sitä ympäröivälle vaikutusalueelle lisää työpaikkoja, mikä lisää alueella väestön määrää ja muuttaa väestörakennetta. Laitoshankkeen väestövaikutus vaikuttaa nuorentavasti Eurajoen kunnan ikärakenteeseen.

Laitosten vaikutukset väestöön heijastuvat edelleen asuntojen kysyntään ja sitä kautta rakentamiseen sekä yhdyskuntarakenteeseen.

#### Vaikutukset kunnallistalouteen

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentaminen ja toiminta vaikuttavat kunnallistalouteen. Sen osalta laitoksen ylivoimaisesti suurimmat vaikutukset kohdistuvat kiinteistöveroon sekä sen vaikutukseen kuntien välisessä verotulotasauksessa. Arvion mukaan loppusijoitustiloista maksetaan kiinteistövero

enimmillään 3,5 miljoonaa euroa. Nouseva kiinteistöverotuotto vaikuttaa myös Eurajoen kunnan verotulotasaukseen, mutta vain osittain.

### **Posivan rooli Eurajoella ja lähiseudulla**

Aluetaloudellisia vaikutuksia koskevan selvityksen (*Laakso ym. 2007*) mukaan hankkeen positiivisiin aluetaloudellisiin vaikutuksiin ollaan seudun kunnissa tyytyväisiä. Myönteisenä pidetään erityisesti sitä, että kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentaminen ja toiminta ovat pitkäkestoista toimintaa, jossa vaikutukset ovat kohtuullisen hyvin ennakoitavissa ja jakautuvat pitkälle ajalle. Yhteistyön Posivan ja kuntien välillä arvioidaan toimivan pääasiassa hyvin. Posivan toimintaa ja panostusta Vuojoen kartanon kunnostuksessa ja toiminnan uudistamisessa arvostetaan. (*Laakso ym. 2007.*)

Kapselointi- ja loppusijoituslaitokseen ennakoon liitetyt potentiaaliset negatiiviset ulkoisvaikutukset eivät ole toteutuneet. Käytettävissä olevan tiedon perusteella laitoshanke ei ole haitannut asukkaita eikä yrityksiä ja Eurajoen kunnan tunnettuus ja imago ovat vahvistuneet. (*Laakso ym. 2007.*)

### **Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen vaikutus Eurajoen kunnan imagoon**

Hankkeen vaikutuksia Eurajoen kunnan imagoon selvittäneen tutkimuksen (*Corporate Image Oy 2007*) mukaan vastaajaryhmistä yritysten edustajat suhtautuivat käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamiseen selvästi muita vastaajaryhmiä myönteisemmin. Huomioitavaa on, että eurajokelaiset kokivat loppusijoittamisen selvästi myönteisempänä kuin kuluttajat Suomessa yleensä. Toisaalta kuluttajat Etelä- ja Länsi-Suomessa suhtautuivat loppusijoittamiseen myönteisemmin kuin kahdeksan vuotta sitten.

Kaikki vastaajaryhmät (kuntalaiset, kuluttajat, yritykset) arvioivat loppusijoittamisen vaikutuksia Eurajoen kuntaimagoon myönteisemmin, kuin mitä arvioitiin ennen sijoituspäätöstä vuonna 1998. Eurajoen kuntalaisten arviot loppusijoittamisen vaikutuksista kotikuntaansa olivat selvästi muita kuluttajia myönteisemmät. Loppusijoittamisen vaikutukset Eurajoen kiinnostavuuteen asuinkuntana, matkailukohteenä sekä yritysten sijaintipaikkana olivat kaikki

osa-alueita, joihin liitettiin myönteisiä arvioita selvästi kielteisiä enemmän.

Kaikki haastatellut eurajokelaiset tiesivät Olkiluodon ydinvoimalan, ja muutamaa vastaajaa lukuun ottamatta tiedettiin myös, että kunta on valittu käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituspaikkakunnaksi.

Kuntalaiset liittivät Eurajokeen etenkin hyvän asuinpaikan, kehittyvyyden sekä maa- ja metsätalousvaltaisuuden. Verrattaessa tuloksia vuoden 1998 tutkimukseen eurajokelaiset pitivät kuntaansa nyt selvästi houkuttelevampana, kehittyvämpänä ja kiinnostavampana matkailukuntana. Eurajokelaisista 66 % liitti kuntaansa ominaisuuden ”turvallinen asuinkunta”, mikä on selvästi enemmän, kuin heidän arvionsa muista tutkimuksessa mukana olleista kunnista.

Kyselyyn vastanneista kuluttajista puolet tiesi, että Eurajoki on valittu loppusijoituspaikkakunnaksi. Kuluttajista enemmistö uskoi yhä loppusijoittamisen heikentävän Eurajoen kiinnostavuutta matkailukohteenä ja asuinkuntana, vaikkakin arviot olivat aikaisempaa positiivisemmat. Kolmannes kuluttajista uskoi loppusijoittamisen vaikuttavan myönteisesti sen kiinnostavuuteen yritysten sijaintipaikkana.

Kaksi kolmesta yritysten edustajasta tiesi Eurajoen olevan loppusijoituspaikkakunta. Yritysten edustajat arvioivat loppusijoituksen vaikutusta Eurajoen kiinnostavuuteen asuin- ja matkailukuntana edelleen varsin kriittisesti, vaikkakin myös tässä kohderyhmässä arviot olivat edelliskertaista myönteisemmät. (*Corporate Image Oy 2007.*)

## 7 HÄIRIÖ- JA ONNETTOMUUSTILANTEIDEN VAIKUTUKSET

### 7.1 ARVIOINTIMENETELMÄT

Ydinjätelaitoksen turvallisuudesta säädetään STUKin määräyksellä STUK Y/4/2018. Turvallisuusmääräyksissä vaatimukset on luokiteltu erikseen ennustettavissa olevalle, seuraavien tuhansien vuosien ajanjaksolle ja pidemmälle ulottuvalle, suuria ilmastomuutoksia kattavalle ajanjaksolle. Ennustettavissa olevalla ajanjaksolla loppusijoituksesta eniten altistuvalla ihmiselle aiheutuvan vuotuisen säteilyannoksen ylärajaksi on asetettu 0,1 mSv.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksessa keskeisintä on ratkaisun pitkäaikaisturvallisuus. Pitkäaikaisturvallisuudella tarkoitetaan loppusijoituksen turvallisuutta sen jälkeen, kun kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen toiminta on päättynyt ja kalliotilat on suljettu. Turvallisuus varmistetaan pitkäjänteisellä tutkimus- ja kehitystoiminnalla. Tutkimustoiminnalla selvitetään kallioperässä olevien olosuhteiden sopivuus loppusijoitukselle ja arvioidaan sen turvallisuusvaikutukset.

Loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuus osoitetaan turvallisuusperustelun avulla. Turvallisuusperustelu muodostuu joukosta erillisiä raportteja, joissa esitetään turvallisuuden arvioinnin lähtökohdat, käytetyt mallit ja lähtötiedot, arviointimenetelmät, arvioinnin tulokset ja niihin liittyvät epävarmuudet sekä johtopäätökset turvallisuustarkasteluista ja niiden luotavuudesta. Turvallisuusperusteluun sisältyviä turvallisuusanalyysijä on kuvattu luvussa 8.

Seuraavissa kappaleissa on tarkasteltu onnettomuustilanteiden vaikutuksia ihmisten terveyteen ja ympäristöön turvallisuusanalyysieihin ja kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle asetettaviin vaatimuksiin perustuen. Poikkeustilanteiden seurauksia on arvioitu säteilyn terveydellisistä ja ympäristöllisistä vaikutuksista olemassa olevan runsaan tutkimustiedon perusteella. Häiriö- ja onnettomuustilanteiden aiheuttamat säteilyannokset ja vaikutusalueet onnettomuustilanteissa on arvioitu.

### 7.2 TURVALLISUUSPERIAATTEET

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen tärkeimmät turvallisuusperiaatteet ovat muun muassa tukeutuminen käytössä olevaan koeteltuun tekniikkaan, loppusijoitustoimintaan varta vasten kehitetyn tekniikan hyödyntäminen, korkea turvallisuuskulttuuri, organisaation ja toimintajärjestelmän jatkuva kehittäminen sekä käytökokemustoiminta. Turvallisuusperiaatteisiin kuuluvat myös laitoksen käyttö ja käytöstäpoisto turvallisuusteknisten käyttöehtojen mukaisesti, laitoksen ikääntymisenhallinta, kunnonvalvonta ja kunnossapito, säteilymittaukset ja radioaktiivisten aineiden päästöjen valvonta.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suunnitteluratkaisut perustuvat suurimmaksi osaksi jo käytössä olevaan koeteltuun tekniikkaan. Sekä ydinlaitosten että kalliotilojen suunnittelusta, rakentamisesta ja käytöstä on Suomessa ja muualla maailmassa jo pitkät kokemukset. Myös käytetyn ydinpolttoaineen käsittelystä Suomessa on jo yli 40 vuoden kokemukset ydinvoimalaitoksilla. Osittain suunnittelu perustuu varta vasten kehitettyyn tekniikkaan. Oletettavissa on, että tekninen kehitys tarjoaa tulevaisuudessakin vielä uusia vaihtoehtoja teknisiin yksityiskohtiin. Teknisessä suunnittelussa ja turvallisuuden arvioinnissa käytetään samantyyppisiä menetelmiä kuin nykyisten ydinvoimalaitosten suunnittelussa ja turvallisuusanalyysissä. Käytettävien kokeellisten ja laskennallisten menetelmien oikeellisuuden todentamiseksi käytetään riippumatonta vertailua.

Ydinvoimalaitoksilla, jotka ovat keskeisesti Posivan toiminnan taustalla, on Suomessa omakuttu pitkälle kehittynyt turvallisuuskulttuuri. Tällä tarkoitetaan organisaatiossa vallitsevaa ajattelutapaa, asennetta, toimintatapaa ja työilmapiiriä, jossa korostetaan laitoksen käytön turvallisuutta sekä turvallisuuden kannalta merkityksellisten seikkojen asettamista ensisijalle toiminnan kaikissa vaiheissa. Se tarkoittaa edelleen turvallisuustietoisuutta, korkeaa ammattitaitoa, huolellisia työtapoja sekä valppaut-

ta ja aloitteellisuutta turvallisuutta heikentävien tekijöiden havaitsemiseksi ja poistamiseksi. Samanlaista turvallisuuskulttuuria noudatetaan myös Posivan toiminnassa. Ydinjätealan tutkimuksessa Suomessa omaksuttu avoin julkisuusperiaate edesauttaa turvallisuuskulttuurin ylläpitämistä ja sen edelleen kehittämistä.

Posivan organisaation ja toimintajärjestelmän kehittämisellä ja ylläpitämisellä varmistetaan, että kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suunnittelu, rakentaminen ja käyttö ovat jatkuvasti vaatimustenmukaisia. Jatkuva käyttökokeusten seuranta, arviointi ja niistä johdettavat parannukset kuuluvat olennaisena osana toiminnan kehittämiseen. Koska kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttövaihe muodostuu huomattavan pitkäksi (luokkaa 100 vuotta) uusien ydinvoimalaitosyksiköiden käyttöönotosta johtuen, tulee myös Posivan ydinlaitosten peruskunnostus ja modernisointi ajankohtaiseksi käyttövaiheen aikana.

### 7.3 SÄTEILYTURVALLISUUS

Ydinenergialain (YEL 990/1987) 7 h §:n mukaan *"ydinjätteistä on huolehdittava siten, ettei loppusijoituksen jälkeen aiheudu sellaista säteilyaltistusta, joka ylittäisi loppusijoituksen toteutusajankohtana hyväksyttävänä pidetyn tason"*. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suunnitteluperusteena on, että henkilöstön ja ympäristön säteilyaltistus pidetään niin alhaisena kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista.

Säteilyturvakeskuksen ohjeen YVL D.5 mukaisesti käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamisessa on lähtökohtana pidettävä sitä, että teknisiin vapautumisesteisiin liittyvät turvallisuustoiminnot rajoittavat tehokkaasti radioaktiivisten aineiden vapautumista kallioperään vähintään noin 10 000 vuoden ajan. Turvallisuus on varmistettava moninkertaisin päästöestein siten, että merkittäviltä ympäristö- ja terveysvaikutuksilta vältytään, vaikka yksittäiset päästöesteen eivätkin jostakin syystä toimitukseen odotusten mukaisesti.

Loppusijoitusta koskevat turvallisuusvaatimukset esitetään STUKin määräyksessä STUK Y/4/2018. Turvallisuusvaatimukset on määritellyt yksilölle sallittavan vuotuisen säteilyannoksen ja keskimääräisten aktiivisuuspäästöjen

rajoitusten avulla. Kapselointi- ja loppusijoituslaitos ja niiden käyttö tulee suunnitella siten, että

- laitoksen työntekijöiden säteilyaltistusta rajoitetaan kaikin käytännöllisin toimenpitein ja niin, ettei valtioneuvoston asetuksessa ionisoivasta säteilystä (1034/2018) säädettyjä enimmäisarvoja ylitetä
- laitoksen käytön ollessa häiriötöntä radioaktiivisten aineiden päästöt ympäristöön jäävät merkityksettömän pieniksi,
- odotettavissa olevien käyttöhäiriöiden seurauksena edustavan henkilön efektiivinen vuosiannos jää alle arvon 0,1 millisievertiä (mSv),
- luokan 1 oletetun onnettomuuden seurauksena edustavan henkilön efektiivinen vuosiannos jää alle arvon 1 mSv,
- luokan 2 oletetun onnettomuuden seurauksena edustavan henkilön efektiivinen vuosiannos jää alle arvon 5 mSv,
- oletetun onnettomuuden laajennustapauksissa edustavan henkilön vuosiannos jää alle arvon 20 mSv.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen häiriötörmästä käytöstä aiheutuvat radioaktiivisten aineiden päästöt ympäristöön voidaan katsoa merkityksettömän pieniksi, jos niistä väestön eniten altistuville ihmisille aiheutuva keskimääräinen efektiivinen vuosiannos on enintään 0,01 mSv. Efektiivisellä vuosiannoksella tarkoitetaan efektiivistä annosta, joka aiheutuu vuoden mittaisena ajanjaksona saatavasta ulkoisesta säteilystä ja kehoon tuona aikana joutuvista radioaktiivisista aineista. Efektiivinen annos on säteilylle alttiiksi joutuneiden kudosten ja elinten ekvivalenttiannosten painotettu summa, jossa ekvivalenttiannos on säteilystä kudokseen tai elimeen massayksikköä kohti keskimäärin siirtyneen energian ja säteilyn painotustekijän tulo.

Odotettavissa olevalla käyttöhäiriöllä tarkoitetaan sellaista turvallisuuteen vaikuttavaa tapahtumaa, jonka sattuminen laitoksen käyttöaikana on varsin todennäköistä (keskimäärin vähintään kerran sadan käyttövuoden aikana). Käyttöhäiriön seurauksena saattaa vapautua



radioaktiivisuutta laitostiloihin ja säteilyannosnopeudet lisääntyä laitosten tiloissa. Laitosten ympäristöön saattaa päästä vähäisiä määriä radioaktiivisia aineita.

Oletetulla onnettomuudella tarkoitetaan sellaista kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen turvallisuustoimintojen suunnitteluperusteena käytettävää tapahtumaa, jolla on vain vähäinen todennäköisyys tapahtua laitosten käyttöaikana. Oletetun onnettomuuden seurauksena voi käytettyä ydinpolttoainetta rikkoontua ja radioaktiivisia aineita vapautua laitostiloihin tai ympäristöön.

Annosrajan 1 mSv suuruisen säteilyannoksen yksilölle aiheuttaman terveyshaitan todennäköisyys on ICRP:n nimellistä kerrointa käyttäen enintään 0,0057 % ensimmäisenä vuotena, seuraavina vuosina pienempi. Kun otetaan huomioon onnettomuuksien vähäinen todennäköisyys, jää onnettomuuksista aiheutuvan terveyshaitan todennäköisyys pienemmäksi kuin mitä onnettomuudesta saatava säteilyannos edustaa. Koko väestölle aiheutuva terveysriski ei ole myöskään merkittävä esimerkiksi luonnonsäteilystä aiheutuvaan riskiin verrattuna, koska onnettomuuden yksittäisille henkilöille aiheuttama annos olisi sitä pienempi, mitä kauempana henkilö asuu.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttöhenkilöstöä koskevat samat annosrajat kuin ydinvoimalaitoksen käyttöhenkilöstöäkin. Annosrajat on annettu valtioneuvoston asetuksessa ionisoivasta säteilystä (1034/2018).

## 7.4 KÄYTTÖHÄIRIÖT JA NIIDEN SEURAUKSET

Kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle määritelty odotettavissa olevat käyttöhäiriöt johtuvat tyypillisesti joko virheellisestä toiminnasta tai erilaisista laitevirheistä. Mahdolliseen radioaktiivisuuden vapautumiseen johtavat käyttöhäiriöt ovat tilanteita, joissa radioaktiivisuutta pääsee vapautumaan laitostiloihin sitä sisältävistä järjestelmistä. Analyysien perusteella yksittäisessä käyttöhäiriötilanteessa edustavan henkilön vuosittaiset säteilyannokset jäävät merkityksettömän pieniksi eli noin 0,002 % asetetusta vuosiannoksen rajoituksesta 0,1 mSv (Räihä 2021).

Häiriötilanteiden seurauksena päästöistä peräisin olevia radioaktiivisia aineita saatettaisiin mittaamalla havaita hyvin pieninä pitoisuuksina laitoksen välittömässä läheisyydessä ja mahdollisesti kauempanakin. Pitoisuuksien havaitsemista vaikeuttaisivat luonnon taustasäteily ja muualta peräisin olevat keinotekoiset radioaktiiviset aineet. Kokonaisannosnopeutta mittaamalla ei havaittaisi muutoksia ympäristön säteilytilanteesta.

Säteilyannokset ja terveysriskit riippuvat muun muassa kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ympäristön ominaisuuksista, esimerkiksi väestön määrästä ja sijainnista, väestön elintavoista sekä ilmastosta.

## 7.5 ONNETTOMUUSTILANTEET JA NIIDEN SEURAUKSET

Kapselointi- ja loppusijoituslaitos tulee olemaan rakenteeltaan sellainen, että ydinpolttoaineelle eri käsittelyvaiheissa mahdollisesti tapahtuvat onnettomuudet, jotka johtavat ydinpolttoaineen vaurioitumiseen, eivät aiheuta henkilökunnalle tai ympäristön asukkaille välitöntä terveydellistä vaaraa. Polttoaine-elementtejä käsitellään vain kapselointilaitoksen sellaisissa tiloissa, joiden seinät on mitoitettu vaimentamaan polttoaineesta tuleva suora säteily vaarattomalle tasolle. Kapselointilaitoksen valvotun alueen ilmastointi voidaan onnettomuustilanteessa pysäyttää tai poistoilma voidaan johtaa suodatuksen kautta, jolloin mahdolliset ilmassa olevat vapautuneet radioaktiiviset aineet saadaan suodatettua hallitusti. Polttoaineen käsittelytiloihin onnettomuustilanteessa mahdollisesti joutuneet kiinteät ja nestemäiset radioaktiiviset aineet kerätään talteen edelleen käsiteltäviksi. Onnettomuustilanteessa mahdollisesti rikkoutuvasta polttoaineesta vapautuvaa vähäistä määrää radioaktiivista kaasua, lähinnä kryptonin (jalokaasu), on kuitenkin vaikea ottaa talteen.

Onnettomuudet voivat aiheutua vakavista laitevirheistä tai poikkeuksellisista ulkoisista tapahtumista. Käsittelyvirheistä aiheutuvat onnettomuudet on pyritty estämään laitteiden ja toimintojen suunnittelulla. Maanpinnalla sijaitseva kapselointilaitos on rakenteellisesti mitoitettu myös oletettuja ulkoisia tapahtumia vastaan. Tällaisia ovat esimerkiksi lentokoneen

törmäys rakennukseen, maanjäristys ja tulviminen.

Kriittisyysongnettomuus eli vapaiden neutronien ylläpitämä hallitsematon fissioiden ketjureaktio ydinpolttoaineessa voisi tapahtua, jos polttoaine-elementeistä muodostuisi sopiva vedellä täytynyt polttoainekeskittymä. Onnettomuuden mahdollisuus estetään rakenteellisesti ydinpolttoaineen käsittely- ja varastointitiloissa siten, että tilanne on käytännössä mahdoton.

Tyypillisesti oletetuissa onnettomuuksissa ja niiden laajennuksissa alkutapahtumana on raskaan taakan, kuten kuljetussäiliön, säiliön kannen, polttoaine-elementin tai loppusijoitus-kapselin putoaminen. Näissä onnettomuustilanteissa polttoainesauvoista voi vapautua ilmaan kaasumaisten ja muiden ilmaan helposti vapautuvien aineiden lisäksi erikokoisia hiukkasia. Radioaktiiviset aineet vapautuvat oletetuissa onnettomuustilanteissa aluksi laitoksen sisällä valvonta-alueen tiloihin. Näistä tiloista poistuvan ilman suodatuksen oletetaan toimivan normaalisti.

Edustavan henkilön annokset jäivät kaikissa analysoiduissa onnettomuustapauksissa selkeällä marginaalilla alle vuosiannoksen rajoitusten. Luokan 2 oletettuna onnettomuutena analysoitiin tapaus, jossa kuljetussäiliö putoaa vastaanottotilasta kuljetussäiliön siirtokäytävälle. Perustapauksessa valvonta-alueen poistoilmastointijärjestelmässä suodatetusta ja poistoilmapiipun kautta vapautuvasta päästöstä aiheutuva edustavan henkilön säteilyannos on 0,01 mSv. Herkkyyystapauksena on lisäksi analysoitu tapaus, jossa sähköt menetetään ja päästö vapautuu ulkoilmaan osittain rakennuksen epätiivien aukkojen kautta. Tässä tapauksessa päädyttiin suhteellisesti lähimmäksi annosrajaa, kun edustavan henkilön annos 2,30 mSv on lähes puolet 5 mSv vuosiannoksen rajoituksesta (*Räihä 2021*).

Johtopäätös on, että kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen normaalikäyttö, häiriötilanteet ja onnettomuudet eivät aiheuta vaaraa laitoksen henkilöstölle eivätkä ympäristön väestölle. Valmiusjärjestelymielessä tämä tarkoittaa sitä, että käsitellyissä tilanteissa tarvetta valmiustoiminnalle ei ole, lukuun ottamatta vauriutilanteissa edellytettuja toimenpiteitä. Olettamalla samanaikaisesti tapahtuvan useita

virhetoimintoja voidaan aikaansaada sellainen suunnitteluperusteita vakavampi onnettomuus, jossa aktiivisuuden suodattamaton vapautuminen ympäristöön voisi edellyttää suojelutoimien käynnistymistä laitoksella ja sen välittömässä läheisyydessä.

Laskeumasta tulevan ulkoisen säteilyannoksen merkitys kasvaa, kun tarkastelu-aika pitenee. 50 vuoden kuluessa kertyvästä annoksesta ulkoinen altistus muodostaa valtaosan. Annostot jäävät lyhyellä ajalla kuitenkin niin pieniksi, että välittömien terveysvaikutusten vaaraa ei ole. Myös myöhäisvaikutusten riski säilyy pieninä. Naapurimaissa annokset olisivat useita kertaluokkia pienemmät; etäisyys Olkiluodosta Ruotsin mantereelle on yli 200 kilometriä.

Onnettomuustilanteessa vapautuvia radioaktiivisia aineita ja niiden aiheuttamia säteilyannoksia saatettaisiin havaita mittauksin ympäristöstä. Vaikutusalueen laajuus ja muoto riippuisivat päästöjen suuruudesta ja vallitsevasta säätilanteesta. Havaitsemista vaikeuttaisivat luonnon radioaktiiviset aineet ja muualta peräisin olevat keinotekoiset radioaktiiviset aineet.

## 8 PITKÄAIKAISTURVALLISUUS

### 8.1 ARVIOINTIMENETELMÄT

Suunnitellun kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen turvallisuussuunnittelun perusteet radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittamisen ja ympäristövaikutusten osalta on esitetty tässä selosteessa. Myös arvio voimassa olevien turvallisuusvaatimusten täyttämisen mahdollisuuksista on esitetty. Arvioinnin perustana on käytetty vuonna 2021 valmistunutta, kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttöluvahakemusta varten laadittua turvallisuusperustelua (SC-OLA), jolla osoitetaan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuus. Vaihtoehtoiselle vaakasijoitusratkaisulle valmistui alustava turvallisuusperusteluaineisto vuonna 2007 (*Smith ym. 2007*), joka on osittain päivitetty vuosien 2016-2017 aikana (Posiva SKB, 2017).

Ensimmäinen suunnitelma Olkiluotoon rakennettavan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilan turvallisuusperustelusta laadittiin vuonna 2005 (*Vieno & Ikonen 2005*), ja se on tarkistettu ja saatettu ajan tasalle vuosina 2008, 2012 ja 2021 (*Posiva Oy 2008, 2012c ja 2021*). Turvallisuusperustelu muodostuu joukosta erilisiä raportteja, joissa esitetään turvallisuuden arvioinnin lähtökohdat, käytetyt mallit ja lähtötiedot, arviointimenetelmät, arvioinnin tulokset ja niihin liittyvät epävarmuudet sekä johtopäätökset turvallisuustarkasteluista ja niiden luotettavuudesta.

Turvallisuusperusteluun sisältyvissä turvallisuusanalyysissä selvitetään sekä todennäköisenä pidettäviin kehityskulkuihin että pitkäaikaisturvallisuutta heikentäviin epätodennäköisiin tapahtumiin liittyvät säteilyannokset useiden tuhansien vuosien päähän. Tätä pidemmällä ajanjaksolla arvioidaan näihin tapahtumiin ja kehityskulkuihin liittyvät radioaktiivisten aineiden päästönopeudet elinympäristöön.

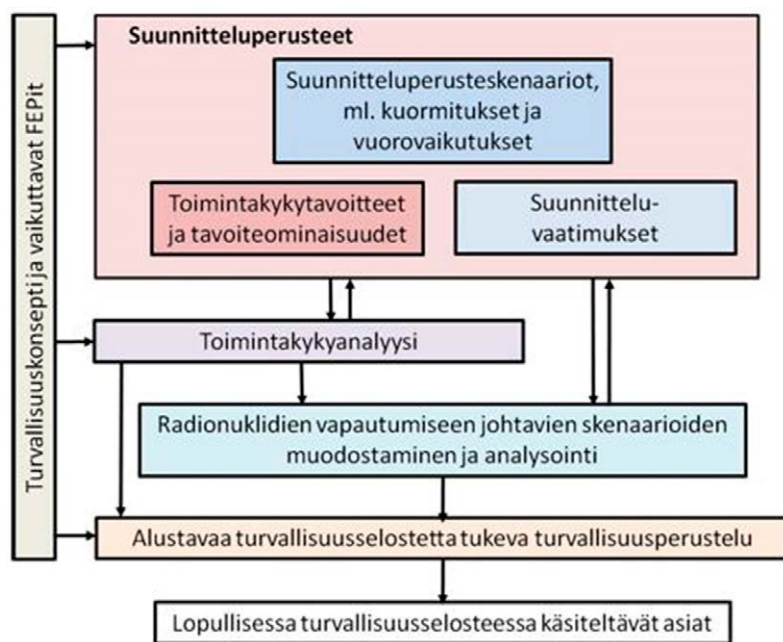
Turvallisuusanalyysissä esitetään konservatiiviset arviot säteilyannoksille ja radionuklidien vapautumisnopeuksille. Analyysin tarkoituksena on selvittää, mitä seurauksia ihmisille tai muulle luonnolle aiheutuisi yhden tai use-

amman päästöesteen pettäessä ja radioaktiivisten aineiden päästessä vapautumaan loppusijoitustiloista elinympäristöön. Turvallisuusanalyysissä käsitellään myös loppusijoitusjärjestelmän käyttäytymiseen sekä erilaisten mahdollisten tapahtumien ja kehityskulkujen arviointiin liittyviä epävarmuuksia. Riskejä arvioitaessa otetaan huomioon tapahtumien todennäköisyys. Säteilyannoksia ja päästönopeuksia on verrattu turvallisuusvaatimuksiin, jotka on esitetty lainsäädännössä, valtioneuvoston päätöksissä ja STUKin julkaisemissa YVL-ohjeissa.

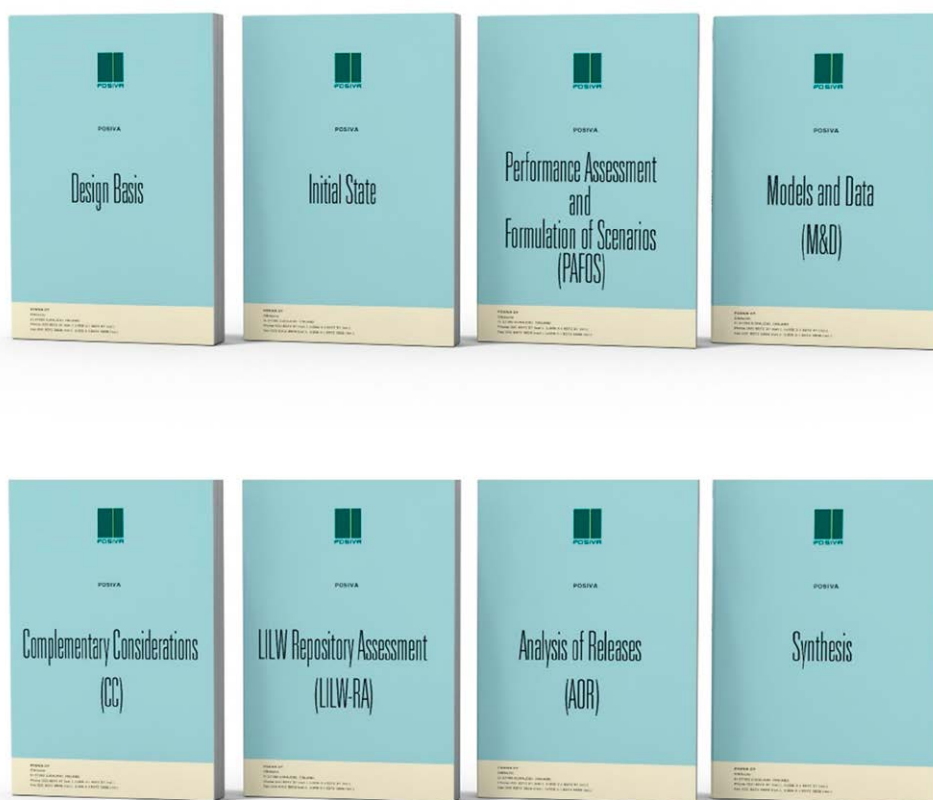
### 8.2 LOPPUSIJOITUSLAITOKSEN TURVALLISUUSPERUSTELU

Pitkäaikaisturvallisuus arvioidaan turvallisuusperustelun avulla. Kuvassa 8-1 esitetään käytetyn polttoaineen loppusijoituksen turvallisuusperustelun laatimiseen käytetty lähestymistapa, jonka mukaan määritellään suunnitteluperusteet, arvioidaan loppusijoitustilan toimintakyky, sekä muodostetaan ja analysoidaan radionuklidien vapautumiseen johtavat skenaariot. Turvallisuusperustelun laadinta on iteratiivien prosessi ja aiempien analyysien tulokset huomioidaan toimintakykyvaatimusten, kallioperän tavoiteominaisuuksien, suunniteluvaatimusten ja kallioperän luokittelujärjestelmän määrittelyssä.

Turvallisuusperustelu on raporttikokonaisuus, joka koostuu kahdeksasta pääraportista ja täydentävistä taustaraporteista. Pääraportit ovat: *Design Basis* (Suunnitteluperusteet), *Initial State* (Alkutila), *Low and Intermediate Level Waste Repository Assessment* (LILW-RA) (Matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilan toimintakykyanalyysi), *Performance Assessment and Formulation of Scenarios* (PAFOS) (Toimintakykyanalyysi ja skenaarioiden muodostaminen), *Analysis of Releases* (Päästöanalyysi), *Models and Data* (Mallit ja lähtötiedot), *Complementary Considerations* (Täydentävät tarkastelut) ja *Synthesis* (Synteesi) (Kuva 8-2). Turvallisuusperustelun asiakirjakokonaisuuden avulla osoite-



■ Kuva 8-1. Turvallisuusperustelun laadintaan käytetty lähestymistapa (FEP ilmiöt, tapahtumat ja prosessit).



■ Kuva 8-2. Turvallisuusperustelun asiakirjakokonaisuus



taan pitkäaikaisturvallisuutta koskevien vaatimusten täyttyminen.

Myös pintaympäristö on loppusijoitusjärjestelmän osa ja tästä johtuen pintaympäristöä arvioidaan turvallisuusperustelun metodologian mukaisesti ja arviointi on sisällytetty raporttien PAFOS, Analysis of Releases ja Models and Data laajuuteen. Raportti Analysis of Releases sisältää PAFOS- ja LILW-RA-raporteista saatavien radionuklidien vapautumisskenaarioiden ja niiden säteilyvaikutusten analyysin. Syntesis-raportissa esitetään kootusti perustelut Posivan käsitykselle loppusijoitusjärjestelmän kehityskuluista, arvio viranomaismääräysten täyttymisestä sekä arvio Olkiluotoon rakennettavan käytetyn polttoaineen geologisen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden ja turvallisuusarvionnin luotettavuudesta.

### 8.3 TURVALLISUUSVAATIMUKSET

Säteilyturvakeskuksen määräyksen STUK Y/4/2018 mukaan ydinjätteen loppusijoitus on suunniteltava siten, että todennäköisinä pidettävien kehityskulkujen seurauksena aiheutuvat säteilyvaikutukset eivät ylitä määrättyjä raja-arvoja. Säteilyvaikutuksia tarkastellaan erikseen ajanjaksolla, jona ihmisille aiheutuva säteilyaltistus voidaan riittävän luotettavasti arvioida, ja sen jälkeisinä ajanjaksoina. Ensimmäisen ajanjakson on oltava vähintään usean tuhannen vuoden mittainen ja tällöin eniten altistuvien ihmisten saaman vuosiannoksen olla pienempi kuin 0,1 mSv.

Koska yksittäiselle ihmiselle koituvien säteilyannosten arviointi on sitä vaikeampaa mitä kaukaisemmasta tulevaisuudesta on kysymys, myöhempiä tarkastelujaksoina enimmäisarvoa ei enää aseteta ihmisten saamalle säteilyannokselle vaan elinympäristöön vapautuvien radioaktiivisten aineiden määrille. Säteilyturvakeskus määrää nämä raja-arvot siten, että loppusijoituksesta aiheutuvat säteilyvaikutukset voivat olla enimmillään vastaavansuuruiset kuin maankamarassa olevista luonnon radioaktiivisista aineista aiheutuvat säteilyvaikutukset. Radionuklidikohtaiset raja-arvot aktiivisuuspäästöinä (yksiköissä Bq/vuosi) ilmaistuna annetaan ohjeessa YVL D.5 "Ydinjätteen loppusijoitus", joka sisältää muitakin yksityiskohtaisia turvallisuusmääräyksiä.

Määräyksen mukaan:

*"Pitkäaikaisturvallisuutta koskevien säteilyturvallisuusvaatimusten täyttyminen sekä loppusijoitusmenetelmän ja loppusijoituspaikan soveltuvuus on osoitettava turvallisuusperustelulla, jossa on tarkasteltava sekä todennäköisinä pidettäviä kehityskulkuja että pitkäaikaisturvallisuutta heikentäviä epätodennäköisiä tapahtumia."*

Turvallisuusperusteluun sisältyviä vaihtoehtoisia kehityskulkuja kutsutaan skenaarioiksi, ja ne tulee ohjeen YVL D.5 mukaan muodostaa systemaattisesti pitkäaikaisturvallisuuden kannalta mahdollisesti merkityksellisistä ilmiöistä, tapahtumista ja prosesseista. Näiden skenaarioiden seurauksista kerrotaan jäljempänä radionuklidien kulkeutumista käsittelevässä kohdassa.

### 8.4 TARKASTELLUT TAPAUKSET

Turvallisuusperustelussa loppusijoitusjärjestelmän ja sen ympäristön kehityskulkujen tarkastelu jakautuu *toimintakykyarvioon* ja *radionuklidien vapautumisskenaarioiden analyysiin*.

Toimintakykyarviossa käsitellään toimintakykytavoitteiden täyttymistä tai täyttymättä jäämistä eri kehityskulkukuvauksissa, skenaarioissa, joilla katetaan keskeisimmät koko loppusijoitusjärjestelmän tulevaan kehitykseen liittyvät epävarmuudet. Toimintakykyarvio kuvaa lähötietoinaan kallion ja rakennetun maanalaisen järjestelmän niihin liittyvine epävarmuuksineen, joista tärkeimmät esitetään maanalaisen loppusijoituslaitoksen havaitsematta jäävinä laatu- ja rakennusvirheinä, alkutilavikoina. Ilmaston tulevaa kehitystä koskeva epävarmuus katetaan kahdella vaihtoehtoisella ilmastolla, joiden epävarmuudet pohjautuvat kansainvälisen ilmastopaneelin RCP-skenaarioihin mutta laajentavat ilmaston kehityskulkukuvaukset koko miljoonan vuoden tarkasteluajaksolle. Tähän sisältyy 7-8 jääkautta niitä edeltävine ikirouta- ja seuraavine laukean ilmaston jaksoineen. Yksi skenaarioista vastaa odotettua kehityskulkua siten, että vapautumisesteiden oletetaan toimivan suunnitellusti. Toimintakykyanalyysissä tarkastellaan erikseen neljää eri ajanjaksoa:

1. Aikainen kehitysvaihe 10000 vuoteen saakka,

2. Lauhkean ajan loppujakso seuraavaan ikiroutavaiheeseen saakka
3. Seuraava ikirouta- ja sitä seuraava jäätiköitymisvaihe
4. toistuvien jääkausisykliä aika miljoonan vuoden päähän asti.

Toimintakykyarviossa muodostetut skenaariot on jaoteltu asetuksen ja YVL-ohjeiden mukaisesti jaoteltu seuraavasti:

- *Perusskenaario:* Turvallisuustoiminnoille määritellyt tavoitteet täyttyvät.
- *Muunnelskenaariot:* Laajemmin tilanteita, joissa loppusijoitusjärjestelmä toimii puutteellisesti.

Epätodennäköisiin kehityskulkuihin perustuvat häiriöskenaariot, joissa pitkäaikaisturvallisuutta heikentäviä hyvin epätodennäköisiä tapahtumia, ei voida täysin sulkea pois.

Edellä esitettyjen lisäksi toimintakykyarviossa muodostetaan odotetun kehityskulun mukainen skenaario, jossa vapautumisesteet toimivat suunnitellusti, mutta ottaen huomioon tunnistetut mahdolliset alkutilaviat.

Toimintakykyarvio vahvistaa, että kun vapautumisesteet toimivat suunnitellulla, siis odotetulla tavalla loppusijoituslaitoksen mahdolliset radioaktiivisuuspäästöt paitsi, että ne ajoittuvat hyvin kauaksi tulevaisuuteen jäävät selvästi alle säteilyturvallisuusviranomaisen asettamien raja-arvojen. Epävarmuuksien puitteissa on kuitenkin mahdollista, että huomattavasti odotuksia epäedullisempien olosuhteiden tai epätodennäköisten tapahtumien seuraukset ovat huomattavasti suuremmat. Tällöinkään ei ylitetä viranomaisen asettamia aktiivisuuspäästöjen raja-arvoja. Tämä tukee käsitystä toimintakykyarvion luotettavuudesta. Lisäksi on tunnistettu joitain hyvin epätodennäköisiä ihmisen toiminnan tuottamia tapahtumia, jotka voivat häiritä loppusijoitustilaa.

Radionuklidien vapautumisen ja kulkeutumisen mallinnus tarkastelee loppusijoitustilasta mahdollisesti vapautuvien radionuklidien aiheuttamia radiologisia vaikutuksia, sekä näihin arvioihin liittyviä epävarmuuksia. Epävarmuudet voidaan jakaa kolmeen luokkaan: i) skenaarioihin liittyvät epävarmuudet, ii) malleihin liittyvät epävarmuudet ja iii) parametreihin liittyvät epä-

varmuudet. Skenaarioihin liittyvät epävarmuudet on tunnistettu ja käsitelty yllä olevan mukaisesti osana toimintakykyanalyysiä. Malleihin ja parametreihin liittyviä epävarmuuksia käsitellään deterministisin ja todennäköisyyspohjaisin analyysin YVL-ohjeen mukaisesti (YVL D.5 kappaleet A08a ja A09). Deterministinen analyysi koostuu yksittäisistä laskentatapauksista, jotka erikseen tarkastelevat jotain mallin oletuksiin tai parametreihin liittyviä epävarmuuksia. Todennäköisyyspohjaisessa analyysissä lasketaan suuri määrä tapauksia vaihtelemalla parametriarvoja valittujen todennäköisyysjakumien mukaisesti.

Laskentatapaukset analysoivat perusskenaariosta ja epätodennäköisistä tai hypoteettisista tapahtumakuluista johtuvia päästöjä. Perusskenaariossa oletetaan vapautumisesteiden toimintakykytavoitteiden täyttyvän, jolloin radionuklidien vapautuminen on mahdollista ainoastaan matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilasta. Epätodennäköiset ja hypoteettiset tapahtumakulut perustuvat toimintakykyanalyysissä tunnistettuihin skenaarioihin, jotka voivat johtaa radionuklidien vapautumiseen. Tämän lisäksi radionuklidien vapautumista ja kulkeutumista on analysoitu useissa ”mitä jos” – tyyppisissä tarkasteluissa. Nämä tapaukset eivät liity suoraan toimintakykyanalyysin tunnistamiin tapahtumakulkuihin, vaan niillä mm. testataan yksittäisten turvallisuustoimintojen heikentymisen tai menettämisen vaikutuksia loppusijoitusjärjestelmän toimintaan.

Radionuklidien vapautumis- ja kulkeutumisanalyysien pohjana oleva pohjavesivirtauksen simulointi on toistettu kymmenelle eri rakoverkkorealisaatiolle. Näin on vapautumis- ja kulkeutumislaskuissa on mahdollista erotella kallion luontaisesta heterogeenisuudesta seuraava epävarmuus parametridataan liittyvästä epävarmuudesta.

Kaikissa radionuklidien vapautumis- ja kulkeutumislaskuissa on otettu huomioon jääkausisykliä vaikutukset pohjaveden virtaukseen. Tämä on toteutettu muuttamalla vapautumisreittien virtauksia ajasta riippuvalla tekijällä, joka on määritetty jääkausisyklin yli tehdystä transientista virtausmallista.

## 8.5 MALLINNUS

Toimintakykyarvio ja radionuklidien päästö-analyysi perustuvat tietokoneella tehtävään numeeriseen mallinnukseen. Käytettävät mallit perustuvat parhaaseen tieteelliseen tietoon ja, aina kun mahdollista, Olkiluodossa tehtyyn paikkakohtaiseen tutkimukseen kallioperän ja pintaympäristön ominaisuuksista. Mallinnuksen tarkoituksena on selvittää, toteutuvatko loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuudelle asetetut vaatimukset tarkastelluissa tapauksissa. Siksi laskennan tärkeimpiä lopputuloksia ovat ne luvut, joihin kohdistuvat asetuksessa määrätyt rajat loppusijoituksen säteilyvaikutukselle. Näitä niin sanottuja arviointisuureita ovat:

1. aktiivisuuspäästöt kallioperästä biosfääriin eli keskimääräiset radionuklidien vapautumisnopeudet. Nämä lasketaan kaikille vapautumisskenaarioille ja verrataan ohjeen YVL D.5 enimmäisarvoihin.
2. vuosittaiset säteilyannokset ihmisille ensimmäisten 10 000 vuoden aikana.
3. annosnopeudet kasveille ja eläimille, nekin vain 10 000 vuoden aikana tapahtuville päästöille.

Näistä ensimmäinen saadaan maanalaisen loppusijoitusjärjestelmän mallinnuksesta, joka kuvaa muun muassa:

- pohjaveden virtausta ja painetta,
- järjestelmän eri osien lämpötilan kehittymistä,
- pohjaveden, kallion ja teknisten vapautumisesteiden kemiallisia muutoksia,
- radionuklidien vapautumista matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilasta
- radionuklidien vapautumista käytetystä ydinpolttoaineesta ottaen huomioon niiden sijainti polttoaineessa ja suojakuoren osissa,
- radionuklidien vapautumista kapselista ja kulkeutumista teknisissä vapautumisesteissä kallioperän vettäjohtaviin rakoihin
- radionuklidien kulkeutumista kallioperässä sen rakojen kautta ottaen huomioon virtausreittien vaihtelevuus.

Aktiivisuuspäästöt ovat lähtötietoja erillisille biosfäärimalleille, joilla kuvataan esimerkiksi

radionuklidien leviämistä pintaympäristössä, eliöiden aineenvaihduntaa ja niiden altistumista säteilylle. Kallioperän ja biosfäärin mallinnukset tehdään myös toisistaan riippumatta, joten yhdestä maanalaista osaa koskevasta laskelmasta saatua tulosta voidaan käyttää useita vaihtoehtoisia maanpintaolosuhteita vastaavien biosfäärimallien lähtötietona. Biosfäärimallinnuksen tuloksena saadaan säteilyannoksiin liittyvät arviointisuureet 2 ja 3.

Useimmat tapaukset analysoidaan deterministisesti, jolloin kukin analyysi perustuu yksittäisiin lähtöparametriarvoihin. Tämän lisäksi loppusijoitusjärjestelmän käyttäytymistä tutkitaan myös todennäköisyyspohjaisella herkkyysanalyysillä (PSA). Siinä kukin tapaus analysoidaan suurella joukolla laskelmia, joissa lähtöparametreja vaihdellaan satunnaisesti kullekin parametrille ominaisten tilastollisten jakaumien mukaisesti. Lukuisten simulaatioiden perusteella voidaan tilastollisesti arvioida tuloksiin liittyviä epävarmuuksia ja tulosten herkkyyttä lähtötietojen vaihtelulle.

## 8.6 ANALYYSITULOKSET

### 8.6.1 TOIMINTAKYKYANALYYSI

#### 8.6.1.1 LOUHINTA- JA TÄYTTÖVAIHE

Pohjaveden virtaamat kasvavat rakentamista edeltäneestä tilanteesta noin satakertaisiksi loppusijoitustilojen alueella, mutta palautuvat lähelle louhintaa edeltäneitä arvoja sulkemisen jälkeen. Tilojen ollessa auki pohjaveden keskimääräinen suolapitoisuus loppusijoitustilojen ympärillä on samaa luokkaa kuin rakentamista edeltäneessä vaiheessa, mutta lisääntynyt virtaus voi aiheuttaa paikallisesti laimeampia tai suolaisempia olosuhteita.

Muutokset pysyvät kuitenkin puskurin ja täytön toiminnan kannalta suotuisalla alueella. Merkittävimpien kapselin syöpymistä aiheuttavien aineiden hapen ja sulfidin pitoisuudet pysyvät myös tavoiteominaisuuksien mukaisina.

Lämpötiloja koskevan mallinnuksen mukaan kapselin pintalämpötilan maksimi on 95 °C puskurin ollessa kuiva ja 75 °C puskurin olles-

sa kyllästynyt pohjavedellä. Kallion maksimilämpötila on noin 65 °C sijoitusreiän seinämässä 40 vuotta kapselin sijoittamisesta reikään. Lämpötilat siis pysyvät toimintakykytavoitteiden rajoissa.

Louhinta aiheuttaa vaurioituneen vyöhykkeen muodostumisen kallioon, etenkin tunnelin lattiaan, mutta jatkuvaa vauriovyöhykettä (joka voisi toimia radionuklidien kulkeutumisreitteinä) ei oleteta muodostuvan. Louhintavauriovyöhyke ja siihen liittyvät epävarmuudet otetaan huomioon virtaus- ja kulkeutumismallinnuksessa.

Vähäistä puskurin nousua tunnelitäyttöön on odotettavissa niissä tapauksissa, joissa loppusijoitusreikä kyllästyy sen yläpuolella olevaa täyttöä selvästi nopeammin. Lisäksi on mahdollista, että mekaanisen eroosion vuoksi puskurimassaa voi jossain määrin siirtyä puskurin sisällä ja puskurista täyttöön. Näiden prosessien tuottamat puskurin massahävikit pysyvät kaikkiaan niin pieninä, että puskuri kykenee saavuttamaan kyllästymisen edetessä riittävän, suunnitellun eheyden.

Loppusijoitustunneleihin jääneen hapen kulutus täytössä ja puskurissa on verrattain nopeaa sekä kyllästymättömissä että kylläisissä olosuhteissa, koska se reagoi pyriitin ja muiden mineraalien kanssa. Pitkäaikaisturvallisuuden kannalta edulliset, pelkistävät kemialliset olosuhteet saavutetaan siten nopeasti kapselien ympärillä, puskurissa ja täytössä. Rakentamisessa käytetyistä sementtimateriaaleista uuttuneet emäksiset liuokset voivat vaikuttaa täyttöön paikallisesti, mutta puskuriin asti kulkeutuvien sementtisten liuosten määrät arvioidaan pieniksi. Ilmakehästä peräisin olevan ja alun perin tiloihin jääneen hapen aiheuttaman kapseleiden korroosiosyvyyden odotetaan olevan alle 2 millimetriä.

Tämänhetkisten tietojen perusteella voidaan kuitenkin arvioida, että todennäköisyys sille, että loppusijoitustilassa on useampi kuin yksi alun perin viallinen kapseli, on alle yksi prosentti.

Louhinta- ja täyttövaiheen toimintakykyarvion johtopäätös on, että järjestelmän ominaisuudet vastaavat toimintakykytavoitteita käyttövaiheen lopussa.

#### 8.6.1.2 SULKEMISESTA 10 000 VUODEN PÄÄHÄN

Seuraavan 10 000 vuoden ajan Olkiluodon ilmasto pysyy lauhkeana ja kasvillisuus lauhkean vyöhykkeen havumetsänä. Pohjaveden virtaus ja kemia palautuvat louhinnan aiheuttamista häiriöistä. Tärkeimmät prosessit ovat veden imeytyminen puskurin, täytön ja sulkurakenteiden saviin ja siitä aiheutuva paisuntapaineen nousu ja rakenteen homogenisoituminen sekä käytetyn ydinpolttoaineen radioaktiivisesta hajoamisesta peräisin olevan jäännöslämmön väheneminen.

Maankohoaminen jatkuu, mutta on ilmastokehityksestä kiinni kuinka kauan kestää ennen kuin, merenranta on niin kaukana, että myöhemmät muutokset eivät enää vaikuta virtauksiin loppusijoitustilavuudessa tähän voi mennä tuhannesta kymmeneen tuhatta vuotta. Loppusijoitetun käytetyn ydinpolttoaineen jäännöslämpötuotto pienenee muutamassa tuhannessa vuodessa hyvin alhaiseksi.

Pohjaveden suolaisuus loppusijoitusyvyvyydellä palautuu louhinnan aiheuttamista muutoksista selvästi hitaammin kuin pohjaveden virtaus. Loppusijoitusyvyvyydellä pohjavesi pysyy yleensä ottaen heikosti emäksisenä (pH noin 7,5) ja kemiallisesti pelkistävänä mutta sementtirakenteiden rapautuminen nostaa pH:ta paikallisesti. Puskurin toimintakyvyn kannalta merkittävät suolaisuus, kloridi-ionipitoisuus ja kationien kokonaiskonsentraatio laskevat hitaasti, kun sadevettä suotautuu pohjaveteen. Pitoisuudet pysyvät kuitenkin tavoiteominaisuuksien mukaisina.

Loppusijoitustiloihin virtaava pohjavesi saa aikaan puskurin ja täytön kyllästymisen ja paisuntapaineen muodostumisen. Alussa esiintyvät erot tiheydessä tasoittuvat, vaikkakaan eivät täysin häviä. Puskurin täyteen kyllästymiseen lasketaan kuluvan kymmenistä vuosista useaan tuhanteen vuoteen paikasta riippuen. Puskurin laajeneminen täyttöön ja siitä aiheutuvat muutokset puskurin tiheydessä ovat niin vähäisiä, etteivät puskurin ja täytön toimintakykytavoitteet ole uhattuina.

Käytetyn ydinpolttoaineen jäännöslämmöstä johtuvalla kohonneen lämpötilan kaudella puskurissa tapahtuvat geokemialliset muutokset,



jotka johtuvat vuorovaikutuksesta pohjaveden kanssa, ovat vähäisiä. Merkittäviä mineraalien muutoksia ei ole odotettavissa. Pohjaveden kemialliset ominaisuudet pysyvät tavoiterajoissa, ja mikrobien aiheuttama sulfidituotanto puskurissa on enintään vähäistä. Täytön huokosveden kemia kehittyy samaan tapaan kuin puskurin, mutta käytetystä ydinpolttoaineesta peräisin oleva lämpö vaikuttaa siihen vähemmän. Sementistä uuttuneiden liuosten ja metallien korroosiotuotteiden aiheuttamat häiriöt ovat laskelmien mukaan merkityksettömiä. Paikallinen sulfidin tuotanto sulfaattia pelkistävien mikrobien vuoksi on mahdollista matalan tiheyden alueilla, ja on otettu huomioon kapselin korroosion tarkastelussa.

Laskelmat, jotka ottavat huomioon pohjaveden virtauksen, sulfidin tuotannon ja mahdollisen varhaisen puskurin kehityskulun, osoittavat, että ensimmäisen 10 000 vuoden aikana kuparikapselin korroosio on hyvin vähäistä. Kapselit säilyvät ehjinä kaikissa tarkastelluissa kuormitustapauksissa.

Loppusijoitustilojen sulkemisen jälkeisen ajan toimintakykyarvion johtopäätös on, että tekniset vapautumisesteet ja kallioperän ominaisuudet vastaavat toimintakykytavoitteita ensimmäisten 10 000 vuoden ajan poikkeamia lukuun ottamatta. Tällaisia poikkeamia ovat toimintakykytavoitetta korkeampi virtaama sijoitusreiän kohdalla, pohjaveden koostumus muutamassa sijoitusreiässä sekä alhaisen tiheyden alueella täytössä, jossa sulfaatin pelkistyminen sulfidiksi on mahdollista.

#### 8.6.1.3 KEHITYS LAUHKEAN ILMASTOJAKSON LOPPUUN SAAKKA

Ensimmäisen 10 000 – 15 000 vuoden jälkeen Olkiluodon alue lähiympäristöineen on liittynyt manneralueeseen ja muuttunut sisämaaksi. Loppusijoitusjärjestelmä on kokonaisuutena saavuttanut tilan, jolloin teknisten vapautumisesteiden katsotaan saavuttaneen suunnitellut ominaisuudet. Tämä koskee erityisesti paisuvasaisia komponentteja, joista tärkeimmät ovat puskuri ja täyttö. Sen lisäksi, että olennaisesti niiden vedenjohtavuudet ovat saavuttaneet vaaditun hyvin alhaisen tilan, jolloin kapselisiin ei kohdistu merkittäviä kuparin toiminta-

kyvyn kannalta haitallisia ainevirtoja puskurin tiivis huokoisrakenne itsessään estää sulfidia muodostavien mikrobikantojen kehittymistä. Kehitys lauhkean ilmastojakson aikana etenee ylimalkaan hitaasti kuitenkin siten, että kehitystä luonnehtii pohjavesikemian vähittäinen laimentuminen joka joissakin loppusijoitusrei'issä voi aivan lauhkean ilmastojakson loppua kohti saavuttaa tilan, jossa olosuhteet ovat otolliset kemialliselle eroosiolle. Kemiallisen eroosioon liittyvät fysikaaliset tekijät tunnetaan huonosti, joten siihen liittyvä kuvaus yhdistää sekä laboratoriokokein saatuja tietoja sekä osin niiden perusteella parametrisoituja laskennallisia arvioita. Erityisesti tiedot lähikallion pohjaveden ja puskurissa käytettävän paisuvahilaisen saven vuorovaikutuksesta ovat puutteellisia. Tämän johdosta laskennallisissa arvioissa on käytetty tietoja, joiden uskotaan olevan vahvasti konservatiivisia. Tämä tarkoittaa, että malliarviot hyvin todennäköisesti yliarvioivat puskurin kemiallisen eroosion voimakkuutta. Tällä tavalla saatujen, yliarvioivien, laskelmien tuloksena saadaan, että pienessä joukossa loppusijoitusrei'kiä puskuri voi menettää toimintakykynsä.

Ensimmäinen menettävä toimintakykytavoite on riittävä tiiveys, joka ehkäisee mikrobitoiminnan puskurissa, jonka jälkeen mikrobit kykenevät tuottamaan sulfidia puskurin huokoisveteen liuenneesta sulfaatista energialähteinä käytettävien liuenneiden orgaanisten aineiden avulla. Näin tuotetun sulfidin pitoisuutta kontrolloivat läsnä olevat rautapitoiset mineraalit, erityisesti götiitti. Niin kauan kuin puskuri mikrobitoiminnasta huolimatta on riittävän tiivis estääkseen veden virtausta, kapseliin ei kohdistu sellaista korrodoivien aineiden virtaa, joka rikkoisi sen eheyden, vaikka kuparin korroosio on jossain määrin mahdollista.

Lopulta ainakin niissä loppusijoitusrei'issä, joihin kohdistuu voimakas pohjavesivirtaus, eroosio etenee siihen pisteeseen, että puskurin aikaansaamat turvallisuustoiminnot lakkaavat kokonaan. Tällöin korroosio voi edetä koko kuparivaipan läpi ja radionuklidit vapautuvat kallioperään. Vaikka korroosio voi miljoonan vuoden aikana – siis paljon pidemmällä aikavälillä kuin lauhkean ilmastovaiheen kesto ennen seuraavaa kylmää ilmastojaksoa – voi rikkoa enimmillään noin 3% kapselista, niistä aiheutuvat biosfääriin kohdistuvat aktiivisuusvuot ei-

vät ylitä viranomaisrajoja. Huomattakoon edelleen, että odotetun kehityskulun skenaariossa rikkoutuvien kapseleiden lukumäärä jää paljon pienemmäksi.

#### 8.6.1.4 SEURAAVA IKIROUTA-JA JÄÄTIKKÖVAIHE

Ilmaston kylmentyessä sadanta pienenee siinä määrin, että kylmenemisen myötä pienentynyt haihduntakin pystyy pitämään maanpinnan ilman ympärivuotista lumipeitettä. Tällaisissa olosuhteissa ilmaston yhä viilentyessä maa alkaa jäätyä. Koska jäätyvän maan vedenjohdavuus pienenee samalla myös hyvin jyrkästi, pohjaveden virtaus on ikiroutavaiheessa huomattavasti vaimeampaa kuin lauhkean ja runsassateisemmän ja ilmastovaiheen aikana. Tämä tarkoittaa samalla, että pohjavesikierto ei liioin pysty kuljettamaan maanalaisen loppusijoitusjärjestelmän kannalta haitallisten aineita. Kylmän ilmastovaiheen jatkuessa ikirouta tunkeutuu yhä syvemmälle kallioon. Laskelmin on kuitenkin arvioitu, että Olkiluodon alueella riittävän matalan lämpötilan ja riittävän pitkäkestoinen kylmä ilmasto on hyvin epätodennäköinen, jotta ikirouta etenisi loppusijoitusvyvydelle saakka.

Ikiroutavaiheen aikana syvän kallion olosuhteet ovat erittäin vakaat ja ovat loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden kannalta erityisen suosiolliset. Kylmän ilmastovaiheen jatkuessa ikiroutaan väistymistä edeltää mannerjään saapuminen Olkiluodon alueelle. Jään etenemistä ajaa kasvava jäämassa, jota ruokkii kaukana jään reunalta jäätikön selänteellä satava lumi. Jäähän sitoutuu globaalisti niin paljon vettä, että merien vesimäärä vähenee merkittävästi ja manneralueet ovat laajentuneet laajasti ympäri maapalloa. Paksun jään lähestyessä Olkiluotoa kallion mekaaninen tila alkaa muuttua. Paksun jään alla, maankuori ”jousta” alaspäin. Maankuoren painuminen jään alla johtaa siihen, että hyvän matkaa mannerjään etupuolella maankuori puolestaan nousee. Tämän englanniksi ns. ”fore bulge” -vaiheen aikana voi kehittyä ensimmäiset suoraan mannerjään indusoimat maanjäristykset, joiden ei kuitenkaan odoteta olevan erityisen voimakkaita.

Jää saapuu kylmän maan päälle. Jään paksuuntuessa sen pohja lopulta sulaa, koska jää

eristää maanpinnan kylmästä ilmasta tehokkaasti, joten geoterminen lämmöntuotto riittää lopulta nostamaan kallion lämpötilan veden jäätymispisteen yläpuolelle. Lopulta myös jään pohja sulaa ja jään sanotaan siinä vaiheessa olevan lämminpohjainen. Jään paksunemisella on suuri merkitys loppusijoituskallion mekaaniselle tilalle; kapseleihin kohdistuva jännitystila kasvaa voimakkaaksi. Tähän on kuitenkin varauduttu kapseleiden suunnittelussa. Kapselit on mitoitettu säilyttämään eheydensä myös hyvin paksun jään tuottamassa jännitystilassa. On kuitenkin mahdollista, että korkeasta laadunvarmistuksen luotettavuudesta huolimatta pieni määrä sisäosaltaan alkuvaiheisia, säröillisiä, kapseleita on loppusijoitettu (satunnaisesti) loppusijoitusreikiin suurelle jännitystilalle altistuneina. Tällöin ns. myötövanhenemisen johdosta sisäosa voi haurastua ja kapseli menettää murtolujuutensa.

Vaikka lämminpohjaisen paksun jään alla veden paine on hyvin suuri, paine-erot ovat hyvin pieniä. Tämän johdosta merkittävää pohjavesivirtausta ei voi syntyä. Tuhansien vuosien kuluessa ilmasto alkaa lämmetä, joka väistämättä lopulta johtaa mannerjään vetäytymiseen Olkiluodon alueelta. Koska alueen maankuori on painunut satoja metriä jään painon johdosta, Olkiluodon alue on jään vetäytyessä paksun vesimassan alla, jossa merkittävä osa vedestä on sulamisvettä. Paksu vesikerros kelluttaa sulavan jäätä, minkä seurauksena kallioon ei voi kohdistua sulavan jään tuottamia paine-eroja. Tällöin pohjaveden virtaus pysyy edelleen hyvin heikkona verrattuna lauhkean ilmastovaiheen aikaiseen pohjavesivirtaukseen. Ilmaston lämpenemisen tuottama muutos jään vetäytymisen kautta aiheuttaa nopean muutoksen myös kallion mekaanisessa jännitystilassa, johon maankuori vastaa alkamalla jälleen kohoaa. Alkuvaiheessa kohoaminen on hyvin nopeaa (nykyisin Olkiluodon alueella noin 6 mm vuodessa). Tällaisen voimakkaan muutostilan katsotaan olevan otollinen voimakkaille maanjäristyksille. Voimakkaat maanjäristykset syntyvät suurissa deformaatiovyöhykkeissä, joista seisminen aalto etenee kaikkialle ympäröivään kallioon. Yksittäisessä kallioraossa seisminen aalto tuottaa kallioliikunnon, jonka amplitudi riippuu suoraan raon koosta. Pienellä todennäköisyydellä on mahdollista, että yksittäistä lop-

pusijoitusreikää leikkaa riittävän suuri rako, jotta siihen indusoitava kallioliikunto on yli 5 cm. Tällöin on mahdollista, että kapseli menettää eheydensä ja radioaktiivinen päästö vapautuu kallioperään. Laskennallisen arvion perusteella kuitenkin näin rikkoutuvien kapseleiden määrä on kuitenkin niin pieni, ettei aiheutuva aktiivisuusvuo biosfääriin ylitä viranomaisrajoja.

Pohjavesikemian kehitys *stagnanteissa* pohjavesivirtauksen vaiheissa, ikirouta, jäätikkö ja (Olkiluodon tapauksessa) sulamista seuraavassa vesiallasvaiheessa on epävarmaa. Koska lauhkeiden ilmastovaiheiden aikana pohjavesikemian kehitys on mallinnusten mukaan trendiltään kohti laimeampia olosuhteita, Olkiluodon alueella vaikuttaa ilmeisesti jokin prosessi, joka pystyy palauttamaan pohjavesikemian olosuhteet jääkausikierron tai -kiertojen yli. Vaikka diffuusion tuottamat massansiirrot pystyvät tasaamaan pohjaveden pitoisuuseroja eri kalliokerrosten välillä, diffuusion tiedetään olevan itsessään hyvin hidas massansiirron prosessin. Siitä huolimatta vaikka ilmiön alkusyytä ei tiedetä, pidetään Olkiluodon nykyisiä, hyvin voimakkaan ionivahvuuden kalliopohjavesiä niin vakuuttavana osoituksena pohjavesikemian palauttavan prosessin olemassaolosta, että toimintakykyarviossa oletetaan, että Olkiluodon pohjaveden kemialliset olosuhteet palautuvat jääkausikierron aikana. Vaikka vesikemian palauttava prosessi voi sinänsä vaikuttaa myös lauhkean ilmastovaiheen aikana, se voi tulla hallitsevaksi vasta olosuhteissa, joissa paine-erojen tuottamat pohjavesivirtaukset käytännössä häviävät.

#### 8.6.1.5 TOISTUVIEN JÄÄKAUSISYKLIEN AIKANA

Hyvin pitkällä aikavälillä toimintakykyanalyysin tärkeimmäksi muutostekijäksi muodostuu ilmasto-olosuhteiden vaihtelu. Lauhkean ja viileän ilmaston kausien vuorottelun eli jääkausisykliä odotetaan jatkuvan samanlaisena kuin viimeksi kuluneen miljoonan vuoden aikana. Analyysissä oletetaan, että nykyinen lauhkean ilmaston kausi jatkuu 50 000 vuotta, minkä jälkeen toistuvat viime jääkauden vaiheet, ikiroudan muodostuminen, jäätiköityminen ja lopulta jäätikön sulaminen noin 80 000 vuoden

kuluttua, jonka jälkeen noin 90 vuoden kuluttua alkaa uusi jäätiköityminen, joka päättyy noin 145 000 vuoden kuluttua nykyhetkestä.

Lauhkean ilmaston aikana jatkuu hidas pohjaveden suolaisuuden väheneminen sade- ja pintavesien suotautuessa syvemmälle. Muuttamassa prosentissa kapselipaikkoja voi tämän jakson lopulla esiintyä laimeaksi luokiteltavaa eli vain vähän liuenneita ioneja sisältävää pohjavettä.

Jäätiköitymistä edeltävän, kymmeniä tuhansia vuosia jatkuvan ikiroudan muodostumisen merkittävin vaikutus loppusijoitustiloihin on, että se hidastaa merkittävästi pintavesien suotautumista pohjaveteen, ja suolaisuuden lasku loppusijoitusvyödyllä lähes lakkaa. Ikiroudan ei oleteta saavuttavan loppusijoitusvyödyttä, mutta puskurin ja täytön arvellaan kuitenkin kestävän jäätymis-sulamissykliäkin turvallisuustoimintojen vaarantumatta.

Jääkauden loppuvaiheessa ikirouta sulaa ja makeaa sulamisvettä suotautuu perääntyvästä jäätiköstä kallioperään. Tällöin pohjaveden virtaus riippuu jäätikön reunan sijainnista loppusijoitustilaan nähden. Kun tilat ovat vielä jäätikön alla ja reuna lähellä, virtaama voi kasvaa merkittävästi ja suuntautua alaspäin. Myöhemmin, jäätikön reunan ohitettua paikan, pääasiallinen virtaussuunta on ylöspäin ja virtaamat vähenevät jäätikön reunan etääntyessä. Joidenkin sijoitusreikien kohdalla voi näiden vaiheiden aikana esiintyä aiempaa enemmän tavoiteominaisuuksia korkeampia pohjaveden virtaamia ja matalia kulkeutumismuutoksia, mikä on huomiotu kapselin korroosiota arvioitaessa ja radionuklidien vapautumisskenaarioiden määrittelyssä.

Sulamisvesien tunkeutumisen kestosta riippuen joillakin kapselipaikoilla voi esiintyä laimeaa (vähäsuolaista) pohjavettä. Toisaalta ei ole mitään merkkejä siitä, että laimeat sulamisvedet olisivat saavuttaneet loppusijoitusvyödyden Olkiluodossa edellisen jääkausisyklin aikana tai aiemmin. Muiden geokemiallisten ominaisuuksien odotetaan vastaavan tavoiteominaisuuksia myös jäätikön vetäytymisen ja sulamisen aikana.

Jääkauden loppuun liittyy myös jonkin verran kohonnut maanjäristysten mahdollisuus, kun

maankuori palautuu sitä painaneen jäätikön painon poistuttua. Ensimmäisen jääkausisyklin aikana kapselin rikkoutumisen aiheuttavan maanjäristyksen todennäköisyys on vielä pieni. Sijoitusreikien paikkojen valinnalla suurten deformaatiovyöhykkeiden ulkopuolelta ja välttämällä pitkien rakojen lävistyksiä sijoitusrei'issä pienennetään riskiä, että kapseleita rikkoutuisi kallioliikunnan seurauksena.

Sulfidi on tärkein kuparikapselien syöpymistä eli korroosiota aiheuttava tekijä. Sulfidin kulkeutuminen kapselin läheisyyteen on arvioitu erilaisissa olosuhteissa. Tulosten mukaan korroosion kokonaissyvyys ei ylitä muutamia millimetrejä miljoonan vuoden aikana puskurin toimiessa suunnitellusti. Tuloksiin liittyvät epävarmuudet on tunnistettu ja analysoitu skenaarioiden muodossa. Joitain kapseleita saattaa kuitenkin rikkoutua miljoonan vuoden tarkastelujakson aikana, mutta tästä huolimatta yksinkertaisten biosfääritarkastelujen perusteella annokset pysyvät hyvin pieninä, alle 10 % vuotuisesta keskivertosuomalaisen saamasta säteilyannoksesta, eniten altistuvan henkilön osalta.

Yhteenvetona voidaan todeta, että ensimmäisen jääkausisyklin jälkeen (yli 100 000 vuotta tilojen sulkemisen jälkeen) tekniset vapautumiseet ja kallioperän ominaisuudet vastaavat yhä toimintakykytavoitteita ja tavoiteominaisuuksia joitain satunnaisia poikkeamia lukuun ottamatta.

Teknisten vapautumisesteiden ja kallioperän ominaisuudet miljoonan vuoden tarkastelujakson aikana vastaavat yhä toimintakykytavoitteita ja tavoiteominaisuuksia, lukuun ottamatta edellä mainittuja kehityskulkuja.

## 8.6.2 RADIONUKLIDIENTEN VAPAUTUMISSKENAARIOT

### 8.6.2.1 PERUSSKENAARIO

Perusskenaariossa oletetaan loppusijoitustilojen vapautumisesteiden toimintakykytavoitteiden täyttävän. Tässä tilanteessa miljoonan vuoden sisällä radionuklideja vapautuu ainoastaan matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilasta. Perusskenaariota vertailutapauksessa

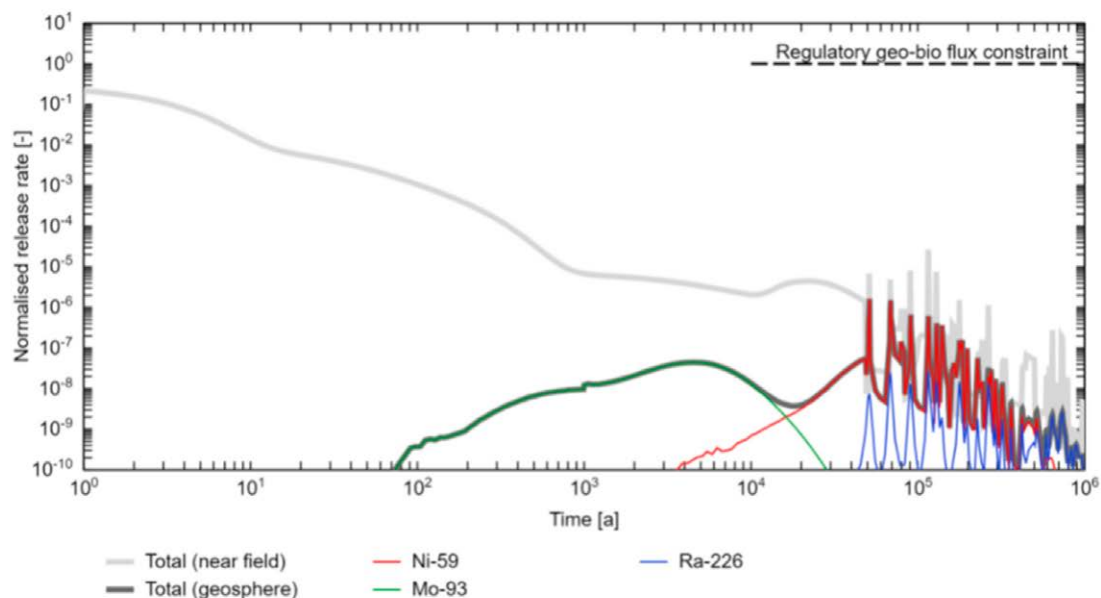
päästönopeutta hallitsevat nuklidit vaihtelevat riippuen tarkasteltavasta aikajaksosta. Mo-93 on merkittävä nuklidi aikaisilla hetkillä tilojen sulkemisen jälkeen, koska Mo-93 pidättyy heikosti matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilan täyteaineeseen. Myöhemmillä ajanhetkillä merkittäviä nuklideja ovat ensin Ni-59 ja pitkällä tulevaisuudessa Ra-226.

Kuva 8-3 esittää ajan funktiona radionuklidien normitettua päästönopeutta matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilasta. Normitettua päästönopeutta lasketaan jakamalla radionuklidikohtaiset päästönopeudet niille ohjeessa YVL D.5 annetuilla päästönopeuden enimmäisarvoilla. Viranomaisvaatimus täyttyy, kun normitettu päästönopeus on pienempi kuin yksi. Kuvaajan mukaan normitettua päästönopeutta ovat enimmilläänkin noin miljoonasosa säädetystä ylärajasta.

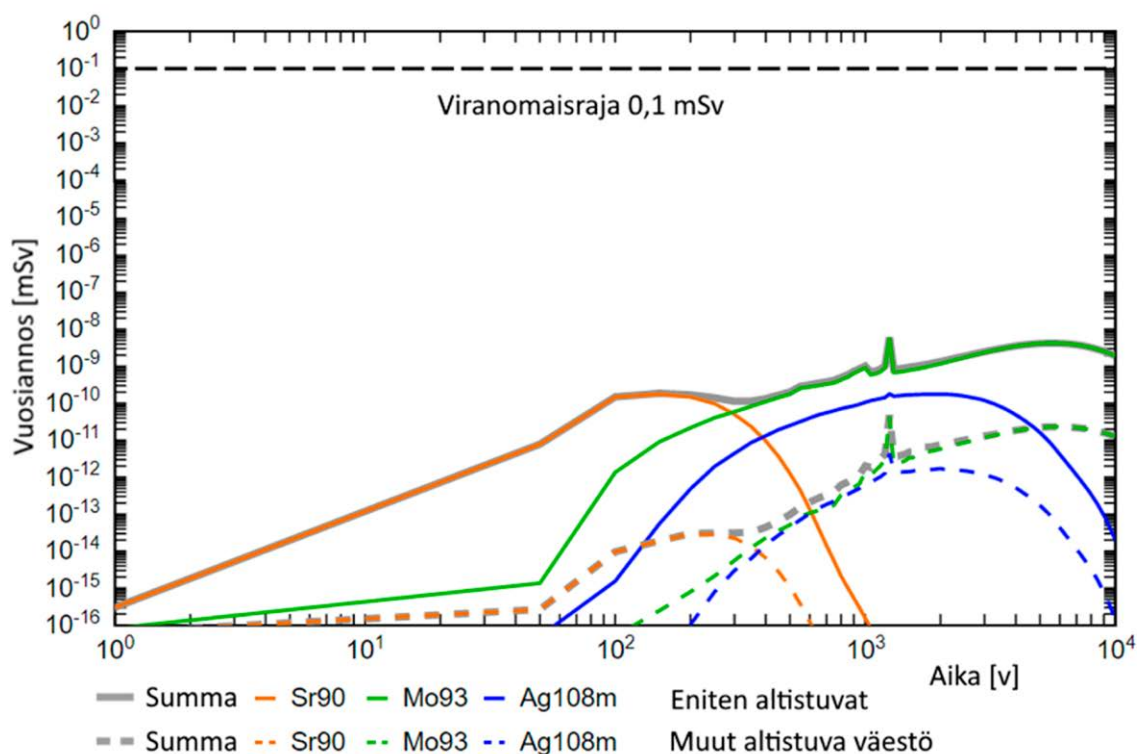
Radionuklidien vapautumiseen johtavina epätodennäköisinä tapahtumakulkuina on toimintakykyanalyyseissä tunnistettu kanisterien epätavallisen suuri isostaattinen kuormitus, mahdollinen merkittävä kallioliikunto sekä puskurin kemiallisesta eroosiosta johtuva kapselin korrosio. Kaikissa laskentatapauksissa päästönopeudet kallioperästä ovat vähintään kerta-luokan pienempiä kuin YVL D.5 ohjeen mukainen päästönopeuden yläraja. Merkittävimmät nuklidit käytetyn polttoaineen loppusijoitustilasta tapahtuvissa päästöissä ovat I-129, Cl-36 ja Ra-226. Ra-226 on merkittävin nuklidi päästöille eroosio-korroosio -tapauksessa ja muissakin tapauksissa se dominoi lähialueen päästöjä, mutta päästö kallioperästä on voimakkaasti vaimentunut tehokkaan pidättymisen ansiosta.

Biosfäärimallinnuksen keskeiset tulokset ovat pintaympäristön kehityskulun projisointi loppusijoitusta seuraavien 10 000 vuoden aikana sekä ihmisille, kasveille ja eläimille aiheutuvat vuosittaiset säteilyannokset. Nykyisessä biosfääriarvioinnissa yksilökohtaiset altistusreitit, radionuklidi- ja paikkakohtaiset vuosittaiset annokset muodostavat väestön annosjakautuman, josta tunnistetaan keskimääräinen yksilöannos perhe- tai pienkyläyhteisössä, johon kohdistuu suurin säteilyrasitus, sekä muun altistuvan väestön keskimääräinen yksilöannos. Kasveille ja eläimille lasketaan tyypilliset absorboituneet





**Kuva 8-3.** Normitetut aktiivisuuspäästönopeudet lähialueelta (harmaa käyrä) ja kallioperästä (musta käyrä) perusskenaarion referenssitapauksessa. Kuvassa on esitetty myös nuklidit, joilla on suurimmat normitetut päästönopeudet. Kunkin radionuklidin päästönopeus on normitettu viranomaisten määrittämällä raja-arvolla nuklidikohtaiselle aktiivisuuspäästönopeudelle kallioperästä biosfääriin.



**Kuva 8-4.** Keskimääräinen yksilöannos eniten altistuvassa perhe- tai pienkyläyhteisössä ja muun altistuvan väestön osalta, sekä radionuklidien osuudet perustapauksessa, loppusijoitustilan sulkemisen jälkeen.

annokset. Perusskenaarion referenssitapauksen tulokset on esitetty lyhyesti alla ja yksityiskohtaisemmin STUK:lle toimitettavassa alustavassa turvallisuusselosteessa.

### Säteilyannokset ihmisille

Perustapauksessa, päästö vain matala- ja keskiaktiivisenjätteen tilasta, vapautuvien radionuklidien seulonta-analyysin perusteella tunnistettiin kolme radiologisesti oleellista nuklidia, joille yksityiskohtainen mallinnus tehtiin: Mo-93, Ag-108m ja Sr-90. Kuvassa 8-4 esitetään keskimääräinen yksilöannos perhe- tai pienkyläyhteisössä, johon kohdistuu suurin säteilyrasitus. Muun altistuvan väestön keskimääräinen yksilöannos käyttäytyy ajallisesti samoin, mutta on tasoltaan vielä noin kaksi kertaluokkaa pienempi. Suurimman säteilyrasituksen ryhmää edustava yksilöannos on suurimmillaan  $6 \times 10^{-12}$  mSv (noin 1300 vuotta loppusijoitustilojen sulkemisen jälkeen), ja muun altistuvan väestön keskimääräinen yksilöannos on suurimmillaan  $5 \times 10^{-14}$  mSv (noin 1300 vuotta sulkemisen jälkeen). Nämä tulokset ovat sadastuhannes- ja miljoonasosia asetettujen säteilyannosrajojen alapuolella (Kuva 8-3). Käytännössä Mo-93:n, Ag-108m:n ja Sr-90:n päästöt määräävät säteilyannosten suuruuden referenssitapauksessa.

### Säteilyannokset kasveille ja eläimille

Kasveille ja eläimille lasketaan tyypilliset absorboituneet annokset. Perusskenaariossa suurin tyypillinen annosnopeus (kullekin organismille soveliaiden kontaminoituneiden elinympäristöjen pinta-alojen mukaan painotettu keskimääräinen absorboitunut annosnopeus)  $5.9 \times 10^{-10}$  µGy/h aiheutuu n. 1200 vuoden kuluttua loppusijoitustilojen sulkemisen jälkeen liejuputkimadolle. Tämä on useita kertaluokkia alle kansainvälisten ERICA- ja PROTECT-hankkeiden ehdottaman viitearvon 10 µGy/h, kuten on tilanne myös muiden 45 tarkastellun Olkiluodon ympäristön maa- ja vesiekosysteemejä edustavan kasvi- ja eläinlajin kohdalla.

#### 8.6.2.2 KÄYTETYN POLTTOAINEEN LOPPU-SIJOITUSTILASTA PÄÄSTÖIHIN JOHTAVAT EPÄTODENNÄKÖISET TAPAHTUMAKULUT

Toimintakykyanalyysissä tunnistetut päästöihin johtavat tapahtumakulut vaikuttavat kanisterien eheyteen eri ajanjaksoilla. Epätavallisen suuri isostaattinen jännitys on mahdollinen jääkauden maksimin aikana. Kallioliikunto tapahtuu todennäköisimmin jäätiköitymisen vetäytymisvaiheessa. Kemiallinen eroosio ja siitä mahdollisesti seuraava kapselien korroosio voivat johtaa kapselien rikkoutumiseen eri aikoina, kuitenkin niin, että kemialliseen eroosioon johtavien olosuhteiden kehittyminen vaatii ensin pitkäaikaisen laimean veden suotautumisen sijoitusreikiin.

Isostaattisen jännityksen vaikutuksesta rikkoutuvan yksittäisen kapselin aiheuttamia vaikutuksia on arvioitu olettamalla kapselin rikkoutuvan ensimmäisen jääkauden (Global warming (RCP 4.5)) maksimin hetkellä, 60 000 a tilojen sulkemisen jälkeen (laskentatapaus GB-CC). Malliepävarmuuksia on kartoitettu varioimalla vesikemiaa (GB-Brackish, GB-Fresh, GB-Dilute), pohjavesi virtauksen skaalaustekijää (GB-LOVAR, GB-HIVAR) ja virtauksen kanavoitumista (GB-CHAN) sekä kallion heterogeenisuuteen liittyvää alleatorista epävarmuutta sijoittamalla rikkoutuva kapseli kaikkiin RSC:n kelpuuttamiin sijoitusreikiin (GB-ALLOC2). Merkittävimmät nuklidit näissä tapauksissa ovat I-129, Cl-36 ja Ra-226. Näistä Ra-226 pidentyy voimakkaasti kallioperässä, joten se on merkittävä nuklidi lähinnä lähialueen päästöjen osalta. Normitettu kokonaispäästö kallioperästä on sekä vertailutapauksessa GB-CC että kaikissa vaihtoehtoisissa laskentatapauksissa yli kaksi kertaluokkaa YVL D.5 ohjeessa asetetun päästörajan alapuolella.

Kallioliikunnon on oletettu perustapauksessa aiheuttavan yhden kapselin rikkoutumisen ensimmäisen jääkauden vetäytymisvaiheessa (Global warming, RCP 4.5) 68 000 a tilojen sulkemisen jälkeen (GB-PG). Malliepävarmuuksia on selvitetty laskentatapauksella, jossa kallioliikunnon oletetaan uudelleen aktivoivan rakoja loppusijoitusreiän ympäristössä ja johtavan siten virtauksen kasvuun (GB-PGNF). Kallion heterogeenisuuden vaikutusta on arvioitu sijoittamalla rikkoutuva kapseli kaikkiin sijoitusreikiin, joita leikkaa yli 150 m kokoinen rako (GB-ALLOC1). Päästönopeuksia hallitsevat samat nuklidit kuin isostaattisen jännityksen tapauksessa. Vapautumista kallioperästä hallit-

sevat I-129 ja CI-36 ja lähialueen päästöjä Ra-226. Yhden rikkoutuvan kapselin tapauksessa suurin normitettu päästönopeus on noin kolme kertaluokkaa pienempi kuin YVL D.5 ohjeessa annettu yläraja. Toimintakykyanalyysin perusteella suurin rikkoutuvien kapselien määrä kallioliikunnon tapahtuessa voisi olla 9 kapselia. Tällä rikkoutuvien kapselien määrällä 5% ja 95% prosenttipisteet normitetulle päästönopeudelle asettuvat kolme ja kaksi kertaluokkaa YVL ohjeen ylärajan alapuolelle.

Korroosiosta johtuva kapselin rikkoutuminen on seurausta puskurin erodoitumisen seurauksena kasvavasta sulfidivuosta kapselin pinnalle. Perustatapauksessa (GC-CC) oletetaan kemiallisen eroosion alkavan, kun kationipitoisuus sijoitusreiässä on laimentunut pinnalta suotautuvan laimean veden seurauksena toimintakykyanalyysin määrittelemälle referenssitilalle (8 meq/l). Tässä tapauksessa miljoonan vuoden kuluessa rikkoutuvien kapselien lukumäärä on 41. Malliepävarmuuksia on otettu huomioon laskemalla tapaukset, joissa käytetään varovaisempaa kationipitoisuuden rajaa eroosion alkamiselle (12 meq/l, GC-C1) sekä lisäksi ohuempaa kuparin korroosiopaksuutta (GC-C2). Näissä rikkoutuvien kapselien määrät ovat 72 ja 140. Edellä olevaa GC-C2 tapausta on vielä täydennetty ottamalla huomioon kulkeutuminen bentoniittikolloideissa (GC-C2BEN), polttoaineesta mahdollisesti muodostuvien kolloidien kulkeutuminen (GC-C2INT) ja virtauksen voimakas kanavoituminen kallioperässä (GC-C2CHAN). Kolloidien huomioon ottaminen ei juurikaan vaikuta päästönopeuksiin kallioperästä. Suurimmat päästönopeudet kallioperästä tulevat GC-C2CHAN liittyvissä tapauksissa. Maksimi normitettu vapautumisnopeus on noin yhden kertaluokan pienempi kuin YVL D.5 ohjeen yläraja. Merkittävimmät nuklidit useimmissa tapauksissa ovat Ra-226, I-121 ja CI-36.

### 8.6.2.3 "MITÄ JOS" – TAPAUKSET

"Mitä jos" -laskentatapauksilla tarkastellaan yksittäisten turvallisuustoimintojen heikentymistä. Laskentatapaukset on jaettu viiteen eri ryhmään, joista yksi laskentatapauksen joukko tarkastelee matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilan turvallisuustoimintoja. Neljä

laskentatapauksen ryhmää tarkastelee käytetyn polttoaineen loppusijoitustilaa. Näissä hypoteettisissa laskentatapauksissa kapselin rikkoutuminen ei perustu määriteltyihin tapahtumakulkuihin, vaan turvallisuustoimintojen heikkeneminen oletetaan johtavan kapselin tai kapselien rikkoutumiseen muutaman sadan vuoden sisällä (G1-tapaukset, kapseli(e)n oletetaan rikkoutuvan 300 a päästä nykyhetkestä), muutaman tuhannen vuoden päästä (G2-tapaukset, kanisteri(e)n oletetaan rikkoutuvan 1000–10000 a nykyhetkestä), muutaman kymmenen tuhannen vuoden päästä (G3-tapaukset, kanisteri(e)n oletetaan rikkoutuvan 60 000 a nykyhetkestä) tai muutaman sadan tuhannen vuoden päästä (G4-tapaukset, kanisteri(e)n oletetaan rikkoutuvan 300 000 a nykyhetkestä).

Ainoastaan kanisterin rikkoutuminen voi johtaa radionuklidien päästöön. Siten "mitä jos" – tapauksen perimmäinen oletus on, että kanisteri tai kanistereita rikkoutuu valitun aikaikkunan sisällä syystä tai toisesta. Laskentatapauksissa tarkastellaan myös useamman turvallisuustoiminnon samanaikaista heikentymistä.

Tarkasteltavia tapauksia ovat kanisteri(e)n rikkoutuminen erityisen aikaisin eli nykyisen lämpimän jakson aikana (G1-CC, G1-Gas, G2-CC, G2-T2012), ja että kanisterin rikkoutumisen lisäksi polttoaine ja metalliosat liukenevat odotettua nopeammin (G1-FUEL, G1-FUEL2, G3-FUEL, G3-FUEL2), tai edellisen lisäksi myös puskurin toimintakyky on heikentynyt (G1-FUEL-BUF, G3-FUEL-BUF) tai että puskurin toimintakyky on vakavasti heikentynyt (G1-FUEL-BUF2, G3-FUEL-BUF2). Useamman kanisterin hajoamista myöhempänä ajan hetkenä tarkastellaan myös erillisellä laskentatapauksella (G4-ALLOC). Matala- ja keskiaktiivisen loppusijoitustilan osalta tarkastellaan tapauksia, jossa jätteen betonointi heikkenee odotettua nopeammin (GA-EBSRET, GA-HIFLOW, GA-NOBAS), kemialliset olosuhteet poikkeavat oletetusta (GA-GEOCHEM, GA-ISA) tai virtaus kallioperässä on voimakkaasti kanavoitunutta (GA-GEOFLOW). Tarkastelemalla erikseen lähialueen ja kallioperän päästöjä voidaan myös arvioida tilannetta, jossa kallioperä on menettänyt kyvyn pidättää nuklidien kulkeutumista (GA-CC, G1-CC, G2-CC, G3-CC, G4-CC).

Kaikissa tapauksissa maksimi normitettu va-

pautumisnopeus kallioperästä on vähintään kertaluokkaa pienempi kuin YVL D.5 ohjeen yläraja.

Radionuklidien vapautumista ja kulkeutumista on tarkasteltu myös todennäköisyyspohjaisilla analyyseillä. Tarkastelun kohteena ovat olleet vapautuminen matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilasta ja käytetyn polttoaineen loppusijoitustilasta toimintakykyanalyysin pohjalta johdetuissa isostaattisesta kuormituksesta ja kallioliikunnosta johtuvissa vapautumisskenaarioissa. Todennäköisyyspohjaisilla epävarmuus- ja herkkyystarkasteluilla on tutkittu sekä episteemisten että aleatoristen epävarmuuksien vaikutuksia. Kaikissa todennäköisyyspohjaisissa laskentatapauksissa on käytetty yksinkertaistettua kallioperän kuvausta. Yksinkertaistetun kallioperämallin riittävä tarkkuus on varmistettu erillisillä vertailutapauksilla.

Matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilan toimintaa on tarkasteltu kolmessa laskentatapauksessa: GA-PRBA (pohjaveden virtaukseen liittyvä aleatorinen epävarmuus), GA-PRBE (parametreihin liittyvä episteeminen epävarmuus) ja GA-PRBEA (yhdistetty aleatorinen että episteeminen epävarmuus). Laskentatuloksina matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilan tapauksessa on tarkasteltu epävarmuusanalyyseissä normitettuja päästönopeuksia kallioperästä biosfääriin ja herkkyyshanalyyseissä annosnopeuksia käyttämällä annosmuunnoskertoimia kaivoveden käyttämisestä juomavetenä ja sekoittamalla vapautumisnopeus kallioperästä 500 m<sup>3</sup>/a vetä. Vapautumisnopeudet epävarmuusanalyysein perusteella ovat kaikissa laskentatapauksissa kolmesta viiteen, tai enemmän, kertaluokkaa YVL D.5 asettamien rajojen alapuolella. Herkkyyshanalyysein perusteella aleatorisen epävarmuuden laskentatapaukset ovat herkkiä kallioperän kulkeutumisvastukselle, mutta eivät veden virtausajalle, loppusijoitustilan saturaatioajalle tai kokonaisvirtaamalle loppusijoitustilan läpi. Episteemisten epävarmuuksien osalta tärkeimpiä olivat strontiumin, amerikiumin ja plutoniumin jakaantumiskertoimet kallioperässä. Yhdistetyn aleatorisen ja episteemisen epävarmuuden tapauksissakin jokainen yksittäinen laskentatapauksen iteraatio alitti YVL D.5 asettamat päästönopeusrajat ja 0.1 mSv/a annosrajan.

Radionuklidien vapautumista käytetyn polttoaineen loppusijoitustilasta on tarkasteltu todennäköisyyspohjaisella mallinnuksella neljässä laskentatapauksessa: episteeminen epävarmuus isostaattisesta jännityksestä rikkoutuvan kanisterin tapauksessa (GB-PRB1), episteeminen and aleatorinen epävarmuus isostaattisesta jännityksestä rikkoutuvan kanisterin tapauksessa (GB-PRB2), episteeminen ja aleatorinen epävarmuus kanisterin rikkoutuessa kallioliikunnon takia (GB-PRB3) ja episteeminen ja aleatorinen epävarmuus kanisterin rikkoutuessa ja puskurin sekä kallion häiriintyessä kallioliikunnon takia (GB-PRB4). Todennäköisyyspohjaiset laskut on tehty yhdelle kanisterille, mutta tulosten jälkikäsitellyllä on todennäköisyyspohjaisesti tarkasteltu myös tapauksia, joissa rikkoutuu PAFOS-analyyseissä tunnistetut suurimmat määrät kanistereita, kolme kanisteria isostaattisen kuormituksessa ja yhdeksän kanisteria kallioliikunnon seurauksena.

Herkkyyshanalyysein perusteella päästönopeudet kallioperästä ovat molemmissa kanistereiden rikkoutumiseen johtavissa tapahtumakuluissa herkkimmät aleatorisille epävarmuuksille pohjaveden kulkeutumisajasta ja kulkeutumisvastuksesta vapautumisreiteillä. Merkittävimmät episteemiset epävarmuudet isostaattisesta kuormituksesta ja kallioliikunnosta johtuvissa radionuklidien vapautumisissa liittyvät suojakuoren korroosionopeuteen, polttoainematriisin liukenemisnopeuteen sekä jodin ja kloorin IRF-osuuksiin sekä näiden nuklidien pidättymisominaisuuksiin kallioperässä. Radiumin sorptio-ominaisuudet kallioperässä nousevat merkittävimpien epävarmuuksien joukkoon, jos kallioliikunnon oletetaan heikentävän puskurin ominaisuuksia ja lisäävän pohjaveden virtausta loppusijoitusreiän ympäristössä ja kallioperässä.

Isostaattisen jännityksen aiheuttamaan vapautumiseen liittyvissä analyyseissä mikään yksittäinen laskentatapauksen realisaatiokaan ei johtanut YVL D.5 asettaman päästönopeusrajan ylittämiseen. Tulosten 95 % -epävarmuusraja normitetulle maksimipäästönopeudelle on yli kaksi kertaa luokkaa YVL D.5 raja-arvon alapuolella. Kallioliikunnon tapauksessa 95 % -epävarmuusraja normitetulle maksimipäästönopeudelle on yli kertaluokan YVL D.5 raja-arvon alapuolella ja tässäkään tapauksessa



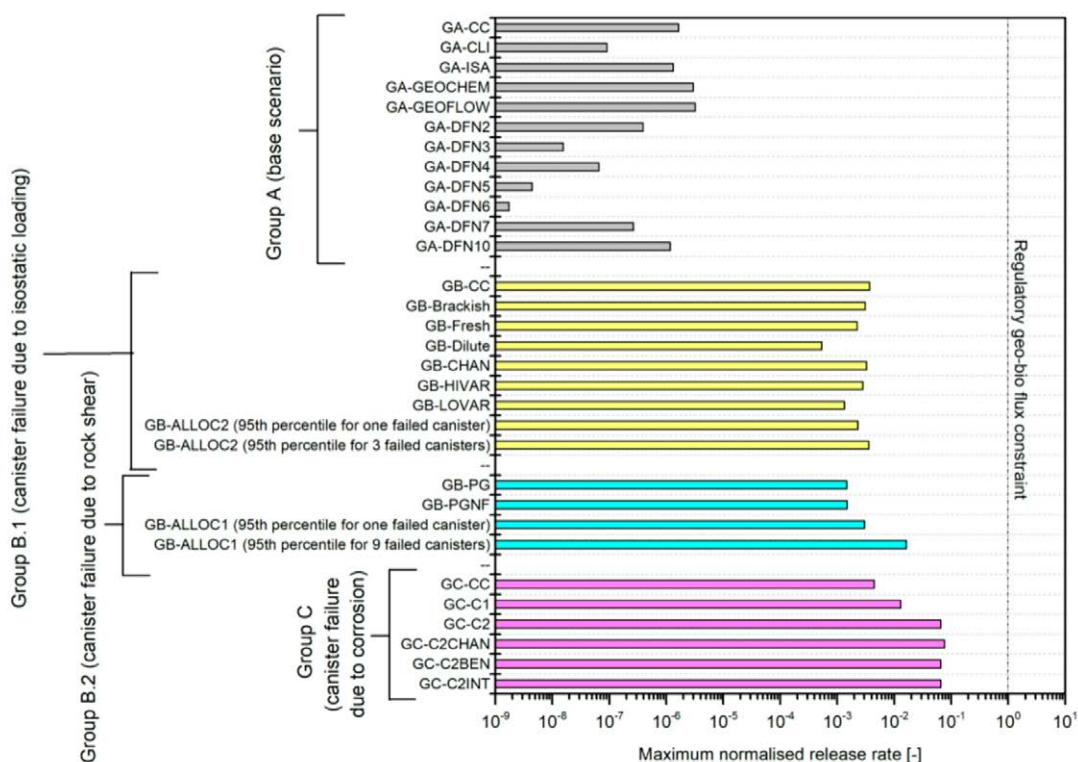


Figure 9.3.1-1. Maxima of the sum of normalised activity release rates to the surface environment for all the deterministic analyses carried out in the analysis of releases (excluding the "what-if?" cases).

**Kuva 8-5.** skenaarioanalyysin tuloksena saadut eri laskentatapausten suurimmat kallioperän aktiivisuuspäästöt ja niiden ajankohdat suhteutettuna viranomaisten asettamiin päästörajoihin.

mikään yksittäinenkään laskentatapauksen realisaatio ei johtanut YVL D.5 asettaman päästönopeusrajan ylittämiseen.

#### 8.6.2.4 YHTEENVETO

Kuva 8-5 esittää skenaarioanalyysin tuloksena saadut eri laskentatapausten suurimmat kallioperän aktiivisuuspäästöt ja niiden ajankohdat suhteutettuna viranomaisten asettamiin päästörajoihin.

Vaatimusten toteutumista tarkastellaan lupahakemusta varten laaditussa pitkäaikaisturvallisuuden turvallisuusperustelussa. Sen mukaan todennäköisinä pidettävien kehityskulkujen seurauksena aiheutuvat vuotuiset säteilyannokset eniten altistuvillekin henkilöille jäävät seuraavien kymmenen tuhannen vuoden aikana selvästi alle valtioneuvoston asetuksessa annetun rajan ja muiden ihmisten saamat annokset jäävät merkityksettömän pieniksi. Tämän jälkeen epätodennäköisinä pidettävistä kehityskuluista johtuvien radioaktiivisten aineiden

päästöjen arvioidaan enimmilläänkin jäävän korkeintaan noin kymmenesosaan STUK:n asettamista enimmäisarvoista. Tyypillisten säteilyannosten perusteella arvioituna loppusijoituspaikan nykyisenkaltaisen eliöstön säteilyaltistus jää selvästi kansainvälisissä hankkeissa ehdotettua viitearvoa pienemmäksi. Aiheutuvat säteilyannokset ja radioaktiivisten aineiden vapautumisnopeudet on arvioitu ottaen huomioon mahdolliset satunnaiset poikkeamat loppusijoitusjärjestelmältä vaadituista toimintakykyvaatimuksista samoin kuin arvioinnissa käytettyjen laskentamallien ja lähtötietojen epävarmuudet.

Edellä esitetyt johtopäätökset perustellaan yksityiskohtaisesti STUK:lle toimitetussa pitkäaikaisturvallisuuden turvallisuusperustelussa.

### 8.7 ARVIO LOPPUSIJOITUSRATKAISUN TURVALLISUUDESTA

Loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuutta arvioidaan kattavasti vuonna 2021 valmistuneessa täysimittaisessa TURVA-2020 -tur-

vallisuusperustelussa, joka tukee samana vuonna jätettävää loppusijoituslaitoksen käyttölupahakemusta. Pitkäaikaisturvallisuuteen liittyvien vaatimusten täyttymistä on arvioitu turvallisuusperustelun toimintakykyarviossa ja annoslaskelmissa. Turvallisuusperustelu osoittaa, että sekä korkea-aktiivinen käytetty polttoaine, että matala- ja keskiaktiivinen jäte voidaan sijoittaa Olkiluotoon turvallisesti ja siihen liittyvien vaatimusten (lait ja ohjeet) mukaisesti. Turvallisuusperustelun katsotaan olevan myös riittävällä tasolla käyttölupahakemuksen kannalta. Turvallisuusperustelussa esitetään myös epävarmuudet, jotka liittyvät pitkäaikais-turvallisuuden arviointiin Olkiluodossa. Turvallisuusperustelu sisältää myös osuuden, jossa arvioidaan tulevaisuuden turvallisuusarvioita, ja miten epävarmuuksia voidaan edelleen vähentää ja optimointia edistää tutkimus ja kehitystyössä

## 8.8 KEHITYSSUUNNITELMAT

Käyttöluvan myöntämiseen jälkeen loppusijoituksen turvallisuutta arvioidaan ydinenergialain mukaan vähintään 15 vuoden välein määrää-kaisten turvallisuusarvioiden yhteydessä, jotka toimitetaan STUK:n hyväksyttäväksi. Posivan suunnitelmia esitellään myös ydinjätehuollon suunnitelmissa (YJH-ohjelmat), joissa kuvataan kolmen vuoden välein ydinjätehuollon suunnitelmat ja kehityskohteet. YJH-ohjelmat toimitetaan työ- ja elinkeinoministeriölle.

## 9 TIEDOT MAHDOLLISESTI SUOMEN VALTION RAJAT YLITTÄVISTÄ YMPÄRISTÖVAIKUTUKSISTA

Ainoat mahdolliset toiminnot tai toimenpiteet, joilla voi olla vaikutusta muihin maihin, liittyvät käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen radionuklidipäästöihin. Oletetuista häiriö- ja onnettomuustilanteista aiheutuvat annokset jäävät aivan loppusijoitusalueen tuntumassakin pienemmiksi kuin vaatimusten mukainen raja-arvo. Naapurimaissa annokset olisivat useita kertaluokkia pienemmät; etäisyys Olkiluodosta esimerkiksi Ruotsin mantereelle on yli 200 kilometriä. Hankkeella ei arvioida olevan merkittäviä haitallisia rajat ylittäviä ympäristövaikutuksia missään olosuhteissa.

## 10 HAITTOJEN EHKÄISEMINEN JA LIEVENTÄMINEN

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suunnittelun ja ympäristövaikutusten arviointityön aikana on selvitetty mahdollisuudet ehkäistä, rajoittaa tai lieventää hankkeen haittavaikutuksia suunnittelun tai toteutuksen keinoin. Loppusijoituksen käyttööminnin ajalle on laadittu ympäristön monitorointi- ja säteilyvalvontaohjelmat, joilla tarkkaillaan loppusijoituksen vaikutuksia ympäristöön. Loppusijoitustoiminnan odotettavissa olevat vaikutukset ympäristöön ovat vähäisiä.

### 10.1 SÄTEILYSUOJELULLISET SUUNNITTELUPERUSTEET

Loppusijoituksesta ei saa millään tarkasteluajanjaksolla aiheutua sellaisia terveydellisiä tai ympäristöllisiä vaikutuksia, jotka ylittäisivät loppusijoituksen toteutusajankohtana hyväksyttävänä pidettävän enimmäistason. Kapselointi- ja loppusijoituslaitos suunnitellaan siten, että todennäköisenä pidettävien kehityskulujen seurauksena aiheutuvat säteilyvaikutukset eivät ylitä edellä esitettyjä enimmäisarvoja.

#### Radioaktiivisten aineiden vapautumisen rajoittaminen

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttötöimet sekä sen rakenteet ja järjestelmät suunnitellaan siten, että radioaktiivisten aineiden vapautuminen laitostiloihin ja ympäristöön estyy tai sitä rajoitetaan kaikin käytännöllisin keinoin. Laitoksella on järjestelmät, joilla otetaan talteen käsittelytiloihin vapautuneet radioaktiiviset aineet, puhdistetaan pinnat niille levinneistä radioaktiivisista aineista sekä käsitellään ja pakataan kertyneet radioaktiiviset jätteet asianmukaisesti.

Sellaisissa laitoksen tiloissa, joiden ilmatilaan voi joutua merkittäviä määriä radioaktiivisia aineita, on ilmastointi- ja suodatusjärjestelmät, joiden tehtävä on:

- vähentää radioaktiivisten aineiden pitoisuuksia näissä tiloissa,
- estää radioaktiivisten aineiden leviäminen

muihin laitostiloihin,

- estää radioaktiivisten aineiden pääsy ympäristöön.

Nämä ilmastointi- ja suodatusjärjestelmät toimivat suunnitellulla tehollaan myös odotettavissa olevan käyttöhäiriön tai oletetun onnettomuuden tilanteissa.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ilmastointijärjestelmien suunnittelussa noudatetaan ohjetta soveltuvin osin YVL B.1. "Ydinvoimalaitoksen turvallisuussuunnittelu".

#### Työntekijöiden säteilyaltistuksen rajoittaminen

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen säännöllisessä käytössä olevat työtilat ja kulkuväylät suunnitellaan ja sijoitetaan siten, että ulkoisen säteilyn annosnopeus ja sisäisen säteilyaltistuksen vaara on mahdollisimman pieni. Merkittävästi radioaktiivisia aineita sisältävät rakenteet, järjestelmät ja laitteet sijoitetaan omiin huonetiloihinsa tai suojataan tehokkaasti. Säteilysuojaukset suunnitellaan riittävän turvallisuusmarginaalein. Lisäksi suuri osa toiminnoista on kauko-ohjattua.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen tilat luokitellaan arvioitujen säteilyolosuhteiden perusteella. Säteilysuojelun kannalta valvontaa vaativat tilat sijoitetaan omalle alueelleen, jonne kulkua voidaan rajoittaa ja valvoa tarkoituksenmukaisella tavalla. Maanalaisten tilojen valvonta-alueiden järjestelyissä otetaan huomioon näiden tilojen ja niissä tehtävien töiden erityispiirteet. Laitteiden käyttöä, tarkastuksia ja huoltoa varten suunnitellaan sellaiset edellytykset ja olosuhteet, että säteilyn alaisena tehtävien työvaiheiden määrät jäävät vähäisiksi ja kestoiltaan lyhyiksi.

Säteilyvalvonnassa käytetään hälyttäviä mittalaitteita siten, ettei kukaan altistu tietämättään merkittäville säteilyannoksille kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttötilanteissa.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen säteily-suojelujärjestelyjen suunnittelussa noudate-



taan Ydinturvallisuusohjeiden C-sarjan ohjeita.

### Säteilyvalvonta

Säteilyvalvonnan tarkoitus on ehkäistä ihmisiä, eläimiä ja ympäristöä saamasta merkittäviä säteilyannoksia valvomalla säteily- ja aktiivisuustasoa. Pääasiallisesti ilman aktiivisuustilaksi loppusijoituslaitoksessa oletetaan kalliotiloihin suotautuva radon. Henkilöstö saa säteilyannoksia radonin ohella loppusijoituskapseleista.

Kapselointilaitoksessa pääasialliset aktiivisuustilaksi ovat kuljetus- ja siirtosäiliön käsittely, polttoaine-elementtien kapselointi sekä huolto- ja korjaustyöt.

Valvonta-alueen poistoilman aktiivisuutta mitataan jatkuvasti. Jos ilmassa havaitaan käytetystä ydinpolttoaineesta peräisin olevaa aktiivisuutta, poistoilmastointi pysäytetään ja säteilyvuodon lähde selvitetään. Loppusijoitustilan kapselivaraston ja kapselikuilun poistoilma kierrätetään kapselikuilun ja kapselointilaitoksen valvonta-alueen ilmastoinnin kautta. Jos ilman radonpitoisuus loppusijoituslaitoksessa ylittää sallitun rajan, ilmanvaihdon tehoa lisätään.

Käytännössä ihmiset voivat saada säteilyannoksia siirtosäiliön ja loppusijoituskapselin suorasta säteilystä, ei siis päästöjen seurauksena. Tämä tarkoittaa sitä, että loppusijoituskapselin siirtoreitti muodostaa alueen, jolla ihmisten oleskelu ja kulku rekisteröidään ja saadut säteilyannokset mitataan luotettavasti. Käytännössä tällainen alue erotetaan omaksi suljetuksi alueeksi, valvonta-alueeksi, johon kuljetaan valvontapisteen kautta. Valvontapisteesä rekisteröidään henkilöstön ja vierailijoiden saamat säteilyannokset.

Loppusijoitustilan valvonta-alueen vuotovesiä ei ole tarvetta erottaa valvomattoman alueen vuotovesistä, koska vuotovesissä ei suurella varmuudella ole kontaminaatiota.

## 10.2 HÄIRIÖIDEN JA ONNETTOMUUKSIEN EHKÄISEMINEN JA SEURAUSTEN HALLINTA

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suunnitte-

lussa on varauduttu häiriöihin ja onnettomuuksiin. Johtavana periaatteena laitoksen kaikessa toiminnassa on onnettomuuksien ehkäisy.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen häiriötöntä käyttöä koskevien turvallisuusvaatimusten täyttyminen osoitetaan analyysien ja todennetaan laitoksen koekäytön yhteydessä. Myös käyttöhäiriöiden ja onnettomuuksien varalle suunniteltujen turvallisuusjärjestelmien toimivuus todennetaan mahdollisuuksien mukaan koekäytön yhteydessä. Koekäyttöä koskevat vaatimukset esitetään ohjeessa YVL A.5, ”Ydinlaitoksen rakentamistoiminta”.

Odotettavissa olevia käyttöhäiriöitä ja oletettuja onnettomuuksia koskevien turvallisuusmääräysten täyttyminen osoitetaan analyysien, joissa on otettu huomioon erityyppisten kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella mahdollisten häiriöiden ja onnettomuuksien luonne ja vakavuus. Näiden tapahtumien edustavuuden kannalta on myös olennaista, että kunkin turvallisuusjärjestelmän tehtävää ja mitoitusta eniten rajoittavat tapahtumat analysoidaan. Turvallisuusvaatimusten täyttyminen osoitetaan ensisijaisesti deterministisillä turvallisuusanalyysillä. Nämä analyysit esitetään lopullisen turvallisuusselosteen yhteydessä.

### Kapselien vioittumisen estäminen

Kapselien valmistukseen, täyttöön ja sulkemiseen sovelletaan laadunvarmistus- ja tarkastusohjelmaa, jolla varmistetaan, että loppusijoituskapselit ovat loppusijoitustiloihin siirrettäessä eheitä, tiiviitä ja että ne muidenkin ominaisuuksiensa suhteen täyttävät niille asetetut vaatimukset.

Kapselien loppusijoitustoiminta tapahtuu tiloissa, jotka on luokiteltu säteilyn kannalta valvotuiksi tiloiksi, ja loppusijoitustilojen rakentaminen puolestaan tapahtuu säteilyn suhteen valvomattomalla alueella. Valvottu ja valvottoman alue erotetaan fyysisesti toisistaan ja niille tapahtuvat tavara- ja materiaalikuljetukset tapahtuvat eri reittejä pitkin.

Louhittavien tunnelien ja kapseleita sisältävien loppusijoitustunnelien väliin jätetään louhintatärintä vaimentava riittävä suojaetäisyys. Rakennustarvikkeet, koneet, räjähdysaineet ja louhe kuljetetaan ajotunnelin kautta. Loppusijoitusreikien ja -tunneleiden täyttömateriaalit

kuljetetaan ajotunnelin kautta.

Loppusijoituskapselit kuljetetaan kapselikuilun kautta. Kapselin siirtäminen maanpinnalta loppusijoitusvyöhykkeelle tapahtuu luotettavasti yksittäisvikasietoisella kapselihissillä. Luotettavuus, käytettävyys ja turvallisuus varmistetaan ydinlaitokselle vaadittavin kunnossapito- ja määräaikaiskoestuksin sekä varautumalla kuviteltavissa oleviin onnettomuuskenaarioihin.

### Kriittisyysonnettomuuden estäminen

Sellaisten polttoainekeskittymien muodostuminen, joissa hallitsematon neutronien ylläpitämä fissioiden ketjureaktio on mahdollinen, estetään rakenteellisin ratkaisuin.

Käytettyjen polttoaine-elementtien siirtosäiliöt, varastotilat ja käsittelylaitteet sekä kapselit suunnitellaan siten, ettei kriittisiä polttoainekeskittymiä muodostu missään käyttötilanteessa, mukaan lukien odotettavissa olevat käyttöhäiriöt ja oletetut onnettomuudet. Loppusijoitetut kapselit säilyttävät alikriittisyytensä myös pitkällä aikavälillä tilanteissa, joissa kapselin sisärakenteet ovat syöpyneet ja se on täyttynyt pohjavedellä. Kriittisyysturvallisuuskäytännöiden oletukset (esimerkiksi polttoaineen väkevöintiaste ja poistopalama sekä efektiivisen kasvutekijän turvamarginaali) valitaan konservatiivisesti.

### Palo- ja räjähdysvaaran ehkäiseminen

Kapselointi- ja loppusijoituslaitos suunnitellaan siten, että tulipalon todennäköisyys on pieni ja tulipalon seuraukset turvallisuuden kannalta vähäiset. Myös räjähdykset, jotka voisivat vaarantaa polttoaine-elementtien, kapselien tai radioaktiivisia aineita sisältävien laitteiden tai tilojen eheyden, estetään luotettavasti.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen paloturvallisuussuunnittelun tavoitteena on:

- estää palojen syttyminen,
- havaita ja sammuttaa palot nopeasti,
- estää palojen leviäminen tiloihin, joissa se voisi vaarantaa käytetyn ydinpolttoaineen käsittelyn tai varastoinnin turvallisuuden,
- räjähdysvaaran minimointi.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksessa tulipalon ja räjähdysten ehkäiseminen perustuu

ensisijaisesti tilasuunnitteluun ja palotekniiseen osastointiin. Käytettävät materiaalit ovat pääsääntöisesti palamattomia ja kuumuutta kestäviä. Turvallisuuden kannalta tärkeisiin paloteknisiin osastoihin tai niiden välittömään läheisyyteen ei sijoiteta tarpeettomasti materiaaleja tai laitteita, jotka lisäävät palokuormaa tai aiheuttavat syttymis- ja räjähdysvaaraa. Tilat, joissa on huomattavia palokuormakeskittymiä, erotellaan omiksi paloteknisiksi osastoikseen.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitos varustetaan automaattisella paloilmoitinjärjestelmällä, joka suunnitellaan siten, että palo voidaan paikantaa riittävällä tarkkuudella. Lisäksi laitoksen tilat varustetaan tarvittaessa kohteeseen soveltuvalla sammutusjärjestelmällä ja operatiiviseen palontorjuntaan soveltuvalla alkusammutuskalustolla. Paloilmoitin- ja sammutusjärjestelmät toimivat tehokkaasti myös odotettavissa olevan käyttöhäiriön tai oletetun onnettomuuden sattuessa. Paloturvallisuussuunnittelun tavoitteena on noudatettu ohjetta YVL B.8 "Ydinlaitosten palontorjunta".

Kalliorakentamisessa käytettävät räjähdysaineet varastoidaan maanpinnalla omissa suojaetuissa varastoissaan. Kerralla ei kuljeteta sallittua määrää enempää räjähteitä ja räjähdysainevälikkeet sijoitetaan siten, että mahdollinen räjähdys ei vaaranna loppusijoituslaitoksen säteilyturvallisuutta. Räjähdysaineet kuljetetaan maanpinnalta loppusijoitustiloihin eri reittiä tai eri aikaan kuin radioaktiiviset aineet. Usein käytetään myös räjähdysainetta, jonka yksinään turvalliset ainesosat sekoitetaan räjähtäväksi yhdistelmäksi vasta räjäytyspaikalla. Louhintatyössä räjäytyskohteen ja loppusijoituskapselien sisältävien sijoitustunnelien väliin jätetään aina riittävä suojaetäisyys.

## 10.3 ULKOISTEN TAPAHTUMIEN HUOMIOON OTTAMINEN SUUNNITTELUSSA

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suunnittelussa on huomioitu mahdollisina pidettävistä luonnonilmiöistä ja muista laitoksen ulkopuolisista tapahtumista aiheutuvat vaikutukset. Huomioitettavia luonnonilmiöitä ovat ainakin salamanisku, maanjäristys, myrskytuuli, tulva sekä poikkeuksellinen ulkoilman lämpötila. Muita laitoksen ulkopuolisia tapahtumia ovat

ainakin sähkömagneettinen häiriö, lentokoneen törmäys, maastopalo ja räjähdys.

## 10.4 PITKÄAIKAISTURVALLISUUS

Pitkäaikaisturvallisuuden periaatteet, analyysien ja tulosten yhteenveto on esitetty tämän selvityksen luvussa 8.

## 10.5 KÄYTETYN YDINPOLTTO-AINEEN KULJETUSTEN VAIKUTUSTEN HALLINTA

Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetus kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen toiminnan aikana on erikseen luvanvaraista toimintaa ja Suomessa tarvittavat luvat ydinaineiden ja ydinjätteiden kuljetuksiin myöntää STUK. Kuljetukseen saa ryhtyä vasta sen jälkeen, kun STUK on todennut, että kuljetuskalusto ja kuljetusjärjestelyt sekä turva- ja valmiusjärjestelyt täyttävät niille asetetut vaatimukset ja että vahingonkorvausvastuu ydinvahingon varalta on järjestetty (YEA 56 §, 115 §). Kuljetusten turvallisuutta, turva- ja valmiusjärjestelyjä sekä valvontaa koskevat yksityiskohtaiset määräykset esitetään ohjeessa YVL D.2, "Ydinaineiden ja ydinjätteiden kuljetus". Kuljetuspakkaukselle, pakkauksen käsittelylle, onnettomuustilanteisiin varautumiselle ja dokumentaatiolle on asetettu korkeat vaatimukset. Kuljetuspakkaus ei saa menettää säteilysuojeluominaisuuksiaan pahimmassakaan ajateltavissa olevassa onnettomuudessa. Kuljetuspakkauksessa olevan käytetyn ydinpolttoaineen tulee kuljetuksen aikana pysyä kaikissa tilanteissa alikriittisenä. Kuljetuspakkaukselle asetetaan tavanomaista tiukemmat vaatimukset poikkeustilanteiden varalta.

Radioaktiivisten aineiden kuljetuksia koskevien säännösten tarkoituksena on taata kuljetusten turvallisuus siten, että kulloinkin käytettävä kuljetuspakkaus suojaa riittävästi ympäristöä ja kuljetettavia aineita niin, ettei ympäristölle aiheudu sallittua säteilyannosta suurempaa rasitusta. Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetuspakkaukseen sovelletaan niin sanotulle B(U)-tyypin säiliölle asetettuja säännöksiä, jotka perustuvat kansainvälisen atomienergiajärjestön IAEA:n (International Atomic Energy Agency) ohjeisiin radioaktiivisen materiaalin turvallisesta kuljettamisesta (IAEA 2018 *"Regulations for the*

*safe transport of radioactive material"*, SSR-6). Kuljetuksessa käytettävän pakkaustyyppin tulee kestää kokeet, joilla varmistetaan säiliötyypin soveltuvuus käytetyn ydinpolttoaineen kuljetukseen.

Normaalikuljetusten osalta edellytetään, että säteilyannosnopeus yhden metrin etäisyydellä pakkauksen ulkopinnasta ei saa ylittää arvoa 0,1 mSv/tunti eikä pinnalla arvoa 2 mSv/tunti. Lisäksi pakkauksen ja sen sisällä kuljetettavan ydinpolttoaineen tulee kestää kuljetuksessa normaalisti syntyvän tärinän aiheuttama materiaaleja väsyttävä kuormitus. Kuljetusympäristön lämpötilalla on myös merkitystä materiaalien vaurioitumistodennäköisyyden kannalta. Kuljetuksen aikana ympäristön lämpötila ei saa olla liian alhainen. Normaalikuljetuksissa pakkauksesta sallitaan vain hyvin pieni vuotovirtaus ympäristöön. IAEA:n vaatimusten mukaisesti kuljetuspakkauksen tulee kestää normaalikuljetuksessa:

- vesisuihku tunnin ajan,
- pudotus 0,3–1,2 metrin korkeudelta peräänantamattomalle alustalle,
- pakkauksen painoon nähden viisinkertainen levykuorma,
- tunkeumatesti, jossa 6 kilogramman terästanko pudotetaan yhden metrin korkeudelta pakkauksen sivuseinämää kohti.

Pakkauksen pintakontaminaatiosta (pakkauksen pinnalla mahdollisesti olevat radioaktiiviset aineet) aiheutuva aktiivisuus saa olla enintään 4 Bq/cm<sup>2</sup> ja erälle radionuklideille 0,4 Bq/cm<sup>2</sup>.

Poikkeustilanteiden varalta käytetyn ydinpolttoaineen kuljetuspakkauksen tulee täyttää huomattavasti tiukemmat vaatimukset eli sen tulee kestää muun muassa:

- pudotus peräänantamattomalle alustalle seurauksiltaan epäedullisimmalla kohtauskulmalla yhdeksän metrin korkeudelta,
- pudotus halkaisijaltaan 0,15 metrin terästangon päälle yhden metrin korkeudelta,
- altistuminen vähintään 30 minuutin ajan tulipalolle, jossa liekkien lämpötila on vähintään 800 °C,
- upotus 200 metrin syvyyteen vähintään tunnin ajaksi.

Poikkeustilanteisiin liittyvät testit pyrkivät kattamaan mahdollisten onnettomuustilanteiden synnyttämät mekaaniset ja termiset kuormitukset, kuten törmäysten aiheuttamat pakkaukseen kohdistuvat iskut ja palavia nesteitä kuljettavan ajoneuvon tulipalon. Lisäksi on otettava huomioon, että todellisuudessa kohde ei ole peräänantamaton. Yhdeksän metrin pudotuskokeessa kuljetuspakkaus saavuttaa iskeytymishetkellä lähes nopeuden 50 km/h, mikä käytännön onnettomuustilanteissakin on mahdollinen törmäysnopeus toiseen ajoneuvoon tai esteeseen. Kuljetuspakkauksessa olevan käytetyn ydinpolttoaineen tulee kuljetuksen aikana pysyä kaikissa tilanteissa alikriittisenä.

Maantiekuljetukset ovat valvottuja, jolloin kuljetuksen mukana seuraa tarvittava saattuehenkilöstö: varoitusajoneuvojen kuljettajat, poliisiajoneuvojen kuljettajat sekä tarvittavat muut henkilöt, kuten säteilyvalvoja. Suurempien taajamien läpiajon ajaksi tarvitaan liikenteenohjaukseen useita poliisipartioita. Käytettyä ydinpolttoainetta kuljetettaessa on saattueen mukana lisäksi turvahenkilöitä. Kuljetusten nopeusrajoitukset ovat alhaiset. Myös muut kuljetusvaihtoehdot ovat valvottuja.

## 10.6 LOUHINNASTA JA MURSKAUKSESTA AIHEUTUVIEN VAIKUTUSTEN HALLINTA

Louhinnan ja murskauksen aikaisen melun ja muun häiriön kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen lähialueella aiheuttamaa haittaa voidaan lieventää ajoittamalla työvaiheet päiväsaikaan. Louhekasaa käytetään murskauksessa melusuojana. Murskaamo ja louhekasaa voidaan sijoittaa niin, ettei melu- ja pölyalueille jää rakennuksia.

Olkiluodon seismisen järjestelmän avulla on mitattu loppusijoituslaitoksen ja kapselointilaitoksen rakennustyömaiden vaikutuksia kallio-perään. Olkiluodon tilaa seurataan jatkuvasti mittalaitteiden kautta ja järjestelmän kautta pystytään seuraamaan reaaliajassa, mitä työmailla on tapahtunut. Loppusijoituslaitoksen työmaan räjäytykset ovat maksimissaan olleet  $ML=1.4$  magnitudin luokkaa. Vastaavasti kapselointilaitoksen louhinnat  $ML=1.5$  magnitudin luokkaa. Molempien työmaiden aikana yli 99 % räjäytyk-

sistä jää alle  $ML=1.0$  magnitudin ja 90% jää alle  $ML=0.5$  magnitudin.

Merkittävimpiä havaintoja ovat olleet louhintaperäiset mikromaanjäritykset vuosina 2017 ja 2018 loppusijoituslaitoksella. Mikromaanjäritykset ovat olleet magnitudiltaan suurimmillaan  $ML=-0.5$ . Suhteessa louhinnan räjäytyksiin mikromaanjäritykset vapauttavat n. 1000 kertaa vähemmän energiaa kuin louhinnan räjäytykset. Tulokset raportoidaan säännöllisesti ja tiedot toimitetaan Säteilyturvakeskukselle.

## 10.7 MAANPINTAYHTEYKSIEN RAKENTAMINEN

Ajotunnelin suuaukon ja kuilujen yläpään sijainti on valittu niin, että ne ovat Korvensuon vesialtaan pinnan yläpuolella ja myös riittävästi merenpinnan yläpuolella, jotta ulkoisen häiriön seurauksena vesi ei tulvi ajotunneliin tai kuiluihin. Sisäänkäyntiaukon sijoittelussa on huomioitu myös olemassa olevat sähkövoimalinjat, muuntaja-asemat, vesialtaat, putkistot, tiet ja potentiaalisen loppusijoitusalueen sijainti kallio-perässä, jotta suuaukko sijaitsee edullisesti myös niiden suhteen. Kallio-perässä ajotunneli on sijoitettu siten, että kallion rikkonaisuusvyöhykkeitä läpäistään mahdollisimman vähän ja että tarvittavat tutkimukset haluttujen kallioaluiden karakterisointia varten voidaan toteuttaa.

## 10.8 KAPSELOINTILAITOKSEN VAIKUTUSTEN HALLINTA

Kapselointilaitos on suunniteltu turvallisuusmääräyksiä noudattaen siten, että radioaktiivisten aineiden pääsy ympäristöön häiriö- ja onnettomuustilanteissakin jää merkityksettömän pieneksi. Kaikki kapselointilaitoksen työvaiheet tehdään turvallisesti ilman merkittäviä päästöjä ja henkilöstön säteilyannoksia.

## 10.9 MAANALAISET LOPPU-SIJOITUSTILAT JA LOPPU-SIJOITUSTUNNELIEN SUOJAETÄISYYDET

Loppusijoitustiloja rakennettaessa ja suljettaessa pyritään säilyttämään kallion alkuperäiset ominaisuudet ja rajoittamaan muutokset mahdollisimman pienelle alueelle tunnelien ja



kuilujen ympäristössä. Esimerkiksi kallio louhitaan varovasti, jolloin louhinnan aiheuttama häiriövyöhyke jää mahdollisimman pieneksi. Häiriövyöhykkeen laajuuden selvittämiseksi on kehitetty menetelmä, jonka avulla voidaan seurata louhinnan toteutuvaa laatua (*Mustonen ym. 2010*). Vesivuotoja rajoitetaan välttämällä vettä johtavia rakenteita ja tiivistämällä vuoto-kohtia esimerkiksi injektoinnilla.

Loppusijoituksen käyttövaiheen aikana louhitessaan keskus- ja loppusijoitustunneleita louhintakohteen ja loppusijoitettavien tunnelien välille jätetään riittävästi suojaetäisyyttä työteknisistä ja yleisistä turvallisuussyistä johtuen. Tällöin louhittavasta loppusijoitustunnelista purkautuva räjäytyksen aiheuttama paineaalto ei vaurioita esimerkiksi keskustunnelissa olevaa valvonta-alueen ja valvomattoman alueen välistä seinää. Lisäksi, pitkäaikaisturvallisuuden näkökulmasta jätetään riittävät turvaetäisyydet loppusijoitustunnelien välille sekä kaliooperään kairattuihin tutkimusreikiin.

#### 10.10 LOPPUSIJOITUSPAIKAN SOVELTUVUUDEN ARVIOINTIPERUSTEET

Loppusijoituspaikan luonnollisena vapauses-teenä toimivalta peruskalliolt vaaditut ominaisuudet ovat kirjattu STUKin määräykseen Y/4/2018 sekä YVL-ohjeeseen D.5. Kirjattujen turvallisuusmääräysten lähtökohtana on, että loppusijoituspaikan peruskallion on asetettava ja säilytettävä suotuisat ominaisuudet kapseli-, puskuri- ja loppusijoitustunnelin täyttö-järjestelmille. Lisäksi kalliooperän on eristettävä loppusijoituslaitos pintaympäristön tai ihmisen aiheuttamilta vaikutuksilta, samalla estäen tai hidastaen haitallisten aineiden leviämistä pintaympäristöön. Loppusijoituspaikka ei ole soveltuva tarkoitukseensa mikäli siihen liittyy joitakin pitkäaikaisturvallisuuden kannalta ilmeisen epäedullisia tekijöitä. Loppusijoituspaikan soveltumattomuutta ilmentäviä tekijöitä voivat olla muun muassa hyödyntämiskelpois-ten luonnonvarojen läheisyys, epätavallisen suuret kalliojännitykset suhteessa kallion lujuu-teen, korkea seisminen aktiivisuus tai pohjave- siominaisuuksiltaan poikkeuksellisen epäsu- tuisat olosuhteet.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslai-

toksen asemointi perustuu paikkatutkimusten pohjalta määritettyjen turvallisuusluokaltaan CV2 rakenteiden rajaamien tilavuuksien vält- tämiseen, ja rakennettavien loppusijoitustilo- jen asemointia ohjaa paikka- ja turvallisuus- tutkimusten pohjalta tehty kallioluokitus ja sen soveltuvuus-kriteerit. Loppusijoitustilojen asemointiin ja suunnitteluun vaikuttavissa so- veltuvuus-kriteereissä otetaan huomioon muun muassa peruskalliossa havaittu luonnollinen rakoilu eri kokoluokissa, ja peruskalliossa ha- vaittu vedenjohtavuus. Loppusijoituslaitos ja kapselien asemointi suunnitellaan niin, että kapselit sijoitetaan soveltuvuusluokittelussa määritettyihin ehjiin kalliotilavuuksiin, jolloin merkittävät peruskalliossa sijaitsevat hauraat rakenteet, tai näihin linkittyvät suuret veden- johtavuudet eivät osu sijoitettujen kapseli- den kohdalle. Lisäksi laitoksen kokonaispinta- ala ja kapselietäisyydet suunnitellaan ottaen huomioon peruskallion lämmönsiirtokyky ja kapselien jälkilämpöteho, jotta sijoitettujen kapselien lämpötila ei pääse kasvamaan yli määritetyn raja-arvonsa.

Loppusijoitustilojen eri osien rakentaminen to- teutetaan vaiheittain siten, että louhittavaksi suunnitellun kalliotilavuuden soveltuvuusluokit- teluun vaaditut tutkimukset ja alustava kallion soveltuvuusluokittelu tehdään ennen kyseisen kalliotilavuuden rakentamisen aloittamista. Loppusijoitustiloja ympäröivän kallion raken- teet ja ominaisuudet, joilla voi olla merkitystä pohjaveden virtaukseen, kallioilikuuntoihin tai muihin pitkäaikaisturvallisuuden kannalta tär- keisiin seikkoihin, määritetään ja luokitellaan. Kallion soveltuvuusluokittelua tarkennetaan louhintojen ja rakentamisen aikana, ja maan- alaisten tilojen sijoittelua varaudutaan muut- tamaan, mikäli suunniteltuja tiloja ympäröivän kallion laatu osoittautuu merkittävästi suunnit- teluperusteita tai alustavaa soveltuvuusarviota epäedullisemmaksi. Kukin käytettyä ydinpolt- toainetta sisältävä loppusijoituskapseli sijoite- taan vain soveltuvuusluokittelun hyväksymään, ja soveltuvuus-kriteerit täyttävään kalliotilavu- teen ja loppusijoitusreikiin.

#### 10.11 LOPPUSIJOITUSTILOJEN JA MAANALAISEN LOPPU- SIJOITUSLAITOKSEN SULKEMINEN

Loppusijoitustunnelit täytetään ja tulpataan loppusijoituksen (kapselin ja puskurimateriaalin asennuksen) jälkeen ja tunnelintäyttöä tehdään vaiheittain koko laitoksen toiminnan ajan. Keskustunneleita ja teknisiä tiloja suljetaan sitä mukaa kun käyttötoiminta kyseisellä alueella päättyy. Loppusijoitustoiminnan päättyessä suljetaan loput keskustunnelit, ajoneuvoyhteydet ja tekniset tilat sekä maanpintayhteydet, kuten ajotunneli, kuilut ja avoimet tutkimusreiät.

Tunneleiden täytön ja tulpparakenteiden materiaaleina toimivat savi ja kiviaines sekä betonirakenteet estävät pääsyn loppusijoitusalueelle tilojen sulkemisen jälkeen. Käytettyjen materiaalien ominaisuudet kuten alhainen vedenjohtavuus ja hyvä kestävyysyvyllä kallioperässä luovat suotuisat olosuhteet loppusijoituksessa käytettäville teknisille vapautumisesteille. Alhainen vedenjohtavuus estää tunneleita toimimasta virtausreittinä pohjavedelle

## 10.12 VAIKUTUKSET POHJAVESIIN

Maanalaisia tiloja tiivistetään sementti- tai siliikainjektoinneilla, joiden avulla avointen tunneleiden vaikutukset pohjaveden pinnankorkeuteen jäävät vähäisiksi. Myös painekorkeuden muutoksia rajoitetaan injektioimalla mahdollisimman tehokkaasti erikseen määritellyt vuotokohdat. Paikallisia pohjaveden painekorkeuden suuriakaan muutoksia ei voida kokonaan välttää, koska pieneksikin jäävä vuoto on aiheuttanut ja saattaa aiheuttaa suuria pohjaveden paineen alenemia etenkin ONKALON lähellä, mutta paikoin myös useiden satojen metrien päässä. Tämä johtuu siitä, että vuotava rakenne on rajallinen, eikä sillä ole yhteyksiä korvaavaa vettä tuottaviin kallio-osuuksiin. Vuotovesivirtausten kokonaismäärää rajoitetaan myös siten, että käyttövaiheen aikana kerrallaan avoimena olevia kalliotilavuuksia minimoidaan ja avoinna olevien tilojen vesivuotoja hallitaan injektioimalla. Tilojen asemoinnilla pyritään välttämään kaikkein voimakkaimmin vettä johtavia kallioperän piirteitä. .

## 10.13 LAITOKSEN VALVONTA

Kapselointi- ja loppusijoituslaitos jaetaan käyttövaiheessa tarkkailualueeseen, valvonta-alueeseen ja valvomattomaan alueeseen.

Valvonta-alueelle kulkua valvotaan säteilysuojelullisista syistä. Kaikki käytetyn polttoaineen ja loppusijoituskapseleiden käsittely tapahtuu aina valvonta-alueella. Valvomattomalla alueella tehdään kapselointiprosessin valvonta, maanalaisten tilojen louhinta- ja rakennustyöt sekä tunnelien täyttötöyt.

Valvonta-alueen ilmastointi erotetaan valvomattoman alueen ilmastoinnista, jotta loppusijoituskapseleiden käsittely- ja asennusolosuhteet säilyisivät puhtaina. Poistoilman aktiivisuutta valvonta-alueella mitataan. Kriittisissä työvaiheissa poistoilman suodatus kytketään ennakoon päälle. Radonaltistusta seurataan radonpitoisuuksia tarkkailemalla ja säätämällä ilmanvaihtomääriä kaikissa loppusijoitustiloissa.

Kulunvalvonnan tarkoituksena on olla selvillä siitä, mitä kapselointi- ja loppusijoituslaitoksessa kullakin hetkellä työskentelee sekä kontrolloida kulkua sekä valvonta-alueelle että valvomattomalle alueelle. Asianmukainen kulunvalvonta on säteilysuojelusyiden lisäksi myös henkilöturvallisuuskysymys, kun kyseessä ovat säteilyvalvottavat ja syvällä kallioperässä olevat tilat. Valvonta-alueen ja valvomattoman alueen rajan ylitys maan alla on normaaliolosuhteissa kielletty. Hätätilanteessa, esimerkiksi tulipalotilanteessa, siirtyminen valvonta-alueelta valvomattomalle alueelle tai päinvastoin on kuitenkin sallittua.

Kunnonvalvonnan tarkoituksena on valvoa käyttövaiheen aikana kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ja sen järjestelmien kuntoa. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen kuntoa valvotaan mittauksin, määrääaikaiskokein ja tarkastuksin. Loppusijoitustilan kuntoa valvotaan mittaamalla vuotovesimäärää, kallion jännityksiä ja siirtymiä loppusijoitustiloissa. Myös instrumentointijärjestelmän avulla kerätään ja käsitellään tietoa loppusijoitustilan kunnosta sekä valvotaan, että työturvallisuus säilyy hyvänä loppusijoitustilassa.

Säteilyturvakeskus valvoo ydinjätteen käsittelyn, varastoinnin ja loppusijoituksen turvallisuutta. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen asianmukaisen suunnittelun varmistamiseksi viranomaiset ovat asettaneet ydinjätteen tuottajille raportointivelvoitteita. Säteilyturvakeskus tarkastaa ydinjätteiden turvalliseen loppusi-

joittamiseen tähtäävät tutkimukset ja tekniset suunnitelmat muiden asiantuntijaorganisaatioiden avustamana ja antaa palautteen hankkeen toteuttajalle.

#### 10.14 SOSIAALISET VAIKUTUKSET

Sosiaalisia vaikutuksia pyritään vähentämään minimoimalla loppusijoituksen jo lähtökohdaisesti vähäiset vaikutukset vesistöihin, virkistyskäyttöön ja maisemaan. Turvallisuuteen liittyvää epätietoisuutta pyritään vähentämään riittävällä tiedottamisella

## 11 HANKKEEN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN SEURANTA

### 11.1 KUORMITUS- JA VAIKUTUS-TARKKAILU LOPPUSIJOITUS LAITOKSEN RAKENTAMISEN JA TOIMINNAN AIKANA

Posiva seuraa loppusijoitustoiminnan ympäristövaikutuksia osana Olkiluodon Monitorointiohjelmaa (OMO) (Posiva 2021a), jonka suunnittelussa on otettu huomioon tässä ja aiemmissa arviointiselostuksissa tunnistetut mahdolliset vaikutukset ympäristöön. Ympäristövaikutusten seurannan tavoitteena on

- tuottaa tietoa hankkeen ympäristövaikutuksista
- selvittää, mitkä muutokset ovat seurauksia hankkeen toteuttamisesta
- selvittää, miten vaikutusten arvioinnin tulokset vastaavat todellisuutta
- selvittää, miten mahdollisten haittojen lieventämistoimet ovat onnistuneet
- käynnistää tarvittavat toimet, jos ennakoimattomia, merkittäviä haittoja esiintyy.

Olkiluodon monitorointiohjelma - 2022 (Posiva 2021a) toimii Säteilyturvakeskuksen ydinturvallisuusohjeen (YVL) D.5, 706 h:n mukaisena, lopullisen turvallisuusselosteen yhteydessä esitettävänä yksityiskohtainena selvityksenä säteilyturvakeskuksen määräyksen Y/4/2018, 33 § sekä YVL-ohjeiden kohtien D.5, 506 ja D.7, 829 mukaisesta monitorointiohjelmasta. Ohjelma on laadittu vapautumisesteiden toimintakykyn varmentamiseksi ja sen tarkoituksena on varmistaa sijoituspaikan ja kallion soveltuvuutta loppusijoitukseen sekä kerätä turvallisuuden kannalta merkittäviä tietoja kalliooperästä ja vapautumisesteiden toimintakyvystä. Lisäksi ohjelman kautta toteutetaan Posivan hankkeen ympäristövaikutusten seuranta.

YVL D.5, 506 f (STUK 2018 ) mukaisesti monitorointiohjelmaan on sisällytettävä pintaympäristön monitorointia. Lisäksi ympäristönsuojelulaki (527/2014) edellyttää toiminnanharjoittajan olevan selvillä toimintansa ympäristövaikutuksista. Erityisesti pintaympäristön osa-alueen

osalta monitoroitavia parametreja ja prosesseja on johdettu pitkäaikaisturvallisuuden sijaan ympäristövaikutusten arvioinnin ja seurannan näkökulmasta. Ydinenergialain (990/1987) alla arvioitavien, loppusijoituslaitoksen käyttö- ja pitkäaikaisturvallisuuteen liittyvien prosessien lisäksi monitorointiohjelman tulee kerätä tietoa hankkeen ei-radiologisista, ympäristönsuojelulain (527/2014) alla arvioitavista ja seurattavista ympäristövaikutuksista. Tällaisia vaikutuksia ovat esimerkiksi sellaiset prosessit, jotka aiheuttavat tai voivat aiheuttaa ympäristövaikutuksia, mutta niillä ei ole merkittävää vaikutusta käyttö- tai pitkäaikaisturvallisuudelle. Pintaympäristön monitorointiin kuuluvat esim. pintavallinnassa ja maanalaisten tilojen poistovesissä havainnoitavat ilmiöt, kiviaineksen louhintaan, kuljetukseen, murskaukseen ja läjitykseen liittyvät ilmiöt tai teolliseen toimintaan liittyvä melu. Lisäksi pintaympäristön monitoroinnin kautta tuotetaan taustatietoja myös muille monitoroinnin osa-alueille esim. meteorologisten havaintojen ja maankäytön osalta. Maaperän pohjaveden pinnankorkeutta, kalliopohjaveden painetta ja virtauksia, pohjaveden kemiallista koostumusta monitoroidaan osana hydrogeokemian sekä hydrologian ja hydrogeologian monitoroinnin osa-alueita, lisäksi ympäristön osalta monitorointi sisältää myös muuta pohjavesiin liittyvien muuttujien seuranta ja kallio-  
perän vakauden seuranta.

#### 11.1.1 TÄHÄN MENNESSÄ HAVAITUT VAIKUTUKSET

Ympäristövaikutusten seuranta osana Posivan toteuttamaa monitorointiohjelmaa on ollut käynnissä ONKALON rakentamisen alusta lähtien. Monitoroinnin tähänastisia tuloksia ja muita havaintoja ja arvioita on esitetty yksityiskohtaisemmin kappaleissa 6.3 ja 6.4. Yhteenvedona voidaan todeta, että vaikka kalliopohjaveden paineessa, virtauksessa ja kemiallisessa koostumuksessa on ONKALON louhinnan edetessä tapahtunut huomattaviakin muutoksia, vaikutukset pintaympäristöön tai pohjavesiin



ovat olleet ympäristövaikutusten näkökulmasta korkeintaan vähäisiä. Viimeisimmät monitorointitulokset on esitetty raporteissa Haapalehto et al. 2020 , Sojakka et al. 2020 , Yli-Kaila et al. 2020 ja Vaittinen et al. 2020 .

Mittausten perusteella Olkiluodon suurin melun lähde ovat toiminnassa olevat ydinvoimalaitokset ja liikenne Olkiluodontien, kun taas kapealointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamisesta johtuva melu on merkittävää vain pienellä alueella. Rakentamisesta peräisin oleva pöly näkyy Olkiluodosta kerättyjen neulasnäytteiden analyysituloksissa, mutta sillä ei nähdä olevan mitään pysyviä vaikutuksia (Aro et al. 2018 a & b, Sojakka et al. 2019). Joissakin mittauspisteissä lähellä ONKALOA on havaittu merkkejä vähäisestä pohjaveden pinnan alenemisesta, joka voi johtua pohjaveden virtauksesta ONKALOON. Vaikutusta pinnankorkeuteen esimerkiksi saaren itäosassa olevissa porakaivoissa ei kuitenkaan ole havaittu.

### 11.1.2 SÄTEILYVAIKUTUSTEN SEURANTA

Säteilyvaikutusten seuranta perustuu radioaktiivisten aineiden päästöjen ja pitoisuuksien sekä säteilyn annosnopeuden mittauksiin. Pitoisuuksia ja annosnopeuksia arvioidaan myös laskennallisesti muun muassa päästö- ja säätietojen avulla, koska on odotettavissa, että laitoksesta peräisin olevia radioaktiivisia aineita ei pienen määrän takia voida ympäristössä havaita. Odotettavissa olevat säteilyvaikutukset ovat niin pienet, ettei erityistä väestön terveydentilan seurantaa katsota tarpeelliseksi: mahdollisia terveyshaittoja ei kyettäisi havaitsemaan normaalin sairastavuuden joukosta. Tarvittaessa ympäristön väestön terveydentilan vertaaminen kauempana asuvaan väestöön on kuitenkin mahdollista esimerkiksi Kansanterveyslaitoksen ylläpitämien tietojen avulla.

Radioaktiivisten aineiden pitoisuuksien ja säteilyn annosnopeuden seuranta aloitetaan jo ennen loppusijoitustoimintaa vertailutietojen saamiseksi eri suunnilta ja etäisyyksiltä. Pitoisuuksia mitataan ilmasta, vedestä, maaperästä, eliöistä, maataloustuotteista, keräilytuotteista ja riistasta. Myös säätietoja ja muita vaikutusten laskennallisessa arvioinnissa tarvittavia tietoja kerätään, kuten jo nykyisinkin.

Loppusijoitusvaiheessa mitataan radioaktiivisten aineiden päästöt ympäristöön. Tyypillisiä mittaustaikkoja ovat ilmastointi-ilman ja jätevesien poistoreitit. Jo aloitettuja pitoisuuksien ja annosnopeuden mittauksia jatketaan.

### 11.1.3 MUIDEN VAIKUTUSTEN SEURANTA

Monitorointiohjelmaan kuuluu seuraavien, muiden kuin säteilyyn liittyvien, kohteiden seuranta hankkeen ympäristövaikutusten havaitsemiseksi:

- melu
- valumavedet läjitysalueelta ja prosessivesi ONKALOSTA
- kasvillisuus ja eläimistö
- kaivoveden laatu ja määrä
- pohjaveden pinnankorkeus
- pohjaveden kemiallinen koostumus

Lisäksi tarkkaillaan monia kallioperän ilmiöitä ja ominaisuuksia kuten pohjaveden kemialla, painekorkeutta ja virtausta, maankohoamista ja muuta maankuoren liikettä sekä rakentamisessa käytettyjen vieraiden aineiden (TLTA) määriä. Näiden muutoksilla ei kuitenkaan ole välittömiä ympäristövaikutuksia, ja niiden tutkimus liittyykin ensisijaisesti loppusijoituspaikan suotuisten olosuhteiden säilymisen seurantaan ja pitkäaikaisturvallisuuden arvioimiseen.

### 11.2 SULKEMISEN JÄLKEINEN SEURANTA

Posivan seurantamittaukset lopetetaan, kun laitos on suljettu STUKin hyväksymällä tavalla nykyisten suunnitelmien mukaan 2120-luvulla. Sulkemisvaiheessa Posiva laatii ehdotuksen seurantaohjelmaksi sulkemisen jälkeistä aikaa varten ja suorittaa valtiolle kertakorvauksen. Tämän rahasumman viranomaiset käyttävät tarpeelliseksi katsomaansa seurantaan ja valvontaan. Loppusijoitus tulee kuitenkin tehdä siten, että se on turvallista myös ilman jälkiseurantaa.

Kallioperän olosuhteiden seurantaa on selvitetty useissa kansainvälisissä hankkeissa. Sulkemisen jälkeinen seuranta voi sisältää muun

muassa radioaktiivisuuden mittausta maanpinnalta ja syvistä kairareistä. Reistä voidaan myös seurata pohjaveden pinnankorkeuksia, virtauksia, kemiaa, lämpötilaa ja niin edelleen. Maan pinnalta voidaan geofysikaalisilla mittauksilla seurata mikromaanjärityksien esiintymistä. Ydinmateriaalin koskemattomuuden vaarantaminen lainvastaisella toiminnalla vaatisi maanpinnalla näkyviä toimia. Toimet voitaisiin havaita ja niitä voitaisiin valvoa kansainvälisesti esimerkiksi satelliiteista.

## 12 KIRJALLISUUS (KAIKKI)

- Aaltonen, I., Lahti, M., Engström, J., Mattila, J., Paananen, M., Paulamäki, S., Gehör, S., Kärki, A., Ahokas, T., Torvela, T., Font, K. 2010. Geological Model of the Olkiluoto Site, Version 2.0. Posiva Working Report 2010-70, pp. 51. Posiva Oy, Eurajoki, Finland.
- Aaltonen, I. (ed.), Engström, J., Front, K., Gehör, S., Kosunen, P., Kärki, A., Paananen, M., Paulamäki, S., Mattila, J. 2016. Geology of Olkiluoto. Posiva-raportti 2016-16.
- Ahjos, T. & Uski, M., 1992. Earthquakes in northern Europe in 1375-1989. Tectonophysics, 207:1-23. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(92\)90469-M](https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90469-M)
- Aho, J. 2008. Käytetyn ydinpolttoaineen turvallista loppusijoitusta koskeva informaatio ja luottamus Eurajoen kuntalaisten keskuudessa. Informaatiotutkimuksen pro gradu -työ. Tampereen yliopisto, Informaatiotutkimuksen laitos. Toukokuu 2008.
- Alho, P., Sojakka, T. 2018. Summary of Breeding Bird Counts in the Olkiluoto Archipelago. Posiva Working Report 2017-08, 78 s.
- Andersson, J., Ahokas, H., Hudson, J., Koskinen, L., Luukkonen, A., Löfman, J., Keto, V., Pitkänen, P., Mattila, J., Ikonen, A., Ylä-Mella, M. 2007. Olkiluoto Site Description 2006. Posiva Oy, Raportti 2007-03.
- Aro, L., Lindroos, A.-J., Rautio, P., Ryyänänen, A., Korpela, L., Mäkinen, V., Viherä-Aarnio, A. & Salemaa, M. 2018a. Results of forest monitoring on Olkiluoto Island in 2015. Posiva Oy, Working Report 2016-55. 197 p.
- Aro, L., Lindroos, A.-J., Rautio, P., Ryyänänen, A., Korpela, L., Viherä-Aarnio, A. & Salemaa, M. 2018b. Results of forest monitoring on Olkiluoto Island in 2016. Posiva Oy, Working Report 2017-28. 164 p.
- Corporate Image Oy 2007. Kuntaimagotutkimus 2006. Posiva Oy, Työraportti 2007-73.
- Eronen, M., Glückert, G., van de Plassche, O., van de Plicht, J., Rantala, P. 1995. Land uplift in the Olkiluoto-Pyhäjärvi area, southwestern Finland, during last 8000 years. Nuclear Waste Commission of Finnish Power Companies (YJT), Helsinki, Finland. Report YJT-95-17, 26 p.
- Eurajoen kunta 2012. Tilastotietoa. [<http://www.eurajoki.fi/html/fi/Tilastotietoa.html>] (huhtikuu 2012)
- Haapalehto, S., Malm, M., Kaisko, O., Lahtinen, S., Saaranen, V. 2021. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2020, Rock Mechanics. Posiva Working Report 2021-47. Posiva Oy, Olkiluoto.
- Haapanen, A. (ed.) 2011. Results of monitoring at Olkiluoto in 2010: Environment. Working Report 2011-45. Posiva Oy, Eurajoki, Finland. 154 p.
- Haapanen, R., Aro, L., Helin, J., Hjerpe, T., Ikonen, A.T.K., Kirkkala, T., Koivunen, S., Lahdenperä, A.-M., Puhakka, L., Rinne, M. & Salo, T. 2009. Olkiluoto Biosphere Description 2009. Posiva Report 2009-2, 416 p.
- Haapanen, R., Aro, L., Ilvesniemi, H., Kareinen, T., Kirkkala, T., Lahdenperä, A.-M., Mykrä, S., Turkki, H., Ikonen, A. 2007. Olkiluoto Biosphere Description 2006. Posiva Oy, Raportti 2007-02.
- Helsingin Yliopisto 2012. Geotieteiden ja maantieteen laitos. [<http://www.helsinki.fi/geo/seismo/maanjaristykset/suomi.html>] (huhtikuu 2012)
- Helsingin yliopisto 2007. Seismologian laitos. [<http://www.seismo.helsinki.fi/index.htm>].
- Hirvonen, H., Lehtinen, A., Hatanpää, E. 2006. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2005. Eurajoki, Finland, Posiva Oy. Working Report 2006-67. 174 p.

Hirvonen, H. & Mäntynen, M. (Ed.). 2005. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2004 –Geochemistry. Eurajoki, Finland. Posiva Oy. 74 p. Working Report 2005-29. 74 p.

ICRP 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. ICRP Annals of the ICRP. Volume 37 Nos. 2-4 2007.

Ikonen, K. 2007. Far-Field Thermal-Mechanical Response of One- and Two-Storey Repositories in Olkiluoto. Posiva Oy. Työraportti 2007-29.

Ikäheimonen T. K., 2002. Säteily ja sen havaitseminen, Suureet ja yksiköt. Säteilyturvakeskus.

Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy & Ramboll Oy 2007a. Olkiluodon osayleiskaava, maisema- ja kulttuurihistoriaselvitys. 25.1.2007. 11 s. + liitteet.

Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy & Ramboll Oy 2007b. Olkiluodon osayleiskaava, luonnon perustilaselvitys. 29.1.2007. 25 s. + liitteet.

Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2006a. Olkiluodon meluselvitys 2006. Teollisuuden Voima Oy. 18.8.2006.

Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy 2006b. Arviointi vaikutuksista Liiklankarin Natura 2000 -alueen luontoarvoihin. Teollisuuden Voima Oy. 12.12.2006.

ISUH (Institute of Seismology, University of Helsinki), 2019a. Final and preliminary bulletins in Nordic Format, <http://www.seismo.helsinki.fi/bulletin/list/norBull.html> , accessed 26.8.2019

ISUH (Institute of Seismology, University of Helsinki), 2019b. Catalog of earthquakes in Finland 1610 – 1999, [http://www.seismo.helsinki.fi/bulletin/list/catalog/Suomi\\_n.html](http://www.seismo.helsinki.fi/bulletin/list/catalog/Suomi_n.html) , accessed on 26.8.2019

Kaisko, O., Malm, M. 2019. Microearthquakes During the Construction and Excavation of the Final Repository for the Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto in 2002-2018. Posiva Working Report 2012-05.

Kala- ja vesitutkimus Oy, Mikkola-Roos, M., Hirvonen, H. 1996. Toukolanranta. Rakentamisen vaikutukset. Ekologinen näkökulma II. Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston julkaisuja 1996:20.

Kari, M., Kojo, M. & Litmanen, T. 2010. Community Divided: Adaptation and aversion towards the spent nuclear fuel repository in Eurajoki and its neighbouring municipalities. University of Jyväskylä and University of Tampere.

Karvonen, T. 2010. Prediction of Long-Term Influence of ONKALO and Korvensuo Reservoir on Groundwater Level and Water Balance Components on Olkiluoto Island. Posiva Working Report 2010-55.

Karvonen, T. P. 2020. Surface and Near-Surface Hydrological Modelling in Olkiluoto. Eurajoki, Finland, Posiva Oy. Posiva report 2019-02. 376 p.

Kasa, S. 2011. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2009, Foreign materials. Posiva Working Report 2010-46.

Kirkkala, T. & Turkki, H. 2005. Rauman ja Eurajoen edustan merialue. Teoksessa: Sarvala, M. & Sarvala, J. (toim.) Miten voit, Selkämeri? Ympäristön tila Lounais-Suomessa. Lounais-Suomen ympäristökeskus, Turku. s. 48–65.

Kirkkomäki 2012. Loppusijoituksen asemointi ja vaiheittainen rakentaminen 2012. Posiva Oy, Työraportti 2012-69.

Klockars, J., Tammisto, E., Ahokas, H. 2007. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2006– Hydrology. Posiva Oy, Working Report 2007-50.

Korhonen, K. T., Hirvelä, H., Lehtonen, A., Tuominen, S., Hyvönen, P., Balázs, A., Aro, L. 2016. State of the Forests on Olkiluoto Island in 2014. Posiva Oy, Working Report 2016-01.



Koskivirta, O. 2012. Käytetyn polttoaineen kuljettaminen Loviisan voimalaitokselta Eurajoen Olkiluotoon kapselointia ja loppusijoittamista varten - toteutustapaselvitys. Muistio YJÄTE/6/2012. Fortum Power and Heat Oy.

Kotola, J. & Nurminen, J. 2003. Kaupunkialueiden hydrologia valunnan ja ainehuuhtouman muodostuminen rakennetuilla alueilla, osa 2: koealue tutkimus. Teknillisen korkeakoulun vesitalouden ja vesirakennuksen julkaisuja 8. Espoo, 203 s.

Laakso, S., Kuisma, H., Kilpeläinen, P., Kostainen, E. 2007. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen aluetaloudelliset, sosioekonomiset ja kunnallistaloudelliset vaikutukset. Kaupunkitutkimus TA Oy. Posiva Oy, Työraportti 2007-94.

Lahtenperä, A-M., Palmén, J., Hellä, P. 2005. Summary of Overburden Studies at Olkiluoto with an emphasis on Geosphere-Biosphere Interface. Posiva Oy, Työraportti 2005- 11.

Lahti, M. & Sirén, T. 2011. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2010. Rock Mechanics. Posiva Working Report 2011-47.

Lahti, M. & Hakala, M. 2009. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2010. Rock Mechanics. Posiva Working Report 2009-73.

Lahti, M. (ed.), Saari, J., Lakio, A., Kallio, U., Ahola, J., Koivula, H., Jokela, J., Poutanen, M. & Kempainen, K. 2009. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2008. Rock Mechanics. Posiva työraportti 2009-47.

Lamminmäki, T., Pitkänen, P., Penttinen, T., Pentti, E., Komulainen, J., Loimula, K., Wendling, L., Partamies, S. & Ahokas, T. P. 2017a. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2015 Hydrogeochemistry. Eurajoki, Finland, Posiva Oy. Working report 2016-44. 332 p.

Lamminmäki, T., Pitkänen, P., Penttinen, T., Komulainen, J., Loimula, K., Wendling, L., Partamies, S., Ahokas, T. 2017b. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2014 Hydrogeochemistry. Työraportti WR2015-44. Posiva Oy.

Liikennevirasto 2012. Liikennemääräkartta 2010. [[http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/liikennevirasto/tilastot/liikennemaarat/liikennemaarakartat/KVL\\_karttaVARELY\\_2011.pdf](http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/liikennevirasto/tilastot/liikennemaarat/liikennemaarakartat/KVL_karttaVARELY_2011.pdf)] (toukokuu 2012).

Litmanen, T., Kojo, M. & Kari, M. 2010. The rationality of acceptance in a nuclear community: analysing residents' opinions on the expansion of the SNF repository in the municipality of Eurajoki, Finland. Int.J.Nuclear Governance, Economy and Ecology, Vol. 3, No.1, 2010.

Loikkanen, M. 2007. Luotolinnustoinventointi Eurajoen Olkiluodossa 7.6.2007. Ramboll Finland Oy.

LT-Konsultit Oy 1998. Loppusijoituslaitoksen ympäristövaikutuksia. Posiva Oy. Työraportti 98-74.

Mattila, J. & Hakala, M. 2008. Results of monitoring at Olkiluoto in 2007. Rock mechanics. Posiva Working Report 2008-22.

Mattila, J. (ed.). 2007. Results of monitoring at Olkiluoto in 2006. Rock Mechanics. Posiva Working Report 2007-53.

Metsähallitus 2012. Kansallispuistot, Selkämeritietoa. [<http://www.metsa.fi/sivustot/metsa/fi/luonnonsuojelu/suojelualueet/kansallispuistot/selkameritietoa/Sivut/Selkamerellesuunniteltukansallispuisto.aspx>] (toukokuu 2012)

Minato, K., Ichimiya, M., Inoue, T. 2006. Research and Development Activities on Partitioning and Transmutation of Radioactive Nuclides in Japan. Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation. Ninth Information Exchange Meeting. Nîmes, France, 25-29 September 2006. OECD/NEA 2007. 750 p.

Museovirasto 2007. Rakennettu kulttuuriympäristö. Valtakunnallisesti merkittävät kulttuurihistorialliset ympäristöt 1993 -luettelo.

Mustonen, S., Norokallio, J., Mellanen, S., Lehtimäki, T. & Heikkinen, E. 2010. EDZ09 Project and Related EDZ Studies in ONKALO 2008 2010. Posiva Working Report 2010-27, 404 p.

Mönkkönen, H., Hakala, M., Paananen, M., Laine, E. 2012. ONKALO Rock Mechanics Model (RMM). Version 2.0. Working Report 2012-07.

NEA 2006. OECD/NEA, Advanced Fuel Cycles and Radioactive Waste Management. OECD 2006.

NEA 2002. OECD/NEA, Accelerator-driven Systems (ADS) and Fast Reactors in Advanced Fuel Cycles. Comparative Study. OECD 2002.

Nieminen, M., Ikonen, H., Koivunen, A. 2009. Small Mammals, Ants, Snails and Earthworms on the Island of Olkiluoto in 2009. Posiva working report 2009-112, 84 p.

Nieminen, M. & Saarikivi, J. 2008. Herpetofauna and Small Mammals on the Island of Olkiluoto in 2008. Posiva working report 2008-91, 39 p.

Niemi, M., Nieminen, M. 2018. Game Statistics for the Island of Olkiluoto in 2015-2016. Posiva Working Report 2016-54, 24s.

Paile, W. 2002. Säteilyn haittavaikutusten luokittelu. Kirjassa Säteilyn terveysvaikutukset.

Palomäki, J. 2021. FSAR Aihekohtainen raportti: Käytetyn polttoaineen kuljetukset Loviisasta Olkiluotoon kapselointia ja loppusijoittamista varten – toteutustapaselvitys.

Paunonen M. et al. 2016. Waste management of the encapsulation plant. Working report 2015-51.

Pere, T. (ed.), Sojakka, T., Aro, L., Lipping, T. 2017. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2014 Environment. Työraportti 2015-45, Posiva Oy.

Pitkänen, P., Lamminmäki, T., Yli-Kaila, M., Penttinen, T., Tammisto, E., Vaittinen, T., Reijonen, H., Kietäväinen, R., Sahlstedt, E. & Partamies, S. 202X. Quality evaluation and explorative analysis of hydrochemical data of Olkiluoto site. Eurajoki, Finland, Posiva Oy. Posiva Report 2021-12. (in prep.).

Posiva SKB. 2017. KBS-3H System Design Phase 2011-2016: Final Report. Posiva SKB report 06. Posiva Oy, Eurajoki

Posiva 2005. Olkiluoto Site Description 2004 vol 3. POSIVA 2005-03, Olkiluoto, Finland: Posiva Oy 444 p.

Posiva 2009. Olkiluoto Site Description 2008. POSIVA 2009-01, Eurajoki, Finland: Posiva Oy 714 p.

Posiva 2021a. Olkiluodon monitorointiohjelma - 2022, Posiva-raportti 2020-02.

Posiva 2021b. Olkiluoto Site Description 2018. Posiva-raportti 2021-10.

Posiva 2021c. Sulfide Fluxes and Concentrations at The Olkiluoto Site - 2021 Update. Työraportti 2021-07, Posiva Oy.

Posiva 2021d. POSIVA 2021-01. Safety Case for the Operating Licence Application – Synthesis. Posiva report 2021-01. Posiva Oy. Eurajoki, Finland

Posiva Oy 2012-01. Monitoring at Olkiluoto a programme for the period before repository operation. Report 2012-01. Posiva Oy, Eurajoki.

Posiva Oy 2012-10. Safety case for the spent nuclear fuel disposal at Olkiluoto - Biosphere Assessment BSA-2012 Report 2012-10. Posiva Oy, Eurajoki.

Posiva 2013. Olkiluoto Site Description 2011. Eurajoki, Finland, Posiva Oy. Posiva Report 2011-02. 1029p.

Posiva Oy 2012c. Safety Case Plan 2012. Posiva Oy Eurajoki.

Posiva Oy 2012d. Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuolto Yhteenveto vuoden 2011 toiminnasta. 52 s.

Posiva Oy 2009. TKS-2009. Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuolto: Selvitys suunnitelluista toimenpiteistä ja niiden valmistelusta vuosina 2010–2012. Posiva Oy.

Posiva Oy 2008. Safety Case Plan 2008. Posiva Oy, Raportti 2008-05.

Posiva Oy 2006. TKS-2006. Nuclear Waste Management of the Olkiluoto and Loviisa Power Plants: Programme for Research, Development and Technical Design for 2007-2009. Posiva Oy.

Posiva Oy 2003. TKS-2003. Nuclear Waste Management of the Olkiluoto and Loviisa Power Plants: Programme for Research, Development and Technical Design for 2004-2006. Posiva Oy. Pradel, P. 2006. French Fuel Cycle Strategy and Partitioning and Transmutation Programme. Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation. Ninth Information Exchange Meeting. Nîmes, France, 25-29 September, 2006. OECD/NEA 2007. 750 s.

Pulkkanen, V-M. & Nordman, H. 2011. Effects of Bedrock Fractures on Radionuclide Transport near a Vertical Deposition Hole for Spent Nuclear Fuel. Posiva raportti 2011-3. 74 p.

Pöyry Environment Oy 2008. Ydinjätteen loppusijoituslaitoksen laajentaminen. Teemahaastattelut Eurajoen asukkaille. Lokakuu 2008.

Raiko, E. & Nordman, H. 1999. Kemiallinen myrkyllisyys käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksessa. Posiva Oy, Työraportti 99-18.

Ramboll Analytics Oy 2007. Olkiluodon meluselvitys 2007.

Ramboll Finland Oy 2008. Olkiluodon osayleiskaavan liikenneselvitys. 15.4.2008.

Ramboll Finland Oy 2007. Olkiluodon voimalaitosalueen asukas- ja työntekijäkysely.

Ramboll Oy 2007. Pikkuapollon esiintyminen Olkiluodon osayleiskaava alueella 2007.

Ramboll Oy 2014. Olkiluodon biodiversiteettiselvitys. Teollisuuden Voima Oyj (sisäinen dokumentti)

Ramboll Oy 2021. Ympäristövaikutusten arviointi (YVA-selosteen), Meluselvitys.

Rantataro, J. 2001. Akustis-seismiset tutkimukset Olkiluodon läheisellä merialueella vuonna 2000. Posiva Oy, Working Report 2001-11.

Riikonen, S. 2006. Results of monitoring at Olkiluoto in 2005. Rock Mechanics. Posiva Working Report 2006-66.

Riikonen, S. 2005. Results of monitoring at Olkiluoto in 2004. Rock Mechanics. Posiva Working Report 2005-30.

Räihä, T. 2021. FSAR aihekohtainen raportti: Kapselointilaitokselta ilmaan vapautuvista päästöistä aiheutuvien säteilyannosten arviointi, NUCL-4467,.

Saario ym. 2012. Saario T., Ikonen A., Keto P., Kirkkomäki T., Kukkola T., Nieminen J. & Raiko H. Loppusijoituslaitoksen suunnitelma 2012. Työraportti 2012-50. Posiva Oy.

Saari, J., 2003. Seismic Network at the Olkiluoto Site. Working Report 2003-37. Posiva Oy, Eurajoki, Finland, 41 p.

Haapalehto, S., Malm, M., Kaisko, O., Marila, S., Saaranen, V. 2020. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2019, Rock Mechanics. Posiva Working Report 2020-47.

Haapalehto, S. (ed), Malm, M., Kaisko, O., Lahtinen, S., Saaranen, V. 2021. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2020, Rock Mechanics. Posiva Working Report 2021-47.

Saramäki, J. & Korhonen, K. 2005. State of the Forests on Olkiluoto in 2004. Comparisons Between Olkiluoto and the Rest of Southwest Finland. Posiva working report 2005-39. 79 p.

SKB 2011. Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark. Main report of the SR-Site project. Svensk Kärnbränslehantering AB. March 2011. Technical Report TR-11-01.

Smith, K. 2016. Monitoring Radiation Effects in the Environment.

Smith, P., Neall, F., Snellman, M., Pastina, B., Nordman, H., Johnson, L., Hjerpe, T. 2007. Safety Assessment for a KBS-3H repository for spent nuclear fuel at Olkiluoto – Summary report. Posiva Oy, Raportti 2007-06.

Sojakka, T., Weckman, K., Lipping, T., Haavisto, F., Rinne, A. 2019. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2017 - Environment. Working Report 2018-45, Posiva Oy, Eurajoki.

Sojakka, T., Alho, P., Lipping, T., Toivola, M., Haavisto, F. 2020. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2019, Environment. Posiva-raportti 2020-45.

Sosiaali- ja terveysministeriö 1999. Ympäristövaikutusten arviointi. Ihmisiin kohdistuvat terveydelliset ja sosiaaliset vaikutukset. Oppaita 1999:1. 51 s.

Stakes 2012. Ihmisiin kohdistuvien vaikutusten arviointi -käsikirja. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos. [<http://info.stakes.fi/iva/FI/index.htm>] (huhtikuu 2012)

STUK 2021a. Suomalaisen keskimääräinen säteilyannos. [<https://www.stuk.fi/aiheet/mita-sateily-on/ihmisen-radioaktiivisuus/suomalaisen-keskimääräinen-säteilyannos>] (9.9.2021)

STUK 2021b. Esimerkkejä säteilyannoksista [<https://www.stuk.fi/aiheet/sateilyvaara/esimerkkeja-sateilyannoksista>] (9.9.2021)

STUK 2021c. Ionisoiva säteily. [<https://www.stuk.fi/aiheet/mita-sateily-on/ionisoiva-sateily>] (9.9.2021)

STUK 2021d. Luonnon taustasäteily. [<https://www.stuk.fi/aiheet/sateily-ymparistossa/luonnon-taustasäteily>] (9.9.2021)

STUK 2021f. Asuntojen radonia koskevat viitearvot ja määräykset. [<https://www.stuk.fi/aiheet/radon/asuntojen-radonia-koskevat-viitearvot-ja-maaraykset>] (9.9.2021)

STUK 2021f. Radon Suomessa. [<https://www.stuk.fi/aiheet/radon/radon-suomessa>] (9.9.2021)

STUK 2021g. Röntgentutkimukset. [<https://www.stuk.fi/aiheet/sateily-terveydenhuollossa/rontgen-tutkimukset>] (9.9.2021)

STUK. 2018. YVL-ohje D.5: Ydinjätteiden loppusijoitus. Säteilyturvakeskus, Helsinki.

STUK 2010. Ydinjätteiden loppusijoitus. Säteilyturvakeskus, Ohje YVL D.5, Luonnos 4, 22.9.2010.

STUK 2005. Säteilyn terveysvaikutukset. Esite.

Suolanen, V., Ilvonen, M., Rossi, J., Rätty, A. 2021. FSAR Aihekohtainen raportti: Käytetyn ydinpoltoaineen kuljetusten riskiselvityksen päivitys Posivan käyttölupahakemusta varten. Tutkimusraportti VTT-R-01014-21.

Suolanen, V. 2012. Käytetyn ydinpoltoaineen kuljetusten riskienhallinta. VTT. Tutkimusraportti VTT-R-04653-12.

Suolanen, V., Lautkaski, R., Rossi, J., Nyman, T., Rosqvist, T., Sonninen, S. 2004. Käytetyn ydinpoltoaineen kuljetusriskitarkastelun päivitys. Posiva Oy. Posiva-raportti 2004-04.

Suomalaisten energia-asenteet 2011. Seurantatutkimustietoa suomalaisten suhtautumisesta energiapolitiisiin kysymyksiin 1983–2011. Tutkimusraportti 29.08.2011.

Taivainen, O. 2007. Olkiluodon voimalaitoksen jäähdytys-, prosessi- ja saniteettivesien tarkkailuohjelman tulosten raportti vuodelta 2006. Teollisuuden Voima Oy. 21 s.

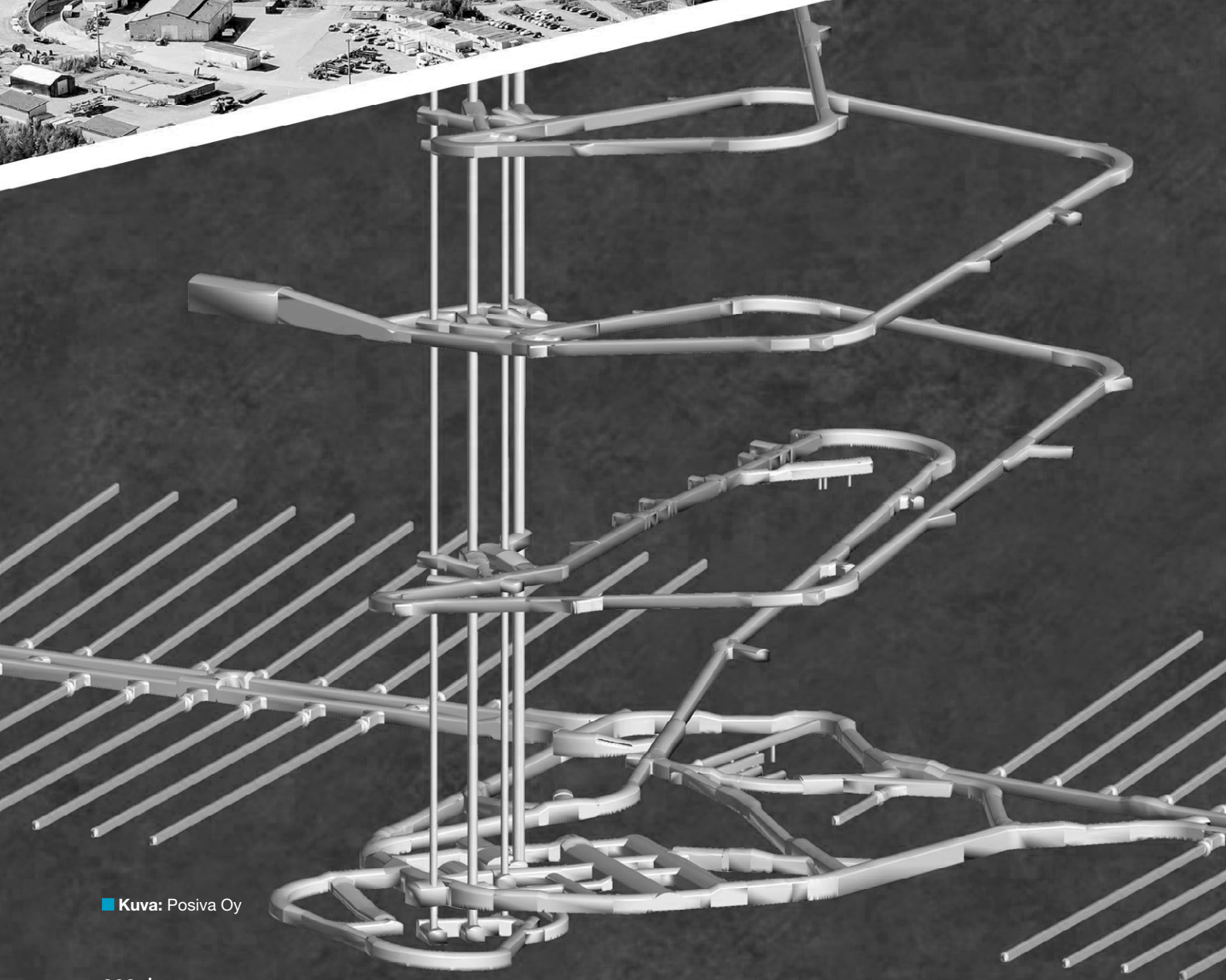


- Tamminen, P., Aro, L., Salemaa, M. 2007. Forest soil survey and mapping of vegetation nutrition on Olkiluoto Island. Results from the first inventory on FEH plots. Posiva Oy, Työraportti 2007-78.
- Tanskanen, J. 2009. Laitoskuvaus 2009. Loppusijoituslaitossuunnitelmien yhteenvetoraportti. Posiva Oy, Työraportti 2009-123.
- Tielaitos 1993. Asfaltti- ja murskausasemien melun leviäminen. Tielaitoksen selvityksiä 43/1993.
- Tilastokeskus 2012. Kuntien avainluvut. [<http://www.stat.fi/tup/kunnat/kuntatiedot/051.html>] (huhtikuu 2012)
- Tolppanen, P. 1998. Louhitun kiven käyttökohteet ja murskaus. Posiva Oy, Työraportti 98-40.
- Tolppanen, P. & Kokko, M. 1998. Räjähdystarvikkeiden käyttö, varastointi ja kuljetus käytetyn polttoaineen loppusijoitustilojen louhinnassa. Posiva Oy, Työraportti 98-41.
- TVO (Teollisuuden Voima Oyj) 2012. Säteilyseurannan tulokset vuodelta 2011, laboratoriotulosteet.
- Tuomi, P., Lamminmäki, T., Pedersen, K., Miettinen, H., Bomberg, M., Bell, E., Bernier-Latmani, R. & Pitkänen, P. P. 2020. Conceptual Model of Microbial Effects on Hydrogeochemical Conditions at the Olkiluoto Site. Eurajoki, Finland, Posiva Oy. Posiva Report 2020-03. 278 p. [www.posiva.fi](http://www.posiva.fi)
- UNSCEAR 2008. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume II.
- Vaittinen, T., Ahokas, H., Nummela, J., Pentti, E. & Paulamäki, S. P. 2020a. Hydrogeological Structure Model of the Olkiluoto Site in 2015. Eurajoki, Finland, Posiva Oy. Working report 2019-06. 443 p. [www.posiva.fi](http://www.posiva.fi)
- Vaittinen, T., Hurmerinta, E., Nummela, J., Pentti, E., Tammisto, E., Turku, J., Karvonen, T. 2020b. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2019 - Hydrology and Hydrogeology. Working report 2020-43, Posiva Oy.
- Vesterbacka, K. & Arvela, H. 1998. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta ympäristöön pääsevän luonnon radonkaasun aiheuttamat säteilyannokset. Posiva Oy, Työraportti 98-62.
- Vieno, T. & Ikonen, A. 2005. Plan for Safety Case of Spent Fuel Repository at Olkiluoto. Posiva Oy, Raportti 2005-01.
- Viinikainen, T. 1998. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen sosiaaliset vaikutukset kuntalaisten näkökulmasta, haastattelututkimus. Yhdyskuntasuunnittelun tutkimus- ja koulutuskeskus, Teknillinen korkeakoulu, Kesäkuu 1998. Posiva Oy, Työraportti 1998-59.
- VTT 2009. Katsaus ydinjätehuollon tilanteeseen Suomessa ja muissa maissa. VTT tiedotteita–Research Notes 2515. Helsinki 2009.
- Väisäsvaara, J., Pöllänen, J. & Sokolnicki, M. 2008. Monitoring Measurements by Difference Flow Method During the Year 2006. Drillholes OL-KR1, OL-KR4, OL-KR7, OL-KR8, OL-KR10, OL-KR14, OL-KR22, OL-KR22B, OL-KR27 and OL-KR28. Eurajoki, Finland: Posiva Oy. Working Report 2008-16. 394 p.
- Yli-Kaila, M., Ylöstalo, R., Penttinen, T., Wichmann, A., Pulkkinen, P., Lamminmäki, T., Pitkänen, P. 2020. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2019 – Hydrogeochemistry. Eurajoki, Finland, Posiva Oy. Working report 2020-44. 183p.
- Ympäristöhallinnon karttapalvelu 2012. OIVA Ympäristö- ja paikkatietopalvelu asiantuntijoille. [<http://www.p2.ymparisto.fi/scripts/oiva.asp>] (kesäkuu 2012)
- Yrjölä 2009. Eurajoki Olkiluoto Birdlife Survey 2008. Posiva working report 2009-14. 76p.



# 11

PÄIVITETTY SELVITYS  
KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN  
PALAUTETTAVUUDESTA



■ Kuva: Posiva Oy



# 1 JOHDANTO

Loppusijoituksen tarkoituksena on eristää käytetyn ydinpolttoaineen sisältämät radioaktiiviset aineet lopullisella ja turvallisella tavalla elollisesta luonnosta. Loppusijoituskapselien palauttaminen on kuitenkin tarvittaessa teknisesti mahdollista. Loppusijoitussuunnitelmien erityisenä lähtökohtana ei ole ollut kapselien palautettavuus takaisin maan pinnalle eikä suunnitelmiin näin ollen sisälly mahdollista polttoaineen palauttamista helpottavia piirteitä. On kuitenkin mahdollista, että tulevaisuudessa halutaan käyttää uudenlaista loppusijoitusmenetelmää tai täysin uutta tekniikkaa käytetyn polttoaineen käsittelyssä taikka halutaan hyödyntää tai käyttää uudelleen loppusijoitetun materiaalin raaka-aineet tai energiasisältö. Palautettavuus ei saa missään vaiheessa vaarantaa loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuutta.

Palautettavuutta voidaan arvioida tarkastelemalla loppusijoitussuunnitelman ominaispiirteitä. Laadittujen suunnitelmien perusteella kapselien palauttaminen loppusijoitustiloista maanpinnalle on mahdollista hankkeen kaikissa vaiheissa. Loppusijoituksen toteuttaminen etenee vaiheittain, ja käyttövaiheen aikana sekä tilojen sulkemisen jälkeen jokainen työvaihe on toteutettavissa käänteisesti.

Tämä kapselien palautettavuutta käsittelevä selvitys perustuu ensisijaisesti ns. KBS-3V konseptiin, jossa kapselit sijoitetaan pystyreikiin.

## 2 LOPPUSIJOITUSTEKNIikka

Loppusijoituskapselit ovat massiivisia metallisäiliöitä, joiden sisäosa on pallografiittirautaa ja ulkovaippa kuparia, jonka paksuus on 50 mm. Kapseleista on suunniteltu omat mallit kaikille kolmelle Suomessa käytössä ja rakenteilla olevien laitosten polttoainetyypeille. Mahdollisille uusille polttoainetyypeille voidaan suunnitella vastaavat kapselit. Kapseli on mekaanisesti erittäin luja ja hyvin pitkäikäinen. Kapselin toimintakykytavoite on, että se pysyy tiiviinä satoja tuhansia vuosia. Sisäkapselin kansi on kiinnitetty pultilla, mikä helpottaa kapselin avaamista.

Kapselit siirretään hissillä kapselointilaitoksesta syväällä kallioperässä sijaitseviin loppusijoitustiloihin. Tilojen maanpintayhteyksinä toimivat ajotunneli sekä pystykuilut. Varsinaiset loppusijoitustilat koostuvat yhdensuuntaisista loppusijoitustunneleista, joita yhdistää toisiinsa keskustunneli. Loppusijoitustunneleiden pituus on maksimissaan noin 350 metriä.

### 2.1 TILOJEN SULKEMINEN

Loppusijoitustilojen sulkemisvaiheessa loppusijoitustunnelit täytetään granulaarisella bentoniittimateriaalilla. Kun loppusijoitustunneli on täytetty, sen suulle rakennetaan betoninen tulppa, joka estää täyttömateriaalia paisumasta keskustunneliin. Kun kaikki kapselit on sijoitettu loppusijoitusreikiin, täytetään loppusijoitus- tasolla olevat tilat ja pystykuilut. Loppusijoitustunneleiden lähdöt eli loppusijoitustunnelin tulpan edusta, keskustunnelit ja niiden välillä sijaitsevat keskustunneliyhteydet suljetaan murskeen ja bentoniitin seoksesta valmistetulla täyttömateriaalilla, joka asennetaan tunneliin vastaavasti kuin loppusijoitustunneleiden täyttö, huomioiden erilaiset tilavuudet.

Ajotunnelin yläpäähän asennetaan pintatulpat. Kiviainestäyttö ulottuu ajotunnelissa vajaan 10 metrin syvyydelle. Ensimmäiset massiiviset betonitulpat tulevat tämän alapuolelle. Betonitulpkien pituus ja tarkka sijainti määritetään asennusvaiheessa. Tulpkien alapuolelle tulee lohkaraja mursketäyttö, joka jatkuu 40–50 met-

rin etäisyydelle tunnelissa. Tästä syvemmälle tunneli täytetään, joko murskeella tai murskeen ja bentoniitin seoksella riippuen syvyydestä. Merkittävimmät vettä johtavat rakenteet eristetään joko mekaanisilla tai hydraulisilla tulpparakenteilla, joiden yksityiskohtainen suunnittelu tehdään sulkemisvaiheen aikana. Kuiluissa käytetään samoja materiaaleja kuin ajotunnelissäkin. Lähellä maanpintaa asennetaan pintatulppia ja niiden alapuolella käytetään, joko kiviainesta tai murskeen ja bentoniitin seoksia.

### 3 KAPSELEIDEN PALAUTETTAVUUTEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

Palauttamistekniikka kuvataan tässä käytölpahakemuksen liitteessä kolmessa eri tilanteessa:

- palauttaminen ennen sijoitusreiän sulke-  
mista,
- palauttaminen sijoitustunnelin sulkemi-  
sen jälkeen sekä
- palauttaminen kaikkien tilojen sulkemi-  
sen jälkeen.

Kaikki muut tilanteet kapseleiden ja loppusi-  
joitustilojen elinkaareissa ovat johdettavissa  
em. tilanteista ja palauttamistekniikka vas-  
taa jotakin esitetyistä tekniikoista.

Palautettavuuden kannalta merkityksellisiä  
tekijöitä ovat palauttamisen ajankohdan  
lisäksi mm. tiiviste- ja täytemateriaalina  
käytettävän bentoniitin poistaminen sekä  
kapseleiden lämpötilan nousun ja radioaktii-  
visen säteilyn huomioon ottaminen palaut-  
tamisen eri vaiheissa.

#### 3.1 BENTONIITTI

Loppusijoitusreiän pohjalle ja loppusijoitus-  
kapselin päälle tulevat bentoniittilohkot ovat  
kiekon muotoisia ja reunalohkot muodosta-  
vat loppusijoituskapselin ympärillä renkaan.  
Bentoniitti sitoo itseensä kallioperästä pe-  
räisin olevan kosteuden ja pyrkii paisumaan.  
Bentoniitin ominaisuudet riippuvat sen ve-  
dellä kyllästymisasteesta sekä kehittynees-  
tä paisuntapaineesta.

Mikäli loppusijoituskapselit halutaan palaut-  
taa, on bentoniitti pystyttävä poistamaan  
kapselien ympäriltä, jottei kapseli vaurioitui-  
si noston yhteydessä. Bentoniitin poistami-  
nen on mahdollista paineistetun suolaliuok-  
sen avulla, jonka vaikutuksesta bentoniitin  
rakenne hajoaa ja muodostuva bentoniitti-  
liete on mahdollista pumpata pois loppusi-  
joitusreiästä. Mikäli bentoniitti olisi kontami-  
noitunut, on pois pumpattavaa bentoniittia  
käsiteltävä radioaktiivisena jätteenä.

#### 3.2 LÄMPÖTILA

Kapselien sisältämä käytetty ydinpolttoaine  
tuottaa radioaktiivisen hajoamisen aiheuttamaa  
jälkilämpöä. Lämmöntuotannosta johtuen läm-  
pötila kapseleita ympäröivässä bentoniitissa ja  
kallioperässä nousee, kun syntyvä jälkilämpö  
leviää johtumalla ympäröivään kallioon. Kap-  
selien lämmönjohtavuus on yli satakertainen  
ympäröivään täyteaineeseen ja kallioon verrat-  
tuna, joten kapselin lämpötila nousee sitä ym-  
päroiviä materiaaleja nopeammin.

Kapselien sijoittelu loppusijoitustilassa suun-  
nitellaan siten, ettei kapselin lämpötila nouse  
yli +100 °C:n. Kapselien lämpötila on suurim-  
millaan (noin +95 °C) noin 20 vuotta loppusi-  
joittamisen jälkeen. Loppusijoitustilan kallio- ja  
täyteaineiden maksimilämpötila, noin +65 °C,  
saavutetaan vajaan vuosisadassa. Lämpö-  
tilan nousu vaikeuttaa palauttamisoperaatiota;  
työt hidastuvat ja kustannukset kasvavat. On  
arvioitu, että nykytekniikalla voidaan työsken-  
nellä ilman lämpötilan ollessa alle +70 °C ja kal-  
lion lämpötilan ollessa alle +100 °C. Kuumissa  
oloissa työskenneltäessä tunnelien lämpötila  
saadaan sopivaksi jäähdytyksen ja ilmastoin-  
nin avulla. Kuumien massojen käsittely on  
mahdollista, ja esimerkiksi tienpäälystystöis-  
sä käytettävät laitteet käsittelevät kuumempia  
massoja kuin loppusijoitustunnelien täytemate-  
riaali. Työskentelyoloista korkeissa lämpötilois-  
sa maan alla on kokemuksia monissa paikois-  
sa mm. Etelä-Afrikassa ja Saksassa, jossa on  
työskennelty kaivosolosuhteissa yli +55 °C:n  
lämpötilassa. Tarvittaessa voidaan käyttää etä-  
ohjattuja työkoneita, jolloin vältetään työsken-  
tely kuumissa lämpötiloissa ja lähellä säteile-  
vää kapselia.

#### 3.3 SÄTEILY

Jos kapselin pinta-annosnopeuksiksi oletetaan  
lasketut keskimääräiset maksimiarvot sijoitus-  
hetkellä, noin 270 mSv/h gammasäteilyä ja 14  
mSv/h neutroneja, kymmenen vuotta kapselin  
loppusijoituksen jälkeen annosnopeudet kap-

selin pinnalla ovat noin 180 mSv/h ja 9 mSv/h. 100 vuoden kuluttua säteilytasot ovat noin 20 ja 1 mSv/h. Tuhannen vuoden kuluttua noin 0,5 ja 0,3 mSv/h ja kymmenen tuhannen vuoden kuluttua annosnopeus on pienentynyt arvoon hieman yli 0,1 mSv/h. Säteilytyöntekijälle aiheutuva efektiivinen annos ei saa olla suurempi kuin 20 millisievertiä vuodessa, joten jatkuvaa työskentelemistä kapselin vierellä mahdollisen kapselin palauttamisen yhteydessä tulee ensimmäisten vuosisatojen aikana rajoittaa. Bentoniitin poistamisen yhteydessä joudutaan työskentelemään sijoitusreiän läheisyydessä, mutta tällöin bentoniitin poistoon käytettävä suolavesiliuos suojaa työntekijöitä kapselistä tulevalta suoralta ulkoiselta säteilyltä. Osa töistä voidaan tehdä etäohjatusti, jolloin vähennetään työntekijöiden säteilyaltistusta. Tällaisia työvaiheita voivat olla mm. kapseleiden siirrot.



## 4 PALAUTTAMINEN ENNEN LOPPUSIJOITUSREIÄN SULKEMISTA

Lähtötilanteessa tarkastelussa on, että kapselia ollaan laskemassa reikään tai kapseli saat-  
taa olla jo laskettu loppusijoitusreikään ja tar-  
tuntalaitteen ote kapselistä on irrotettu. Tässä  
vaiheessa pitää reiän olla jo tarkastettu ja sen  
mukaan kelvollinen. Jos kuitenkin jostain syystä  
huomataan, ettei reikä ole kelvollinen tai reiässä  
oleva bentoniitti ei ole täysin oikein asennettu,  
voidaan kapseli nostaa reiästä kapselin siirto-  
ja asennusajoneuvolla. Kapselissa on nostoa  
varten ulokkeet. Palauttamista testataan ennen  
käytön aloittamista yhteistoimintakokeessa,  
jossa kapseli palautetaan loppusijoituslaitok-  
sen kapselivarastosta kapselointilaitokseen.

Jos kapseli päätetään palauttaa maanpinnal-  
le ennen loppusijoitusreiän sulkemista, siirre-  
tään se kapselin siirto- ja asennusajoneuvol-  
la kapselikuilun hissille ja nostetaan suoraan  
kapselointilaitokseen. Kapselin palauttamisen  
työvaiheet ovat samat kuin kapselin asennuk-  
sessa, mutta tehdään käänteisessä järjestyk-  
sessä. Lähtökohtana tässä tapauksessa on,  
ettei reiän bentoniitti ole vielä ehtinyt paisua ja  
tarttua kapseliin.

## 5 PALAUTTAMINEN LOPPUSIJOITUSTUNNELIN SULKEMISEN JÄLKEEN

Tilojen käyttövaiheessa loppusijoitustunneleita täytetään tunnelien perältä alkaen sitä mukaa kuin kapseleita asennetaan loppusijoitusreikiin. Kun loppusijoitustunneliin on asennettu kaikki siihen tulevat kapselit ja tunneli täytetty, rakennetaan tunnelin suulle betonitulppa. Ensimmäisen tunnelin sulkemisen jälkeen jatkuu tilojen käyttövaihe vielä pitkään noin 100 vuoden ajan. Tilat ovat siis käytössä ja keskustunneli on auki.

Jos päätös kapselien palauttamisesta tehdään tilojen käyttövaiheessa, kun osa loppusijoitustunneleista on suljettu, koostuu palauttaminen loppusijoitustunnelin aukaisusta, loppusijoitusreiän aukaisusta ja kapselin poistosta. Loppusijoitustunnelin suulla oleva betonitulppa puretaan, minkä jälkeen tunnelin tyhjennys etenee vaiheittain siten, että tunnelin täyttömateriaalia poistetaan kerrallaan vain yhden loppusijoitusreiän matkalta.

Tämän jälkeen reikä avataan ja kapseli poistetaan. Seuraavaksi jatketaan täyttömateriaalin poistolla yhden loppusijoitusreiän matkalla jne. On myös mahdollista, että osa keskustunneleista on jo ehdittyä sulkea käyttövaiheen aikana. Tällöin myös keskustunnelin täyttömateriaali pitää poistaa ennen loppusijoitustunnelien avaamista.

Betonitulpan poistossa voidaan käyttää betonirakenteiden purkutöissä käytettyjä menetelmiä, esim. hydraulipiikkausta. Tunnelin täyttömateriaali poistetaan perinteisillä kaivinkoneilla. Loppusijoitustunnelin aukaisun aikana tarkkaillaan jatkuvasti loppusijoitustunnelin ilman ja täyttömateriaalin radioaktiivisuutta. Loppusijoitusreikien bentoniitin poistossa voidaan käyttää esimerkiksi suolavedellä liuottamiseen perustuvaa tekniikkaa. Kapseli poistetaan reiästä samalla tai samankaltaisella kapselin siirto- ja asennusajoneuvolla kuin se on reikään asennettukin ja nostetaan hissillä kapselointilaitokseen.

## 6 PALAUTTAMINEN KAIKKIEN TILOJEN SULKEMISEN JÄLKEEN

Kapselit voidaan haluttaessa palauttaa maanpinnalle myös loppusijoitustilojen sulkemisen jälkeen, eli kun kaikki kapselit on loppusijoitettu, tunnelit ja kuilut on täytetty ja tilat suljettu. Tässä vaiheessa myös kapselointilaitos on poistettu käytöstä.

Palauttamista varten rakennetaan maanpäälle tarvittaessa käytöstä poistetun kapselointilaitoksen korvaava laitos, jossa kapseleita voidaan käsitellä. Loppusijoitustilat avataan käyttäen pitkälti samoja työmenetelmiä, kuin on käytetty tiloja rakennettaessa. Tilojen louhinnan sijasta kuilut ja tunnelit avataan kaivamalla täyttömateriaali pois ja purkamalla niihin tehdyt tulpparakenteet sekä pumppaamalla pohjavesi pois. Kuilujen osalta on mahdollista myös nousuporata uudet kuilut vanhojen kuilujen aukaisemisen sijaan. Aputilat ja keskustunnelit kaivetaan tarvittavassa laajuudessa auki, minkä jälkeen niihin ja ajotunneleihin ja kuiluihin, rakennetaan tarpeelliset rakenteet ja asennetaan järjestelmät, jotka korvaavat loppusijoitustoiminnan aikana tiloissa olleet rakenteet ja järjestelmät. Tilan lämpötila on loppusijoitustoiminnan aikaista lämpötilaa korkeampi ja sen vaikutukset jännitystiloihin tulee huomioida rakenteissa. Kun tilat on rakennettu valmiiksi, noudatetaan loppusijoitustunnelien aukaisemisessa ja kapselien poistossa samoja tekniikoita, joita käytettäisiin, jos kapselit palautettaisiin tilojen käyttövaiheessa. Materiaalin lastaus ja kuljetus voidaan tarvittaessa tehdä suojatusta tilasta.

## 7 KAPSELIN AVAAMINEN JA POLTTOAINEEN PALAUTTAMINEN

Kapselin avaaminen ja polttoaineen poistaminen kapselista voidaan toteuttaa kapselointilaitoksella kuten kapselointiprosessi, mutta käänteisessä järjestyksessä. Kapselointilaitoksessa olevalla koneistusasemalla voidaan koneistaa hitsatun loppusijoituskapselin yläpää auki ja polttoaine voidaan poistaa kapselista polttoaineen käsittelykammiossa olevalla polttoaineen siirtokoneella. Palauttamista testataan ennen käytön aloittamista yhteistoimintakokeessa, jossa kapseli avataan edellä kuvatun mukaisesti ja testissä käytetyt polttoaineen näköisversiot (jotka eivät sisällä uraania) poistetaan kapselista.

Mikäli palauttaminen tapahtuu, kun loppusijoitustilat on lopullisesti suljettu eikä kapselointilaitos enää olisi käytettävissä, rakennetaan maanpäälle tarvittaessa käytöstä poistetun kapselointilaitoksen korvaava laitos, jossa kapselileita voidaan käsitellä.

Maanpinnalle nostetut kapselit on mahdollista laittaa myös esimerkiksi kapselien maantiekuljetukseen soveltuvan säteilysuojan sisään ja kuljettaa haluttuun paikkaan jatkotoimenpiteitä varten.

Vaihtoehtoisesti voidaan kapselit avata ja siirtää polttoaine-elementit yksitellen kuljetussäiliöihin. Kuljetussäiliöt voivat olla samanlaisia kuin säiliöt, joilla polttoaine kuljetetaan voimalaitoksilta kapselointilaitokseen. Kuljetussäiliötä voidaan kuljettaa maanteitse, rautateitse tai meritse.

### 7.1 KOKEMUKSIA KAPSELIN PALAUTTAMISESTA

Kapselin palauttaminen loppusijoitusta vastaavista olosuhteista on todettu mahdolliseksi ja suunniteltu palauttamismenetelmä toteuttamiskelpoiseksi. Täyden mittakaavan loppusijoituskapseli palautettiin onnistuneesti Äspön kalliolaboratoriossa Oskarshamnissa vuonna 2006. Kapselien palauttamiseen liittyvä tutkimus eteni neljässä vaiheessa. Aluksi tutkittiin erilaisia tekniikoita pyrkien valitsemaan refe-

rensseitekniikka. Huomion kohteena oli erilaisia mekaanisia, hydrodynaamisia, lämpöön tai jäähdytykseen perustuvia sekä sähköisiä menetelmiä. Paisuntapaineen heikentämisessä todettiin käyttökelpoisimmaksi paineistetun suolaveden käyttö. Tämän jälkeen prosessia kehitettiin ja siirryttiin täyden mittakaavan kokeisiin kalliolaboratoriossa. Kokeen avulla saatiin tutkimustietoa bentoniitin poistamisesta ja päästiin kokeilemaan kapselin palauttamista todellisissa olosuhteissa. Kapselien sisällä oli lämmittimet, mutta ei radioaktiivisia aineita.

Koe eteni siten, että vuonna 2000 kaksi luonnollisen kokoista lämmittimillä varustettua kuparikapselia sijoitettiin bentoniitilla vuorattuihin sijoitusreikiin, jotka sijaitsivat 420 metrin syvyydessä. Bentonitiin annettiin kyllästyä vedellä 5 vuotta. Bentonitiin kyllästymisvaiheen aikana kerättiin tietoa kyllästymisasteesta, lämpötilasta, paisuntapaineesta ja liikeyksistä bentoniittilohkoissa. Kallio instrumentoitiin lämpötilan, jännitystilojen ja liikeyksien monitorointia varten. Lisäksi mitattiin kuparikuoren muodonmuutoksia ja kapselin lämpötilaa.

Kapselin vapauttaminen bentoniitista aloitettiin alkuvuodesta 2006. Bentonitiä poistettiin aluksi mekaanisesti, jolloin siitä voitiin ottaa näytteitä ja poistaa sisään upotetut sensorit. Kun bentoniittia oli poistettu puoleen väliin kapselia, loppuosa poistettiin liettämällä se suolavedellä. Kun kapseli oli kokonaan vapautettu bentoniitista, se nostettiin ylös, sijoitusreikä huuhdeltiin ja vesi poistettiin reiästä.



## 8 PALAUTTAMISEN KUSTANNUKSISTA

Palautettavuuden kustannusten arviointia vaikeuttaa erityisesti mahdollisen palauttamistapahtuman sijoittuminen ennalta määrittelemättömään ajankohtaan tulevaisuudessa. Alla esitetyt arviot on tehty rakentamislupahakemuksen jättämisen kustannustason mukaan. Muun muassa tekniikan kehittyminen vaikuttaa kustannusten suuruuteen, ja tehtäville kustannusarvioille on jätettävä suurehko virhemarginaalit.

Palauttamisen kustannukset riippuvat vahvasti palauttamisajankohdasta, sillä kustannukset kasvavat portaittain tiloja suljettaessa. Mikäli kapseli päätetään palauttaa maan pinnalle ennen sijoitusreiän sulkemista, kestää työ arviolta päivän ja siitä aiheutuvat kustannukset ovat vähäiset.

Yhden täytetyn sijoitustunnelin avaaminen ja siinä olevien kapseleiden palautus maan pinnalle on arvioitu kestävän noin 500 päivää ja se tulisi maksamaan arviolta 5 miljoonaa euroa. Palauttamisen kapselikohtainen kustannus olisi tällöin noin 167 000 euroa.

Yhden yksittäisen loppusijoitustunnelin kapseleiden palauttamisen on arvioitu kestävän noin 70 kuukautta tilanteessa, jossa loppusijoituslaitos on jo poistettu käytöstä. Kuilun, ajokaistan ja keskustunnelin avaamisen sekä loppusijoitustunnelin tyhjentämisen ja kapselien palauttamisen kustannuksiksi on tällöin arvioitu 27 miljoonaa euroa.

Mikäli kaikki kapselit päätetään palauttaa maan pinnalle tilojen sulkemisen jälkeen, voidaan työn kustannusten arvioida olevan 30 %–50 % loppusijoitustilojen rakentamis-, käyttö- ja sulkemiskustannuksista.

## 9 YHTEENVETO

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus on turvallisuusanalyseissä osoitettu turvalliseksi ratkaisuksi. Tästä syystä käytetyn ydinpolttoaineen palauttamiseen ei ole tarvetta. Tilojen avaaminen ja polttoainekapseleiden palauttaminen on kuitenkin mahdollista, mikäli kehittyvä tekniikka tekee sen tarkoituksenmukaiseksi. On mahdollista, että tulevaisuudessa halutaan käyttää uudenlaista loppusijoitusmenetelmää tai täysin uutta tekniikkaa käytetyn polttoaineen käsittelyssä tai halutaan hyödyntää tai käyttää uudelleen loppusijoitetun materiaalin raaka-aineet tai energiasisältö. Loppusijoitetun ydinpolttoaineen palauttaminen maan pinnalle on teknisesti toteutettavissa loppusijoitustilojen käyttövaiheessa ja tilojen sulkemisen jälkeen.

Äspössä tehdyllä testeillä ja Posivan yhteistointakokeessa tehtävällä täyden mittakaavan kapselinpalautuskokeella on osoitettu, että kapselin palautus on mahdollista ja menetelmä on toteutuskelpoinen. Lisäksi osoitettiin, että pystytään rakentamaan laite, jolla kapseli vapautetaan paisuneesta bentoniitista. Jos kapselien palauttamiseen päädytään, laitteen rakentamiseen ja demonstroimiseen tulee varata riittävästi aikaa ennen palauttamisen aloittamista.

Kapselien palauttamisen kustannusten arvioiminen on haasteellinen tehtävä, sillä kustannukset riippuvat palauttamisajankohdasta. Palauttaminen on sitä kalliimpaa, mitä pidempi aika loppusijoittamisesta ja tilojen sulkemisesta on kulunut. Mikäli kapseli palautetaan maan pinnalle ennen sijoitusreiän sulkemista, kustannukset ovat vähäisiä. Kaikkien tilojen sulkemisen jälkeen työn voidaan kustannusten arvioida olevan 30% – 50% loppusijoitustilojen rakentamis-, käyttö- ja sulkemiskustannuksista.

# 12

PÄIVITETTY SELVITYS  
KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN  
KULJETUSRISKEISTÄ





■ Kuva: Posiva Oy



# SISÄLLYSLUETTELO

|                                                                                                       |            |                                                           |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------|------------|
| <b>1 JOHDANTO .....</b>                                                                               | <b>314</b> | <b>4 SÄTEILYANNOKSET .....</b>                            | <b>326</b> |
| <b>2 TURVALLISUUSOHJEET KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN KULJETUKSILLE .....</b>                             | <b>315</b> | 4.1 Kuljetussäiliön annosnopeus .....                     | 326        |
| 2.1 Kansainväliset ohjeet.....                                                                        | 315        | 4.1.1 Lähtötiedot.....                                    | 326        |
| 2.1.1 IAEA:n ohjeet säteilytetyn polttoaineen kuljetuksille .....                                     | 315        | 4.1.2 Annosnopeudet säiliön ulkopuolella.....             | 328        |
| 2.1.2 IMDG-säännöstö vaarallisten tavaroiden kuljetukseen merellä .....                               | 316        | 4.2 Normaalikuljetukset.....                              | 331        |
| 2.2 Kansalliset ohjeet .....                                                                          | 317        | 4.2.1 Kuljetusreitit ja lähtötiedot .....                 | 331        |
| 2.2.1 Ydinenergialaki ja Säteilyturvakeskukseen YVL-ohje.....                                         | 317        | 4.2.2 Säteilyannokset normaalikuljetuksista .....         | 337        |
| 2.2.2 Laki vaarallisten aineiden kuljetuksesta tiellä.....                                            | 318        | 4.3 Liikenteelliset onnettomuustapaukset ....             | 339        |
| <b>3 KULJETUSJÄRJESTELYT .....</b>                                                                    | <b>319</b> | 4.3.1 Hypoteettiset onnettomuustapaukset ja päästöt ..... | 339        |
| 3.1 Loviisan ydinvoimalaitoksen käytetyn polttoaineen kuljetus Olkiluodon kapselointilaitokselle..... | 319        | 4.3.2 Leviämis- ja annoslaskennan lähtötiedot .....       | 342        |
| 3.1.1 Valmistelutyöt laitoksella .....                                                                | 319        | 4.3.3 Säteilyannokset onnettomuustapauksista .....        | 343        |
| 3.1.2 Kuljetuksen toteutustapa- vaihtoehdot .....                                                     | 319        | <b>5 YHTEENVETO .....</b>                                 | <b>349</b> |
| 3.1.3 Tyhjen kuljetussäiliöiden takaisinkuljetus .....                                                | 320        | Lähdeviitteet .....                                       | 350        |
| 3.2 Kuljetuskaluston kuvaus.....                                                                      | 320        |                                                           |            |
| 3.2.1 Maantiekuljetus .....                                                                           | 320        |                                                           |            |
| 3.2.2 Merikuljetus .....                                                                              | 321        |                                                           |            |
| 3.3 Kuljetussäiliö .....                                                                              | 321        |                                                           |            |
| 3.4 Polttoainetyyppi ja ominaisuudet .....                                                            | 323        |                                                           |            |
| 3.4.1 Polttoaine-elementti.....                                                                       | 323        |                                                           |            |
| 3.4.2 Palama.....                                                                                     | 324        |                                                           |            |
| 3.4.3 Kuljetettava polttoainemäärä.....                                                               | 324        |                                                           |            |
| 3.5 Aikataululliset tekijät .....                                                                     | 325        |                                                           |            |

# 1 JOHDANTO

Tutkimuksessa tarkastellaan säteilyturvallisuu- den kannalta Loviisan ydinvoimalaitoksella käytön aikana kertyneen käytetyn polttoaineen kuljetuksia Olkiluodon loppusijoituslaitokselle. Erityisalueina tutkimuksessa ovat kuljetussäiliön annosnopeuden laskenta, normaali-kuljetusten sekä liikenteellisten hypoteettisten onnettomuustapausten annosvaikutusten arviointi.

Kuljetusreitteinä tarkastellaan rannikkoalueen kautta sekä sisämaan kautta kulkevia maantiekuljetuksen reittivaihtoehtoja. Lisäksi tarkastellaan merikuljetusta laivalla Loviisan Valkon satamasta sekä suoraan Hästholmenilta Olkiluodon satamaan.

Tavoitteena on kartoittaa polttoainekuljetusten säteilyaltistuksesta väestölle ja henkilöstölle aiheutuva säteilyannos ja terveysvaikutukset normaaleissa kuljetuksissa sekä mahdollisissa poikkeustilanteissa.

Onnettomuustilanteina analysoidaan hypoteettisten liikenteellisten törmäyssonnettomuuksien vaikutuksia, jolloin käsitellään eriasteisten polttoainevaurioiden merkitystä potentiaalsiin päästöihin, leviämiseen ja aiheutuviin säteilyannoksiin.

## 2 TURVALLISUUSOHJEET KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN KULJETUKSILLE

### 2.1 KANSAINVÄLISET OHJEET

#### 2.1.1 IAEA:N OHJEET SÄTEILYTETYN POLTTOAINEEN KULJETUKSILLE

Kansainvälisen atomienergiajärjestön (International Atomic Energy Agency, IAEA) ohjeet soveltuvat yleisesti eri kuljetusmuodoille. Ohjeiden tarkoituksena on varmistaa, että ydin- aineen tai ydinjätteen kuljetuksissa käytetään hyväksyttyjä pakkauksia, jolloin kuljetushenkilöstölle ja väestölle aiheutuvat säteilyannokset jäävät normaalisti sallitulle tasolle.

IAEA määrittelee kuljetuspakkaukselta vaadittavat ominaisuudet pakkauksen sisältämän aineen aktiivisuudensä määrän ja säteilyominaisuuksien perusteella (IAEA,2018). Lisäksi pakkauksen tulee rakennetyypiltään ja lujuusteknisesti kestää kuljetusympäristön potentiaaliset kuormitukset.

Reaktorissa säteilytetyn, käytetyn ydinpoltto- aineen kuljetuksessa on käytettävä lujarakenteis- ta, valurautaa tai terästä olevaa ns. B(U)F-tyy- pin kuljetussäiliötä. B-tyypin kuljetussäiliöt on suunniteltu säilyttämään riittävä säteilysuojaus ympäristölle ja suojatila polttoaineelle myös vakavissa liikenteellisissä kuljetusonnettomuu- s-tilanteissa. Lisäksi kuljetuspakkauksen pitää täyttää halkeamiskelpoisen eli fissiilin (F) ydin- aineen kuljetuksessa vaadittavat ominaisuudet kriittisyysturvallisuuden kannalta.

Säteilyn annosnopeus kuljetussäiliön ulkopuo- lella ei saa ylittää (IAEA,2018):

- 10 mSv/h missään säiliön ulkopinnalla ja annosnopeus pinnalla saa ylittää arvon 2 mSv/h vain edellyttäen, että
- kuljetusvälineessä on kuljetussuoja, joka normaaliolosuhteissa estää ulkopuolisten henkilöiden pääsyn suojan sisälle
- on varmistettu kuljetussäiliön ja -suojan py- syminen paikallaan normaalin kuljetuksen aikana

- polttoaine-elementtien lataaminen tai pois- taminen ei tapahdu kuljetuksen aikana
- 2 mSv/h missään pisteessä kuljetusvälineen ulkopinnalla, mukaan lukien ylä- ja alapinta, tai avoimen kuljetuksen tapauksessa kulje- tusvälineen ulkoreunoille kuvitelluilla pysty- suorilla projektiio-levyillä
- 0,1 mSv/h missään kohdassa 2 m etäisyy- dellä kuljetusvälineestä tai avoimen kulje- tuksen tapauksessa 2 m etäisyydelle kul- jetusvälineestä kuvitelluilla pystysuorilla projektiolevyillä.

Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetuksessa käy- tettävä säiliö ulottuu maantiekuljetuksessa lä- hes rekan telin päällä olevan kuljetusalustan ja siten kuljetusvälineen reunoille, joten käytän- nössä säteilyn annosnopeuden kuljetussäiliön ulkopinnalla ei tulisi ylittää arvoa 2 mSv/h.

Säiliön pintakontaminaatiosta aiheutuva aktiivi- suus saa olla enintään 4 Bq/cm<sup>2</sup> ja erälle radio- nuklideille 0,4 Bq/cm<sup>2</sup>.

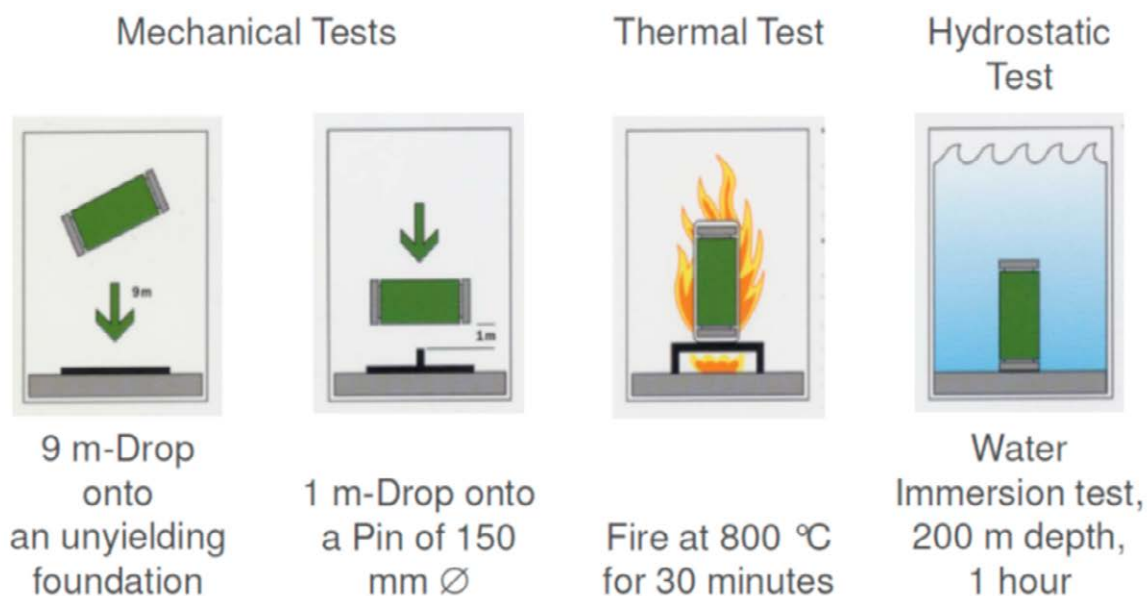
IAEA:n vaatimusten mukaisesti kuljetussäiliön tulee kestää normaaleissa<sup>1</sup> kuljetusolosuhteis- sa:

- vesisuihku tunnin ajan
- pudotus 0,3-1,2 m:n korkeudelta peräänan- tamattomalle alustalle
- säiliön painoon nähden viisinkertainen levy- kuorma
- tunkeumatesti, jossa 6 kg:n terästanko pu- dotetaan 1 m:n korkeudelta säiliön sivusei- nämää kohti.

Edellä mainittuun pudotustestiin liittyen tulee riskien arvioinnissa kiinnittää huomiota ilman törmäysvaimentimia tehtävien nostojen turval- lisuuteen. Nostojen epäonnistuessa kuljetus- säiliön rakenne säilyy todennäköisesti ehyenä,

---

<sup>1</sup> Normaaleilla kuljetusolosuhteilla tarkoitetaan olosuh- teita, joissa kuljetussäiliöön kohdistuu vain suhteellisen vähäisiä kuormituksia ja että kuljetussäiliö pysyy tiiviinä pitkäkestoista nestesuihkua tai sadevettä vastaan. Kulje- tussäiliön tulee normaaliolosuhteissa kestää matalaa pu- dotusta vastaava käsittelyhäiriö ilman törmäysvaimentimia sekä ulkopintaan kohdistuva raskas paikallinen kuormitus



■ Kuva 1. Kuljetussäiliön tyyppihyväksynnän ja käyttöluvan edellyttämät onnettomuustilanteiden testit (kuva: GNS ).

mutta törmäyskohteelle saattaa aiheutua vaurioita.

Liikenteellisten onnettomuuksien tai poikkeuksellisten kuormitusten varalta törmäysvaimentimin<sup>2</sup> varustetun käytetyn ydinpolttoaineen kuljetussäiliön tulee täyttää huomattavasti tiukemmat IAEA:n vaatimukset (Kuva 1) eli kuljetussäiliön tulee kestää mm.:

- pudotus peräänantamattomalle alustalle seurauksiltaan epäedullisimmalla kohtamiskulmalla 9 m:n korkeudelta
- pudotus halkaisijaltaan 0,15 m:n terästanگون päälle 1 m:n korkeudelta
- lammikkopalon kuumennus vähintään 30 minuutin ajan, kun liekit koskettavat säiliön koko pintaan ja niiden lämpötila on 800 °C
- upotus 200 m:n syvyyteen vähintään tunnin ajaksi.

Poikkeustilanteisiin liittyvät testit pyrkivät kattamaan mahdollisten onnettomuus-tilanteiden synnyttämät mekaaniset ja termiset kuormitukset, kuten törmäysten aiheuttamat säiliöön kohdistuvat iskut ja palavia nesteitä kuljettavan ajoneuvon tulipalon. Lisäksi on otettava huomioon, että todellisuudessa kohde ei ole perään-

antamaton. Yhdeksän metrin pudotuskokeessa kuljetussäiliö saavuttaa iskeytymishetkellä lähes nopeuden 50 km/h, mikä käytännön onnettomuustilanteissakin on mahdollinen törmäysnopeus toiseen ajoneuvoon tai esteeseen. Kuljetussäiliön sisällä olevan käytetyn ydinpolttoaineen tulee kuljetuksen aikana pysyä kaikissa tilanteissa alikriittisenä.

### 2.1.1 IMDG-SÄÄNNÖSTÖ VAARALLISTEN TAVAROIDEN KULJETUKSEEN MERELLÄ

Potentiaalisesti vaaralliseksi luokiteltavien tavaroiden tai aineiden merikuljetuksia koskevat säännöt on esitetty IMDG-säännöstössä (International Maritime Dangerous Goods Code). Säännösten kehitystyö sai alkunsa vuonna 1960 järjestetyssä Safety of Life at Sea (SOLAS) konferenssissa, jonka julkilausumana eri maita suositeltiin omaksumaan yhtenäinen kansainvälinen käytäntö ja säännöstö vaaralliseksi luokiteltavien tavaroiden merikuljetuksissa. Kansainvälisen merenkulun järjestön (International Maritime Organization, IMO) työryhmä alkoi valmistella IMDG-säännöstöä vuonna 1961 tiiviissä yhteistyössä Yhdistyneiden kansakuntien (YK) alaisen asiantuntijakomitean kanssa. IMDG-säännösten käyttöönotto vahvistettiin IMO:n kokouksessa vuonna 1965.

<sup>2</sup> Julkisilla teillä kuljetettaessa tulee käyttää törmäysvaimentimia, jotka asennetaan kuljetussäiliön pätyihin.



IMDG-säännöstössä vaaralliset aineet on jaettu eri luokkiin, joiden järjestysnumero ei kuitenkaan suoraan tarkoita ko. aineen vaarallisuusindeksiä. Radioaktiivisia aineita käsittelevät säännöt kuuluvat luokkaan seitsemän (Class 7). IMDG-säännöstössä annetaan yleisesti peruseriaatteita sekä yksityiskohtaisia suosituksia aineisiin, tavaroihin ja hyviin kuljetuskäytäntöihin, kuten pakkaamiseen, merkitsemiseen, säilyttämiseen, erotteluun ja käsittelyyn sekä pelastuspalvelutoimintaan liittyen. Säännösten noudattaminen varmistaa, että merellä kuljetettavat tavarat on pakattu siten, että ne voidaan aluksella turvallisesti kuljettaa.

Säteilytettyä polttoainetta kuljetetaan erikoisaluksella ns. yksinkuljetuksena, jolloin muuta rahtia ei ole mukana. Vuonna 1993 IMO esitteli suunnittelusuositukset aluksille, jotka kuljettavat säteilytettyä polttoainetta tai korkea-aktiivista jätettä. Vuoden 2001 tammikuussa nämä vapaaehtoiset suositukset muuttuivat pakollisesti toteutettaviksi vaatimuksiksi (International Code for the Safe Carriage of Packaged Irradiated Nuclear Fuel, Plutonium and High-Level Radioactive Waste on Board Ships, INF Code).

Kuljetettavan aktiivisuusmäärän mukaan alukset on luokiteltu turvallisuusominaisuuksien perusteella kolmeen luokkaan: INF 1, INF 2 ja INF 3. Loviisan käytetyn polttoaineen kuljetukset edellyttävät luokan INF 3 alusta suuren aktiivisuusmäärän takia.

Säteilytettyä polttoainetta kuljetettaessa on huomioitava mm. seuraavat turvallisuustekijät:

- kuljetusajan minimointi
- kuljetussäiliön siirtojen minimointi
- vaurioiden estäminen ja kestäkyky
- tulipalojen torjunta
- lämpötilan valvonta ruumassa
- rakenteelliset tarkastelut (eheys, kestävyys)
- turvajärjestelyt
- sähkönsaanti
- säteilysuojeluvälineet
- johtaminen, koulutus ja pelastusvalmius.

## 2.2 KANSALLISET OHJEET

### 2.2.1 YDINENERGIALAKI JA SÄTEILYTURVAKESKUKSEN YVL-OHJE

Ydinaineen ja ydinjätteen kuljetukset ovat ydinenergialain (990/1987) tarkoittamaa ydinenergian käyttöä. Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetuksia koskevat siten ydinenergialainsäädännön turvallisuusperiaatteet ja luvanvaraisuus. Ydinenergia-asetuksen (161/1988) 115 § mukaan kuljetukseen saa ryhtyä vasta, kun Säteilyturvakeskus (STUK) on todennut, että kuljetusjärjestelyt, turvajärjestelyt ja valmiusjärjestelyt täyttävät niille asetetut vaatimukset. STUK esittää ydinaineen kuljetuksia koskevat vaatimukset ohjeessa YVL D.2.

Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetus edellyttää Säteilyturvakeskuksen myöntämää kuljetuslupaa. Lupahakemuksen ohella luvanhakijan on toimitettava Säteilyturvakeskukselle kuljetussuunnitelma ja kuljetusten turvasuunnitelma hyväksyttäväksi. Lisäksi, koska käytetyn polttoaineen kuljetussäiliön aktiivisuussisältö ylittää 1000 TBq, on Säteilyturvakeskukselle laadittava kuljetuksista myös valmius-suunnitelma. Kuljetuslupahakemus sekä kuljetus-, turva- ja valmiussuunnitelma on toimitettava Säteilyturvakeskuksen hyväksyttäväksi vähintään kolme kuukautta ennen suunniteltua kuljetusajankohdtaa. Kuljetuslupahakemuksen liitteenä luvanhaltijan tulee toimittaa myös selvitys vahingonkorvausvastuun järjestämisestä ydinvahingon varalta (161/1988) 58 §.

Kuljetussuunnitelmassa toiminnanharjoittajan on esitettävä, miten kuljetus-järjestelyt toteutetaan kuljetuksia koskevien säännösten sisältämien vaatimusten mukaisesti. Kuljetusten turvasuunnitelmasta on käytävä ilmi, miten YVL-ohjeen mukaiset turvavaatimukset toteutetaan. Valmiussuunnitelmassa varaudutaan ja selvitetään mm. toimenpiteet mahdollisissa onnettomuustilanteissa, joissa radioaktiivisia aineita voisi vapautua ympäristöön sekä erityistilanteista aiheutuvia säteilyannoksia kuljetuksen henkilöstölle ja väestön yksilölle.

Lähetäjä toimittaa vastaanottajalle kuljetukseen liittyvät tarvittavat tiedot ja pyytää vastaanottajaa vahvistamaan kuljetuksen perille saapumisen.

Kuljetuksen tulee tieliikennelain rajoitukset huomioon ottaen edetä mahdollisimman nopeasti ja käytetyn ydinpolttoaineen siirtoja kuljetusvälineiden ja tilapäisten varastojen välillä on oltava mahdollisimman vähän. Toiminnanharjoittajan on tehtävä kuljetustoimintaansa koskeva ajan- tasainen riskianalyysi.

Säteilyturvakeskus valvoo ja toimii mm. yhteistyössä pelastusviranomaisten ja poliisin kanssa kuljetusten turvallisuuden varmistamiseksi.

Yksityiskohtaisemmat ohjeet kuljetuksiin liittyvistä vaatimuksista, lupahakemuksista ja edellytettävien suunnitelmien sisällöstä on esitetty Säteilyturvakeskuksen YVL-ohjeissa.

## 2.2.2 LAKI VAARALLISTEN AINEIDEN KULJETUKSESTA TIELLÄ

Valtioneuvoston asetus (194/2002) sekä Liikenne- ja viestintäviraston määräys (TRAFICOM/82133/03.04.03.00/2019) vaarallisten aineiden kuljetuksesta tiellä lakiin (719/1994, Laki vaarallisten aineiden kuljetuksesta (VAK)) nojautuen antavat säädökset maantiekuljetuksiin. Säädökset käsittelevät pakkauksia, säiliöitä, kuljetusajoneuvoja ja -yksiköitä, säteilysuojelua, reittirajoituksia sekä asiakirjoja.

Määräys TRAFICOM/82133/03.04.03.00/2019 pohjautuu IAEA:n suositukseen radioaktiivisten aineiden osalta, jolloin niiden sekä kuljetuspakkauksen osalta valvova viranomainen Suomessa on STUK. Kuljetuslupahakemuksen käsittelyn jälkeen STUK voi myöntää kuljetusluvan, joka voi kuljetuspakkauksen osalta perustua ulkomaisen toimittajan esittämään hyväksyttyyn turvallisuusanalyysiin kuljetussäiliön rakennetyypin turvallisuudesta.

## 3 KULJETUSJÄRJESTELYT

### 3.1 LOVIISAN YDINVOIMALAITOKSEN KÄYTETYN POLTTOAINEEN KULJETUS OLKILUODON KAPSELOINTI LAITOKSELLE

#### 3.1.1 VALMISTELUTYÖT LAITOKSELLA

Selvitys Loviisan käytetyn polttoaineen kuljetusvaihtoehdoista ja käytännön järjestelyistä on tehty erillisenä Posivan toimeksiantona (Capacent, 2016). Aiemmassa Fortumin toteutustapaselvityksessä on myös yksityiskohtaisesti kuvattu kuljetusjärjestelyjä, kuljetuskalustoa ja kuljetussäiliövaihtoehtoja (Koskivirta, 2012).

Loviisan ydinvoimalaitoksella säteilytetty ja reaktorista poiston jälkeen vähintään 20 vuotta jäähtynyt käytetty polttoaine lastataan käytetyn polttoaineen välivarastolla kuljetussäiliöön. Kansien sulkemisen yhteydessä säiliön sisätila kuivataan ja säiliöön laitetaan alipaineinen heli-umkaasutäyttö. Tämän jälkeen säiliö lasketaan välivaraston lastausasemalla joko erilliselle alustalle tai kuljetusajoneuvon lavetille vaakasentoon ja lukitaan kuljetuskehtoon. Kuljetussäiliön päätyihin asennetaan törmäysvaimentimet kuljetuksen ajaksi.

Lastatun kuljetussäiliön suuren painon (116 t) takia, lastausaseman nosturilla täytyy olla varmuuden vuoksi ainakin noin 125 t nostokapasiteetti. Noin 30 metriä pitkän vetoauto-lavetti yhdistelmän pitäisi mahtua kokonaan lastausaseman lastauskäytävän sisälle, jotta lastaus voidaan suorittaa turvallisesti ja määräysten mukaan. Turvallisuusmääräysten mukaan lastaustilan katon lastausaukko ja lastaustilan ovet eivät saa olla samanaikaisesti auki.

#### 3.1.2 KULJETUKSEN TOTEUTUSTAPAVAIHTOEHDOT

Laitokselta polttoaine kuljetetaan pääkuljetusmuotona tarkastellen maanteitse tai merikuljetuksena Olkiluodossa sijaitsevalle



**Kuva 2.** Loviisan ydinvoimalaitoksen KPA-lastausaseman ulkoaluetta (kuva: Capacent).

kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle. Maantiekuljetusvaihtoehdossa kuljetussäiliö viedään suoraan Olkiluotoon soveltuvaa reittiä käyttäen. Merikuljetusvaihtoehdossa kuljetussäiliö viedään erikoisvarustellulla laivalla joko suoraan Loviisan laitokselta Olkiluodon voimalaitosalueella sijaitsevaan satamaan tai Loviisan Valkon satamasta Olkiluotoon. Mikäli merikuljetus lähtisi Loviisan laitosalueelta, edellyttäisi se syvyykseltään riittävän sataman rakentamista Loviisan ydinvoimalaitoksen viereen Hästholmenille. Tällöin kuljetussäiliöt voitaisiin siirtää pukkilaveteille laitokselta laivan ruumaan. Valkon satamaan kuljetussäiliö kuljetettaisiin laitokselta Saaristotietä ja Loviisan keskustan kautta. Valkon satamassa on käytettävissä ro-ro-tyyppinen (Roll-on/roll-off) lastaus aluksen ruumaan eli kuljetussäiliö siirretään ruumaan pyöräkuljetuksena. Ro-ro-lastauksen toteutustapa on esitetty kuvassa 3.

Olkiluodon vastaanottosatamasta kuljetussäiliöt voidaan siirtää pukkilaveteilla satamasta kapselointilaitoksen vastaanottotilaan.

Merikuljetuksessa on mahdollista kuljettaa laivalla useita säiliöitä käytettyä ydinpolttoainetta kerralla Loviisasta Olkiluotoon.



**Kuva 3.** Kuljetussäiliön lastaus-/purkuvaihe aluksen ruumaan.

### 3.1.3 TYHJEN KULJETUSSÄILIÖIDEN TAKAISINKULJETUS

Olkiluodon kapselointilaitokselta takaisin Loviisan ydinvoimalaitokselle palautettavissa kuljetussäiliöissä säiliön ja kansiosan sisäpinoilla voi olla radioaktiivisia hiukkasia (kuivakuljetus). Alustavien suunnitelmien mukaan kontaminoituneen säiliön sisäpintojen puhdistaminen tapahtuisi Loviisan ydinvoimalaitoksella erillisellä dekontaminointijärjestelmällä (Koskivirta, 2012).

Kuljetussäiliön sisäpuolinen kontaminaatio ei aiheuta merkittävää säteilyaltistusta väestölle säiliön paksujen, säteilyä tehokkaasti vaimentavien teräseinämien ulkopuolella.

Ennen kuin palautuskuljetus lähtee Olkiluodosta, tulee mitata myös mahdollinen säiliön ulkopuolinen kontaminaatiotaso. Tarvittaessa kuljetussäiliö tulee puhdistaa ulkopuolisilta pinnoiltaan radioaktiivisista hiukkasista ennen

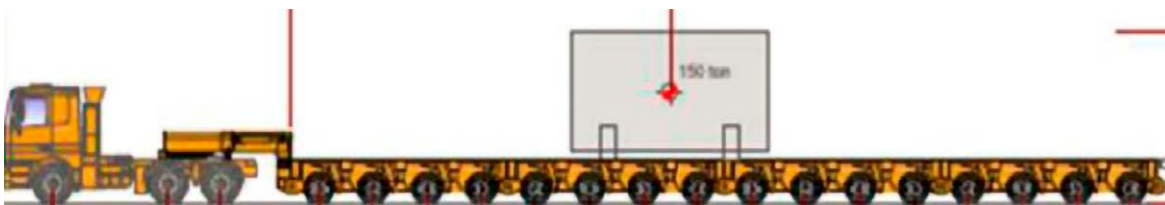
kuljetussäiliön palautusta. Palautus tehdään noudattaen kuljetussäännöstöjä.

## 3.2 KULJETUSKALUSTON KUVAUS

### 3.2.1 MAANTIEKULJETUS

Kuljetussäiliön korkeuden ja kuljetuksen vakauden takia raskaat polttoainetta sisältävät säiliöt kuljetetaan yleensä maanteitse säiliön pitkän sivun suhteen vaaka-asennossa (Kuva 4). Loviisan laitokselta Olkiluotoon lähtevä säiliö voidaan kuljettaa vaaka-asennossa enintään kuorman korkeudella 4,4 metriä, mikä on erikoiskuljetukselle laissa asetettu suurin korkeus maasta mitattuna. Tässä on otettu huomioon varmuusväli alikulkujen todellisiin korkeuksiin maasta.

Kuljetuskalusto muodostuu vetoauton ja lave-  
tin yhdistelmästä. Liikenne- ja viestintäministeriön asetus (1253/2002) ajoneuvolakiin asettaa



**Kuva 4.** Loviisan polttoainekuljetukselle soveltuva kuljetuskalustotyyppi (Posiva).





■ Kuva 5. Polttoainekuljetuksiin soveltuva erikoisvarusteltu m/s Sigrid (SKB).

rajoituksia akseleille kohdistuviin massoihin eli akselipainoihin sekä kuljetusnopeuksiin: ”Erikoiskuljetusperävaunun perävaunun ja akseliston valmistajan sallimissa rajoissa parirenkain varustetulle erilliselle tai telissä olevalle akselille kohdistuvaksi massaksi 80 km/h nopeudelle sallitaan enintään 13 tonnia ja kahdeksalla rinnakkaisella renkaalla varustetulle akselille vastaavasti enintään 20 tonnia.” Lavettiosan rengasvarustuksesta riippuen akselipainojen täytyy jäädä sallituiksi, kun otetaan huomioon lastatun CASTOR-säiliön kokonaispaino kuljetussuojineen. Kuljetuksen leveys saa ko. asetuksen mukaan olla enintään 3,2 metriä.

Kuljetussäiliö tulee kuljetuksen ajaksi kiinnittää ja lukita kuljetusalustaan. Tätä varten esimerkiksi CASTOR VVER 84 -säiliölle on suunniteltu ja käytettävissä ns. kuljetuskehto, johon säiliö voidaan luotettavasti laskea, kiinnittää ja lukita alustaan.

### 3.2.2 MERIKULJETUS

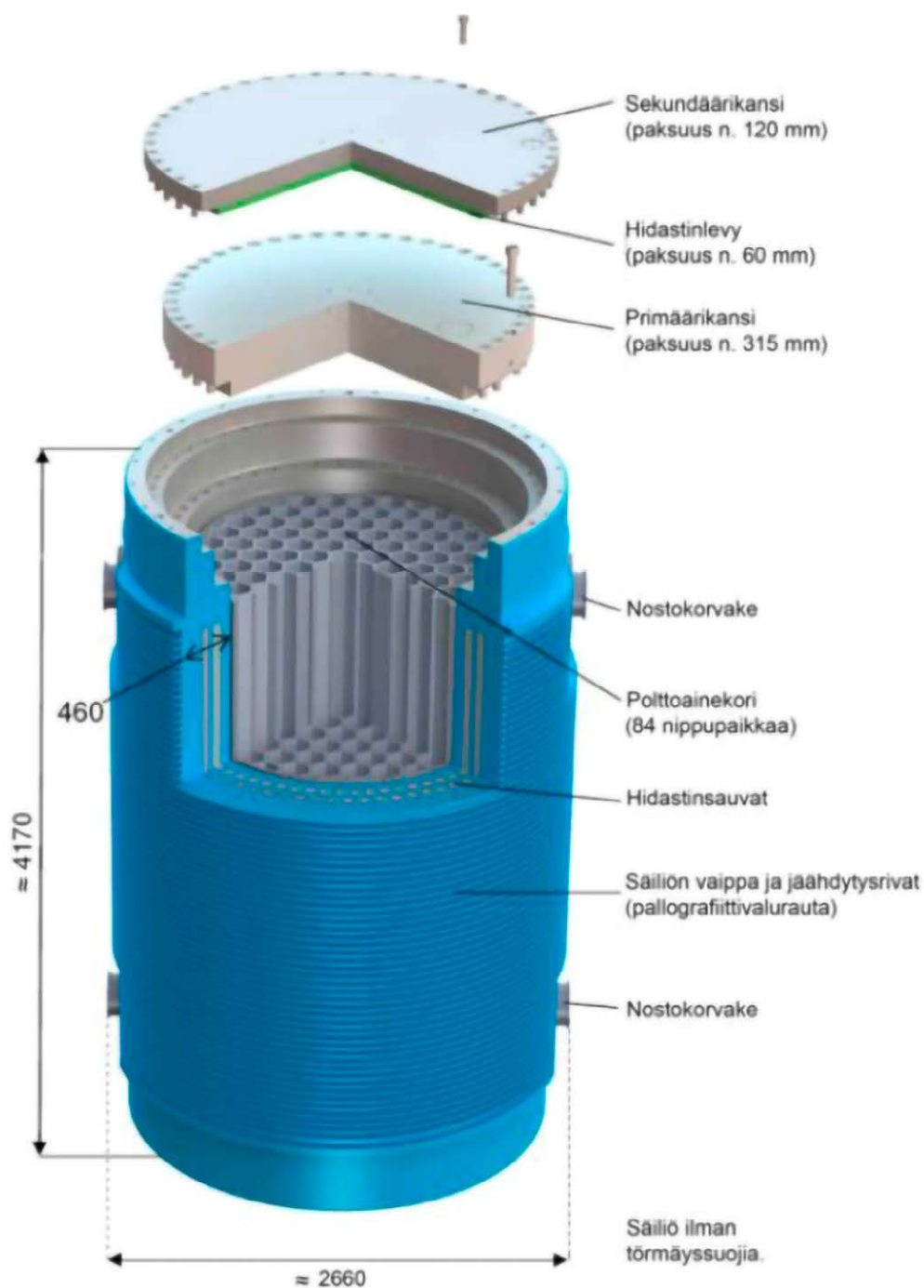
Säteilytetyn polttoaineen kuljetuksissa käytetään erikoisaluksia, joissa on merikuljetuksen turvallisuutta varmistavia ratkaisuja, kuten kaksoispohjarakenne uppoamisen estämiseksi mahdollisen karilleajon seurauksena. Lisäksi aluksessa tulee olla esimerkiksi lastitilan lämpötilan valvonta- ja hallintalaitteistot, kehittyneet ja varmennetut viestintälaitteet, ym. tiettyjä turvallisuutta lisääviä ominaisuuksia.

Tehoreaktorien polttoaineen, kuten Loviisan KPA-kuljetukset, edellyttävät kansainvälisen merenkulun järjestön (IMO) ohjeiden mukaan parhaimman turvaluokituksen (INF 3) vaatimukset täyttävää alusta, polttoaineen kuljetussäiliöiden suuren aktiivisuussisällön takia. INF 3 luokassa ei toisaalta aseteta rajoituksia kerralla kuljetettavan kokonaisaktiivisuuden osalta.

Euroopan alueella esimerkiksi Venäjä, Britannia ja Ruotsi voivat tarjota kuljetuspalveluja ja aluksia, jotka soveltuvat käytetyn ydinpolttoaineen kuljetukseen. Ruotsalaisella m/s Sigynillä kuljetettiin aiemmin pitkään Itämerellä ja nykyään käytettävää SKB:n vuonna 2013 valmistunutta m/s Sigridiä voidaan pitää turvallisuustasoltaan vielä kehittyneempänä aluksena (kuva 5). Sen suunnittelutietoina on annettu: pituus 99,5 m, leveys 18,6 m, kuollut paino 1 600 t, syväys noin 4,5 m ja matkanopeus 12 solmua. Lastauskapasiteettina kerralla 12 kuljetussäiliötä.

### 3.3 KULJETUSSÄILIÖ

Kuljetussäiliön tulee täyttää kansainväliset IAEA:n ohjeistuksen mukaiset turvallisuusvaatimukset korkea-aktiivisen käytetyn ydinpolttoaineen kuljettamisessa. Säiliön on läpäistävä normaalikuljetuksia ja poikkeuksellisia onnettomuustilanteita jäljittelevät testit (pudotus kovalle alustalle, pudotus tapin päälle, tulipalo, upottaminen syvälle veteen). Kuljetussäiliön



|                                           |              |
|-------------------------------------------|--------------|
| Lastattavien VVER-nippujen määrä          | 84 kpl       |
| Polttoaineen maksimipalama                | 58 MWd/kgU   |
| Lämpöteho säiliön sisällä                 | < 27,5 kW    |
| Korkeus                                   | 4,17 m       |
| Halkaisija                                | 2,66 m       |
| Seinämän vahvuus                          | 0,46 m       |
| Paino tyhjänä/täyd. polttoainelatauksella | 106 t/ 116 t |

■ Kuva 6. CASTOR® 440/84M kuljetussäiliö (GNS, 2017).

ulkopuolella säteilyn annosnopeuden on oltava sallitulla tasolla.

Säiliötyyppien osalta on monia eri mahdollisuuksia riippuen mm. siitä, toteutetaanko kuljetus kaasujäähdytteisenä vai vesijäähdytteisenä. Kaasujäähdytteisessä säiliössä voidaan täytekaasuna käyttää alipaineistettua heliumia. Loviisan käytetyn polttoaineen kuljetukset on tämänhetkisen suunnitelman mukaan tarkoitus toteuttaa kaasujäähdytteisellä kuljetussäiliöllä. Tämä helpottaa säiliön käsittelyä lastaus- ja purkuvaiheiden aikana Loviisan ydinvoimalaitoksella ja Olkiluodon kapselointilaitoksella. Vesitäytteisessä kuljetuksessa säiliön suuri vesimäärä pitäisi vaihtaa ja dekontaminoida säiliö.

CASTOR-kuljetussäiliöt ovat kansainvälisesti laajasti käytössä polttoainekuljetuksissa. Ne ovat yhteensopivia IAEA:n B(U)F-säiliön vaatimusten kanssa ja niillä on ulkomainen luvitus ja viranomaishyväksyntä, jonka voimaansaatamista Suomessa voidaan hakea Säteilyturvakeskuksesta.

Loviisan laitoksen VVER-polttoainenipuille soveltuu esimerkiksi CASTOR 440/84M -tyypin kuljetussäiliö (Kuva 6 säiliön teknisine tietoineen). Säiliön runko on pallografiittirautaa ja säiliön vaipan sisälle on sijoitettu polyeteenisauvoja neutronisäteilyn vaimentamiseksi. Säiliön kansien välissä on monitoroitava tila kannen tiivistevuodon havaitsemiseksi. Välikansilevyyn on liitetty polyeteenilevy vaimentamaan neutronisäteilyä säiliön päädyn kautta ympäristöön.

Kuljetussäiliön sisälle lastattava polttoaine on Posivan suunnitteluperusteiden mukaisesti vähintään 20 vuotta jäähtynyttä, mutta se kehittää edelleen jonkin verran jälkilämpöä. CASTOR 440/84M -säiliölle valmistajan antama polttoaineen maksimipalama saa olla enintään 58 MWd/kgU ja kehittyvä lämpöteho säiliön sisällä enintään 27,5 kW (GNS, 2017).

### 3.4 POLTTOAINETYYPPI JA OMINAISUUDET

#### 3.4.1 POLTTOAINE-ELEMENTTI

Loviisan ydinvoimalaitoksella käytetään heksagonaalisen hilan mukaisia koteloituja VVER polttoaine-elementtejä eli polttoainenippuja

(Kuva 7). Kuljetussäiliön sisällä oleva polttoainekori muodostuu vastaavasti heksagonaalisista polttoainepositioista, jotka muodoltaan ja pituudeltaan vastaavat polttoaine-elementin geometriaa. VVER polttoaine-elementin tekniset suunnittelutiedot on esitetty Taulukossa 1.



■ Kuva 7. VVER polttoaine-elementti.

|                                                                                    | VVER 440 PWR    |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Elementin poikkileikkausgeometria                                                  | heksagonaalinen |
| Elementin pituus (mm)                                                              | 3217            |
| Elementin poikkileikkausleveys (mm)                                                | 144             |
| Polttoainesauvojen lukumäärä                                                       | 126             |
| Uraanimassa elementissä (kg)                                                       | 120–126         |
| Elementin kokonaismassa (kg)                                                       | 210–214         |
| Virtauskanavan leveys (mm)                                                         | 144 (heksagon.) |
| Keskimääräinen palama arvioituna kaikesta kuljetettavasta polttoaineesta (MWd/kgU) | 40–41           |
| Tyypillinen U-235 rikastusaste (%)                                                 | 3,6–4,4         |

■ **Taulukko 1.** VVER polttoaine-elementin suunnittelutietoja.

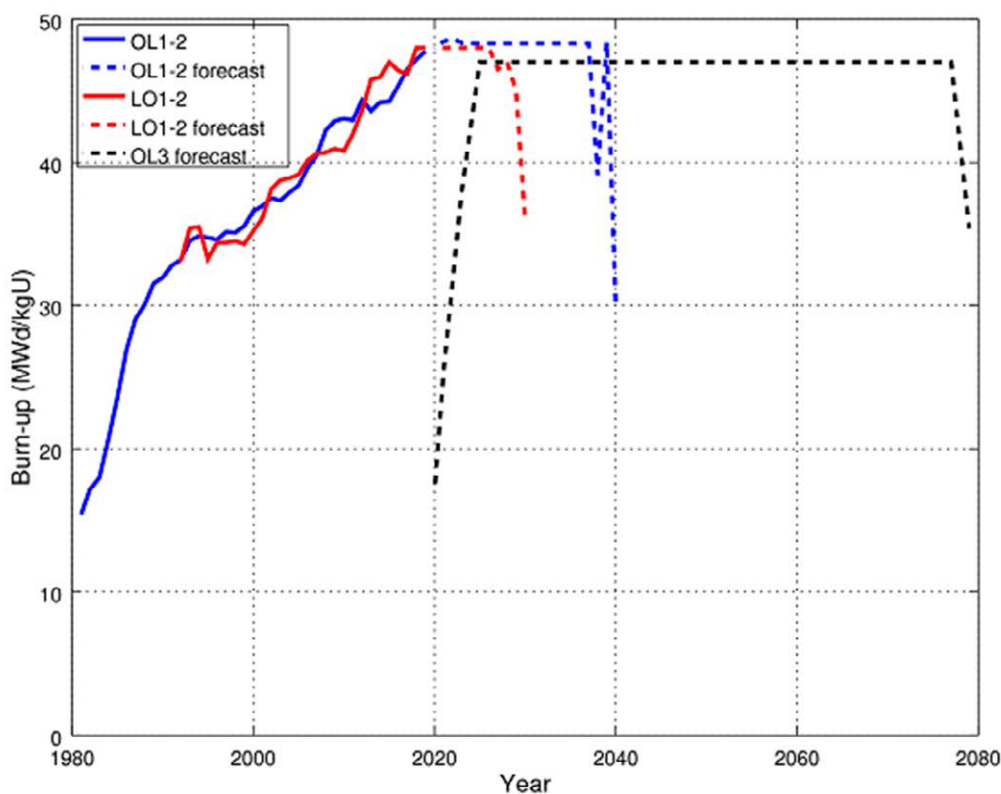
### 3.4.2 PALAMA

Loviisasta kuljetettavan VVER-polttoaineen keskimääräisen palaman on arvioitu olevan noin 40 MWd/kgU (Huttunen, et al. 2021). Tässä palama-arviossa on otettu huomioon sallittavan maksimipalaman nouseminen Loviisan laitosyksiköillä arvoon 57 MWd/kgU. Kuva 8. esittää poistettavien polttoaineenippujen (ele-

menttien polttoaineen) palaman kehitystä ajan kuluessa Loviisan ja Olkiluodon laitosyksiköillä.

### 3.4.3 KULJETETTAVA POLTTOAINEMÄÄRÄ

Loviisan ydinvoimalaitoksella kertyy 50 käyttövuoden aikana noin 8 000 polttoaineenippua. Enimmäispalaman nosto arvoon 57 MWd/kgU



■ **Kuva 8.** Poistettavien polttoaineenippujen keskimääräisen palaman (MWd/kgU) kehittyminen Loviisan ja Olkiluodon laitosyksiköillä (Huttunen, et al. 2021).



pienentää käytettyjen nippujen kertymisnopeutta ja kokonaismäärää laitoksen suunnitelluna käyttöaikana. Koska yhteen kuljetussäiliöön mahtuu 84 nippua, tarvitaan yhteensä lähes 100 kuljetussäiliöllistä. Tämän hetken suunnitelman mukaan Loviisan nykyisen käyttöiän mukainen polttoainemäärä loppusijoitettaisiin 11 vuoden aikana, joten laskennallinen kuljetustarve olisi noin 9 säiliötä vuodessa. Yhden säiliön sisältämä uranimassa on noin 10 tU (84 VVER-polttoainenippua).

### 3.5 AIKATAULULLISET TEKIJÄT

Riskienhallinnan kannalta polttoainekuljetukset tulisi toteuttaa siten, että minimoidaan liikenteellisten, mahdollisten yhteiskunnallisten häiriötekijöiden ja säteilystä aiheutuvat riskit.

Käytetyn polttoaineen kuljetustarve linkittyy kuljetuksen vastaanoton eli kapseloinnin ja loppusijoituksen aikatauluun. Käytännön kuljetustarve Loviisan polttoaineen osalta voi olla esimerkiksi kolme laivakuljetusta vuodessa (3 säiliötä per kuljetus) tai yhdeksän maantiekuljetusta vuodessa (1 säiliö per kuljetus). Kuljetustarve riippuu siten valittavasta kuljetusmuodosta ja hankittavien kuljetussäiliöiden määrästä.

Noin 40 vuoden loppusijoitusjakson alkuvuosina on suunniteltu kapseloitavan OL1-2-polttoainetta noin 35 kapselia vuodessa, minkä jälkeen LO1-2-polttoainetta noin 55 kapselia vuosittain, ja tämän jälkeen OL1-2-polttoainetta noin 55 kapselia vuodessa.

Ajankohta, jolloin muu liikennevirta on alhainen, antaa tiettyjä etuja etenkin maanteitse tapahtuvissa kuljetuksissa. Tällöin kuljetus voidaan toteuttaa valvotusti suunnitellulla reittinopeudella ja kuljetus toteutuu ilman ylimääräisiä viivytyksiä, kuten radioaktiivisten aineiden kuljetuksen ohjeissakin edellytetään. Merikuljetus on aikataulutuksen suhteen joustavampi kuin maakuljetus, mutta sääolosuhteiden tulee olla turvalliseen merikuljetukseen soveltuvat.

Kuljetusajankohta tulisi aina valita siten, että mahdollisissa häiriö- tai onnettomuustilanteissa pelastuspalvelun vaste on mahdollisimman nopea ja tehokas.

## 4 SÄTEILYANNOKSET

### 4.1 KULJETUSSÄILIÖN ANNOSNOPEUS

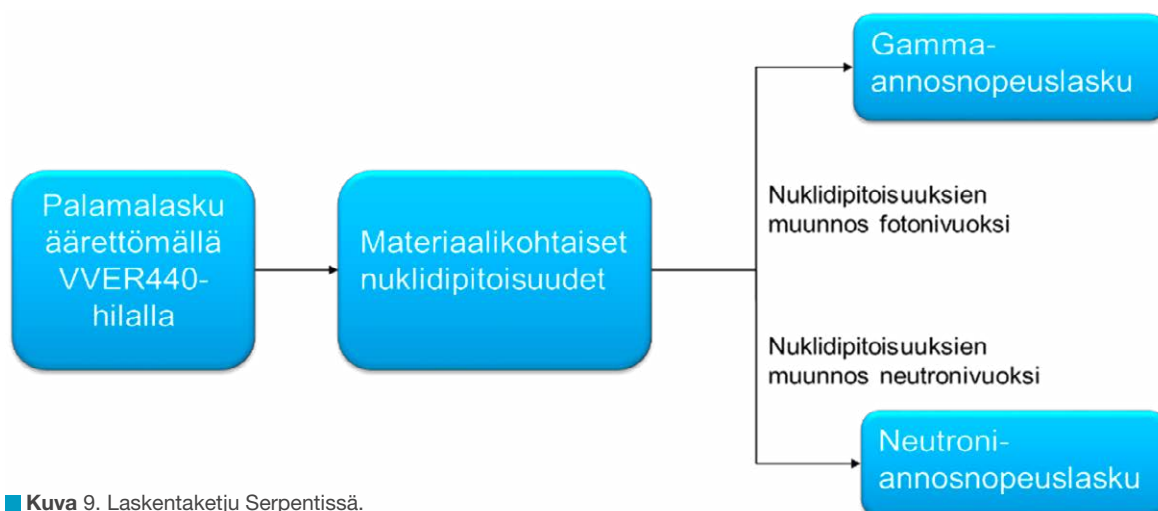
#### 4.1.1 LÄHTÖTIEDOT

Laskut suoritettiin VTT:n omalla Monte Carlo-pohjaisen Serpent-ohjelman versiolla 2.1.32 (Leppänen et al., 2015). Laskentamalli jakautuu kahteen osaan. Aluksi käytetyn polttoaineen koostumus laskettiin palamalaskulla ja materiaalien nuklidipitoisuudet tallennettiin binääritiedostoon. Tämän jälkeen luotiin malli polttoaineella täytetystä CASTOR-säiliöstä, johon

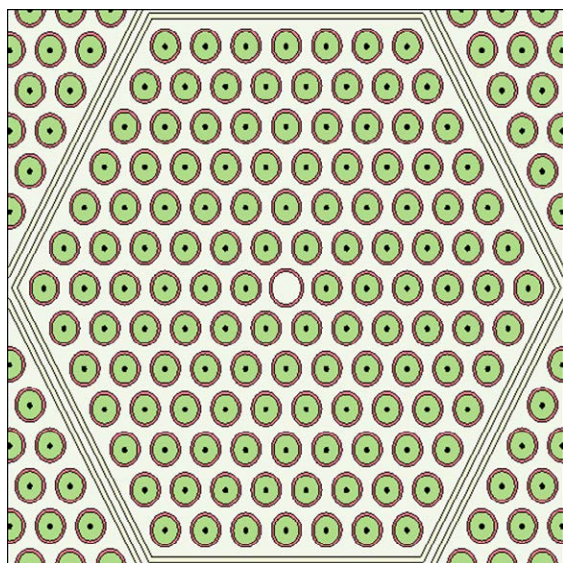
syötettiin lasketut polttoaineen nuklidipitoisuudet. Materiaalikohtaiset nuklidipitoisuudet muunnettiin foton- ja neutronivoiksi kahdessa eri laskussa ja laskettu absorboitunut annos annosmuunnoskertoimia käyttäen. Laskentaketju on havainnollistettu kuvassa 9.

Palamalaskut toistettiin kahteen kertaan siten, että toinen laskuista kuvaisi palamaltaan ja rikastusasteeltaan konservatiivista ääritapausta ja toinen realistisempaa TVEL:n 2. sukupolven polttoainetta.

Palamalaskussa mallinnettiin ääretön hila VVER-440 nippuja, joita käytettiin aluksi mää-



■ Kuva 9. Laskentaketju Serpentissä.



■ Kuva 10. Palamalaskun mallinnusgeometria. Ääretön hila VVER-nippuja mallinnettiin toistuvilla reunaehdoilla.

| Parametri                          | Konservatiivinen palamamalli | Realistinen palamamalli |
|------------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Nipputyyppe                        | Heksagonaalinen 15x15        | Heksagonaalinen 15x15   |
| Uraanipellatin halkaisija (cm)     | 0,756                        | 0,756                   |
| Suojakuoren sisähalkaisija (cm)    | 0,776                        | 0,776                   |
| Suojakuoren ulkohalkaisija (cm)    | 0,915                        | 0,915                   |
| Nipun paksuus (pitch) (cm)         | 14,7                         | 14,7                    |
| Sauvojen väli nipussa (pitch) (cm) | 1,23                         | 1,23                    |
| Uraanin väkevöintiaste (w%/HM)     | 5,0                          | 4,4                     |
| Polttoaineen lämpötila (K)         | 1094                         | 1094                    |
| Jäähdytysveden lämpötila (K)       | 582                          | 582                     |
| Veden booripitoisuus (ppm)         | 500                          | 500                     |
| Tehotiheys palaman aikana (W/g)    | 48                           | 48                      |
| Palama lopussa (MWd/kgU)           | 60                           | 50                      |
| Jäähdytysaika palaman jälkeen (a)  | 20                           | 20                      |

■ **Taulukko 2.** Palamalaskun parametrejä.

rättyyn palamaan asti (50 MWd/kgU tai 60 MWd/kgU) ja jäähdytettiin tämän jälkeen 20 vuotta. Laskun parametrit on kerätty taulukkoon 2 ja mallinnettu geometria on esitetty kuvassa 10. Vaikutusalakirjastona oli ENDF/B-7 ja laskussa simuloitiin 1E9 neutronia. VTT:n omalla 2.60 GHz Intel Xeon -klusterissa kymmentä ydintä käyttäen lasku kesti noin neljä tuntia.

Annosnopeuslaskussa mallinnettiin säiliö 300x300x500 cm ilmatilavuudessa. Säiliön sisään mallinnettiin 84 kpl VVER-440 nippuja, joiden geometria oli täsmälleen sama palamalaskun kanssa. Kaikki 84 nippua oletettiin identtisiksi.

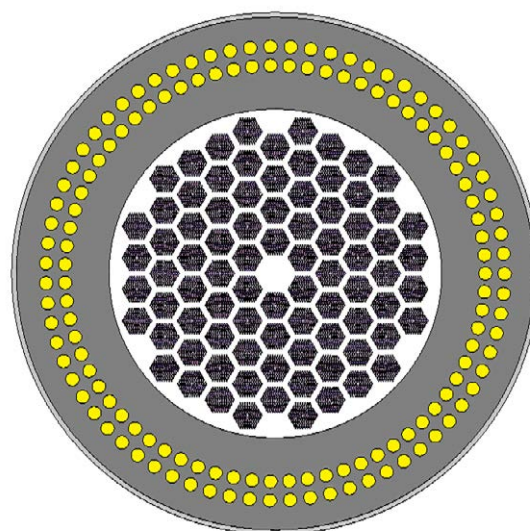
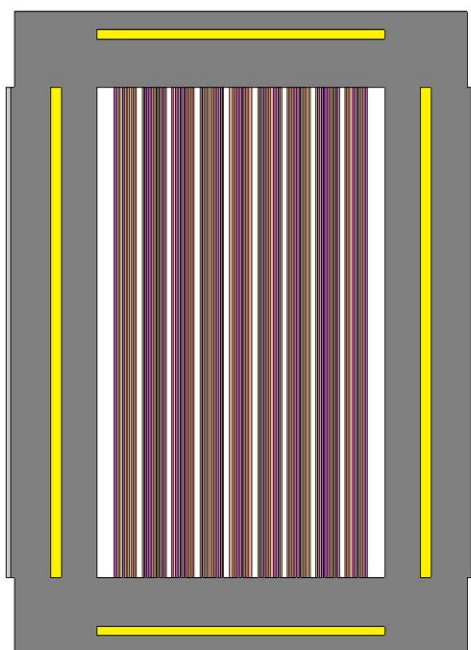
CASTOR 440/84M -säiliö mallinnettiin pääosin viitteen (GNS, 2014) mukaisesti. Laskussa

mallinnettiin ulkoseinät, kannet ja neutroniabsorbaattorit seinien ja kansien sisään. Säiliön rakennemateriaalit oletettiin viitteen (PNNL, 2011) mukaisesti.

Laskussa mallinnettiin yksinkertaistuksen vuoksi säiliön ulkopuoliset jäähdytysrivat säiliön ympärillä olevana lieriönä, jonka tiheydeksi oletettiin puolet pallografiittiraudan tiheydestä. Tämän lisäksi säiliön nostokorvakkeita ja polttoainennippujen ylä- ja alapään rakenteita ei mallinnettu. Säiliön sisällä nippujen väliin oletettiin viitteen (Kärkkäinen & Karvonen, 2018) mukaisesti vain ilmaa. Kaikki käytetyt oletukset ovat konservatiivisia. Mallinnuksen dimensiot on koottu taulukkoon 3 ja geometrian poikkeileikkaus on esitetty kuvassa 11.

| Parametri                                          | Suuruus | Materiaali                           |
|----------------------------------------------------|---------|--------------------------------------|
| Säiliön ulkosäde (mm)                              | 1330    | Hiiliteräs, PNNL #162                |
| Säiliön sisäsäde (mm)                              | 870     | kuiva ilma                           |
| Sisäkannen paksuus (mm)                            | 315     | Hiiliteräs, PNNL #162                |
| Kannen absorbaattorilevyn paksuus (mm)             | 60      | Booripitoinen polyetyleni, PNNL #247 |
| Ulkokannen paksuus (mm)                            | 120     | Hiiliteräs, PNNL #162                |
| Sivuseinien absorbaattori-sauvojen halkaisija (mm) | 70      | Booripitoinen polyetyleni, PNNL #247 |
| Säiliön sisäosan korkeus (mm)                      | 3180    | kuiva ilma                           |
| Säiliön kokonaiskorkeus (mm)                       | 4170    | Hiiliteräs, PNNL #162                |

■ **Taulukko 3.** Annosnopeuslaskun parametreja.



**Kuva 11.** Poikkileikkaukset CASTOR 440/84M -säiliön mallinnusgeometriasta. Sivuseinän sisään mallinnettiin 142 kpl absorbaattorisauvoja

Molemmissa laskuissa määriteltiin säiliön sivulle 20 kpl 80x80x4 cm detektoreja eri etäisyyksille 10 cm välein. Kaikki detektorit olivat korkeussuunnassa samassa linjassa säiliön keskitasossa.

Hyvin pienestä säiliön ulkopuolisesta fotonivuosta johtuen laskuissa käytettiin globaalia varianssinpienenystä jakamalla säiliö sylinterisymmetrisesti sataan radiaaliseen, 50 tasokulman suuntaiseen ja viiteen korkeussuuntaiseen painoikkunaan säiliön keskipisteestä laskien.

#### 4.1.2 ANNOSNOPEUDET SÄILIÖN ULKOPUOLELLA

Lasketut fotonivuot muunnettiin säteilyannosnopeudeksi ohjelmaan sisäänrakennetuilla NIST-muunnoskertoimilla (Hubbell & Seltzer, 2004) ja neutronivuot muunnettiin annosnopeudeksi erikseen syötetyillä ANSI-standardin mukaisilla energiamuunnoskertoimilla (ANSI, 1977).

Laskut toistettiin erikseen sekä foton- että neutroniannokselle molemmilla palama-arvoilla mallintamalla kussakin laskussa  $1E12$  hiukkasta. VTT:n omassa 2.60 GHz Intel Xeon -klusterissa kymmentä ydintä käyttäen kukin lasku kesti noin viisi tuntia

Kuvassa 12 on esitetty lasketut ftoniannosnopeudet ja kuvassa 13 lasketut neutroniannosnopeudet etäisyyden funktiona säiliön pinnasta mitaten. Lisäksi annosnopeuskenttien kvalitatiivinen muoto säiliön sivulta katsoen on esitetty kuvassa 14. Lopuksi kuvassa 15 on esitetty vielä yhteenlasketut annosnopeudet etäisyyden funktiona säiliön pinnasta mitattuna. Ftoniannosnopeuslaskujen tilastollinen epävarmuus laskuissa oli noin kuusi prosenttia ja neutroniannosnopeuslaskujen noin yksi prosentti.

Verraten viitteen (Kärkkäinen & Karvonen, 2018) tuloksiin sekä ftoni- että neutroniannosnopeudet säiliön ulkopuolella ovat samaa luokkaa, hieman alle  $1 \mu\text{Sv/h}$  ja  $100 \mu\text{Sv/h}$ . Suuremmista annosmuunnoskertoimista johtuen neutronien aiheuttama annosnopeus on noin kaksi dekadia suurempi. IAEA:n kuljetussäännöksen SSR-6 (IAEA, 2018 & 2012) mukaisesti annosnopeus tulee rajoittaa 2 m etäisyydellä alle  $100 \mu\text{Sv/h}$  luokkaan. Kuvassa 15 esitetyt yhteenlasketut annosnopeudet alittavat rajan.

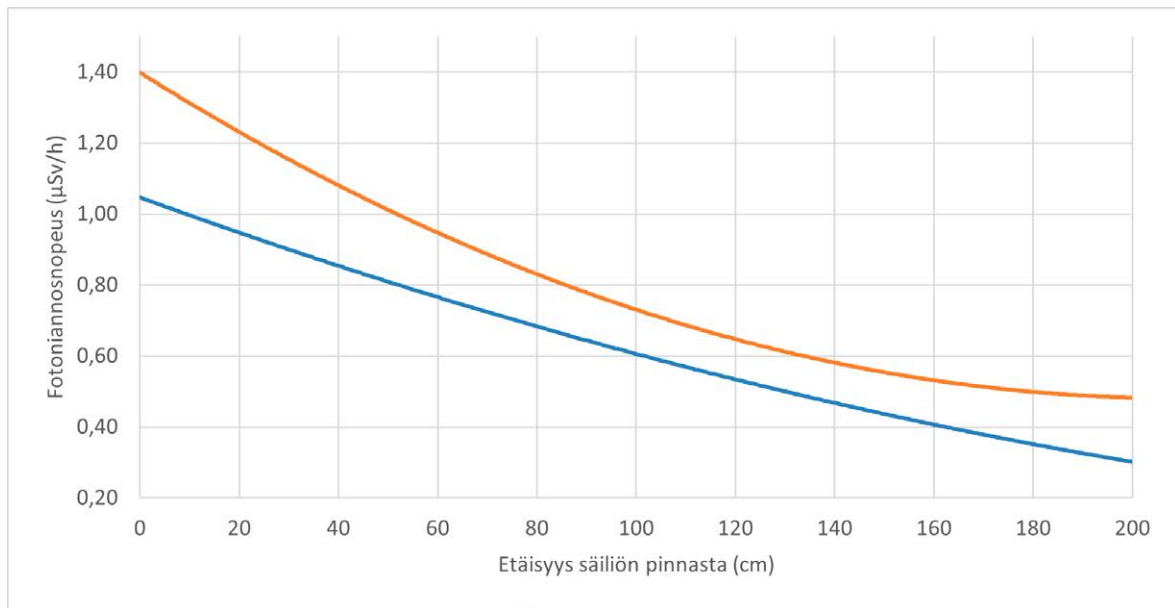
VTT:llä on tehty aiemmin parametrianalyysiä polttoainetyyppien palaman ja jäähtymisajan vaikutuksesta käytetyn polttoaineen ominaisuuksiin. Käytetyn polttoaineen neutroniemissio johtuu erityisesti polttoaineen spontaaneista fissioista (esim. Pu-238). Tämä taas riippuu merkittävästi polttoaineen palamasta ja jäähty-



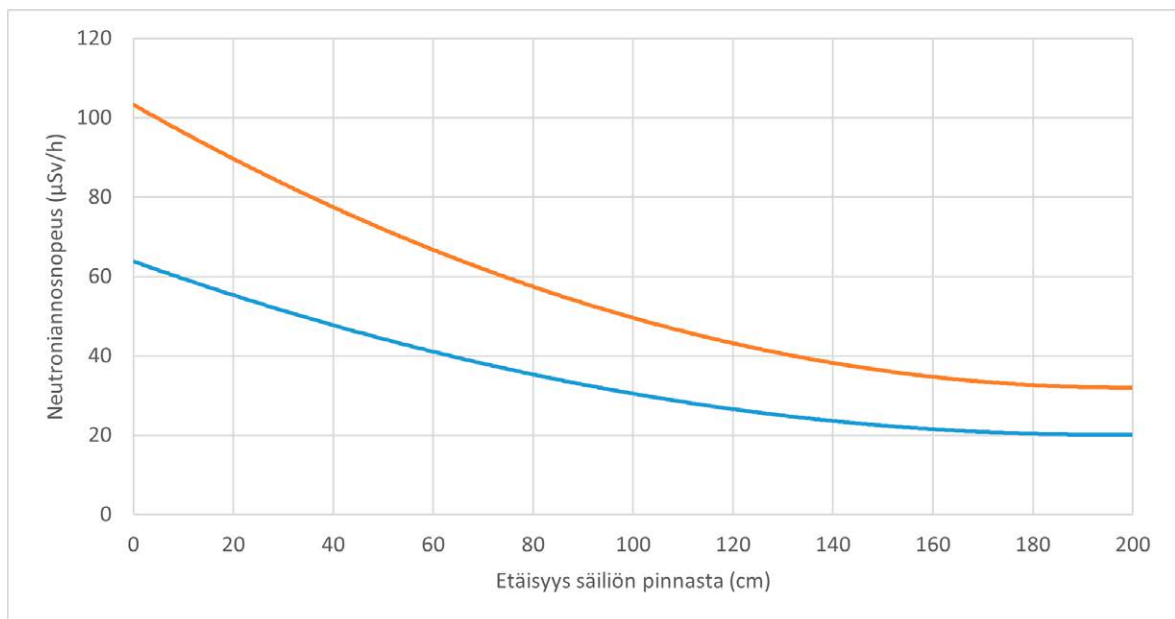
misajasta. Vertailun vuoksi kuvassa 16 on esitetty Serpent-ohjelmalla laskettujen spontaanien fissioiden määriä käytetyssä polttoaineessa erilaisilla palamilla ja jäähtymisajoilla. (Juutilainen & Häkkinen, 2019)

Laskuissa käytettiin konservatiivisia oletuksia sekä polttoaineen keskipalamalla että säiliön

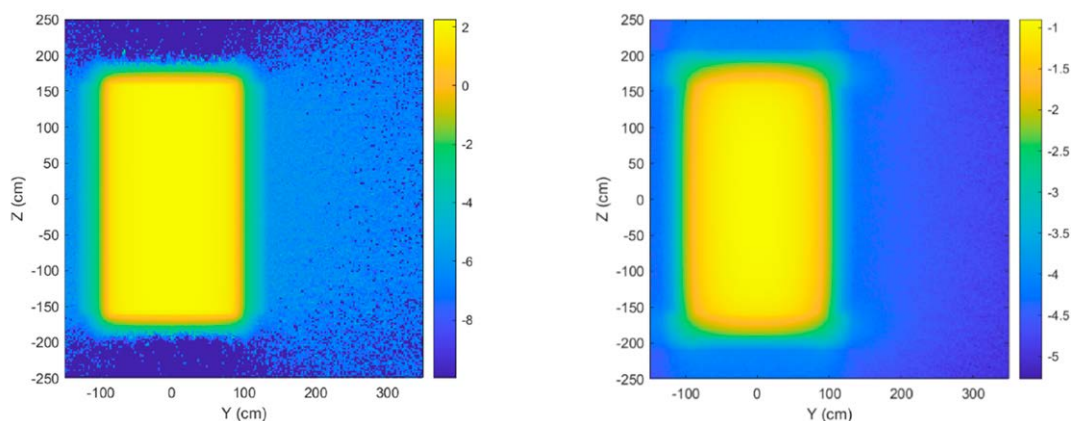
rakenteen suhteen. Todellisuudessa nippujen palamat vaihtelevat ja annosnopeutta voidaan minimoida pakkaamalla säiliön ulkoreunalle matalan palaman pitkään jäähtyneitä nippuja. Lisäksi laskusta pois jätetyt nippujen väliset rakenteet pienentävät annosnopeuksia hieman.



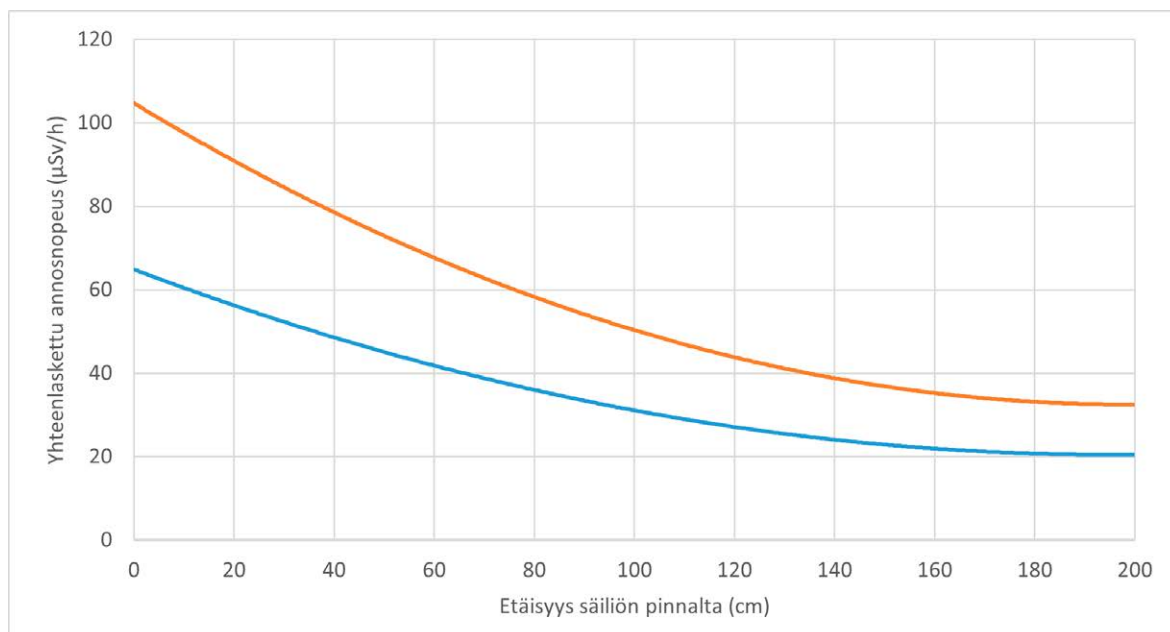
**Kuva 12.** Lasketut fotoniansnosnopeudet ( $\mu\text{Sv/h}$ ) etäisyyden funktiona säiliön pinnasta. Annosnopeus 60 MWd/kgU keskipalamalla on esitetty oranssilla värillä ja 50 MWd/kgU keskipalamalla sinisellä värillä. Molemmissa tapauksissa jäähtymisajaksi on oletettu 20 vuotta.



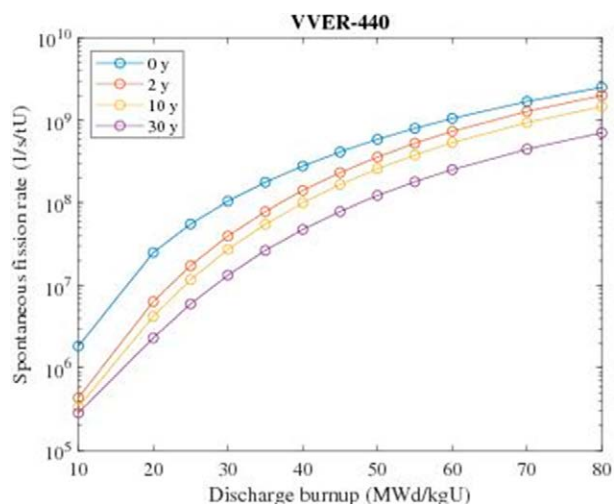
**Kuva 13.** Lasketut neutroniansnosnopeudet ( $\mu\text{Sv/h}$ ) etäisyyden funktiona säiliön pinnasta. Annosnopeus 60 MWd/kgU keskipalamalla on esitetty oranssilla värillä ja 50 MWd/kgU keskipalamalla sinisellä värillä. Molemmissa tapauksissa jäähtymisajaksi on oletettu 20 vuotta.



**Kuva 14.** Lasketut foton- (vasemmalla) ja neutroniannosnopeudet (oikealla) säiliön ympärillä keskipalamalla 50 MWd/kgU ja 20 vuoden jäähdytysajalla. Tulokset on esitetty dekaeineina asteikolla Sv/h



**Kuva 15.** Yhteenlasketut annosnopeudet (fotonit+neutronit,  $\mu\text{Sv/h}$ ) etäisyyden funktiona säiliön pinnasta. Annosnopeus 60 MWd/kgU keskipalamalla on esitetty oranssilla värillä ja 50 MWd/kgU keskipalamalla sinisellä värillä. Molemmissa tapauksissa jäähdytysajaksi on oletettu 20 vuotta.



**Kuva 16.** VTT:llä aiemmin laskettuja käytetyn polttoaineen spontaanien fissioiden määriä erilaisilla palamilla ja jäähdytysajoilla.

## 4.2 NORMAALIKULJETUKSET

### 4.2.1 KULJETUSREITIT JA LÄHTÖTIEDOT

Käytetyn ydinpolttoaineen mahdollisia kuljetustapavaihtoehtoja Loviisan ydinvoimalaitokselta Olkiluodossa sijaitsevaan kapselointi- ja loppusijoituslaitokseen ovat maanteitse (kuva 17) tai meriväyliä (kuva 19) pitkin tapahtuvat kuljetukset. Laivakuljetuksiin liittyy kuljetusajoneuvolla suoritettavat kuljetukset tai lyhyet siirrot Loviisassa sekä Olkiluodossa.

**Maanteitse** tapahtuvissa kuljetuksissa kaksi merkittävintä erityyppistä reittivaihtoehtoa olisivat rannikkoalueella kulkeva reitti tai sisämaan kautta kulkeva reitti (ks. kuva 17). Molemmissa maantiereittivaihtoehdoissa kuljetus lähtee Loviisan laitokselta Loviisan keskusta-alueelta kohti.

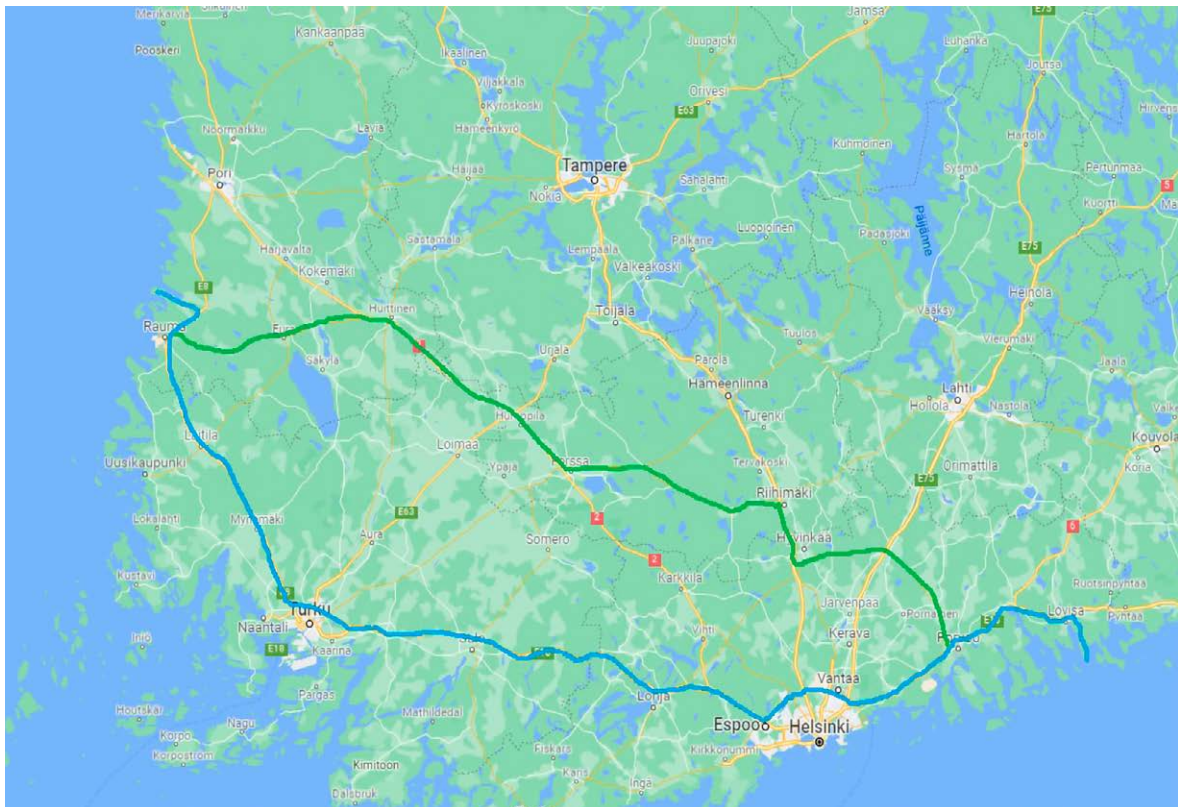
**Rannikkoreitin** tapauksessa kuljetus liittyy Loviisan keskusta-alueelta moottoritielle (E18), jota pitkin edeten ohitetaan Porvoon kaupunkialue. Pääkaupunkiseutua lähestyttäessä kään-

nytään Kehä III:lle, jota pitkin edeten vältetään väylällä normaalikuljetuksissa Vantaan, Helsingin ja Espoon tiheimmin asutut alueet. Tämän jälkeen kuljetus liittyy Turku-moottoritielle, johon sisältyy monia tunneliosuuksia (kuva 18). Loppuosa kuljetusta tapahtuu länsirannikon 8-tietä pitkin, josta on Rauman jälkeen yhteys Olkiluodon kapselointilaitokselle. Reitin kokonaispituus on noin 380 km.

**Sisämaan reittivaihtoehdossa** liitytään Loviisan keskusta-alueelta E18-tielle, josta Hy-



■ Kuva 18. Tunneli Helsinki-Turku moottoritiellä



■ Kuva 17. Maantiekuljetuksen reittivaihtoehdot (Capacent 2016).



vinkään-Forssan kautta edetään Eurajoen Olkiluotoon. Reitin kokonaispituus on noin 350 km. Sisämaan reitti on ns. väestöä välttävä reitti. Sisämaan reitti on lyhyempi kuin rannikkoreitti, mutta rannikkoreittiä voidaan edetä suuremmalla tehollisella nopeudella ja tällä on myönteisiä vaikutuksia kuljetushenkilöstön säteilyaltistuksen kannalta, kuten myöhemmin tuloksista nähdään.

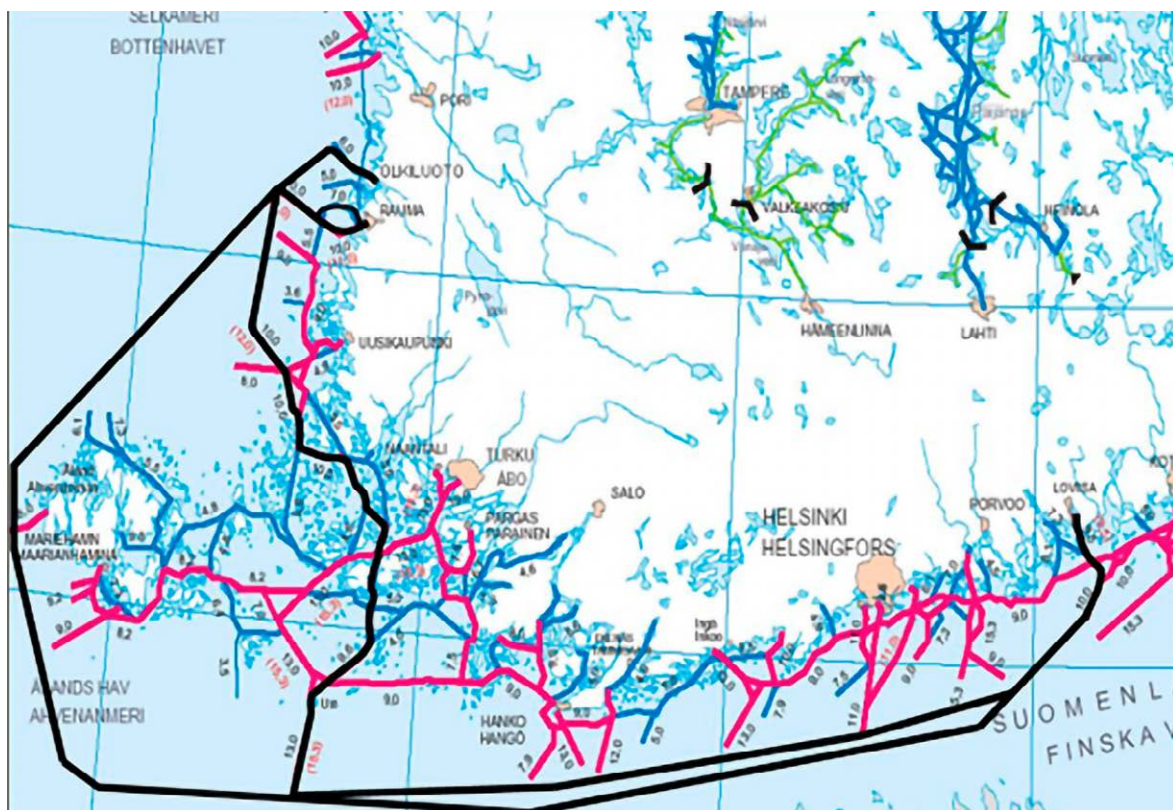
Sekä sisämaan reitin että rannikkoreitin käytettävyyteen voidaan katsoa liittyvän hyöty- ja haittanäkökohtia. Sisämaan reitillä muun liikenteen tiheys on alhaisempi. Sisämaan reitti on valtaosaltaan kaksisuuntainen väylä, jolla olisi polttoainekuljetusta kohtaavaa liikennettä. Reitti on myös mäkisempi ja mutkittelevampi kuin rannikkoreitti. Yllättäviin häiriötilanteisiin reagoiminen ja toiminta-aika jää etenkin raskailla kuljetuksilla lyhyeksi. Kuljetuksen pysähtyessä teknisen vian tai muun syyn takia, ohitusliikenteen järjestäminen on kapealla kaksisuuntaisella väylällä hankalaa ja voi aiheuttaa vaaratilanteita.

Rannikkoreitin liikennetiheys on suurempi kuin sisämaan reitillä. Kuljetusväylä on valtaosan matkaa leveää moottoritietä, kaksi kaistaa yh-

teen suuntaan. Moottoritieellä on lisäksi leveät pengerretyt suoja-alueet väylän sivuilla. Reitti ei juurikaan mutkittele vaan eteneminen tapahtuisi selkeää tieprofiliä pitkin. Risteysalueet ovat enimmäkseen rampeja, joissa isolla ajoneuvolla on helpompi kulkea kuin jyrkissä risteyksissä. Kuljetuksen pysähtyessä ohitusliikenne pystytään järjestämään riittävän väylälevyyden ja yksisuuntaisen liikenteen takia.

Maantie- ja merireittien arviointiin liittyy liikenneturvallisuuden lisäksi myös muita tekijöitä, joita on käsitelty erikseen.

**Merikuljetusvaihtoehdossa** edettäisiin aluksi Suomenlahdella kansallisella tai kansainvälisellä merialueella (kuva 19). Loppuosa laivareitistä toteutettaisiin saaristomeren tai Ahvenanmeren kautta suoraan Olkiluodon satamaan, josta siirtokuljetus maanteitse Olkiluodon kapselointilaitokselle. Nykytilanteen mukaan polttoainesäiliöt kuljetettaisiin Hästholmenista ensin maanteitse Loviisan Valkon satamaan, josta laivakuljetuksena Olkiluotoon. Yksi vaihtoehto olisi laivauksen tapahtuminen jo Hästholmenilla, mutta tämä edellyttäisi syväkseltään riittävän sataman rakentamista Loviisan ydinvoimalaitoksen viereen Hästholmenille.



**Kuva 19.** Laivareittivaihtoehdot mustalla, saaristomeren tai Ahvenanmeren kautta.



Kuljetusreitteihin liittyvät yksityiskohtaisemmat lähtötiedot laskentaa varten on esitetty taulukoissa 4 ja 5. Säteilyn ja säteilyaltistuksen intensiteetti pienenee etäisyyden kasvaessa kuljetussäiliöstä. Tällöin normaalikuljetuksissa säteilyaltistuksen tehollinen vaikutusalue muodostuu käytännössä kuljetusväylän lähialueelle, kymmenien metrien etäisyydelle säiliöstä. Kuljetuksen aikana sivuuttavassa liikenteessä olevat matkustajat altistuvat säteilylle voimak-

kaammin kuin etäämmällä oleva muu väestö. Lähtötiedot taulukossa on esitetty jaksoittain homogenisoituina ja kuvaavat tilannetta kuljetusväylällä ja kuljetusväylän lähiympäristössä. Siten esimerkiksi moottoritieosuuksilla tai moottoritien kaltaisella Kehä III-väylällä olevat leveät suoja-alueet vaikuttavat valittuihin lähtötietoihin, kuten tehollisesti altistuvan väestön tiheyteen.

| Reitti 1 (TR1):                                                           |          | Hästholmen-Määrlahti-Porvoo-Vantaa(Kehä III)-Espoo-Paimio |          |          |          |          |
|---------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| ("Rannikkoreitti")                                                        |          | (jaksot 1-5)                                              |          |          |          |          |
| Lähtötieto                                                                |          | LO-Määr                                                   | Määr-Por | Por-Van  | VanEsp   | Esp-Pai  |
|                                                                           |          | maantie                                                   | maantie  | maantie  | maantie  | maantie  |
| Pituus (km)                                                               | yht. 381 | 14                                                        | 31       | 34       | 36       | 130      |
| Liikennetiheys yht.s.(ajoneuvoa/h)                                        |          | 30                                                        | 125      | 250      | 460      | 400      |
| Onnettomuustiheys (1/km)                                                  |          | 1,00E-07                                                  | 1,00E-08 | 1,00E-08 | 5,00E-08 | 1,00E-08 |
| Väestötiheys (henkilöä/km <sup>2</sup> )                                  |          | 15                                                        | 7        | 7        | 45       | 8        |
| Kuljetuksia per vuosi                                                     |          | 9                                                         | 9        | 9        | 9        | 9        |
| Säiliöitä per kuljetus                                                    |          | 1                                                         | 1        | 1        | 1        | 1        |
| Annosnopeus 1m et. (mSv/h)                                                |          | 0,05                                                      | 0,05     | 0,05     | 0,05     | 0,05     |
| Kuljetusnopeus (km/h)                                                     |          | 35                                                        | 60       | 60       | 55       | 60       |
| Kuljetushenkilöiden lkm (henkilöä)                                        |          | 2                                                         | 2        | 2        | 2        | 2        |
| Kuljetushenkilöiden keskim.                                               |          |                                                           |          |          |          |          |
| etäisyys säiliöstä (m)                                                    |          | 10                                                        | 10       | 10       | 10       | 10       |
| Säiliöiden käsittely (lkm/kuljetus)                                       |          | 1                                                         | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Pysähdysten kesto (h/km)                                                  |          | 0,005                                                     | 0,005    | 0,005    | 0,01     | 0,005    |
| Säteilylle altistuvien henkilöiden                                        |          |                                                           |          |          |          |          |
| lkm pysähdysten aikana (henkilöä)                                         |          | 10                                                        | 10       | 10       | 30       | 10       |
| Altistuvien henkilöiden etäisyys                                          |          |                                                           |          |          |          |          |
| säiliöstä pysähdysten aikana (m)                                          |          | 10                                                        | 10       | 10       | 10       | 10       |
| Varastointiaika (h/kuljetus)                                              |          | 0                                                         | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Säteilylle altistuvien henkilöiden                                        |          |                                                           |          |          |          |          |
| lkm varastoinnin aikana (henkilöä)                                        |          | 0                                                         | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Altistuvien henkilöiden etäisyys                                          |          |                                                           |          |          |          |          |
| säiliöstä varastoinnin aikana (m)                                         |          | 0                                                         | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Saattue (henkilöä)                                                        |          | 8                                                         | 8        | 8        | 8        | 8        |
| Osuus kaupunkialueen kuljetuk-                                            |          |                                                           |          |          |          |          |
| sesta ruuhka-aikana (-)                                                   |          |                                                           |          |          | 0        |          |
| Osuus kaupunkialueen kuljetuk-                                            |          |                                                           |          |          |          |          |
| sesta keskusta-alueella (-)                                               |          |                                                           |          |          | 0,2      |          |
| Osuus kulj. moottoritietä (-)                                             |          | 0                                                         | 1        | 1        | 1        | 1        |
| Lisätietoja: CASTOR-VVER 440/84M-säiliö (paino lastattuna enintään 140 t) |          |                                                           |          |          |          |          |

■ Taulukko 4. Rannikkokuljetusreitin lähtötiedot, jaksot 1-5.

| Reitti 1 (TR1):                                                           |          | Paimio-Raisio-Masku-Mynämäki |          |          |          |          |
|---------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| ("Rannikkoreitti")                                                        |          | (jaksot 6-10)                |          |          |          |          |
| Lähtötieto                                                                |          | Pai-Rai                      | Rai-Mas  | Mas(TA)  | Mas-Myn  | Myn(TA)  |
|                                                                           |          | maantie                      | maantie  | maantie  | maantie  | maantie  |
| Pituus (km)                                                               | yht. 381 | 29                           | 8        | 3        | 11       | 4        |
| Liikennetiheys yht.s.(ajoneuvoa/h)                                        |          | 570                          | 450      | 590      | 310      | 340      |
| Onnettomuustiheys (1/km)                                                  |          | 1,00E-08                     | 5,00E-07 | 5,00E-07 | 1,00E-07 | 5,00E-07 |
| Väestötiheys (henkilöä/km <sup>2</sup> )                                  |          | 15                           | 20       | 55       | 15       | 30       |
| Kuljetuksia per vuosi                                                     |          | 9                            | 9        | 9        | 9        | 9        |
| Säiliötä per kuljetus                                                     |          | 1                            | 1        | 1        | 1        | 1        |
| Annosnopeus 1m et. (mSv/h)                                                |          | 0,05                         | 0,05     | 0,05     | 0,05     | 0,05     |
| Kuljetusnopeus (km/h)                                                     |          | 60                           | 60       | 40       | 60       | 40       |
| Kuljetushenkilöiden lkm (henkilöä)                                        |          | 2                            | 2        | 2        | 2        | 2        |
| Kuljetushenkilöiden keskim.<br>etäisyys säiliöstä (m)                     |          | 10                           | 10       | 10       | 10       | 10       |
| Säiliöiden käsittely (lkm/kuljetus)                                       |          | 0                            | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Pysähdysten kesto (h/km)                                                  |          | 0,005                        | 0,005    | 0,01     | 0,005    | 0,01     |
| Säteilylle altistuvien henkilöiden<br>lkm pysähdysten aikana (henkilöä)   |          | 10                           | 10       | 20       | 10       | 20       |
| Altistuvien henkilöiden etäisyys<br>säiliöstä pysähdysten aikana (m)      |          | 10                           | 10       | 10       | 10       | 10       |
| Varastointiaika (h/kuljetus)                                              |          | 0                            | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Säteilylle altistuvien henkilöiden<br>lkm varastoinnin aikana (henkilöä)  |          | 0                            | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Altistuvien henkilöiden etäisyys<br>säiliöstä varastoinnin aikana (m)     |          | 0                            | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Saattue (henkilöä)                                                        |          | 8                            | 8        | 8        | 8        | 8        |
| Osuus kaupunkialueen kuljetuk-<br>sesta ruuhka-aikana (-)                 |          |                              |          | 0        |          | 0        |
| Osuus kaupunkialueen kuljetuk-<br>sesta keskusta-alueella (-)             |          |                              |          | 0,6      |          | 0,5      |
| Osuus kulj. moottoritietä (-)                                             |          | 1                            | 0        | 0,5      | 0        | 0        |
| Lisätietoja: CASTOR-VVER 440/84M-säiliö (paino lastattuna enintään 140 t) |          |                              |          |          |          |          |

■ **Taulukko 4.** Rannikkokuljetusreitin lähtötiedot (jatkoa), jaksot 6-10.

| Reitti 1 (TR1):                                                           |          | Mynämäki-Laitila-Rauma-Olkiluoto |          |          |          |          |
|---------------------------------------------------------------------------|----------|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| ("Rannikkoreitti")                                                        |          | (jaksot 11-15)                   |          |          |          |          |
| Lähtötieto                                                                |          | Myn-Lai                          | Lai(TA)  | Lai-Rau  | Rau(TA)  | Rau-OL   |
|                                                                           |          | maantie                          | maantie  | maantie  | maantie  | maantie  |
| Pituus (km)                                                               | yht. 381 | 25                               | 3        | 28       | 6        | 19       |
| Liikennetiheys yht.s.(ajoneuvoa/h)                                        |          | 310                              | 320      | 260      | 460      | 260      |
| Onnettomuustiheys (1/km)                                                  |          | 1,00E-07                         | 5,00E-07 | 1,00E-07 | 5,00E-07 | 1,00E-07 |
| Väestötiheys (henkilöä/km2)                                               |          | 15                               | 30       | 15       | 40       | 15       |
| Kuljetuksia per vuosi                                                     |          | 9                                | 9        | 9        | 9        | 9        |
| Säiliötä per kuljetus                                                     |          | 1                                | 1        | 1        | 1        | 1        |
| Annosnopeus 1m et. (mSv/h)                                                |          | 0,05                             | 0,05     | 0,05     | 0,05     | 0,05     |
| Kuljetusnopeus (km/h)                                                     |          | 60                               | 40       | 60       | 40       | 40       |
| Kuljetushenkilöiden lkm (henkilöä)                                        |          | 2                                | 2        | 2        | 2        | 2        |
| Kuljetushenkilöiden keskim.<br>etäisyys säiliöistä (m)                    |          | 10                               | 10       | 10       | 10       | 10       |
| Säiliöiden käsittely (lkm/kuljetus)                                       |          | 0                                | 0        | 0        | 0        | 1        |
| Pysähdysten kesto (h/km)                                                  |          | 0,005                            | 0,01     | 0,005    | 0,01     | 0,005    |
| Säteilylle altistuvien henkilöiden<br>lkm pysähdysten aikana (henkilöä)   |          | 10                               | 20       | 10       | 20       | 10       |
| Altistuvien henkilöiden etäisyys<br>säiliöistä pysähdysten aikana (m)     |          | 10                               | 10       | 10       | 10       | 10       |
| Varastointiaika (h/kuljetus)                                              |          | 0                                | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Säteilylle altistuvien henkilöiden<br>lkm varastoinnin aikana (henkilöä)  |          | 0                                | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Altistuvien henkilöiden etäisyys<br>säiliöistä varastoinnin aikana (m)    |          | 0                                | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Saattue (henkilöä)                                                        |          | 8                                | 8        | 8        | 8        | 8        |
| Osuus kaupunkialueen kuljetuk-<br>sesta ruuhka-aikana (-)                 |          |                                  | 0        |          | 0        |          |
| Osuus kaupunkialueen kuljetuk-<br>sesta keskusta-alueella (-)             |          |                                  | 0,5      |          | 0,1      |          |
| Osuus kulj. moottoritietä (-)                                             |          | 0                                | 0        | 0        | 1        | 0        |
| Lisätietoja: CASTOR-VVER 440/84M-säiliö (paino lastattuna enintään 140 t) |          |                                  |          |          |          |          |

■ Taulukko 4. Rannikkokuljetusreitin lähtötiedot (jatkoa), jaksot 11-15.

| Reitti 2 (TR2):                                                           |          | Hästholmen-Hyvinkää-Forssa-Loimaa-Olkiluoto |          |          |          |          |
|---------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| ("Sisämaan reitti")                                                       |          |                                             |          |          |          |          |
| Lähtötieto                                                                |          | LO-Hyv                                      | Hyv(TA)  | Hyv-For  | For(TA)  | For-OL   |
|                                                                           |          | maantie                                     | maantie  | maantie  | maantie  | maantie  |
| Pituus (km)                                                               | yht. 352 | 112                                         | 5        | 85       | 12       | 138      |
| Liikennetiheys yht.s.(ajoneuvoa/h)                                        |          | 30                                          | 200      | 50       | 200      | 30       |
| Onnettomuustiheys (1/km)                                                  |          | 1,00E-08                                    | 5,00E-07 | 5,00E-08 | 5,00E-07 | 1,00E-08 |
| Väestötiheys (henkilöä/km <sup>2</sup> )                                  |          | 15                                          | 50       | 20       | 75       | 20       |
| Kuljetuksia per vuosi                                                     |          | 9                                           | 9        | 9        | 9        | 9        |
| Säiliöitä per kuljetus                                                    |          | 1                                           | 1        | 1        | 1        | 1        |
| Annosnopeus 1m et. (mSv/h)                                                |          | 0,05                                        | 0,05     | 0,05     | 0,05     | 0,05     |
| Kuljetusnopeus (km/h)                                                     |          | 35                                          | 20       | 35       | 20       | 35       |
| Kuljetushenkilöiden lkm (henkilöä)                                        |          | 2                                           | 2        | 2        | 2        | 2        |
| Kuljetushenkilöiden keskim.<br>etäisyys säiliöistä (m)                    |          | 10                                          | 10       | 10       | 10       | 10       |
| Säiliöiden käsittely (lkm/kuljetus)                                       |          | 1                                           | 0        | 0        | 0        | 1        |
| Pysähdysten kesto (h/km)                                                  |          | 0,005                                       | 0,01     | 0,005    | 0,01     | 0,005    |
| Säteilylle altistuvien henkilöiden<br>lkm pysähdysten aikana (henkilöä)   |          | 10                                          | 30       | 10       | 50       | 10       |
| Altistuvien henkilöiden etäisyys<br>säiliöistä pysähdysten aikana (m)     |          | 10                                          | 10       | 10       | 10       | 10       |
| Varastointiaika (h/kuljetus)                                              |          | 0                                           | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Säteilylle altistuvien henkilöiden<br>lkm varastoinnin aikana (henkilöä)  |          | 0                                           | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Altistuvien henkilöiden etäisyys<br>säiliöistä varastoinnin aikana (m)    |          | 0                                           | 0        | 0        | 0        | 0        |
| Saattue (henkilöä)                                                        |          | 8                                           | 8        | 8        | 8        | 8        |
| Osuus kaupunkialueen kuljetuk-<br>sesta ruuhka-aikana (-)                 |          |                                             | 0        |          | 0        |          |
| Osuus kaupunkialueen kuljetuk-<br>sesta keskusta-alueella (-)             |          |                                             | 0,2      |          | 0,5      |          |
| Osuus kulj. moottoritietä (-)                                             |          | 0,2                                         | 0        | 0,6      | 0        | 0,15     |
| Lisätietoja: CASTOR-VVER 440/84M-säiliö (paino lastattuna enintään 140 t) |          |                                             |          |          |          |          |

■ Taulukko 5. Sisämaan reitin lähtötiedot.



#### 4.2.2 SÄTEILYANNOKSET NORMAALIKULJETUKSISTA

Annosnopeus kuljetussäiliön ulkopuolella on keskeinen lähtötieto normaalikuljetusten väestölle ja kuljetushenkilöstölle aiheuttamia säteilyannoksia arvioitaessa. Tämän raportin luvussa 4.1 mallinnettiin CASTOR 440/84M -kuljetussäiliö yksityiskohtaisesti ja laskettiin säiliön ulkopuoliset säteilyannosnopeudet eri polttoaineen palamilla (50 MWd/kgU sekä 60 MWd/kgU).

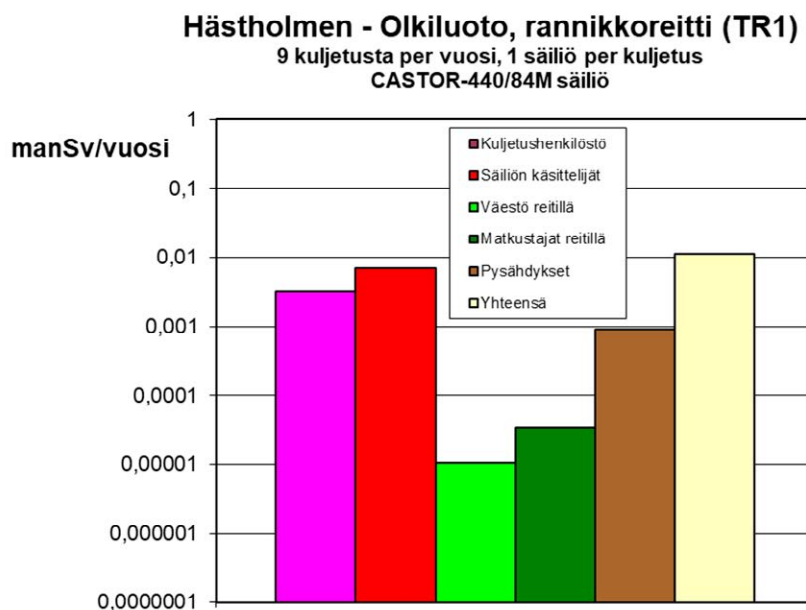
Tässä tutkimuksessa käytetään konservatiivisesti 60 MWd/kgU palamaa vastaavia laskettuja säiliön annosnopeuksia, jolloin valittu annosnopeus varmuudella kuvaa suurinta mahdollista altistusta väestölle. Valinta kattaa siten tilanteen, jossa korkeimman palaman polttoaineen nippuja kuljetettaisiin samanaikaisesti säiliössä jossain kuljetuserässä.

RADTRAN-mallin (Neuhauser, 1992) laskentaa varten valittiin säiliön säteilyannostulosten perusteella annosnopeuksiksi etäisyydellä 1 metri säiliön vaipan pinnasta: neutronisäteilylle 0,05 mSv/h ja fotonisäteilylle 0,0007 mSv/h, kokonaisannosnopeus siten 0,05 mSv/h (ks. Kuva 15 luvussa 4.1.2). Arvot vastaavat palamaa 60 MWd/kgU ja polttoaineen jäähtymistä 20 vuoden ajan ennen kuljetusta.

Kuten aiemmin on raportissa mainittu, Loviisan käytetty polttoaine on suunniteltu loppusijoitettavan 11 vuoden ajanjaksona, jolloin maantiekuljetuksia yhdellä säiliöllä tehtäisiin keskimäärin noin 9 kertaa vuodessa. Kuvissa 20 ja 21 on esitetty saadut vuosittaiset maantiekuljetuksen annokset kuljetuksen henkilöstölle, säiliön käsittelijöille, väestölle reitin varrella, sivuuttaville matkustajille, kuljetuksen hetkellisten pysähdysten aikana sekä kokonaisannos.

Säteilyn annosnopeus kuljetussäiliön ulkopuolella, väestötiheys ja liikennetiheys reitillä sekä kuljetusnopeus (altistus aika) ovat olennaisia vaikuttavia tekijöitä reitillä väestölle aiheutuvan säteilyannoksen kannalta. Sekä rannikkoalueen (TR1) että sisämaan reitti (TR2) kulkevat paljolti harvaan asutuilla alueilla siten, että reitin välittömässä läheisyydessä ei ole suuria väestömääriä. Kuitenkin molemmilla reiteillä joudutaan kulkemaan myös taajama-alueella, jolloin paikallisesti altistuu potentiaalisesti suurempi väestömäärä kuin perinteisellä maaseutualueella.

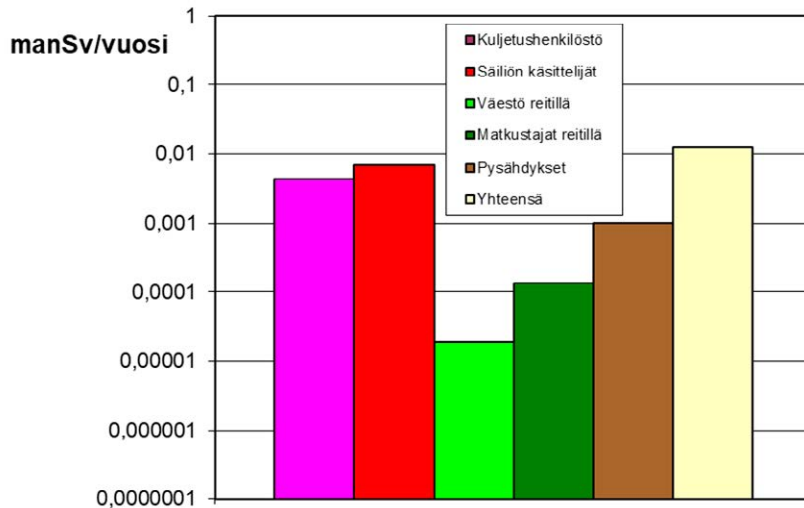
Liikennetiheydet eri tieosuuksilla perustuvat väyläviraston liikennemäärä-karttaan vuodelta 2020 (Väylävirasto). Tarkastelluilla maantiekuljetusreiteillä liikennetiheys on välillä 100–60 000 ajoneuvoa/vrk riippuen voimakkaastikin asutusalueesta, tietyypistä ja tieosuudesta.



■ Kuva 20. Rannikkoreitillä aiheutuvat säteilyannokset.

### Hästholmen - Olkiluoto, sisämaan reitti (TR2)

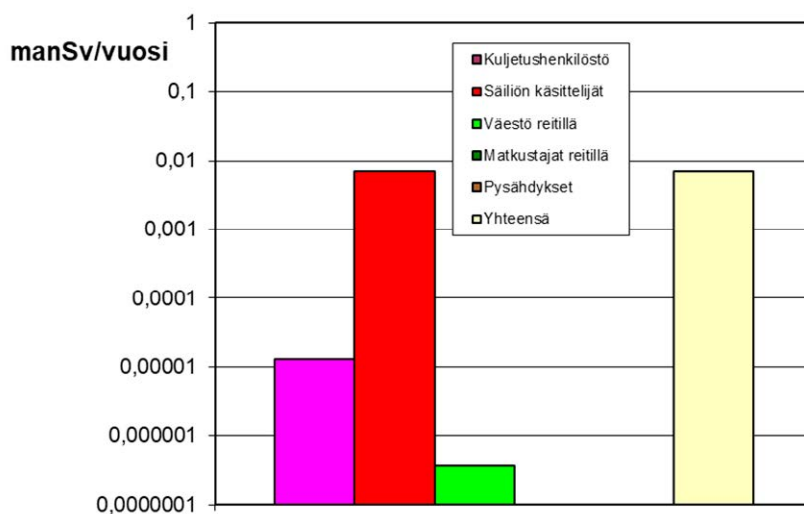
9 kuljetusta per vuosi, 1 säiliö per kuljetus  
CASTOR-440/84M säiliö



Kuva 21. Sisämaan reitillä aiheutuvat säteilyannokset.

### Hästholmen - Olkiluoto, merikuljetus (TR3)

3 kuljetusta per vuosi, 3 säiliötä per kuljetus  
CASTOR-440/84M säiliö



Kuva 22. Merikuljetuksesta Hästholmen-Olkiluoto aiheutuvat säteilyannokset.

Vilkkaimmin liikennöity tieosuus on E-18. Eri-koiskuljetuksia ei yleensä ole mielekästä tehdä ruuhka-aikaan, minkä takia tässä analyysissä on käytetty laskelmissa kuljetuksen aikana ruuhkahuippuja hieman pienempiä liikennetiheyksiä.

Taajama-alueillakin suurin osa väestöstä oleskelee sisällä rakennuksissa, jolloin he ovat eriasteisesti suojautuneita ulkoiselle säteilylle.

Suojautumisen aiheuttama säteilyn vaimeneminen (suojauskerroin eri rakennustyypeille) on otettu huomioon RADTRAN-laskuissa.

Rannikkoreitillä voidaan ylläpitää tehollisesti suurempaa nopeutta (kuljetusaika lyhenee), minkä takia kuljetuksen mukana olevalle henkilöstölle aiheutuvat säteilyannokset ovat rannikkoreitillä hieman pienemmät kuin sisämaan reitillä (kuvat 20 ja 21). Kokonaissäteilyannos

|                               | (manSv/vuosi)        |                            |                               |                     |
|-------------------------------|----------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------|
|                               | väestöannos yhteensä | kuljetus-henkilöstön annos | säiliön käsittelijöiden annos | yhteensä            |
| Rannikkoreitti maanteitse     | $9,6 \cdot 10^{-4}$  | $3,2 \cdot 10^{-3}$        | $6,9 \cdot 10^{-3}$           | $1,1 \cdot 10^{-2}$ |
| Sisämaan reitti maanteitse    | $1,2 \cdot 10^{-3}$  | $4,4 \cdot 10^{-3}$        | $6,9 \cdot 10^{-3}$           | $1,3 \cdot 10^{-2}$ |
| Merikuljetus Hästholmenilta   | $4,1 \cdot 10^{-7}$  | $1,3 \cdot 10^{-5}$        | $6,9 \cdot 10^{-3}$           | $6,9 \cdot 10^{-3}$ |
| Merikuljetus Valkon satamasta | $4,9 \cdot 10^{-5}$  | $2,6 \cdot 10^{-4}$        | $1,0 \cdot 10^{-2}$           | $1,0 \cdot 10^{-2}$ |

■ **Taulukko 6.** Yhteenveto säteilyannoksista reiteittäin ja kuljetusmuodoittain. Hästholmen-Olkiluoto-reiteillä on oletettu kuljetettavan yhteensä 9 säiliötä vuodessa (maanteitse 9x1 säiliö, merikuljetuksissa 3x3 säiliötä). Väestöannos yhteensä on summa reitin varrella oleville, sivuuttaville matkustajille ja pysähdyksistä väestölle aiheutuvista annoksista.

rannikkoreitillä on 0,011 manSv ja sisämaan reitillä 0,013 manSv.

Kuljetusmuotoja verrattaessa laivakuljetus joutaa selvästi pienimpiin väestön säteilyannoksiin (kuva 22), koska altistuvaa väestöä ei juurikaan ole kuljetuksen välittömässä läheisyydessä. Kuljetuksen aikana henkilöstö on myös kaukana säiliöistä, joten henkilöstölle kertyvä säteilyannos jää vähäiseksi. Arvioitu vuotuinen kokonaissäteilyannos Hästholmenilta suoraan lähteille laivakuljetuksella on 0,007 manSv. Hästholmen-Valkon satama-Olkiluoto kuljetuksille kokonaissäteilyannos on 0,01 manSv, koska käsittelijöiden, kuljetushenkilöstön ja väestön annos kasvaa ydinvoimalaitokselta Valkon satamaan tapahtuvan maantiekuljetusosuuden takia.

#### 4.3 LIIKENTEELLISET ONNETTOMUUSTAPAUKSET

##### 4.3.1 HYPOTEETTISET ONNETTOMUUSTAPAUKSET JA PÄÄSTÖT

Kuljetussäiliö voi iskeytyä kohtaamaansa esteeseen erilaisilla kohtaamiskulmilla ja tällä seikalla on merkitystä polttoainesauvojen vaurioitumistodennäköisyyteen. Törmäystilanteisiin liittyvät iskeytymistavat ovat (kuva 23):

- iskeytyminen pääty edellä
- iskeytyminen säiliön kulma edellä
- iskeytyminen sivu edellä.

Näiden perustyyppien lisäksi käytännön törmäystilanteissa esiintyy usein erilaisia yhdistel-

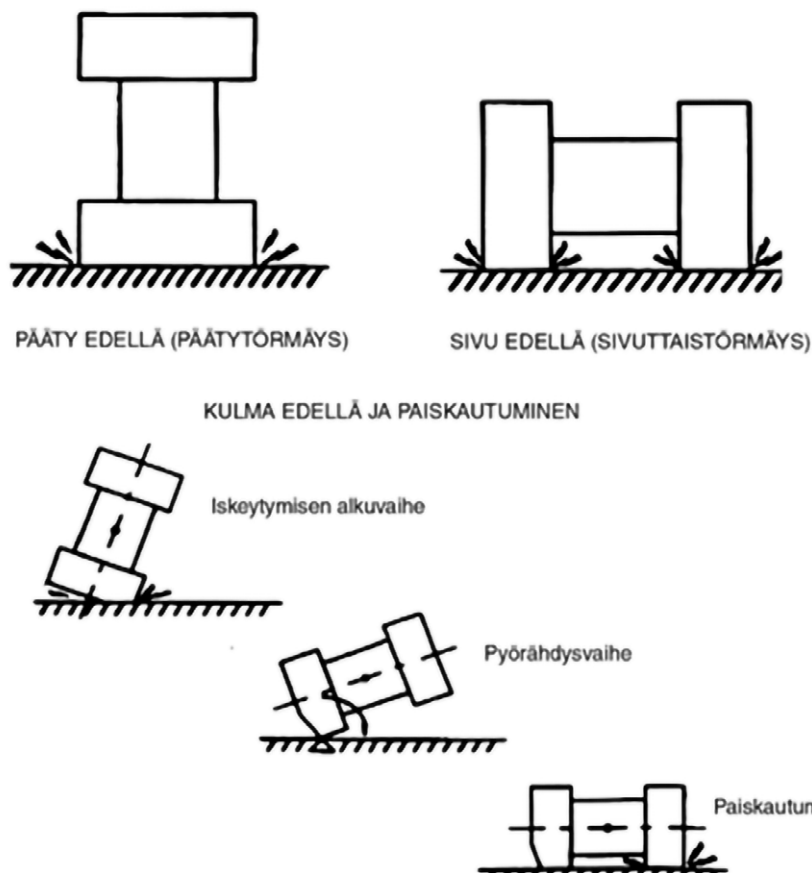
miä, kuten iskeytyminen kulma edellä ja välitön pauskautuminen sivu edellä esteeseen.

Mikäli kuormitusympäristö aiheuttaa säiliön sisällä oleviin polttoainesauvoihin ja erityisesti niiden suojakuoriin jännityksiä, jotka ylittävät suojakuorten suurimmat sallitut jännitysarvot, polttoainesauvat vaurioituvat ja suojakuoret menettävät tiiviytensä kuljetussäiliössä.

Polttoainesauvojen vaurioitumista voidaan seurausanalyysien kannalta katsoen tarkastella realistisesti tai konservatiivisesti. Ehdollisista vaurioitumistodennäköisyyksistä erityyppisille polttoainepuille on tutkimustietoa (Foadian ym. 1992), jonka perusteella saadaan realistinen suuruusluokka sauvojen vaurioitumisuudelle. Konservatiivinen lähestymistapa on ANSI-standardin (ANSI N14.5 1987) mukainen pessimistinen 100% sauvojen vaurioitumisoletus. Tällöin siis kaikki sauvat säiliössä menettäisivät tiiviytensä ja sauvojen kaasutilassa olevat radionuklidit voivat vapautua säiliön vapaseen tilaan.

Loviisan käytetyn polttoaineen kuljetuksissa on tämänhetkisen suunnitelman mukaan tarkoitus käyttää kaasujäähdytteistä CASTOR 440/84M -säiliötä. Ennen kuljetusta kuljetussäiliö kuivataan ja täytetään inertillä helium-kaasulla. Polttoainesauvojen suojakuorten lämpötilaksi kuljetuksen aikana on tässä tutkimuksessa konservatiivisesti valittu 300 oC.

Tässä tutkimuksessa tarkastellut hypoteettiset onnettomuustapaukset A, B, C ja D on kuvattu taulukossa 7. Realistisessa tapauksessa (A) vain pieni osuus sauvoista vaurioituu ja jalo-kaasua ja helposti haihtuvia muita aineita oletetaan vapautuvan säiliöön sauvan kaasutilasta



**Kuva 23.** Säiliön iskeytymistavat esteeseen (Sanders ym. 1992)

taulukon 8 vapautumisosuuksien mukaisesti. Kaasumaisten ja hiukasmaisten aineiden oletetaan edelleen vapautuvan törmäyksessä vioittuneen kansiosaston kautta ympäristöön muodostaen radioaktiivisen päästön (Taulukko 9). Hiukkasten vapautumisosuudet perustuvat kokeellisiin tutkimuksiin (Sanders ym. 1992, Colle J.Y. ym. 2006). Hiukkasista osa todennäköisesti laskeutuu ja pidättyy säiliön sisäpinnoille. Vapautumisen perusteita on käsitelty laajemmin myös Posivalle tehdyissä aiemmissä tutkimuksissa (Suolanen ym. 1999, Suolanen ym. 2004) ja niiden viiteraporteissa.

Realistisessa termisessä tapauksessa (B) törmäyksen yhteydessä muodostuva tulipalo säiliön ulkopuolella nostaa vähitellen lämpötilaa myös säiliössä, mikä voi kiihdyttää aineiden vapautumista säiliöstä ympäristöön. Säiliön ulkopuolisen ilman lämpötilan noustessa, aiheutuu päästöpilven termistä kohoamista eli tehollinen päästökorkeus kasvaa.

ANSI (American National Standards Institute) tapauksessa (C) kuljetussäiliön kaikkien polttoainesauvojen oletetaan konservatiivisesti vioittuvan. Ulkoiset olosuhteet ovat muutoin samat kuin tapauksessa A.

ANSI terminen tapauksessa (D) otetaan huomioon ulkoisen tulipalon vaikutus vapautumiseen ja päästöön, kuten tapauksessa B.

Päästöt on laskettu polttoaineesta, jonka palauma konservatiivisesti on 60 MWd/kgU ja jäähdytymisaika 20 vuotta (Taulukko 10).



| Onnettomuus-tapaus           | Tunnus | Termiset ulkoiset olosuhteet | Sauvojen vioittumis-osuus säiliössä | Vapautumisen säiliöön vioittuneista sauvoista | Hiukkas-maisten aineiden* vapautumis-osuus ympäristöön | Päästö-korkeus |
|------------------------------|--------|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------|
| REALISTINEN TÖRMÄYS          | A      | normaalit                    | $3 \cdot 10^{-3}$                   | ks. Taul. 8                                   | 0,1                                                    | 20 m           |
| REALISTINEN TERMINEN TÖRMÄYS | B      | tulipalo 800 °C              | $3 \cdot 10^{-3}$                   | ”                                             | 0,5                                                    | 80 m           |
| ANSI TÖRMÄYS                 | C      | normaalit                    | 1,0                                 | ”                                             | 0,1                                                    | 20 m           |
| ANSI TERMINEN TÖRMÄYS        | D      | tulipalo 800 °C              | 1,0                                 | ”                                             | 0,5                                                    | 80 m           |

\*) Fissiotuotekaasujen ei oleteta pidentävän säiliöön, joten niiden vapautumisosuus ympäristöön on 1,0 kaikissa onnettomuustapauksissa.

■ **Taulukko 7.** Onnettomuustapausten määrittely.

| Nuklidi | Loviisan VVER-polttoaine          |         |
|---------|-----------------------------------|---------|
|         | Lämpötila (°C) / Palama (MWd/kgU) |         |
|         | 300/60                            | 500/60  |
| H-3     | 0,5                               | 0,5     |
| Kr-85   | 0,072                             | 0,072   |
| I-129   | 0,032                             | 0,032   |
| Cs-134  | 0,0001                            | 0,00011 |
| Cs-137  | 0,0001                            | 0,00011 |
| muut    | 0,00003                           | 0,00003 |

■ **Taulukko 8.** Vapautumisosuudet vioittuneista polttoainesauvoista säiliöön (osuutena koko sauvan inventaarista). Tarkastellut lämpötilat 300 oC (ei tulipaloa) ja 500 oC (tulipalo).

| Kaasujäähdytteinen CASTOR-VVER-440/84M<br>(84 nippua/säiliö, 120 kgU/nippu, yhteensä noin 10 tU/säiliö) |                                     |                     |                     |                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Nuklidi                                                                                                 | Päästöt onnettomuustapauksissa (Bq) |                     |                     |                     |
|                                                                                                         | A                                   | B                   | C                   | D                   |
|                                                                                                         | H=20                                | H=80                | H=20                | H=80 m              |
|                                                                                                         | T=300 °C                            | T=500 °C            | T=300 °C            | T=500 °C            |
|                                                                                                         | t=30 min                            | t=10 min            | t=30 min            | t=10 min            |
| H-3                                                                                                     | $1,9 \cdot 10^{11}$                 | $1,9 \cdot 10^{11}$ | $6,5 \cdot 10^{13}$ | $6,5 \cdot 10^{13}$ |
| Kr-85                                                                                                   | $3,4 \cdot 10^{11}$                 | $3,4 \cdot 10^{11}$ | $1,1 \cdot 10^{14}$ | $1,1 \cdot 10^{14}$ |
| Sr-90                                                                                                   | $2,6 \cdot 10^8$                    | $1,3 \cdot 10^9$    | $8,4 \cdot 10^{10}$ | $4,2 \cdot 10^{11}$ |
| I-129                                                                                                   | $1,7 \cdot 10^6$                    | $1,7 \cdot 10^6$    | $6,0 \cdot 10^8$    | $6,0 \cdot 10^8$    |
| Cs-134                                                                                                  | $5,0 \cdot 10^6$                    | $2,7 \cdot 10^7$    | $1,7 \cdot 10^9$    | $9,1 \cdot 10^9$    |
| Cs-137                                                                                                  | $1,3 \cdot 10^9$                    | $7,3 \cdot 10^9$    | $4,4 \cdot 10^{11}$ | $2,4 \cdot 10^{12}$ |
| Pu-238                                                                                                  | $2,3 \cdot 10^7$                    | $1,2 \cdot 10^8$    | $7,8 \cdot 10^9$    | $4,0 \cdot 10^{10}$ |
| Pu-239                                                                                                  | $1,4 \cdot 10^6$                    | $7,0 \cdot 10^6$    | $4,5 \cdot 10^8$    | $2,3 \cdot 10^9$    |
| Pu-241                                                                                                  | $2,7 \cdot 10^8$                    | $1,4 \cdot 10^9$    | $9,2 \cdot 10^{10}$ | $4,7 \cdot 10^{11}$ |
| Am-241                                                                                                  | $1,7 \cdot 10^7$                    | $8,1 \cdot 10^7$    | $5,6 \cdot 10^9$    | $2,8 \cdot 10^{10}$ |
| Cm-244                                                                                                  | $2,9 \cdot 10^7$                    | $1,5 \cdot 10^8$    | $9,7 \cdot 10^9$    | $4,9 \cdot 10^{10}$ |

■ **Taulukko 9.** Aktiivisuuspäästöt ympäristöön kaasujäähdytteiselle CASTOR-VVER-440/84M -kuljetussäiliölle oletetuissa onnettomuustapauksissa A, B, C ja D. Polttoaineen palama 60 MWd/kgU, jäähtymisaika 20 vuotta.

| Nuklidi | T <sub>1/2</sub> (vuosi) | VVER-440 (Bq/tU)      | Kuljetussäiliössä (Bq/10 tU) |
|---------|--------------------------|-----------------------|------------------------------|
| H-3     | 12,28                    | 1,28·10 <sup>13</sup> | 1,29·10 <sup>14</sup>        |
| C-14    | 5730                     | 1,93·10 <sup>11</sup> | 1,95·10 <sup>12</sup>        |
| Kr-85   | 10,72                    | 1,55·10 <sup>14</sup> | 1,56·10 <sup>15</sup>        |
| I-129   | 1,6E7                    | 1,86·10 <sup>9</sup>  | 1,88·10 <sup>10</sup>        |
| Cs-134  | 2,062                    | 1,63·10 <sup>13</sup> | 1,64·10 <sup>14</sup>        |
| Cs-137  | 30,17                    | 4,40·10 <sup>15</sup> | 4,44·10 <sup>16</sup>        |
| Sr-90   | 28,6                     | 2,77·10 <sup>15</sup> | 2,79·10 <sup>16</sup>        |
| Ru-106  | 1,02                     | 4,35·10 <sup>10</sup> | 4,39·10 <sup>11</sup>        |
| Ce-144  | 0,78                     | 9,65·10 <sup>8</sup>  | 9,74·10 <sup>9</sup>         |
| Pu-238  | 87,75                    | 2,60·10 <sup>14</sup> | 2,62·10 <sup>15</sup>        |
| Pu-239  | 24131                    | 1,52·10 <sup>13</sup> | 1,53·10 <sup>14</sup>        |
| Pu-241  | 14,3                     | 3,03·10 <sup>15</sup> | 3,06·10 <sup>16</sup>        |
| Am-241  | 432,2                    | 1,84·10 <sup>12</sup> | 1,86·10 <sup>15</sup>        |
| Cm-244  | 18,11                    | 3,21·10 <sup>14</sup> | 3,24·10 <sup>15</sup>        |

■ **Taulukko 10.** Ympäristövaikutusten kannalta merkittävien nuklidien ominaisaktiivisuudet (Bq/tU) ja kokonaisaktiivisuudet kuljetussäiliössä (Bq/10 tU) Loviisan VVER-polttoaineelle. Palama 60 MWd/kgU, jäähtymisaika 20 vuotta. (Anttila 2005, Leppänen 2017, Karvonen 2021).

#### 4.3.2 LEVIÄMIS- JA ANNOSLASKENNAN LÄHTÖTIEDOT

Päästön leviäminen ja säteilyannokset ympäristössä on laskettu VTT:n ARANO-mallilla, joka on alkujaan kehitetty reaktorionnettomuuksien vaikutusten laskentaan, mutta soveltuu hyvin myös muiden lähdetermin leviämislaskentaan. ARANO on laskentaperiaatteeltaan ns. suoraviivainen Gaussinen malli, jota on käytetty erityisesti PSA<sup>1</sup> taso 3:n tarkasteluihin.

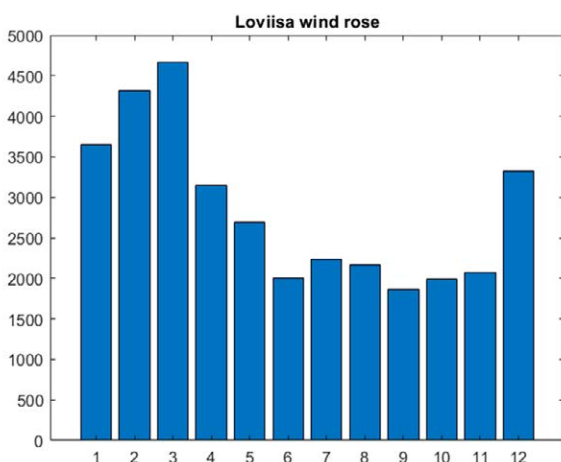
Leviämistilanteina onnettomuuspäästöille (A, B, C ja D) on käytetty yksittäisiä edustavia leviämistilanteita sekä toisaalta laskettu säteilyannoksen odotusarvoja, jolloin on säätilanteiden esiintymistodennäköisyyksillä painotettu pitkän ajanjakson leviämisaineistoa. Laskelmissa siis otettiin huomioon säätilanteeseen liittyvä epävarmuus radioaktiivisen pilven leviämisen aikana.

Tilastollisena sääaineistona ARANO-mallille on tässä tutkimuksessa käytetty Loviisan ydinvoimalaitoksen säämastosta mitattua dataa (Jurvanen

<sup>1</sup> Todennäköisyyspohjainen turvallisuusanalyysi (PSA, Probabilistic Safety Assessment) on yleisesti käytetty menetelmä ydinvoimalaitosten ja muiden ydinteknisten laitteiden onnettomuusanalyysissä. Tason 3 PSA tarkastelee radioaktiivisten aineiden päästön leviämistä ja aiheutuvia säteilyannoksia ympäristössä todennäköisyyspohjaisesti, jolloin otetaan huomioon eri sääparametreihin liittyvät todennäköisyysjakaumat.

2021), jonka katsotaan riittävän hyvin edustavan eteläisen rannikkoalueen tuulensuuntajakaumaa (Kuva 24). Tällöin sääaineisto soveltuu esimerkiksi tilanteeseen, jossa rannikkoalueen kuljetusreitillä sattuisi radioaktiivinen päästö tiheällä asutus- ja/tai teollisuusalueella.

Säteilyannoksen oletetaan koostuvan kolmesta altistusreitistä: suora ulkoinen säteily pilvestä, suora ulkoinen säteily laskeumasta ja sisäinen altistus hengitetyistä radioaktiivisesta materiaalista. Ravintoaineiden aiheuttamaa altistusta ei ole käsitelty, koska saastuneiden elintarvikkeiden



■ **Kuva 24.** Tuulensuuntajakauma (ns. tuulisuus) Loviisan säämaston mittauksista. Esitetyt Aranon sektorit 1-12 vastaavat 'kellotaulun mukaisia' leviämissuuntia.

käyttöä voitaisiin tarvittaessa rajoittaa. Myöskään maahan laskeutuneiden radioaktiivisten hiukkas-ten pölyämistä ei ole käsitelty, koska sen merkitys Suomen olosuhteissa katsotaan yleensä vähäi-seksi aluskasvilli-suudesta ja vuodenaikavaihte-luista johtuen. Esitetyt annokset ovat efektiivisiä, säteilyn ihmisille aiheuttamaa biologista vaikutus-ta kuvaavia annoksia.

Suojauskertoimina (shielding factor) on käytetty 1.0 pilviannokselle ja 0.3 laskeuma-annokselle. Pilviannokselle 1.0 merkitsee konservatiivisesti sitä, että kohdehenkilö oleskelee avoimessa ulko-tilassa koko pilven ylikulun ajan. Laskeuma-annos kertyy pidemmän integrointiajan kuluessa ja sille 0.3 ottaa huomioon oleskelun (osan ajasta) sisällä erityyppisissä rakennuksissa. Hengitysnopeudel-le on käytetty konservatiivisesti suurehkoa arvoa  $2.8 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 16.8 \text{ dm}^3/\text{min}$ . Hengitysannoksen ai-heuttajanuklidit sitoutuvat elimistöön pilven yliku-lun aikana, mutta annos niistä kertyy myöhemmin pidemmällä ajalla (ns. annositouma).

#### 4.3.3 SÄTEILYANNOKSET ONNETTOMUUSTAPAUKSISTA

Kuten edellä (kohta 4.3.2) on kuvattu, päästön leviämisympäristössä olevalle henkilölle aiheu-tuvat säteilyannokset on laskettu jossain määrin konservatiivisin perustein. Suojautuminen pilven ylikulun aikana ja hengitysannoksen laskennas-sa käytetty hengitysnopeus perustuu konserva-tiiviseen lähestymistapaan. Henkilön oletetaan kuitenkin elävän normaalin vuorokausirytmien mukaan (10% ajasta ulkona) ja asuvan normaa-lissa asunnossa (40% pientaloissa ja loput ker-rostaloissa), jossa on tavanomainen rakenteiden antama suoja laskeumasta tulevaa ulkoista sä-teilyä vastaan.

**Kuvissa 25–30** on esitetty yksittäisten, neutraa-lin säätötilanteen (stabiilius D) aikana tapahtuvan päästön leviämisen aiheuttamat säteilyannokset etäisyyksillä 0,1 km, 1 km, 5 km, 20 km, 40 km sekä 100 km. Tulokset on annettu lisäksi pouta-sään tai sateen vallitessa leviämisen aikana.

Realistisen onnettomuusskenaarion (A) tapauk-sessa kuukauden yksilöannostekertymät (pouta) kuljetussäiliön lähistöllä ovat:  $1,3 \mu\text{Sv}$  (0,1 km) ja  $0,13 \mu\text{Sv}$  (1 km). Sateen vallitessa leviämisessä vastaavasti:  $1,5 \mu\text{Sv}$  (0,1 km) ja  $0,17 \mu\text{Sv}$  (1 km).

Realistisen termisen skenaarion (B) tapaukses-

sa päästökorkeus on suurempi (80 m) ja annos-maksimi havaitaan kauempana kuin A-tapauk-sessa. Kuukauden yksilöannostekertymät (pouta) ovat:  $0,18 \mu\text{Sv}$  (0,1 km) ja  $0,28 \mu\text{Sv}$  (1 km).

Kaikkien polttoainesauvojen vaurioituessa (ANSI-skenaario (C)) kuukauden annostekertymät olisivat luonnollisesti paljon suuremmat:  $0,4 \text{ mSv}$  (0,1 km) ja  $0,04 \text{ mSv}$  (1 km). Sateen vallitessa leviämi-sessä:  $0,5 \text{ mSv}$  (0,1 km) ja  $0,05 \text{ mSv}$  (1 km).

Termisen päästön tilanteessa ANSI-skenaarion annosmaksimi havaitaan vastaavasti kilometrin etäisyydellä ja kuukauden integrointiajalla koko-naisyksilöannos (pouta) on  $0,09 \text{ mSv}$ .

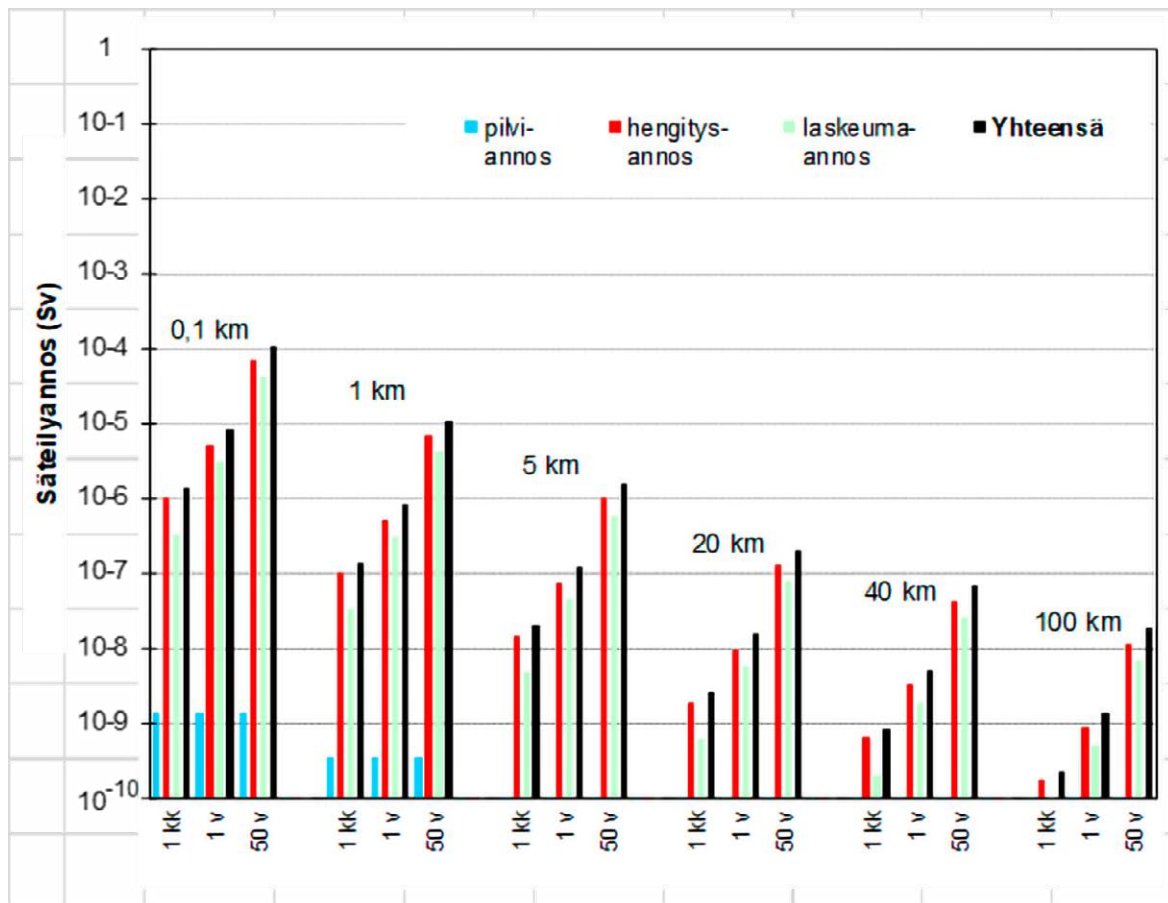
Hyvin pitkällä 50 vuoden integrointiajalla annos-kertymä A-tapauksessa poutasään vallitessa le-viämisessä on kilometrin etäisyydellä  $0,01 \text{ mSv}$  ja C-tapauksessa  $3,6 \text{ mSv}$ .

Yhteenvedona voidaan todeta, että realististen onnettomuusskenaarioiden aiheuttamat sätei-lyannokset kuljetussäiliön lähistölläkin jäisivät hyvin pieniksi ja lasketut vuosiannokset ovat selkeästi alle esimerkiksi sallitun enimmäis-vuosiannoksen  $0,1 \text{ mSv}$ .

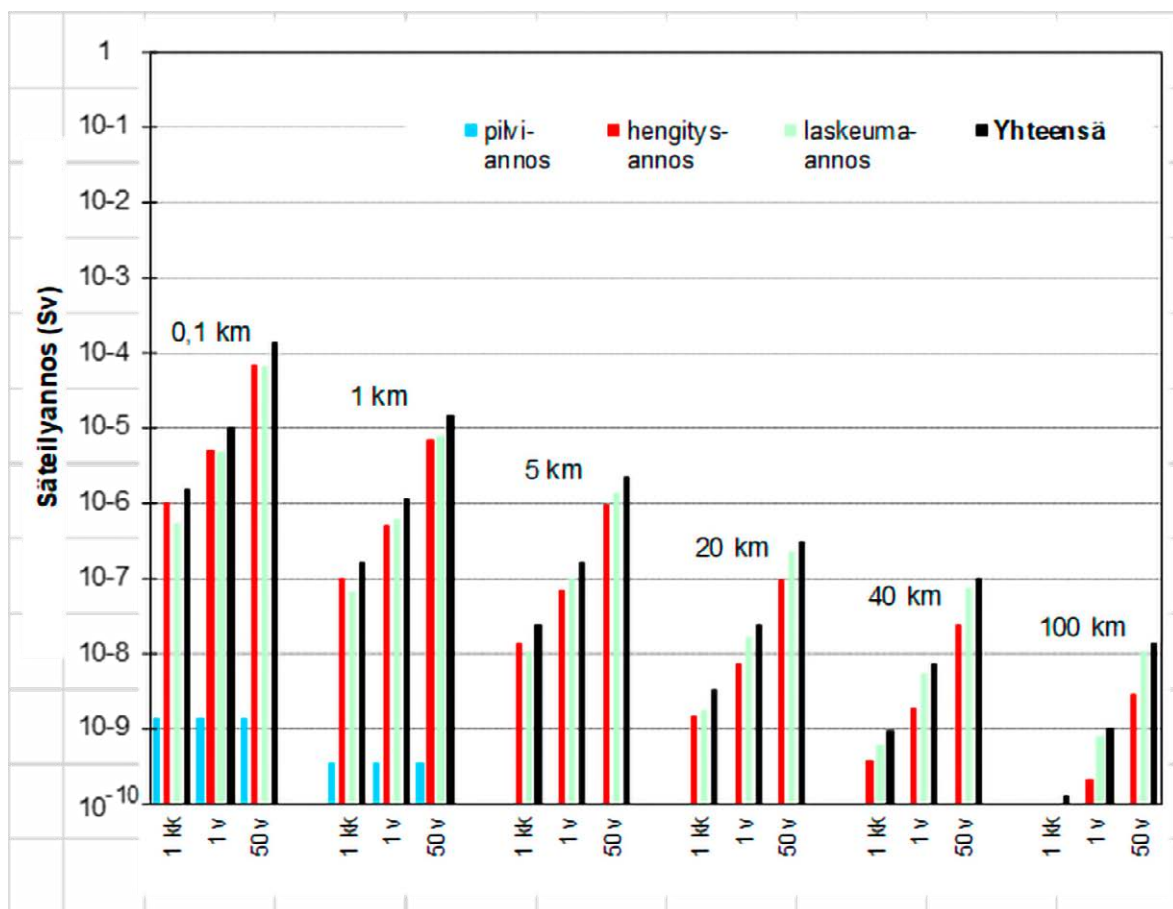
**Kuvissa 31–36** on esitetty annosten odotusar-vot etäisyyden funktiona ja ne kuvaavat odo-tettavia annoksia siinä mielessä todenmukai-semmin, että ne ottavat huomioon vallitsevien säätötilanteiden jakauman. Jokaisessa kuvassa on esitetty annoksen odotusarvokäyrä (musta viiva) sekä vertailuna yksittäisen leviämistilan-teen annos (sininen viiva) sateen vallitessa leviä-misen aikana.

Yleisesti havaitaan, että annoksen odotusarvot ovat pienemmät kuin yksittäisen säätötilanteen annos. Realistiselle onnettomuustapaukselle (A) annoksen maksimiarvo on  $0,07 \mu\text{Sv}$  (0,1 km) ja kaikkien sauvojen vaurioituessa (ANSI-skenaa-rio (C))  $0,02 \text{ mSv}$  (0,1 km). Odotusarvoon vaikut-taa se, että sitä laskettaessa tuuli ei yksittäisissä tapauksissa satu edes osumaan kohdesektoriin, eli useimmissa suunnissa jäädään nolla-annok-seen. Lopulliseen odotusarvoon ARANO ottaa huomioon kaikki suunnat ja kulloisenkin tuulen suunnan sekä muut sääparametrit.

Odotusarvoisesti aiheutuvat säteilyannokset siis jäävät akuutissa vaiheessa pieneksi, mutta hyvin pitkällä integrointiajoilla annostekertymä va-kavimmassa onnettomuustapauksessa nousisi annosrajan tasolle tai hieman ylikin siitä.

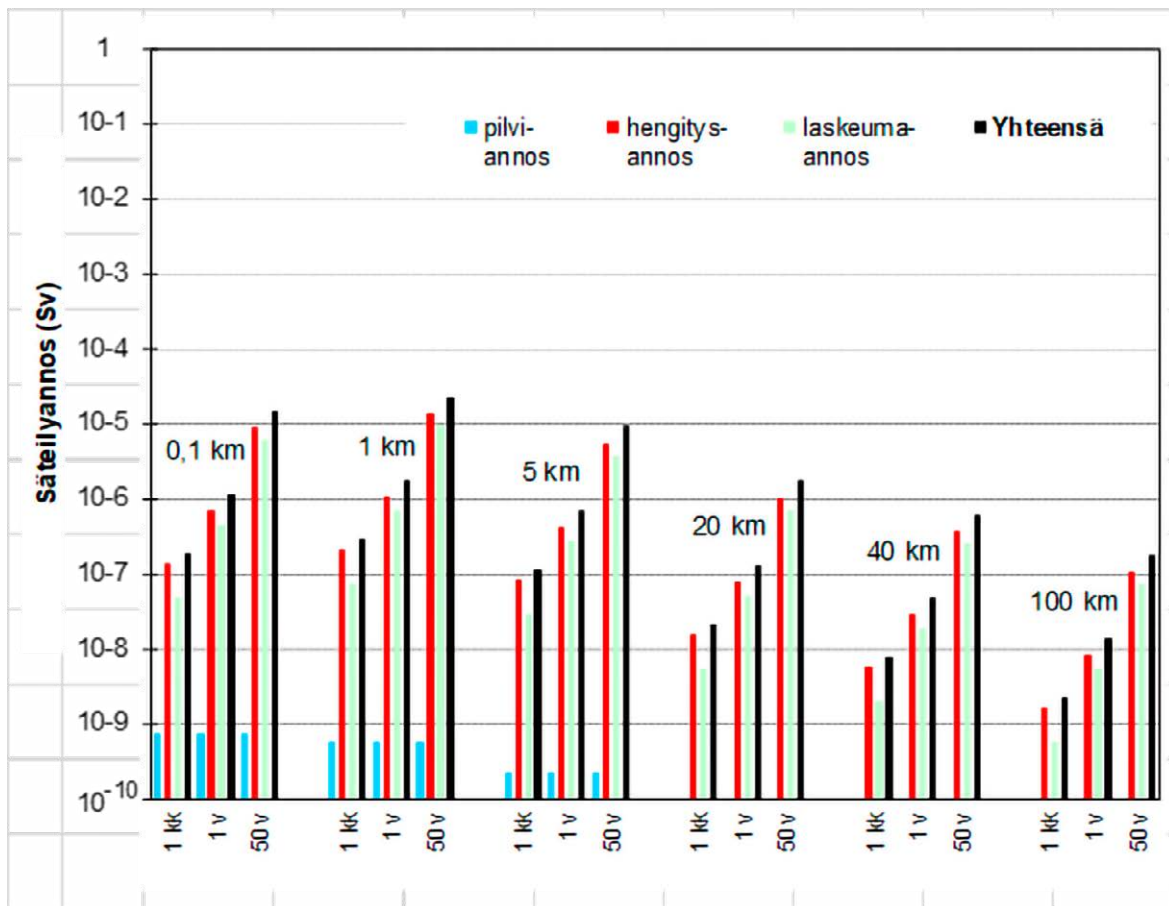


Kuva 25. Annos etäisyyden funktiona realistisen päästön skenaariossa (A), stabilisuus D, pouta.

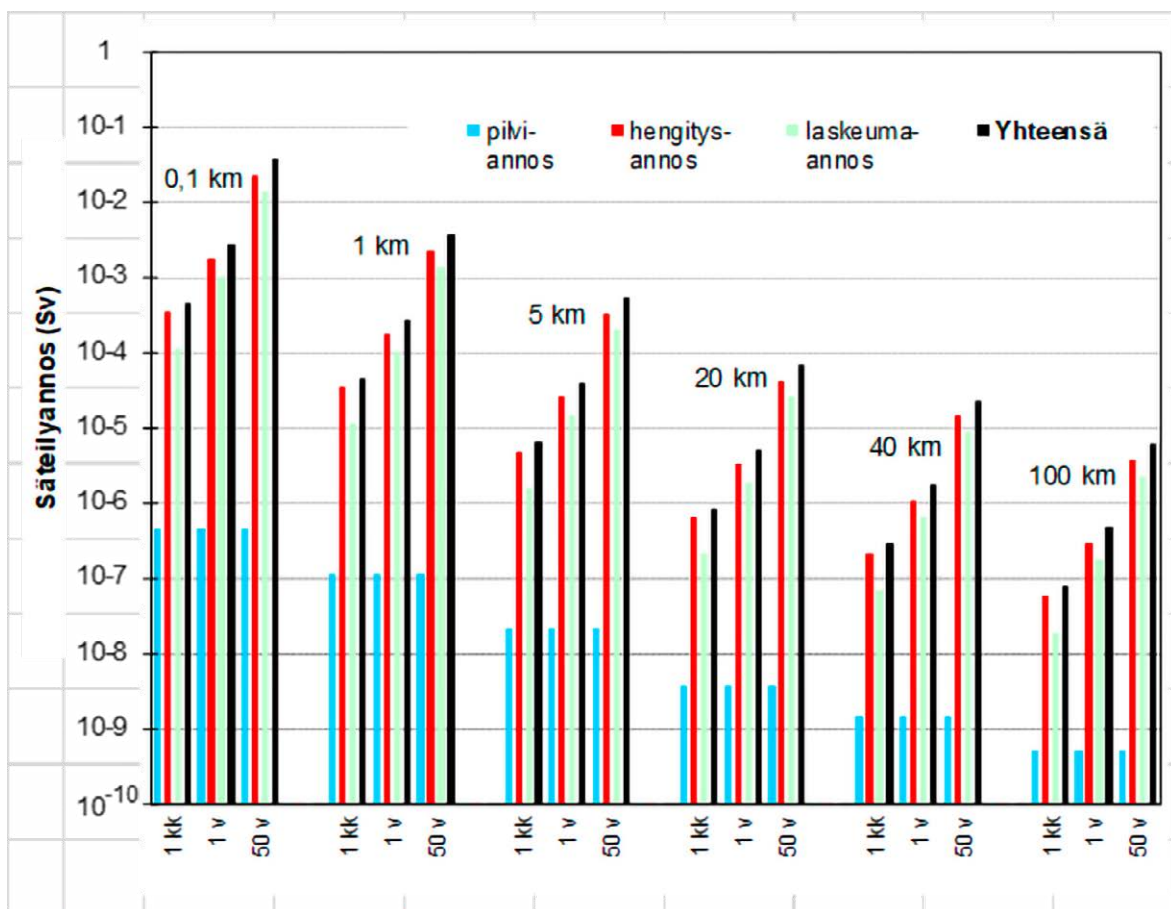


Kuva 26. Annos etäisyyden funktiona realistisen päästön skenaariossa (A), stabilisuus D, sade.

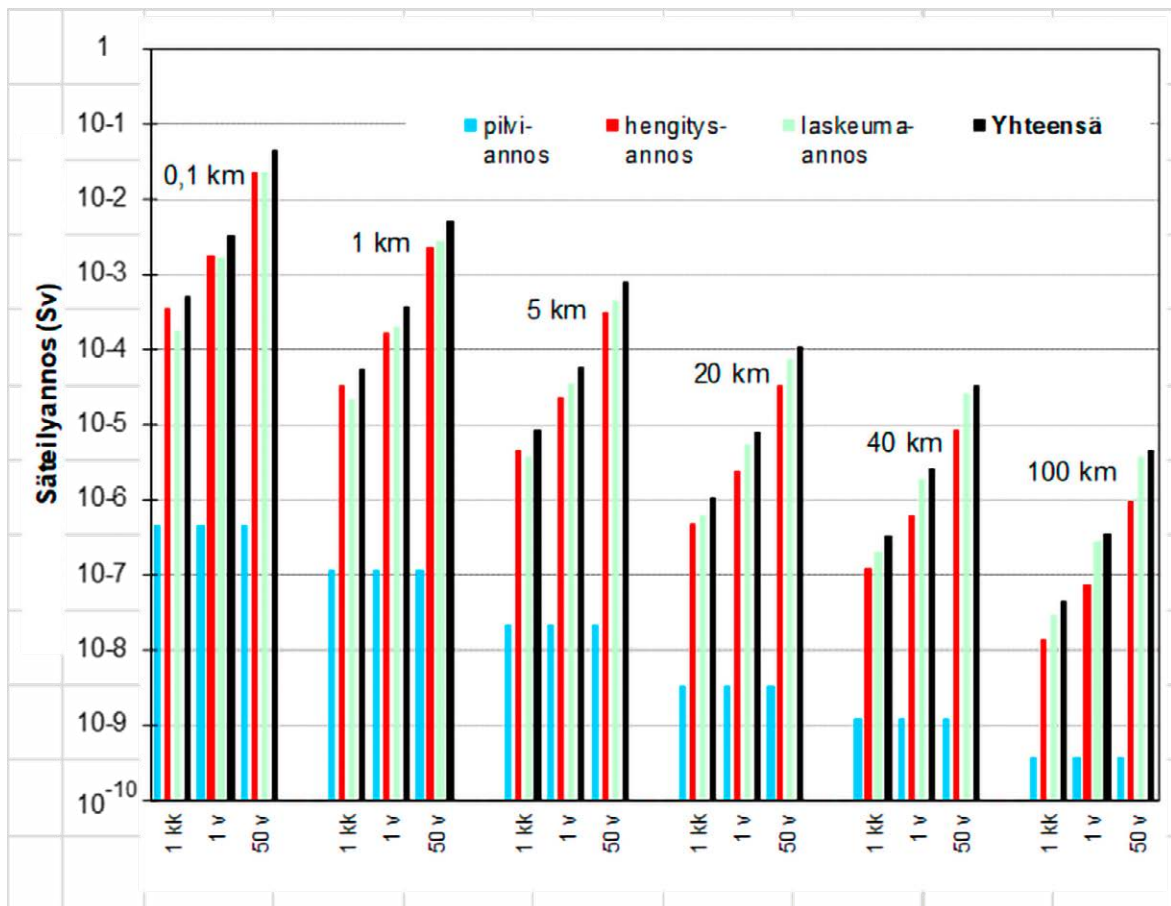




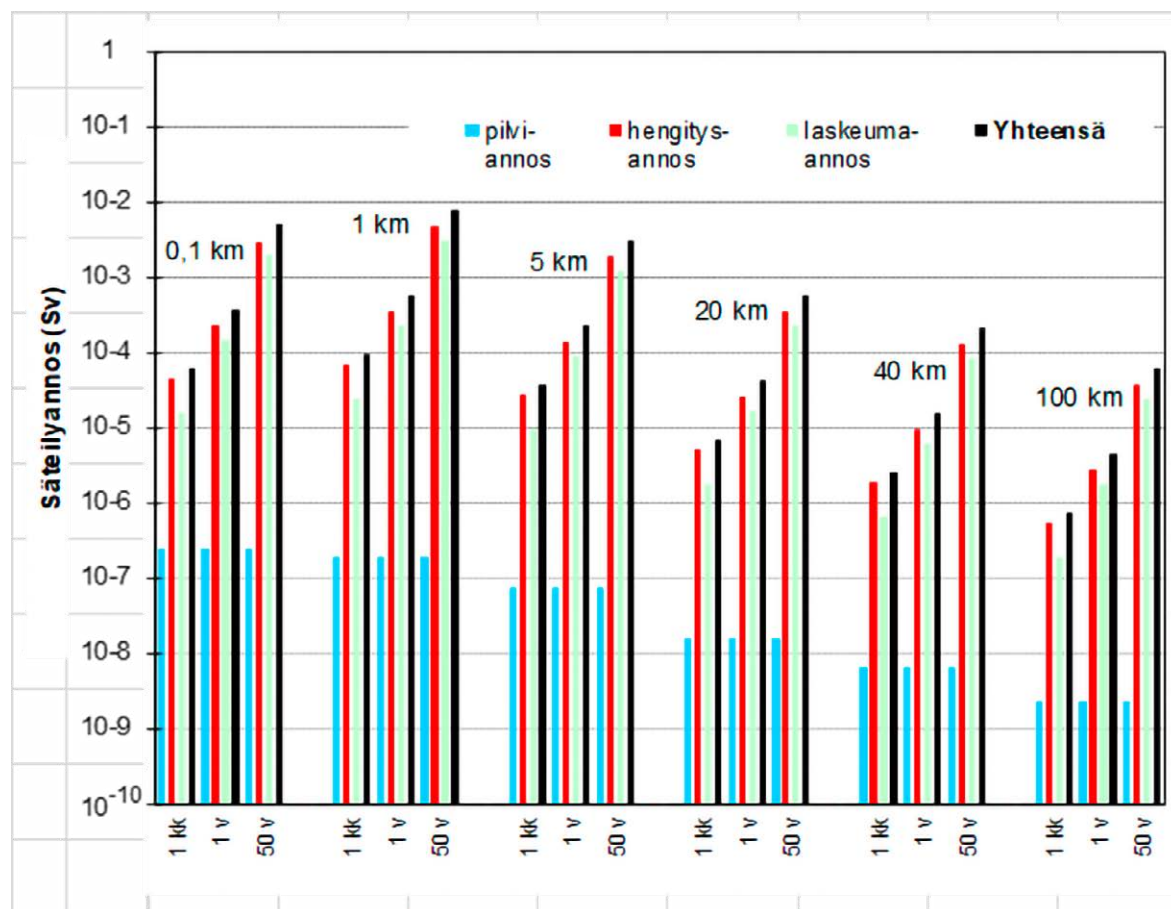
**Kuva 27.** Annos etäisyyden funktiona realistisen termisen päästön skenaariossa (B), stabiilisuus D, pouta.



**Kuva 28.** Annos etäisyyden funktiona ANSI-päästön skenaariossa (C), stabiilisuus D, pouta.



Kuva 29. Annos etäisyyden funktiona ANSI-päästön skenaariossa (C), stabiilisuus D, sade.

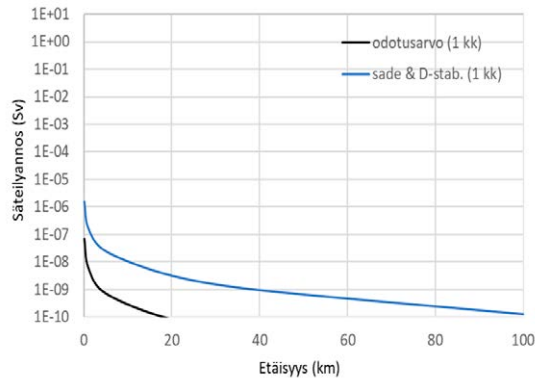


Kuva 30. Annos etäisyyden funktiona ANSI-termisen päästön skenaariossa (D), stabiilisuus D, pouta.

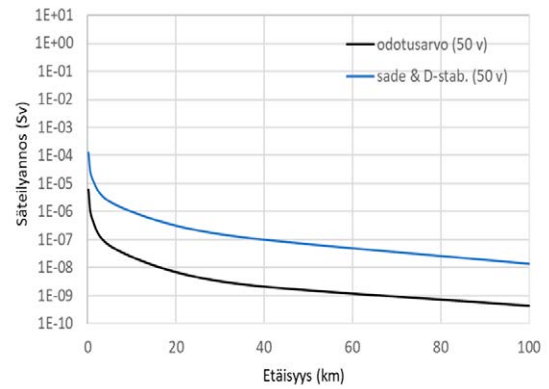
## SÄTEILYANNOSTEN ODOTUSARVOT (mustat käyrät)

1 kuukauden integrointiaika (Kuvat: 31, 33 ja 35)

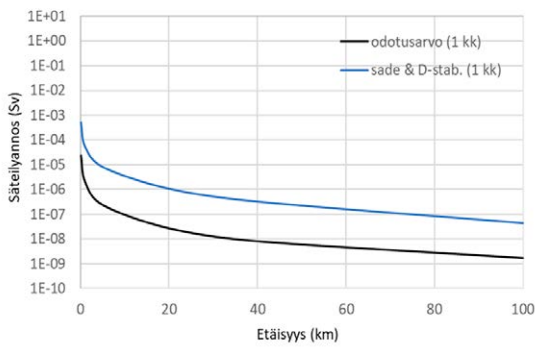
50 vuoden integrointiaika (Kuvat: 32, 34 ja 36)



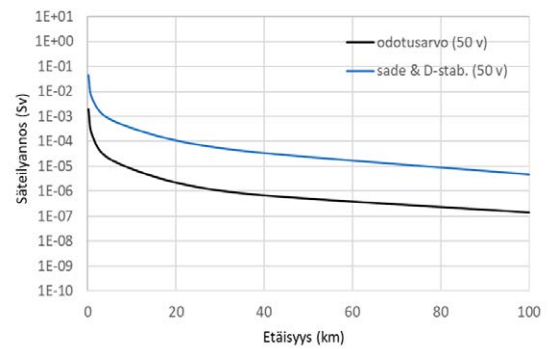
**Kuva 31.** Annos yhteensä pilvestä, hengityksestä ja laskeumasta realistisen päästön skenaariossa (A).



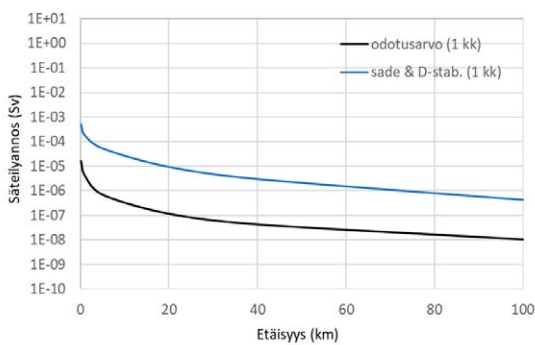
**Kuva 32.** Annos yhteensä pilvestä, hengityksestä ja laskeumasta realistisen päästön skenaariossa (A).



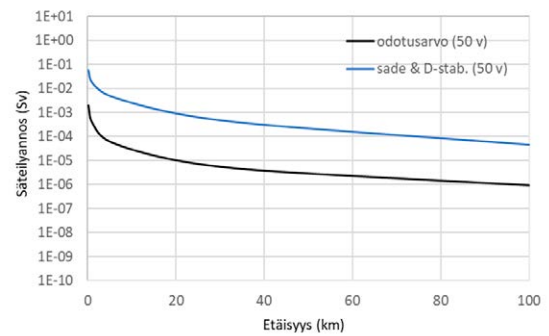
**Kuva 33.** Annos yhteensä pilvestä, hengityksestä ja laskeumasta ANSI-päästön skenaariossa (C).



**Kuva 34.** Annos yhteensä pilvestä, hengityksestä ja laskeumasta ANSI-päästön skenaariossa (C).



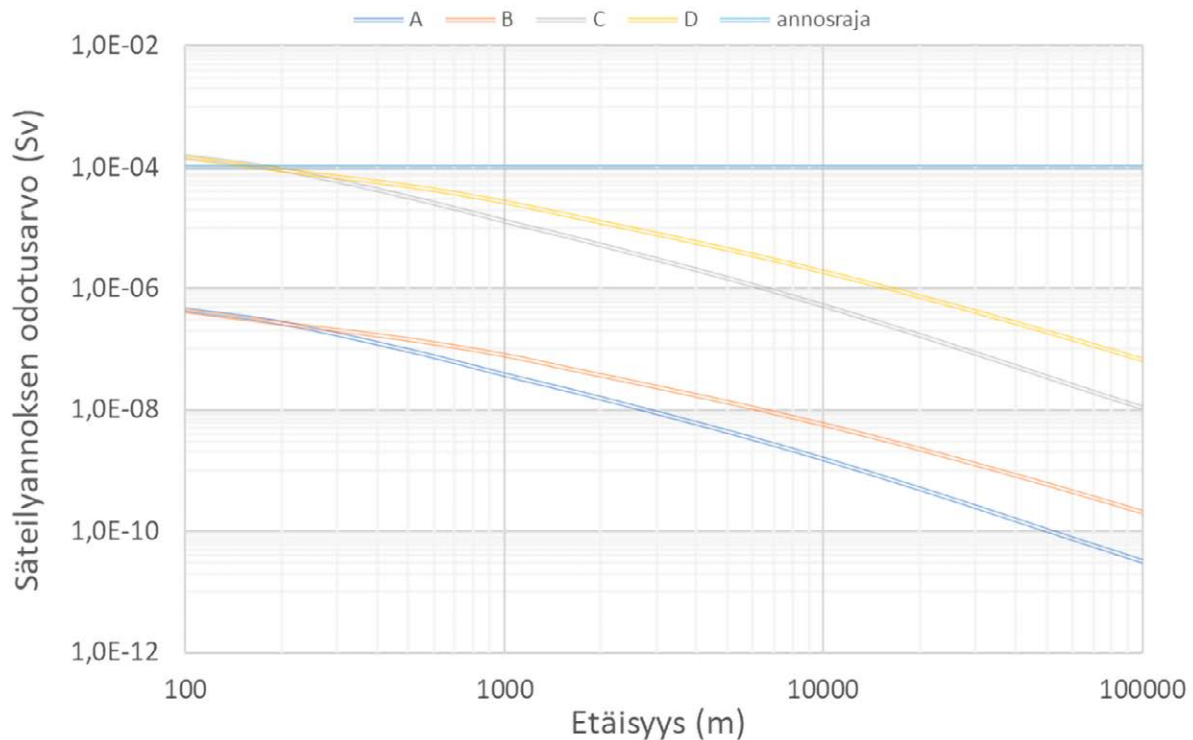
**Kuva 35.** Annos yhteensä pilvestä, hengityksestä ja laskeumasta ANSI-termisen päästön skenaariossa (D).



**Kuva 36.** Annos yhteensä pilvestä, hengityksestä ja laskeumasta ANSI-termisen päästön skenaariossa (D).

Onnettomuustilanteiden vaikutusten yhteenvetotarkasteluna voidaan esittää kaikkien tapauksien (A, B, C, D) tulokset sekä yleisesti käytetty säteilyannoksen annosraja yhdessä (kuva 37). Havaitaan, että realistisissa onnettomuuske-naarioissa (A, B) säteilyannos jää selvästi an-

nosrajan alapuolelle. Kuvasta nähdään samalla päästön termisyyden vaikutus (tapaukset B, D) siten, että laskeuma ja aiheutuvat annokset ovat kauempana lähteestä suuremmat verrat-tuna tavanomaiseen päästöön ilman tulipalon vaikutusta.



**Kuva 37.** Yhteenveto onnettomuustapauksille A, B, C ja D lasketuista yksilön säteilyannosten odotusarvoista. Kuvassa on esitetty myös onnettomuustilanteiden tarkasteluun yleisesti liitetty suurin sallittu säteilyannos eli annosraja (0,1 mSv/vuosi). Ainoastaan vakavimmassa tapauksessa (D, 100% polttoainesauvojen vioittuminen törmäyksessä) annosraja ylittyisi lähialueella. Realistisissa onnettomuustapauksissa jäädään selvästi annosrajan alapuolelle.



## 5 YHTEENVETO

Tutkimuksessa on tarkasteltu Loviisan ydinvoimalaitoksella käytön aikana kertyneen käytetyn polttoaineen kuljetuksia Olkiluodon loppusijoituslaitokselle säteilyturvallisuuden kannalta. Erityisalueina tutkimuksessa ovat olleet kuljetussäiliön annosnopeuden laskenta, normaali-kuljetusten sekä liikenteellisten hypoteettisten onnettomuustapausten annosvaikutusten arviointi.

Työssä on yksityiskohtaisesti mallinnettu kuljetuksissa käytettäväksi ajateltu kaasujäähdytteinen CASTOR-440/84M -kuljetussäiliö ja tehty Serpent-mallilla säteilysuojaus- ja annosnopeuslaskuja, jolloin on saatu säiliön ulkopuolinen annosnopeus määritettyä 50 MWd/kgU ja 60 MWd/kgU palamille. Kahden metrin etäisyydellä säiliön vaipasta, annosnopeus on laskujen mukaan yhteensä 0,03 mSv/h, mikä on selvästi alle IAEA:n esittämän annosrajan 0,1 mSv/h. Kokonaisannosta dominoi spontaanien fissioiden aiheuttama neutronisäteily ja fotonisäteilyn merkitys kokonaisannokseen on vähäinen.

Kuljetusreitteinä on tarkasteltu rannikkoalueen kautta sekä sisämaan kautta kulkevia maantiekuljetuksen reittivaihtoehtoja. Lisäksi on tarkasteltu merikuljetusta laivalla Loviisan Valkon satamasta sekä suoraan Hästholmenilta Olkiluodon satamaan.

Normaalikuljetuksissa suurimmat säteilyannokset aiheutuvat kuljetussäiliön käsittelyvaiheissa henkilöstölle ja väestön saamat säteilyannokset kuljetuksen aikana ovat pienemmät. Maantiekuljetuksissa vuotuinen kokonaissäteilyannos konservatiiviseen analyysiin perustuen on noin 0,01 manSv rannikkoreitillä ja noin 0,013 manSv sisämaan reitillä. Henkilöstön saama säteilyannos on rannikkoreitillä lyhyemmän altistusajan takia hieman pienempi kuin sisämaan kautta tapahtuvassa kuljetuksessa. Merikuljetuksessa vuotuinen kokonaissäteilyannos on Valkon sataman kautta tapahtuvassa kuljetuksessa 0,01 manSv ja Hästholmenilta suoraan lähtevässä kuljetuksessa 0,007 manSv. Valkon kuljetukseen liittyvä maantieosuus ydinvoimalaitokselta satamaan lisää säiliön käsittelyvaiheita ja nostaa säteilyannosta.

Hypoteettisia liikenteellisiä onnettomuustilanteita on tarkasteltu realistisen törmäyksen, realistisen termisen törmäyksen (törmäys ja tulipalo) sekä ns. 100% polttoainesauvojen vaurioitumisen tapauksille. Tilanteissa syntyvän radioaktiivisen päästön leviämistä ja aiheutuvia annoksia on laskettu VTT:n ARANO-mallilla yksittäisille säätilanteille sekä säteilyannosten odotusarvoja, jolloin on eri säätilanteiden todennäköisyyksillä painottaen saatu annoksen odotusarvot etäisyyden funktiona. Laskuissa on huomioitu myös pouta tai sadesään vaikutus laskeumaan ja säteilyannoksiin.

Realistisessa onnettomuusskenaariossa yksilön vuosiannos yksittäisessä neutraalissa säätilanteessa jää tasolle 1  $\mu$ Sv kilometrin etäisyydellä kuljetussäiliöstä. Tulipalon (termisyys) sattua törmäyksen yhteydessä, on päästökorkeus suurempi ja annosmaksimi havaitaan kauempana kuin ilman tulipaloa. Realistisessa onnettomuusskenaariossa yksilöannos jää vuosiannosrajaa 0,1 mSv selvästi pienemmäksi.

Pessimistisessä, kaikkien sauvojen vaurioitumistapauksessakaan ei ole odotettavissa välittömiä terveysvaikutuksia väestölle, vaikka pitkällä aikavälillä laskeumasta kertyvät säteilyannokset nousisivatkin merkittävälle tasolle.

Huomioitaessa säätilanteiden todellinen jaksama, saadut säteilyannosten odotusarvot ovat suuruusluokaltaan noin kymmenesosa yksittäisten leviämistilanteiden arvoista.

Yhteenvetona voidaan todeta, että normaali-kuljetusten tai hypoteettisen realistisen onnettomuusskenaarion seurauksena, käytetyn polttoaineen kuljetukset eivät aiheuta merkittävästi kohonnutta säteilyaltistuksesta aiheutuvaa terveydellistä riskiä väestölle.

## LÄHDEVIITTEET

ANSI, American Nuclear Society, "American National Standard for Neutron and Gamma-Ray Flux-to-Dose-Rate Factors", ANSI/ANS-6.1.1-1977, 1977.

ANSI N14.5-1987, American Nuclear Society, "American national standard for radioactive materials – leakage tests on packages for shipment". New York, American National Standards Institute.

Capacent, Selvitys käytetyn ydinpolttoaineen kuljetuksesta Loviisasta Olkiluotoon, 2016.

Colle, J. Y., Hiernaut, J.-P., Papaioannou, D., Ronchi, C., Sasahara, A., Fission product release in high-burn-up UO<sub>2</sub> oxidized to U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>. Journal of Nuclear Materials 348, 2006, pp. 229-242.

GNS, 2014, CASTOR casks for the storage and transport of spent nuclear fuel. GNS-POSIVA-Fortum-TVO meeting, 21.10.2014

GNS, CASTOR 440/84M, 2017.

Hubbell, J. H. and Seltzer, S.M. Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients, 2004. (version 1.4). [online, access 3.3.2021, <http://www.nist.gov/pml/data/xraycoef/>]

IAEA 2018. Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 2018 Edition. Specific Safety Requirements No. SSR-6 (Rev. 1). IAEA Safety Standards for protecting people and the environment, Vienna.

International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code: 2010 Edition, International Maritime Organization (IMO).

J. Leppänen, et al. - The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2013. Annals of Nuclear Energy, 8:142-150, 2015

Jaakko Leppänen, Evaluation of radionuclide inventories in fuel and structural materials for TURVA-2020: Part II, Customer Report VTT-CR-05712-17, Espoo, 2017.

Jani Huttunen, Olli Nummi and Barbara Pastina, Source Terms for the Safety Case in Support of the Operating Licence Application, Posiva, 2021. (To be published.)

Juha-Pekka Jurvanen, Henkilökohtainen konsultaatio Posiva toimeksiantoon, 2021.

Karvonen, P., Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen normaalikäytön sekä käyttöhäiriö- ja onnettomuusanalyysien radioaktiivisten aineiden lähdetermi, NUCL-4394, Fortum, 2021.

Kärkkäinen & Karvonen, Kapselointilaitoksen säteilylaskenta, Osa 3: Kuljetussäiliön siirtokäytävä ja varastopaikka, NUCL-3792, LP-00013329, 2018.

Koskivirta O., Käytetyn polttoaineen kuljettaminen Loviisan voimalaitokselta Eurajoen Olkiluotoon kapselointia ja loppusijoittamista varten; toteutustapaselvitys, Fortum, 2012.

Liikenne- ja viestintäministeriön asetus (1253/2002) erikoiskuljetuksista ja erikoiskuljetusajoneuvoista annetun liikenneministeriön päätöksen muuttamisesta.

Liikenne- ja viestintäviraston määräys, Vaarallisten aineiden kuljetus tiellä, TRAFI-COM/82133/03.04.03.00/2019.

Neuhauser K. S. & Kanipe F. L., RADTRAN 4, User Guide. Albuquerque, SAND89-2370, 1992.

NIST Standard Reference Database 126, Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients, <https://www.nist.gov/pml/x-ray-mass-attenuationcoefficients> (accessed on May 6th 2019)

P. Juutilainen & S. Häkkinen, Impact of Fuel Type and Discharge Burnup on Source Term, Proceedings of the International Conference Nuclear Energy for New Europe, Portoroz, Slovenia, September 9–12, 2019

PNNL, Pacific Northwest National Laboratory, Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modeling, PNNL-15870 Rev. 1, 2011

Sanders, T. L., Seager, K. D., Rashid, Y. R., Barrett, P. R., Malinauskas, A. P., Einziger, R. E., Jordan, H., Duffey, T. A., Sutherland, S. H. & Reardon, P. C. . A method for determining the spent-fuel contribution to transport cask containment requirements. Sandia National Laboratories, Albuquerque, U.S., SAND90-2406, 1992, 512 p.

SKB, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Suolonen, V., Lautkaski, R. & Rossi, J., Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusten terveysriskien arviointi, POSIVA 99-17, 139 s., Helsinki, 1999.

Suolonen V., Lautkaski R., Rossi J., Nyman T., Rosqvist T. & Sonninen S., Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusriskitarkastelun päivitys, POSIVA 2004-04, ISBN 951-652-130-4, Oikuluoto, 2004.

Suomen asukasluvut kunnittain, Väestörekisterikeskus 2012.

Tietilastoja 2010, Liikenneviraston tilastoja 6/2011.

Valtioneuvoston asetus vaarallisten aineiden kuljetuksesta tiellä (194/2002), laki 719/1994.

Väyläviraston liikennemääräkartta vuodelta 2020.

Ydinenergia-asetus (161/1988).

Ydinenergialaki (990/1987).

YVL C.5 Ydinvoimalaitoksen valmiusjärjestelyt. 20.1.2020.

YVL D.2 Ydinainesten ja jätteen kuljetus. 15.5.2019.





# 13

RAKENTAMISLUVAN MYÖNTÄMISEN  
JÄLKEEN HANKKEESEEN TEHDYT  
MUUTOKSET



■ Kuva: Posiva Oy

# SELVITYS LOPPUSIJOITUSKONSEPTIIN TEHDYISTÄ MUUTOKSISTA

## TAUSTAA

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamislupan yhtenä ehtona oli toimittaa käyttölupahakemuksen osana selvitys loppusijoituskonseptiin tehdyistä muutoksista. Tämä selvitys kertoo rakentamislupan hakemisen jälkeen konseptiin tehdyt muutokset. Loppusijoitustoiminta tulee kestäämään nykyisillä suunnitelmilla noin sata vuotta. Koska ydinenergialaki edellyttää tekniikan kehittymisen seurantaa ja sitä kautta tehokkaampien ja turvallisempiä tekniikoiden käyttöönottoa, tulee loppusijoittamisen aikana Posivan nykyisiin suunnitelmiin laitosmuutoksia ja myös muutoksia konseptiin saattaa tulla, koska loppusijoittamisen aikajänne on pitkä. Posiva arvioi tulevien laitosmuutosten ja konseptin muutosten turvallisuuden Säteilyturvakeskuksen (STUK) valvonnan alaisena.

Posivalla on käytössä muutostenhallintamenettelyt, näin jokaisesta suunnitteluun tehdystä muutoksesta tehdään automaattisesti muutostarvot organisaatiossa, jossa arvioidaan muutoksen vaikutukset turvallisuuden eri osaluoi-

- Ydinturvallisuusmerkitys
- Säteilyturvallisuusmerkitys
- Pitkäaikaisturvallisuus
- Vaikutus turvajärjestelyihin ja tietoturvallisuuteen
- Vaikutus polttoainetietojen hallintaan
- Vaikutus ydinmateriaalivalvontaan
- Inhimillisten ja organisatoristen tekijöiden arviointi
- Muutosten vaikutus lupahakemusaineistoon

Muutostenhallinnan osana arvioidaan myös onko muutos sellainen, että sillä on hanketason vaikutuksia. Nämä käsitellään omassa prosessissa hanketta ohjaavina päätöksinä (HOP), joille tehdään myös yo. olevat turvallisuusarviot. Joillakin näistä saattaa olla myös vaikutuksia

rakentamislupahakemuksessa esitetty konseptiin, mutta suurin osa ei aiheuta muutoksia sillä ne liittyvät konseptin tarkentuvaan suunnitteluun.

## POSIVAN HANKETTA OHJAAVAT PÄÄTÖKSET

Alla kuvataan Posivan HOP:it rakentamislupahakemuksen jättämisen jälkeen ja rakentamislupan saamisen jälkeen sekä arvio niiden vaikutuksesta konseptiin.

Rakentamislupahakemuksen jättämisen jälkeen tehtiin seuraavat HOP:it, nämä otettiin huomioon jo STUKin turvallisuusarviossa rakentamislupahakemuksessa:

1. Loppusijoitustunnelien syvyytaso sekä ajoneuvoyhteyksien linjaukset

Tällä HOP:illa varmistettiin loppusijoitustunnelien syvyydet, jotta niitä voitiin käyttää käyttölupahakemusaineistossa tarvittavien turvallisuusanalyysien lähtötietoina, samalla varmistettiin ONKALO®:n ajoneuvoyhteyksien linjaukset. Tällä HOP:illa ei ole vaikutusta loppusijoituskonseptiin.

2. Poistoilmakuilu 2 poisjättäminen suunnitelmista

Tällä HOP:illa ei ole vaikutusta loppusijoituskonseptiin.

3. ONKALOn tuloilmakuilun avaaminen

Tällä HOP:illa ei ole vaikutusta loppusijoituskonseptiin.

4. Kapselin kannen hitsausmenetelmä

Tällä HOP:illa muutettiin kannen hitsausmenetelmäksi kitkatappihitsaus, rakentamislupahakemuksessa esitetyn elektrosuihkuhitsauksen sijaan. Muutos tehtiin rakentamislupahakemuksen käsittelyn aikana ja aineistoa toimitettiin Säteilyturvakeskukselle, joka totesi että kannen sulke-  
mistavan muutokselle ei ole turvallisuutta heikentävää merkitystä. Posivan oman ar-  
vion mukaan hitsaustavan muutos paran-

taa kapselin hitsin pitkäaikaisturvallisuutta, sillä kitkatappihiatus tuottaa vähemmän kuparin raekoon muutoksia jotka aiheuttaisivat hyvin pitkällä ajanjaksolla mahdollisesti jännityskorroosiota hitsausseamassa. Tällä HOP:lla on pitkäaikaisturvallisuutta parantava vaikutus loppusijoituskonseptiin.

Rakentamisluvan saamisen jättämisen jälkeen tehtiin seuraavat HOP:it, nämä muutokset on viety Posivan laitos- ja konseptisuunnitteluun STUK:n valvonnassa ja hyväksymänä:

#### 5. Toteutuslaajuuden muutos

Tällä HOP:illa päätettiin loppusijoituslaitoksen tilojen toteutuslaajuus ennen loppusijoituksen aloittamista ns. valmisteleavassa vaiheessa. Tällä HOP:lla ei ole vaikutusta loppusijoituskonseptiin.

#### 6. Kuljetussäiliön rakennetyypin valinta

Tällä HOP:illa päätettiin kuljetussäiliön rakennetyypin. Tällä HOP:lla ei ole vaikutusta loppusijoituskonseptiin.

#### 7. Käytetyn polttoaineen verifiointimittauksen paikka

Tällä HOP:illa päätettiin missä varmenneetaan loppusijoitettava käytetty ydinpolttoaine. Tällä HOP:lla ei ole vaikutusta loppusijoituskonseptiin.

#### 8. Kapselointijätteen käsittely ja loppusijoitus

Tällä HOP:illa päätettiin miten ja missä käsitellään sekä varastoidaan kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella syntyvä matala- ja keskiaktiivinen ydinjäte. Tällä HOP:lla ei ole vaikutusta loppusijoituskonseptiin.

#### 9. Ensimmäisten loppusijoitustunnelien toteutusalueen muutos

Tällä HOP:illa päätettiin minne rakennetaan ensimmäiset loppusijoitustunnelit. Tällä HOP:lla ei ole vaikutusta loppusijoituskonseptiin.

#### 10. Käyttölupahakemuksen kapselimäärät

Tällä HOP:illa päätettiin käyttölupahakemuksaineiston analyyseissä käytettävien loppusijoituskapselien tarkka määrä. Tällä HOP:lla ei ole vaikutusta loppusijoituskonseptiin.

#### 11. Keskustunneleiden täytön referenssimateriaalin muutos

Tällä HOP:illa päätettiin muuttaa keskustunneleiden täyttömateriaali, keskustunneleilla ei ole turvallisuustoimintoa, joten pitkäaikaisturvallisuus ei vaarannu tällä muutoksella. Tällä HOP:lla ei ole vaikutusta loppusijoituskonseptiin.

#### 12. Puskurin segmentointi

Tällä HOP:illa päätettiin muuttaa loppusijoitusreikään asennettavien puskurien rakenne rengasmaisista lohkoista segmenttimäisiin puskurilohkoihin. Tällä HOP:lla ei ole vaikutusta loppusijoituskonseptiin.

#### 13. Käytettävyyssasteen nosto

Tällä HOP:illa päätettiin muuttaa laskelmissa käytettävää ennako-oletusta kuinka paljon kallioperästä on käytettävissä loppusijoitukseen, Posivan tarkentuneet tutkimustiedot Olkiluodon kallioperästä toimivat taustatietona tähän päätökseen. Tällä HOP:lla ei ole vaikutusta loppusijoituskonseptiin.

#### 14. Sijoitustunnelivälin muutos

Tällä HOP:illa päätettiin muuttaa loppusijoitustunnelien ja -reikien etäisyysvaatimuksia, perustuen tarkennettuihin jälkilämmön tuottolaskelmiin. Tällä HOP:lla ei ole vaikutusta loppusijoituskonseptiin.

#### 15. GraFi materiaalin käyttö loppusijoitustunnelin täyttömateriaalina

Tällä HOP:illa päätettiin loppusijoitustunnelien täyttöratkaisun muuttaminen lohko-pelletti täytöstä granulitäyttöratkaisuksi. Granulitäyttömateriaali valmistetaan pelleteistä murskaamalla ja sekoittamalla. Materiaali asennetaan tunneliin erikseen sitä varten suunnitellulla asennuslaitteella. Tällä HOP:lla ei ole vaikutusta loppusijoituskonseptiin.

#### 16. OL1-2 Loppusijoitustunnelin koko

Tällä HOP:illa päätettiin muuttaa loppusijoitustunnelien kokoa, päätöksellä vahvistettiin ensimmäisten loppusijoitustunnelien koko, jotta muun muassa tunneleissa opeoivien laitteiden suunnittelu voidaan tehdä. Tällä HOP:lla ei ole vaikutusta loppusijoituskonseptiin.



## YHTEENVETO

Posiva on arvioinut edellä esitetyt muutokset oman muutostenhallintamenettelyn avulla ja muutokset on hyväksytty osaksi loppusijoitus-konseptia. Turvallisuusmerkitykseltään merkittävien muutoksien suunnitteluaineisto hyväksytetään myös STUK:lla, myös asennus ja käyttöönotto tapahtuvat STUK:n valvonnassa. Loppusijoitus tulee jatkumaan noin sata vuotta, muutoksia tulee tekniikan kehittymisen myötä mutta Posivalla on hallittu muutostenhallintamenettely, jolloin kaikki muutokset arvioidaan eri turvallisuuden osa-alueiden osalta. Tulevaisuudessa mahdolliset muutokset varmistavat turvallisen ja tehokkaan loppusijoituksen, myös tulevaisuuden muutokset tullaan tekemään STUK:n valvonnassa.



# 14

SELVITYS SIITÄ, MITEN  
HAKIJA ON TÄYTTÄNYT  
RAKENTAMISLUVAN EHDOT







# SELVITYS KÄYTTÖLUVAN EHTOJEN TÄYTTYMISESTÄ

Seuraavassa on esitetty Posiva Oy:n käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamislupaan, annettu 12.11.2015, liitettyjen lupaehtojen toteutuminen. Lupaehdot on käsitelty käyttöluvassa esitettyssä muodossa ja kirjoitettu kursiivilla alla.

## Lupaehdot

*Valtioneuvosto on, nojautuen 11 päivänä joulukuuta 1987 annettuun ydinenergialakiin (990/1987) ja 12 päivänä helmikuuta 1988 annettuun ydinenergia-asetukseen (161/1988), päättänyt myöntää jäljempänä mainituin ehdoin Posiva Oy:lle ydinenergialain 18 §:ssä tarkoitetun luvan rakentaa Eurajoen kunnan Olkiluotoon Suomessa tuotetun käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitos ja edellä mainitun laitoksen toiminnasta syntyvälle käyttö- ja käytöstäpoistojätteelle loppusijoitustila, jotka yleispiirteiltään ja turvallisuuden varmistamiseen liittyviltä perusratkaisuiltaan vastaavat rakentamislupahakemuksessa esitettyä.*

*Tämä lupa lakkaa olemasta voimassa, ellei kapselointi- tai loppusijoituslaitoksen rakentamista aloiteta kahden vuoden kuluessa luvan lainvoimaiseksi tulosta.*

Lupaehto täyttyy. Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) vastaanotti 14.12.2016 Säteilyturvakeskuksen (STUK) lausunnon, jossa todettiin, että Posiva on aloittanut loppusijoituslaitoksen rakentamisen Eurajoelle. STUK totesi marraskuun lopussa 2016, että Posiva on saavuttanut valmiuden aloittaa loppusijoituslaitoksen rakentamisen ydinenergia-asetuksen 108 pykälän mukaisesti.

TEM arvioi tämän jälkeen rakentamisluvan voimassa ololle asetetun ehdon ja Posivan rakentamisen aloittamisesta saamansa tiedon ja totesi, että ehto täyttyi.

*1. Tällä päätöksellä myönnetyn luvan nojalla luvanhaltija saa rakentaa*

*1.1 kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käytetylle ydinpolttoaineelle kokonaismäärältään yhteensä enintään 6500 tonnia uraania vastaava määrä.*

Lupaehto täyttyy. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus tulee kestämaan nykyisillä suunnitelmilla 2120-luvulle, tämän mukaisesti loppusijoitettu kokonaismäärä käytettyä ydinpoltoainetta tulee olemaan 6 500 tonnia uraania vastaava määrä. Posiva hakee tällä käyttöluvhakemuksella käyttöilupaa 6 500 tonnia uraania vastaavan määrän loppusijoittamiseen.

*1.2 loppusijoitustiloja käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen matala- ja keskiaktiiviselle käyttö- ja käytöstäpoistojätteelle. Loppusijoitustiloja saa rakentaa siten, että tiloihin voidaan sijoittaa enintään 1500 m<sup>3</sup> matala- ja keskiaktiivista jätettä.*

Lupaehto täyttyy. Posiva luovuttaa käytöstä syntyvien matala- ja keskiaktiivisten jätteiden huolehtimisvelvollisuuden Teollisuuden Voima Oyj:lle (TVO), joka toimii samalla Olkiluodon ydinlaitosalueella. Posivan ydinlaitoksilla syntyneet ydinlaitosjätteet käsitellään, varastoidaan ja loppusijoitetaan Olkiluodon ydinlaitosten käyttöilupien ja toimintalupien mukaisesti.

Sähkön tuotannon päätyttyä Olkiluodossa käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustoiminta jatkuu, tästä syystä Posivalle tulee mahdollisesti tarve rakentaa oma loppusijoitustila matala- ja keskiaktiiviselle jätteelle. Tästä syystä Posiva hakee käyttöluvhakemuksessa lupaa ONKALO®:n yhteyteen rakennettavalle matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilalle. Posiva hakee hakemuksessa loppusijoitustilan kooksi 3000 m<sup>3</sup>, koska tilaan on suunniteltu mahdollisesti loppusijoitettavan tarvittaessa myös Posivan omistajien ydinjätteitä.

*1.3 kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen sekä loppusijoitustilojen toiminnassa tarvittavat rakenteet ja aputilat*

Lupaehto täyttyy. Posiva laajentaa loppusijoituslaitoksen tiloja loppusijoituksen edetessä ja rakentaa tarvittavat rakenteet ja aputilat, jotka mahdollistavat loppusijoituslaitoksen toiminnan. Posivan on ottanut käyttö lupahakemuksessa huomioon myös aputilojen ja rakenteiden rakentamisen.

*1.4 perusratkaisun (pystysuuntaiset sijoitustunnelit) tai sen muunnelman (vaaka-suuntaiset sijoitustunnelit).*

Lupaehto täyttyy. Posivan nykyisten suunnitelmien mukaan loppusijoitus tehdään pystysuuntaisiin loppusijoitusreikiin (KBS-3V-konsepti). Jos vaakasuuntainen loppusijoituskonsepti (KBS-3H) osoittautuisi paremmaksi tavaksi loppusijoittaa käytetty ydinpolttoaine, voidaan loppusijoituksen toteutustapaa muuttaa. Tämä vaatisi kuitenkin kattavia turvallisuusanalyyskejä ja toteutettavuusselvityksiä. Posiva hakee käyttö lupaa pystysuuntaisiin loppusijoitusreikiin perustuvaan loppusijoitukseen, mutta Posiva säilyttää myös mahdollisuuden tarvittaessa siirtyä vaakasuuntaiseen loppusijoittamiseen.

*2. Luvanhaltijan on toimitettava käyttö lupahakemuksen yhteydessä päivitetty selvitys laitospokonaisuuden ympäristövaikutuksista.*

*3. Luvanhaltijan on toimitettava käyttö lupahakemuksen yhteydessä päivitetty selvitys käytetyn ydinpolttoaineen palautettavuudesta.*

*4. Luvanhaltijan on toimitettava käyttö lupahakemuksen yhteydessä päivitetty selvitys käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusriskeistä.*

*5. Luvanhaltijan on toimitettava käyttö lupahakemuksen yhteydessä selvitys hankkeeseen tehdyistä muutoksista.*

Lupaehdot täyttyvät. Posiva on liittänyt lupaehdot 2–5 koskevat päivitetty selvitykset tämän käyttö lupahakemuksen liitteiksi 10–13.







# Posiva

Posiva Oy on maailman johtava  
loppusijoittaja, joka aloittaa  
käytetyn ydinpolttoaineen  
loppusijoituksen syvälle  
peruskallioon louhittuun  
ONKALOon® 2020-luvulla.