

8.3 Vaikutukset maankäyttöön, kulttuuriperintöön, maisemaan, rakennuksiin ja kaupunkikuvaan

8.3.1 Maankäyttö Olkiluodossa

Mahdollinen rakennusalue sijaitsee saaren keskiosassa (kartta 8-1). Lisäksi on varattu pieni alue nykyisen käytetyn polttoaineen varaston vierestä, mikäli kapselointilaitos haluttaisiin rakentaa varaston yhteyteen. Uusien voimalinjojen rakentamiseen ei ole tarvetta. Posivalla on voimassaoleva tutkimusluopa alueen maanomistajilta TVO:lta, Fortumilta ja Metsähallitukselta. Lähimmät yksityisten asuinrakennukset ja loma-asunnot ovat Olkiluodon saaren itäosassa reilun kilometrin etäisyydellä mahdollisen rakennusalueen reunasta.

Mahdollisen rakennusalueen läheisyydessä harjoitetaan maataloutta vain vähäisessä määrin. Lähivesillä harjoitetaan kalastusta sekä elinkeinona että kotitarpeeksi. Olkiluodon saarella on voimalaitoksen lisäksi tilapäiskäytössä oleva satama. TVO kasvattaa rapuja Ulkopään niemessä entisellä kalanviljelylaitoksella.

Eurajoella on voimassa Satakunnan seutukaavat ja vaiheseutukaava 5 (kartta 8-13), joka on hyväksytty ympäristöministeriössä 1999.

Olkiluodon alue on 5. seutukaavassa yhdyskuntateknisen huollon aluetta (ET). Saaren koillisosassa on satama (LV). Liiklankarin vanha metsä on suojelualue (SL). Seutukaavassa on merkittynä ydinvoimalaitoksen suojavyöhyke, jossa on maankäyttörajoituksia.

Olkiluodossa ei ole vahvistettua yleiskaavaa, vaan kunnanvaltuuston

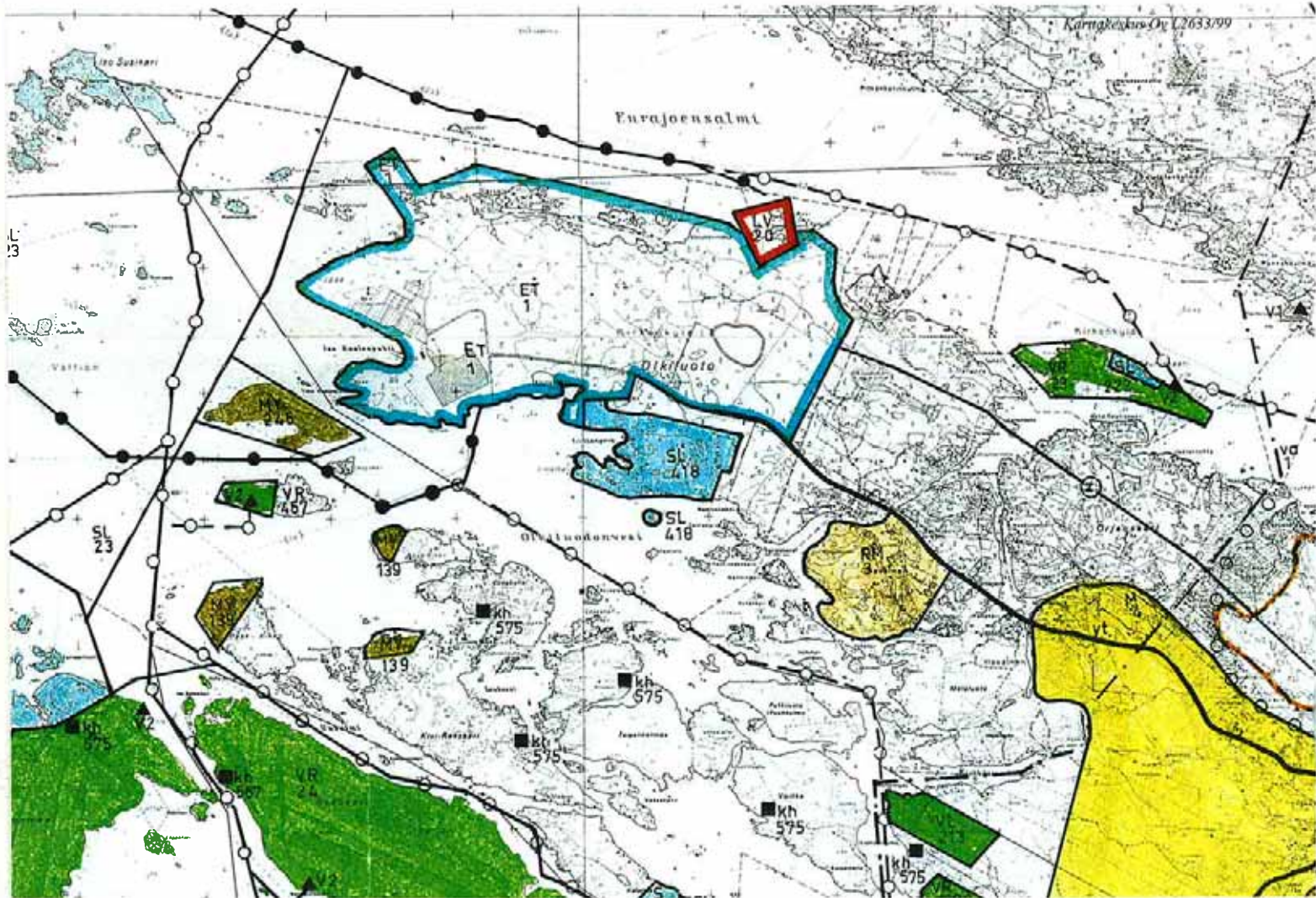
vuonna 1988 hyväksymä yleiskaavallinen rakennesuunnitelma.

Olkiluodon voimalaitosalueen rakennuskaava on vahvistettu vuonna 1974 ja sen muutokset v. 1980 ja v. 1997. Kortteli-alueet on osoitettu teollisuus- ja varastorakennusten korttelialueiksi, joille saa rakentaa ydinvoimalaitoksia sekä muita voimantuotantoon, -jakeluun ja -siirtoon tarkoitettuja laitoksia, laitteita sekä niihin liittyviä rakennuksia, rakennelmia ja laitteita, jollei sitä muutoin ole rajoitettu.

Olkiluodon saaren itäosassa on kolme vahvistettua rantakaavaa. Rantayleiskaavaa laaditaan parhaillaan ja se on ollut nähtävillä 11.9.–14.10.1998.

Olkiluodon Natura 2000-ehdotuksen (20.8.1998) kohde näkyy rajattuna kartassa 8-1. Muita valtakunnallisesti merkittäviä suojelu- tai rakennussuunnitelmia ei ole rakennusalueen lähellä.

Kartta 8-13. Ote Satakunnan 5. seutukaavasta 1:50.000. Satakunnan liittovaltuusto 10.6.1996.



8.3.2 Maankäyttö Hästholmenissa

Mahdollinen rakennusalue sijaitsee Hästholmenin voimalaitossaarella ja niemellä Fortumin omistamalla alueella (kartta 8-2). Uusien voimalinjojen rakentamiseen ei ole tarvetta. Posiva Oy:llä on voimassaoleva tutkimuslupa Fortumilta ja Loviisan kaupungilta. Björnvikissä sijaitsevaa Fortumin tonttia ei käytetä varsinaiseen loppusijoitustoimintaan, mutta sen nykyistä käyttöä louheen ja murskeen käsittelyyn voitaisiin jatkaa. Voimalaitos sijaitsee Hästholmenin keski-osassa ja rannat ovat pääosin rakentamattomia. Lähiympäristössä on runsaasti loma-asutusta. Lähin asuinrakennus ja loma-asunto sijaitsevat noin 100 m:n päässä mahdollisen rakennusalueen reunasta.

Mahdollisen rakennusalueen läheisyydessä ei voimalaitosta lukuunottamatta ole muuta teollisuutta ja maataloutta

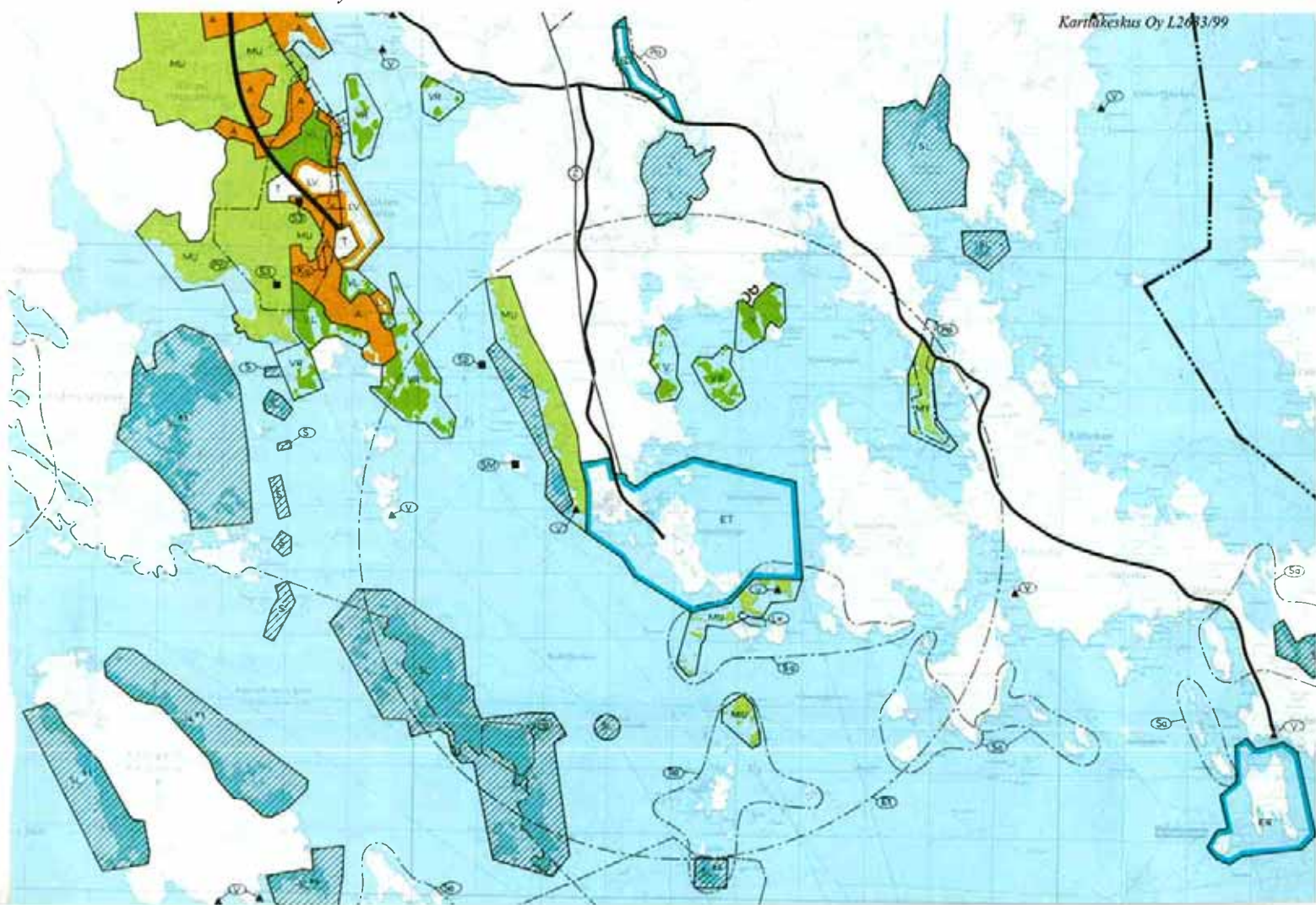
harjoitetaan vain vähäisessä määrin. Lähivesillä harjoitetaan kalastusta sekä elinkeinona että kotitarpeeksi. Hästholmenilla on kalanviljelylaitos, jossa voimalaitoksen lämpimän jäähdytysveden avulla kasvatetaan kalapoikasia.

Virkistys-, suojelu- sekä eräitä metsätalousalueita koskeva seutukaava on vahvistettu 8.10.1981. Taajamia, liikenteen ja teknisen huollon alueita koskeva vaiheseutukaava on vahvistettu 21.2.1986. Kyläalueita, harjuja ja edellisten vaiheseutukaavojen tarkistuksia ja täydennyksiä koskeva vaiheseutukaava on vahvistettu 17.4.1997. Tällä hetkellä vahvistettavana on seutukaava, joka täydentää ja korjaa edellisiä. Nykyinen tilanne käy ilmi kartasta 8-14. Tekeillä on myös 5. seutukaava, joka on tullut nähtäville 1999.

Hästholmen on seutukaavassa yhdyskuntateknisen huollon alueeksi (ET).

Voimalaitoksen ympärillä on 5 km:n suojavyöhyke, jossa on maankäyttörajoituksia. Hästholmenin eteläpuoleinen saaristo on merkitty maa- ja metsätalousvaltaiseksi alueeksi, jolla on ulkoilun ohjaamistarvetta tai ympäristöarvoja (MU), samoin mantereen puoleinen Loviisanlahden itäinen rannikkoalue. Sen edessä Hästholmenista luoteeseen oleva saaristoalue on luonnonsuojelu- aluetta (SL). Svartholman linnoitus on muinaismuistoalue (SM). Hästholmenista pari kilometriä pohjoiseen ovat saaret Smedsholmarna on merkitty retkeily- ja ulkoilualueeksi (VR), Storholmen ja rannikkoalueet Smedsholmarna-saarten länsipuolella sekä Smedsnäs niiden koillispuolella virkistysalueiksi (V). Alle 5 km:n etäisyydellä Hästholmenista lounaaseen Hudön ja Lilla-Hudön saaret pienine lähisaarineen on merkitty luonnonsuojelualueeksi (SL). Lähin seutukaavassa asuinalueeksi merkitty alue on Loviisanlahden vastarannalla oleva Valko.

Kartta 8-14. Ote seutukaavayhdistelmästä vuoden 1999 alusta 1:100.000.



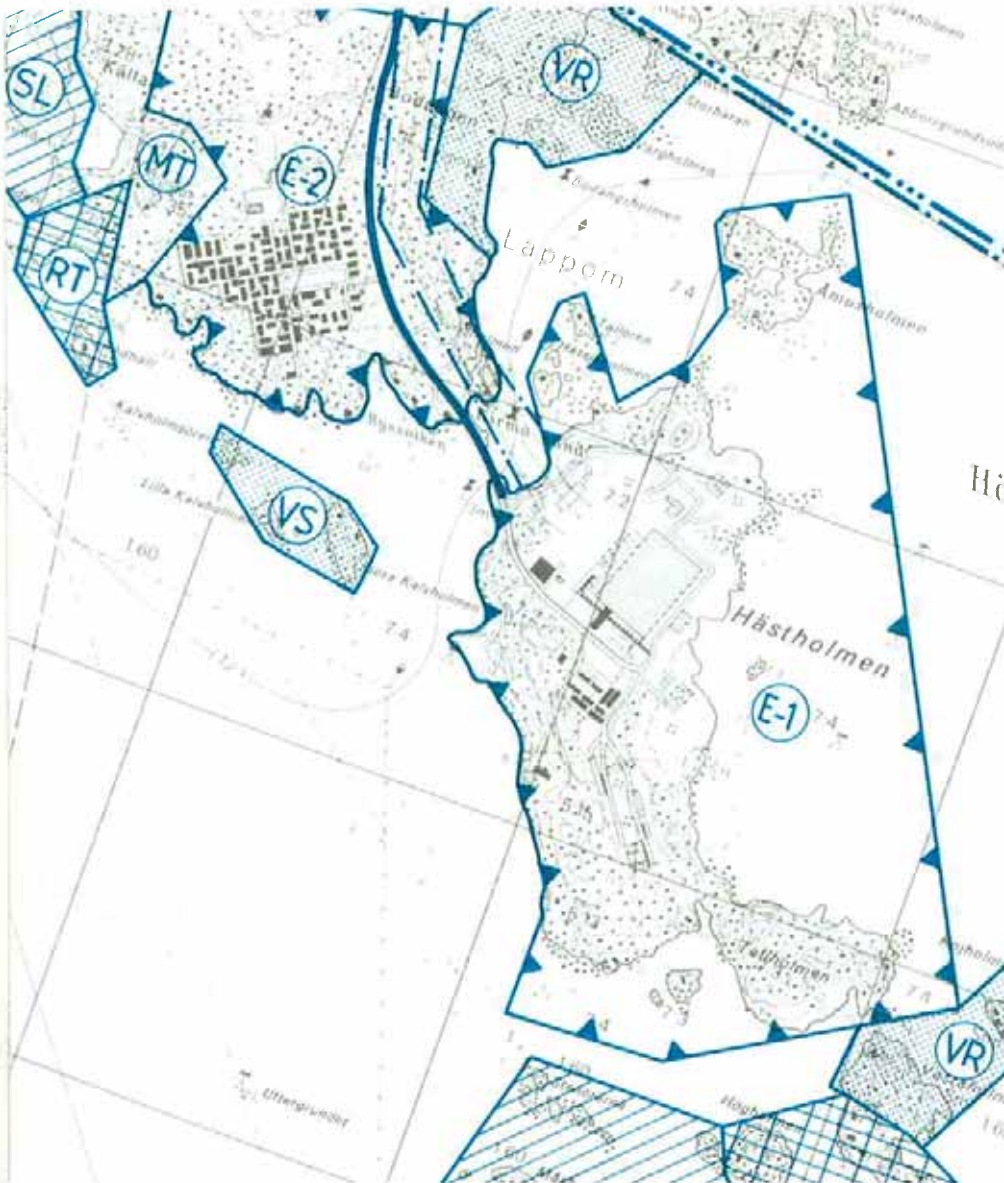
Loviisan yleiskaava (kartta 8-15) on hyväksytty 9.12.1987. Yleiskaavassa Hästholmen on ydinvoimalaitoksen alue (E-1) ja Lappomissa oleva majoitusalue ydinvoimalaitoksen tukialue (E-2), jota saadaan käyttää välttämättömiä, ydinvoimalaitosta palvelevia toimintoja varten. Hästholmenin eteläpuoleisista saarista Småholmen on loma-asunto-alue (RA), Måsholmen luonnonsuojelualue (SL) sekä Kojholmen, Storstenholmen ja Björkholmen retkeily- ja ulkoilualue (VR). Stora Tåktarn on merkitty retkeily- ja ulkoilualueeksi (VR) ja muut eteläiset saaret luonnonsuojelu-alueiksi (SL). Suurin osa Loviisanlahden itärannasta on yleiskaavassa varattu retkeily- ja ulkoilualueeksi. Svartholm ja sen pohjoispuolella olevat saaret on merkitty muinaismuistoalueeksi (SM). Yleiskaavassa nämä saaret on varattu luonnonsuojelutarkoituksiin.

Hästholmenin alueen asemakaava on vahvistettu v. 1972. Sitten kaavaa on muutettu v. 1974 ja v. 1993. Saaren keskiosat ovat teollisuustoimintojen ja varastorakennusten korttelialuetta. Osarannoista on luonnontilassa säilytettävää aluetta, joka on tarkoitettu voimalaitoksen käyttöön ja jolle saa rakentaa voimalaitoksen vartiointin kannalta tarpeelliset rakenteet. Vierasmajan ympäristö on voimalaitoksen toimintaan liittyvä yhdistetty kurssitoiminta- ja lyhytaikaismajoitusrakennusten alue. Viimeisen asemakaavamutoksen tavoitteena on ollut mahdollistaa maanalaisten rakentaminen alueella. 8.1.1993 vahvistetussa kaavassa voimalaitosalueelle sallitaan 500 000 m³:n suuristen maanalaisten työ- ja varastotilojen sekä niitä palvelevien maanpäällisten rakennelmien rakentaminen. Maanalaisten tilojen käyttötarkoitus on vähä- ja keskiaktiivisten jätteiden varastointi.

Mantereella Lappomin kylässä on vuonna 1989 vahvistettu asemakaava. Hästholmeniin johtavan Atomitien läheisyydessä on venevalkamia sekä paikoitusalue. Eteläinen ranta-alue ja tien itäpuoli on luonnontilaisena säilytettävää erityisaluetta, jolla liikkumista voimalaitoksen omistaja voi tarvittaessa rajoittaa. Alueella sallitaan yhdyskuntateknikan ja valvonnan tarvitsemat rakennukset ja rakenteet. Korttelissa 1204 on tilapäisen majoitusrakennusten korttelialue, jolle sallitaan myös liike-, myymälä-, varasto- ja toimistorakennuksia. Alueelle ei osoiteta vakituista asutusta. Majoitusalueen pohjoispuoli on varattu teollisuus- ja varastorakennusten korttelialueeksi. Asemakaava-alue rajoittuu lännessä niin, että Källaudenin leirintäalue ja uimaranta eivät kuulu kaava-alueeseen.

Loviisan rantaosayleiskaava on vuodelta 1985. Hästholmen on tämän ulkopuolella. Hästholmenin eteläpuoleisten saarten rakennetut alueet on rantaosayleiskaavassa merkitty loma-asuntoalueiksi, saarten muut osat metsätalous- ja maisemanhoito-alueiksi. Svartholm ja Ruutikellarinsaari ovat suojeltavia muinaismuistoalueita, muut Svartholman pohjoispuoleiset saaret suojelu- ja retkeilyaluetta. Loviisanlahden itärannalla on tiheässä loma-asuntoja, joten se on varattu lähes kokonaan loma-asuntoalueiksi. – Hästholmenista pohjoiseen Ruotsinpyhtäällä on 7.4.1982 hyväksytty rantayleiskaava ja erillisiä ranta-kaavoja, joista Hästholmenia lähimmät ovat Långstrandin ja Gäddbergsön ranta-kaavat. Seutukaavaan varattujen alueiden lisäksi mm. Kristianslandetin luonnonsuojelualue on merkitty erikseen. Ruotsinpyhtäällä on tarkoitus laatia rantayleiskaava koko kunnan ranta- ja saaristo-alueelle. Laadinta alkoi v. 1997. Natura 2000-ehdotuksen (20.8.1998) alue näkyy kartassa (8-2). Muita valtakunnallisesti merkittäviä suojelu- tai rakennussuunnitelmia ei ole rakennusalueen lähellä ole.

Kartta 8-15. Ote Loviisan yleiskaavasta 1:20000



8.3.3 Maankäyttö Kivetyssä

Kivetyin mahdollinen rakennusalue ja sen lähiympäristö ovat asumatonta metsä- ja suoaluetta (kartta 8-4). Uusien voimalinjojen rakentamiseen ei ole tarvetta, koska olemassaoleva linja on riittävä. Posivalla on voimassaoleva tutkimuslupa aluetta hallitsevalta Metsähallitukselta. Lähimmät yksittäiset asuinrakennukset sijaitsevat mahdollisesta rakennusalueesta noin 3 km kaakkoon. Etäisyys lähimpiin loma-asuntoihin on 0,2 ja 1,5 km. Konginkankaan kirkonkylään on noin 7 km ja Äänekosken keskustaan noin 25 km.

Keski-Suomen seutukaavan 5. vaihekaava on vahvistettavana ympäristöministeriössä. Maakuntavaltuusto on hyväksynyt vaihekaavan 17.4.1996 (kartta 8-16).

Kivetyin alueelle ei ole seutukaavassa esitetty maankäyttöä ohjaavia aluevarauksia, eikä tutkimusalueen sijaintia ole osoitettu kaavamerkinnällä. Alue rajoittuu lännessä Ylä- ja Ala-Kivetyin sekä Iso- ja Pieni-Salmisen ranta-alueisiin, jotka on merkitty maa- ja metsätalousalueeksi, jolla on virkistyskäyttö- ja ympäristöarvoja (MU).

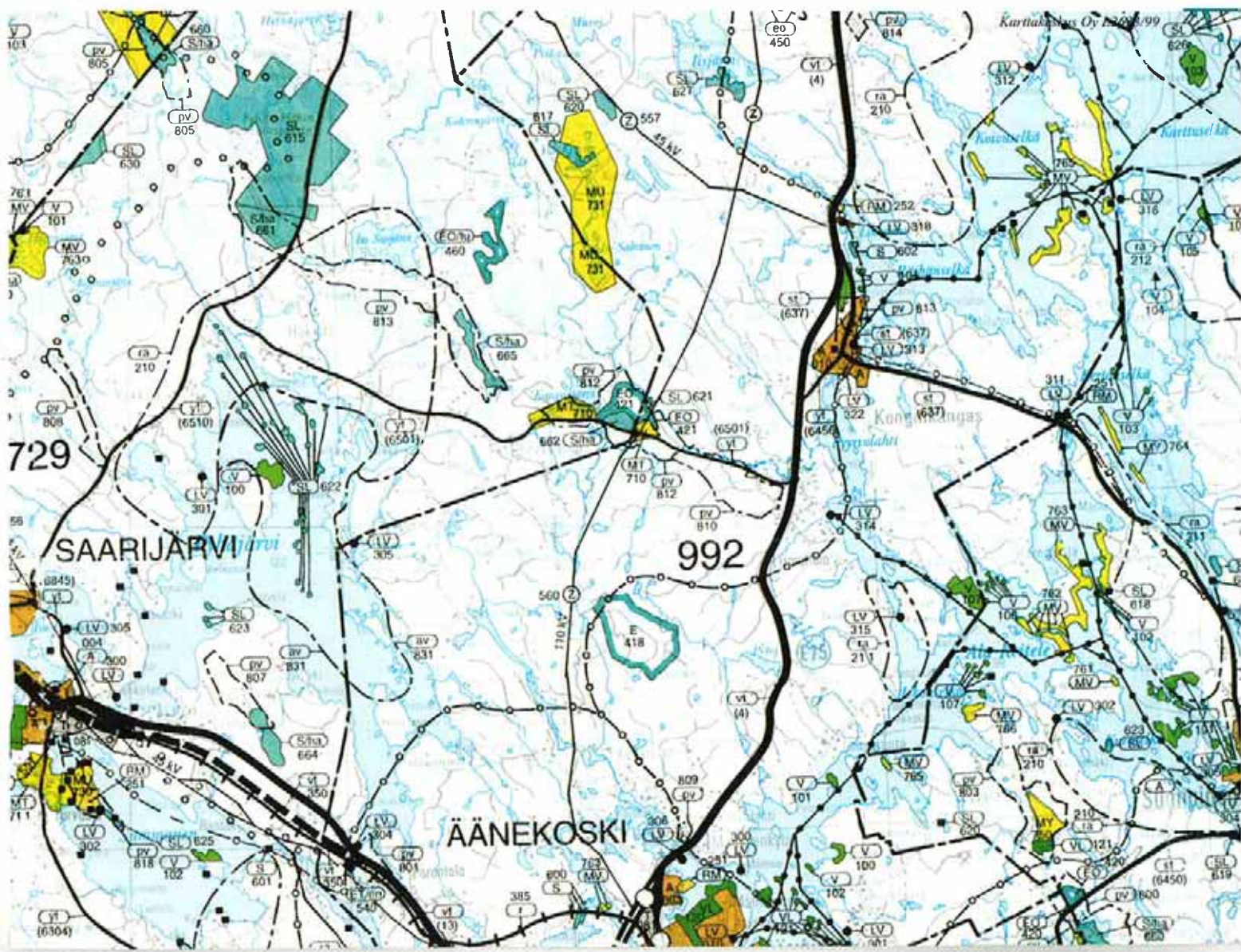
Ylä-Kivetty-järven luoteispuolella sijaitseva Metsähallituksen luonnonhoitometsä on merkitty seutukaavassa luonnonsuojelualueeksi (SL). Kivetyin pohjoispuolella olevat Patvikonmäen ja Räihänniemen aarniometsäkohteet (SL) ovat niin ikään luonnonsuojelualueeksi muodostettavia kohteita. Kivetyistä etelään on SL-merkinnällä Hankasuon korpialue sekä Kangasjärven harjualue (S/ha) sekä lounaaseen Saarijärven puolella Syrjäharjun harjualue (S/ha).

Kivetyin alueella ei ole rakennuskaavoja.

Kivetyin alue sijoittuu Äänekosken kaupunginvaltuuston 20.1.1997 hyväksymään Konginkankaan etelä- ja länsiosan rantayleiskaavaan, joka on Keski-Suomen ympäristökeskuksessa vahvistettu 23.1.1998. Tässä rantayleiskaavassa Ala- ja Ylä-Kivetyin rannat on tarkoitettu virkistysalueeksi. Virkistysalueen sisällä on varaus pienehkölle loma-asutusalueelle sekä suojelualue. Lampien ja järvien rannoille on osoitettu muutamia rakentamiskohteita lisää.

Kivetyin Natura 2000-ehdotuksen (20.8.1998) kohteet näkyvät kartassa 8-4. Muita valtakunnallisesti merkittäviä suojelu- tai rakennussuunnitelmia ei mahdollisen rakennusalueen lähellä ole.

Kartta 8-16. Ote Keski-Suomen 5. vaihekaavasta 1:200000



8.3.4 Maankäyttö Romuvaarassa

Romuvaara sijaitsee 30 km Kuhmon keskustasta koilliseen. Posivalla on voimassaoleva tutkimuslupa aluetta hallitsevalta Metsähallitukselta. Myös mahdollisen rakennusalueen (kartta 8-3) lähiympäristö on Metsähallituksen hallinnassa olevaa asumatonta metsäaluetta. Uusien voimalinjojen rakentamiseen ei ole tarvetta, koska olemassaoleva linja riittää. Pitämävaarassa, 2 km Romuvaarasta länteen, on 10 asukasta. Kaksi lähintä loma-asuntoa on noin kilometrin päässä mahdollisen rakennusalueen reunasta.

Kainuun 3. seutukaava (alla) on yhdistelmä kolmesta vaiheseutukaavasta. Kainuun seutukaavoituksen virkistys-, suojelu- ja osan maa- ja metsätalous-alueista käsittänyt 1. vaihekaava

vahvistettiin v. 1980. Kainuun 2. vaihe-
kaava, joka käsitti taajama-, teollisuus-,
loma-asutus-, liikenne- ja erityistoimin-
tojen alueet, vahvistettiin ympäristö-
ministeriössä v. 1983 ja kahden loma-
asuntoalueen osalta v. 1987. Kainuun
3. seutukaava on vahvistettu ympäristö-
ministeriössä 15.3.1991. Seutukaavan
3. vaihe sisältää muutoksia 1. ja 2. vai-
heseutukaavojen aluevarauksiin sekä
uusia aluevarauksia. Kainuun 4. seutu-
kaava on tekeillä.

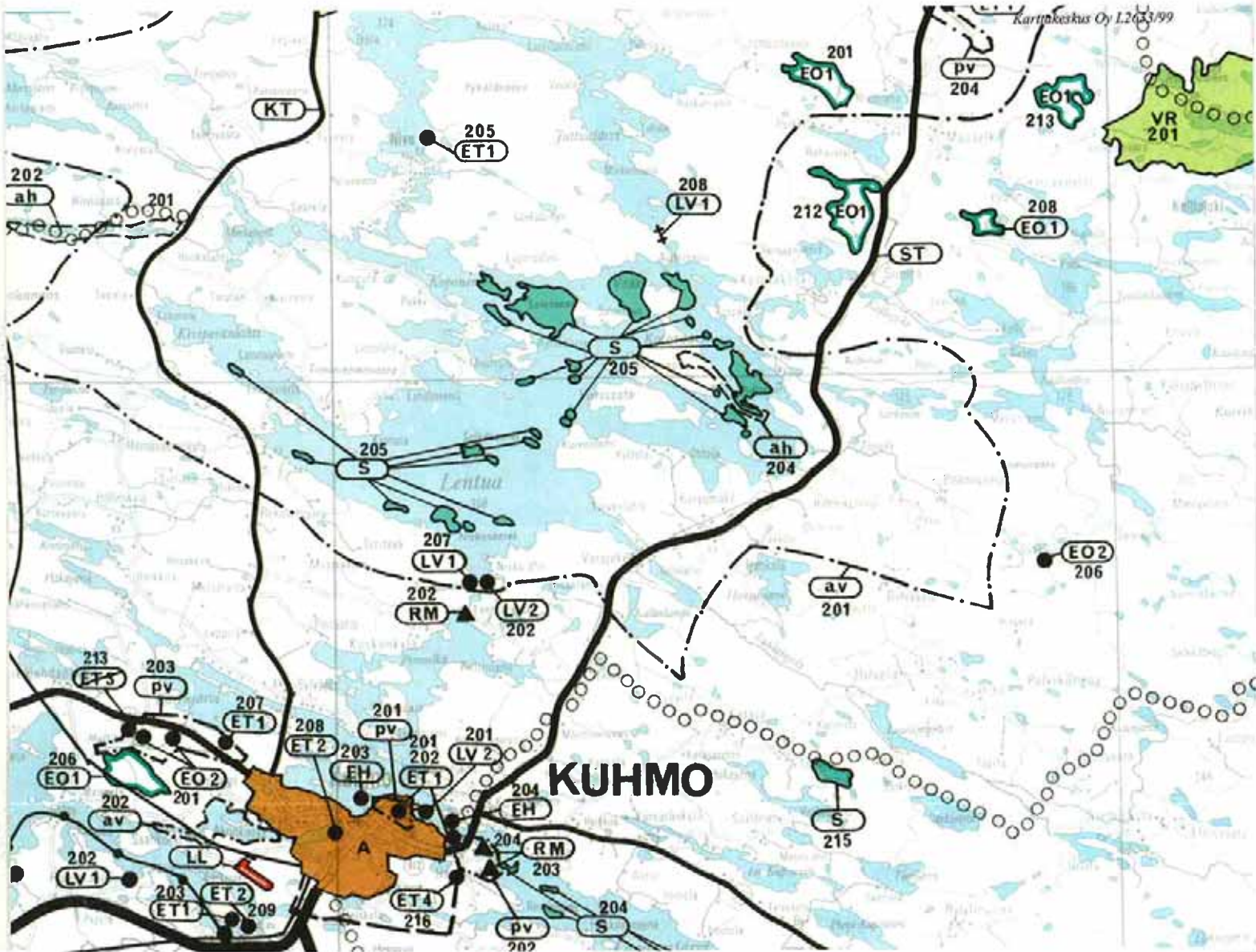
Romuvaaran lähiympäristössä ei ole seutukaavan aluevarauksia. Lähimmät aluevaraukset ovat Latvavaaran sora-alue (EO2 206) Romuvaaran eteläpuolella, Koppelo- ja Rimminsuo-turvesuot (EO1 208 ja 212) Romuvaaran ja Lentiiran välimaastossa sekä Lentuan vesistöalue (av 201), jonka rajausta kulkee vedenjakana toimivan Romuvaaran läpi.

Romuvaaran lähiympäristössä ei ole yleis- tai rakennuskaavoja.

Lähinnä Romuvaaraa sijaitseva vahvistettu rantakaava-alue on Syväniemen rantakaava-alue Lentuan itärannalla. Syväniemen rantakaava-alue sijaitsee Romuvaaraan johtavan yksityistien risteyksestä maantietä 912 muutaman kilometrin pohjoiseen ja sijoittuu maantien molemmin puolin. Romuvaarasta noin 10 km etelään sijaitsee lisäksi Luulajanjärven rantakaava-alue, jonka rantakaavoitus on vireillä.

Romuvaaran lähellä ei ole Natura-2000 kohteita. Muitakaan valtakunnallisesti merkittäviä suojelu- tai rakennussuunnitelmia ei ole rakennusalueen lähellä.

Kartta 8-17. Ote Kainuun 3. seutukaavasta 1:200.000.



8.3.5 Vaikutukset kulttuuri-perintöön, rakennuksiin, maisemaan ja kaupunkikuvaan

Maisema-asiantuntijat ovat arvioineet vaikutuksia karttojen, kirjallisuuden, maastokäyntien, valokuvauksen, pituusleikkausten ja piirrosten avulla (LT-Konsultit Oy 1998). Lisäksi he ovat olleet yhteydessä mm. Satakunnan, Porvoon, Keski-Suomen ja Kainuun museoihin sekä Museovirastoon. Oleellinen arvioinnissa käytetty lähtötieto on koottu karttoihin 8-18, 8-19 ja 8-20 ja 8-21.

Paikallisia näkemyksiä luotaavissa tutkimuksissa (Viinikainen 1998, Pasanen 1998) maisemavaikutuksia ei koettu merkittäviksi. Aktiivisempaa vuorovaikutusta maisemavaikutusten osalta pyrittiin aikaansaamaan seuranta- ja yhteistyöryhmissä sekä yleisötapaamisissa.

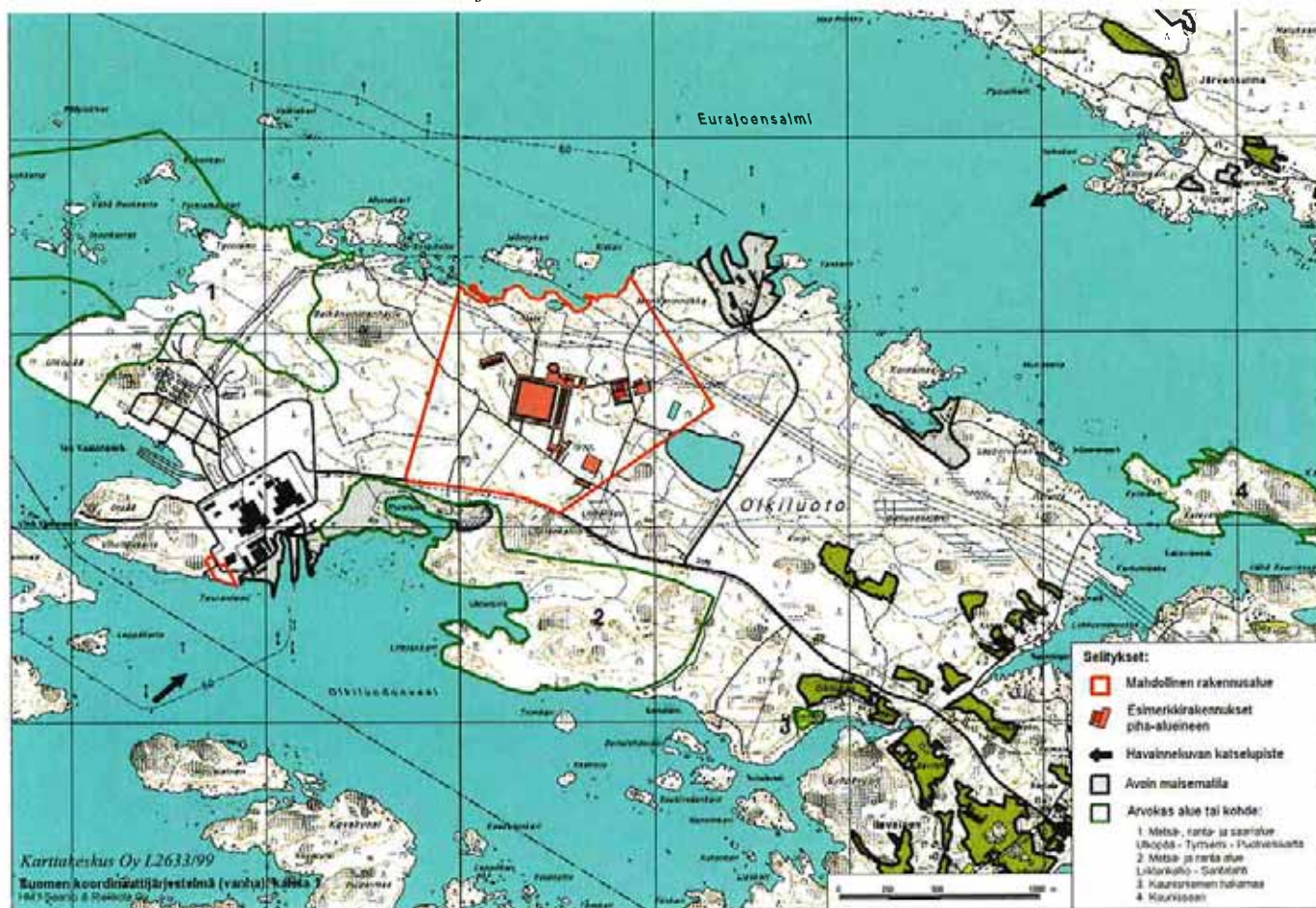
Rakennus- ja käyttövaiheessa rakennusten määrä on suurimmillaan. Tätä tilannetta on verrattu nykytilaan (kuvat 8-2, 8-3, 8-4, 8-5, 8-6, 8-7 ja 8-8). Kuvat on läpipiirretty valokuvista, minkä jälkeen niihin on lisätty

esimerkkisijoittelun rakennukset. Kuvissa ovat ne suunnat, joista maisemanmuutos olisi suurin.

Olkiluoto

Olkiluodon maisema muuttuu vähiten säilyttämällä riittävä rantapuusto tai sijoittamalla rakenteet saaren keskelle (kuvat 8-2, 8-3). Lämpökeskuksen 30 m piippu on ainoa rakenne, joka näkyy täysikasvuisten puiden yli. Rakennuksia voidaan sopeuttaa ympäristöönsä käyttämällä ydinvoimalan värejä ja materiaaleja.

Kartta 8-18. Olkiluodon kulttuuri-, rakennus- ja maisemakohteet.

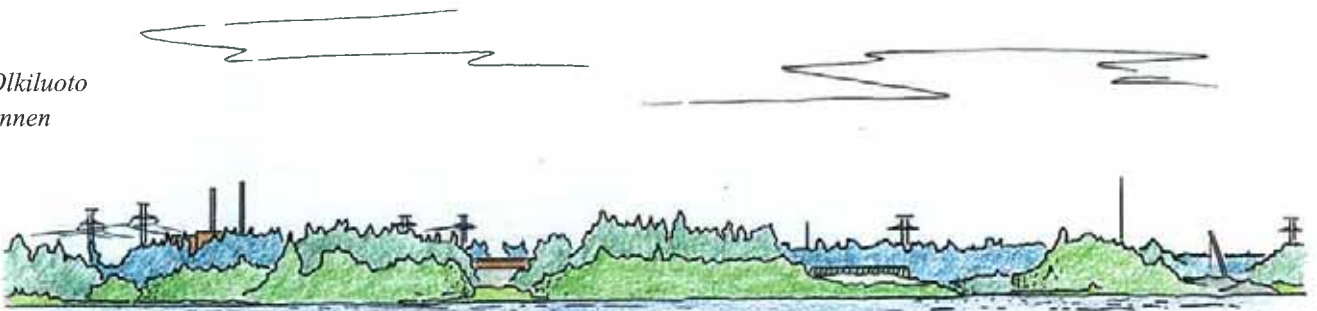


Kuva 8-2a. Ilmakuva Olkiluodon tutkimusalueesta koillisesta (1995).



94

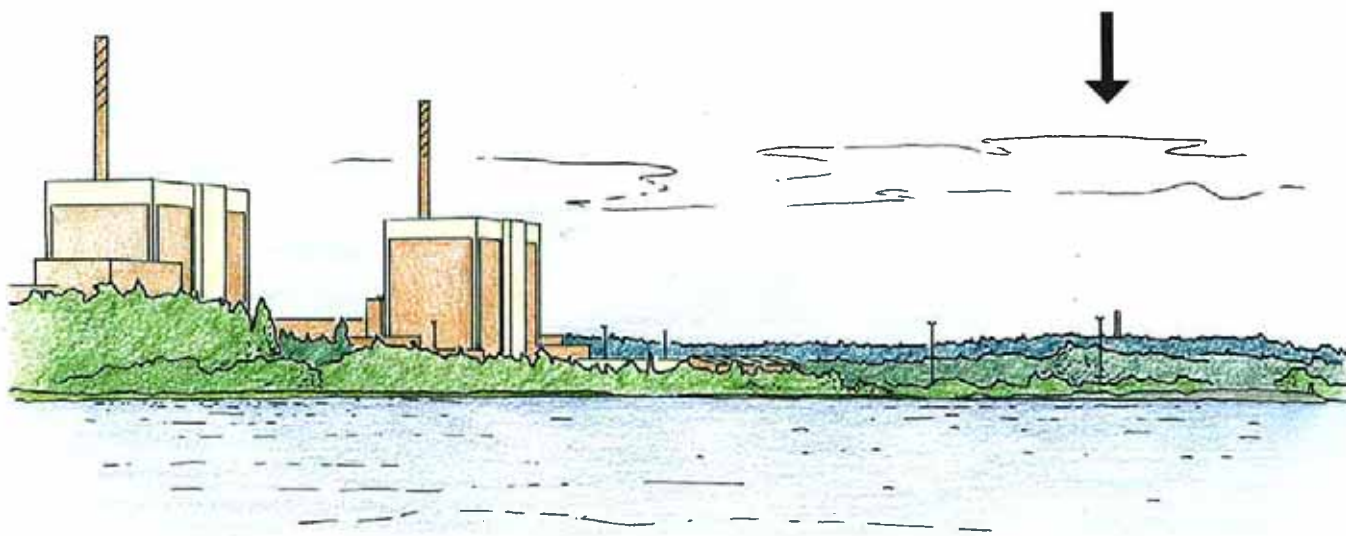
Olkiluoto
ennen



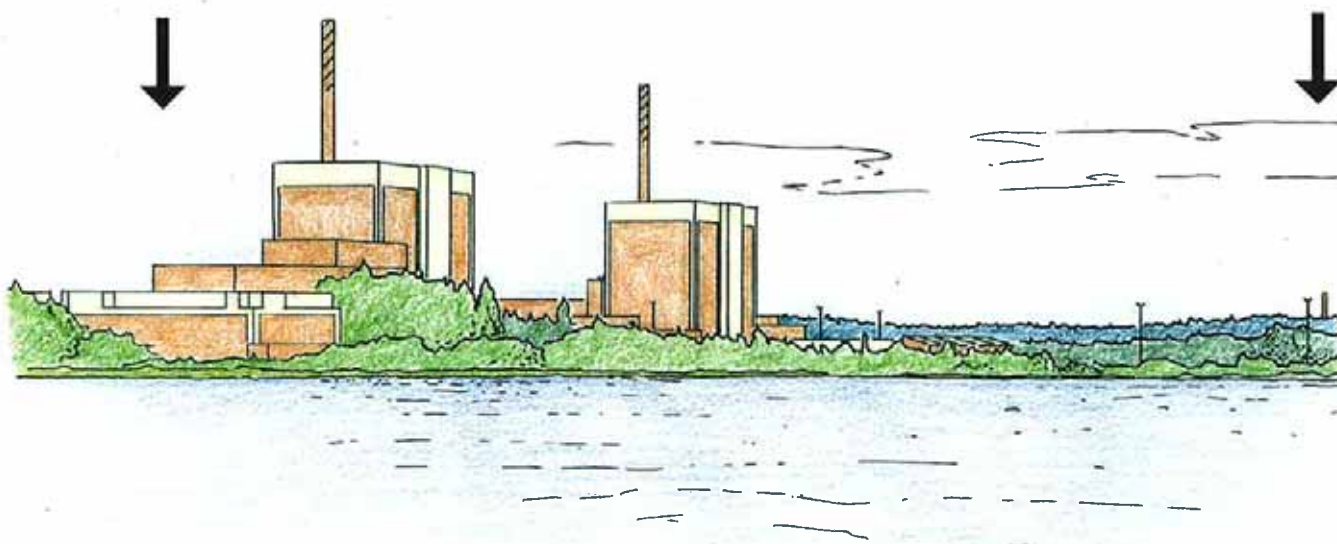
Olkiluoto
jälkeen



Kuva 8-2b. Näkymä Olkiluotoon koillisesta, Kiilinkarin mökkirannasta. Nykyisestä matalasta puustosta johtuen uusien rakennusten kattojakin on näkyvissä. Maisemaa hallitsevat satama- ja johtorakenteet.



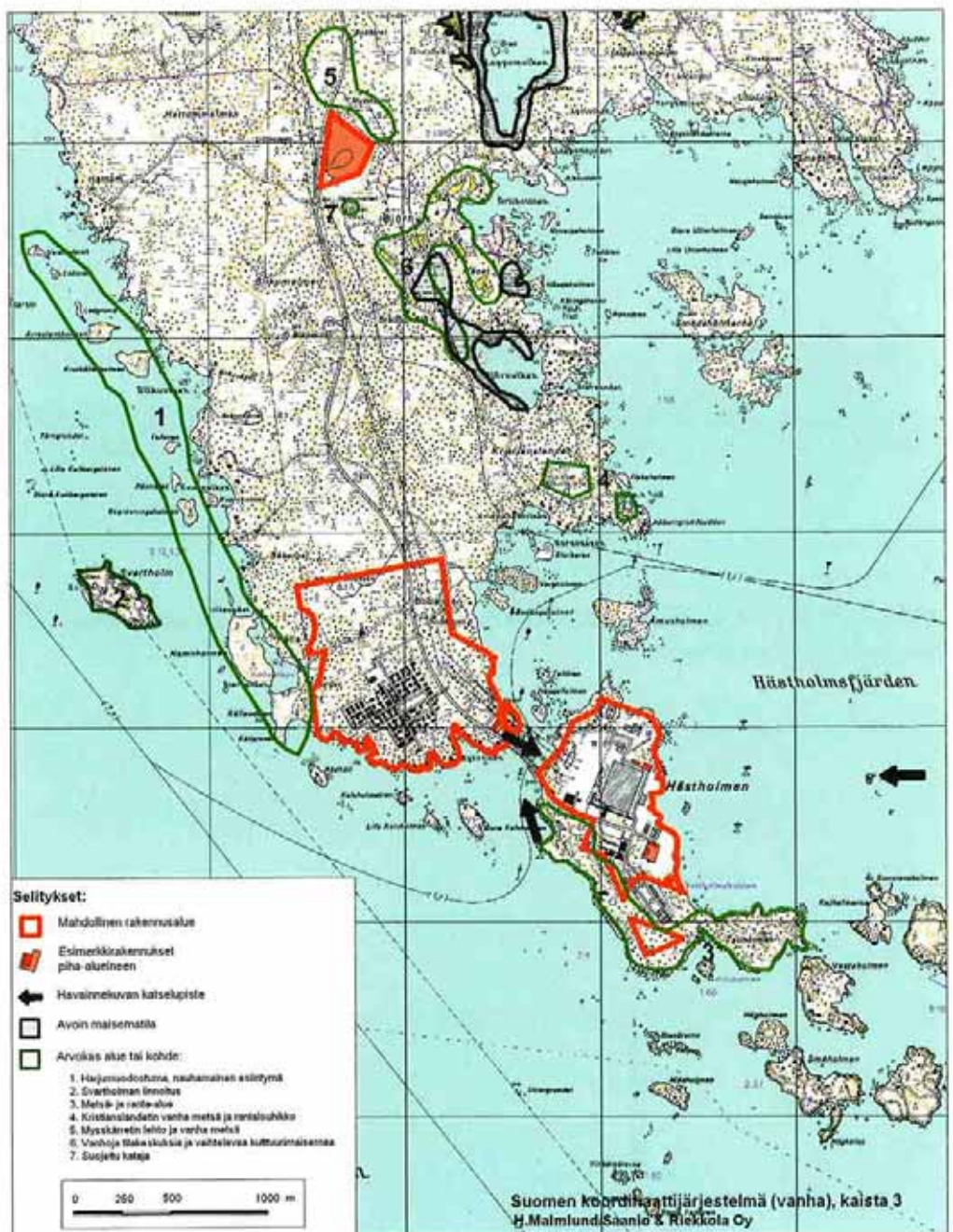
Näkymä Olkiluotoon lounaasta sisääntuloväylältä. Uuden lämpökeskuksen piippu nousee oikealla puiden yläpuolelle. Maisemaa hallitsee voimalaitos.



Kuva 8-3 Näkymä Olkiluotoon lounaasta tapauksessa, jossa kapselointilaitos rakennetaan voimalaitoksen viereen. Maisemaa hallitsee voimalaitos.

Hästholmen

Hästholmenissa rannan tuntumassa sijaitsevat rakennukset näkyvät maisemassa. Mantereeseen sisäosaan sijoitetut rakennukset voisi nähdä vain läheltä. Ne eivät näy täysikasvuisten puiden yli. Etelään ja länteen näkyisi vain puiden latvojen yläpuolelle kohoava piippu. Maiseman muutosta voidaan vähentää ranta-alueen suojapuustolla. Rakennuksia voidaan sopeuttaa ympäristöön valitsemalla käytettäväksi samoja värejä ja materiaaleja kuin voimalaitoksessa (kartta 8-19 ja kuvat 8-4, 8-5, 8-6a-b).



Karttateskus Oy L2633/99

Kartta 8-19. Hästholmenin kulttuuri-, rakennus- ja maisemakohteet.



Kuva 8-4. Loviisan voimalan portti. Uusi rakennus pilkistää johtopylvään takaa.

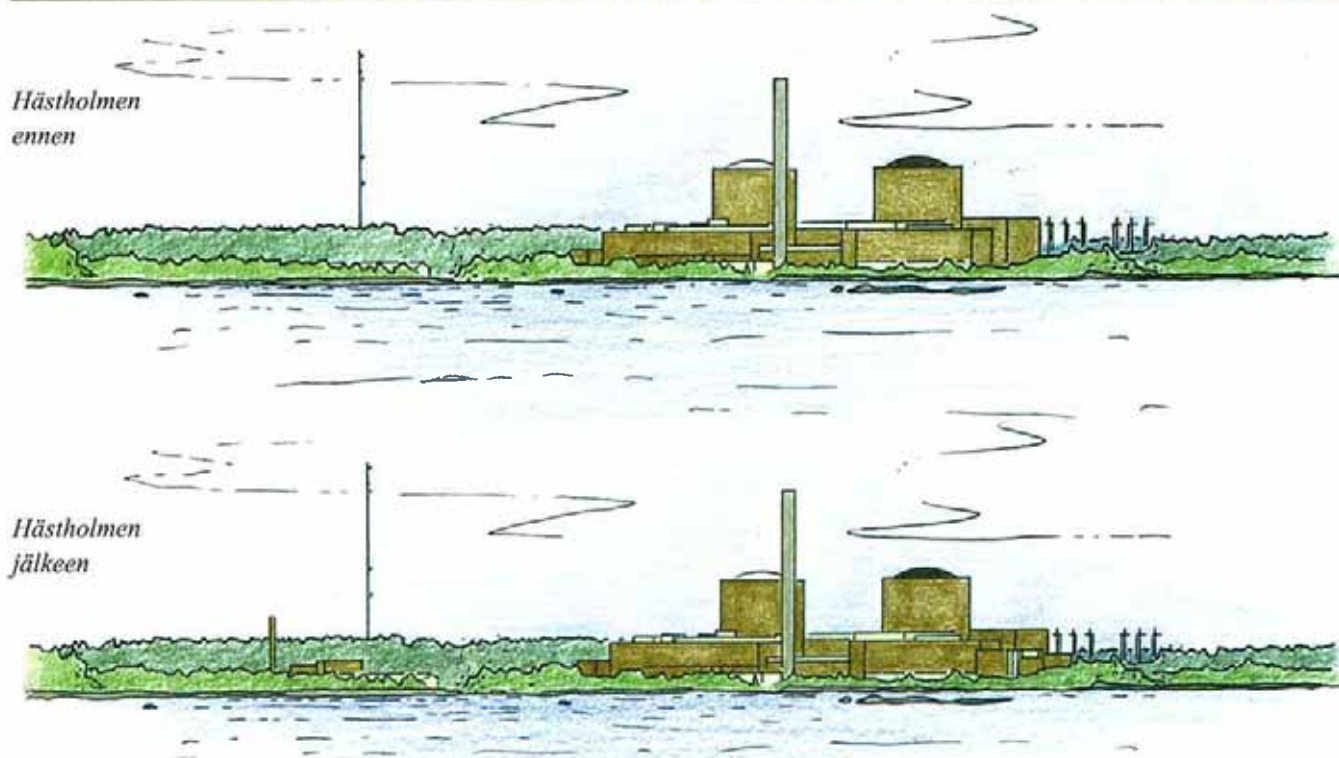


Kuva 8-5. Näkymä Hästholmenilta porttikahvilaan ja pienvenesatamaan. Kahvilan takaa häämöttää suunniteltu tiedotuskeskus.

Kuva 8-6a. Ilmakuva Hästholmenin tutkimusalueesta luoteesta (1996).



97



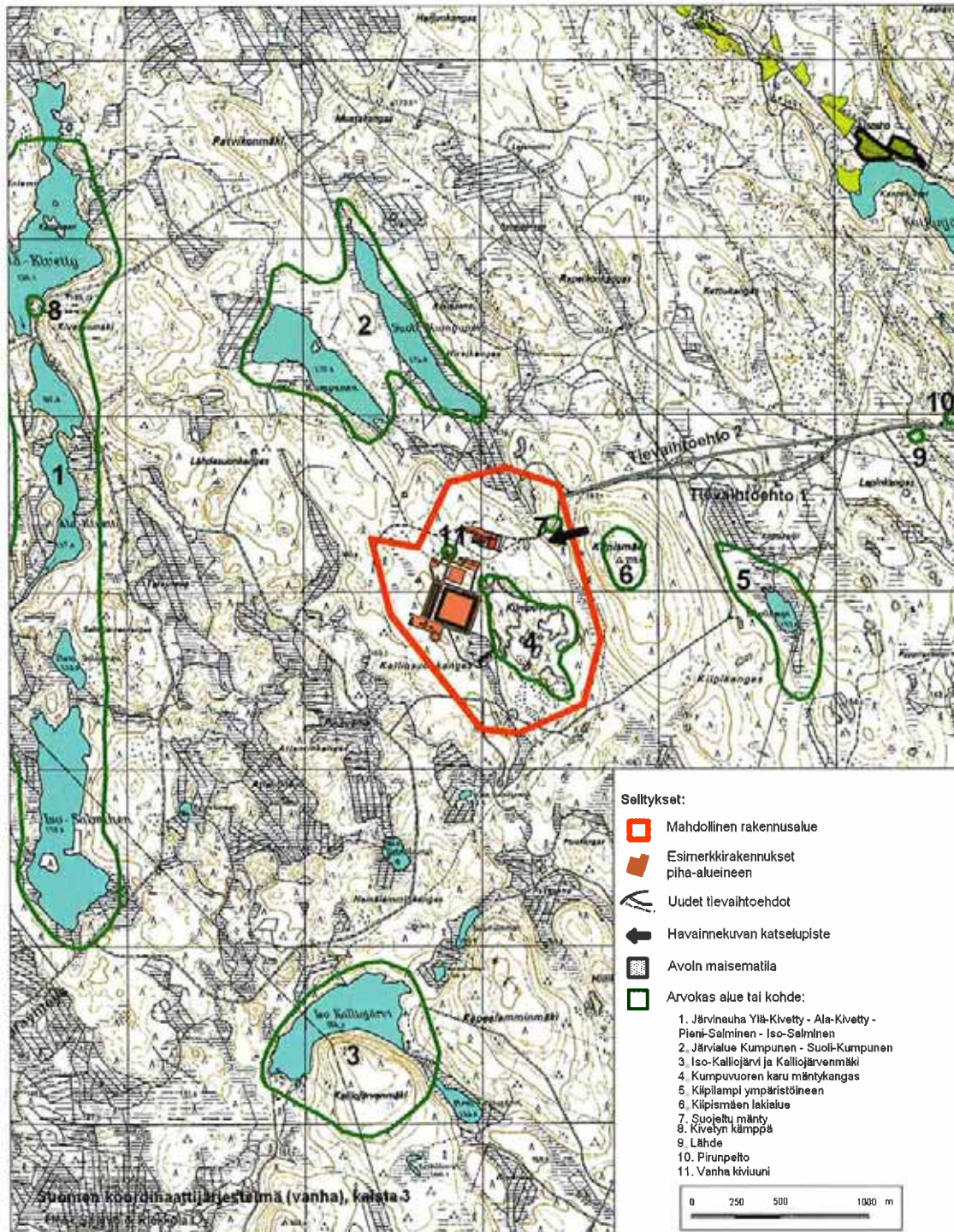
Kuva 8-6b. Näkymä Hästholmenille Gåddbergön möckirannasta. Maisemaa hallitsevat voimalaitokset.

Kivetty

Kivetty on metsäistä aluetta, eivätkä rakenteet muuta varsinaista maisemaa. Esimerkiksi korkealta Kalliojärven-

mäeltä ei näkymä muutu. Lämpökeskuksen 30 m korkean piipunkin voi nähdä vasta aivan läheltä, mikäli metsään jätetään aukko. Muut rakennukset jäävät täysikasvuisten puiden taakse (kartta 8-20 ja kuva 8-7a-b).

Kivetyssä uusi tie muuttaa tietenkin sen vierustojen näkymän. Vaikka tievaihtoehto 1 kulkee olemassaolevan tien tuntumassa, olisivat lähimaiseman muutokset vaihtoehtoa 2 suuremmat laajempien maarakennustöiden takia.



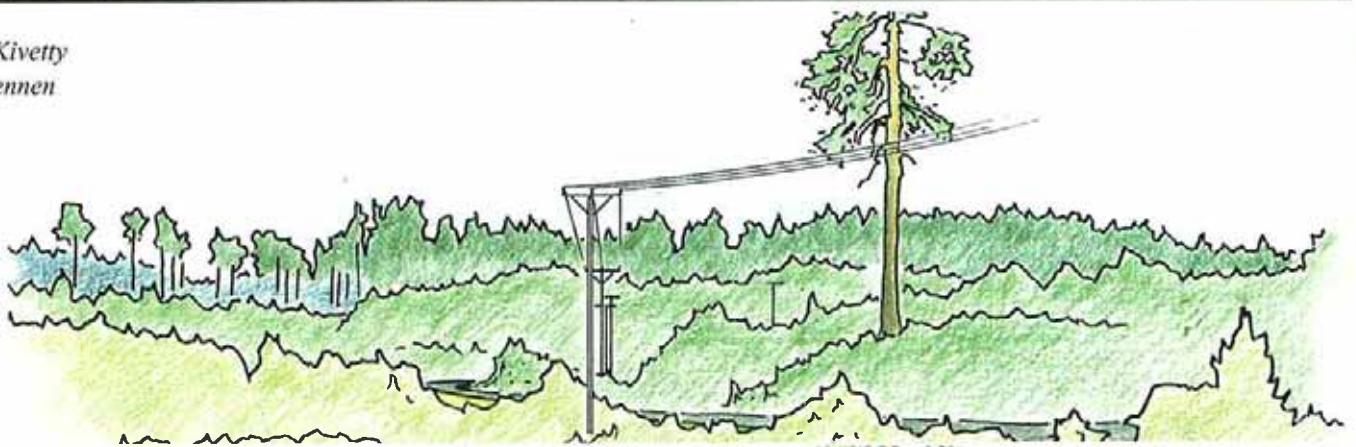
Kartta 8-20. Kivetyksen kulttuuri-, rakennus- ja maisemakohteet.

Kuva 8-7a Ilmakuva Kivetyn tutkimusalueesta kaakosta (1995).

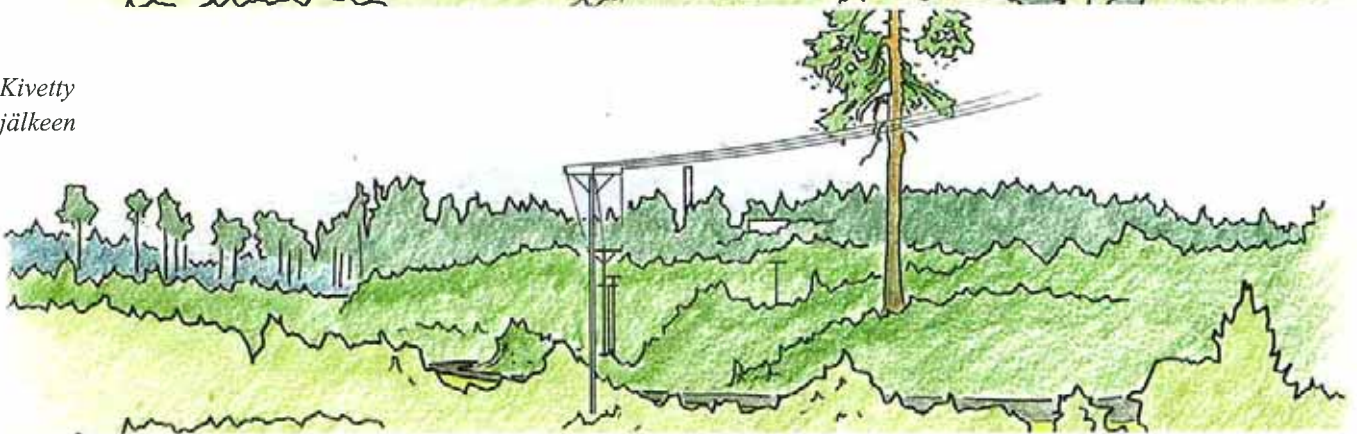


Kivetty
ennen

99



Kivetty
jälkeen



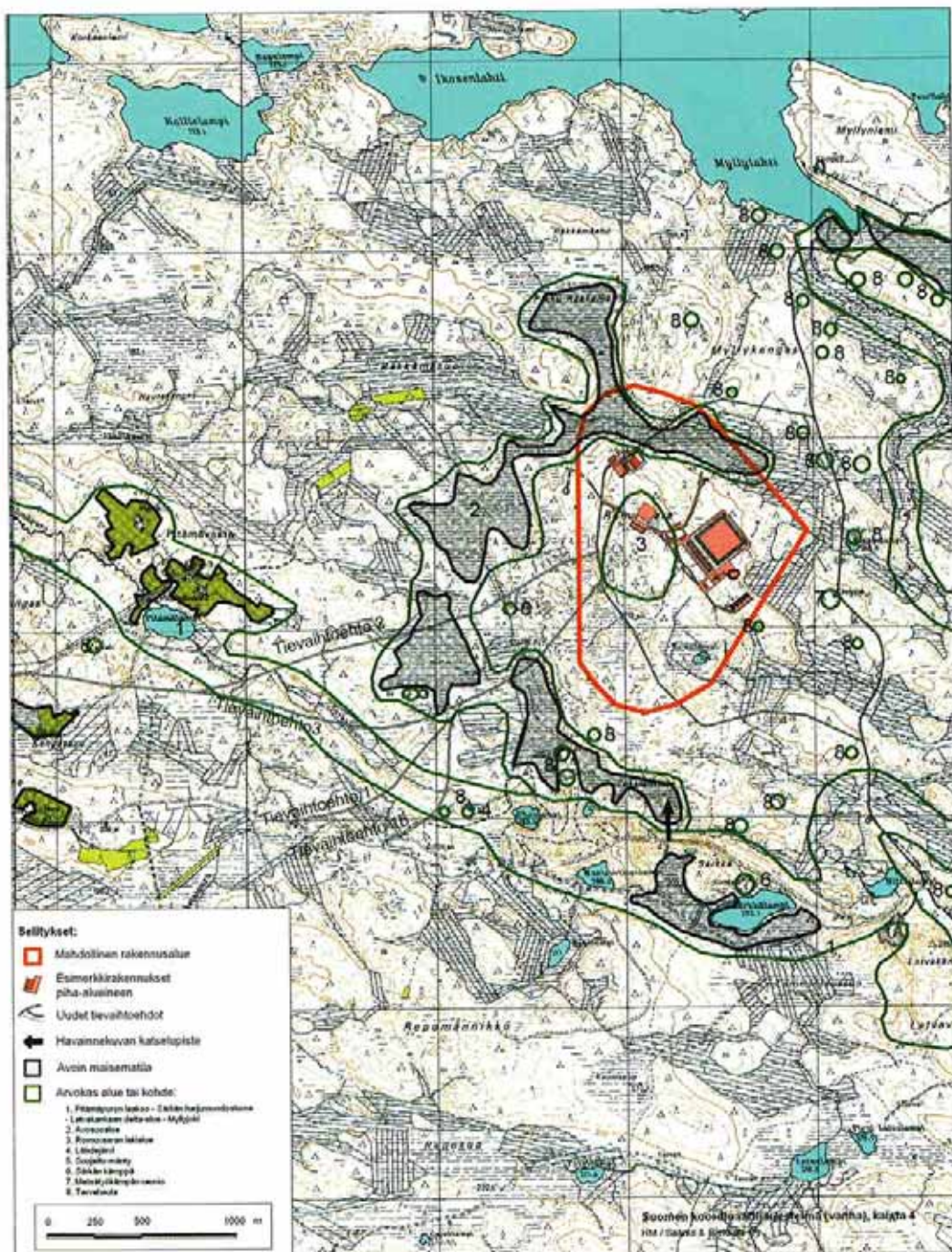
Kuva 8-7b. Näkymä Kivetyn Kilpismäen luoteisrinteeltä. Nykyinen hakkuuaukea mahdollistaa näkymän. Kuvassa näkyy suojeltu mänty.

Romuvaara

Romuvaara on metsäistä aluetta, eivätkä rakenteet muuta maisemaa kuin yhdestä paikasta: lämpökeskuksen 30 m korkean piipun pää näkyy vain Särkkäharjulle.

Pitämävaaran tilan tai Kalliojärven mökkirantojen näkymät eivät muutu. Rakennukset jäävät täysikasvuisten puiden taakse ja ne voi nähdä vasta aivan läheltä, mikäli metsään jätetään aukko (kartta 8-21 ja kuva 8-8a-b).

Romuvaarassa uusi tie muuttaa tien vierustan näkymää. Tievaihtoehdot eivät maisemavaikutuksiltaan eroa toisistaan. Nykyisen tien parantaminen muuttaa maisemaa vähiten, mutta toisaalta nykyinen tie kulkee alueen ainoalla maakunnallisesti arvokkaalla kohteella (Särkän harjulla).

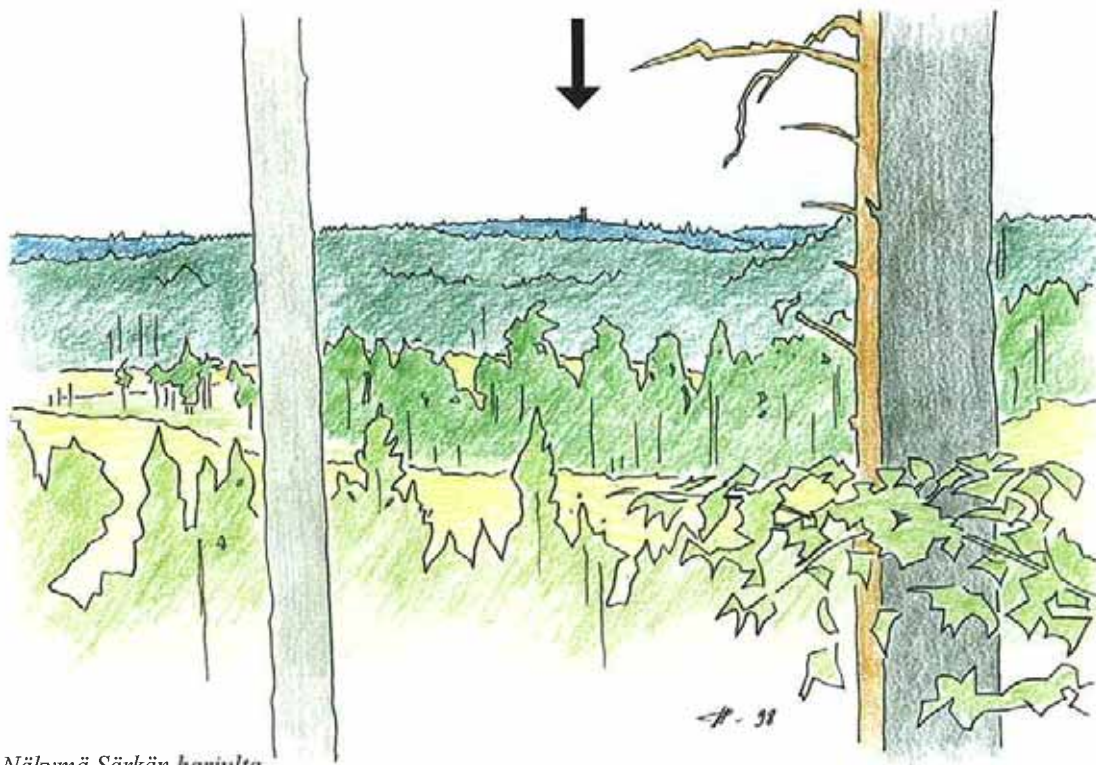


Kartta 8-21. Romuvaaran kulttuuri-, rakennus- ja maisemakohteet.

Kuva 8-8a. Ilmakuva Romuvaaran tutkimusalueesta lounaasta (1995).



101



Kuva 8-8b. Näkymä Särkän harjulta.

Loppusijoitettavan polttoainemäärän lisääntyminen, kalliotilojen kerralla louhiminen ja ajotunnelin rakentaminen kasvattaisivat louhekasaa. Esim. nykyisten voimalaitosten käyttöiän jatkaminen 40:stä 60:een vuoteen kasvattaisi louhekasaa noin 50 %. Mikäli louhe myytäisiin rakennusmateriaaliksi, ei kasa kasvaisi. Louhe ei näy metsästä. Mikäli louhe tulee Loviisassa nykyisen murskevaraston paikalle, olisi suotavaa jättää suojapuusto Mysskärretin ja tien viereen.

Vaikutukset maisemaan eivät ole merkittäviä. Laitoksen sijainnista johtuen vaikutuksia kaupunkikuvaankaan ei voida pitää merkittävänä. Tutkimus- ja sulkemisvaiheissa vaikutukset ovat vielä vähäisemmät. Sulkemisen jälkeen kaikki rakennukset voidaan purkaa, mikäli niille ei ole muuta käyttöä. Rakenteiden alle ei jää kulttuurikohteita tai rakennuksia.

Sosiaali- ja terveysministeriön työsuojeluosasto on tilastollisesti selvittänyt räjähdysaineiden käyttöön, varastointiin ja kuljetukseen liittyviä onnettomuuksia n. 70 vuoden ajalta (Tolppanen & Kokko 1998). Tilaston perusteella räjähdysaineonnettomuuksien määrä on vähentynyt räjähdysaineiden kehityksen, työntekijöiden koulutuksen ja tiukentuneiden määräysten ansiosta.

Ohjeiden mukaisesti ja ammattitaitoisesti työskennellen räjähdysaineista aiheutuva onnettomuusriski on vähäinen. Räjähdysainevarastojen oikealla sijoittamisella estetään ympäristövahingot ja suojauksella sekä vartioinnilla tahalliset vahingot. Tarvittaessa pintalouhintatärinöitä seurataan lähimmissä rakennuksissa Olkiluodossa ja Hästholmenissa. Äänekoskella ja Kuhmossa nykyiset rakennukset sijaitsevat niin kaukana, ettei tärinäseuranta niissä tarvita. Kartoista 8-18, 8-19, 8-20 ja 8-21 ilmenee rakennusten sijainti laitokseen nähden.

8.3.6 Yhteenveto

Loppusijoituslaitoksen maanpäälliset toiminnot pihoineen peittävät noin 15 ha:n maa-alan. Äänekoskella ja Kuhmossa uusi tie tarvitsisi lisäksi noin 10 ha:n maa-alan. Kivetyssä rakennukset eivät näkyisi täysikasvuisten puiden takaa. Romuvaarassa ainoastaan Särkän harjulta voisi nähdä lämpökeskuksen piipunpään. Hästholmenissa ja Olkiluodossa rakennukset näkyisivät merelle, jos rannassa ei ole suojapuustoa. Tällöinkin maisemaa hallitsisivat nykyiset voimalaitokset. Jos rakennukset rannikkopaikoilla sijoitetaan täysikasvuisen puuston suojaan, näkyisi merelle vain lämpökeskuksen piipun huippu.

Tärinää aiheuttavaa pintalouhintaa tehdään rakennustyössä yhteensä 7–11 kuukautta. Tärinän voi havaita 200–300 metrin päähän. Loviisassa ja Eurajoella voi nykyisiä rakennuksia jäädä niin lähelle, että tärinäseuranta toteutetaan.

Maanalainen louhintaa ei vaikuta maan päällä.

8.4 Vaikutukset ihmisten terveyteen

Terveysvaikutuksilla tarkoitetaan tässä selostuksessa sosiaali- ja terveysministeriön ohjeluonnoksen (STM 1998) mukaisesti hankkeen aiheuttamia muutoksia ihmisten terveydessä tai heidän elinympäristönsä terveydelisissä oloissa tai muutosten uhkaa (terveysriskit). Ohjeluonnoksen mukaisesti muutokset voivat olla suoria tai epäsuoria, kerääntyviä, lyhyt- tai pitkäaikaisia, myönteisiä tai kielteisiä, pysyviä tai palautuvia, vakavia tai lieviä. Päähuomio tässä selostuksessa on kuitenkin pantu terveyshaittojen mahdollisuuksien selvittämiseen.

Terveyshaitta on

- ihmisessä todettava sairaus tai
- muu terveydenhäiriö tai
- sellainen tekijä tai olosuhde, joka voi vähentää väestön tai yksilön elinympäristön terveellisyyttä.

Päähuomio terveysvaikutuksia koskevissa selvityksissä on kiinnitetty radioaktiivisten aineiden mahdollisesti aiheuttamiin terveyshaittoihin. Aluksi tarkastellaan yleisesti, miten radioaktiivisten aineiden säteily voisi vaikuttaa ihmisten terveydentilaan. Tämän jälkeen arvioidaan, mitä mahdollisuuksia ihmisillä olisi altistua radioaktiivisten aineiden säteilylle käytetyn polttoaineen kuljetusten yhteydessä tai kapselointi- ja loppusijoitusvaiheessa ja tilojen sulkemisen jälkeen. Tarkastelu koskee sekä normaalitilannetta (toiminta sujuu suunnitelmien mukaan) että erilaisia häiriö- ja onnettomuustilanteita. Pitkäaikaisturvallisuuden arviointi koskee ennen kaikkea odottamattomien tapahtumien ja epävarmuuksien merkityksen arviointia. Käytetyt arviointimenetelmät selostetaan arvioiden yhteydessä.

Säteilyvaikutusten lisäksi arvioidaan myös, millaisia muita terveysvaikutuksia hankkeesta voisi aiheutua. Tarkasteltavana ovat mm. liikenteestä, melusta ja pölystä aiheutuvat haitat. Tarkastelu perustuu luvussa 8.2 esitettyihin arvioihin hankkeen aiheuttamista päästöistä ja muista konkreettisista muutoksista ympäristössä. Erikseen on selvitetty loppusijoitetun käytetyn polttoaineen sisältämien materiaalien mahdollisia terveysvaikutuksia.

Tässä yhteydessä tarkastellaan myös hankkeen mahdollisia psykososiaalisia vaikutuksia kuten mm. pelko- tai stressitilojen aiheuttamaa sairastuvuutta. Mahdollisia viihtyvyyshaittoja ja muita sosiaalisia vaikutuksia tarkastellaan luvussa 8.5.

8.4.1 Epäpuhtauksista, melusta ja tärinästä aiheutuvat terveysvaikutukset

Loppusijoituslaitoksen tutkimus-, rakentamis- ja käyttövaiheiden aikana ilmaan ja vesiin aiheutuvia ei-radioaktiivisten aineiden päästöjä samoin kuin toiminnasta aiheutuvaa melua ja tärinää on tarkasteltu luvussa 8.2. Kaiken kaikkiaan toiminnasta aiheutuvat päästöt ja muut fysikaaliset muutokset ympäristössä arvioidaan vähäisiksi. Seuraavassa esitetään yhteenveto näistä arvioista ihmisten terveyden ja terveysolojen kannalta.

Liikenne

Hanke aiheuttaa paikkakunnan liikenteen pakokaasujen kokonaispäästöihin korkeintaan muutaman prosentin lisäyksen; esim. typpioksidin pitoisuudet alittaisivat selvästi ohjearvot. Lisäliikenteellä ei ole merkittäviä terveysvaikutuksia eikä vaikutusta paikalliseen ilman laatuun.

Koska liikenne painottuu päiväaikaan ja 55 dB(A):n melualue kasvaa vain vähän, liikennemelun terveysvaikutukset eivät ole merkittäviä.

Murskaus

Louhetta murskataan noin kuukauden ajan joka toinen vuosi. Murskausta ei tehdä yöllä. Meluntorjuntalain ohje-arvo 50 dB(A) murskaamon melulle alittuu 500 metrin etäisyydellä murskaamosta. Kun louhekasaa käytetään melusuojana, alittuu 50 dB(A) alle 200 metrin päässä. Normaalin keskustelun melutaso on 60 dB(A). Pölyn suojaetäisyys murskaamosta on 300 metriä. Murskaamo ja louhekasaa voidaan sijoittaa niin, ettei melu- ja pölyalueille jää rakennuksia. Näin ollen murskauksesta ei aiheudu merkittäviä terveysvaikutuksia.

Murskauksen lisäksi ääntä aiheuttavat lämpökeskuksen savukaasupuhallin ja ilmastointi. Tällaisen melun ohjearvoa 55 dB(A) ei ylitetä edes laitosalueella, joten ympäristöön ulottuvia merkittäviä terveysvaikutuksia ei aiheutuisi.

Louhinta

Tärinää, pölyä ja ääntä aiheuttavaa pintalouhintaa tehdään rakennustyössä 20 vuoden aikana yhteensä 7–11 kk. Tärinän ja pölyn voi havaita 200–300 metrin päähän. Räjätysäänien voi kuulla noin 1 km:n (merialueella 2 km:n) päähän, mutta keskiäänitaso ylittäisi ohjearvot vain louhintapaikan lähistöllä. Louhintaa ei tehdä yöllä. Maanalainen louhinta ei vaikuta maan päällä. Nämä seikat huomioon ottaen louhinnasta ei aiheudu merkittäviä terveysvaikutuksia.

Kalliosta vapautuvan radonin pitoisuus jää lähialueellakin niin pieneksi, että

sen erottaminen ulkoilman radonpitoisuudesta on lähes mahdotonta. Merkittäviä terveysvaikutuksia ei synny.

Jätevesien puhdistus

Talousjätevedet puhdistetaan tavallisella jätevedenpuhdistamolla ja muut vedet käsitellään erilaisilla puhdistusmenetelmillä siten, että niistä ei aiheudu merkittäviä terveysriskejä.

Lämpökeskuksen päästöt

Lämpökeskuksen päästöt vastaavat polttoainekulutuksen suhteessa omakotitalojen öljylämmitystä. Pitoisuudet eivät huonoimmistaan sääoloissa yllä lähelle ohjearvoja eikä merkittäviä terveysvaikutuksia aiheudu.

Kapselimateriaalit

Kapseleiden ja niiden sisällön kemiallisten ominaisuuksien aiheuttamia terveysriskejä on selvitetty samaan tapaan kuin säteilyvaikutuksia (Raiko & Nordman 1999). Lasketut pitoisuudet alittavat selvästi talousvedelle asetetut pitoisuusrajat, joten kemiallinen myrkyllisyys ei ole merkittävä tekijä loppusijoituksessa. Mahdollisilla rakennusalueilla ei ole yhdyskuntien vedenkäyttöön soveltuvia pohjavesialueita.

8.4.2 Liikenneonnettomuudet

Liikenneonnettomuuksien määrän on oletettu olevan suoraan verrannollinen liikennemäärään (kuva 8-1). Hankkeen aiheuttaman lisäliikenteen riskiä on arvioitu tietyppien keskimääräisen onnettomuusasteen ja liikennemäärien perusteella (LT-Konsultit Oy 1998). Saatuja tuloksia on verrattu kuntien onnettomuustilastoihin vuosilta 1992–1997. Laitoksen synnyttämä liikenne

kasvattaisi kunnan henkilövahinkoonnettomuuksien määrää 1–3 % koko elinkaarensa aikana (vuosina 2001–2046). Arvio antaa kuvan hankkeen vaikutusten suuruusluokasta.

8.4.3 Säteilystä johtuvat terveysvaikutukset

Radioaktiivisten aineiden säteily

Perusmääritelmiä

Radioaktiivisuus tarkoittaa atomiytimen kykyä muuttua tai hajota toiseksi ytimeksi. Radioaktiivinen aine sisältää tällaisia epävakaita atomiytimiä, jotka voivat muuttua itsestään toiseksi ytimeksi. Radioaktiivisia atomeja ja ydinlajeja eli nuklideita kutsutaan *radionuklideiksi*. Alkuaineella voi olla sekä vakaita että epävakaita nuklideita (isotooppeja).

Radioaktiivinen hajoaminen on satunnainen ilmiö, mutta koska normaalisti tarkasteltavissa ainemäärissä on aina lukemattoman monta atomiydintä, muuttumisnopeus voidaan tarkasti ennustaa. Muuttumisnopeutta kuvaa ns. *puoliintumisaika*: kullekin radionuklidille ominaisen puoliintumisaajan kuluessa alkuperäisistä epävakaisista ytimistä on puolet muuttunut muiksi ytimeiksi. Kun mennään eteenpäin toisen puoliintumisaajan verran, jäljellä olevista ytimistä on taas puolet muuttunut jne. Muuttumisen tuloksena syntynyt ydin voi olla radioaktiivinen, mutta lopulta tuloksena on vakaa (ei-radioaktiivinen) ydin. Aineen radioaktiivisuus vähenee siis ajan kuluessa (kuva 2-3). Radionuklidien puoliintumisaikat vaihtelevat sekunnin murto-osista yli miljardeihin vuosiin.

Radioaktiivisuuden määrää kuvataan suurella *aktiivisuus*, joka ilmaisee aikayksikössä hajoavien ydinten luku-

määrän. Aktiivisuuden yksikkö on *becquerel* (Bq), yksi hajoaminen sekunnissa. Becquerel on pieni yksikkö, esimerkiksi ihmisen kehossa olevan luonnon radionuklidin kalium-40:n aktiivisuus on tyypillisesti useita tuhansia becquerelejä.

Radioaktiivisen hajoamisen yhteydessä syntyy tavallisesti ionisoivaa säteilyä. Ionisoiva säteily kykenee suoraan tai välillisesti ionisoimaan kohdalleen osuvia atomeja, ts. irrottamaan elektroneja atomeista. Tällöin seurauksena voi olla kemiallisia muutoksia. Ionisoivaa säteilyä ovat esimerkiksi alfa-, beeta-, gamma-, röntgen- ja neutronisäteily. Alfa-, beeta- ja neutronisäteily ovat hiukkassäteilyä, gamma- ja röntgensäteily sähkömagneettista säteilyä.

Ionisoiva säteily luovuttaa energiaa ja vaimenee aineen läpi kulkiessaan säteilyn ja aineen ominaisuuksista riippuen: esim. alfasäteily ei läpäise edes tavallista kopiopaperia, mutta gamma-säteilyn olennainen vaimentuminen vaatii paksun ainekerroksen. Säteilyn vuorovaikutusta aineen kanssa kuvataan mm. suurella *absorboitunut annos*, jonka yksikkö on *gray* (Gy). Absorboitunut annos ilmaisee säteilystä aineeseen siirtyneen energian määrän massayksikköä kohti (J/kg).

Luonnossa esiintyvä ionisoiva säteily on peräisin luonnon radioaktiivisista aineista ja avaruudesta sekä yleensä vain pienessä määrin keinotekoisista radioaktiivisista aineista. Ihminen tuottaa ionisoivaa säteilyä esimerkiksi keinotekoisien radioaktiivisten aineiden ja röntgenlaitteiden avulla. Käytöstä ydinpolttoaineesta lähtevä ionisoiva säteily on peräisin sen sisältämistä keinotekoisista ja luonnon radioaktiivisista aineista. Ihminen altistuu kaiken aikaa sekä kehon ulkopuolelta tulevalle säteilylle (ulkoinen säteily) että kehon sisälle

(esim. ruokailu ja hengitys) joutuneista radioaktiivisista aineista tulevalle säteilylle (sisäinen säteily).

Ionisoivan säteilyn terveysvaikutukset ja -riskit

Radioaktiivisuuden terveyshaittoja tarkasteltaessa kiinnitetään päähuomio radioaktiivisen hajoamisen yhteydessä syntyvään ionisoivaan säteilyyn, vaikka atomin muuttaminen toiseksi alkuaikaneeksi voi myös joskus aiheuttaa haitallisia vaikutuksia. Ionisoivan säteilyn terveysvaikutukset ja -riskit riippuvat mm. säteilyn ominaisuuksista, määrästä ja kohteena olevasta elimestä tai kudoksesta.

Absorboituneen annoksen ohella säteilyn määrää terveyshaittojen kannalta kuvataan suureella *ekvivalenttiannos*, jonka yksikkö on *sievert* (Sv). Ekvivalenttiannos 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.

Kun otetaan säteilylajin lisäksi huomioon elinten tai kudosten erilainen merkitys terveydelle ja herkkyys säteilylle painokertoimien avulla, käytetään nimenomaan säteilyn terveysriskejä arvioitaessa *efektiivistä annosta* (painotettu ekvivalenttiannos), jolla on sama yksikkö (Sv) kuin ekvivalenttiannoksella.

Tarkasteltaessa koko väestön tai väestönosan säteilyaltistusta käytetään suuretta *kollektiivinen annos* (yleensä kollektiivinen efektiivinen annos), jonka yksikkö on *mansievert* (manSv). Kollektiivinen annos on henkilöiden saama keskimääräinen säteilyannos kerrottuna henkilöiden lukumäärällä. Gray ja sievert ovat suuria yksiköitä, usein käytetään niiden tuhannesosaa (esimerkiksi mSv) tai miljoonasosaa (esimerkiksi µSv).

Terveysvaikutukset ja -riskit riippuvat myös annoksen kertymisen nopeudesta eli *annosnopeudesta*, jonka yksikkönä käytetään esimerkiksi millisievertiä tunnissa (mSv/t).

Säteilyn terveyshaitat voidaan jakaa varhais- ja myöhäisvaikutuksiin. Varhaisvaikutuksia aiheutuu säteilyannoksen ylittäessä tietyn riittävän suuren arvon, ns. kynnysarvon. Esimerkiksi jos ihminen saa lyhyessä ajassa suuren säteilyannoksen koko kehoonsa, hän voi kuolla muutaman viikon kuluessa ns. säteily sairauteen. Varhaisvaikutuksia on esiintynyt lähinnä Hiroshiman ja Nagasakin ydinpommitusten, eräiden onnettomuuksien ja säteilyhoidon seurauksena.

Myöhäisvaikutukset ovat satunnaisia: haitan esiintymisen todennäköisyys kasvaa kertyneen annoksen kasvaessa. Säteilylle altistuminen lisää esimerkiksi todennäköisyyttä sairastua syöpään. Syöpä ilmaantuu kuitenkin vasta useiden vuosien päästä altistuksesta. Myöhäisvaikutuksia saattaa ilmaantua pientenkin säteilyannosten seurauksena.

Taulukoissa 8-4 ja 8-5 esitetään suppeasti arvioita säteilyn terveysvaikutuksista ja -riskeistä annoksen funktiona. Taulukossa 8-6 esitetään Suomessa noudatettavia raja-arvoja säteilyaltistukselle sekä taulukossa 8-7 eräistä lähiteistä ja toimenpiteistä koituvia tyypillisiä säteilyannoksia ja -annosnopeuksia. Em. taulukoiden annoksia voidaan verrata keskenään, kun otetaan huomioon, että gammasäteilylle 1 mGy vastaa 1 mSv:ä.

Arviot säteilyn terveysvaikutuksista ja -riskeistä perustuvat havaittuihin suurten säteilyannosten (yli 200 mSv) ja annosnopeuksien vaikutuksiin sekä säteilybiologiin tutkimuksiin. Pienten säteilyannosten vaikutusta ei ole kyetty havaitsemaan edes suuria ihmisjoukkoja koskeneissa tilastollisissa tutki-

muksissa, koska mahdollinen vaikutus – jonka on väitetty pienillä annoksilla voivan olla myös myönteinen – on pieni ja esimerkiksi syöpiä esiintyy paljon muista syistä johtuen.

Eräiden näkemysten mukaan tietyn kynnysarvon alapuolella säteilystä ei olisi haitallisia vaikutuksia. Varovaisuusperiaatteen mukaisesti säteily-suojelussa oletetaan kuitenkin, että esimerkiksi syövän todennäköisyys on suoraan verrannollinen säteilyannokseen ilman kynnysarvoa. Pienten annosten osalta Kansainvälinen säteilysuojelukomissio (ICRP) käyttää tosin puolet pienempää syöpäriskikerrointa (taulukko 8-5) kuin havaittu suurten annosten riskikerroin (ICRP 1991, UNSCEAR 1994, 1993).

Radioaktiivisuudesta, ionisoivasta säteilystä ja ionisoivan säteilyn terveysvaikutuksista kerrotaan enemmän esimerkiksi kirjaisissa (Wahlström 1994, Toivonen ym. 1987), Säteilyturvakeskuksen kirjoissa (Paile ym. 1996, Toivonen ym. 1988) ja Kansainvälisen säteilysuojelukomission ja Yhdistyneiden kansankuntien tieteellisen komitean UNSCEARin julkaisuissa (ICRP 1991, UNSCEAR 1994, 1993).

Eliöiden herkkyys ionisoivalle säteilylle vaihtelee suuresti lajista riippuen. Myös tietämys eri lajien herkkyydestä vaihtelee. Yleensä nisäkkäät ovat eläimistä kaikkein herkimpiä, seuraavaksi linnut, kalat, matelijat ja hyönteiset. Kasvien ja eläinten herkkyysalueet ovat osittain päällekkäiset. Kuva 8-8 havainnollistaa eliölajien herkkyyttä säteilylle. Säteilyherkin ominaisuus on lisääntymiskyky, joka on erityisen tärkeä populaation säilymisen kannalta. Luonnon kasvi- ja eläinpopulaatioiden osalta ei ole juurikaan näyttöä siitä, että alle 0,1 mGy/t annoksella (n. 800 mGy/v) olisi haitallisia vaikutuksia populaatio-
tasolla (UNSCEAR 1996).

Taulukko 8-4. Eräiden ionisoivan säteilyn varhaisvaikutusten kynnyks-annoksia aikuisella. Lukuarvot koskevat lyhyessä ajassa, esimerkiksi muutamissa minuuteissa, kertyneitä annoksia. Vastaavan annoksen kertyminen pitkän ajan kuluessa pienentää useita vaikutuksia huomattavasti (ICRP 1991).

Taulukko 8-5. Koko kehon pienistä säteilyannoksista tai pienistä säteilyannosnopeuksista aiheutuvien satunnaisten vaikutusten todennäköisyyksien nimellisarvot säteily-suojelua varten (ICRP 1991). Arvot ovat konservatiivisia (yläarvioita) ja keskimääräisiä (ei esim. sukupuoli- tai ikäkohtaisia). Muiden syöpien ja perinnöllisten vaikutusten todennäköisyyksiä on painotettu vaikutusten haitallisuudella. Esim. kuolemaan johtavan syövän todennäköisyys 0,005 %/mSv merkitsee sitä, että jos esimerkiksi 100 000 henkilöä saa kukin 1 mSv:n annoksen, korkeintaan noin viiden henkilön voidaan odottaa sairastuvan tällaiseen syöpään.

Taulukko 8-6. Suomessa säädettyjä enimmäisarvoja säteilyaltistukselle (säteilylaki ja -asetus, Valtioneuvosto 1991a, 1991b ja 1999).

Taulukko 8-7. Eräisiin lähteisiin ja toimenpiteisiin liittyviä tyypillisiä säteilyannoksia ja -annosnopeuksia (mm. Voutilainen 1998, UNSCEAR 1993).

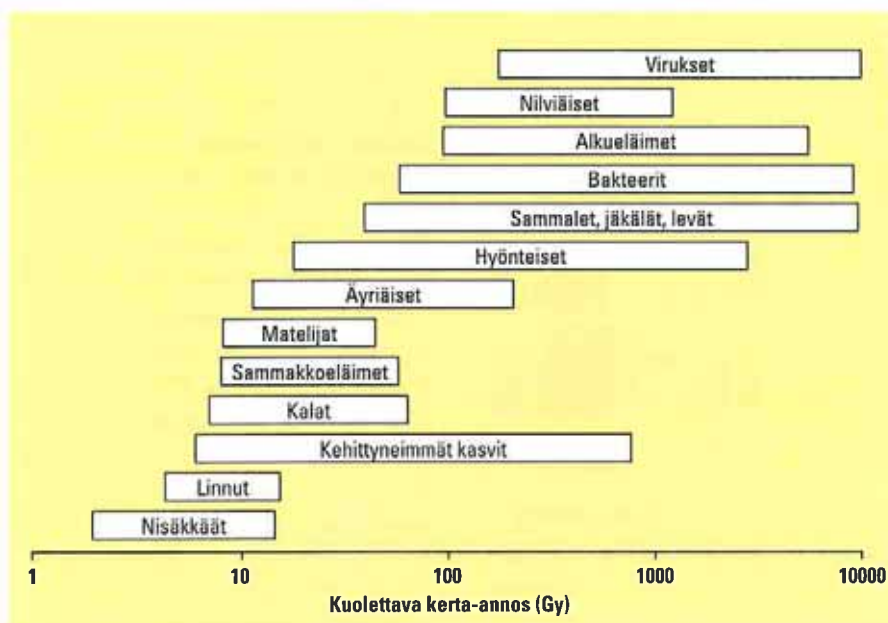
Kohde/Haitta	Annos (mGy)
Kivekset	
Väliaikainen steriiliys	150
Pysyvä steriiliys	3500–6000
Munasarjat	
Pysyvä steriiliys	2500–6000
(herkkyys lisääntyy iän myötä)	
Silmän linssi	
Havaittava sameutuminen	500–2000
Näön menetys (harmaakaihi)	2000–10 000
Luuydin	
Verisolujen muodostumisen merkittävä tilapäinen häiriintyminen	500
Iho	
Punoitus, karvojen lähtö	3000–5000
Rakkuloita ja haavaumia	20 000
Koko keho	
Herkän henkilön kuolema	1000
Terveen henkilön kuolema 50 %:ssa tapauksista ilman sairaalahoitoa	3000–5000

Haitan todennäköisyys per annos (%/mSv)

	Työikäinen väestö	Koko väestö
Kuolemaan johtava syöpä	0,004	0,005
Muu syöpä	0,0008	0,001
Vakavat perinnölliset vaikutukset	0,0008	0,0013
Kokonaishaitta	0,0056	0,0073

Säteilytyössä normaalisti yhden vuoden aikana kertyvä efektiivinen annos	50 mSv
Säteilytyössä normaalisti viiden vuoden aikana kertyvä efektiivinen annos	100 mSv
Säteilyn käytöstä muulle kuin säteilytyössä olevalle henkilölle aiheutuva efektiivinen annos vuodessa	1 mSv
Ydinvoimalaitoksen yhden vuoden päästöistä ympäristössä asuvalle henkilölle aiheutuva efektiivinen annos	0,1 mSv
Loppusijoitetuista ydinvoimalaitoksen voimalaitosjätteistä ympäristössä asuvalle henkilölle aiheutuvan vuotuisen efektiivisen annoksen odotusarvo	0,1 mSv
Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen odotettavissa olevien käyttöhäiriöiden aiheuttama vuosittainen efektiivinen annos ympäristössä asuvalle henkilölle	0,1 mSv

Luonnon taustasäteilystä (paitsi huoneilman radon) suomalaiselle keskimäärin aiheutuva annos vuodessa	1 mSv
Huoneilman radonista suomalaiselle keskimäärin aiheutuva annos vuodessa	2 mSv
Eurajoella, Kuhmossa, Loviisassa ja Äänekoskella luonnon taustasäteilystä ja huoneilman radonista aiheutuva vuosittainen annos mitattujen radonpitoisuuksien perusteella arvioituna	3–220 mSv
Kuuhkojen röntgenkuvas	0,3 mSv
Luonnon taustasäteilystä (ulkoinen säteily) merenpinnan korkeudella aiheutuva annos tunnissa	0,1 µSv
Kosmisesta säteilystä lentokoneessa 10 km:n korkeudessa aiheutuva annos tunnissa	4 µSv



Kuva 8-8. Kuolettavien kerta-annosten likimääräiset vaihtelualueet eliölajien pääryhmille (UNSCEAR 1996).

Kansainvälinen säteilysuojelukomissio ICRP uskoo nykyisen ihmisen säteilyaltistuksen valvonnan varmistavan, ettei muita lajeja vaaranneta tai luoda epätasapainoa lajien välille, vaikka joidenkin lajien yksilöille voisikin koitua haittaa (ICRP 1991). Kansainvälinen atomienergiajärjestö IAEA on päättänyt samaan johtopäätökseen paitsi, että erityiset ekologiset olosuhteet, kuten harvinaisten tai uhanalaisten lajien tai säteilyn lisäksi muiden stressitekijöiden esiintyminen paikalla, voisivat merkitä poikkeusta (IAEA 1992a). IAEA:ssa on kiinnitetty huomiota ympäristön säteilysuojelua koskevan ohjeen mahdolliseen tarpeeseen (IAEA 1997b).

Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetukset

Käytetyt menetelmät ja oletukset

Käytetyn polttoaineen kuljetusten mahdollisesti aiheuttamat terveyshaitat arvioitiin käyttäen pohjana luvussa 4 selostettuja kuljetusjärjestelyjä ja esimerkkireittejä sekä olettaen, että kuljetukset toteutetaan nykyisten

vaatimusten mukaisesti. Mahdollisten terveysvaikutusten kannalta merkittävimpien radionuklidien enimmäismäärät tarkastelluissa säiliötyypeissä on esitetty taulukossa 8-8.

Vaarallisten aineiden kuljetusta koskevien säädösten mukaan käytetyn polttoaineen kuljetussäiliöiden olisi täytettävä nykyisin ns. B-typin pakkausta ja vastaavasti kuljetusjärjestelyjen tällaisen kuorman kuljetusta koskevat vaatimukset. B-typin pakkaus voi sisältää enemmän radioaktiivisia aineita kuin ns. A-typin pakkaus, jota koskevat tietyt radionuklidi-kohtaiset aktiivisuuden ylärajat A_1 ja A_2 . Tästä syystä B-typin pakkauksille on asetettu normaalitilanteiden kestoja koskevien vaatimusten lisäksi myös onnettomuustilanteiden kestoja (ks. kohta "onnettomuustilanteet") koskevia vaatimuksia toisin kuin A-typin pakkauksille.

Odotettavissa olevat terveysvaikutukset

Normaalin käytetyn polttoaineen kuljetuksen aikana säiliön sisäpuolelta

ei vuoda merkityksellisiä määriä radioaktiivisia aineita säiliön ulkopuolelle. Kuljetussäädöksissä on asetettu yläraja säiliöön normaalisti kohdistuvista suurimmista rasituksista aiheutuvalla vuodolla (miljoonasosa A_2 :sta tunnissa). Säiliön ulkopinta on pidettävä niin puhtaana radioaktiivisista aineista kuin käytännössä on mahdollista. Ulkopinnalta mahdollisesti irtoavien radioaktiivisten aineiden määrälle on asetettu yläraja (4 Bq/cm^2 paitsi erälle alfasäteilyä lähettävälle nuklideille $0,4 \text{ Bq/cm}^2$). Yhden metrin päässä säiliön ulkopinnasta annosnopeus saa olla korkeintaan $0,1 \text{ mSv/t}$. Tarkasteltavina olevissa kuljetuksissa annosnopeutta hallitsivat selvästi säiliön sisältä tulevat gamma- ja neutronisäteily.

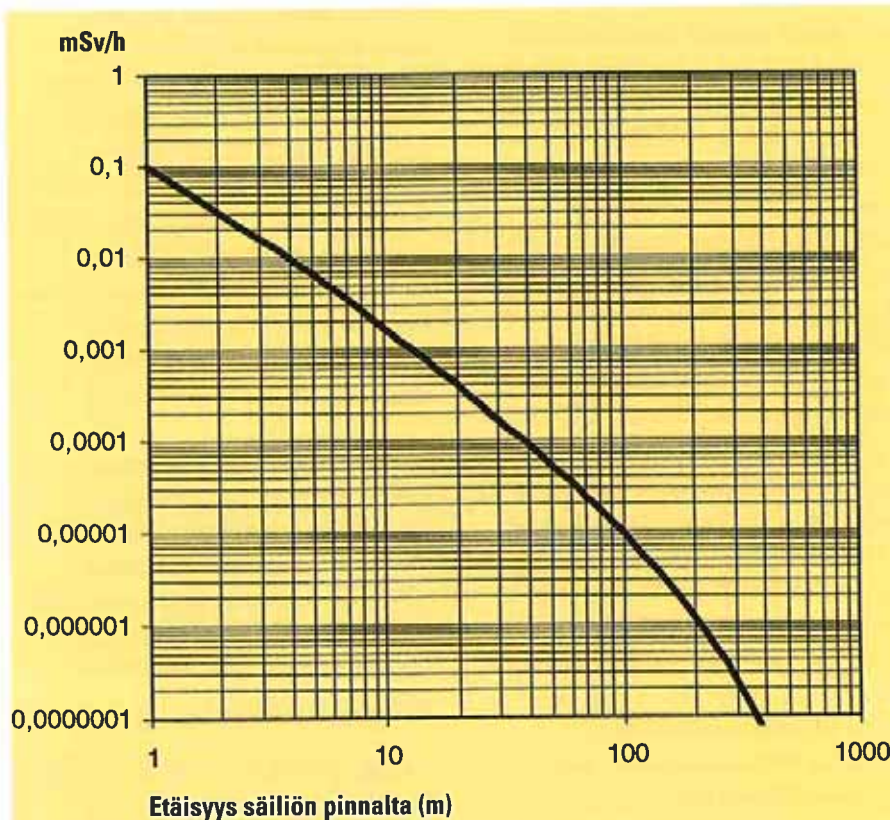
Kuvassa 8-9 on havainnollistettu suurimmasta sallitusta annosnopeudesta aiheutuvaa annosnopeutta eri etäisyyksillä makaavassa asennossa olevasta CASTOR-TVO-säiliöstä. Säiliöstä aiheutuva annosnopeus pienenee etäisyyden kasvaessa ja on $0,1 \mu\text{Sv/t}$ (tyypillinen ulkoisen säteilyn annosnopeus luonnossa Suomessa) n. 35 m:n etäisyydellä sekä kymmenesosa siitä noin 100 m:n päässä (vaikutusalue). Todellisuudessa annosnopeus olisi pienempi.

Käytetyn polttoaineen kuljetusten riskejä tarkastellaan raportissa (Suolanen ym. 1999). Säiliöiden oletettiin sisältävän kuljetettavassa polttoaineessa olevat enimmäismäärät eri radionuklideita ja ulkopuolisen annosnopeuden olevan säädösten mukaisella ylärajalla.

Väestön altistumista säiliön seinämän läpi tulevalle säteilylle arvioitiin kuljetettaessa polttoainetta edellä selostettuja kuljetusmuotoja ja -reittejä käyttäen. Kuljetus voisi normaalisti joutua pysähtymään ajoittain eri syistä. Häiriöiksi katsottiin vasta kuljetuksen epätavallisen pitkät pysähtymiset

Radionuklidi	Lyhenne	Puoliintumis- aika (v)	Määrä (Bq)	
			CASTOR-TVO	CASTOR-VVER
Tritium (Vety-3)	H-3	12,3	$7,4 \cdot 10^{13}$	$8,6 \cdot 10^{13}$
Krypton-85	Kr-85	10,7	$1,2 \cdot 10^{15}$	$1,2 \cdot 10^{15}$
Strontium-90	Sr-90	28,6	$2,1 \cdot 10^{16}$	$2,1 \cdot 10^{16}$
Rutenium-106	Ru-106	1,01	$2,1 \cdot 10^{11}$	$2,2 \cdot 10^{11}$
Jodi-129	I-129	$1,57 \cdot 10^7$	$1,6 \cdot 10^{10}$	$1,6 \cdot 10^{10}$
Kesium-134	Cs-134	2,06	$1,2 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{14}$
Kesium-137	Cs-137	30,2	$3,2 \cdot 10^{14}$	$3,1 \cdot 10^{16}$
Cerium-144	Ce-144	0,779	$5,8 \cdot 10^8$	$5,9 \cdot 10^9$
Prometium-147	Pm-147	2,63	$2,0 \cdot 10^{15}$	$1,9 \cdot 10^{15}$
Plutonium-238	Pu-238	87,8	$2,3 \cdot 10^{15}$	$1,6 \cdot 10^{16}$
Plutonium-239	Pu-239	$2,41 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^{14}$	$1,6 \cdot 10^{14}$
Plutonium-240	Pu-240	$6,57 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^{14}$	$2,4 \cdot 10^{14}$
Plutonium-241	Pu-241	14,4	$2,4 \cdot 10^{16}$	$2,4 \cdot 10^{16}$
Amerikium-241	Am-241	$4,32 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^{15}$	$1,2 \cdot 10^{15}$
Curium-244	Cm-244	18,1	$1,6 \cdot 10^{15}$	$1,0 \cdot 10^{15}$

Taulukko 8-8. Turvallisuuden kannalta merkittävimpien radionuklidien enimmäismäärät CASTOR-TVO- ja CASTOR-VVER-säiliötyypeissä kuljettaessa vähintään 20 vuotta varastoitua Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten käytettyä polttoainetta (Suolanen ym. 1999, Rossi ym. 1999). CASTOR-TVO-säiliön sisällöksi oletetaan 48 Olkiluodon nippua keskimääräiseltä palamaltaan 45 GWd/tU ja CASTOR-VVER-säiliön sisällöksi 84 Loviisan nippua keskimääräiseltä palamaltaan 42 GWd/tU.



Kuva 8-9. Likimääräinen annosnopeus kuljetusasennossa olevan CASTOR-TVO-säiliön pitkällä sivulla etäisyyden funktiona säiliön pinnasta (Suolanen ym. 1999). Annosnopeudeksi 1 m:n etäisyydellä säiliön pinnasta oletetaan suurin sallittu 0,1 mSv/t.

esimerkiksi laitevian tai kuljetusolosuhteiden takia. Tällöin säiliön suojaavat ominaisuudet eivät heikentyisi, mutta ympäristö voisi altistua normaalia ohitusta enemmän säiliön seinämän läpi tulevalle säteilylle. Toisena häiriötyyppinä tarkasteltiin tilannetta, jossa säiliön pinnalle puhdistuksesta huolimatta jääneet radioaktiiviset aineet muuttuisivat kuljetuksen aikana helpommin irtoaviksi. Onnettomuustapauksia ovat hyvin harvinaiset tilanteet, joissa säiliön tiiviys ja eheys voisivat vaarantua.

Eniten altistuvan väestöön kuuluvan henkilön vuosittaiselle annokselle ja kokonaisannokselle laskettiin yläarvot olettaen hänen

- oleskelevan 10 m:n päässä jokaisesta maanteitse ohi kulkevasta säiliöstä (enintään 25 säiliötä/v) ja
- oleskelevan vuosittain 13 tuntia 10 m:n päässä pysähtyneestä säiliöstä,

koska maantiekuljetus liittyy myös rautatie- ja merikuljetuksiin.

Tarkastelun tulokset on esitetty taulukossa 8-11. Yhdestä säiliön ohituksesta aiheutuva annos on esitetty vertailun vuoksi taulukossa 8-12 ohitusetaisyyden funktiona. Häiriöluonteiseksi katsottavan pysähtymisen yhteydessä eniten altistuvan väestöön kuuluvan henkilön ja koko väestön saamat annokset on esitetty taulukossa 8-13 olettaen 50 henkilön oleskelevan 8 tuntia 10 m:n päässä säiliöstä.

Säiliön pinnalle jääneiden radioaktiivisten aineiden mahdollisesta irtoamisesta aiheutuva terveysriski on merkityksellömän pieni mm. vähäisen määrän ja säiliön ympärillä olevan suojakoteloinnin ansiosta.

Kuljetuksista ja sen oletetuista häiriöistä aiheutuvan väestön kokonaisannoksen (kollektiivisen annoksen odotusarvon) laskentaan kuljetusmuodoittain ja -reiteittäin käytettiin RADTRAN 4 -tietokoneohjelmaa. Ohjelman käyttämissä mallissa kuljetusreitti jaetaan osuuksiin, joille voidaan antaa mm. keskimääräiset väestötiheydet, kuljetusnopeus, ohittavien matkustajien määrä, pysähdysaika, säteilylle altistuvien ihmisten määrä ja etäisyys pysähdysten aikana. Valitsemalla mallin parametreille konservatiiviset arvot saatiin myös lasketut annokset hyvällä varmuudella konservatiivisiksi (yläarvoiksi).

Laskennan tuloksena saadut väestön kokonaisannokset on esitetty taulukossa 8-14 loppusijoituslaitoksen paikkavaihtoehtoittain, kuljetusmuotovaihtoehtoittain ja reittityypeittäin (teknis-taloudellinen tai väestöä välttävä). Kollektiivisten annosten odotusarvoja hallitsevat normaaleista kuljetuksista aiheutuvat annokset, häiriötilanteista aiheutuvien annosten osuus on pieni.

Normaalikuljetuksista aiheutuvia annoksia puolestaan hallitsevat pysähtyneestä säiliöstä aiheutuvat annokset. Tästä syystä väestöä välttämään pyrkineen reitin kokonaisannos voi olla jopa korkeampi kuin teknis-taloudellisen reitin annos.

Vähiten väestön säteilyaltistusta aiheuttaa kuljetus meritse, seuraavaksi vähiten kuljetus rautateitse ja eniten kuljetus maanteitse. Mikäli loppusijoituslaitos sijaitsisi Kuhmossa, merikuljetuksella Raaheen olisi annoksia pienentävä vaikutus. Kokonaisannokset ovat kuitenkin kaikissa tapauksissa vähäiset, selvästi alle 1 manSv.

	säteilyannos säiliön säteilystä (mSv)	terveysriski säiliön säteilystä, vakavan haitan todennäköisyys (%)	säteilyannos luonnon- säteilystä (mSv)	terveysriski luonnon- säteilystä, vakavan haitan todennäköisyys (%)
vuosittainen annos ohituksista (25 ohitusta)	$5 \cdot 10^{-5}$	$< 4 \cdot 10^{-7}$	3	$< 0,02$
vuosittainen oleskelu säiliön lähellä (10 m:n päässä 13 t)	0,02	$< 2 \cdot 10^{-4}$	3	$< 0,02$
vuosittainen kokonais- annos (25 ohitusta ja oleskelu 10 m:n päässä 13 t)	0,02	$< 2 \cdot 10^{-4}$	3	$< 0,02$
kokonaisannos (23 vuotta)	0,5	$< 0,004$	70	$< 0,5$

Taulukko 8-11. Käytetyn polttoaineen kuljetuksista perustapauksessa, vuosittain 23 vuoden aikana eniten altistuvalla väestöön kuuluvalla henkilölle enintään aiheutuvat säteilyannokset ja vastaavat terveysriskit ($7,3 \cdot 10^{-3} \% / \text{mSv}$). Säiliön ohitusnopeudeksi oletetaan 35 km/t ja -etäisyydeksi 10 m. Vertailun vuoksi esitetään lisäksi keskimääräisestä luonnonsäteilystä (3 mSv/v) aiheutuvat annokset ja vastaavat terveysriskit.

Etäisyys (m)	Annos (mSv)
2	$8 \cdot 10^{-4}$
5	$3 \cdot 10^{-4}$
10	$2 \cdot 10^{-4}$
20	$7 \cdot 10^{-7}$
40	$3 \cdot 10^{-7}$

Taulukko 8-12. Yhdestä säiliön ohituksesta enintään aiheutuva annos ohitusetäisyyden funktiona. Ohitusnopeudeksi oletetaan 35 km tunnissa.

	säteilyannos (mSv)	säteilyannos (manSv)	terveysriski, vakavan haitan todennäköisyys (%)
henkilö	0,02		$< 2 \cdot 10^{-4}$
väestö		0,0007	$< 5 \cdot 10^{-3}$

Taulukko 8-13. Säiliön kuljetuksen pysähtymisestä eniten altistuvalla väestöön kuuluvalla henkilölle ja koko väestölle enintään aiheutuvat säteilyannokset. 50 henkilön oletetaan oleskelevan 8 tuntia 10 metrin päässä säiliöstä. Vuosittainen annos keskimääräisestä luonnonsäteilystä (3 mSv/v) on 200-kertainen.

Taulukko 8-14. Käytetyn polttoaineen normaaleista kuljetuksista ja niiden häiriöistä perustapauksessa, 23 vuoden aikana aiheutuvat väestön kokonaisannosten odotusarvot tai odotusarvojen vaihteluvälit loppusijoituslaitoksen paikkavaihtoehdoittain, kuljetusmuotovaihtoehdoittain ja reittityypeittäin (teknistaloudellinen tai väestöä välttävä) sekä vastaavat terveysriskit (7,3 % /manSv).

Vertailun vuoksi esitetään lisäksi samassa ajassa reittien varrella korkeintaan noin 0,5 km:n päässä asuvalle väestölle keskimääräisestä luonnonsäteilystä (3 mSv/v) aiheutuvat annokset ja vastaavat vakavien haittojen lukumäärän odotusarvot.

Säiliön säteilystä aiheutuvien vakavien haittojen lukumäärän odotusarvo on selvästi pienempi kuin yksi, siksi taulukossa annetaan yhden haitan todennäköisyys.

Loppusijoituslaitos Eurajoen Olkiluodossa

	säteilyannos säiliön säteilystä, odotusarvo (manSv)	terveysriski säiliön säteilystä, vakavan haitan todennäköisyys (%)	säteilyannos luonnon-säteilystä (manSv)	vakavat terveyshaitat luonnon-säteilystä, lukumäärän odotusarvo (kpl)
<i>Maanteitse Loviisasta</i>				
Teknistaloudelliset reitit	0,025–0,046	< 0,4	< 1200	< 88
Väestöä välttävät reitit	samat reitit kuin yllä			
<i>Maanteitse–rautateitse–maanteitse Loviisasta</i>				
Teknistaloudellinen reitti	0,015	< 0,2	3300	< 240
Väestöä välttävä reitti	sama reitti kuin yllä			
<i>Maanteitse–meritse–maanteitse Loviisasta</i>				
Teknistaloudellinen reitti	0,0020	< 0,02	81	< 6
Väestöä välttävä reitti	sama reitti kuin yllä			

Olkiluodon voimalaitoksen polttoaineen maantiekuljetuksista aiheutuvat annokset ovat tässä tapauksessa kuljetusmatkan lyhyiden ja väestön

vähyyden takia hyvin pienet verrattuna Loviisasta tapahtuviin kuljetuksiin, joten niitä ei laskettu. Muut kuljetusmuodot eivät tule kyseeseen.

Loppusijoituslaitos Kuhmon Romuvaarassa

	säteilyannos säiliön säteilystä, odotusarvo (manSv)	terveysriski säiliön säteilystä, vakavan haitan todennäköisyys (%)	säteilyannos luonnon-säteilystä (manSv)	vakavat terveyshaitat luonnon-säteilystä, lukumäärän odotusarvo (kpl)
<i>Maanteitse Eurajoelta</i>				
Teknistaloudelliset reitit	0,15–0,20	< 2	< 2600	< 190
Väestöä välttävät reitit	0,16–0,17	< 2	< 2100	< 150
<i>Maanteitse Loviisasta</i>				
Teknistaloudelliset reitit	0,045–0,099	< 0,8	< 1800	< 130
Väestöä välttävät reitit	0,042–0,11	< 0,8	< 1300	< 95
<i>Maanteitse–rautateitse–maanteitse Eurajoelta</i>				
Teknistaloudellinen reitti	0,022	< 0,2	4400	< 320
Väestöä välttävä reitti	0,028	< 0,2	3300	< 240
<i>Maanteitse–rautateitse–maanteitse Loviisasta</i>				
Teknistaloudellinen reitti	0,0089	< 0,07	4000	< 290
Väestöä välttävä reitti	0,0064	< 0,05	3600	< 260
<i>Maanteitse–meritse–maanteitse Eurajoelta</i>				
Teknistaloudelliset reitit	0,069–0,079	< 0,6	< 1200	< 88
Väestöä välttävät reitit	0,054–0,079	< 0,6	< 1200	< 88
<i>Maanteitse–meritse–maanteitse Loviisasta</i>				
Teknistaloudelliset reitit	0,039–0,053	< 0,4	< 1200	< 88
Väestöä välttävät reitit	0,037–0,053	< 0,4	< 1200	< 88
<i>Maanteitse–meritse–maanteitse–rautateitse–maanteitse Eurajoelta</i>				
Teknistaloudellinen reitti	0,0099	< 0,08	750	< 55
Väestöä välttävä reitti	sama reitti kuin yllä			
<i>Maanteitse–meritse–maanteitse–rautateitse–maanteitse Loviisasta</i>				
Teknistaloudellinen reitti	0,0071	< 0,06	830	< 61
Väestöä välttävä reitti	sama reitti kuin yllä			

Loppusijoituslaitos Loviisan Hästholmenissa

	säteilyannos säiliön säteilystä, odotusarvo (manSv)	terveysriski säiliön säteilystä, vakavan haitan todennäköisyys (%)	säteilyannos luonnon-säteilystä (manSv)	vakavat terveyshaitat luonnon-säteilystä, lukumäärän odotusarvo (kpl)
<i>Maanteitse Eurajoelta</i>				
Teknistaloudelliset reitit	0,070–0,071	< 0,6	< 900	< 66
Väestöä välttävät reitit	samat reitit kuin yllä			
<i>Maanteitse–rautateitse–maanteitse Eurajoelta</i>				
Teknistaloudellinen reitti	0,024	< 0,2	3300	< 240
Väestöä välttävä reitti	sama reitti kuin yllä			
<i>Maanteitse–meritse–maanteitse Eurajoelta</i>				
Teknistaloudellinen reitti	0,0031	< 0,03	81	< 6
Väestöä välttävä reitti	sama reitti kuin yllä			

Loviisan voimalaitoksen polttoaineen maantiekuljetuksista aiheutuvat annokset ovat tässä tapauksessa kuljetusmatkan lyhyiden ja väestön

vähyyden takia hyvin pienet verrattuna Eurajoelta tapahtuviin kuljetuksiin, joten niitä ei laskettu. Muut kuljetusmuodot eivät tule kyseeseen.

Loppusijoituslaitos Äänekosken Kivetyssä

	säteilyannos säiliön säteilystä, odotusarvo (manSv)	terveysriski säiliön säteilystä, vakavan haitan todennäköisyys (%)	säteilyannos luonnon-säteilystä (manSv)	vakavat terveyshaitat luonnon-säteilystä, lukumäärän odotusarvo (kpl)
<i>Maanteitse Eurajoelta</i>				
Teknistaloudelliset reitit	0,087–0,18	< 2	< 4400	< 320
Väestöä välttävä reitti	0,087	< 0,7	1400	< 100
<i>Maanteitse Loviisasta</i>				
Teknistaloudelliset reitit	0,031–0,066	< 0,5	< 1600	< 120
Väestöä välttävät reitit	0,028–0,059	< 0,5	< 620	< 45
<i>Maanteitse–rautateitse–maanteitse Eurajoelta</i>				
Teknistaloudellinen reitti	0,014	< 0,1	2400	< 180
Väestöä välttävä reitti	sama reitti kuin yllä			
<i>Maanteitse–rautateitse–maanteitse Loviisasta</i>				
Teknistaloudellinen reitti	0,0081	< 0,06	2800	< 200
Väestöä välttävä reitti	sama reitti kuin yllä			

Olkiluodon ja Loviisan nykyisten voimalaitosten 60 vuoden toiminnasta kertyvän polttoaineen kuljetuksesta aiheutuvat väestön kokonaisannokset olisivat suunnilleen 50 % suuremmat kuin perustapauksessa suoraan verrannollisesti kuljetettavan polttoainemäärän kasvuun, kun oletetaan kuljetusjärjestelyjen ja ympäristön pysyvän samoina. Mikäli myös mahdollisten kahden uuden yksikön polttoaine kuljetettaisiin samoin, kokonaisannokset olisivat noin kolme kertaa suuremmat kuin perustapauksessa. Eniten altistuvan henkilön vuosittainen annos ei riipu olennaisesti loppusijoitettavan polttoaineen kokonaismäärästä.

Käytetyn polttoaineen kuljetuksista vaihtoehtoisille loppusijoituspaikoille ei aiheutuisi merkittäviä terveysriskejä normaalisti eikä häiriötilanteiden seurauksena millään tarkastellulla kuljetusmuodolla ja -reitillä, koska väestön yksittäiselle henkilölle vuosittain aiheutuva säteilyannos on enimmilläänkin (0,02 mSv) selvästi pienempi kuin luonnonsäteilystä keskimäärin aiheutuva annos 3 mSv ja säteilyasetuksen sallima enimmäisannos 1 mSv. Myös väestön kollektiivinen annos kaikista kuljetuksista on selvästi pienempi kuin luonnonsäteilystä vastaavalle väestölle aiheutuva annos ja niin pieni, ettei yhtäkään terveyshaittaa ole odotettavissa. Yksilö- ja väestöannokset ovat enimmilläänkin niin pienet, että loppusijoituspaikan sekä kuljetusmuodon ja -reitit valintaan vaikuttavat enemmän muut tekijät kuin kuljetusten normaalien ja häiriötilanteiden säteilyaltistus.

Onnettomuustilanteet

Käytetyn polttoaineen kuljetuksissa nykyisin käytettäville B-tyypin säiliöille on asetettu säädöksissä ja viranomaisten määräyksissä tiukat tekniset vaatimukset, joiden tarkoi-

Onnettomuusolosuhteita vastaavat testit B-tyyppin pakkauksille (IAEA 1990)

1. Pudotus 9 metrin korkeudesta peräänantamattomalle alustalle
2. Pudotus 1 metrin korkeudesta halkaisijaltaan 15 cm:n terästapin päälle
3. Kooltaan 1 m³:n ja massaltaan 500 kg:n teräslevyn pudotus 9 metrin korkeudesta säiliön päälle
4. Kuumennus tulella 800 °C:n lämpötilassa 30 minuutin ajan pudotustestien jälkeen
5. Uputus veteen 15 metrin syvyyteen 8 tunnin ajaksi, käytetyn polttoaineen säiliöille lisäksi upotus veteen 200 metrin syvyyteen 1 tunnin ajaksi

Testirasituksen pitää kohdistua säiliön heikoimpaan kohtaan.

Testien jälkeen säiliöstä saa vuotaa vain hitaasti radioaktiivista ainetta ja annosnopeus yhden metrin päässä pakkauksen ulkopinnasta saa olla korkeintaan 10 mSv/t. Säiliön sisältöineen täytyy pysyä riittävän alikriittisenä eli vapaiden neutronien ylläpitämien fissioreaktioiden on pysyttävä hallinnassa.

Onnettomuustestien aiheuttamat rasitukset ovat suurella varmuudella kovemmat kuin ne rasitukset, joiden kohteeksi säiliö voi käytännössä joutua kuljetuksen aikana. Esimerkiksi eräässä kokeessa yli 150 km/t kulkevan raskaan veturin törmäys B-tyypin säiliöön aiheutti vähemmän vaurioita kuin testivaatimusten mukainen yhdeksän metrin pudotus.

tuksena on huolehtia, että säiliöistä ei onnettomuustilanteissakaan pääse merkittäviä määriä radioaktiivisia aineita ympäristöön.

Vaikka säiliöiden tarkoituksena on estää ihmisten altistuminen säteilylle kaikissa tilanteissa, onnettomuusmahdollisuus otetaan huomioon kuljetusjärjestelyjä suunniteltaessa. Esimerkiksi kuljetusajoneuvon, -henkilökunnan, -reittien ja -aikataulun avulla voidaan vähentää onnettomuuskisien mahdollisuutta ja seurauksia. Onnettomuustilanteissa tarvittavia toimenpiteitä suunnitellaan ja harjoitellaan etukäteen sekä hankitaan ja ylläpidetään tarvittavia laite- ja henkilöresursseja. Toimenpiteet esitetään hätätilanneohjeissa. Selvitysnäiden valmiusjärjestelyjen suunnittelusta, toteutuksesta ja ylläpidosta esitetään valmiussuunnitelmassa ja lisäksi tahallisen vahingonteon osalta turvasuunnitelmassa, jotka on liitettävä Säteilyturvakeskukselle jätettävään kuljetuslupahakemukseen. Palo- ja pelastusviranomaiset, Säteilyturvakeskus, poliisi ja muut viranomaiset varautuvat samantapaisesti onnettomuustilanteisiin. Hankkeesta vastaavan ja viranomaisten suunnitelmat sovitaan yhteen ja yhteisiä harjoituksia järjestetään tarvittaessa.

Viranomaisten nykyiset tehtävät ja vastuu pelastustoiminnassa on asetettu

säädöksissä, joita ovat mm. laki ja asetus palo- ja pelastustoimesta, ja määräyksissä, mm. sisäasiainministeriön (1997) määräys ”Säteilyvaaratilanteessa tarvittavien suojelutoimenpiteiden suunnittelu ja niistä tiedottaminen”. Viranomaisten vastuuta onnettomuustilanteissa on selvitetty sisäasiainministeriön (1988) ohjeessa ”Yleisen pelastuspalvelun suunnittelu”. Sisäasiainministeriön (1998) ohje ”Toiminta säteilyonnettomuustilanteissa” antaa perusteet pelastustoiminnan suunnittelulle ja toimeenpanolle normaaliolojen säteilytilanteiden varalle.

Sisäasiainministeriön (1997) määräyksen mukaan säteilyvaaratilanteet on sisällytettävä yhtenä onnettomuustyyppinä kaikkien läänien ja yhteistoiminta-alueiden yhteistoimintasuunnitelmiin sekä kuntien pelastuspalvelusuunnitelmiin. Riskit ja niiden aiheuttajat ovat kuitenkin erilaiset maan eri osissa. Loviisan ydinvoimalaitoksen varautumisalueella (Loviisa, Pernaja, Pyhtää, Ruotsinpyhtää) ja Olkiluodon ydinvoimalaitoksen varautumisalueella (Rauma, Eurajoki, Luvia) on varauduttava erityisellä tavalla ydinvoimalaitosten onnettomuuksiin. Sisäasiainministeriön (1998) ohjeessa ”Toiminta säteilyonnettomuustilanteissa” on käsitelty varautumisen suunnittelun tueksi eräitä säteilyonnettomuuksia.

Kansainvälinen atomienergiajärjestö IAEA (1996) on esittänyt mm. seuraavat ohjeelliset toimenpidetasot, joilla suojellaan väestöä säteilyn vaikutuksilta:

- Sisälle suojautuminen, jos vältetty säteilyannos on vähintään 10 mSv enintään kahden vuorokauden aikana.
- Suojaväistö (tilapäinen poistuminen päästön suunnasta), jos vältetty säteilyannos on vähintään 50 mSv enintään viikon aikana.
- Siirtyminen pois pitkäksi ajaksi, jos vältetty säteilyannos on vähintään 30 mSv kuukauden aikana.
- Elintarvikkeen käyttörajoitus, jos sen sisältämien radionuklidien pitoisuus on vähintään 1–1000 Bq/kg radionuklidista riippuen; esimerkiksi pelkälle Cs-137:lle toimenpidetaso on 1000 Bq/kg.

Ohjeellisella toimenpidetasolla tarkoitetaan sellaista suojaustoimenpiteen avulla vältettyä säteilyannosta (tai siitä johdettua radionuklidien pitoisuutta), jota voidaan pitää järkevänä ja oikeutettuna toimenpiteen mahdollisesti aiheuttamiin haittoihin verrattuna.

Suolasen ym. (1999) raportissa tarkastellaan myös kuljetusten onnettomuustilanteista aiheutuvaa säteilyaltistusta. Tarkasteltujen B-tyyppisten kuljetussäiliöiden arvioidaan kestävän vuotamatta mahdolliset ajoneuvon tai ajoneuvojen törmäykset, tulipalot ja uppoamiset. Tästä huolimatta arvioitiin, mitä seurauksia erilaisista oletetuista vuodoista voisi olla.

Ensimmäisessä onnettomuustyyppissä oletettiin, että maanpinnalla tapahtuneen törmäyksen seurauksena säiliö alkaa vuotaa niin, että säiliön sisälle polttoaineesta vapautuneita radioaktiivisia aineita pääsee lyhyessä ajassa ympäristöön. Toisena onnettomuustyyppinä oletettiin edellisen vuodon lisäksi samanaikainen tulipalo ja kolmantena tyyppinä tarkasteltiin

vastaavia onnettomuuksia merellä mukaanlukien säiliön uppoaminen ja radioaktiivisten aineiden vapautuminen mereen. Neljäntenä tyyppinä tarkasteltiin, millaisia seurauksia tahallisesta väkivaltaisesta säiliön vaurioittamisesta voisi aiheutua.

Onnettomuustilanteiden päästöistä aiheutuvia säteilyannoksia arvioitiin ARANO-tietokoneohjelmalla. Ohjelman käyttämä malli ottaa huomioon mm. ilmakehään päässeiden radioaktiivisten aineiden kulkeutumisen ilmassa erilaisissa säätilanteissa, laskeutumisen kuivana tai sateen vaikutuksesta maanpinnalle ja kasvien päälle sekä kertymisen maataloustuotteisiin erilaisia kulkeutumisreittejä pitkin. Annokset voidaan laskea päästöpilven ja maahan laskeutuneiden radioaktiivisten aineiden aiheuttamasta ulkoisesta säteilystä sekä hengityksen ja ruokailun kautta kehoon joutuneiden radioaktiivisten aineiden aiheuttamasta sisäisestä säteilystä. Koska mallin parametreille valittiin hyvin konservatiiviset arvot, lasketut annokset edustavat ylärajoja mahdollisille säteilyannoksille.

Onnettomuuspäästöjen leviämistilanteina käytettiin eräitä yksittäisiä säätilanteita sekä esiintymistodennäköisyydellä painotettua vuoden pituisen jakson aikana kerättyä leviämisaineistoa. Säätilannetta luonnehtivat yleisesti stabiiliusluokka, tuulen nopeus ja sateen esiintyminen tai esiintymättömyys. Yksilön annoksen odotusarvoa ja väestön kollektiivisen annoksen todennäköisyysjakaumaa laskettaessa otettiin huomioon säätilanteiden vuosittainen jakauma. Asukastiheydeksi oletettiin etäisyydelle 0–2 km 1000 henkilöä/km², välille 2–5 km 400 henkilöä/km², ja välille 5–100 km 10 henkilöä/km². Väestön ei oletettu erityisesti suojauvan säteilyltä. Yhden kuukauden, yhden vuoden ja 50 vuoden aikana kertyviä annoksia laskettiin kolmelle

altistusreitille: suora ulkoinen säteily päästöpilvestä ja laskeumasta sekä sisäinen säteily hengityksen välityksellä kehoon joutuneista radioaktiivisista aineista. Yhden kuukauden annoksen avulla voidaan arvioida varhaisvaikutusten esiintymistä. Pitkän ajan kuluessa kertyvien annosten avulla voidaan puolestaan arvioida myöhäisvaikutuksia olettaen, ettei säteilyltä suojauduta.

Ensimmäisen onnettomuustyyppin osalta tarkasteltiin kahta eri tapausta: 1) *vain pieni osa polttoainesauvoista vaurioituu* (melko realistinen arvio) ja 2) *kaikki sauvat vaurioituvat* (hyvin konservatiivinen arvio). Ympäristöön oletetaan pääsevän 100 % säiliön sisälle vapautuneista kaasumaisista aineista sekä 10 % hiukkasmaisista aineista ja päästön kestävä 30 minuuttia. Jälkimmäisessä tapauksessa ympäristöön pääsee säiliön kaikkiaan sisältämästä tritiumista 50 %, kryptonista 11 %, jodista 4,5 %, kesiumista 0,0014 % ja muista vapautuvista aineista 0,0003 %.

Kaikkien sauvojen vaurioituessa henkilön 1 kk:n annokseksi valitussa säätilanteessa (stabiiliusluokka D, tuulennopeus 5 m/s, ei sadetta) 100 m:n päässä arvioitiin alle 0,4 mSv ja jo 1 km:n päässä alle 0,04 mSv. Sade nostaisi vähän annoksia lähialueella. Säteilyn varhaisvaikutuksia ei esiintyisi näissä olosuhteissa. Vastaavat 50 vuoden annokset ovat alle 30 mSv ja 3 mSv. Hengityksen kautta aiheutuva annos on selvästi suurempi kuin päästöpilvestä suoran säteilyn kautta aiheutuva annos. Pitkällä aikavälillä laskeumasta suoran säteilyn kautta aiheutuva annos on suunnilleen yhtä merkittävä. Väestön kollektiivisen 50 vuoden annoksen yläarvoksi (99,5 % todennäköisyydellä) arvioitiin 13 manSv, josta seuraisi myöhäisvaikutuksina korkeintaan yksi vakava terveyshaitta

(0,073 haittaa/manSv). Annokset ovat pieniä luonnonsäteilystä aiheutuviin annoksiin verrattuna (useita millisievertejä vuodessa). Suojautumistoimenpiteet pienentäisivät mahdollisia vaikutuksia.

Jos kysymyksessä on lisäksi samanlainen tulipalo, oletetaan 10 minuutin kuluessa ympäristöön pääsevän säiliön sisälle vapautuneista kaasumaisista aineista 100 % ja hiukkasmaisista aineista 50 %, mutta päästöpilven nousevan korkeammalle lämmön vaikutuksesta. Suurin annos henkilölle kertyisi tällöin 1 km:n päässä. Annos olisi pienempi kuin edellisen tilanteen annos 100 m:n päässä.

Merellä tapahtuvat onnettomuudet olisivat väestön kannalta yleensä lievempiä kuin mantereella tapahtuvat, koska meri- ja saaristoalueella on vähemmän väestöä. Säiliö on suunniteltu kestämaan uppoamisen syvälle veteen. Jos kuitenkin radioaktiivisia aineita vapautuisi meriveteen, väestölle aiheutuvat annokset olisivat kalojen syönninkin kautta vähäiset mm. siksi, että radioaktiiviset aineet laimentuisivat suureen vesimäärään.

Neljännessä onnettomuustyyppissä oletettiin, että kuljetussäiliö menettäisi eheytensä ulkoisen tekijän (esimerkiksi tahallisen vahingonteon) seurauksena ja noin 1 % polttoaineesta vaurioituu pahoin ja päästö tapahtuu äkillisesti. Ympäristöön pääsee hengitettävässä muodossa säiliön sisältämistä kaasumaisista aineista noin 2 %, kesiumista 0,09 % ja muista aineista 0,008 %. Toisaalta tarkasteltiin suorasta säteilystä aiheutuvaa annosnopeutta tilanteessa, jossa polttoaineniippuja jäisi joko osin tai kokonaan suojaamattomiksi.

Valitussa säätilanteessa (stabiiliusluokka D, tuulennopeus 5 m/s, ei

sadetta) henkilön 1 kk:n annokseksi 100 metrin päässä arvioitiin alle 14 mSv ja jo 1 kilometrin päässä alle 1,4 mSv. Sade nostaisi vähän annoksia lähialueella. Säteilyn varhaisvaikutuksia ei esiintyisi näissä olosuhteissa. Vastaavat 50 vuoden annokset ovat alle 1400 mSv ja 140 mSv. Hengityksen kautta aiheutuva annos on selvästi suurempi kuin päästöpilvestä suoran säteilyn kautta aiheutuva annos. Pitkällä aikavälillä laskeumasta suoran säteilyn kautta aiheutuva annos on suunnilleen yhtä merkittävä. Lasketusta 1400 mSv:n annoksesta aiheutuvan vakavan terveyshaitan todennäköisyys on alle 10 % ($7,3 \cdot 10^{-3} \text{ %/mSv}$).

Vertailun vuoksi mainittakoon, että luonnonsäteilystä 50 vuoden kuluessa henkilölle kertyvä annos on noin 150 mSv. Väestön kollektiivisen 50 vuoden annoksen yläarvoksi (99,5 %:n todennäköisyydellä) arvioitiin alle 500 manSv, josta seuraisi myöhisvaikutuksina korkeintaan 36 vakavaa terveyshaittaa (0,073 haittaa/manSv). Suojautumistoimenpiteet pienentäisivät mahdollisia vaikutuksia, koska suurimmat annokset kertyvät pitkän ajan kuluessa. Luonnonsäteilystä yhden vuoden aikana kertyvä kollektiivinen annos suomalaisille on yli 30-kertainen, noin 15000 manSv.

Suojatta olevista polttoainenipuista aiheutuisi lähialueella korkea annosnopeus. Esimerkiksi kolmestakymmenestä kimpuna ilmassa olevasta Loviisan voimalaitoksen polttoainenipusta aiheutuva annosnopeus olisi vaimentunut arvoon 0,1 mSv/t noin 200 metrin päässä. CASTOR-VVER-tyyppisessä säiliössä on tilaa 84 nipulle. Todellisessa tilanteessa polttoaine sijaitsisi maanpinnalla, jolloin ympärillä olevat aineet, esimerkiksi säiliö, maasto, ajoneuvo ja itse polttoaine, vaimentaisivat säteilyä.

Myös eri kuljetusmuotojen liikenne-onnettomuuksien todennäköisyyttä ja vakavuutta on tarkasteltu (Suolanen ym. 1999). Onnettomuuksien ja varsinkin säteilyseurausten kannalta vakavien onnettomuuksien todennäköisyys arvioitiin erittäin pieneksi. Liikenne-onnettomuuksista aiheutuvien säteilyannosten odotusarvot (todennäköisyys x annos) arvioitiin selvästi pienemmiksi kuin kuljetuksista normaalisti aiheutuvat hyvin pienet säteilyannokset.

Käytetyn polttoaineen kuljetuksista maanteitse, rautateitse ja meritse on ulkomailla kokemusta usean kymmenen vuoden ajalta ja Suomessakin yli kymmenen vuoden ajalta. Yhtään merkittäviä säteilyseurauksia aiheuttanutta onnettomuutta ei ole sattunut.

Onnettomuustilanteen päästöjen radioaktiivisia aineita ja niiden lähettämää säteilyä saatettaisiin havaita mittaamalla ympäristössä. Vaikutusalueen laajuus ja muoto riippuisivat päästöjen suuruudesta ja vallitsevasta säätilanteesta. Havaitsemista vaikeuttaisivat luonnon radioaktiiviset aineet ja muualta peräisin olevat keinotekoiset radioaktiiviset aineet. Edellä tarkastelluista onnettomuuksista ensimmäisen vaikutusalue ulottuisi leviämissuunnassa korkeintaan noin 5 km:n päähän ja jälkimmäisen noin 30 km:n päähän, kun rajana pidetään annosnopeutta 0,1 mSv/v (luonnonsäteilystä keskimäärin noin 3 mSv/v).

Onnettomuustilanteessa tehtävien toimenpiteiden tavoitteena on estää ja rajoittaa radioaktiivisten aineiden leviämistä ympäristöön, arvioida ja mitata radioaktiivisten aineiden päästöt ja niistä aiheutuvat pitoisuudet ja annosnopeudet ympäristössä sekä suojata tarvittaessa väestöä säteilyaltistukselta. Toimenpiteiden johtaminen on aluksi kuljetushenkilökunnan vastuulla, kunnes viranomaiset ovat valmiit

johtamaan toimintaa. Onnettomuuden sattuessa hankkeesta vastaava tekee viivyttelämättä ilmoituksen palo- ja pelastusviranomaisille, Säteilyturvakeskukselle ja tarpeen mukaan muille tahoille.

Onnettomuuksista aiheutuvat annokset ovat todennäköisesti niin pienet, etteivät ne edellytä alkuvaiheessa suojautumista ympäristössä eivätkä todennäköisesti myöhemminkään. Lähialueella suojautuminen sisätiloihin voi kuitenkin tulla kyseeseen, kunnes vaara on ohi. Annosnopeudet ja radioaktiivisten aineiden pitoisuudet ympäristössä, esimerkiksi maaperässä ja maataloustuotteissa, mitataan perusteellisesti. Mittaustulosten ja muiden seikkojen perusteella viranomaiset päättävät, rajoitetaanko tilapäisesti oleskelua jollakin alueella ja ympäristön maataloustuotteiden, keräilytuotteiden, kalan ja riistan käyttöä ravinnoksi.

Mikäli säiliö olisi kuitenkin vaurioitunut esimerkiksi tahallisen vahingon teon seurauksena vakavasti, onnettomuuspaikan lähialueen väestö voisi joutua siirtymään joksikin aikaa muualle. Vaurioitunut säiliö ja polttoaine saatettaisiin joutua peittämään sopivin suojin ja varastoimaan onnettomuuspaikalla, kunnes niiden poissiirtäminen ja muu jatkokäsittely olisivat mahdollisia. Suojaamisen jälkeen voitaisiin tarvittaessa aloittaa ympäristön ennallistaminen.

Kaiken kaikkiaan käytetyn polttoaineen kuljetusonnettomuuksien terveysriski saadaan kuljetussäiliön ja kuljetusjärjestelyjen sekä onnettomuuksiin varautumisen kautta hyvin pieneksi.

Kuljetusten yksilöille aiheuttama vuotuinen säteilyaltistus ei normaalisti riipu loppusijoitettavan polttoaineen kokonaismäärästä, koska loppusijoitus-

laitoksen käsittelykapasiteetti määräisi joka tapauksessa kuljetusten vuosittaisen enimmäismäärän. Terveysriskien voidaan kokonaisuutena kuitenkin karkeasti olettaa kasvavan suoraan verrannollisesti toiminnan kestoon ja siten myös polttoaineen kokonaismäärään nähden. Riskien vähäisyyden takia polttoainemäärän kolminkertaisellaan kasvulla ei silti olisi olennaista merkitystä väestön terveyden kannalta.

Loppusijoituslaitoksen käyttö

Loppusijoituslaitoksen käytönaikaiset turvallisuusmääräykset

Loppusijoituslaitos suunnitellaan ja rakennetaan sekä sitä käytetään niin, että laitos täyttää säädöksissä ja viranomaisten määräyksissä esitettävät vaatimukset. Yksityiskohtaisimmat vaatimukset loppusijoituslaitoksen käytölle on esitetty Valtioneuvoston päätöksessä käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuudesta (Valtioneuvosto 1999). Näiden vaatimusten mukaan loppusijoituslaitos ja sen käyttö tulee suunnitella siten, että

- laitoksen käytön ollessa häiriötöntä, radioaktiivisten aineiden päästöt ympäristöön ovat merkityksettömän pienet
- odotettavissa olevien käyttöhäiriöiden seurauksena väestön eniten altistuville yksilöille aiheutuva efektiivinen vuosiansa ei ylitä arvoa 0,1 mSv
- oletetun onnettomuuden seurauksena väestön eniten altistuville yksilöille aiheutuva efektiivinen vuosiansa ei ylitä arvoa 1 mSv.

Odotettavissa olevalla käyttöhäiriöllä tarkoitetaan käyttövaiheen aikaista turvallisuuteen vaikuttavaa tapahtumaa, jonka arvioidaan sattuvan keskimäärin harvemmin kuin kerran vuodessa, mutta jolla on huomattava todennäköisyys sattua ainakin kerran käyttövaiheen aikana.

Oletetulla onnettomuudella tarkoitetaan käyttövaiheen aikaista turvallisuuteen vaikuttavaa tapahtumaa, jolla on vain vähäinen todennäköisyys sattua käyttövaiheen aikana.

Mainittujen annosrajoitusten lisäksi turvallisuusmääräyksiin sisältyy joukko yksityiskohtaisia ohjeita, jotka koskevat sekä laitoksen suunnittelua ja rakentamista että itse käyttötapaa.

Terveysvaikutukset laitoksen toiminnassa normaalisti

Loppusijoituslaitoksen täyttäessä turvallisuusvaatimukset radioaktiivisista aineista ei aiheudu normaalisti, käytön ollessa häiriötöntä, merkittäviä terveysriskejä ympäristön väestölle. Käyttöhäiriöitä koskeva vuosiansaraja puolestaan on pieni osa, noin 3 %, luonnonsäteilystä huoneilman radon mukaanlaskien suomalaiselle keskimäärin aiheutuvasta vuosittaisesta annoksesta, joka on noin 3 mSv. Annosrajan suuruisen säteilyannoksen yksilölle aiheuttaman vakavan terveyshaitan todennäköisyys on ICRP:n nimellistä kerrointa (taulukko 8-5) käyttäen alle 0,0007 %. Käyttövaiheen ja sulkemisen kestäessä perustapauksen mukaisesti noin 25 vuotta kokonaistodennäköisyys olisi alle 0,02 %. Vaiheiden kestäessä pitempään kokonaistodennäköisyys olisi ihmisen elinajan rajallisuuden vuoksi alle 0,1 %. Luonnonsäteilystä aiheutuva, samalla tavalla arvioitu riski on 30-kertaa suurempi. Suomessa henkilön todennäköisyys sairastua kuolemaan johtavaan syöpään on tilastollisesti noin 20 % (Lautkaski ym. 1988). Käyttöhäiriöistä yksittäiselle henkilölle aiheutuva terveysriski ei siten olisi merkittävä. Koko väestölle aiheutuva terveysriski ei myöskään olisi merkittävä, koska yksittäisten henkilöiden annokset olisivat enimmilläänkin hyvin pieniä.

Loppusijoituslaitoksen rakenne ja käyttö on kuvattu luvussa 4. Yksityiskohtai-

sempi kuvaus laitoksesta on esitetty Kukkolan (1999b) ja Riekkolan (Riekkola ym. 1999) raporteissa. Loppusijoituslaitoksen käyttövaiheen säteilyturvallisuutta tarkastellaan työraportissa (Rossi ym. 1999) laitoksen esisuunnittelua ja YVA-menettelyä varten. Arvio perustuu Kukkolan (1999a) esittämään laitoksen normaalikäytön, käyttöhäiriöiden ja onnettomuustilanteiden määrittelyyn. Loppusijoitustilojen lounhinnan seurauksena lisääntyviä luonnon radonkaasun päästöjä ja niiden aiheuttamia säteilyannoksia tarkastellaan Vesterbackan ja Arvelan (1998) laatimassa raportissa.

Merkittävin osa loppusijoituslaitoksen radioaktiivisista aineista sisältyy käytettyyn polttoaineeseen. Käytetyssä polttoaineessa puolestaan suurin osa radioaktiivisista aineista on polttoainesauvojen kaasutiiviiden putkimaisten suojakuorien sisällä olevissa kiinteissä polttoainetabletteissa, selvästi pienempi osa polttoainetablettien pinnoilla ja suojakuoren sisäpinnalla ja niiden välisessä tilassa sekä itse suojakuorissa ja muissa polttoaineniippujen rakenneosissa. Vain pieni osa radioaktiivisista aineista on kaasumaisia tai muuten helposti ilmaan vapautuvia loppusijoituslaitoksessa esiintyvissä käytetyn polttoaineen lämpötiloissa.

Loppusijoituslaitoksen käyttövaiheen ympäristövaikutusten kannalta merkittävimpien radionuklidien enimmäismäärät yksittäisessä polttoaineniipussa ja loppusijoituskapselissa esitetään taulukossa 8-15. Yksittäisessä kuljetussäiliössä olevat vastaavat määrät esitetään taulukossa 8-8.

Kapselointilaitoksessa on arvioitu sijaitsevan samanaikaisesti enintään kahdeksan kuljetussäiliöllistä polttoainetta (esim. 4 kpl CASTOR-TVO- ja 4 kpl CASTOR-VVER-tyyppistä säiliötä) ja 12 täytettyä loppusijoituskapselia (12 niippua/kapseli).

Radionuklidi	Lyhenne	Puoliintumis- aika (v)	Määrä (Bq) Nippu	Kapseli
Tritium (Vety-3)	H-3	12,3	$1,6 \cdot 10^{12}$	$1,7 \cdot 10^{13}$
Krypton-85	Kr-85	10,7	$2,5 \cdot 10^{12}$	$2,6 \cdot 10^{13}$
Strontium-90	Sr-90	28,6	$4,5 \cdot 10^{12}$	$4,8 \cdot 10^{13}$
Rutenium-106	Ru-106	1,01	$4,4 \cdot 10^8$	$5,0 \cdot 10^9$
Jodi-129	I-129	$1,57 \cdot 10^7$	$3,4 \cdot 10^8$	$3,5 \cdot 10^9$
Kesium-134	Cs-134	2,06	$2,5 \cdot 10^{12}$	$2,4 \cdot 10^{13}$
Kesium-137	Cs-137	30,2	$6,7 \cdot 10^{12}$	$7,0 \cdot 10^{13}$
Plutonium-238	Pu-238	87,8	$4,7 \cdot 10^{12}$	$3,8 \cdot 10^{13}$
Plutonium-239	Pu-239	$2,41 \cdot 10^4$	$3,1 \cdot 10^{12}$	$3,5 \cdot 10^{13}$
Plutonium-241	Pu-241	14,4	$5,0 \cdot 10^{12}$	$5,8 \cdot 10^{13}$
Amerikium-241	Am-241	$4,32 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^{12}$	$2,9 \cdot 10^{13}$
Curium-244	Cm-244	18,1	$3,3 \cdot 10^{12}$	$2,1 \cdot 10^{13}$

Taulukko 8-15. Käyttövaiheen turvallisuuden kannalta merkittävimpien radionuklidien enimmäismäärät yksittäisessä polttoainenipussa ja loppusijoituskapselissa (Rossi ym. 1999). Niput ovat vähintään 20 vuotta varastoituja Olkiluodon voimalaitoksen nippuja. Yksittäisen nipun palamaksi on oletettu 45 GWd/tU ja kapselin nippujen keskimääräiseksi palamaksi 40 GWd/tU.

Loppusijoituslaitoksen käyttövaiheen ja sulkemisen normaaleissa ja häiriötilanteissa radioaktiivisten aineiden arvioidaan pääsevän ympäristöön etupäässä ilman kautta ja vain vähäisin määrin laitoksesta poistuvien vesien mukana. Siksi tässä yhteydessä tarkastellaan lähemmin vain ilma-kehään tapahtuvia päästöjä.

Normaalit päästöt ja suora säteily

Normaalissa käsittelyssä polttoainennippujen ja virtauskanavien ulkopinnoilta voi irrota radioaktiivisia aineita, jotka ovat kertyneet sinne käytön ja varastoinnin aikana. Pieni osa nippujen sauvoista saattaa menettää tiiviytensä normaalin kuljetuksen ja kapselointilaitoksessa tapahtuvan käsittelyn aikana tai tiiviysvaurio on saattanut syntyä jo voimalaitoksella, joten myös suojakuoren sisältä voi normaalin käsittelyn yhteydessä vapautua radioaktiivisia aineita. Radioaktiiviset aineet vapautuvat aluksi kuljetussäiliöiden, kapselointitilojen tai kapselien sisälle.

Käytettyä polttoainetta sisältävät kuljetussäiliöt avataan käsittelykammiossa, jossa polttoaine siirretään kapselien sisälle ja täydet kapselit suljetaan tiiviisti. Kapselointitiloihin

vapautuneet radioaktiiviset aineet otetaan suurimmaksi osaksi talteen, joten kapselointitiloista ei pääse merkittävästi radioaktiivisia aineita ympäristöön. Käytettyä polttoainetta sisältävien kapselien ulkopinnan puhtaudesta huolehditaan niin, ettei radioaktiivisia aineita vapaudu kapselien pinnalta loppusijoitustiloihin, kun kapselit loppusijoitetaan. Taulukossa 8-16 esitetään arvioidut enimmäismäärät normaaleille vuosittaisille radioaktiivisten aineiden päästöille ilmakehään käyttövaiheessa, kun loppusijoituslaitoksen tiloihin

vapautuneista kaasumaisista aineista (vety, krypton ja jodi) oletetaan pääsevän ympäristöön 100 % ja muista aineista 0,3 %.

Pieniä määriä ydinvoimalaitokselta peräisin olevia radioaktiivisia aineita voi kulkeutua kapselointilaitokseen myös kuljetussäiliön pinnalla ja säiliön suojakotelon (sääsuoja) sisällä. Kuljetussäiliön ulkopinta ja sääsuoja puhdistetaan tarvittaessa kapselointilaitoksessa ja radioaktiiviset aineet otetaan talteen samaan tapaan kuin muut radioaktiiviset aineet.

Kalliossa ja kalliotiloihin vuotavassa pohjavedessä on luonnon radioaktiivisia aineita, joista lähinnä kaasumainen radonia vapautuu loppusijoitustilojen ilmaan. Radon ja sen hajoamistuotteet pääsevät ilmastointi-ilman mukana ympäristöön. Radonia erittyy ilmakehään jonkin verran myös maanpinnalle pumpatusta pohjavedestä sekä maanpinnalla olevista louhe- ja murskekasoista. Radonin todennäköinen päästönopeus ilmakehään on enintään $1 \cdot 10^{12}$ Bq/v (Vesterbacka & Arvela 1998).

Radioaktiivisten aineiden keräämisessä käytetään esimerkiksi alipaineista

Radionuklidi	Päästö (% kuljetussäiliön enimmäissisällöstä)		
	Normaali toiminta	Häiriötilanne	Onnettomuustilanne
Tritium (Vety-3)	$2,3 \cdot 10^{-1}$	$3,8 \cdot 10^{-1}$	$4,4 \cdot 10^{-1}$
Krypton-85	$5,2 \cdot 10^{-2}$	$8,7 \cdot 10^{-2}$	$8,7 \cdot 10^{-2}$
Strontium-90	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$6,6 \cdot 10^{-3}$	$7,8 \cdot 10^{-3}$
Rutenium-106	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$6,4 \cdot 10^{-3}$	$8,5 \cdot 10^{-3}$
Jodi-129	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$3,7 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-2}$
Kesium-134	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$
Kesium-137	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$
Plutonium-238	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$7,8 \cdot 10^{-3}$	$6,1 \cdot 10^{-3}$
Plutonium-239	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$6,3 \cdot 10^{-3}$	$8,6 \cdot 10^{-3}$
Plutonium-241	$3,7 \cdot 10^{-3}$	$6,1 \cdot 10^{-3}$	$8,8 \cdot 10^{-3}$
Amerikium-241	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$6,1 \cdot 10^{-3}$	$8,7 \cdot 10^{-3}$
Curium-244	$5,1 \cdot 10^{-3}$	$8,6 \cdot 10^{-3}$	$4,9 \cdot 10^{-3}$

Taulukko 8-16. Loppusijoituslaitoksen normaalit vuosittaiset radioaktiivisten aineiden enimmäispäästöt ilmakehään käyttövaiheessa ja loppusijoituslaitoksen oletettujen häiriö- ja onnettomuustilanteiden radioaktiivisten aineiden enimmäispäästöt ilmakehään käyttövaiheessa. Määrät esitetään osuuksina kuljetussäiliön sisältämistä enimmäismääristä (taulukko 8-8, CASTOR-TVO).

ilmastointia ja poistoilman suodatusta, pintojen imurointia ja jätevesien suodatusta. Kerätyt radioaktiiviset aineet käsitellään ja varastoidaan kapselointilaitoksessa muiden toiminnan aikana kertyvien radioaktiivisten jätteiden kanssa. Jätteet pakataan esimerkiksi betonimalla ne tynnyreihin, jotka sijoitetaan loppusijoitustilojen yhteyteen louhittuun erilliseen kalliotilaan.

Sulkemisen yhteydessä kapselointilaitoksesta poistetaan radioaktiivisiksi jätteiksi luokiteltavat laitteet ja materiaalit loppusijoitettavaksi käytön-aikaisten jätteiden kanssa. Poistamisen yhteydessä kapselointilaitoksen tilojen ilmaan voi vapautua vähän radioaktiivisia aineita, jotka otetaan suurimmaksi osaksi talteen samoin menetelmin kuin käyttövaiheessa.

Loppusijoituslaitoksessa olevasta käytetystä polttoaineesta ja muista, olennaisesti vähemmän aktiivisista säteilylähteistä tuleva ionisoiva säteily vaimennetaan riittävän matalalle tasolle säteilysuojilla, joita ovat mm. siirtosäiliö, loppusijoituskapseli ja betonirakenteet. Annosnopeus loppusijoituslaitoksen rakennusten vieressä on yleensä samaa suuruusluokkaa kuin luonnon taustasäteilystä aiheutuva annosnopeus eli n. 0,1 $\mu\text{Sv/t}$, ja enintään 2,5 $\mu\text{Sv/t}$. Laitosalueen ulkopuolella loppusijoituslaitoksesta tulevalta suoralla säteilyllä ei ole merkitystä esimerkiksi luonnon taustasäteilyyn verrattuna.

Häiriötilanteiden päästöt

Loppusijoituslaitoksen häiriötilanteista merkittävimmiksi arvioitiin seuraavat:

- polttoainesauva on menettänyt tiiviytensä kuljetuksen aikana eikä kuljetussäiliön tyhjentämisen aikana säiliöön vapautuneita radioaktiivisia aineita saada otettua talteen normaalla tavalla

- toimintavirheen tai laitevian seurauksena polttoaineniippuja kolhitaan kapselointitiloissa ja polttoainesauvoja vaurioituu
- polttoaineniippujen mahdollisen kuivauksen yhteydessä lämpötila nousee tavallista korkeammaksi laitevian seurauksena, jolloin polttoainesauva menettää tiiviytensä tai niin on tapahtunut jo aiemmin.

Radioaktiivisten aineiden vapautumisen kannalta häiriötilanteet eroavat normaaleista tilanteista lähinnä siten, että useampia polttoainesauvoja menettää samanaikaisesti tiiviytensä tai että korkeampi lämpötila lisää vapautumista yksittäisestä sauvasta.

Radioaktiiviset aineet vapautuvat häiriötilanteissakin kapselointitiloihin tai siellä sijaitseviin laitteisiin, joista poistuvan ilman suodatuksen oletetaan toimivan normaalisti. Taulukossa 8-16 esitetään suurimmat arvioidut radioaktiivisten aineiden päästöt ilmakehään yksittäisestä häiriötilanteesta, kun loppusijoituslaitoksen tiloihin vapautuneista kaasumaisista aineista oletetaan pääsevän ympäristöön 100 % ja muista aineista 0,3 %.

Säteilyannokset ja vaikutusalueet normaaleissa ja häiriötilanteissa

Luonnon radon ja sen hajoamistuotteet aiheuttavat säteilyannoksia lähinnä joutuessaan kehoon hengityksen välityksellä. Vesterbacka ja Arvela (1998) ovat arvioineet näistä aiheutuvia säteilyannoksia. Muita normaalien ja häiriötilanteiden päästöistä aiheutuvia säteilyannoksia on arvioitu ARANO-tietokoneohjelmalla (Rossi ym. 1999) samoin periaattein kuin aiemmin kuvattuja kuljetusten vaikutuksia.

Häiriötilanteiden todennäköisyydet arvioidaan yksityiskohtaisen suunnittelun yhteydessä. Toiminnot suunnitellaan siten, että häiriöiden todennäköisyys on

pieni. Normaaleista yhden vuoden päästöistä 50 vuoden kuluessa väestöön kuuluvalla henkilöllä aiheutuva annos on alle 0,01 mSv (yli 99,5 %:n todennäköisyydellä) laitosalueen välittömässä läheisyydessä. Tällöin on oletettu, että heti laitoksen tontin ulkopuolella asutaan vakituisesti, harjoitetaan maataloutta ja käytetään ravinnoksi pääosin omia tuotteita. Merkittävin radionuklidi on kesium-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 kerta-luokkaa pienempi 5 km:n päässä kuin laitoksen välittömässä läheisyydessä. Kauempana annos on vielä pienempi. Normaaleista päästöistä aiheutuvat annokset ovat siten merkitykseltömän pieniä esimerkiksi luonnonsäteilyyn verrattuna (n. 3 mSv/v). Myöskään ympäristöön pääsevästä luonnon radonista ja sen hajoamistuotteista aiheutuvat annokset eivät olisi merkittäviä.

Yksittäisestä häiriötilanteesta aiheutuva suurin annos 50 vuoden kuluessa on alle 0,001 mSv (yli 99,5 %:n todennäköisyydellä). Häiriötilanteista aiheutuvat annokset jäävät siten selvästi pienemmiksi kuin vaatimusten mukainen raja-arvo 0,1 mSv vuodessa. Naapurimaissa annokset olisivat useita kerta-luokkia pienemmät, koska etäisyys on lyhimmillään Kuhmon Romuvaarasta Venäjälle noin 18 km, Loviisan Hästholmenista Viron mantereelle noin 80 km ja Eurajoen Olkiluodosta Ruotsin mantereelle yli 200 km.

Annokset kertyisivät samantapaisesti kuin normaaleista päästöistä aiheutuvat annokset.

Loppusijoituslaitoksen ympäristön ominaisuudet, esimerkiksi väestön määrä, sijainti, rakenne ja elintavat sekä ilmasto, vaikuttavat aiheutuviin säteilyannoksiin ja terveysriskeihin. Terveysriskien vähäisyyden takia laitoksen paikkavaihtoehtojen välillä ei kuitenkaan ole merkittävää eroa tässä suhteessa.

Normaalien päästöjen radioaktiivisia aineita saatettaisiin havaita mittaamalla hyvin pieninä pitoisuuksina laitoksen lähialueella, häiriötilanteiden seurauksena kauempanakin. Pitoisuuksien havaitsemista vaikeuttaisivat luonnon radioaktiiviset aineet ja muualta peräisin olevat keinotekoiset radioaktiiviset aineet. Kokonaisannosnopeutta mittaamalla ei havaittaisi muutoksia ympäristön säteilytilanteessa.

Jos loppusijoitettava polttoainemäärä olisi suurempi kuin perustapauksessa, käyttövaiheen kesto ja siten myös terveysriskit kasvaisivat suunnilleen suoraan verrannollisesti polttoainemäärän kasvuun. Riskien vähäisyyden takia polttoainemäärän kolminkertaisellaan kasvulla ei olisi olennaista merkitystä väestön terveyden kannalta.

Onnettomuustilanteet

Loppusijoituslaitoksen täyttäessä turvallisuusvaatimukset radioaktiivisista aineista ei oletettujen onnettomuuksienkaan kautta aiheudu merkittäviä terveysriskejä ympäristön väestölle käyttövaiheessa ja sulkemisen yhteydessä. Oletettuja onnettomuuksia koskeva vuosiannosraja on pieni osa luonnonsäteilystä huoneilman radon mukaanlukien suomalaiselle keskimäärin aiheutuvasta vuosittaisesta annoksesta, joka on noin 3 mSv.

Annosrajan suuruisen säteilyannoksen yksilölle aiheuttaman terveyshaitan todennäköisyys on ICRP:n nimellistä kerrointa (taulukko 8-5) käyttäen enintään 0,007 % ensimmäisenä vuotena, seuraavina vuosina pienempi. Kun otetaan huomioon tällaisten onnettomuuksien vähäinen todennäköisyys, jää onnettomuuksista aiheutuvan terveyshaitan kokonaistodennäköisyys pienemmäksi kuin käyttöhäiriöistä aiheutuisi niille ehdotettuun raja-arvoon verrattaessa. Koko väestölle aiheutuva terveysriski ei olisi myöskään merkittävä esimerkiksi luonnonsäteilystä aiheutuvaan riskiin verrattuna, koska yksittäisten henkilöiden annokset olisivat sitä pienempiä mitä kauempana henkilö asuu.

Oletetuilla onnettomuuksilla tarkoitetaan ydinvoimalaitosten tapauksessa turvallisuusjärjestelmien suunnitteluperusteina käytettäviä tilanteita (Valtioneuvosto 1991a). Samaa määritelmää oletetaan sovellettavan tässä myös loppusijoituslaitokseen. Voidaan myös kuvitella suunnitteluperusteita vakavampia onnettomuuksia, mutta niiden todennäköisyys arvioidaan suunnitteluperusteisia pienemmäksi. Tällöin niistäkin yksilölle aiheutuvan terveyshaitan kokonaistodennäköisyyden voidaan arvioida jäävän merkityksettömän pieneksi, vaikka tilanteen sattuessa väestön eniten altistuvien henkilöiden säteilyannos voisi olla suurempi kuin 1 mSv/v.

Onnettomuustilanteiden päästöt

Vakavimmiksi oletetuiksi onnettomuuksiksi on arvioitu seuraavat tilanteet:

- kuljetussäiliö putoaa; kaikki polttoainesauvat vaurioituvat menettäen tiiviytensä; säiliö pysyy tiiviinä; polttoaine poistetaan säiliöstä hallitusti
- kapseli putoaa; kaikki polttoainesauvat vaurioituvat menettäen

tiiviytensä; kapseli pysyy tiiviinä; polttoaine poistetaan kapselistä hallitusti

- kuljetussäiliön kansi putoaa avoimeen säiliöön; 1/10 polttoainesauvoista vaurioituu menettäen tiiviytensä
- polttoainenippu putoaa toisten nippujen päälle; kahden nipun kaikki sauvat vaurioituvat menettäen tiiviytensä
- kapselihissi putoaa iskunvaimentimena toimivaan vesialtaaseen; kapseli ja polttoainenippujen kaikki sauvat vaurioituvat menettäen tiiviytensä.

Näissä onnettomuustilanteissa polttoainesauvoista voi vapautua ilmaan kaasumaisten ja muiden ilmaan helposti vapautuvien aineiden lisäksi erikokoisia hiukkasia. Hiukkaset laskeutuvat koosta riippuvalla nopeudella huonetilan pinnoille, pienimmät leijuvat ilmassa pitkään. Kapselin rikkoutuessa vesialtaassa, ilmaan vapautuu lähinnä vain kaasumaisia aineita. Polttoaine ei kuumene näissä tilanteissa merkittävästi. Radioaktiiviset aineet vapautuvat oletetuissa onnettomuustilanteissa aluksi kapselointitiloihin tai hissikuiluun. Tiloista poistuvan ilman suodatuksen oletetaan toimivan normaalisti.

Taulukossa 8-16 on esitetty suurimmat arvioidut radioaktiivisten aineiden päästöt ilmakehään oletetusta onnettomuudesta, kun loppusijoituslaitoksen tiloihin vapautuneista kaasumaisista aineista on oletettu pääsevän ympäristöön 100 % ja muista aineista 0,3 %.

Loppusijoituslaitoksen käyttö- ja sulkemisvaiheen onnettomuustilanteissa radioaktiivisten aineiden arvioidaan pääsevän ympäristöön etupäässä ilman kautta ja vain vähäisissä määrin laitoksesta poistuvien vesien mukana. Siksi tässä yhteydessä tarkastellaan lähemmin vain ilmakehään tapahtuvia päästöjä.

Säteilyannokset ja vaikutusalueet onnettomuustilanteissa

Onnettomuustilanteiden päästöistä aiheutuvat säteilyannokset arvioitiin samaan tapaan kuin häiriötilanteidenkin seuraukset (Rossi ym. 1999). Onnettomuustilanteiden todennäköisyydet arvioidaan yksityiskohtaisen suunnittelun yhteydessä. Toiminnot suunnitellaan siten, että onnettomuuksien todennäköisyys käyttövaiheen ja sulkemisen aikana on erittäin pieni.

Oletetusta onnettomuustilanteesta aiheutuva suurin annos väestöön kuuluvalle henkilölle ensimmäisen vuoden kuluessa on alle 0,5 mSv ja 50 vuoden kuluessa alle 0,8 mSv (yli 99,5 %:n todennäköisyydellä). Oletetuista onnettomuustilanteista aiheutuvat annokset jäävät siten pienemmiksi kuin vaatimusten mukainen raja-arvo (1 mSv vuodessa). Suurin annos koituu 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.

Annos on ainakin kertaluokkaa pienempi 5 km:n päässä laitoksesta, kauempana vieläkin pienempi. Naapurimaissa annokset olisivat useita kertaluokkia pienemmät, koska etäisyys on lyhimmillään Kuhmon Romuvaarasta Venäjälle noin 18 km, Loviisan Hästholmenista Viron mantereelle noin 80 km ja Eurajoen Olkiluodosta Ruotsin mantereelle yli 200 km.

Onnettomuustilanteen päästöjen radioaktiivisia aineita ja niiden lähettämää säteilyä 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. Oletetun onnettomuuden vaikutusalue ulottuisi leviämissuunnassa korkeintaan noin 5 km:n päähän, kun rajana pidetään annosnopeutta 0,1 mSv/v (luonnonsäteilystä keskimäärin n. 3 mSv/v).

Jos loppusijoitettava polttoainemäärä on suurempi kuin perustapauksessa, käyttövaihe ja siten myös terveystriskit kasvavat suunnilleen suoraan verrannollisesti polttoainemäärän lisääntymiseen. Riskien vähäisyyden takia polttoainemäärän kolminkertaisellaan kasvulla ei olisi olennaista merkitystä väestön terveyden kannalta.

Edellä mainittujen oletettujen onnettomuuksien lisäksi muita periaatteessa mahdollisia onnettomuuksia ovat mm. maanjäristys, raskaan esineen, esimerkiksi lentokoneen törmäys kapselointilaitokseen, polttoaineen tuleminen kriittiseksi ja tahallinen vahingonteko. Kapselointilaitos suunnitellaan kestämään yleisimmät Suomessa esiintyvät maanjäristykset ja pienlentokoneen törmäys. Suuren lentokoneen tai esimerkiksi ison meteoriitin törmäyksen todennäköisyys on erittäin pieni.

Kriittisyysonnettomuus eli vapaiden neutronien ylläpitämä hallitsematon fissioiden ketjureaktio polttoaineessa voisi tapahtua, jos polttoainenuipusta muodostuisi riittävän iso ja tiheä kasautuma. Onnettomuus estetään suunnittelemalla polttoaineen käsittely- ja varastointitilat ja -laitteet siten, että tilanne on käytännössä mahdoton.

Tahalliseen vahingontekoon varaudutaan riittävin turvajärjestelyin. Polttoaine on kapselointilaitoksessa ja loppusijoituslaitoksissa hyvin suojattuna vahingonteolta.

Haitallisten vaikutusten ehkäisy ja rajoitus

Radioaktiivisten aineiden haitallisia ympäristövaikutuksia käyttövaiheessa ja sulkemisen yhteydessä ehkäistään ja rajoitetaan normaalien sekä häiriö- ja onnettomuustilanteiden osalta seuraavin yleisin suunnitteluperustein:

- Loppusijoituslaitoksessa käsitellään käytettyä polttoainetta, jonka aktiivisuutta on pienennetty välivarastomalla sitä yli 20 vuotta.
- Käytettyä polttoainetta käsitellään tiloissa, joiden rakenteet ja laitteistot toisaalta suojaavat polttoainetta odotettavissa olevilta loppusijoituslaitoksen ulkopuolisilta haitallisilta vaikutuksilta ja toisaalta ehkäisevät tai rajoittavat radioaktiivisten aineiden leviämistä ympäristöön.
- Käytetyn polttoaineen lähettämää säteilyä vaimennetaan riittävän alhaiselle tasolle säteilysuojilla.
- Radioaktiivisten aineiden vapautuminen laitostiloihin käytetyn polttoaineen käsittelyn yhteydessä rajoitetaan vähäiseksi. Vapautuneet kiinteät, nestemäiset ja ilmassa olevat hiukkasmaiset radioaktiiviset aineet otetaan talteen ja käsitellään radioaktiivisena jätteenä.
- Käytetyn polttoaineen tuottaman jälkilämmön poistumisesta huolehditaan siten, ettei polttoaine kuumene liikaa.
- Kuljetussäiliöitä, polttoainetta ja kapseleita käsitellään loppusijoituslaitoksessa valvonta-alueilla, joilla valvotaan säteilytasoa sekä radioaktiivisten aineiden määriä ilmassa, pinnoilla, vesissä ja muissa materiaaleissa. Alueilta ei päästetä valvomattomasti radioaktiivisia aineita ympäristöön. Alueilla on tarvittaessa omat ilmastointi-, jätteidenkäsittely- yms. järjestelmät.
- Turvallisuuden kannalta tärkeät toiminnot varmistetaan (turvallisuuden vaarantuminen edellyttää useaa samanaikaista vikaa tai puutetta).

- Siirtosäiliöiden, käytetyn polttoaineen ja kapselien siirtojärjestelmät suunnitellaan siten, että polttoaineeseen esimerkiksi putoamisen ja törmäyksen seurauksena kohdistuvan liiallisen kiihtyvyyden todennäköisyys on riittävän pieni.
- Vapaiden neutronien ylläpitämä hallitsematon fissioiden ketjureaktio polttoaineessa (kriittisyys-onnettomuus) estetään rakenteellisin ratkaisuin.
- Loppusijoituslaitos suunnitellaan siten, että tulipalon todennäköisyys on pieni ja mahdolliset seuraukset turvallisuuden kannalta vähäisiä.
- Loppusijoituslaitos suunnitellaan siten, että estetään luotettavasti räjähdykset, jotka voisivat vaarantaa polttoaineen, kapselien tai radioaktiivisia aineita sisältävien laitteiden tai tilojen eheyden.
- Turvallisuuden kannalta tärkeät rakenteet, järjestelmät ja laitteet sekä käytetyn polttoaineen sijoituspaikat suunnitellaan ydin- ja säteilyturvallisuutta koskevat vaatimukset huomioon ottaen siten, että lainvastaisen toiminnan estämiseksi tehtävät toimenpiteet (turvajärjestelyt) voidaan toteuttaa riittävän tehokkaasti. Turvajärjestelyt perustuvat sisäkkäisten turvallisuusvyöhykkeiden käyttöön niin, että vyöhykkeiden rajapinnat muodostavat riittävän tehokkaat rakenteelliset esteet luvattomalle sisäänkäymälle. Valvontakeskuksesta on varmennettu yhteys poliisiin ja laitoksen valvomoon.
- Hätätilanteen toimenpiteisiin varaudutaan säteilymittausjärjestelmän, radioaktiivisten aineiden leviämisen selvittämiseksi tarvittavan meteorologisen mittausjärjestelmän, viestijä hälytysjärjestelmien avulla sekä varaamalla tilat ja välineet ympäristövahinkojen rajoittamiseen (valmiusjärjestelyihin).

Hankkeesta vastaava varautuu onnettomuustilanteisiin suunnittelemalla ja harjoittelemalla tilanteissa tarvittavia toimenpiteitä etukäteen sekä hankkimalla ja ylläpitämällä tilanteissa tarvittavat resurssit. Toimenpiteet esitetään hätätilanneohjeissa. Selvitys näiden valmiusjärjestelyjen suunnittelusta, toteutuksesta ja ylläpidosta esitetään valmiussuunnitelmassa ja vastaavasti turvajärjestelyjen osalta turvasuunnitelmassa, jotka on liitettävä loppusijoituslaitoksen käyttöluvihakemukseen. Valmius- ja turvasuunnitelmia kehitetään tarpeen mukaan toimintavaiheessa. Palo- ja pelastusviranomaiset, Säteilyturvakeskus, poliisi ja muut viranomaiset varautuvat samaan tapaan onnettomuustilanteisiin. Hankkeesta vastaavan ja viranomaisten suunnitelmat sovitetaan yhteen ja yhteisiä harjoituksia järjestetään tarvittaessa. Ydinvoimalaitosten valmius- ja turvajärjestelyjä koskevia valtioneuvoston (1991b, 1991c) päätöksiä sovelletaan siinä laajuudessa kuin on tarpeen.

Toimintaa laitostonnettomuustilanteissa sääntelevät samat periaatteet ja ohjeet kuin kuljetusonnettomuuksissakin. Onnettomuustilanteen toimenpiteiden tavoitteena on estää ja rajoittaa radioaktiivisten aineiden leviämistä ympäristöön, arvioida ja mitata radioaktiivisten aineiden päästöt ja niistä aiheutuvat pitoisuudet ympäristössä sekä suojata tarvittaessa väestöä säteilyaltistukselta. Toimenpiteiden johtaminen on aluksi loppusijoituslaitoksen henkilökunnan vastuulla, kunnes viranomaiset ovat valmiit johtamaan toimintaa. Onnettomuuden sattuessa hankkeesta vastaava tekee viivyttämättä ilmoituksen palo- ja pelastusviranomaisille, Säteilyturvakeskukselle ja tarpeen mukaan muille tahoille.

Oletetuista onnettomuuksista aiheutuvat annokset ovat niin pienet, etteivät ne edellytä välittömiä suojautumis-

toimenpiteitä ympäristössä eivätkä todennäköisesti myöhempiäkään toimia. Radioaktiivisten aineiden pitoisuudet ympäristössä, esimerkiksi maaperässä ja maataloustuotteissa, mitataan perusteellisesti. Mittaustulosten ja muiden seikkojen nojalla viranomaiset päättävät, rajoitetaanko tilapäisesti oleskelua jollakin alueella ja ympäristön maataloustuotteiden, keräilytuotteiden, kalan ja riistan käyttöä ravinnoksi.

Häiriötilanteista puolestaan aiheutuvat annokset ovat niin pienet, etteivät ne edellytä minkäänlaisia suojautumistoimenpiteitä ympäristössä.

Loppusijoituslaitoksen sulkemisen jälkeinen aika

Pitkäaikaisturvallisuuden perusteet

Loppusijoituksen perusratkaisussa

- käytetty polttoaine pakataan vesitiiviisiin, kestäviin säiliöihin ja
- säiliöt sijoitetaan syvälle kallioon, jossa ne ovat erillään ihmisistä ja jossa ne säilyvät ilman huolenpitoa tiiviinä niin kauan kuin niiden sisällöstä voisi ylipäänsä olla olen-naista haittaa elävälle luonnolle.

Säiliön seinämät ja pari metriä kalliota riittävät pysäyttämään käytetystä polttoaineesta lähtevän säteilyn kokonaan. Kestävän ja tiiviin säiliön tarkoituksena on estää radioaktiivisten aineiden pääsy pohjaveteen. Kallioperän pätehtävänä on suojella säiliöitä. Mikäli säiliö ei kuitenkaan jostakin syystä toimisi suunnitellulla tavalla, kallio hidastaisi ja laimentaisi radioaktiivisten aineiden pääsyä elolliseen luontoon.

Lähtökohtana on luvussa 3 kuvattu moniesteperiaate. Radioaktiiviset aineet ovat useiden toisiaan tukevien

mutta toisistaan mahdollisimman riippumattomien "suojamuurien" sisällä siten, että yhden esteen pettäminen ei vaaranna eristyksen toimivuutta. Säiliön ja kallion lisäksi yhtenä tärkeänä suojamuurina on bentoniittisavi, joka vähentää veden liikkuvuutta kapselin pinnalla ja vuodon tapahtuessa pidättää radioaktiivisten aineiden pääsyä kallio-perään.

Käytetyn ydinpolttoaineen vaarallisuus vähenee nopeasti ensimmäisten vuosikymmenien kuluessa siitä kun se on poistettu reaktorista (kuva 2-3). Ensimmäisten 40 vuoden aikana aktiivisuus vähenee noin kymmenenteen osaan siitä mikä se oli vuoden kuluttua reaktorista poistamisesta ja väheneminen jatkuu tämän jälkeen siten, että aktiivisuus laskee tuhannen vuoden kuluessa noin tuhanteen osaan ensimmäisen vuoden tilanteesta. Yleisesti ottaen voimakkaammin säteilevät aineet myös hajoavat nopeimmin. Muutaman tuhannen vuoden kuluessa aineita helposti läpäisevä gammasäteily on vähentynyt vaarattomalle tasolle. Sen jälkeen säiliön sisällöstä olisi haittaa ihmisten terveydelle vain jos siinä olevia aineita pääsisi ihmisten ravintoon tai hengitykseen.

Pieni osa säiliön sisältämistä radioaktiivisista aineista on kuitenkin hyvin pitkäikäisiä ja vaatii pitkäaikaista eristystä elollisesta luonnosta. Tästä syystä loppusijoitussäiliöt suunnitellaan siten, että ne lopullisessa sijoituspaikassaan säilyvät tiiviinä mahdollisimman pitkään. Luonnollinen paikka säiliöiden sijoittamiseksi on Suomen oloissa kallio-perä, koska siellä ne todennäköisimmin ovat vähiten alttiina nopeille olosuhteiden muutoksille. Suomen kallio-perä on saavuttanut nykyisen muotonsa pääosin jo yli tuhat miljoonaa vuotta sitten, ja muutokset kallio-perässä ovat tämän jälkeen olleet hitaita ja miljoonien vuosien perspektiivissä hyvin pieniä.

Syvälle kallio-perään sijoitettuna säiliöt ovat suojassa maanpäällisiltä muutoksilta – mm. tulevilta jääkausilta – ja samalla ne ovat loitolla ihmisten normaali elämäntilasta. Kun sijoituspaikka valitaan tavanomaisesta graniittisesta kallioista, todennäköisyys, että joku epähuomiossa tunkeutuisi loppusijoitustilojen läheisyyteen, on pieni siinäkin tapauksessa, että tieto loppusijoituspaikan sijainnista on ehtinyt kadota.

Tehdyt tutkimukset

Syvällä kalliossa vallitsevat olot ja toisaalta käytetyn polttoaineen lämmöntuotto määräävät pitkälti teknisen ratkaisun yksityiskohdat. Säiliön on kes-tettävä ne rasitukset, joille se syvällä kalliossa voi joutua alttiiksi pitkien aikojen kuluessa. Loppusijoitusratkaisun tekninen suunnittelu perustuu-kin ratkaisevasti siihen tietoon, joka on saatu syvällä kallio-perässä vallitsevista oloista ja niiden muutoksista.

Suomen kallio-perän ominaisuuksia loppusijoituksen kannalta on tutkittu 1970-luvun lopulta lähtien, aluksi yleisellä tasolla ja tutkimusmenetelmien kehittämiseksi. Vuodesta 1987 lähtien tutkimukset ovat tähdänneet suoranaisesti käytetyn polttoaineen loppusijoitukseen soveltuvan kallio-perän ominaisuuksien selvittämiseen aluksi viidellä tutkimuspaikalla, nyttemmin sijoitusvaihtoehtoina olevilla neljällä paikalla.

Yksityiskohtaista tietoa kallio-perästä on hankittu syväkairausten avulla, jotka kaikilla tutkimuspaikoilla ovat ulottuneet noin kilometrin syvyyteen. Syviä, useiden satojen metrien syvyyksiä tutkimusreikiä on kairattu tähän mennessä 8–13 kullakin paikalla.

Kallio-perätutkimuksiin ja niissä ker-tyneiden aineistojen tulkintoihin on osallistunut lukuisa joukko sekä suomalaisia että ulkomaisia asiantuntijoita.

Rinnan kotimaisen tutkimuksen kanssa on osallistuttu ulkomaisiin yhteishankkeisiin. Näistä tärkeimpiä ovat olleet Ruotsissa tehty tutkimukset: 1980-luvulla Stripan kaivoksessa ja nyttemmin Äspön kalliolaboratoriossa. Ruotsin kallio-perä on pääosin samanlaista kuin Suomessakin ja Ruotsin ydinjätehuolto-organisaation SKB:n hankkima yleistietämys on pitkälti sovellettavissa tärkeitä osuuksia. Myös Kanadassa Ontario Hydron ja AECL:n tekemät tutkimukset ovat kohdistuneet samankaltaiseen kallio-perään kuin Suomessa. Siellä hankittua tietoa on voitu hyödyntää Posivankin tutkimuk-sissa. Laajaa yhteistyötä on tehty myös Sveitsin ydinjätetutkimuksesta vastaa-van organisaation Nagra:n kanssa.

Tähänastisissa jo parisen kymmentä vuotta kestäneissä tutkimuksissa on hankittu sekä hyvä käsitys suomalaisen kallio-perän yleisistä ominaisuuksista että yksityiskohtainen kuva mahdollisten sijoituspaikkavaihtoehtojen kallio-perästä. Luettelo tärkeimmistä tutkimusraporteista on tämän selostuksen liitteinä. Tutkimustuloksia on julkaistu myös kansainvälisissä julkaisusarjoissa ja alan konferenssijulkaisuissa. Suomalaisenkin kallio-perän kannalta tärkeää tietoa on runsaasti myös edellä mainit-tujen SKB:n, Nagra ja AECL:n lukui-sissa julkaisuissa.

Aika ajoin käytetyn polttoaineen loppusijoitukseen tähtäävistä kallio-perätutkimuksista on laadittu viran-omaisten ohjeiden mukaisesti yhteen-vetoja. Tällaisia yhteenvedoja ovat mm. YJT:n vuonna 1992 julkaisemat yhteenvetoraportit (TVO 1992a, 1992b) sekä Posivan vuonna 1996 julkaisema väliraportti sijoituspaikkatutkimuksista (Posiva 1996c). Uusimmat yhteenvedot vaihtoehtojen sijoituspaikkojen kallio-perässä vallitsevista oloista on julkaistu erillisinä paikkakohtaisina raporteina (Anttila ym. 1999a–d).

Crawford ja Wilmot (1998) ovat lisäksi laatineet yleiskatsauksen tutkittujen paikkojen kallioperäolosuhteiden odotetusta kehityksestä tulevaisuudessa.

Loppusijoitusratkaisun tekniseen suunnitteluun vaikuttavat erityisesti kallioperässä kaikkialla olevan pohjaveden kemialliset ominaisuudet ja sen paine. Kallion normaalit liikkeetkään eivät saa rikkoa säiliöiden tiiviyttä. Säiliön rakenne ja materiaalit onkin valittu siten, että säiliö kestää sekä korkean paineen aiheuttaman puristuksen että pohjaveden sisältämien aineiden syövyttävän vaikutuksen. Normaalistikin pohjaveden paine 500 metrin syvyydellä vastaa 50 ilmakehän painetta. Jääkausioloissa jään paino saattaa kasvattaa sitä entisestään.

Tarvittavan mekaanisen lujuuden antaa raudasta tehty massiivinen sisäsäiliö, ulompana olevan säiliön materiaaliksi on puolestaan valittu kupari sen kemiallisen kestävyysvuoksi. Kuparisäiliöiden syöpymistä syvällä kalliossa voisi aiheuttaa lähinnä pohjaveteen liuennut happi tai sulfidi. Syvällä kallioperässä pohjavesi on kuitenkin normaalisti hapetonta ja sulfidipitoisuudet pieniä.

Säiliöiden ja kallion väliin asennettava puristettu bentoniitti vaimentaa kallioperän normaalien liikkeiden vaikutuksia ja vähentää myös mahdollisten syövyttävien aineiden pääsyä koskeuksiin säiliön kanssa. Bentoniitin hyvien tiivistysominaisuuksien takaa-miseksi loppusijoitustilat tulee rakentaa siten, että bentoniitti ei joudu alttiiksi liian korkeille suolapitoisuuksille.

Loppusijoitusratkaisun teknisiä ominaisuuksia sekä kallioympäristön vaikutuksia käytettyihin aineisiin ja rakenteisiin on tutkittu rinnan kallioperätutkimusten kanssa 1980-luvun alusta lähtien. Nämäkin tutkimukset on

raportoitu aluksi YJT:n raporttisarjassa, sittemmin Posivan raportteina. Yhteenvetoja tästä tutkimuksesta on julkaistu vuosina 1992 (TVO 1992a) ja 1996 (Posiva 1996a). Loppusijoitussäiliön ja sitä ympäröivän bentoniitin ominaisuuksista ja käyttäytymisestä on käytettävissä ollut myös runsaasti SKB:n tuottamaa tutkimusaineistoa. SKB:n aikomus näillä näkymin on käyttää samantyyppistä loppusijoitussäiliötä kuin Posiva.

Loppusijoitusta koskevan tutkimuksen, kehitystyön ja teknisen suunnittelun yhteisenä tavoitteena on ollut ratkaisu, jolla jätteet eristetään niin, että min-käänlaisia terveyshaittoja ei ole odotettavissa sen paremmin lähivuosisikymmeninä kuin kaukana tulevaisuudessaakaan. Huomattava osa tutkimuksesta on kuitenkin kohdistunut niiden tilanteiden syiden ja seurausten selvittämiseen, joissa eristys ei toimi odotusten mukaisesti. Kyseisessä tutkimuksessa kohteena ovat olleet erityisesti radioaktiivisten aineiden liukoisuus- ja kulkeutumisominaisuudet bentoniitti- ja kallioympäristössä sekä lopulta niistä aiheutuva säteilyaltistus. Mahdollisten päästöjen merkitystä on arvioitu ns. turvallisuusanalyysin, joita on tehty jo useita vuodesta 1982 lähtien. Itse turvallisuusanalyysit on raportoitu YJT:n ja Posivan julkaisusarjoissa vuosina 1982, 1985, 1992, 1996 sekä viimeksi vuonna 1999 (Anttila ym. 1982, Peltonen ym. 1985, Vieno ym. 1992, Vieno & Nordman 1996, 1999). Näiden raporttien lisäksi yhteenvetoja tehdystä turvallisuustutkimuksesta on julkaistu mm. vuosina 1992 ja 1996 (TVO 1992a, Posiva 1996b). Vuonna 1999 julkaistussa turvallisuusanalyysissä vertailukohtana ovat Säteilyturvakeskuksen yleiset turvallisuusmääräykset, jotka Valtioneuvosto on päätöksessään maaliskuussa 1999 vahvistanut pääosiltaan ehdotuksen mukaisiksi (Valtioneuvosto 1999).

Turvallisuusvaatimukset

Loppusijoituksen yleisten turvallisuusmääräysten mukaan (Valtioneuvosto 1999)

“loppusijoituksesta ei saa millään tarkasteluajanjaksolla aiheutua sellaisia terveydellisiä tai ympäristöllisiä vaikutuksia, jotka ylittäisivät loppusijoituksen toteutusajankohtana hyväksyttävänä pidettävän enimmäistason”.

Vaikka ensisijaisena turvallisuustavoitteena on elollisen luonnon ja ihmisen suojelu, Säteilyturvakeskus vaatii, että loppusijoitusratkaisun tulee vähintään tuhansien vuosien ajan tehokkaasti estää radioaktiivisten aineiden vapautumista myös kallioperään. Kaikkina aikoina turvallisuus on moninkertaisesti varmistettava siten, että loppusijoitusratkaisun eristyskyky ei milloinkaan ole yhden vapautumiseen varassa.

Hyväksyttävä enimmäistaso vaikutuksille on määritelty yksilölle enintään sallittavan vuotuisen säteilyannoksen ja keskimääräisten aktiivisuuspäästöjen rajoitusten avulla. Lähtökohtana on säteilyasetukseen sisältyvä väestön vuotuisen säteilyannoksen enimmäisarvo 1 mSv. Koska kyseisen enimmäisarvon tulee kattaa kaikki muu kuin luonnollinen ja lääkinnällinen säteilyaltistus, yksittäisestä säteilylähteestä, esimerkiksi loppusijoitetusta jätteestä, saa aiheutua vain murto-osa enimmäisannoksesta. Tältä pohjalta ihmisille loppusijoituksesta aiheutuvan säteilyannoksen ylärajaksi vuodessa on asetettu 0,1 mSv.

Koska yksittäisille ihmisille koituvien säteilyannosten arviointi on sitä vaikeampaa, mitä kaukaisemmasta tulevaisuudesta on kysymys, pitkällä aikavälillä ihmisiin ja ympäristöön kohdis-

tuvien vaikutusten arviointiperusteena käytetään säteilyannosten sijasta loppusijoitustiloista elolliseen luontoon vapautuneiden radioaktiivisten aineiden määrää aktiivisuuksina (Bq-yksiköissä) ilmaistuna. Vapautuvien aineiden määrille Säteilyturvakeskus asettaa nuklidikohtaiset rajoitukset, joilla tähdätään siihen, että yksilöille tulevaisuudessa mahdollisesti aiheutuva säteilyaltistus olisi korkeintaan samaa tasoa kuin nykyisin hyväksyttyä altistus (STUK 1999).

Säteilyturvakeskuksen asettamat rajoitukset vastaavat Kansainvälisen säteilysuojelutoimikunnan suosittelemien vastaavuuskertoimien mukaan vuotuis-
ta todennäköisyyttä $5 \cdot 10^{-6}$, että altistuvalla yksilöllä aiheutuu vakava terveyshaitta. STUK toteaa, että yhteiskunnan säätelemät riskit ovat tyypillisesti suuruudeltaan $10^{-5} - 10^{-4}$ yksilön keskimääräisenä vuotuisena kuolemantodennäköisyytenä ilmaistuna. Luonnollisista säteilylähteistä aiheutuvat säteilyannokset ovat maassamme keskimäärin yli 30-kertaiset enimmäisrajaan verrattuna.

Turvallisuusvaatimukset edellyttävät myös odottamattomien tapahtumien huomioonottamista loppusijoituksen suunnittelussa. Tällaisten tapausten merkitystä tarkasteltaessa otetaan huomioon niiden tapahtumistodennäköisyys.

Turvallisuusarvion laatiminen

Loppusijoituksen suunnittelutavoitteiden ja turvallisuusmääräysten täyttymistä arvioidaan turvallisuusanalyysin avulla. Turvallisuusanalyysissä yhdistetään toisiinsa käytettävissä oleva tieto

- loppusijoitettavan jätteen ominaisuuksista ja niiden muutoksista
- loppusijoitusratkaisussa käytettävistä aineista ja rakenteista

- loppusijoitustiloja ympäröivän kallioperän ominaisuuksista sekä kallioperässä tapahtuvista ilmiöistä ja muutoksista
- radioaktiivisten aineiden käyttäytymisestä elollisessa luonnossa ja niiden ihmisille aiheuttamista säteilyannoksista
- eri aineiden ja ilmiöiden keskinäisistä vuorovaikutuksista.

Turvallisuusanalyysissä arvioidaan, täyttääkö loppusijoitusratkaisu sille asetetut vaatimukset ja selvitetään, mitä seurauksia ihmisille tai muulle luonnolle aiheutuisi, jos yksi tai useampi ydinjätteiden eristykseen tähtäävistä suojamuureista pettäisi ja radioaktiivisia aineita pääsisi vapautumaan loppusijoitustiloista, ensin ympäröivään kallioon ja myöhemmin mahdollisesti elolliseen luontoon.

Avainkysymyksiä turvallisuusanalyysin suorittamisessa ovat,

- miten arvioidaan loppusijoitustilojen ympäristössä tulevaisuudessa tapahtuvat muutokset
- miten varmistutaan siitä, että kaikki loppusijoitusratkaisun toimintaan vaikuttavat seikat on otettu huomioon
- miten varmistutaan loppusijoitustilojen ympäristön ja teknisen loppusijoitusratkaisun käyttäytymistä kuvaavan tiedon luotettavuudesta.

Turvallisuusanalyysissä ei pyritä arvaamaan, millaiseksi maailma muuttuu seuraavien tuhansien vuosien aikana tai miltä täsmälleen maisema tulee näyttämään loppusijoitustilojen yläpuolella tulevaisuudessa. Loppusijoitusratkaisun toimivuuden kannalta olennaista on arvioida, millaiseksi olot voivat muodostua itse loppusijoitustiloissa ja niiden lähiympäristössä. Pohja tällaiselle arvioinnille saadaan yleisestä geologisesta tietämyksestä sekä erityisesti geo-

kemiallisista ja mineralogisista erityis-
tutkimuksista. Taustaoletuksena on tällöin, että huolimatta ihmisten aikaansaamista muutoksista – esim. kasvihuoneilmiön aiheuttama ilmastonmuutos – tietoa menneisyydestä voidaan käyttää tulevan ennustamisessa. Toisin sanoen geologisessa aikaperspektiivissä ihmisen mahdollisesti aikaan saamat muutokset jäävät merkitykseltään ohimeneviksi.

Todennäköisimpänä pidetäänkin, että olot syvällä kallioperässä pysyvät seuraavien kymmenien ja satojen tuhansienkin vuosien kuluessa jokseenkin nykyisen kaltaisina mahdollisista ilmastonmuutoksista ja tulevista jääkaudesta huolimatta. Mahdollisia muutoksia kallioperässä tarkastellaan kuitenkin erilaisten mahdolliseksi ajateltujen tulevaisuudenkuvien eli skenaarioiden avulla. Herkkyyssanalyysien ja ”mitä jos”-tarkastelujen avulla tutkitaan lisäksi, miten yksittäiset, normaalista kehityksestä poikkeavat ilmiöt voisivat vaikuttaa loppusijoitusratkaisun toimintaan.

Erilaisten loppusijoitusratkaisuun tulevaisuudessa vaikuttavien ilmiöiden ja tapahtumakulkujen kartoittamiseksi on tehty laajoja selvityksiä. OECD:n ydinenergiatoimisto (NEA) on koonnut eri maissa tehdyt selvitykset yhtenäiseksi tietokannaksi, jossa on kuvattu ne seikat, joilla nykyisen tietämyksen perusteella voisi olla vaikutusta geologisen loppusijoituksen kykyyn eristää jätteet elollisesta luonnosta. Tätä tietokantaa on käytetty hyväksi Suomessakin tehdyissä turvallisuusanalyysissä.

Turvallisuusanalyysissä ei silti lähdetä siitä, että tietomme luonnosta ja teknisten järjestelmien toiminnasta olisivat täydellisiä. Tiedon epävarmuus ja puutteet korvataan tekemällä pessimistisiä yksinkertaistuksia, joissa joko olet-

taan kehitys epäsuotuisaksi loppusijoitusratkaisun kannalta tai ainakin jätetään huomiotta sellaiset loppusijoitusratkaisun kannalta positiiviset seikat, joihin liittyy merkittäviä epävarmuuksia. Epävarmuuksien merkitystä voidaan lisäksi arvioida herkkyysanalyysien avulla. Kaiken kaikkiaan loppusijoitusratkaisu on suunniteltu siten, että sen kyky eristää jätteet ei riipu sellaisista teknisistä seikoista tai kallioperän ominaisuuksista, joita koskeva tieto on toistaiseksi vähäistä.

Kysymys turvallisuusanalyysien luotettavuudesta ja kattavuudesta voidaan viime kädessä ratkaista vain yleisten tieteellisen tiedon arviointiperiaatteiden nojalla. Turvallisuusanalyysissä käytetyt lähtötiedot, oletukset sekä ilmiöitä ja vuorovaikutuksia kuvaavat mallit perustuvat laajaan meillä ja muualla hankittuun teoreettiseen, kokeelliseen ja mittausaineistoon. Loppusijoitusratkaisun pitkän aikavälin toimintakykyä ei kokonaisuutena voida testata niissä aikaskaaloissa, joissa eristysvaatimuksen tulee täytyä, mutta käsitys kokonaisuudesta voidaan rakentaa siitä tiedosta, joka saadaan eri aineiden käyttäytymisestä ja aineiden välisistä vuorovaikutuksista.

Lisäksi käytettävissä on tietoa ns. luonnonanalogoista. Nämä ovat kohteita, joissa tilanne on luonnostaan ollut jo pitkään samankaltainen kuin suunnitellussa loppusijoitusratkaisussa. Esimerkkejä tällaisista luonnonanalogoista ovat mm. rikkaat uraaniesiintymät, joissa on voitu tarkastella radioaktiivisten aineiden käyttäytymistä kallioperässä sekä esiintymät, joissa loppusijoituksessa käytettäviä aineita, esimerkiksi kuparia, tavataan luonnossa. Suomessa tällaista analogiatietoa on hankittu mm. Palmotun uraaniesiintymästä (Paananen ym. 1998) ja Hyrkölän luonnonkuparilöydöksestä (Marcos 1996).

Maailmalla muita kiinnostavia analogiatutkimuskohteita on mm. Cigar Laken rikas uraaniesiintymä (Cramer & Smellie 1994), jossa olosuhteet monessa suhteessa muistuttavat suunnitellun loppusijoitusratkaisun olosuhteita. Turvallisuusanalyysissä laadittuja malliennusteita on vertailtu tällaisista luonnonanalogoista saatua tietoon.

Turvallisuusanalyysin kannalta merkittävimpien YJT:n ja Posivan julkaisemien raporttien luettelo on tämän selvityksen liitteenä. Laajan kansainvälisen asiantuntija-arvioinnin mahdollistamiseksi tutkimukset on julkaistu suurimmaksi osaksi englannin kielellä.

KTM ja STUK ovat vuosittain arvioineet tutkimusten edistymistä tutkimusohjelmista antamissaan lausunnoissa ja päätöksissä. Vuosina 1992 ja 1996 laadituista yhteenvetoraporteista STUK on tehnyt erillisen asiantuntija-arvion (Ruokola 1994, STUK 1997; vuoden 1992 yhteenvetoraporttien arviointiin STUK käytti apuna myös ulkomaisia asiantuntijoita).

Posiva on tutkimusten kuluessa myös itse arvioituttanut omaa työtään ulkomaisilla asiantuntijoilla. Tehtyä tutkimusta on lisäksi arvioitu useilla kansainvälisillä foorumeilla, mm. NEAn asiantuntijaryhmissä. Arvioiden perusteella Suomessa tehty tutkimus vastaa alan parasta tähänhetkistä kansainvälistä tietämystä.

Huomattava on myös, että loppusijoitukseen liittyvää tutkimusta ovat Suomessa omalla tahollaan teettäneet myös STUK ja KTM (ns. julkisesti rahoitettu ydinjätetutkimus, JYT). Näistä tutkimuksista on yhteenveto julkaistu viimeksi vuonna 1997 (KTM 1997).

Arvioidut vaikutukset

Posivan perusratkaisun toimintakyky on viimeksi arvioitu VTT Energian

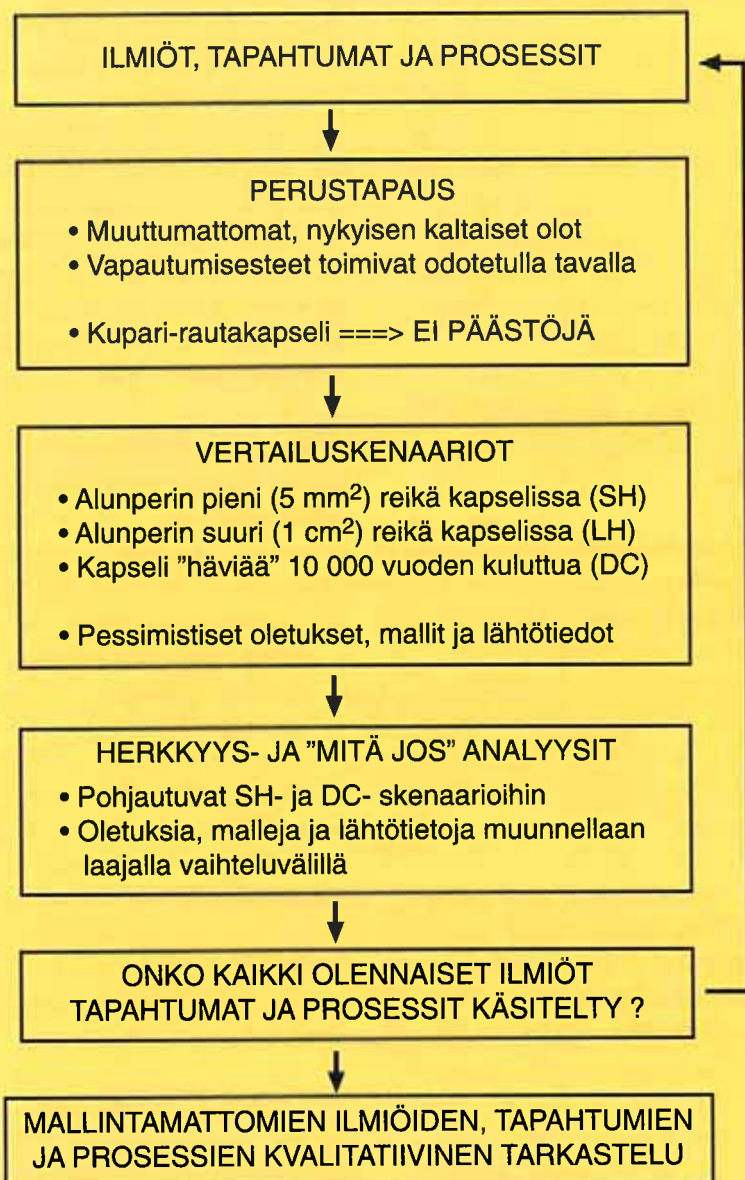
laatimassa turvallisuusanalyysiraportissa TILA-99 (Vieno & Nordman 1999). Turvallisuusanalyysi pohjautuu samoihin periaatteisiin kuin vuonna 1992 julkaistu turvallisuusanalyysi TVO-92 (Vieno ym. 1992) ja vuonna 1996 julkaistu TILA-96 (Vieno & Nordman 1996).

TILA-99 tarkastelee suunnitellun perusratkaisun kykyä eristää käytetty polttoaine STUK:n turvallisuusvaatimusten mukaisesti. Analyysissä on otettu huomioon tähänastisten loppusijoitustutkimusten tuottama tieto. Kallioperää koskevat lähtötiedot ja oletukset on valittu vastaamaan tarkastelun kohteena olevien sijoituspaikkavaihtoehtojen ominaisuuksia.

Päähuomio loppusijoituksen mahdollisia pitkän ajan terveysvaikutuksia arvioitaessa on kiinnitetty radioaktiivisiin aineisiin ja niiden aiheuttamiin säteilyvaikutuksiin. Erikseen on kuitenkin tarkasteltu, mikä merkitys loppusijoitettujen aineiden kemiallisella myrkyllisyydellä voisi olla ihmisten ja ympäristön terveyteen. Tarkastelu on julkaistu erillisenä Posivan raporttina (Raiko & Nordman 1999).

TILA-99 perustuu oheisessa kaaviossa esitettyyn skenaariorakenteeseen. Keskeinen tavoite on selvittää, miten olot loppusijoitustiloissa ja niitä ympäröivässä kalliiossa todennäköisimmin kehittyvät sen jälkeen, kun tilat on lopullisesti suljettu, ja mitä tämä merkitsisi loppusijoitusratkaisun eristyskyvyn ja sitä kautta tulevien sukupolvien terveyden ja ympäristön suojelun kannalta (turvallisuusanalyysin perustapaus). Tämän lisäksi tarkastellaan kuitenkin erikseen, mitä seuraisi, jos säiliön eristyskyky pettäisi (ns. vertailuskenaariot). Tässä yhteydessä yhtenä mahdollisuutena selvitetään mm., mitä seuraisi siitä, että loppusijoituksen teknisessä toteutuksessa olisi tapahtunut

TILA 99:N TARKASTELUSKENAARIO



tekninen virhe tai inhimillinen laiminlyönti ja sen seurauksena jokin säiliöistä olisikin vuotava jo alusta lähtien. Lisäksi selvitetään, mitä tapahtuisi, jos kuparikapseli jostakin syystä menettäisi eristyskykynsä kokonaan jonkin ajan kuluttua.

Vertailuskenaarioiden tarkoitus on arvioida erilaisten epätodennäköisten mutta mahdolliseksi arvioitujen kehi-

tyskulkujen seurauksia. Analyysissä ei ole kuitenkaan lähdetty yksityiskohtaisesti arvioimaan kaikkia mahdollisia tulevaisuudenkuvia, jotka saattaisivat johtaa säiliön vuotamiseen, vaan vertailuskenaarioissa on yksinkertaisesti oletettu, että tietyllä ajanhetkellä säiliö menettää tiiviytensä joko osittain tai kokonaan. Lukuisin herkkyyssanalyysien on sitten selvitetty, miten erilaiset, käytettyä polttoainetta, loppusijoitus-

ratkaisun tekniikkaa ja tiloja ympäröivää kallioperää koskevat oletukset vaikuttavat seurauksiin.

Turvallisuusanalyysi on yksityiskohtaisesti kuvattu Posivan erikseen julkaisemassa englanninkielisessä raportissa (Vieno & Nordman 1999). Analyysin taustatietoja on lisäksi julkaistu lukuisissa muissa Posivan raporteissa, jotka käyvät ilmi tämän selvityksen liitteestä olevasta luettelosta. Seuraavassa on yhteenveto turvallisuusanalyysin sisällöstä ja tuloksista skenaarioittain.

Perustapaus

Perustapauksen lähtökohtana on yleiseen geologiseen tietämykseen ja tehtyihin kallioperätutkimuksiin perustuva käsitys, että olot loppusijoitus-tiloissa palautuvat loppusijoituksen jälkeen vähitellen loppusijoitusta edeltävään tilaan ja muutokset syvällä kalliossa ovat tämän jälkeen vähäisiä ainakin ensimmäisten tuhansien ja satojen tuhansien vuosien aikana, jolloin loppusijoitetuista ydinjätteistä voisi olla haittaa elolliselle luonnolle. Perustapauksen oletuksia ja niiden perusteena olevaa tutkimuspaikkakoh- taista ja yleistä geologista tietoa on yksityiskohtaisesti tarkasteltu erikseen julkaistussa Crawfordin & Wilmotin (1998) raportissa.

Kallioon loppusijoitusvaiheessa joutunut happi kuluu loppuun muutamassa sadassa vuodessa ja tämän jälkeen säiliön syöpymistä voi merkittävässä määrin aiheuttaa vain pohjaveteen liuennut sulfidi. Pohjaveden vaihtuvuus säiliön pinnalla on hidasta ja pohjaveden sulfidipitoisuudet kaikilla tutkimuspaikoilla ovat niin pieniä, että aikaa kuluisi miljoonia vuosia ennen kuin säiliö syöpyisi puhki – vaikka huomioon otettaisiin se mahdollisuus että syöpyminen voi paikoin olla keskimääräistä nopeampaa.

Pitkien aikojen kuluessa säiliötä suojaavan bentoniitin tiivistyskyky saattaa jonkin verran heiketä. Normaaleissa oloissa tällä ei ole kuitenkaan merkitystä säiliöiden eliniälle. Hyvin suolainen pohjavesi saattaisi heikentää tiivistyskykyä. Tutkimuspaikoilla havaitut suolapitoisuudet eivät kuitenkaan suunnitellulla loppusijoitusvyvydellä aiheuttaisi riskiä säiliöiden ja kallion välisen tiivistyksen pitävyydelle. Olkiluodossa ja Hästholmenilla havaittujen merkittävien suolapitoisuuksien takia tunnelien täyttämässä suunnitellaan kuitenkin näillä paikoilla käytettävän korkeampia bentoniittipitoisuuksia kuin sisämaan paikoilla (täyttöön suunnitellaan murske-bentoniittiseosta).

Säiliön sisällä radioaktiivisen hajoamisen myötä kehittyvä helium aiheuttaisi pitkien aikojen kuluessa paineen kasvua, mutta säiliön rikkoutumiseen se voisi johtaa vasta aikaisintaan kymmenien miljoonien vuosien kuluttua.

Johtopäätös perustapauksen analyysistä on, että loppusijoitetusta käytetystä polttoaineesta ei lähemmin tarkastellulla miljoonan vuoden aikajänteellä odoteta aiheutuvan minkäänlaisia terveys- tai ympäristöhaittoja. Kauempana tulevaisuudessa, miljoonien vuosien kuluttua säiliöiden sisältö vastaa rikasta uraaniesiintymää. Vaikka säiliöt eivät tällöin enää olisikaan ehjiä, koko loppusijoitustilasta vapautuvat aktiivisuusmäärät olisivat vuosittain hyvin pieniä luonnon omaan radioaktiivisuuteen verrattuna (Vieno ym. 1992).

Vertailuskenaario: (1) vuotava säiliö

Vertailuskenaarioissa on tarkasteltu, mitkä olisivat seuraukset, jos kaikki ei kuitenkaan kävisi niin, kuin perustapauksessa on oletettu. Erityisesti on arvioitu, mitä aiheutuisi, jos jokin säiliöistä vuotaisi alusta alkaen. Analyysissä on oletettu, että reikä voisi olla

joko pieni "neulanreikä" (poikkipinta-ala n. 5 mm²) tai hieman isompi reikä (poikkipinta-ala n. 1 cm²).

Laadunvalvontaan kuuluvien tarkastusten ja laadunvarmistuksen tehtävänä on luonnollisesti estää viallisten säiliöiden joutuminen loppusijoitustiloihin. Koska täydellistä virheettömyydestä on käytännössä mahdoton varmistua, varovaiseksi käytännön tavoitteeksi otetaan, että säiliöille asetetut laatutavoitteet saavutetaan vähintään 99,9 %:ssa säiliöistä. Tällöin jollakin tavoin viallisia säiliöitä voisi loppusijoitustiloissa olla alun alkaen enintään muutama.

Inhimilliset tekijätkin huomioon ottaen jokseenkin mahdotonta on silti, että sormenpään kokoinen reikä jäisi tarkastuksissa huomaamatta. Näin suuri reikä voisi kenties vastata tilannetta, jossa alun alkaen pieni reikä tai viallinen kohta säiliössä olisi vähitellen auennut esimerkiksi paikallisen syöpymisen takia.

Reiän kautta kalliossa ja bentoniitissa oleva vesi pääsisi kosketuksiin käytetyn polttoaineen kanssa. Vaikka suurin osa käytetystä polttoaineesta on kiinteätä ja äärimmäisen niukkaliukoista hapettomassa vedessä, pieni osa polttoainesauvoissa olevista radioaktiivisista aineista voisi vapautua suhteellisen nopeasti, mikäli vesi pääsisi tunkeutumaan sauvojen sisään. Suurin osa radioaktiivisista aineista voisi liueta veteen vasta sen jälkeen kun polttoaineen pääosan muodostava uraani olisi liennut tai ainakin hapettunut. Hapettomassa pohjavedessä tämä tapahtuisi hyvin hitaasti, vaikka huomioon otettaisiin säteilyn mahdollisesti aikaan saama hapettavien aineiden muodostuminen (ns. radiolyysi).

Veden tunkeutuessa säiliön sisään se kuitenkin aiheuttaisi myös rautasäiliön ruostumista. Ruotsin SKB:n teettä-

missä tutkimuksissa onkin havaittu, että todennäköisimmin ruostuminen kuluttaisi sisään tunkeutuvan veden ja ruoste täyttäisi säiliön siten, että säiliöstä ei virtaisi vettä ulos päin.

Suoritetussa turvallisuusanalyysissä on silti pessimistisesti tarkasteltu sitä mahdollisuutta, että radioaktiivisia aineita pääsisi ulos säiliöstä. Veteen liuenneet radioaktiiviset aineet joutuisivat tällöin ensiksi säiliötä ympäröivään bentoniittisaveen ja sieltä mahdollisesti joko kalliorakoon tai kohti tunneleita.

Varsinaista veden virtausta puristetun bentoniitin läpi ei kuitenkaan tapahdu. Kulkeutuminen voisi perustua vain bentoniitin huokosvedessä hitaasti tapahtuvaan diffuusion. Kulkeutumisesta hidastaisi radioaktiivisten aineiden tarttuminen huokosten pinnoille (ns. sorptio).

Ne radioaktiiviset aineet, jotka lopulta pääsisivät bentoniittikerroksen läpi, voisivat lähteä kulkeutumaan kallion raoissa hitaasti liikkuvan veden mukana. Kyseiset aineet voisivat ensin myös joutua loppusijoitustunnelien täyteaineisiin, mutta lopulta osa täyteaineisiin kulkeutuneistakin voisi päästä kallion rakoverkostoon.

Kallion rakoilun ja niissä tapahtuvien hitaiden virtausten selvittäminen on ollut pohjavesikemian ominaisuuksien ohella kallioperätutkimusten keskeinen tehtävä. Radioaktiiviset aineet voivat merkittävässä määrin päästä elolliseen luontoon vain pohjaveden mukana. Pohjaveden kemiallinen laatu vaikuttaa aineiden liukoisuuksiin ja tarttumiseen kallion rakojen ja huokosten pinnoille. Pohjaveden virtaama ja sen jakautumisen kalliossa ratkaisevat pitkälti, miten paljon liuenneita radioaktiivisia aineita voi päästä elolliseen luontoon.

Pohjavesi on kaikilla vaihtoehtoisilla paikoilla syvällä kalliossa laadultaan

pelkistävää ja happamuudeltaan lievästi emäksistä, mikä käytännössä merkitsee, että useimpien radioaktiivisten aineiden liukoisuudet siihen ovat pieniä. Merkittävimpana erona eri paikkojen välillä on suolapitoisuus, joka kloridilla mitattuna on tutkituilla sisämaapaikoilla enintään runsaat 100 mg/ litra, kun se rannikopaikoilla voi olla kymmeniä grammoja litrassa. Pohjaveden korkea suolapitoisuus vähentää eräiden aineiden pidättymistä kalliioon. Tutkimuspaikkojen pohjaveden ominaisuuksia ja niiden muutoksia on tarkasteltu mm. raporteissa (Pitkänen ym. 1998a-b, 1996, Snellman ym. 1998). Radioaktiivisten aineiden liukoisuuksia tutkimuspaikkojen pohjavesissä on käsitelty mm. Ollilan & Ahosen (1998) ja Vuorisen ym. (1998) raporteissa.

Tutkimuspaikkojen pohjavesivirtauksista on paikkatutkimusten kuluessa tehty useita mittauksiin ja mallinnukseen perustuvia arvioita. Lähtötietoina on käytetty pääasiassa eri puolilla tutkimusalueita sijaitsevista tarkkailurei'istä koottua tietoa pohjaveden pinnankorkeuksista, sadantatietoa sekä syvistä kairanrei'istä (8–13 reikää kullakin tutkimuspaikalla) tehtyjä virtaus- ja vedenjohtavuusmittauksia. Yhteenveto vuoteen 1992 mennessä tehdyistä tutkimuksista sisältyy ko. vuonna julkaistuu alustavien paikkatutkimusten yhteenvetoraporttiin (TVO 1992b). Koko kymmenen vuoden aikana kerätty mittaussaineisto on ollut pohjana uusimmissa, vuonna 1999 julkaistuihin yhteenvetoraporteissa (Löfman 1999a-b, Kattilakoski & Koskinen 1999, Kattilakoski & Mészáros 1999, Poteri & Laitinen 1999).

Koko tutkimuspaikan mittakaavassa virtauksia on tarkasteltu lähtien ns. huokoisen aineen oletuksesta, jolla saadaan kuva kallion keskimääräisistä virtausominaisuuksista. Yksityiskohtaisemmin virtauksia on tarkasteltu

sijoitusreikien mittakaavassa. Tällöin lähtökohtana mallintamisessa on ollut suoraan kairanrei'istä ja kalliopaljastumista kerätty tieto kallion rakoilusta ja sen vaihtelusta. Rakoilutiedon yleistämisessä on käytetty hyväksi todennäköisyyksiin perustuvaa stokastista mallinnusta. Käytettyjä menetelmiä on tarkasteltu lähemmin mm. Taivassalon ym. (1994) sekä Poterin & Laitisen (1996) raporteissa. Andersson ym. (1998) ovat hiljan esittäneet arvion tähänastisesta työstä ja mahdollisista jatkokehitystarpeista.

Pohjaveden virtausolot loppusijoitusvyvydellä arvioidaan mittausten ja tietokonesimulointien perusteella keskimäärin varsin samankaltaisiksi eri paikoilla. Pääasiassa virtaamat määräytyvät kallion vedenjohtavuudesta ja tarkastelluilla paikoilla vallitsevista maanpinnan korkeuseroista, mutta myös veden suolaisuusjakaumalla on vaikutusta niihin. Olkiluodossa ja Hästholmenilla esiintyvät sisämaan paikkoja suuremmat suolapitoisuudet viittaavat siihen, että pohjaveden vaihtuvuus syvällä on ollut vähäistä. Tähän vaikuttanevat myös rannikkoalueilla vallitsevat sisämaata pienemmät korkeuserot, etenkin Olkiluodon saarella. Koska toisaalta maankohoamisen myötä rannikopaikatkin tulevaisuudessa muistuttavat yhä enemmän sisämaapaikkoja, suolaisuuteen ja korkeuseroihin liittyvät erot virtausoloissa todennäköisesti tulevaisuudessa vähenevät. Loppusijoitetusta polttoaineesta aiheutuvan kallion lämpenemisen vaikutus virtauksiin arvioidaan vähäiseksi. Loppusijoitussäiliöt tullaan sijoittamaan sellaisiin paikkoihin, joissa kallion rikkonaisuus on vähäistä ja odotettavissa olevat virtaukset pieniä. Tällaisessa kalliiossa vedenjohtavuuden voidaan arvioida olevan alle 10^{-7} m/s. Taulukossa 8-17 on esimerkkinä mittaustuloksiin ja mallilaskuihin perustuvat arviot tällaisessa kalliiossa yhteen Olki-

luodon polttoainesäiliön sijoitusreikään enintään virtaavan veden määrästä. Luvut on esitetty eri prosenttipisteissä: esimerkiksi 50. prosenttipiste tarkoittaa, että ainakin 50 %:ssa mitatuista kohdista virtaama jää alle esitetyn arvon. Loviisan säiliöiden pienemmille sijoitusreikiin virtaavan veden määrät jäisivät jonkin taulukossa esitettyä pienemmiksi.

Tehtyjen paikkakohtaisten virtausanalyysien perusteella on valittu arvot turvallisuusanalyysissä käytetyille virtaamaoletuksille. Taulukossa 8-18 on esitetty yhteenveto näistä oletuksista. Vaikka virtausta aikaan saavissa painegradientteissa ja vedenjohtavuusjakaumien ääripäissä on paikkojen väleillä eroja, keskimäärin katsottuna tilanne on varsin samanlainen. Yhtä loppusijoitusreikää "huuhtelevan" pohjaveden virtaamaksi loppusijoituskalliiossa arvioidaan kaikilla paikoin keskimäärin 0,5 litraa/v (mediaaniarvo). Kaikilla paikoilla ja kaikissa sijoitusrei'issä virtaama jäisi mitä todennäköisimmin (95 % kaikista mittauspisteistä) alle 50 l/v. Olkiluodossa virtaama jäisi nykyoloissa todennäköisesti vain kymmenenteen osaan tästä. Sielläkin virtaama voisi joissakin rei'issä kuitenkin tulevaisuudessa nousta noin 10 litraan vuodessa reikää kohten.

Pohjaveden virtaama ja kemiallinen laatu eivät yksin ratkaise aineiden kulkeutumista. Tärkeää on myös, miten virtaukset jakautuvat eli millaista kallion rakoihu on luonteeltaan. Periaatteessa samansuuruisen virtaama voi keskittyä muutamiin harvoin hyvin johtaviin "kanaviin" tai lukuisiin huonosti johtaviin rakoihin. Virtauksen jakautumisesta riippuu, miten paljon kallio huokosverkkonsa ja sorption avulla pystyy hidastamaan radioaktiivisten aineiden liikettä. Kulkeutumiseen vaikuttavia seikkoja ja niiden huomioon ottamista turvallisuusanalyysissä on tarkasteltu edellä mainitussa Anderssonin ym. raportissa (1998).

Kallion kykyä hidastaa kulkeutumista

	Gradientti (%)	Virtaama eri prosenttipisteissä* (litraa/vuosi)		
		50.	75.	95.
Hästholmen nykytila (suol. pv)	0.01 - 0.1	0.003 - 0.04	0.05 - 0.7	0.7 - 9
Hästholmen tuleva (makea pv)	0.1 - 0.8	0.03 - 0.3	0.4 - 4.1	6.1 - 55
Kivetty	0.7 - 4.0	0.07 - 0.4	0.3 - 1.8	1.8 - 10
Olkiluoto	0.5 - 2.0	0.02 - 0.1	0.1 - 0.3	0.4 - 1.4
Romuvaara	1.2 - 4.2	0.03 - 0.1	0.1 - 0.5	0.7 - 2.5

* Esimerkiksi 50. prosenttipiste 0.04 l/v kertoo, että virtaama-arvoista 50 % on pienempiä kuin 0.04 l vuodessa.

Taulukko 8-17. Rakoverkkosimuloinneilla lasketut pohjaveden virtaamat 1x5 m² poikki-pinta-alan lävitse ruhevyöhykkeiden ulkopuolisessa kalliiossa. Virtaamien vaihteluvälit eri prosenttipisteissä on laskettu käyttäen pohjaveden hydraulisen korkeuden gradientin minimi- ja maksimiarvoja loppusijoitustilaa ympäröivässä kalliiossa.

Tapaus	Virtaus (litraa/vuosi)
Makea pohjavesi	
Kaikki paikat: "mediaani"	0.5
Romuvaara ja tuleva Olkiluoto: 95. prosenttipiste	10
Kivetty ja tuleva Hästholmen: 95. prosenttipiste	50
"Erittäin märkä" sijoitusreikä	200
Suolainen pohjavesi	
Nykyinen Hästholmen ja Olkiluoto: "mediaani"	0.5
Nykyinen Olkiluoto: 95. prosenttipiste	5
Nykyinen Hästholmen: 95. prosenttipiste	25
"Erittäin märkä" sijoitusreikä	100

Taulukko 8-18. Pohjaveden kokonaisvirtausmäärä sijoitusreikään: TILA-99:een valitut arvot.

voidaan tarkastella ns. kulkeutumisvastuksen avulla, joka kuvaa virtaaman jakautumista kallion rakoverkossa. Kyseistä suuretta ei kuitenkaan pystytä tarkasti mittaamaan kalliosta, vaan se voidaan vain karkeasti arvioida syvistä kairanrei'istä tehtyjen virtausmittausten ja rakoiluhavaintojen perusteella. Koska suurellakaan kairanreikien määrällä ei kuitenkaan pystytä hankkimaan luotettavaa kuvaa kulkeutumisvastuksen jakaumasta tutkittavalla paikalla – ja koska kulkeutumisvastuksen vaihtelualue kokonaisuutena näyttää nykyisen tiedon perusteella olevan varsin samanlainen kaikilla tutkimusalueilla, turvallisuusanalyysissä on kaikille paikoille käytetty aluksi samoja arvoja, joita on sitten muunneltu sijoituspaikka- ja sijoitusreikäkohtaisten erojen merkityk-

sen selvittämiseksi. Kalliopohjaveteen päässeistä radioaktiivisista aineista koi-tuvat terveysvaikutukset riippuvat lopul-ta siitä, mihin syvältä kallioperästä tule-vat pohjavedet purkautuvat ja miten poh-javeteen liuenneet aineet käyttäytyvät elollisessa luonnossa. Purkautumisalu-eita on selvitetty virtausmallien avulla lähtien kaavailluista loppusijoitustunne-lien paikoista. Rannikoilla on huomoitu jatkuvasta maankohoamisesta johtuvat muutokset todennäköisten purkauma-alueiden sijaintiin.

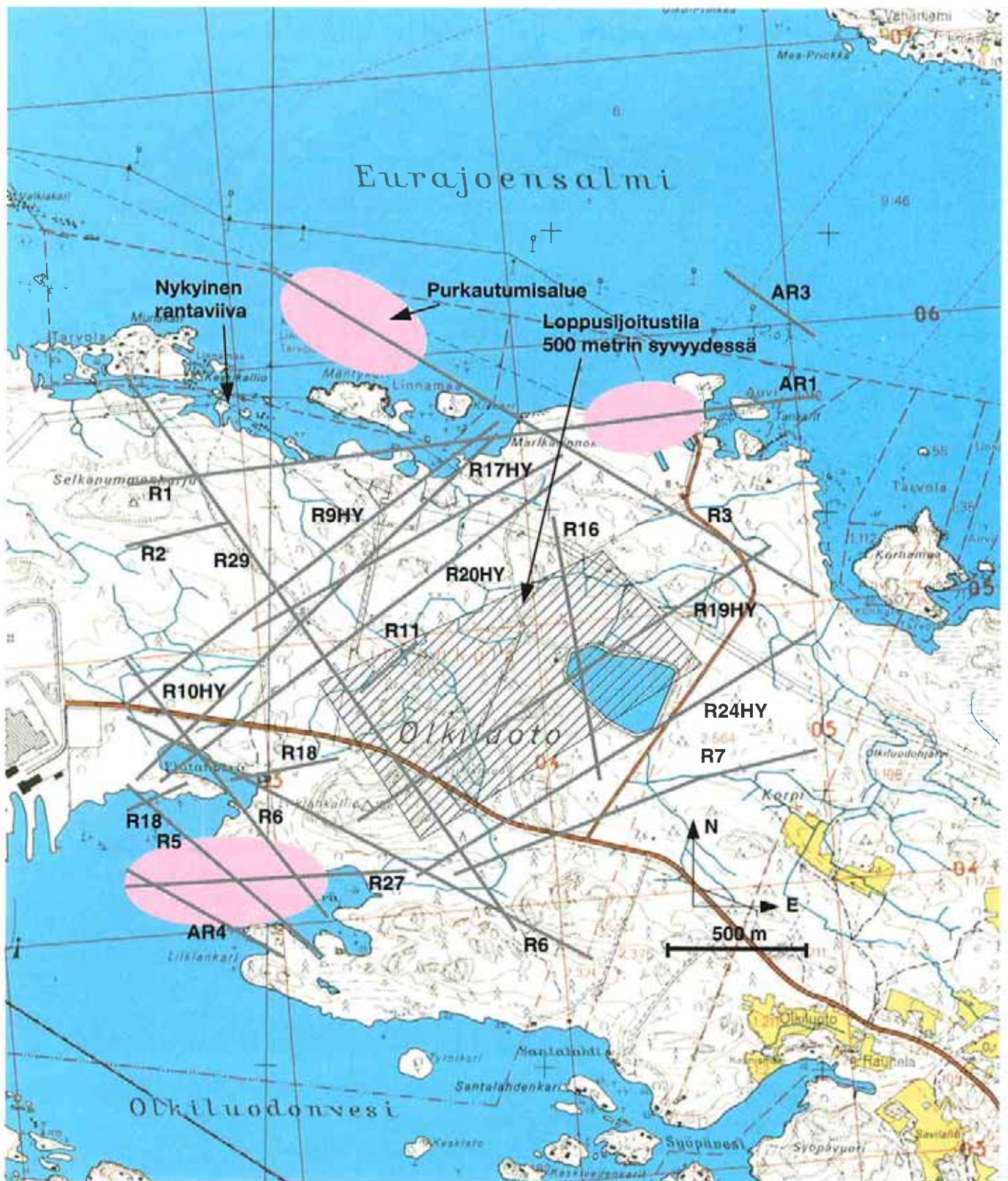
Mallinnuksen perusteella arvioidut purkauma-alueet on esitetty kuvissa 8-10, 8-11, 8-12 ja 8-13. Alueet olisivat todennäköisesti samat, joille mahdollisista päästöistä aiheutuva ylimääräinen säteilyaltistus pääosin kohdistuisi. Osa

päästöistä kulkeutuisi lopulta vesistöjä myöten mereen. Maaperän pintakerrok-siin tullessaan radioaktiivisten aineiden pitoisuudet todennäköisesti laimenisivat. Toisaalta eräät radioaktiiviset aineet saattavat kasautua kasveihin tai eläimiin. Useimmissa tapauksissa suurimmat säteilyannokset aiheutuisivat kuitenkin siitä, että radio-aktiivisia aineita joutuu lopulta kaivoon ja kaivosta juomaveden mukana ihmisten elimistöön. TILA-99:n säteilyannosarvot on laadittu pääosin lähtien tällaisesta oletuksesta. Muunlaisia reittejä tulevia säteilyannoksia on tarkasteltu herkkyysanalyysien avulla. Yksilölle aiheutuvien enimmäisannosten lisäksi analyysissä on loppusijoituksen turvallisuusmäärausten mukaisesti tarkasteltu kalliosta elolliseen luontoon siirtyvien radioaktiivisten aineiden määrää Bq-yksiköissä mitattuna.

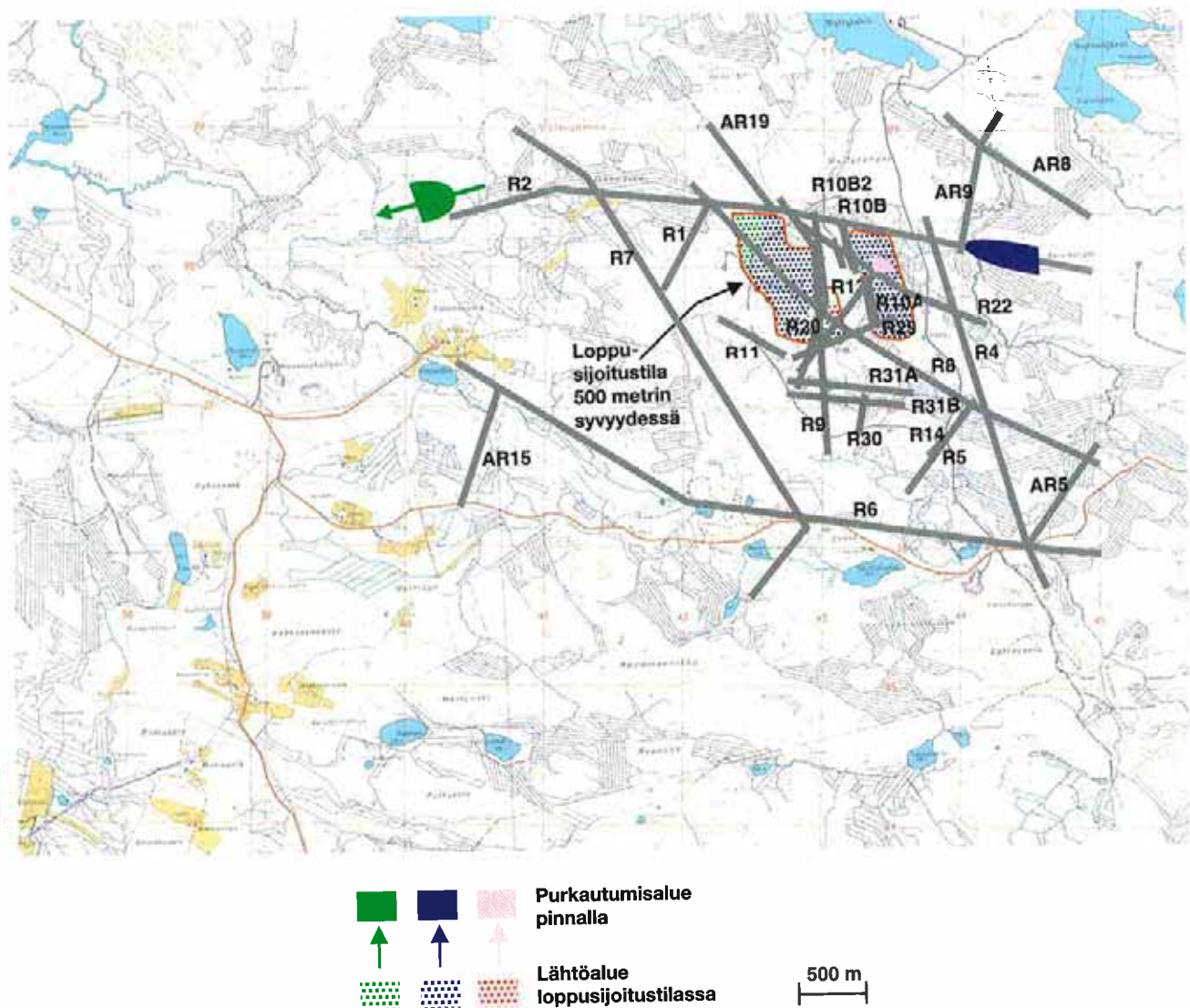
Kuvassa 8-14 on esitetty vaihtoehtoisten loppusijoituspaikkojen keskimääräisiin virtausolosuhteisiin perustuva arvio yhden säiliön pienestä reiästä yksilölle enintään aiheutuvasta vuotuisesta sätei-lyannoksesta sievertteinä (käyrä-SH). Arvio pätee riippumatta siitä, mikä paikkakunta loppusijoituslaitokselle valitaan. Mikäli viallisia säiliöitä olisi useita, arvio enimmäisannokselle saa-daan kertomalla käyrän annos viallisten säiliöiden lukumäärällä. Loppusijoituk-sen turvallisuusmääräyksissä asetettu yksilöannosraja on 0,1 mSv/v.

Käyrä LH vastaa annoksia siinä tapauk-sessa, että reikä olisi jo alusta lähtien 1. Nähdään, että reiän koko ei olennaisesti vaikuta enimmäisannoksen suuruuteen, mutta suurimmat annokset voisivat aiheu-tua aiemmin kuin pienen reiän tapauksessa.

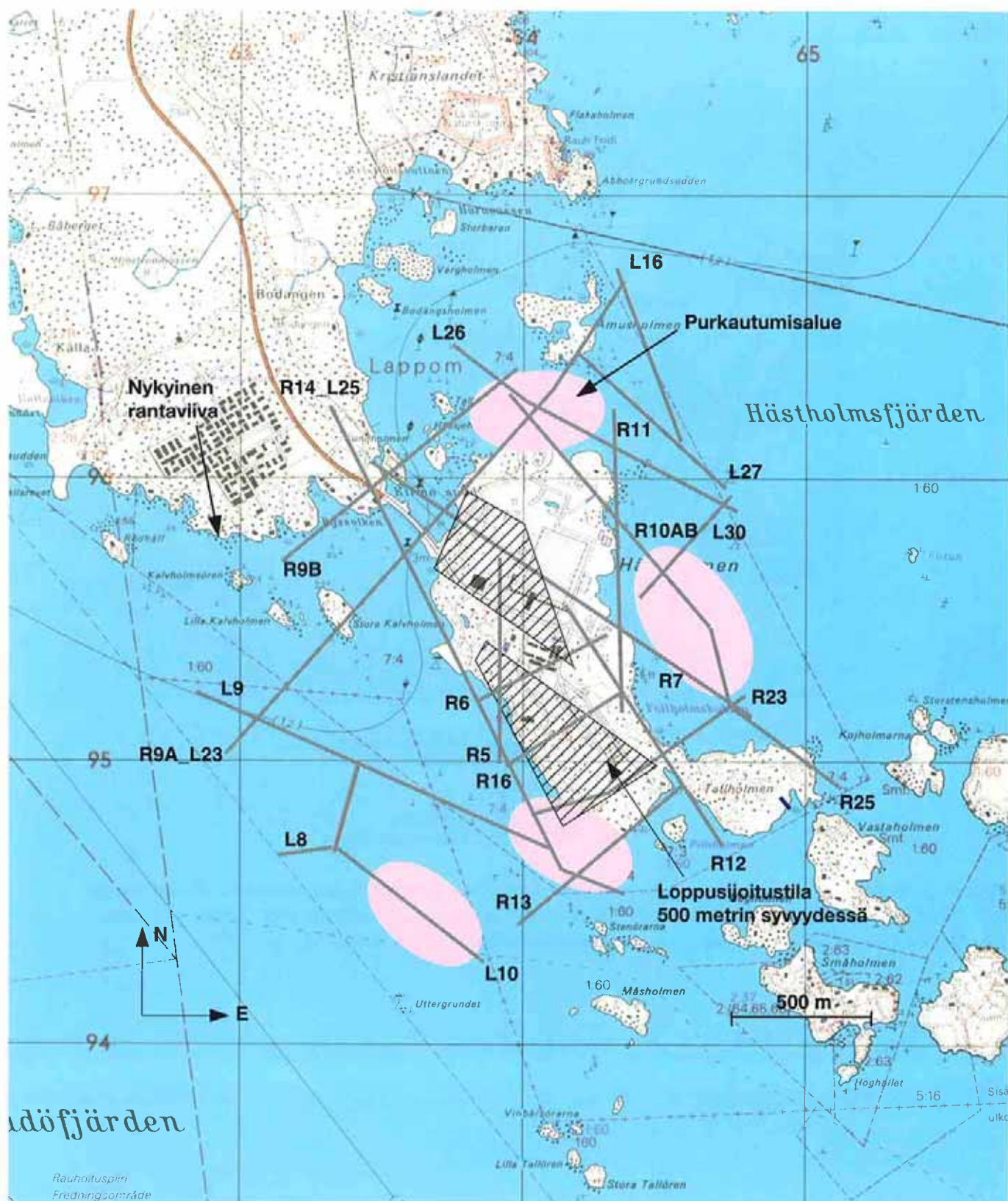
Kuvasta voidaan päätellä, että vaikka viallisia säiliöitä olisi yhtä useampikin, aiheutuvat enimmäisannokset jäisivät pieniksi asetettuun annosrajaan verrat-tuna. Kuvassa 8-15 on tarkasteltu elol-liseen luontoon joutuvia aktiivisuus-määriä pienen reiän tapauksessa.



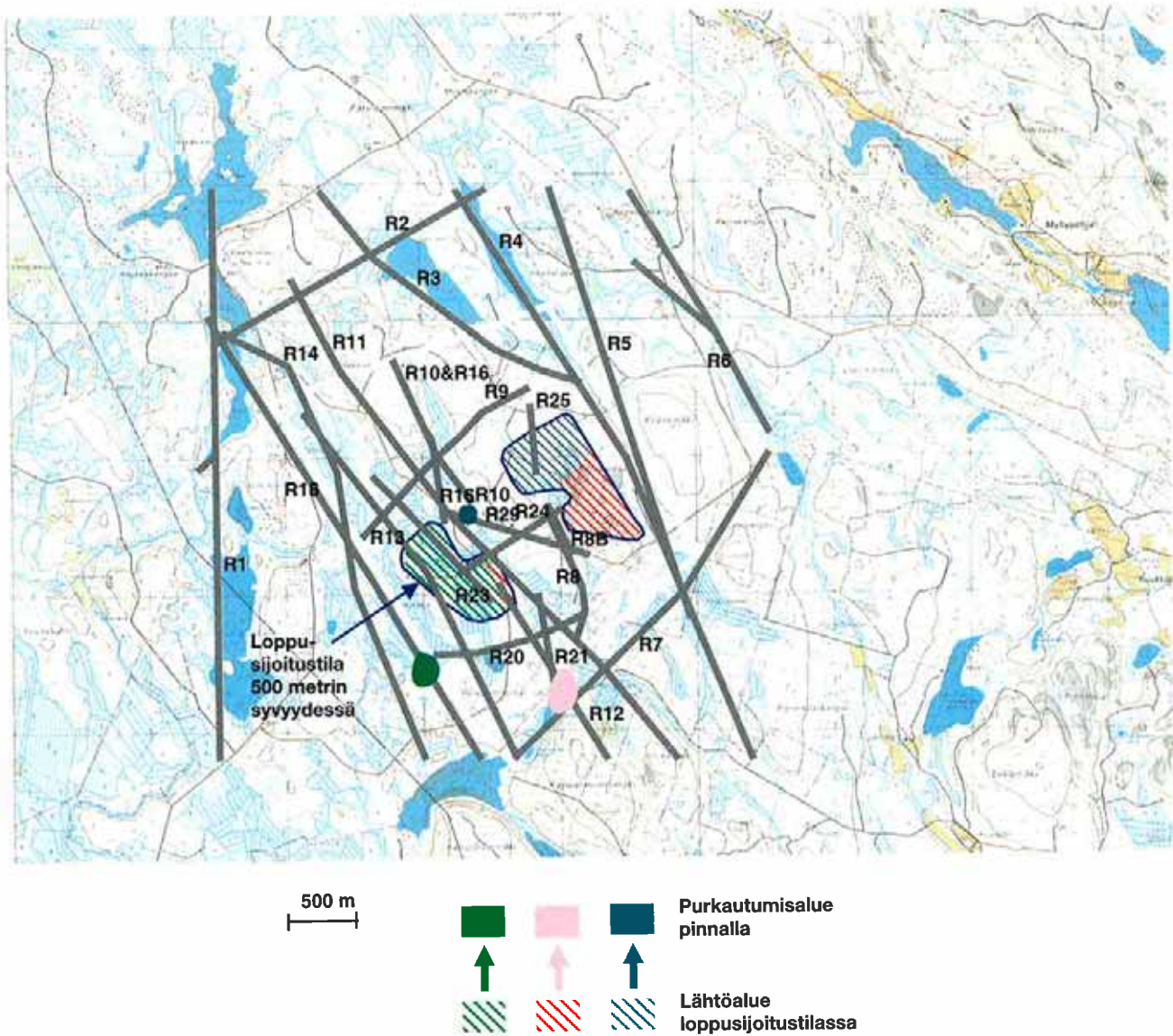
Kuva 8-10. Pohjavesivirtausten arvioidut purkautumisalueet Olkiluodossa. Viivoitetut kohdat osoittavat 500 metrin syvyydessä sijaitseville loppusijoitustiloille kaavaillut alueet. Värein on merkitty todennäköiset purkautumisalueet maan pinnalla. Kuvassa näkyvät myös virtausten kannalta merkittävimmät rakovyöhykkeet.



Kuva 8-11. Pohjavesivirtausten arvioidut purkautumisalueet Romuvaarassa. Viivoitetut kohdat osoittavat 500 metrin syvyydessä sijaitseville loppusijoitustiloille kaavaillut alueet. Värein on merkitty todennäköiset purkautumisalueet maan pinnalla. Kuvassa näkyvät myös virtausten kannalta merkittävimmät rakovyöhykkeet. Osa purkautumisalueista jäisi arvion mukaan kuvassa esitetyn ulkopuolelle.



Kuva 8-12. Pohjavesivirtausten arvioidut purkautumisalueet Hästholmenilla. Viivoitetut kohdat osoittavat 500 metrin syvyydessä sijaitseville loppusijoitustiloille kaavaillut alueet. Värein on merkitty todennäköiset purkautumisalueet maan pinnalla. Kuvassa näkyvät myös virtausten kannalta merkittävimmät rakovyöhykkeet.



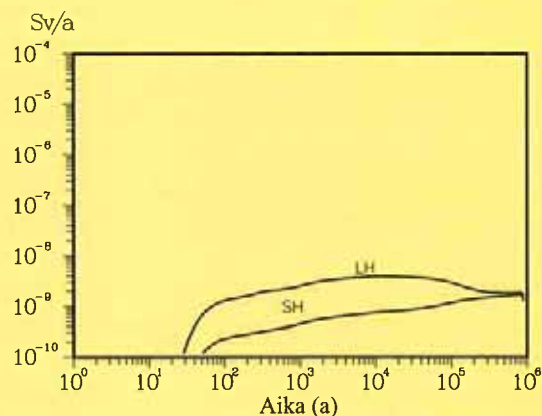
Kuva 8-13. Pohjavesivirtausten arvioidut purkautumisalueet Kivetyssä. Viivoitetut kohdat osoittavat 500 metrin syvyydessä sijaitseville loppusijoitustiloille kaavaillut alueet. Värein on merkitty todennäköiset purkautumisalueet maan pinnalla. Kuvassa näkyvät myös virtausten kannalta merkittävimmät rakovyöhykkeet.

Määrät on kuvassa suhteutettu suoraan STUK:n ehdottamiin nuklidikohtaisiin enimmäisrajoihin. Ensimmäisten tuhansien vuosien aikana vapautuvat määrät olisivat alle kymmenestuhannesosa sallituista päästörajoista.

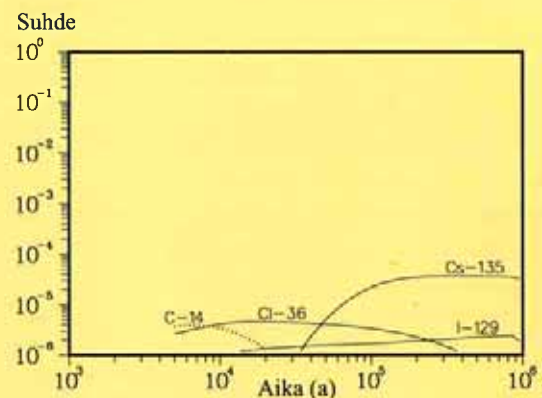
Kuvassa 8-16 on esitetty yhdestä säiliöstä kallioperään vapautuvat nuklidimäärät. Määrät ovat tässäkin tapauksessa alle sadasosa STUK:n asettamista rajoista. Loppusijoitusratkaisun eristyskyky olisi tämän mukaan tehokas jo ilman kallioperän ja elollisen luonnon laimentavaa vaikutusta ja pidätyskykyä.

Kuvista 8-14 ja 8-15 ilmenevät enimmäisarvot, jotka pätevät mille tahansa vaihtoehtoina olevista neljästä alueesta. Kuten edellä todettiin, virtausolot ovat tehtyjen mittausten ja tulkintojen mukaan kaikilla paikoilla varsin samankaltaiset ja sijoitusreikiä keskimäärin (mediaaniarvo) huuhtova virtaama tulisi kaikkialla todennäköisesti olemaan samaa suuruusluokkaa. Virtaaman todennäköinen vaihtelualue voisi kuitenkin eri paikoilla olla hieman erilainen. Lisäksi elolliseen luontoon saakka pääsevien radioaktiivisten aineiden määrään vaikuttaisi veden suolapitoisuus. Näiden erojen merkitystä osoittavat kuvat 8-17a ja 8-17b, joissa on esitetty alun perin viallisesta säiliöstä (pieni reikä) aiheutuvat säteilyannokset eri virtausoletuksilla. Tunnuksella K95, R95 jne. merkityt käyrät vastaavat virtausmääriä, joiden alle virtaus jää 95 %:ssa arvioituista tapauksista, ns100 vastaa taulukon 8-18 "erittäin märkää" sijoitusreikää makeassa pohjavedessä, sal100 vastaa tilannetta suolaisessa pohjavedessä. Vertailun vuoksi mukana ovat myös tapaukset, joiden alle jää vähintään 50 % tarkastelluista tapauksista sisämaapaikoilla (ns50) ja rannikkopaikoilla (sal50). Rannikkopaikoilla virtaavan

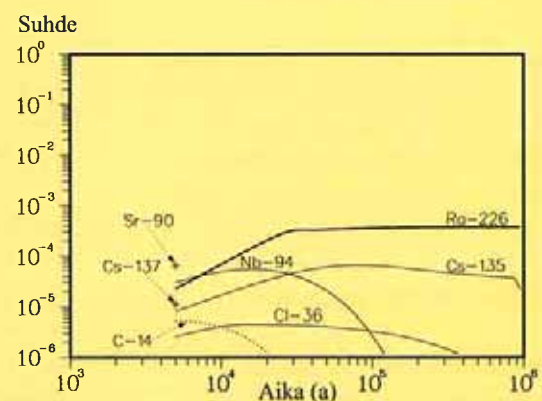
Kuva 8-14. Yhden kapselin vuotamisesta aiheutuvat vuotuiset enimmäisannokset yksilölle eri aikoina. Käyrä SH vastaa oletettua pientä reikää ja käyrä LH "isoa" reikää.



Kuva 8-15. Vapautuneiden radionuklidien määrät yhden kapselin pienestä reiästä elolliseen luontoon esitettynä suhteessa STUK:n määrittelemiін päästörajoihin. Päästöraajat ovat 1 GBq/v yhtenäisellä viivalla merkityille nuklideille ja 10 GBq/v pisteiviivalla esitetyille C-14:lle. Muille nuklideille suhteet jäävät alle miljoonasosan.



Kuva 8-16. Vapautuneiden radionuklidien määrät yhden kapselin pienestä reiästä kallioperään esitettynä suhteessa STUK:n määrittelemiін päästörajoihin. Päästöraajat ovat 0,1 GBq/v radiumille (paksu viiva), 1 GBq/v yhtenäisellä ohuella viivalla merkityille nuklideille (myös yksittäisillä pisteillä merkityille Sr-90:lle ja Cs-137:lle) ja 10 GBq/v pisteiviivalla esitetyille C-14:lle. Muille nuklideille suhteet jäävät alle miljoonasosan.



veden on oletettu olevan nykyisten olojen mukaisesti suolaista.

Rannikkopaikkojen arvioissa oleva noin sadan vuoden jälkeen aiheutuva huippukohta johtuu strontiumin heikosta pidentymisestä kallion rakojen ja huokosten pinnalle suolaisessa pohjavedessä. Annoshuippu on toisaalta lähinnä teoreettinen, koska suolaista vettä ei todennäköisesti käytettäisi talousvetenä. On myös huomattava, että käyrien H95 ja O95 mukaiset enimmäisannokset yhdestä säiliöstä jäisivät edelleenkin alle tuhanteen osaan asetetuista annosrajoista.

Virtaamien vaihtelun merkitys yksistään onkin suhteellisen vähäinen. Virtaama voisi olla makeassa vedessä satoja litroja yhtä reikää kohden ilman että enimmäisannokset kasvaisivat merkittävästi. Suolaisessa vedessä virtaaman nousu sataan litraan reikää kohden nostaisi enimmäisannoksen 95. prosenttipisteen tilanteesta noin kymmenkertaiseksi – mikäli edelleen oletettaisiin, että suolainen vesi kuitenkin kelpaisi talousvedeksi. Siitä huolimatta annokset yhdestä säiliöstä aiheutuvasta päästöstä jäisivät alle sadan osaan annosrajoista. Käytännössä tällaisia kohtia kalliossa ei kelpuutettaisi säiliöiden sijoituspaikaksi.

Turvallisuusanalyysissä on tarkasteltu myös sitä tilannetta, että säiliössä olevan reiän lisäksi bentoniitin eristyskyky olisi suunniteltua huonompi. Tällä ei kuitenkaan olisi suurta merkitystä enimmäisannoksille, koska radioaktiivisten aineiden kulku reiän läpi olisi joka tapauksessa hidasta.

Vertailuskenaario (2): säiliön eristyskyky katoaa kokonaan

Yhtenä vertailuskenaariona on käsitelty myös tapaus, jossa oletetaan, että tiettyä ajankohtana säiliön eristyskyky häviää kokonaan ja pohjavesi pääsee

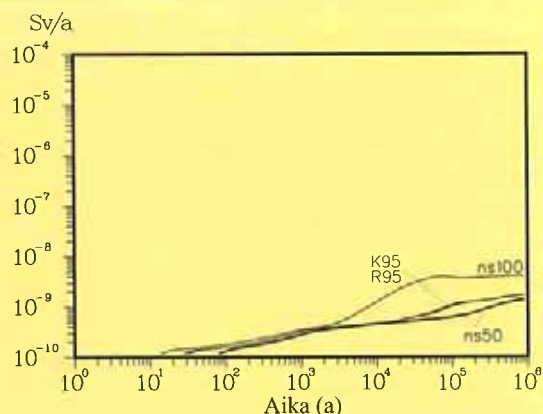
vapaasti kosketuksiin polttoainesauvon kanssa. Syitä tällaiseen tapahtumaan on vaikea kuvitella, mutta tarkoitus onkin ollut selvittää, miten vaatimus moniesteperiaatteesta toteutuu eli mikä merkitys säiliöllä ylipäänsä on loppusijoitusratkaisun eristyskyvylle ja miten hyvin säiliötä ympäröivä bentoniitti ja kallio yksistään pystyvät estämään haitat elolliselle luonnolle.

Kuvassa 8-18 on oletettu säiliön häviävän 10 000 vuoden kuluttua loppusijoituksesta. Kuvasta ilmenee ero pienen reiän tapaukseen: muutamien vuosien kuluessa säiliön häviämisestä säteilyannokset voisivat kohota suurin piirtein samalle tasolle kuin kuvan 8-17a-b

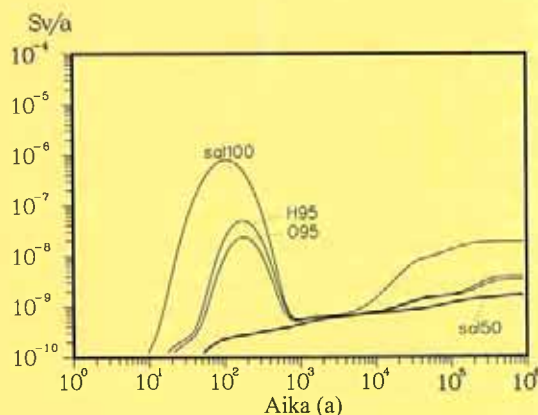
huipputapauksissa, mutta sen jälkeen enimmäisannokset pienenisivät hitaasti kohti samoja arvoja kuin pienempien reiän tapauksissa. Annospiikki aiheutuisi ensisijaisesti jodista (I-129), joka vapautuisi nopeasti säiliön kadottua. Tällöin ei ole otettu huomioon polttoaineen suojakuorien hidastavaa vaikutusta.

Jos myös bentoniitin eristyskyky olisi merkittävästi suunniteltua heikompi, enimmäisannokset voisivat kasvaa kuvassa 8-18 esitetystä noin kymmenkertaisiksi. Jos tällaiseen kohtaan osuisi vielä erittäin suuri suolaisen pohjaveden virtaus – mikä sinänsä olisi hyvin epätodennäköinen – enimmäisannos voisi nousta noin kymmenesosaan loppu-

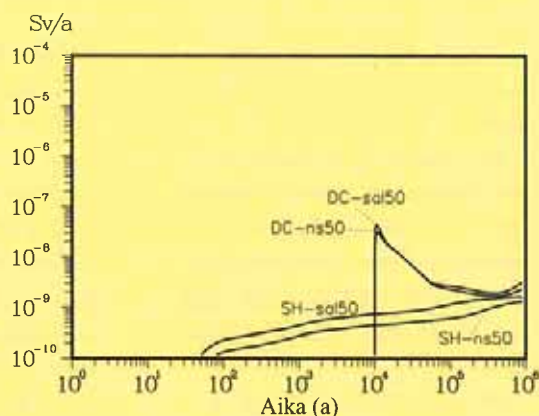
Kuva 8-17a. Vuosittaiset enimmäisannokset yhden kapselin pienestä reiästä eri virtausoletuksilla Kivetyssä (K) ja Romuvaarassa (R). Käyrät K95 ja R95 vastaavat virtausmääriä, joiden alle virtaus jää 95 %:ssa arvioiduista tapauksista, ns100 vastaa taulukon 8-18 "erittäin märkää" sijoitusreikää makeassa pohjavedessä. Käyrä ns50 vastaa reikää, jonka alle jää vähintään 50 % tarkastelluista tapauksista kummallakin paikalla.



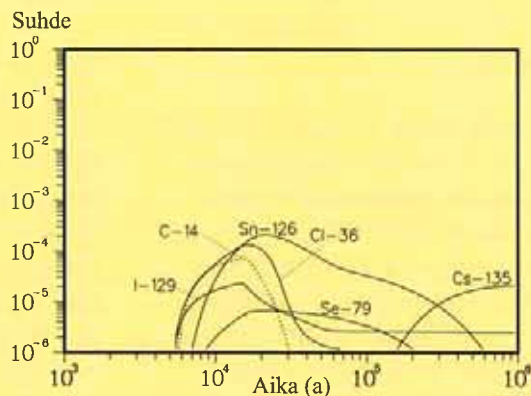
Kuva 8-17b. Vuosittaiset enimmäisannokset yhden kapselin pienestä reiästä eri virtausoletuksilla Hästholmenissa (H) ja Olkiluodossa (O). Käyrät H95 ja O95 vastaavat virtausmääriä, joiden alle virtaus jää 95 %:ssa arvioiduista tapauksista. sal100 vastaa taulukon 8-18 "erittäin märkää" sijoitusreikää suolaisessa pohjavedessä. Käyrä sal50 vastaa reikää, jonka alle jää vähintään 50 % tarkastelluista tapauksista kummallakin paikalla.



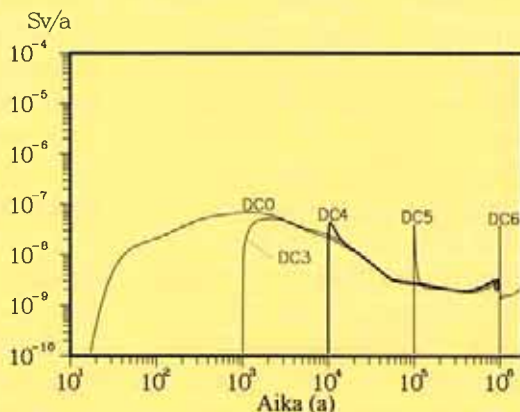
Kuva 8-18. Vuosittaiset enimmäisannokset tapauksessa, jossa yhden kapselin oletetaan "häviävän" täysin. Annokset on laskettu erikseen suolaisen pohjaveden tapauksessa (DC-sal50) ja makean pohjaveden tapauksessa (DC-ns50). Käyrät SH-sal50 ja SH-ns50 vastaavat pienen reiän vuotoja.



Kuva 8-19. Vapautuneiden radionuklidien määrät elolliseen luontoon yhden häviävän kapselin tapauksessa esitettynä suhteessa STUK:n määrittelemiін päästörajoihin. Päästöraajat ovat 1 GBq/v yhtenäisellä viivalla merkityille nuklideille ja 10 GBq/v pisteiviivalla esitetyille C-14:lle. Muille nuklideille suhteet jäävät alle miljoonasosan.



Kuva 8-20. Kapselin "häviämishetken" vaikutus vuotuisin enimmäisannoksiin. DC0 vastaa tapausta, jossa kapseli häviää heti loppusijoitustilan sulkemisen jälkeen, DC3 tuhannen vuoden päästä sulkemisesta, DC4 kymmenen tuhannen vuoden päästä, DC5 sadan tuhannen vuoden päästä ja DC6 miljoonan vuoden päästä.



sijoituksen yleisissä turvallisuusmääräyksissä esitetyistä annosrajoista.

Kuvissa 8-17 ja 8-18 esitetyt säteilyannokset on laskettu kaikkina aikoina samoin perustein. Kuten loppusijoituksen turvallisuusmääräyksissä todetaan, todellisia säteilyannoksia kaukana tulevaisuudessa eläville ihmisille ei pystytä luotettavasti arvioimaan muuttuvien elämän- ja ravitsemustapojen vuoksi. Kuvan käyrät antavat kuitenkin käsityksen loppusijoitusratkaisun toiminnasta pitkälläkin aikavälillä.

Loppusijoituksen turvallisuusmääräysten mukaan pitkän aikavälin tarkastelu-suurena ovat itse aktiivisuuspäästöt kallioperään. Kuvassa 8-19 on esitetty kuvan 8-18 tapausta DC-ns50 vastaavat aktiivisuuspäästöt suhteessa STUK:n esittämiin rajoituksiin. Nähdään, että enimmilläänkin päästöt jäävät alle tuhanteen osaan rajoista.

Häviämishetkellä ei ole suurta vaikutusta enimmäisannoksiin. Kuva 8-20 esittää vertailua tapauksille, joissa säiliö häviää kokonaan eri aikoina.

Onnettomuuksien mahdollisuus

Suunniteltu loppusijoitusratkaisu perustuu "passiiviseen turvallisuuteen". Sen tarkoituksena on suojata elollista luontoa ja ihmistä kaikissa olosuhteissa riippumatta ihmisten halusta ja kyvystä huolehtia ydinjätteestä. Jätteiden sijoitus syvälle kallioon tekee ratkaisun riippumattomaksi maan pinnalla tapahtuvista luonnonmullistuksista ja mahdollisista ihmisen aikaan saamista onnettomuuksista. Radioaktiivisten aineiden moninkertaiseen eristämiseen tähtäävä ratkaisu antaa suojan myös kalliossa tapahtuvia ennalta arvaamattomia muutoksia vastaan.

TILA-99 –turvallisuusanalyysissä ja sitä tukevissa tutkimuksissa on käsitel-

ty niitä perusteita, joihin loppusijoitusratkaisun eristyskyky perustuu. Turvallisuuksianalyysissä on kuitenkin käsitelty laajasti myös niitä tilanteita, joissa eristys ei huolimatta laadunvarmistuksesta ja moninkertaisista varmistuksista toimisi suunnitellulla tavalla. Näissä tarkasteluissa oletettiin suoralta kädeltä, että yksi tai useampi säiliö joko vuotaisi tai menettäisi kokonaan eristyskykynsä ja että myös bentoniitin eristyskyky voisi olla suunniteltua huonompi. Analyysin tulosten mukaan muutaman säiliön täydellinenkin häviäminen ei vielä johtaisi turvallisuusmääräyksissä esitettyjen rajoitusten ylittämiseen.

Turvallisuuksianalyysissä on käsitelty myös sitä mahdollisuutta, että rikkoutuvia säiliöitä olisikin monta. Nykyisen tietämyksen perusteella tällaisen onnettomuuden syyksi voidaan kuvitella lähinnä vain maanjäristykseen liittyvä kalliosiiros. Kuvitelma on, että merkittävä, vähintään kymmenen senttimetrin suuruinen kalliosiihtymä sattuisi tulevaisuudessa juuri jonkin loppusijoitustunnelin kohdalla ja rikkoisi kohdalle osuneet säiliöt.

Tällainen siirros voi olla mahdollinen suuren maanjäristyksen yhteydessä. Vallitsevissa oloissa suurimmat Suomen alueella tai läheisyydessä tapahtuneet maanjäristykset ovat olleet suuruusluokaltaan alle viiden, eikä merkittäviä siirroksia nykyoloissa tiedetä tapahtuneen (Saari 1996, 1997, 1998, 1999, Kuivamäki ym. 1998). Tulevien jääkausien yhteydessä nykyistä suuremmat maanjäristykset ovat kuitenkin mahdollisia. Geologian tutkimuskeskuksen Suomessa ja Karjalassa tutkimien laajojen siirrosten takana näyttää olleen järistyksiä, joiden suuruusluokka on ollut 5,3–7,5 (Kuivamäki ym. 1998).

Loppusijoituksen tutkimusalueita etsittäessä on kuitenkin pyritty mahdolli-

simman pitkälle eliminoimaan loppusijoitustiloja leikkaavan siirroksen mahdollisuus. Sekä kallioperästä tehtyjen havaintojen että teoreettisten tarkastelujen perusteella kallion liikunnat keskittyvät jo olemassa oleviin rakoihin ja rakovyöhykkeisiin. Liikuntojen suuruus näyttää olevan yhteydessä rakoilun ulottuvuuksiin siten, että merkittäviä siirroksia tapahtuu vain suuria heikkousvyöhykkeitä pitkin. Kaikki tutkimuspaikat on valittu siten, että suunniteltujen tunnelien etäisyys laajoihin yli sadan kilometrin matkalla erottuviin heikkousvyöhykkeisiin olisi kymmeniä kilometrejä ja pienempiinkin, alueellisiin heikkousvyöhykkeisiin kilometrien luokkaa.

Todennäköisintä onkin, että suurtenkin jääkausiin liittyvien maajäristysten aiheuttamat liikunnat heijastuisivat vain pieninä liikahduksina loppusijoitusreikää mahdollisesti leikkaavissa yksittäisissä raoissa, eikä niistä olisi vaaraa säiliöiden kestävyydelle. La Pointen ja Cladousin (1999) Posivalle tekemän alustavan tarkastelun mukaan säiliöille vaarallisten liikuntojen todennäköisyys olisi hyvin pieni.

Nykyisen tiedon perusteella sijoitusreikää leikkaavan siirtymän mahdollisuutta kaukana tulevaisuudessa ei silti voida kokonaan sulkea pois. Turvallisuuksianalyysissä on arvioitu, millaiset vaikutukset tällaisella tapahtumalla voisi olla. Analyysissä on oletettu että tapahtuma sijoittuisi seuraavan jääkauden yhteyteen ja tapahtuisi siis aikaisintaan 10 000 vuoden kuluttua loppusijoituksesta. Tarkastelujen perusteella yhden loppusijoitustunnelin alle sijoitetuksi oletettujen 60 säiliön yhtäaikaan hajoaminen voisi aiheuttaa epäsuotuisissa oloissa – ja edellyttäen, että paikalla olisi pysyvää asutusta – eniten altistuville muutaman millisievertin ylimääräisen vuotuisen säteilyannoksen. Tällaisessa tarkaste-

lussa ei kuitenkaan ole otettu huomioon sitä tosiasiaa, että jääkauden jälkeisissä oloissa suuri osa maasta olisi meren peitossa ja muuallakin päästöjä laimentavan veden määrä todennäköisesti huomattavasti oletettua suurempi. Tosiasiassa säteilyannokset jäisivät siten väestön normaaliin säteilyaltistukseen verrattuna vähäisiksi, eikä päästöillä olisi merkittävää vaikutusta muuhunkaan luontoon luonnossa jo entisestään olevien radionuklidien rinnalla.

Toisentyypinen onnettomuus olisi ihmisen tunkeutuminen loppusijoitustiloihin. Koska tarkoituksena on säilyttää tieto loppusijoituspaikasta ja loppusijoitetuista jätteistä ja siirtää se myös tuleville sukupolville, tahaton tai varomaton tunkeutuminen loppusijoitustiloihin ei ole todennäköistä niin kauan kuin nykymuotoinen kulttuuri säilyy ja on jatkuvaa. Onnettomuusmahdollisuus on kuviteltavissa vasta kun tieto loppusijoituksesta on kadonnut. Toisaalta tällöin jätteen säteilyvaarallisuuskin on jo todennäköisesti merkittävästi vähentynyt.

Mikäli loppusijoitustiloihin tunkeututtaisiin varomattomasti jo ensimmäisten satojen vuosien kuluessa loppusijoitustilojen sulkemisesta, vakavan terveyshaitan riski on olemassa. Välitönkin terveyshaitta olisi mahdollinen, jos tunkeutujat oleilisivat tuntikausia paljaiden säiliöiden välittömässä läheisyydessä. Ympäristön ja laajempien ihmisryhmien kannalta tapahtumalla olisi kuitenkin merkitystä vasta, jos säiliöt avattaisiin ja niiden sisältämä käytetty polttoaine jätettäisiin heitteille tai sitä leviteltäisiin ympäristöön. Pelkkä yhteyden kaivaminen loppusijoitustiloihin ja yksittäisten säiliöiden avaaminen maan alla tuskin johtaisi vielä elollisen ympäristön säteilytason merkittävään kohoamiseen. Sisällön levittämisestä ja käyttämisestä aiheutuvia vaikutuksia on

jokseenkin mahdoton täsmälleen ennustaa, koska seuraukset riippuisivat niin paljon sekä tapahtuman ajankohdasta että siitä tavasta, jolla jätteitä leviteltäisiin.

Tällaiset tahattomat ja tietämättömydestä johtuvat onnettomuudet pyritään estämään nimenomaan sillä, että loppusijoitustilat ovat riittävän syvällä ihmisen normaalin elämän ulottumattomissa. Tällöin todennäköistä on, että jos tulevilla sukupolvilla on kyky tunkeutua tiloihin, heillä on myös tietoa ja taitoa varoa jätteestä aiheutuvaa säteilyä.

Turvallisuusanalyysin epävarmuuksien arviointi

Turvallisuusanalyysissä yleistä tietämystämme ja tulevaisuutta koskeva epävarmuus otetaan huomioon – skenaariovalinnoilla – käyttämällä konservatiivisesti valittuja (seurauksia yliarvioivia) oletuksia – selvittämällä analyysissä käytettävien oletusten vaikutus tuloksiin herkkyysanalyysien ja “mitä jos” -tarkasteluin – arvioituttamalla työn kuluessa analyysin suoritustapaa ja tuloksia ulkopuolisilla asiantuntijoilla.

TILA-99:n skenaariot ja niiden herkkyysanalyysissä tarkastellut tapaukset on pyritty valitsemaan siten, että ne yhdessä kattavat niin todennäköiset ja loogisesti kuviteltavissa olevat kehityskulut kuin myös sen mahdollisuuden että käytetty tekniikka tai materiaalit eivät toimi odotusten mukaisesti. Tässä yhteydessä on erityishuomiota kiinnitetty mm. tulevien jääkausien mahdollisille vaikutuksille. Nykyisiä kallio-olosuhteita koskevan tiedon epävarmuutta on korvattu käyttämällä pessimistisiä oletuksia. Ajatuskokein on tutkittu erilaisia hypoteettisia tilanteita, joiden on arvioitu vaikuttavan loppusijoitusratkaisun toimintakykyyn.

Turvallisuusanalyysityö ja sen taustalla oleva tutkimus on ollut kaiken aikaa avoimesti sekä suomalaisten että kansainvälisten asiantuntijoiden arvioitavana. Analyysimenetelmiä ja analyysissä käytettyjä oletuksia onkin tarkasteltu useissa kansainvälisissä vertailuissa (Neall ym. 1994, Russell ym. 1997, SAM 1996, NEA 1997).

Näillä menetelmillä on huolehdittu siitä, että turvallisuusanalyysi vastaa parasta tämänhetkistä asiantuntemusta ja tiedossa olevat epävarmuustekijät ja niiden merkitys tuloksien ja johtopäätösten kannalta on arvioitu. Ennen loppusijoitustilojen rakentamista ja käyttöönottoa tehdään vielä yksityiskohtaiset kallioperätutkimukset valitulla paikalla. Teknisten ratkaisujen toteutettavuus ja laatu osoitetaan käytännön kokein. Turvallisuusarviot tullaan näin ollen vielä tarkistamaan ja yksityiskohtaistamaan ennen kuin varsinainen loppusijoitus alkaa.

Loppusijoitettavan polttoainemäärän vaikutus turvallisuuteen

Yksilön tai pienen omavaraisyyhteisön turvallisuuden ja terveysvaikutusten kannalta tarkasteltuna loppusijoitetun ydinpolttoaineen määrällä ei ole olennaista merkitystä. Turvallisuusanalyysin mukaan todennäköisintä on, ettei kapseleista vapaudu radioaktiivisia aineita miljooniin vuosiin. Tämän jälkeen loppusijoitustiloissa olevien aineiden radioaktiivisuus olisi joka tapauksessa hyvin pieni.

Turvallisuusanalyysissä on tarkasteltu myös mahdollisuutta, että jotkin kapseleista olisivat alusta alkaen viallisia tai vaurioituisivat ennenaikaisesti. Tällaisen tapauksen todennäköisyyden voi karkeasti arvioida kasvavan suoraan verrannollisesti loppusijoitettavan polttoaineen määrään. Kapselimäärän kasvaessa kuitenkin myös loppusijoitustunnelien kokonaispituus

kasvaa jokseenkin suoraan verrannollisesti. Mahdollisista viallisista tai vaurioituneista kapseleista tapahtuvat radioaktiivisten aineiden päästöt päätyisivät tällöin todennäköisesti eri suuntiin ja todennäköisyys, että ne joutuisivat esimerkiksi samaan kaivoon on hyvin pieni. Todennäköistä olisikin, että loppusijoitettavan polttoaineen määrän kasvu ei vaikuttaisi yksilöannosten enimmäismäärään.

Johtopäätökset

Suoritettu turvallisuusanalyysi osoittaa, että käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus voidaan toteuttaa säteilyturvallisuuksivaatimusten mukaisesti millä tahansa vaihtoehtona olevista sijoituspaikoista. Mitä todennäköisintä on, että maanalaisista loppusijoitustiloista ei milloinkaan aiheudu päästöjä, joilla voisi olla merkitystä ympäristön säteilyturvallisuuden kannalta. Pahimmissa tapauksissa suurimmat ihmisille koituvat säteilyannokset jäisivät korkeintaan nykyisen taustasäteilyn tasolle ja altistuvien yksilöiden määrä olisi silloinkin pieni ja rajoittuisi loppusijoitustilojen läheisyyteen. Analyysissä on varovaisuusperiaatteen mukaisesti käytetty pessimistisiä oletuksia tulevista luonnonoloista ja teknisten järjestelmien toimivuudesta. Analyysin johtopäätökset eivät siksi olennaisesti riipu siitä, mitä tarkalleen ottaen tulevaisuudessa tulee tapahtumaan.

Analyysin perusteella mitään vaihtoehtona olevista sijoituspaikoista ei voi pitää turvallisuuden kannalta yksikäsitteisesti parempana tai huonompana kuin toisia, eikä turvallisuusanalyysi myöskään anna aihetta hylätä mitään vaihtoehtoa.

Paikkojen välisistä eroista selvin on pohjaveden kemiallisessa laadussa: rannikkopaikoilla pohjavesi on syvällä kalliolla merkittävästi suolaisempaa

kuin sisämaapaikoilla. Suolaisuus rajoittaa loppusijoitustilojen sijoittelun käytettävissä olevaa kallio-tilavuutta syvyysuunnassa ja vaikuttaa myös pohjaveteen mahdollisesti liuenneiden aineiden kulkeutumisnopeuteen. Toisaalta suolaisuus ja meren läheisyys vähentävät rannikkopaikoilla entisestään todennäköisyyttä, että pohjaveteen lienneet radioaktiiviset aineet voisivat merkittävinä pitoisuuksina joutua ihmisten ravintoon tai juomaveteen ja siten todella aiheuttaa terveyshaittoja.

Kallion rakoilussa ja virtausoloissa voidaan myös havaita joitakin eroja eri paikkojen välillä, mutta eroilla ei ole olennaista merkitystä pitkän ajan turvallisuuden kannalta.

8.4.4 Psykososiaaliset vaikutukset

Loppusijoitushankkeen sosiaalisten vaikutusten arvioinnin yhteydessä tehdyt haastattelu- ja kyselytutkimukset osoittavat, että hankkeeseen suhtaudutaan kaikilla paikkakunnilla jossakin määrin ristiriitaisesti. Haastatteluissa on ilmennyt myös, että joissakin ihmisissä loppusijoitus herättää suoranaista pelkoa (luku 8.5.5). Siksi on kysytty, voisivatko pelot, huolet ja ristiriidat johtaa varsinaisiin sairauksiin.

Sairauksien yhdistäminen luotettavasti pelkoihin tai huolenaiheisiin on yleensäkin vaikeaa, ja erityisen vaikeaa se on tässä tapauksessa, koska puheena ovat vasta kymmenien vuosien päästä aiheutuvat vaikutukset. Tässä yhteydessä ei tehdä yksityiskohtaisia ennusteita tulevasta kehityksestä, vaan arvioidaan asiaan vaikuttavia mekanismeja ja riippuvuuksia.

Tarkastelu perustuu Helsingin yliopiston sosiaalipsykologian laitoksella tehtyyn selvitykseen, jossa on käyty

läpi alan kotimaista ja ulkomaista tutkimusta ja arvioitu tältä pohjalta loppusijoitushankkeen potentiaalisia psykososiaalisia vaikutuksia (Paavola & Eränen 1999). Osin samaa aihepiiriä tarkastellaan myös Oitin pohjavesien pilaantumisesta hiljan tehdyssä väitöskirjassa (Lahti 1998).

Yleisesti stressi määritellään yksilöiden käyttäytymiseen, tuntemuksiin tai fysiologiaan vaikuttaviksi, erilaisten ärsykkeiden eli stressorien aikaansäämiksi reaktioiksi, jotka voivat uhata ihmisen hyvinvointia. Käyttäytymiseen ja tunne-elämään vaikuttavia muutoksia nimitetään *psykologiseksi stressiksi*, fysiologiaan ja biokemiallisiin prosesseihin vaikuttavia muutoksia taas *systeemiseksi stressiksi*. Kysymys on pohjimmiltaan ihmiseen kohdistuvien vaatimusten ja hänen kykyjensä välisestä epätasapainosta. Stressorit voivat olla ulkopuolisten tapahtumien aiheuttamia, mutta ne voivat juontua paljolti myös ihmisen itselleen asettamista moraalisista normeista ja käytäytymisvaatimuksista.

Yksilön stressinhallinta voi olla intrapsyykkistä tai kognitiivista, jolloin yksilö pyrkii tilanteen tiedolliseen tai emotionaaliseen uudelleenmäärittelyyn siten, että epätasapaino poistuu. Yksilö voi myös pyrkiä vaikuttamaan ulkoisiin olosuhteisiin siten, että stressin aiheuttaja poistuu tai lievenee (instrumentaalinen stressinhallinta). Stressinhallintatavasta riippumatta sen epäonnistuminen johtaa yksilön kannalta samantyyppisiin seurauksiin. Näitä voivat olla epävarmuuden aikaansaama krooninen masennus, ahdistuneisuus, jatkuvat tuntemukset elämänhallinnan menettämisestä sekä somaattiset oireet kuten unettomuus, päänsärky tai jatkuvat vatsavaivat.

Stressinhallintaan vaikuttaa yksilöiden mahdollisesti yhteisöiltä saama tuki tai sen puute. Toimiminen yhteisön pii-

rissä voi mahdollistaa sellaisia stressinhallintamuotoja, jotka yksilölle yksin eivät onnistuisi. Tällaisina yhteisöinä voivat olla esimerkiksi asuinkunta samoin kuin erilaiset yhteiskunnalliset liikkeet.

Erilaiset onnettomuudet ja katastrofit ovat tyypillisiä stressinaiheuttajia. Tutkimukset viittaavat siihen, että ihmisten reagoitintapa toisaalta luonnonkatastrofeihin ja toisaalta ihmisen aiheuttamiin onnettomuuksiin on erilainen. Teknologiset katastrofit näyttävät olevan voimakkaampia stressoreita ja niiden psykososiaaliset vaikutukset pitempiaikaisempia kuin luonnonkatastrofien. Syynä eroon saattaa olla se, että teknologiset katastrofit ovat osoitus kontrollin ja hallinnan menettämisestä, ja taustalta voidaan yleensä osoittaa "syyllisiä". Luonnonkatastrofien ei odotetakaan olevan täysin inhimillisen kontrollin ulottuvissa, joten ne on helpompi hyväksyä. Syynä teknologisten katastrofien stressaavuuteen voi olla myös se, että niiden seurauksia ei tunneta tarkasti ja asiat itsessäänkin voivat olla jopa asiantuntijatasolla kiistelyn kohteena.

Luonnonkatastrofien on todettu joskus myös kiinteyttävän yhteisöjä ja yhdistävän ihmisiä. Teknologisilla katastrofeilla tällaista ei ole havaittu. Tämä johtuu kenties siitä, että luonnonkatastrofien syyt tulkitaan jokseenkin samalla tavalla, kun taas teknologisten katastrofien syyt ja seuraukset voivat olla erimielisyyksien kohteena.

Aina eivät teknologisetkaan onnettomuudet ole yhteisöjä hajottavia. Lahden (1998) tutkimuksessa havaittiin, että Oitin pohjavesionnettomuuden teknologisesta luonteesta huolimatta oittilaiset suhtautuivat siihen kuten luonnonkatastrofiin. Asennoitumisen katsotaan heijastavan oittilaisten luottamusta kuntayhteisönsä toimintaan.

Virkamiesten uskottiin tekevän parhaansa eikä tiedottamistakaan moitittu.

Ydinjätteisiin liittyviä stressejä arvioitaessa on huomattava, että laajan yleisön mielissä ydinjätteet ja ydinvoima usein liittyvät erottamattomasti toisiinsa. Vaikka ydinjätteiden loppusijoituslaitoksessa ei olisikaan vakavan ydinonnettomuuden uhkaa, kansalaisen tiedot ja kokemukset eivät riitä tällaisen erottelun tekemiseen. Siksi loppusijoituksen mahdollisesti aiheuttamat pelot ja huolet saattavat enemmän tai vähemmän johtua suhtautumisesta ydinvoimaan sinänsä. Tällöin asiaan vaikuttavat kokemukset ja tiedot esimerkiksi Three Mile Islandin ja Tshernobylin onnettomuuksista. Yleisellä tasolla ydinonnettomuuksien todennäköisyyksien ja seurausten – mm. terveysvaikutusten – arviointiin liittyy yleisön tajunnassa merkittäviä asiantuntijakiistoja.

Asiantuntijatiedon ongelmista puhutaan enemmän sosiaalisten vaikutusten yhteydessä (luku 8.5). Ydintekniikan asiantuntijat ja ydinlaitosten valvonnasta vastaavat viranomaiset ovat mahdollisen ydinonnettomuuden tapahtuessa esimerkkejä ns. ulkoryhmästä. Onnettomuuden stressitekijöiden arvioinnin näkökulmasta keskeinen kysymys on ”sisäryhmän” (stressin kokevat yksilöt tai yhteisö) luottamus ulkoryhmän toimintaan. Luottamus voi olla heikkoa, jos eri ryhmien resurssit ovat kovin epätasaisesti jakautuneet ja esimerkiksi informaatio stressiä aiheuttavasta asiasta on pääasiassa ulkoryhmän käsissä. Tästä syystä kaikki tiedonvaihtoa parantavat toimet, asiantuntijoiden antaman tiedon ja toimintaohjeiden ristiriidattomuus samoin kuin ylipäänsä eläytyvä suhtautuminen sisäryhmän tilanteeseen lieventävät stressitekijöiden vaikutusta.

Loppusijoitushankkeen mahdollisesti aiheuttamat stressit muotoutuvat

hankkeen eri vaiheissa eri tavoilla. Ennen sijoituspäätöksen tekemistä ja sen jälkeenkin ennen varsinaista toimintaa kysymys on paljolti erilaisten käsitysten ja mielipiteiden aiheuttamista ristiriidoista ja suhtautumisesta päätöksentekoprosessiin (ks. myös Viinikainen 1998). Toiminnan käynnistyttyä tilanteeseen vaikuttaa ratkaisevasti se, miten häiriöttä laitos toimii.

Stressorien läsnäoloa voidaan tarkastella ns. *odotusarvomallin* kautta. Lähtökohtana ovat yksilön sisäistämät arvot, joihin suhtautumistapa perimmiltään pohjautuu. Arvoja suuremmin käytännön toimintaan vaikuttavat kuitenkin usein asenteet, joiden ei tarvitse olla suorassa yhteydessä yksittäisiin arvoihin. Odotusarvomallissa arvojen realisoitumista asenteiksi ja näiden priorisoituminen nähdään kolmen osatekijän, kognitiivisen, emotionaalisen ja toiminnallismotivaation tekijän funktiona.

Kognitiivinen osatekijä viittaa yksilön oppimisen ja kokemusten kautta saamiin tietoihin kohteesta ja sen ympäristöstä, kun taas emotionaaliset tekijät rakentuvat erilaisista positiivisista ja negatiivisista tunteemuksista kohdetta kohtaan. Toiminnallis-motivationaliset tekijät liittyvät yksilön valmiuteen muuttaa omaksumiaan käyttäytymismalleja.

Odotusarvomalli tekee ymmärrettäväksi yksilöiden erilaiset reaktiot ja mielipiteet loppusijoitushanketta kohtaan. Malli selittää myös sen, miksi laajan tiedottamisen ja rationaalisen argumentoinnin avulla voidaan vain rajoitettusti vaikuttaa ihmisten suhtautumistapoihin. Keskeinen kiistakysymys ydinjätteiden loppusijoituksessa liittyy riskiin: kysymys on sekä käsitteen määrittelystä että sen sisällöstä määritellyissä tilanteissa. Kansalaisten käsitys riskistä tiivistyy harvoin pelkästään seurauksiin ja todennäköisyyteen, vaan riskiä arvioidaan myös sen

mukaan, onko kyse vapaaehtoisesta altistumisesta vaaralle vai ulkopuolelta tulevastakin uhkasta.

Päätöksentekovaiheessa loppusijoitukseen liittyvien stressorien merkitys voikin ratkaisevasti riippua yksilöiden yhteisöä (asuinkuntaa) ja päätöksentekojärjestelmää kohtaan yleensä tuntemasta luottamuksesta. Kysymys on kahtalainen: kokevatko yhteisön jäsenet olevansa siinä asemassa, että he tosiasiallisesti pystyvät vaikuttamaan laitoksen sijoituspäätökseen ja toisaalta, kokevatko he, että yhteisö kykenee valvomaan tilanteen kehittymistä myös sijoituspäätöksen jälkeen, jos laitos sijoittuu kyseiseen kuntaan.

Kaikilla vaihtoehtoisilla sijoituspaikkakunnilla loppusijoitustoimintaan liitettävät käsitykset lopullisuudesta, peruuttamattomuudesta ja valvottomuudesta saattaisivat aiheuttaa stressiä joillekin paikkakuntalaisista. Lisäksi poikkeustilanteet ja huoli ulkomaisen jätteen tuonnista askarruttavat. Syynä huoliin lieenee tieteelliseen tietoon liittyvä epävarmuus ja tiedon vaikeaselkoisuus sekä moninaisuus.

Stressinhallinnan mahdollisuudet näyttäytyvät kaikissa kunnissa samantapaisina. Vähiten hankkeen suunnittelu- ja päätöksentekoprosessiin liittyviä kysymyksiä on nostettu esiin Eurajoella. Muilla paikkakunnilla kuntalaisten vaikutusmahdollisuuksia kohtaan esiintyy enemmän epäilyä: on väitetty, että asukkaita ei kuulla tarpeeksi eikä riittävän aikaisessa vaiheessa. Tämän arvioidaan johtuvan toisaalta ydinenergialaista ja toisaalta kunnan johdosta. Näkemykset kansanäänestyksestä vaikutusmahdollisuutena jakautuvat. YVA-menettelyyn olennaisesti liittyvä osallistumisen mahdollisuus ei kuitenkaan houkuttellut paikkakuntalaisia vaikuttamaan. Eurajoella järjestetyissä tilaisuuksissa kävi eniten väkeä.

Kaikilla paikkakunnilla vaikuttajat ja päättäjät (Ponnikas 1999) arvioivat avoimen ja demokraattisen loppusijoitusprosessin edellytykseksi avoimen tiedottamisen. Voimalaitospaikkakunnilla luotetaan edustuksellisen demokratian toimivuuteen ja keskuhallinnon pyyteettömyyteen ydinjätteiden loppusijoittamisessa. Eurojen vaikuttajista 79 % ja Loviisan vaikuttajista 60 % on sitä mieltä, että loppusijoitus päätös pitäisi tehdä kunnanvaltuustossa. Ei-voimalaitospaikkakunnilla luotetaan puolestaan suoraan päätöksentekoon siten, että Kuhmon vaikuttajista 66 % ja Äänekosken vaikuttajista 51 % arvioi loppusijoitus päätöksen tekemiseen tarvittavan kansanäänestystä.

Tilanteen kehittymiseen vaikuttaa luonnollisesti myös asiantuntijoiden toiminta. Tällöin olennaista ei ole pelkästään esimerkiksi asiantuntijoiden kvantitatiiviset arviot riskien suuruudesta vaan myös se, miten asiantuntijatieto vastaa kansalaisten käsityksiin riskien olemuksesta ja merkityksestä. Keskusteluun liittyy tällöin erityisesti myös eettinen näkökulma.

Sijoitus päätöksen jälkeen laitoksen merkitys potentiaalisena stressorina riippuu paljolti kunnan ottamasta roolista: jääkö se passiiviseksi sopeutujaksi vai tuleeko siitä aktiivinen sopeuttaja. Sopeuttaminen tarkoittaa esimerkiksi, että kunta ottaa laitoksen osaksi kuntasuunnitelmaa ja käynnistää vuoropuhelun eri osapuolten kesken.

Kun loppusijoituslaitos on vakiinnuttanut asemansa valitulla sijaintipaikalla, sen merkitys stressorina todennäköisesti vähentyy. Jos laitos toimii häirit্তä, se vähitellen hyväksytään normaaliksi osaksi yhteisön toimintaympäristöä. Yhteisön keskuudessa saattaa edelleenkin kuitenkin olla eroja suhtautumisessa laitokseen. Nämä erot voivat aiheutua esimerkiksi välittömästi

suhteesta laitokseen: laitoksella työskentelevät suhtautuvat yleensä luottavaisesti laitoksen toimintaan (Kivimäki & Kalimo 1993, Kivimäki ym. 1995). Joidenkin yksittäisten yksilöiden kohdalla laitos voi kuitenkin aiheuttaa pysyvän stressitekijän.

Mahdollinen käyttöhäiriö voisi nostaa hankkeeseen liittyvät kiistat ja epävarmuudet uudelleen esiin, vaikka tapauksesta ei todellisuudessa aiheutuisi minkäänlaisia fysikaalisia seurauksia laitoksen ulkopuolella. Tällaisissa tilanteissa juuri epävarmuus itsessään on merkittävä stressitekijä. Mahdollista on, että kuntalaiset jakautuisivat suhtautumisessaan häiriöön: osa luottaa, että häiröstä ei ole todellista haittaa esimerkiksi terveydelle, kun taas osa asukkaista voi annetuista asiantuntija- ja viranomaislausunnoista riippumatta katsoa terveytensä vaarantuneen. Tähän voi liittyä syyllisten nimeäminen joko yhteisön sisältä tai ulkopuolelta. Tilanteen kehittymiseen vaikuttaa tällaisessa tapauksessa Oitin tapaan (Lahti 1998) yhteisön (kunnan) toimintakulttuuri ja asukkaiden luottamus siihen.

Varsinaisessa onnettomuustilanteessa käyttäytyminen voisi osin poiketa häiriötilanteista. Käsitykset tapahtuman sisällöstä ja merkityksestä voisivat olla yhteneväisempiä kuin häiriötilanteissa. Yksilöiden stressinhallintatavat voisivat olla kuitenkin toisistaan poikkeavia ja joillakin nämä voisivat johtaa muista eriytymiseen. Tällaisessa tilanteessa stressien lieventämiseen voisi parhaiten kuitenkin vaikuttaa nimenomaan tilanteen herättämien tunteiden yhteinen tietoinen käsittely ja uudelleenarviointi. On kuitenkin huomattava, että vakavan reaktorionnettomuuden kaltaista tilannetta loppusijoituslaitoksessa ei voi syntyä eikä tästä syystä myöskään onnettomuuteen liittyvää evakuointitilannetta, jossa yhteisön sosiaalinen yhteenkuuluvuuden tunne rikkoutuisi.

Loppusijoituslaitoksen sosiaalisia vaikutuksia on käsitelty laajemmin luvussa 8.5. Siinä yhteydessä palataan mm. kysymykseen riskien määrittelystä ja luonteesta ja asiantuntijatiedon merkityksestä kansalaisten käsitysten muodostumisessa.

8.4.5 Yhteenvedo terveysvaikutuksista

Suoritettujen turvallisuusanalyysien ja muiden selvitysten perusteella hankkeen aiheuttamat vaikutukset ihmisten terveyteen jäävät merkityksettömän pieniksi niin paikallisesti kuin laajemminkin tarkasteltuna ja mitä todennäköisintä on, että minkäänlaisia muutoksia ei milloinkaan tulla havaitsemaan. Onnettomuuksista samoin kuin hankkeeseen liittyvistä epävarmuuksista ja ennakoimattomista tulevaisuuden tapahtumista syntyvä riski terveyshaittojen muodostumiseen arvioidaan sekin hyvin pieneksi. Vaikutukset ympäristön terveysoloihin jäävät vähäisiksi ja rajoittuvat mahdollisiin psykososiaalisiin vaikutuksiin.

Suurin huoli mahdollisista terveysvaikutuksista on yleisön keskuudessa yleensä kiinnitetty käytetyn polttoaineen sisältämien radioaktiivisten aineiden säteilystä mahdollisesti aiheutuviin terveysriskeihin. Normaaleissa oloissa radioaktiiviset aineet ovat kuitenkin kaiken aikaa tiiviisti eristettynä luonnosta ja ihmisistä. Päähuomio onkin kiinnitetty erilaisten häiriö- ja onnettomuustilanteiden seurauksiin ja loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuutta koskeviin arvioihin.

Vaikka käytetyn polttoaineen kuljetukseen kohdistuukin erilaisia huolia ja pelkoja, sekä käytännön kokemukset että suoritettujen onnettomuusanalyysit osoittavat terveyshaittojen riskin pieneksi. Pienimmillään riski on silloin kun kuljetusten määrä minimoidaan ja

kuljetukset suoritetaan meritse. Mikäli loppusijoitettavana on vain nykyisten laitosyksiköiden käytetty polttoaine, riski minimoituu, kun sijoituspaikaksi valitaan Olkiluoto ja kuljetukset Loviisasta suoritetaan laivalla. Riski on kuitenkin kaiken kaikkiaan niin vähäinen, että loppusijoituspaikan tai kuljetusmuodon merkitys terveysoloihin tai terveysriskeihin on merkityksettömän pieni.

Loppusijoituslaitoksen käytölle Suomessa asetetut turvallisuusvaatimukset ovat kansainvälisesti verraten erittäin tiukat. Laitoksen aiheuttama säteilyaltistus jääkin kaikissa tilanteissa merkityksettömän pieneksi – ja näin siitä huolimatta, että tarkoitus ei ole rajoittaa asumista laitoksen läheisyydessä. Näin olettaen myöskään sijoituspaikalla ei ole terveysriskien kannalta merkitystä.

Loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuus on ollut loppusijoitusratkaisun suunnittelun tärkeimpänä lähtökohtana. Jo parisen kymmentä vuotta jatkuneiden tutkimusten yhtenä päätavoitteena on ollut hankkia riittävät perusteet pitkäaikaisturvallisuuden arviointiin. Tehtyjen turvallisuusanalyysien perusteella ratkaisun voidaan kaikilla paikoilla osoittaa antavan riittävät takeet ympäristön ja ihmisten terveyden suojelemiseksi niin kauas tulevaisuuteen kuin jätteistä voisi ylipäänsä olla olennaista haittaa.

Pitkäaikaisturvallisuuteen mahdollisesti vaikuttavat erot eri sijaintipaikkojen välillä pelkistyvät ensi sijassa eroihin rannikko- ja sisämaapaikkojen välillä. Toisaalta niin rannikko- kuin sisämaan paikoillakin on pitkäaikaisturvallisuuden kannalta sekä edullisia että epäedullisia piirteitä, eikä turvallisuusanalyysin perusteella voida yksiselitteisesti ratkaista, mikä paikoista olisi paras. Kaikilla paikoilla loppusijoitustila voidaan rakentaa siten, ettei tiloista

milloinkaan vapaudu merkittäviä määriä haitallisia aineita elolliseen luontoon. Riippumatta siitä, millaisiksi riskit turvallisuusanalyysissä arvoidaan, hanke aiheuttaa joissakin ihmisissä huolia ja pelkoja ja tätä voidaan pitää vaikutuksena terveysoloihin. Vaikutuksen laajuus tai vakavuus on kuitenkin vaikeasti arvioitavissa. Joka tapauksessa tehtyjen kysely- ja haastattelututkimusten perusteella näyttää ilmeiseltä, että niiden merkitys olisi todennäköisesti vähäisempi nykyisillä voimalaitospaikkakunnilla kuin Kuhmossa ja Äänekoskella.

