

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitos



Ympäristövaikutusten arviointiselostus

POSIVA OY

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitos



Ympäristövaikutusten arviointiselostus

POSIVA OY

SISÄLLYSLUETTELO

ESIPUHE	1
1. JOHDANTO	3
1.1 Valmistautuminen käytetyn ydinpolttoaineen huoltoon	3
1.2 Laki ja päätökset velvoittavat	3
1.3 Taustalla pitkäjänteinen tutkimus- ja kehitystyö	4
• Valmistautuminen sijoituspaikan valintaan	4
• Tutkimuksia useilla alueilla	6
• Kansainvälinen yhteistyö	7
1.4 Ympäristövaikutusten arviointi	8
2. KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN HUOLLON VAIHTOEHDOT	9
2.1 Nykytilanne	9
2.2 Toimintavaihtoehtot välivarastoinnin jälkeen	11
• Jälleenkäsittely	11
• Suora loppusijoitus	13
• Transmutaatio	13
• Muut esitetyt ratkaisut	14
2.3 Nykyinen valintatilanne	15
3. GEOLOGISEN LOPPUSIJOITUKSEN VAIHTOEHDOT	17
3.1 Perusratkaisu	17
3.2 Perusratkaisun muunnelmät	18
3.3 Muut geologisen loppusijoituksen toteutustavat	20
3.4 Vaihtoehtojen arviointi ja rajaaminen	21
4. PERUSRATKAISUN KUVAAUS	27
4.1 Käytetyn ydinpolttoaineen kertymä	27
4.2 Hankkeen elinkaari	27
4.3 Hankkeen vaiheet ja niiden toteutus	28
4.3.1 Tutkimusvaihe	28
4.3.2 Rakentamisvaihe	30
• Loppusijoitustilojen rakentaminen	30
• Kapselointilaitoksen sekä apu- ja oheistilojen rakentaminen	31
4.3.3 Loppusijoitusvaihe	32
• Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetukset	32
- Kuljetuksissa käytettävä tekniikka	32
- Käytännön kuljetusjärjestelyt	34
• Kapselointi ja loppusijoittaminen	38
- Käytetyn ydinpolttoaineen käsittely kapselointilaitoksessa	38
- Kapselien sijoitus kalliooperään	39
- Turvajärjestelyt ja turvallisuusvalvonta	40
- Loppusijoituslaitoksen henkilöstö, raaka-aineet ja raaka-ainekuljetukset	40
4.3.4 Sulkemisvaihe	40
• Loppusijoituslaitoksen sulkeminen	40
• Sulkemisen jälkeinen aika	40
4.3.5 Loppusijoituksen kustannukset	41

5. SIIJOITUSPAIKKAVAIHTOEHDOT	43
• Eurajoen Olkiluoto	44
• Kuhmon Romuvaara	46
• Loviisan Hästholmen	48
• Äänekosken Kivetty	50
6. TOTEUTTAMATTA JÄTTÄMINEN	53
6.1 Nollavaihtoehto	53
6.2 Käytetyn ydinpolttoaineen välivarastointi Olkiluodossa	53
6.3 Käytetyn ydinpolttoaineen välivarastointi Hästholmenissa	54
6.4 Muita käytetyn ydinpolttoaineen välivarastointitapoja	55
6.5 Välivarastoinnin kustannuksista	55
7. YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTIMENETTELY	57
7.1 YVA- menettelyn tarkoitus	57
7.2 Osallistumisjärjestelmä	57
• YVA-tiedotteet ja muut aineistot	57
• Yleisötilaisuudet sekä keskustelu- ja pienryhmät	58
• Näyttelyt	59
• Kuntien osallistuminen	59
• Tapaamiset virkamiesten ja asiantuntijoiden kanssa	59
• Muu viestintä	60
7.3 YVA-ohjelma	60
• YVA-ohjelma yhteysviranomaiselle 6.2.1998	60
• Arviointiohjelmasta tiedottaminen ja kuuleminen	61
• Yhteysviranomaisen lausunto 24.6.1998	61
• YVA-ohjelmaan täydentäminen	61
7.4 Arvioinnin suorittajat ja aineisto	62
8. PERUSRATKAISUN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	65
8.1 Tarkastelun jäsentely	65
8.2 Vaikutukset luontoon ja luonnonvarojen hyödyntämiseen	66
8.2.1 Tutkimusalueiden nykytila	66
• Olkiluoto	66
• Hästholmen	67
• Romuvaara	68
• Kivetty	69
8.2.2 Vaikutukset ilmaan	70
• Louhinta, murskaus, läjitys	70
• Rakennukset	70
• Liikenne	71
8.2.3 Vaikutukset vesiin	73
• Avoimet tunnelit	73
• Veden hankinta	76
• Öljyvuodot	76
• Talousjätevesi	76
• Kapselointi	76
• Rakennusjäte ja muu jätehuolto	76
• Louhinta, murskaus, läjitys	77
• Maatyöt ja asfaltointi	77
• Kapselimateriaalit	77

8.2.4	Vaikutukset elolliseen luontoon	77
	• Radioaktiiviset aineet	77
	• Käytettävät alueet	77
	• Liikenne, louhinta, murskaus, läjitys, rakennukset	82
8.2.5	Vaikutukset maaperään ja ilmastoon	82
	• Maarakenteet	82
	• Kalliorakenteet	82
	• Kapselien lämmöntuotto	86
8.2.6	Vaikutukset luonnonvarojen hyödyntämiseen	86
	• Kuparin käyttö	86
	• Bentonitiin käyttö	86
	• Kiviaineksen käyttö	86
	• Virkistyskäyttö	86
	• Viranomaisten rajoitukset	87
8.2.7	Yhteenveto	87
8.3	Vaikutukset maankäyttöön, kulttuuriperintöön, maisemaan, rakennuksiin ja kaupunkikuvaan	88
8.3.1	Maankäyttö Olkiluodossa	88
8.3.2	Maankäyttö Hästholmenissa	89
8.3.3	Maankäyttö Kivetyssä	91
8.3.4	Maankäyttö Romuvaarassa	92
8.3.5	Vaikutukset kulttuuriperintöön, rakennuksiin, maisemaan ja kaupunkikuvaan	93
	• Olkiluoto	93
	• Hästholmen	96
	• Kivetty	98
	• Romuvaara	100
8.3.6	Yhteenveto	102
8.4	Vaikutukset ihmisten terveyteen	103
8.4.1	Epäpuhtauksista, melusta ja tärinästä aiheutuvat terveysvaikutukset ...	103
	• Liikenne	103
	• Murskaus	103
	• Louhinta	103
	• Jätevesien puhdistus	104
	• Lämpökeskuksen päästöt	104
	• Kapselimateriaalit	104
8.4.2	Liikenneonnettomuudet	104
8.4.3	Säteilystä johtuvat terveysvaikutukset	104
	• Radioaktiivisten aineiden säteily	104
	- Perusmääritelmiä	104
	- Ionisoivan säteilyn terveysvaikutukset ja -riskit	105
	• Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetukset	107
	- Käytetyt menetelmät ja oletukset	107
	- Odotettavissa olevat terveysvaikutukset	107
	- Onnettomuustilanteet	111
	• Loppusijoituslaitoksen käyttö	115
	- Loppusijoituslaitoksen käytönaikaiset turvallisuusmääräykset ...	115
	- Terveysvaikutukset laitoksen toimiessa normaalisti	115
	- Normaalit päästöt ja suora säteily	116
	- Häiriötilanteiden päästöt	117
	- Säteilyannokset ja vaikutusalueet normaaleissa ja häiriötilanteissa ..	117

- Onnettomuustilanteet	118
- Onnettomuustilanteiden päästöt	118
- Säteilystä ja vaikutusalueet onnettomuustilanteissa	119
- Haitallisten vaikutusten ehkäisy ja rajoitus	119
• Loppusijoituslaitoksen sulkemisen jälkeinen aika	120
- Pitkäaikaisturvallisuuden perusteet	120
- Tehdyt tutkimukset	121
- Turvallisuusvaatimukset	122
- Turvallisuusarvion laatiminen	123
• Arvioidut vaikutukset	124
- Perustapaus	125
- Vertailuskenaario: (1) vuotava säiliö	126
- Vertailuskenaario: (2) säiliön eristyskyky katoaa kokonaan	134
- Onnettomuuksien mahdollisuus	135
- Turvallisuusanalyysin epävarmuuksien arviointi	137
- Loppusijoitettavan polttoainemäärän vaikutus turvallisuuteen ...	137
- Johtopäätökset	137
8.4.4 Psykososiaaliset vaikutukset	138
8.4.5 Yhteenveto terveystieteilijöistä	140
8.5 Sosiaaliset vaikutukset	143
8.5.1 Arvioinnin lähtökohdat	143
8.5.2 Yleinen lähestymistapa ja käytetyt aineistot	143
8.5.3 Sosiaalisten vaikutusten muodostuminen	145
8.5.4 Vaikutukset yhdyskuntarakenteeseen	146
• Yritystoiminta	146
• Maatalous	152
• Matkailu	153
• Väestömäärä ja -rakenne	154
• Muu yhdyskuntarakenne ja infrastruktuuri	158
• Kiinteistöjen arvot	158
• Kuntatalous	162
8.5.5 Vaikutukset elinoloihin ja viihtyvyyteen	165
• Asukkaiden käsitykset loppusijoituksesta	165
• Yhteiskuntatieteen näkökulmia	168
8.5.6 Yhteenveto ja johtopäätökset	170
9. TOTEUTTAMATTA JÄTTÄMISEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	173
9.1 Radioaktiivisten aineiden päästöt ja niiden vaikutukset	173
9.2 Välttämättömien jatkamisen vaikutukset turvallisuuteen	173
9.3 Välttämättömien jatkamisen sosiaaliset vaikutukset	174
9.4 Välttämättömien jatkamisen muut vaikutukset	174
10. VAIHTOEHTOJEN ARVIOINTIA	177
10.1 Arvioinnin jäsentely	177
10.2 Loppusijoitushankkeen toteuttaminen vai toteuttamatta jättäminen	177
10.3 Sijoituspaikkavaihtoehtojen arviointi	178
10.3.1 Loppusijoituspaikalta toivottavat ominaisuudet	178
• Paikanvalintaprosessin tarjoamat lähtökohdat	178
• Yleisiä suosituksia ja vaatimuksia paikanvalinnalle	181
- Kallioperän ominaisuudet	181
- Muut ominaisuudet	181

10.3.2 Sijoituspaikkojen soveltuvuuden arviointiperusteet	182
• Pitkäaikaisturvallisuus	182
• Rakennettavuus	182
• Loppusijoitustilojen laajennettavuus	182
• Loppusijoituslaitoksen käyttö	182
• Sosiaalinen hyväksyttävyys	183
• Maankäyttö ja ympäristökuormitus	183
• Infrastruktuuri	183
• Kustannukset	183
10.3.3 Vaihtoehtojen arviointi	183
• Pitkäaikaisturvallisuus	183
• Rakennettavuus	184
• Loppusijoitustilojen laajennettavuus	184
• Loppusijoituslaitoksen käyttö	184
• Sosiaalinen hyväksyttävyys	185
• Maankäyttö ja ympäristökuormitus	186
• Infrastruktuuri	186
• Kustannukset	187
10.3.4 Yhteenveto	187
11. TOIMENPITEET YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINNIN JÄLKEEN ..	189
11.1 Tarvittavat suunnitelmat, luvat ja päätökset	189
• Ympäristövaikutusten arviointimenettely	189
• Kaavoitus	189
• Ydinenergiain mukaiset päätökset	189
• Kuljetusluvut	189
• Muut luvat	189
• Kansainväliset säädökset	189
11.2 Ympäristövaikutusten seurantaohjelma	190
• Säteilyvaikutusten seuranta	190
• Muu seuranta	190
• Sulkemisen jälkeinen seuranta	191
12. YHTEENVETO	193
SANASTO JA LYHENTEET	197
VIITTEET	200
LIITE 1	
• KTM:n lausunto 24.6.1998	206
LIITE 2	
• Luettelo käytetyn ydinpolttoaineen huoltoon ja loppusijoitukseen liittyvistä raporteista	218

Ydinenergian käytössä syntyvistä radioaktiivisista jätteistä on huolehdittava siten, ettei niistä aiheudu haittaa elolliselle luonnolle. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että ydinjätteet eristään sijoittamalla ne pysyväksi tarkoitettulla tavalla kallioperään. Ydinjätehuolto on Suomessa toteutettu järjestelmällisesti ja toimenpiteet ovat jo edenneet vähä- ja keskiaktiivisten jätteiden osalta loppusijoitukseen asti. Myös käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta on valmisteltu jo pari vuosikymmentä.

Pitkäjänteiset ja perusteelliset tutkimukset ovat osoittaneet, että Suomen kallioperä tarjoaa suotuisat olosuhteet käytetyn ydinpolttoaineen pysyvään eristämiseen elollisesta luonnosta. Lainsäädäntö edellyttää, että turvallisuuden lisäksi loppusijoituslaitoksen muutkin mahdolliset ympäristövaikutukset on selvitettävä.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen ympäristövaikutusten arviointi (YVA) käynnistyi vuonna 1997, jolloin Posiva Oy hankkeesta vastaavana organisaationa aloitti YVA-arviointiohjelman laatimisen. Ohjelma tarkoittaa käytännössä suunnitelmaa niille selvityksille, jotka YVAn puitteissa tehdään erityyppisten ympäristövaikutusten selvittämiseksi ja arvioimiseksi.

Ohjelma valmistui ja se luovutettiin yhteysviranomaisena toimivalle kauppaja teollisuusministeriölle (KTM) helmikuussa 1998. YVA-ohjelman arviointiin liittyi laaja kuulemismenettely, jonka päätyttyä KTM antoi kesäkuussa 1998 lausuntonsa ohjelmasta. Sen jälkeen YVA-menettely jatkui ympäristövaikutusten arvioinnilla ja lopulta tämän arviointiselostuksen laatimisella. Haettaessa käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitokselle periaatepäätöstä, arviointiselostus on ydinenergia-

asetuksen 24 §:n mukaisesti liitettävä valtioneuvostolle osoitettavaan hakemukseen.

Jo YVA-ohjelmaa laadittaessa ja sittemmin ympäristövaikutuksia arvioitaessa on tärkeällä sijalla ollut kansalaisten osallistumista korostava lähestymistapa, joka on yhdistetty asiantuntijoiden tekemään selvitystyöhön. YVA-menettelyn kuluessa Posiva on järjestänyt lukuisia tilaisuuksia ja keskusteluja muun muassa loppusijoitukseen ehdolla olevien kuntien asukkaiden ja monien paikallisten ryhmien sekä keskus- ja aluehallinnon viranomaisten kanssa. Kiitämme näitä kuten kaikkia muitakin tahoja siitä palautteesta, jota Posiva on saanut selvitystyötään varten. Kiitämme myös selvitykset tehneitä tutkimusorganisaatioita ja -yrityksiä heidän panoksestaan tämän YVA-selostuksen valmistumiseen.

Helsingissä, toukokuussa 1999

Posiva Oy

1 JOHDANTO

1.1 Valmistautuminen käytetyn ydinpoltto-aineen huoltoon

Ydinjätteillä tarkoitetaan kaikkia ydinenergian tuotannon yhteydessä syntyviä radioaktiivisia aineita, joille ei suunnitella jatkokäyttöä. Suomen kahdella ydinvoimalaitoksella Eurajoen Olkiluodossa ja Loviisan Hästholmenissa ydinjätteiksi luetaan laitosten prosessivesien puhdistuksessa ja huolto- ja korjaustöissä syntyvät vähä- ja keskiaktiiviset voimalaitosjätteet sekä aikanaan näiden voimalaitosten käytöstäpoiston yhteydessä syntyvä vähä- ja keskiaktiivinen ydinjäte. Nykyään myös käytetty ydinpolttoaine katsotaan korkeaktiiviseksi jätteeksi, koska sille ei ole näillä näkymin hyötykäyttöä.

Ydinjätehuollon yleisenä periaatteena on eristää jätteiden sisältämät radioaktiiviset aineet elollisesta luonnosta siten, ettei ympäristömme turvallisuus missään vaiheessa vaarannu. Tavoitteena on toteuttaa eristäminen siten, ettei jätteitä tarvitse valvoa ja ettei turvallisuus enää perustu ihmisten aktiiviseen huolenpitoon. Tätä pysyvään eristämiseen perustuvaa varastointia kutsutaan *loppusijoittamiseksi*. Se käsittää sekä ihmisen kehittämät että luonnon omat turvallisuuden varmistavat päästöesteeet. Eri jätetyypit asettavat loppusijoitusjärjestelmän eristyskyvylle erilaisia vaatimuksia.

Teollisuuden Voima Oy:llä ja Fortum Power and Heat Oy:llä (1. 3. 1999 saakka Imatran Voima Oy) on vastuu tuottamiensa ydinjätteiden huoltotoimenpiteistä, niiden valmistelusta ja kustannuksista. Yhtiöt ovat jo varhaisessa vaiheessa varautuneet huolehtimaan kaikista ydinjätehuoltoon liittyvistä toimenpiteistä, ja ne keräävät varat näihin toimenpiteisiin etukäteen.



Kuva 1-1. Suomen kaksi ydinvoimalaitosta sijaitsevat Eurajoen Olkiluodossa ja Loviisan Hästholmenissa (oik).

Kumpikin yhtiö huolehtii itse vähä- ja keskiaktiivisten jätteiden käsittelystä ja loppusijoituksesta sekä käytetyn ydinpolttoaineen välivarastoinnista laitosalueellaan. Viimeisimpänä osoituksena suunnitelmien toteutuksesta ovat Hästholmeniin ja Olkiluotoon rakennetut vähä- ja keskiaktiivisen voimalaitosjätteen loppusijoituslaitokset. Kummankin yhtiön omaksuma ympäristöpolitiikka korostaa ympäristövastuuta, johon kuuluu myös ydinpolttoainekierrosta huolehtiminen ympäristönsuojeluvälineiden mukaisesti.

Loviisan ja Olkiluodon ydinvoimalaitokset rakennettiin 1970-luvulla (kuva 1-1). Loviisan reaktoreiden käytetyn ydinpolttoaineen palauttamisesta Neuvostoliittoon (myöhemmin Venäjälle) sovittiin voimalaitoskaupan yhteydessä.

Olkiluodon reaktoreiden osalta selvitukset korkea-aktiivisen ydinjätteen huollosta aloitettiin jo rakentamisen aikana 1970-luvulla. Selvitystyöhön kuului käytetyn ydinpolttoaineen jälleenkäsittelyä koskevan työn lisäksi käytetyn polttoaineen lisävarastointikapasiteetin suunnittelu ja varautu-

minen sen rakentamiseen. Ydinjätehuoltoon liittyneen valmistelutyön tuloksena valmistui vuonna 1978 TVO:n ja IVOn yhteistyönä laatima ydinjätteselvitys, jossa osoitettiin, että ydinjätehuolto on teknisesti hoidettavissa Suomessa turvallisella tavalla. Samana vuonna voimayhtiöt perustivat Voimayhtiöiden ydinjätetoimikunnan (YJT) koordinoimaan tutkimus- ja kehitystyötä. Yhteistyön myötä valmistui syyskuussa 1978 myös ensimmäinen ydinjätehuollon ohjelma. Käytännössä edellä mainitut toimet merkitsivät sitä, että voimayhtiöt varautuivat huolehtimaan kaikista ydinjätteisiin liittyvistä toimenpiteistä ja ryhtyivät laatimaan pitkän tähtäimen toimintaohjelmia.

Vuonna 1995 voimayhtiöt perustivat yhteisen yhtiön Posiva Oy:n huolehtimaan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamisesta. Siihen saakka TVO oli valmistautunut Olkiluodon käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamiseen kotimaassa. IVO oli palauttanut Loviisan käytetyn ydinpolttoaineen Venäjälle alkuperäisen sopimuksen mukaisesti.

1.2 Laki ja päätökset velvoittavat

Ennen nykyisen lain voimaantuloa ydinenergian käyttöä säädeltiin vuodelta 1957 peräisin olleen atomienergilain mukaisesti. Ydinjätehuoltoa järjestettäessä tehtiin vuonna 1978 lakiin tarpeelliset muutokset, joiden mukaan voimayhtiöt luvanhaltijoina vastaavat kaikista ydinjätehuoltoon liittyvistä toimenpiteistä ja kustannuksista. Yksityiskohtaiset määräykset sisällytettiin lain nojalla myönnettyihin voimalaitosten käyttöluupiin.

Ydinjätehuollon toteutuksen ja siihen liittyvän tutkimus- ja suunnittelutyön

tavoitteet sekä aikataulut määriteltiin valtioneuvoston periaatepäätöksellä vuonna 1983. Vuonna 1988 voimaan tullut ydinenergialaki ja –asetus antavat selkeät puitteet ydinjätehuollon toteutukselle Suomessa. Lakiin vuonna 1994 tehdyn muutoksen mukaan kaikkien ydinjätetyyppien huoltoon liittyvät toimenpiteet tulee tehdä Suomessa.

Viranomaiset valvovat kaikkia ydinjätehuollon toimenpiteitä sekä tarkastavat vuosittain tutkimusohjelmat, jotka tähtäävät turvallisuusvaatimukset täyttävien, teknisesti soveltuviin ja taloudellisesti tarkoituksenmukaisten ratkaisujen toteuttamiseen asetettujen aikataulutavoitteiden mukaisesti. Viranomaisten tehtäviin kuuluu myös ydinjätehuollon turvallisuusvaatimusten asettaminen ja sen valvonta, että toiminta toteutetaan turvallisuusnormien mukaisesti.

Käytetyn ydinpolttoaineen huollon kokonaisuus aikataulu sisältyy edellä mainittuun valtioneuvoston v. 1983 tekemään periaatepäätökseen. Päätös edellytti, että Suomessa tapahtuvan loppusijoituksen tutkimuksessa ja suunnittelussa edetään siten, että *”vuoden 2000 loppuun mennessä on valittu ja selvitetty sellainen sijoituspaikka, johon loppusijoitustilat voidaan tarvittaessa rakentaa”*. Periaatepäätöksessä annettiin myös sijoituspaikan valintaa, sijoitustilan teknistä suunnittelua ja turvallisuuden arviointia varten tehtävälle tutkimus- ja selvitystyölle välitavoitteet. Työ on edennyt näiden välitavoitteiden mukaisesti. Seuraava tavoite on ympäristönsuojelu- ja turvallisuusvaatimukset täyttävän sijoituspaikan valitseminen vuoden 2000 loppuun mennessä. Periaatepäätöksen mukaan tutkimus- ja suunnittelutyön tulee edetä tämän jälkeen niin, että valmiudet loppusijoituslaitoksen rakentamisen aloittamiseen ovat vuoden 2010 jälkeen ja

loppusijoittamisen aloittamiseen vuonna 2020.

Edellä esitetyt aikatauluja koskevat vaatimukset on esitetty myöhemmin myös kauppa- ja teollisuusministeriön tekemissä ydinjätehuollon periaatteita koskevista päätöksissä 7/815/91 KTM ja 11/815/95 KTM sekä valtioneuvoston energiastrategiassa vuodelta 1997. Voimassa olevissa kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksissä asetetut tutkimuksen ja suunnittelun tavoitteita ja aikatauluja koskevat vaatimukset ovat ydinvoimayhtiöitä velvoittavia.

Ydinenergialakiin vuonna 1994 tehdyn muutoksen mukaan Suomessa tuotetut ydinjätteet on käsiteltävä, varastoitava ja sijoitettava pysyväksi tarkoitettulla tavalla Suomeen. Tuosta ajankohdasta lähtien myös Fortum on valmistautunut käytetyn ydinpolttoaineen huollossaan polttoainejätteen loppusijoittamiseen kotimaassa.

Jätehuoltovelvolliset ovat varautuneet loppusijoituksen aiheuttamiin kustannuksiin ydinenergialaissa määriteltyjen periaatteiden mukaisesti. Perusratkaisun mukaisesti toteutettuna tässä selostetun hankkeen kustannukset on arvioitu 4,6 mrd. mk:ksi. Laskelmassa laitoksen käyttöiäksi on oletettu 40 vuotta. Tarvittavat varat kerätään etukäteen ydinsähkön hinnassa ja rahastoidaan Valtion ydinjätehuoltorahastoon.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen lisäksi rahastoon kerätään myös muuhun ydinjätehuoltoon, kuten laitoksiköiden käytöstäpoistoon, tarvittavat varat. KTM on vuosittain tehnyt päätöksen rahastoitavasta markkamäärästä ja valvonut rahaston karttumista. Vuonna 1999 TVO:n rahasto-osuus oli 3 490,56 milj.mrk ja Fortumin osuus 2 212,1 milj.mrk. Rahastoon kertyneitä varoja palautetaan jätehuoltovelvollisille sitä mukaa kuin ydinjätehuollon toimenpiteitä toteutetaan.

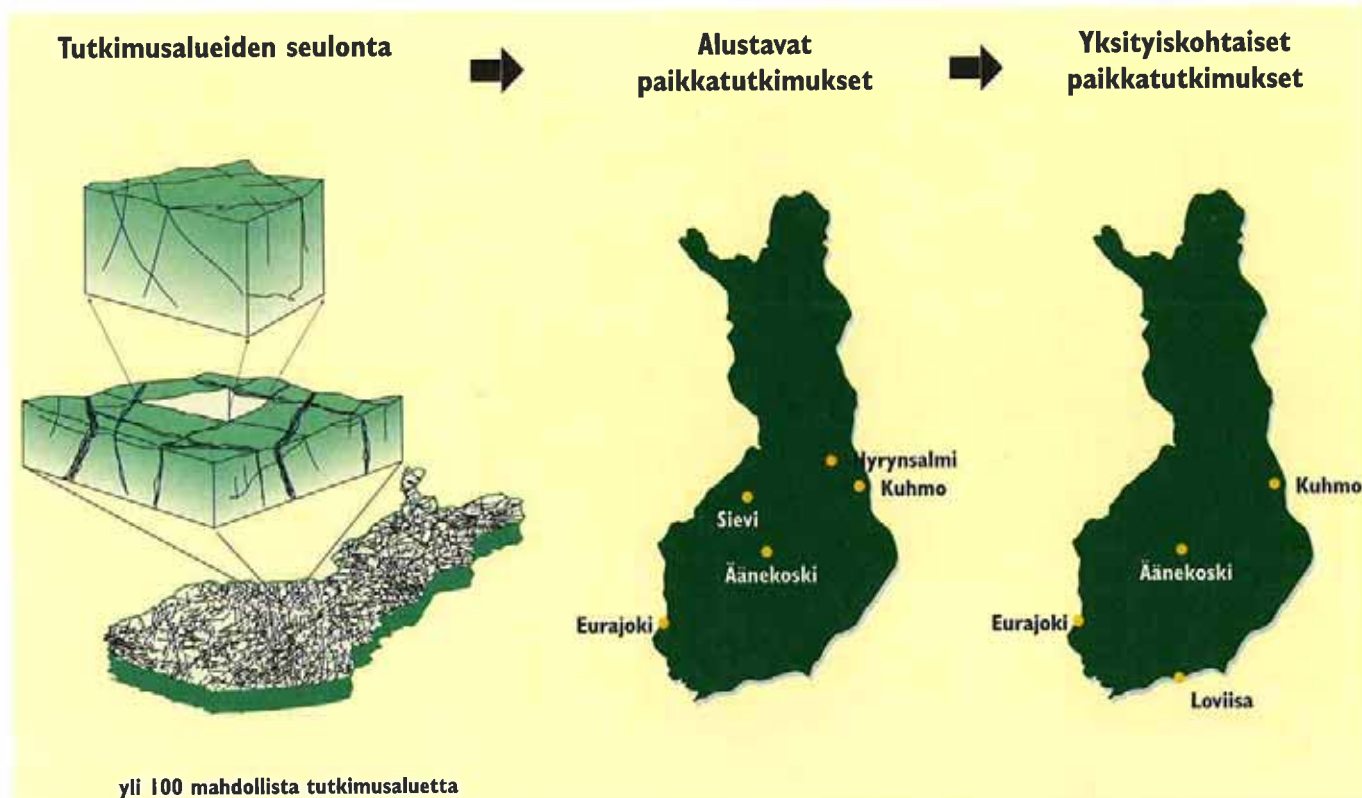
1.3 Taustalla pitkäjänteinen tutkimus- ja kehitystyö

Valmistautuminen sijoituspaikan valintaan

Selvitykset Suomen kallioperän soveltuvuudesta ydinjätteiden loppusijoitukseen aloitettiin 1970-luvun lopulla (Ydinjätteselvitys, IVO & TVO 1978). Jatkoselvitykset koskivat mm. kallioperän rikkonaisuutta, pohjaveden virtausta, radionuklidien pidättymistä sekä maan kohoamisen ja jäätiköitymisen vaikutuksia. Ydinjätehuollon tutkimus- ja kehitystyön ensivaiheen tavoitteena oli kehittää loppusijoitusratkaisut vähä- ja keskiaktiiviselle voimalaitosjätteelle. Näitä koskevat paikka- ja turvallisuustutkimukset tehtiin Loviisan Hästholmenissa ja Eurajoen Olkiluodossa 1980-luvulla ja loppusijoituslaitokset otettiin käyttöön 1990-luvulla.

Ensimmäinen laajahko selvitys käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta julkaistiin Voimayhtiöiden ydinjätetoimikunnan (YJT) julkaisusarjassa v. 1982. Selvityksessä tarkasteltiin moniesteperiaatteeseen nojautuvan loppusijoitusratkaisun turvallisuutta ja teknisiä toteutusmahdollisuuksia Suomen oloissa. Työn taustana oli suomalaisten asiantuntijoiden kokooma, olemassa olevaan tietoon perustuva, kattava selvitys Suomen kallioperän ominaisuuksista loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden ja kalliilotjen rakennettavuuden kannalta.

Vuonna 1983 Teollisuuden Voima Oy käynnisti tutkimus- ja kehitysohjelman, joka tähtäsi turvallisuus- ja ympäristönsuojeluväatimukset täyttävän loppusijoitusratkaisun kehittämiseen ja sijoituspaikan valintaan vuoden 2000 loppuun mennessä valtioneuvoston periaatepäätöksen mukaisesti.



Kuva 1-2. 80-luvun alussa käynnistynyt tutkimustyö jatkuu. Monivaiheisen valintaprosessin tuloksena loppusijoituspaikoiksi ovat ehdolla Eurajoen Olkiluoto, Kuhmon Romuvaara, Loviisan Hästholmen ja Äänekosken Kivetty.

Sijoituspaikkatutkimuksissa ja valinnassa on edetty vaiheittain (kuva 1-2). Tarkoituksena on ollut tutkia ensin useiden alueiden kallioperäolosuhteet ja valita näistä soveliaimmat yksityiskohtaisempiin jatkotutkimuksiin. Näin menetellen on hankittu vertailuaineistoa syväkallio-olosuhteista useilta alueilta ja varmistettu, että valittavan sijoituspaikan kalliioolosuhteet tarjoavat edellytykset loppusijoitukselle ja ovat hyvällä varmuudella Suomen kallioperälle tyypillisiä (kuva 1-2).

Aluksi – vuosina 1983–1985 – tavoitteena oli seuloa geologisin perustein esiin tutkimuksiin soveliaita alueita. Tarkastelukohteena oli koko maa. Tätä varten tunnistettiin ensin Suomen kallioperän merkittävät ruhjevyöhykkeet. Sen jälkeen tarkasteltiin niiden rajaamia alueita ja paikannettiin niillä olevat päärikkonaisuusvyöhykkeet ja

niiden rajaamat kalliolohkot, joista määritettiin pinnanmuodot, kivilajit, rikkonaisuus ja rakoilu sekä avokallioiden määrä.

Selvitettäessä seulonnassa esiintulleiden alueiden soveltuvuutta jatkotutkimuksiin tehtiin geologisia arvioita

- muodostuman homogeenisuudesta, koosta ja syvyydestä
- pinnanmuotojen perusteella pohjaveden virtausolosuhteista
- kallioperän vedenjohtavuuteen ja kalliotilojen rakentamiseen vaikuttavasta rikkonaisuudesta sekä rakoilusta
- kallioperän vakaudesta (merkittävät kalliooliikkeet keskittyvät oletettavasti suurimpiin ruhje- ja rikkonaisuusvyöhykkeisiin)
- luonnonvaroista, joilla saattaa olla merkitystä alueen tulevalle käytölle.

Lisäksi arvioitiin alueiden asutustekijöitä, suojelu- ja pohjavesialueet, maankäytön suunnitelmat ja kuljetusmahdollisuudet. Myös alueiden maanomistussuhteet selvitettiin, koska kenttätutkimuksiin tarvittiin maanomistajan lupa.

Lisäksi laadittiin geologinen erilliselvitys Eurajoen Olkiluodon sekä sen lähiympäristön soveltuvuudesta jatkotutkimuksiin, koska Olkiluoto ydinvoimalaitoksen sijaintipaikkana oli erityis-asemassa aluevalintaprosessissa.

Aluseulonnan tulosaineisto toimitettiin viranomaisten tarkastettavaksi vuoden 1985 lopussa. Aineistossa esitettiin 102 jatkotutkimuksiin soveltuvaa aluetta. Samalla toimitettiin viranomaisten arvioitavaksi ruotsalaisen KBS-3 loppusijoitusratkaisun pohjalta kehitetty loppusijoitusratkaisu ja sen turvallisuusarvio.



Kuva 1-3. Kallionäytekairauksia on tehty yli kilometrin syvyyteen.

Alueseulonta-aineiston viranomais- ja asiantuntija-arvioinnissa alueluettelosta poistettiin ympäristöministeriön lausunnon perusteella 17 aluetta ja 12 alueen rajausta tarkistettiin vireillä olleiden suojelusuunnitelmien vuoksi.

Säteilyturvakeskuksen (STUK) arviossa todettiin, että seulonnassa esiin tullut aluejoukko edustaa kivilajeiltaan jokseenkin samantyyppisiä muodostumia, mutta se voi olla perustana valittaessa alueita kenttätutkimusten kohteiksi alustaviin sijoituspaikkatutkimuksiin. Valinnassa olisi kuitenkin kiinnitettävä huomiota alueiden väliseen geologiseen vaihteluun.

Tutkimuksia useilla alueilla

Keväällä 1987 valittiin viisi aluetta alustaviin paikkatutkimuksiin. Alueet olivat Hyrynsalmen Veitsivaara, Kon-

ginkankaan (nyk. Äänekosken) Kivetty, Kuhmon Romuvaara, Sievin Syyry ja Eurajoen Olkiluoto. Valitut alueet edustavat Suomen kalliooperän pääyksiköitä ja poikkeavat sekä kivilajeiltaan että iältään toisistaan. Alueiden valintaan vaikuttivat myös maanomistusolot sekä vuosina 1985–1986 kuntien kanssa käydyt keskustelut.

Alustavat sijoituspaikkatutkimukset raportoitiin vuonna 1992. Sitten tutkimuksia on jatkettu neljällä paikalla, Kivetyssä, Olkiluodossa, Romuvaarassa sekä Loviisan Hästholmenissa. Hästholmen valittiin sijoituspaikkatutkimuksiin vuonna 1997 edellisenä vuonna tehdyn esiselvityksen perusteella. Esiselvityksessä tarkasteltiin alueen kalliooperän alustavaa soveltuvuutta loppusijoitukseen. Hästholmenin katsottiin Olkiluodon tavoin olevan ydinvoimalaitoksen sijaintipaikkana erityisasemassa loppusijoituspaikkaa harkittaessa.

Kalliooperätutkimusten tavoitteena on ollut selvittää, täyttävätkö tutkittavat alueet turvallisen loppusijoituksen vaatimukset. Kultakin alueelta on rajattu kalliolohko, jolle kenttätutkimukset on keskitetty. Tätä kattavammalla alueella on tehty laajoja tutkimuksia, jotka käsittävät geologisia kartoituksia sekä geofyysikaalisia mittauksia. Yksityiskohtaisimmat tiedot on hankittu syväkairaustutkimuksin, jotka ulottuvat kaikilla paikoilla yli 1 km:n syvyyteen (kuva 1-3). Kullakin paikalla on vuoden 1998 loppuun mennessä kairattu 8–13 syvää tutkimusreikää. Tutkimuksiin ja niistä kertyneiden aineistojen tulkintaan on osallistunut lukuisia suomalaisia ja ulkomaisia asiantuntijaorganisaatioita. Tutkimustulokset on raportoitu työn aikana työraportteina sekä YJT:n ja Posivan raporttisarjoissa. Raportit on toimitettu viranomaisten ja asiantuntijoiden sekä tutkimuskuntien käyttöön.

Vuosina 1991–1996 tehtiin KTM:n asettaman veloitteen perusteella sijoituspaikkatutkimuksia ja aluevalinnan perustaa täydentävä lisäselvitys. Siinä tarkasteltiin aikaisempaa yksityiskohtaisemmin Suomen kalliooperän tummien vulkaanisten ja syväkivilajien ominaisuuksia ja soveltuvuutta loppusijoitukseen. Vaikka näillä kivilajeilla on arvioitu olevan vaaleita, graniittisia kivilajeja edullisempia ominaisuuksia, ei tutkimuksessa voitu tätä vahvistaa. Toisaalta myös tällaisiin, melko harvinaisiin kivilajimuodostumiin liittyy usein malmipotentiali, mikä on loppusijoituksen kannalta epäedullinen piirre.

Vuonna 1996 Posiva julkaisi väliraportoinnin, johon on koottu vuosien 1993–1996 sijoituspaikkatutkimusten sekä turvallisuus- ja tekniikkatutkimusten keskeiset tulokset. Sijoituspaikkakohtaisen tutkimuksen ohella on jatkettu 1980-luvun taitteessa aloitettua kalliooperän ominaisuuksien yleistä



Kuva 1-4. Seminaari- ja kokoustiloja SKB:n tutkimusalueella Ruotsin Äspössä.

selvitystyötä. Tähän on kuulunut mm. kallioperän liikuntojen tutkimus sekä jääkausien esiintymiseen ja niiden aikana vallitseviin olosuhteisiin liittyvät tarkastelut.

Uusimmat yhteenvedot vaihtoehtoisten sijoituspaikkojen kallioperässä vallitsevista oloista on julkaistu erillisinä paikakakohtaisina Posiva-raportteina. Raportit ovat olennaista tausta-aineistoa loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden arvioinnissa. Myös tällainen turvallisuusanalyysi, TILA-99, on julkaistu Posiva-raporttina.

Kansainvälinen yhteistyö

Kotimaisen tutkimustyön ohessa voima-yhtiöt ovat vuosien mittaan osallistuneet ulkomaisiin yhteistyöhankkeisiin, joista tärkeimmät ovat Ruotsissa Stripan kaivoksessa 1980-luvulla tehdyt tutkimuk-

set sekä Äspön kalliolaboratoriossa edelleenkin meneillään oleva tutkimus- ja kehitystyö (kuva 1-4). Sekä Ruotsi että Suomi sijaitsevat Fennoskandian peruskallioalueella ja maiden kallioperäolosuhteet ovat samankaltaiset. Tästä syystä ruotsalaisen ydinjätehuolto-organisaation Svensk Kärnbränslehantering AB:n (SKB) hankkima kallioperätieto on pitkälti sovellettavissa myös Suomen oloihin.

Myös kanadalaisen AECL:n ja sveitsiläisen Nagra:n tekemät tutkimukset ovat kohdistuneet samankaltaiseen kiteiseen kallioperään kuin Suomessa, joten myös näissä maissa hankittua tietoa ja kokemuksia tutkimusmenetelmistä on voitu hyödyntää sijoituspaikkatutkimuksissa.

Kaksi vuosikymmentä kestäneen tutkimusjakson aikana loppusijoituksesta vastaavalle organisaatiolle ja kotimaisille tutkimusorganisaatioille on kertynyt

hyvä tietämys suomalaisen kallioperän yleisistä ominaisuuksista ja yksityiskohdainen kuva sijoituspaikkaehdokkaana olevien tutkimusalueiden kallioperästä. Tutkimusten tulokset on julkaistu vuodesta 1978 lähtien vuoteen 1995 saakka YJT:n raporteissa ja vuodesta 1996 lähtien Posivan raporteissa, joista on luettelo tämän selostuksen liitteenä. Suomalaisen kannalta tärkeää tutkimustietoa löytyy myös SKB:n, Nagra:n ja AECL:n julkaisuista sekä alan kansainvälisissä tapaamisissa pidettyjen esitelmien koosteista.

Ydinjätehuolto-ohjelman arvioinneista

Ydinenergialain tultua voimaan vuonna 1988 KTM asetti työryhmän selvittämään ydinjätehuollon kehitystarpeita. Työryhmä tarkasteli vaihtoehtoisia jätehuolto- ja loppusijoitusperiaatteita sekä vaihtoehtoratkaisuja käytetyn uraanipolttoaineen loppusijoitukselle. Selonteossa työryhmä ei nähnyt muiden vaihtoehtojen tarjoavan etuja loppusijoitukseen nähden ja piti VN:n vuoden 1983 päätöksessä esitettyjä tavoitteita ja yleisaikataulua perusteltuna sekä loppusijoituksen perusratkaisun kehittämistä ja valittujen tutkimusalueiden perusteellista tutkimusta tarpeellisina.

Vuoden 1992 lopussa raportoitii yleisaikataulun mukaisesti alustavien sijoituspaikkatutkimusten tulokset sekä julkaistiin loppusijoitusta koskevat ajan tasalle saatetut tekniset suunnitelmat yhdessä turvallisuusanalyysin TVO-92 kanssa. Vuoden 1993 aikana KTM järjesti suomalaisen ydinjätehuollon arvioinnin, joka toteutettiin IAEA:n nk. WATRP-arviointina.

Yleisesti ottaen ulkomaiset asiantuntijat pitivät suomalaista ydinjätehuoltoa hyvin järjestettynä. Mitä sijoituspaikan valintaan tulee, asiantuntijaryhmä piti Suomessa omaksuttua lähestymistapaa hyvänä. Ryhmä esitti suosituksensa, että paikan valinnassa tavoitteena ei tule olla "parhaan mahdollisen paikan" löytäminen vaan sellaisen "soveliaan" sijoituspaikan valinta, joka täyttää moniesteperiaatteelle rakentuvan loppusijoituksen turvallisuusvaatimukset.

1.4 Ympäristövaikutusten arviointi

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitokselle on haettava valtioneuvoston periaatepäätöstä, jota tehdessään valtioneuvosto harkitsee, onko kyseisen laitoksen rakentaminen Suomeen yhteiskunnan kokonaisedun mukaista. Periaatepäätöstä koskevaan hakemukseen liitetään tämä ympäristövaikutusten arviointiselostus.

Posiva käynnisti ympäristövaikutusten arviointiprosessin keväällä 1997 arviointiohjelman laadinnalla. Sijoituspaikkatutkimuksia oli tehty jo vuodesta 1987 lähtien ja saadut kokeemukset vuoropuhelusta kuntalaisten kanssa osoittivat mahdollisten vaikutusten olevan ennen muuta sosiaalisia. Merkittäväksi työtä ohjaavaksi periaatteeksi otettiin vuorovaikutuksen aikaansaaminen sijoituspaikkakuntahdokkaiden ja hankkeesta vastaavan Posivan välille, jotta kuntalaisten näkemykset saataisiin edustavasti arvioinnin piiriin.

Vaikutusten tunnistamiseksi kuntalaisia informoitiin YVA:n tarkoituksesta sekä pyrittiin luomaan osallistumismahdollisuuksia. Kansalaisia askarruttavista kysymyksistä hankittiin tietoa myös asiantuntijatoimeksiannoin, jotka käsittivät mm. teemahaastatteluja.

YVA-ohjelma luovutettiin toimenpiteitä varten yhteysviranomaisena toimivalle KTM:lle helmikuussa 1998. Ohjelmasta ilmoitettiin myös naapurivaltioille.

Yhteysviranomaisen lausuntoon sisältyneet lisäys- ja täydennys ehdotukset otettiin huomioon tätä YVA-selostusta laadittaessa. Posivan omistajat, TVO ja Fortum Power and Heat, käynnistivät omat ympäristövaikutusten arviointihankkeensa,

jotka koskivat mahdollisen uuden ydinvoimalaitosyksikön rakentamista nykyisille voimalaitosalueille. Mikäli Suomeen tulevaisuudessa rakennetaan yksi tai useampia uusia ydinreaktoreita, on ilmeistä, että myös näistä kertyvä käytetty ydinpolttoaine käsiteltäisiin ja loppusijoitettaisiin tässä YVA-selostuksessa kuvattavaan loppusijoituslaitokseen. Tämän vuoksi tässä selostuksessa on käsitelty myös nykyisiä arvioita suuremman polttoainemäärän loppusijoittamista.

Tätä YVA-selostusasiakirjaa täydentävät lukuisat asiantuntijaselvitykset, jotka on julkaistu Posivan raporttisarjoissa.

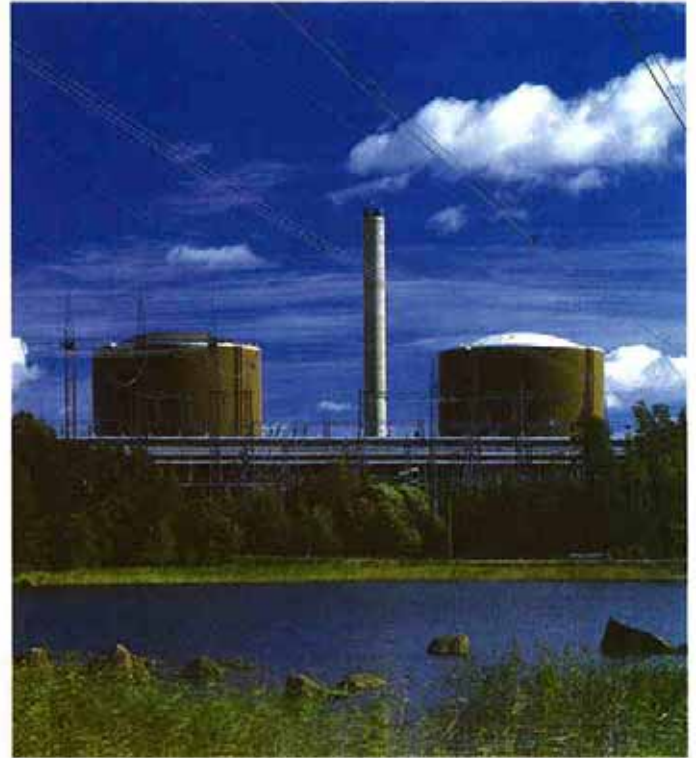
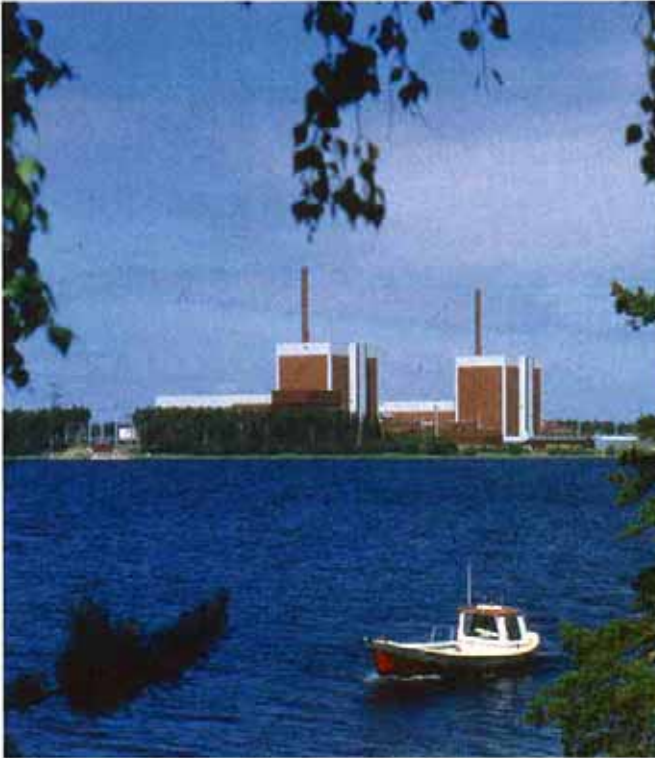
YVA-selostuksen luvuissa 2 ja 3 määritellään ja rajataan loppusijoitus hanke. Aluksi tarkastellaan käytetyn ydinpolttoaineen huollon vaihtoehtoja ja sitten tarkastelun kohteena ovat geologisen loppusijoituksen vaihtoehdot ja niiden vertailu.

Loppusijoitushanke, sijoituspaikkavaihtoehtot ja hankkeen toteuttamatta jättäminen kuvataan luvuissa 4, 5 ja 6. Luvussa 7 selostetaan YVA-työn kulku, tekijät sekä arvioinnin aineistot.

Ympäristövaikutukset on selostettu luvussa 8. Samalla on selostettu arvioinnissa käytetyt menetelmät ja niihin liittyvät epävarmuudet sekä arvioitu ympäristöönnettomuusriskejä. Luvussa 9 arvioidaan hankkeen toteuttamattajättämisen ympäristövaikutukset.

Luvussa 10 arvioidaan eri vaihtoehtoja ja niiden toteuttamiskelpoisuutta. Arvioinnin yksi näkökulma on hankkeen pitkä elinkaari. Luvussa 11 on selostettu hankkeeseen liittyviä toimenpiteitä arviointimenettelyn jälkeen sekä esitetty näkemyksiä ympäristövaikutusten seurantaohjelmasta.

2 KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN HUOLLON VAIHTOEHDOT



Kuva 2-1. Olkiluodon (vas) ja Loviisan ydinoimalaitokset mereltä nähtynä.

2.1 Nykytilanne

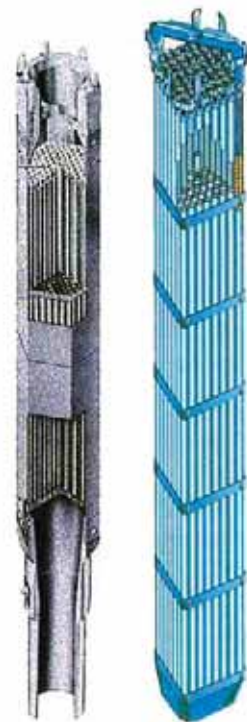
Suomen neljä ydinvoimalaitosyksikköä Olkiluodossa ja Loviisassa ovat olleet käytössä 1970-luvun lopulta lähtien (kuva 2-1). Laitokset tuottavat noin neljänneksen Suomessa käytettävästä sähköstä. Vuonna 1998 tehdyn tehonkorotuksen jälkeen Olkiluodon kummankin yksikön teho on 840 MW ja Loviisan 488 MW (nettosähköteho). Lämpötehot ovat vastaavasti 2500 MW ja 1500 MW.

Joka vuosi osa ydinreaktoreiden polttoaineesta vaihdetaan uuteen. Reaktorista poistetaan tällöin voimakkaasti radioaktiivista (korkea-aktiivista) ja säteilevää käytettyä ydinpolttoainetta. Olkiluodossa vaihdetaan vuosittain noin neljäsosa ja Hästholmenissa noin

kolmasosa reaktorissa olevan polttoaineen määrästä. Suomessa kertyy käytettyä polttoainetta yhteensä 75–80 tonnia vuodessa.

Ydinpolttoaine ladataan reaktoriin polttoainenuippuina (kuva 2-2). Olkiluodon polttoainenuippu painaa noin 300 kg ja se sisältää noin 175 kg uraania. Loviisan polttoainenuippu painaa vajaat 220 kg ja se sisältää noin 120 kg uraania.

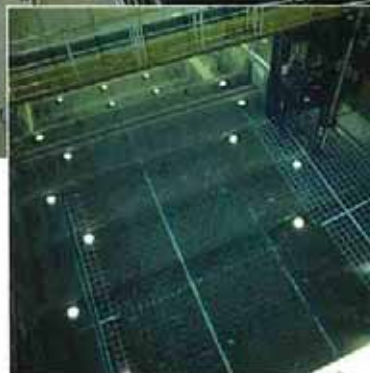
Käytetty polttoaine on ulkonäöltään tuoreen polttoaineen kaltaista, mutta mutta osa uraanista on käytön aikana muuttunut muiksi aineiksi. Käytetyn ydinpolttoaineen sisältämät radioaktiiviset aineet säteilevät voimakkaasti ja tuottavat samalla lämpöä. Varsinaiset halkemisreaktiot kuitenkin päättyvät, kun polttoaine poistetaan reaktorista.



Kuva 2-2. Havaintopiirros Loviisan (vas) ja Olkiluodon polttoainenuippuista.

Aktiivisuus vähenee aluksi nopeasti ja etenkin voimakkaimmin säteilevät aineet suurimmalta osin hajoavat ensimmäisen tuhannen vuoden kulussa (kuva 2-3). Käytetty polttoaine sisältää kuitenkin myös hyvin pitkäikäisiä radioaktiivisia aineita, joiden säteily ei kuitenkaan useimmiten pysty läpäisemään edes ihon ulointa kerrosta, mutta jotka nautittuna tai hengitettynä voisivat aiheuttaa terveyshaittoja. Tästä syystä käytetty polttoaine on pystyttävä eristämään pitkiksi ajoiksi ihmisen elinpiiristä. Jotkin käytetyn polttoaineen ainesosat ovat myös kemiallisesti myrkyllisiä.

Luettelo käytetyn polttoaineen sisältämistä radioaktiivisista aineista, niiden aktiivisuussisällöstä (1 vuoden kuluttua reaktorista poistamisesta) ja puoliintumisaajoista ilmenee oheisesta taulukosta.

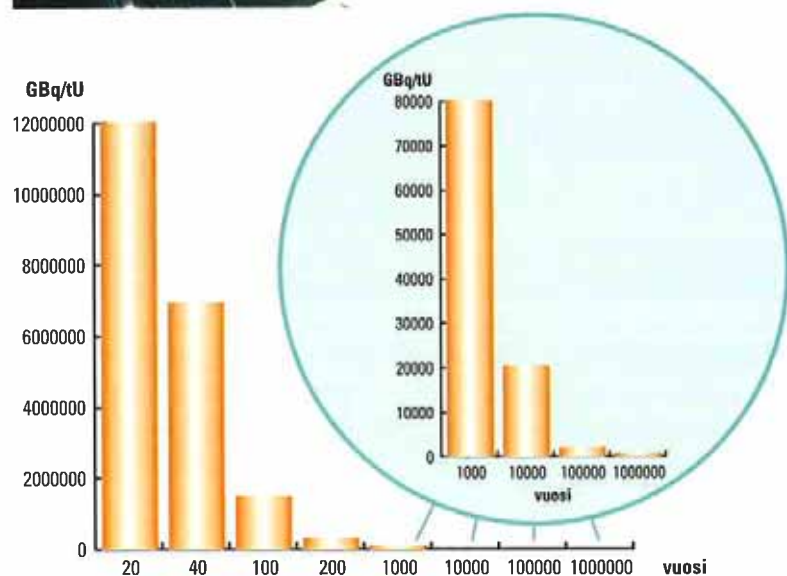


Kuva 2-4. Käytetyn ydinpolttoaineen vesiallasvarasto Eurajoen Olkiluodossa. Pikkukuvassa näkyy veden peittämiä nippuja ylhäältä päin kuvattuna.

10

Reaktorista poistetut käytetyt polttoaineniput siirretään ensin reaktorirakennuksessa oleviin jäähdytysaltaisiin (kuva 2-4). Muutaman vuoden kuluttua ne siirretään edelleen erilliseen välivarastoon, missä niitä myös säilytetään vesialtaissa. Altaissa oleva vesi jäähdyttää polttoainennippuja ja suojaa ympäristöä säteilyltä. Reaktorirakennuksessa ja välivarastoissa polttoainennippuja käsitellään koko ajan veden alla.

Käytetyn polttoaineen välivarastot on suunniteltu siten, että nippuja voidaan varastoida niissä kymmeniä vuosia. Varastoinnin aikana radioaktiivisuus ja siten myös lämmönkehitys vähenevät olennaisesti, mikä helpottaa polttoaineen käsittelyä ja kuljettamista. Lämmöntuotto suhteutettuna 1 tonniin käytettyä polttoainetta on 1 vuoden kuluttua reaktorista poiston jälkeen n. 10 kW, 10 vuoden kuluttua n. 1 kW, 600 vuoden kuluttua n. 0,1 kW ja 10 000 vuoden kuluttua n. 0,01 kW (TVO 1992a).



Kuva 2-3. Käytetyn ydinpolttoaineen aktiivisuuden väheneminen.

Käytetyn polttoaineen koostumus

Radionuklidien aktiivisuuspitoisuus (Bq/tU) tyypillisessä Olkiluodon (rikastusaste 3,3 %, tehoteho 24,3 MW/tU) ja Loviisan (rikastusaste 3,6 %, tehoteho 36,8 MW/tU) polttoaineessa palamalla 36 GWd/tU 20 vuotta reaktorista poistamisen jälkeen. Taulukko perustuu raportteihin (Vieno ja Nordman 1999, Anttila 1992 ja 1995). Eräiden tytärnuklidien pitoisuudet ovat vielä pieniä tässä vaiheessa (pitoisuuden kohdalla viiva). Puoliintumisaikaltaan lyhyet tytärnuklidit ja merkitykseltään vähäisiä radionuklideita on jätetty pois taulukosta. Bq/tU = becquerel/tonni uraania.

Radionuklidi	Puoliintumisaika (vuosia)	Aktiivisuuspitoisuus (Bq/tU)	
		Olkiluoto	Loviisa
Polttoaine (sisältäen epäpuhtauksien aktivoitumistuotteita)			
H-3	1,3·10 ¹	7,1·10 ¹²	7,4·10 ¹²
C-14	5,7·10 ³	1,0·10 ¹⁰	1,3·10 ¹⁰
Cl-36	3,0·10 ⁵	7,3·10 ⁸	7,3·10 ⁸
Se-79	6,4·10 ⁴	1,6·10 ¹⁰	1,7·10 ¹⁰
Kr-85	1,1·10 ¹	9,6·10 ¹³	1,1·10 ¹⁴
Sr-90	2,9·10 ¹	1,8·10 ¹⁵	1,9·10 ¹⁵
Zr-93	1,5·10 ⁶	7,1·10 ¹⁰	7,3·10 ¹⁰
Tc-99	2,1·10 ⁵	5,2·10 ¹¹	5,3·10 ¹¹
Pd-107	6,5·10 ⁶	4,9·10 ⁹	4,5·10 ⁹
Sn-126	1,0·10 ⁵	3,2·10 ¹⁰	3,1·10 ¹⁰
I-129	1,6·10 ⁷	1,3·10 ⁹	1,3·10 ⁹
Cs-134	2,1·10 ⁰	8,5·10 ¹²	8,5·10 ¹²
Cs-135	2,3·10 ⁶	2,4·10 ¹⁰	1,7·10 ¹⁰
Cs-137	3,0·10 ¹	2,6·10 ¹⁵	2,7·10 ¹⁵
Sm-151	9,0·10 ¹	1,6·10 ¹³	1,5·10 ¹³
Ra-226	1,6·10 ³	—	—
Th-229	7,3·10 ³	—	—
Th-230	7,7·10 ⁴	—	—
Pa-231	3,2·10 ⁴	—	—
U-233	1,6·10 ⁵	—	—
U-234	2,4·10 ⁵	4,7·10 ¹⁰	4,9·10 ¹⁰
U-235	7,0·10 ⁸	6,7·10 ⁸	7,6·10 ⁸
U-236	2,3·10 ⁷	1,0·10 ¹⁰	1,1·10 ¹⁰
U-238	4,5·10 ⁹	1,2·10 ¹⁰	1,2·10 ¹⁰
Np-237	2,1·10 ⁶	1,7·10 ¹⁰	1,6·10 ¹⁰
Pu-238	8,8·10 ¹	1,4·10 ¹⁴	1,1·10 ¹⁴
Pu-239	2,4·10 ⁴	1,3·10 ¹³	1,4·10 ¹³
Pu-240	6,5·10 ³	1,9·10 ¹³	1,9·10 ¹³
Pu-241	1,4·10 ¹	2,3·10 ¹⁵	2,1·10 ¹⁵
Pu-242	3,8·10 ⁵	8,1·10 ¹⁰	6,9·10 ¹⁰
Am-241	4,3·10 ²	1,6·10 ¹⁴	1,6·10 ¹⁴
Am-243	7,4·10 ³	1,1·10 ¹²	7,9·10 ¹¹
Cm-244	1,9·10 ¹	8,4·10 ¹³	5,0·10 ¹³
Cm-245	8,5·10 ³	1,9·10 ¹⁰	9,5·10 ⁹
Cm-246	4,7·10 ³	3,6·10 ⁹	1,8·10 ⁹

Suojakuori, virtauskanava ja rakenneosat

C-14	$5,7 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^{10}$	$3,0 \cdot 10^{10}$
Cl-36	$3,0 \cdot 10^5$	$7,2 \cdot 10^8$	$3,5 \cdot 10^8$
Ni-59	$8,0 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^{11}$	$1,4 \cdot 10^{11}$
Ni-63	$9,6 \cdot 10^1$	$2,9 \cdot 10^{13}$	$1,9 \cdot 10^{13}$
Zr-93	$1,5 \cdot 10^6$	$2,7 \cdot 10^{10}$	$2,3 \cdot 10^{10}$
Nb-94	$2,0 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^{10}$	$5,5 \cdot 10^{11}$

2.2 Toimintavaihtoehdot välivarastoinnin jälkeen

Jälleenkäsittely

Ihmisten ja ympäristön suojelemiseksi on käytetty polttoaine pidettävä koko ajan eristettynä luonnosta. Nykyiset välivarastot täyttävät tämän tavoitteen. Varastojen käyttöä voidaan turvallisesti jatkaa vuosikymmeniä verrattain vähäisin huolto- ja ylläpitotoimin. Välivarastot eivät kuitenkaan ole tarkoitettu lopulliseksi ratkaisuksi, vaan tavoitteena on löytää käytetyn polttoaineen huollolle pysyvä ratkaisu.

Useissa maissa, kuten myös Suomessa, tehtiin 1970-luvun alkupuolella mittavia suunnitelmia ydinvoimaloiden rakentamiseksi. Tuolloin näytti ilmeiseltä, että uraanin kysyntä kasvaisi nopeasti ja raakauraanin hinta kohoaisi. Oli selvää, että tällaisten odotusten vallitessa uraanista haluttiin ottaa irti energiaa niin paljon kuin mahdollista. Siksi suunniteltiin myös käytetyn ydinpolttoaineen jälleenkäsittelyyn ryhtymistä.

Jälleenkäsittelyssä käytetyn polttoaineen jäljellä oleva uraani ja syntynyt plutonium erotetaan uudelleenkäyttöä varten. Uudelleenkäyttö suunniteltiin tapahtuvaksi joko samassa tai samantyyppisissä reaktoreissa tai myöhemmin ns. hyötöreaktoreissa (tuottaisivat enemmän fissiokelpoista ainetta kuin itse kuluttavat). Tuolloin oletettiin, että hyötöreaktorit olisivat kaupallisessa käytössä vuoteen 2000 mennessä.

Loviisan reaktoreiden käytetyn polttoaineen palauttamisesta Neuvostoliittoon (Venäjälle) sovittiin neuvostoliittolaisten aloitteesta voimalaitoskaupan



Kuva 2-5. Englannissa on aiottu jälleenkäsittää pääosa käytetystä ydinpolttoaineesta. Kuvassa Sellafieldin jälleenkäsittelylaitos ja sen ympäristöä.

yhteydessä. Neuvostoliitossa oli pyrkimyksenä käytetyn polttoaineen sisältämien hyödyllisten aineiden uudelleenkäyttö.

Myös Olkiluodon reaktoreiden käytetyn ydinpolttoaineen jälleenkäsittelyvaihtoehtoja selvitettiin ja jälleenkäsittelysopimuksista neuvoteltiin ulkomaisten yhtiöiden kanssa. Jälleenkäsittelykapasiteettia oli kuitenkin tarjolla niukasti ja palveluista pyydetty hinnat korkeita. Lisäksi sopimukset olisivat edellyttäneet jälleenkäsittelyssä syntyneiden jätteiden palauttamista Suomeen. Kun uraanin hinnat 1980-luvun alussa sitten kääntyivät jyrkkään laskuun eikä jälleenkäsittelyssä erotetun uraanin tai plutoniumin hyötykäytöstäkään ollut takeita, jälleenkäsittelysopimuksia ei solmittu.

Vähäisen tarpeen vuoksi jälleenkäsittelylaitoksen rakentamista Suomeen ei ole koskaan edes harkittu.

Perusteet jälleenkäsittelysuunnitelmista luopumiseen olivat siis pitkälti taloudelliset. Myös monissa muissa maissa, mm. Yhdysvalloissa, jälleenkäsittelysuunnitelmista luovuttiin; siellä tosin syyksi mainittiin ensisijaisesti huoli jälleenkäsittelytekniikan leviämisen aiheuttamasta ydinaseiden leviämisen riskistä.

Loviisan polttoaineen palauttaminen Venäjälle loppui vuonna 1996 ydinenergialakiin vuonna 1994 tehdyn muutoksen seurauksena. Eduskunta katsoi, että jokaisen maan, myös Suomen, tulisi itse hoitaa ydinjätteensä.

Jälleenkäsittelyn taloudellista kannattavuutta on myöhemminkin arvioitu. Vuonna 1990 laaditussa vertailussa jälleenkäsittely todettiin edelleen taloudellisesti kannattamattomaksi (Lunabba & Vira 1990), eivätkä olosuhteet ole sen jälkeen olennaisesti muuttuneet.

Periaatteessa jälleenkäsittely on edelleenkin mahdollista, ja esimerkiksi Ranskassa ja Englannissa pääosa käytetystä ydinpolttoaineesta aiotaan jälleenkäsittää (kuva 2-5). Käytetyn polttoaineen jälleenkäsittelylläkään ei kuitenkaan päästä kokonaan eroon ydinjätteistä, koska kaikki nykyiset jälleenkäsittelypalveluja tarjoavat laitokset palauttavat käsittelyssä syntyneet jätteet takaisin polttoaineen omistajalle. Tästä jätteestä osa on korkea-aktiivista, kuten käytetty polttoainekin, ja vaatii näin ollen vastaavanlaista jälkihuoltoa.

Käytetyn polttoaineen jälleenkäsittely voisi vähentää raakauranin tarvetta ja siten myös uraanin louhinnasta mahdollisesti aiheutuvia ympäristöhaittoja. Toisaalta se voi kuitenkin aiheuttaa ympäristövaikutuksia jälleenkäsittelylaitoksen ympäristössä (Vuori 1996). Erona saattaa siis olla vain ympäristövaikutusten kohdistuminen.

Suomessa jälleenkäsittely saattaisi mutkistaa ydinjätehuollon hoitamista, koska korkea-aktiivisen jätteen lisäksi huolehdittavaksi voisi tulla myös uudentyyppistä pitkäikäistä keskiaktiivista jätettä. Esimerkiksi Englannissa tämä jäte suunnitellaan korkea-aktiivisen jätteen tavoin sijoitettavaksi syvälle peruskallioon.

Jättäytyminen ulkomaisten jätehuolto- palveluiden varaan aiheuttaisi omat riskinsä, mutta toisaalta kalliin jälleenkäsittelylaitoksen rakentaminen pelkästään Suomen ydinvoimalaitoksia varten ei olisi taloudellisesti järkevää. Jälleenkäsittelymahdollisuus voisi olla

varteen otettava vaihtoehto siinä tapauksessa, että pääosa tulevaisuuden energiahuollosta meillä ja muualla päätettäisiin rakentaa ydinenergian hyödyntämisen varaan. Tällaisessa tilanteessa jälleenkäsittely ja sen mahdollistama uraanin ja plutoniumin kierrätys lisäisivät merkittävästi maapallon uraanivarojen energia-potentiaalia.

Suora loppusijoitus

Samalla kun TVO 1980-luvun alussa luopui jälleenkäsittelysuunnitelmista, se aloitti valmistautumisen käytetyn polttoaineen suoraan loppusijoitukseen Suomen kallioperään. Loppusijoitusratkaisun pohjaksi valittiin Ruotsissa kehitetty KBS-ratkaisu. Nykyinen ratkaisu on ns. KBS-3 -tyyppiä. Ratkaisun kantavana ajatuksena oli käytetyn polttoaineen pakkaaminen tiiviisiin ja kestäviin kuparisäiliöihin ja säiliöiden hautaaminen syvälle peruskallioon. Ratkaisu ei vaadi tulevalta sukupolvelta mitään huolenpitoa tai valvontaa.

Suoraa loppusijoitusta suunnitellaan Suomen lisäksi monissa muissakin maissa sekä Euroopassa että Yhdysvalloissa ja Kanadassa. Ruotsin ydinjätehuollosta vastaava Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) on jatkanut loppusijoitusvalmistelujaan KBS-3-ratkaisun pohjalta. Suoran loppusijoituksen tekniikka on monissa maissa pitkälle kehitetty. Teknisen kehitystyön rinnalla on tehty tutkimusta ratkaisun turvallisuuden arvioimiseksi ja sen ympäristövaikutusten selvittämiseksi.

Suora geologinen loppusijoitus peruskallioon voidaan periaatteessa toteuttaa eri tavoin.

Posivan suunnitteleman KBS-3 -tyyppisen ratkaisun ohella Suomen oloihin voisi soveltua

- hydrauliseen häkkiin perustuva ratkaisu (ns. WP-Cave) tai
- syväreikäratkaisu.

Lisäksi on tutkittu useita sellaisia vaihtoehtoja, jotka poikkeavat KBS-3-ratkaisusta vain säiliöiden sijoitustavan tai -asennon perusteella. Näitä KBS-3 -ratkaisun muunnelmia ovat mm.

- vaakasijoitus,
- pitkäreikä,
- keskipitkäreikä ja
- lyhytreikä,

joita kaikkia kuvataan luvussa 3.2.

Suora loppusijoitus soveltuu yksinkertaisuutensa ja suhteellisen pienten investointi- ja infrastruktuuritarpeidensa vuoksi hyvin Suomen kaltaisen pienen maan ydinjätehuoltoon. Em. ratkaisujen lähtökohta on tulevien sukupolvien vapauttaminen jätteiden valvonnasta ja muista turvallisuuden ylläpitotoimista. WP-Cave-ratkaisussa tällaiseen ns. passiiviseen turvallisuuteen siirryttäisiin asteittain.

Transmutaatio

Samalla kun ydinreaktioiden luonne aikanaan tuli tunnetuksi, todettiin, että keskiajan alkemistien unelma aineiden muuttamisesta toiseksi oli periaatteessa mahdollista. Alkuaineisotooppeja voidaan sopivasti ohjatuilla ydinreaktioilla muuttaa toiseksi. Samoin voidaan itse alkuaineita muuttaa muiksi aineiksi. Tätä kutsutaan *transmutaatioksi*.

Ydinreaktoreissa uraania muuttuu kaiken aikaa plutoniumiksi – ja osa ydinreaktorien energiasta onkin peräisin plutoniumin halkaisemisesta. Ennustetun uraanipulan välttämiseksi etenkin 1970-luvulla tehtiin runsaasti tutkimustyötä sellaisten laitteiden kehittämiseksi, joilla voitaisiin tuottaa keinotekoisesti uutta ydinpolttoainetta. Yksi kehitysidea perustui hiukkas-kiihdyttimien avulla tuotettuun voi-

makkaaseen neutronivuohon, jolla muutettaisiin esimerkiksi toriumia halkeavaksi uraaniksi.

Viime vuosina kiinnostus transmutaatioon on herännyt uudestaan. Nyt kuitenkin pohditaan periaatteen soveltamista ydinjätehuoltoon. Neutronivuossa radioaktiiviset nuklidit voivat myös muuttua lyhytikäisemmiksi tai suoraan stabiileiksi. Periaatteessa näin päästäisiin eroon radioaktiivisista nuklideista tai ainakin lyhennettäisiin jätteen sisältämien radioaktiivisten aineiden elinikää. Tavanomaisissa kevytvesireaktoreissa (kuten Suomessa) riittävää neutronivuota ei kuitenkaan ole tarjolla. Tarvittaisiin joko nopeita reaktoreita tai suuritehoisten hiukkas-kiihdyttimien ja nk. spallaatio-reaktoreiden yhdistelmiä.

Eräässä esitetyssä periaateratkaisussa (Rubbia ym. 1997) hiukaskiihdyttimellä tuotettaisiin korkeenergisiä varattuja hiukkasia (protoneja), jotka ammuttaisiin kohtioaineeseen (lyijy), missä ns. spallaatioissa eli eräänlaisessa halkeamisreaktiossa syntyisi suuri määrä neutroneja. Muutettavat nuklidit sijoitettaisiin kohtion välittömässä läheisyydessä olevaan reaktorisydämeen, joka olisi osa metallista thorium-polttoainetta käyttävää lyijyjäähdytteistä alikriittistä nopeaa reaktoria.

Käytännössä transmutaation käyttö jätteiden hävittämiseen edellyttäisi eri radionuklidien tai radionuklidiryhmien erottelua toisistaan. Tavanomaisessa jälleenkäsittelyssä uraani ja plutonium erotellaan muista aineista. Pitkäikäisten radionuklidien hävittäminen transmutaatiolla edellyttäisi lisäksi vähintään kaikkien ns. transuraanien erottamista fissiotuotteista. On kuitenkin muitakin hyvin pitkäikäisiä radionuklideja, jotka pitäisi voida erotella muista aineista, jotta pitkäaikaiselta eristämiseltä todella välttyttäisiin. Nykyinen jälleenkäsittelytekniikka ei pysty tähän.

Tätä kirjoitettaessa transmutaatio-tekniikan potentiaalisia mahdollisuuksia ydinjätteiden hävittämisessä on vaikea arvioida. Alan tutkimusta tehdään eri puolilla maailmaa, mutta näkemykset tekniikan mahdollisuuksista vaihtelevat (Anttila ym. 1999, IVA 1998, NAS 1995).

Jokseenkin yhtä mieltä ollaan kuitenkin siitä, että nuklidierottelu- ja transmutaatiotekniikallakaan ei päästä eroon kaikista ydinjätteistä (Anttila ym. 1999, NAS 1995). Kaikkien radionuklidien hävittäminen tulisi ainakin erittäin kalliiksi, jos se ylipäättään olisi mahdollista. Toisaalta myös itse transmutaatiolaitteistossa, kuten nykyisissä reaktoreissakin, syntyy uusia radioaktiivisia aineita (aktivoitumistuotteita) ja eroteluprosessin häviöistä kertyy vääjäämättä keski- ja vähäaktiivisia ydinjätteitä. Ydinjätteisiin sisältyvien radionuklidien elinaikoja ehkä pystytään lyhentämään, mutta radioaktiivisista aineista ei päästäisi täysin eroon.

Nuklidierottelu- ja transmutaatio-tekniikan laajamittaiseen hyödyntämiseen saattaisi olla mahdollisuudet, jos ydinvoiman kehitys- ja rakentamishjelmat suurissa teollisuusmaissa kääntyvät uuteen nousuun. Tekniikka voisi tällöin sekä parantaa maapallon ydinpolttoainevarojen hyödyntämismahdollisuuksia että helpottaa ydinjätteiden käsittelyä. Joka tapauksessa olisi tehtävä suuria investointeja tarvittavien ydinlaitosten rakentamiseen. Transmutaatiolaitosten ympäristö- ja turvallisuusedut ovat nykyisiin ydinvoimaloihin ja suunniteltuihin loppusijoitusmenetelmiin verrattuna silti kyseenalaisia.

Erottelu- ja transmutaatiotekniikan tutkimukseen panostetaan erityisesti Japanissa ja Ranskassa. Toistaiseksi transmutaatio on fuusioon verrattavissa oleva tulevaisuuden mahdollisuus,

jonka käytännön sovellukset onnistuessaankin ajoittuvat useiden vuosikymmenien päähän. Toistaiseksi ei ole olemassa riittäviä perusteita arvioida luotettavasti transmutaatiotekniikan mahdollisuuksia käytetyn polttoaineen huollossa (Anttila ym. 1999).

Muut esitetyt ratkaisut

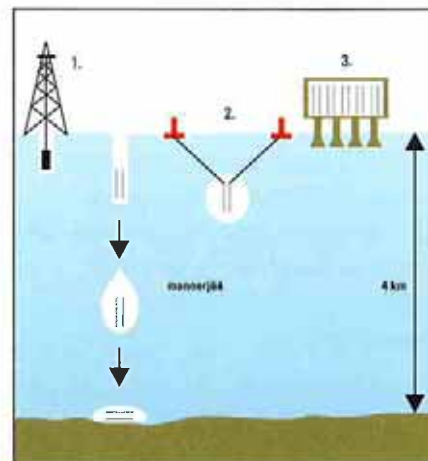
Loppusijoitusympäristöksi on ehdotettu myös syvänmeren pohjasedimenttejä ja napajäätiköitä. On myös ehdotettu jätteiden ampumista avaruuteen, kokonaan pois maapallolta.

Mitään näistä ratkaisuista ei ainakaan Suomessa pidetä vakavasti otettavana vaihtoehtona. Loppusijoitus napajäätiköihin on teknisesti vaikea toteuttaa, ja jäätiköiden jatkuvan liikkeen vuoksi erityisen vaikeata olisi ratkaisun seurausten ennustaminen (kuva 2-6). Ratkaisu edellyttäisi myös jätteiden siirtämistä pois Suomesta, mikä on nykyisen lain vastaista.

Pohdinnat jätteiden sijoittamiseksi valtameren pohjan sedimentteihin (kuva 2-7) tai niiden alaiseen kallio-perään ovat olleet lähes pysähdyksissä 1990-luvulla. Vaikka eräät tutkijat pitävät tätä ratkaisua sinänsä varsin riskittömänä, se on kuitenkin kansainvälisten sopimusten perusteella poissuljettu.

Radioaktiivisen jätteen lähettäminen ulkoavaruuteen on teknisten ratkaisujen puuttumisen, korkeiden kustannusten ja suurten riskien vuoksi epärealistinen vaihtoehto.

Toistaiseksi ei näin ollen ole tarjolla tekniikkaa, jolla ydinjätteistä voitaisiin kokonaan päästä eroon pysyvästi ja riskittömästi.

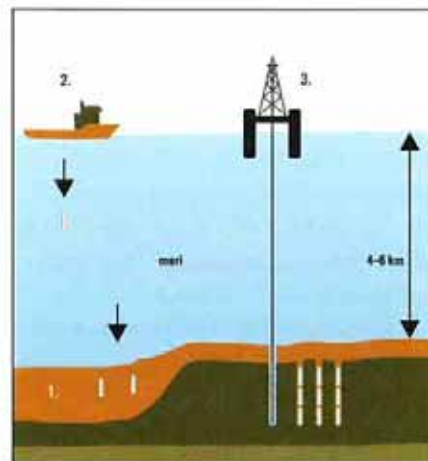


Kuva 2-6. Loppusijoitus napajäätiköihin

1. Poraustorni ja sulatus

2. Ankkurointi

3. Jäänpäälliset tilat



Kuva 2-7. Loppusijoitus meren pohjaan

1. Sedimenttikerrokset

2. Vapaa pudotus mereen

3. Sijoittaminen porattuun reikään

Jälleenkäsittely

Käytetyn ydinpolttoaineen sisältämä uraani ja plutonium on mahdollista käyttää uudelleen, mikäli ne erotellaan muista aktinideista ja halkeamistuotteista. Jälleenkäsittelylaitoksia on mm. Ranskassa, Isossa-Britanniassa ja Venäjällä. Laitokset ovat suuria; investointina ne edustavat öljynjalostamon kokoluokkaa.

Nykyisten laitosten käyttämä jälleenkäsittelyprosessi perustuu polttoainesauvojen mekaaniseen pilkkomiseen ja liuottamiseen typpihappoon ja sen tuloksena syntyvän liuoksen reagointiin kerosiiniin tai dodekaaniin liuotetun tributylfosfaatin kanssa. Typpihappoliuotuksessa erotetaan polttoaineen suojakuoret muusta materiaalista ja seuraavassa vaiheessa plutonium ja uraani erotetaan yhdessä liuokseen jäävistä aktinideista ja halkeamistuotteista.

Liuoksesta poistettu uraani ja plutonium erotetaan edelleen toisistaan erillisiin liuoksiin puhdistettavaksi ja muunnettavaksi ensin uraani- ja plutonium-nitraateiksi ja sitten uraani- ja plutoniumdioksideiksi. Jäljelle jäävä aktinideista ja halkeamistuotteista koostuva liuos muodostaa jälleenkäsittelylaitoksen runsasaktiivisen nestemäisen jätteen, jonka tilavuutta voidaan pienentää haihduttamalla. Jälleenkäsittelyssä syntyy myös vähä- ja keskiaktiivista jätettä, joka on osaksi pitkäikäistä.

Varastointiin liittyvien turvallisuusriskien vuoksi tiivistetty nestemäi-

nen runsasaktiivinen jäte saatetaan turvallisempaan muotoon kiinteyttämällä se lasiin. Tämä korkeaaktiivinen jäte on loppusijoitettava vastaavalla tavalla kuin käytetty polttoaine. Jälleenkäsitelty uraani sisältää U-235:n ja U-238:n lisäksi pieniä määriä muita uraani-isotooppeja, jotka ovat gammasäteileviä tai neutroniabsorboivia.

Jälleenkäsitelty plutonium sisältää samoin eri plutoniumisotooppeja. Gammasäteilevät isotoopit aiheuttavat säteilysuojelutarpeita uuden polttoaineen valmistuksessa ja neutroniabsorboivat isotoopit puolestaan huonontavat neutronitaloutta, kun jälleenkäsiteltyä polttoainetta käytetään reaktorissa.

Ketjureaktion ylläpitoon käytettävissä olevien neutronien riittävyys eli neutronitalous on kevytvesireaktoreissa keskeinen tekijä. Uraania useampaan kertaan jälleenkäsitteltäessä edellä mainittujen isotooppien pitoisuudet kasvavat entisestään ja tämän takia uraania jälleenkäsittelään vain kertaalleen.

Myös plutonium "huononee" jälleenkäsittelyssä, mikä rajoittaa senkin jälleenkäsittelykertojen lukumäärän muutama kertaan.

Mikäli nopeat hyötöreaktorit saadaan tulevaisuudessa laajasti käyttöön, niissä voidaan hyödyntää useaan kertaan jälleenkäsiteltyä uraania ja plutoniumia.

2.3 Nykyinen valintatilanne

Ydinenergialain mukaan Suomessa tuotetut ydinjätteet *"on käsiteltävä, varastoitava ja sijoitettava pysyväksi tarkoitettulla tavalla Suomeen"*. Tämä on myös Fortumin ja TVO:n ydinjätehuollon periaatteena. Periaatteessa laki ei kiellä jälleenkäsittelyä, mutta sen tulisi tapahtua kokonaisuudessaan Suomessa. Pysyvää sijoitusta vaatisivat tällöinkin jälleenkäsittelyssä syntyvät jätteet.

Ydinenergia-asetuksessa pysyvä sijoitus määritellään sijoittamiseksi Suomen maa- tai kallioperään. Koska Suomen maaperä mitä todennäköisimmin muutaman kymmenen tuhannen vuoden kuluttua joutuu kokonaan mannerjään peittämäksi, pysyvä, ihmisen ja luonnon kannalta turvallinen, sijoittaminen voi tarkoittaa ainoastaan sijoittamista kallioperään. Tällöinkin ratkaisun on oltava sellainen, että se ei edellytä valvontaa eikä huolenpitoa, koska valvonnan varmistaminen jääkausioloissa olisi mahdotonta.

Päätettäessä ydinenergialain mukaisesti käytetyn polttoaineen tai jälleenkäsittelyjätteen pysyvästä sijoittamisesta, kyseeseen tulevat näillä näkymin vain passiiviseen turvallisuuteen perustuvat geologiset loppusijoitusratkaisut. Päätöksen lykkääminen merkitsisi käytetyn polttoaineen välivarastoinnin jatkamista epämääräisen ajan (ns. nollavaihtoehto).

Lausunnossaan Posivan YVA-ohjelmasta kauppa- ja teollisuusministeriö esittää harkittavaksi, *"että YVA-selostuksessa tarkasteltaisiin yleisluontoisesti myös sellaisia käytetyn polttoaineen huollon periaatteellisia vaihtoehtoja, joiden toteutettavuus on epävarmaa tai jotka eivät vastaa voimassaolevan lain vaatimuksia"*.

Lain vaatimusten sivuuttaminen ei todellisuudessa lisää valinnan mahdollisuuksia, koska nuklidierotteluun ja transmutaatioon liittyvästä tutkimus- ja kehitystyöstä huolimatta näköpiirissä ei ole realistista vaihtoehtoa kallioon tapahtuvalle eli geologiselle loppusijoitukselle.

Myös nuklidierotteluun ja transmutaatioon perustuva vaihtoehto palautuisi käytännössä nollavaihtoehtoon, koska nykytiedoin ei voida arvioida menetelmän tosiasiallista toteutuskelpoisuutta. Alan tutkimukseen panostetaan kuitenkin sekä Euroopan unionin piirissä että Japanissa ja Yhdysvalloissa merkittävästi. Mikäli työ osoittautuu tulokselliseksi, nuklidierottelu ja transmutaation käyttö saattaisivat vaikuttaa loppusijoitettavan jätteen määrään ja koostumukseen. Asiantuntijoiden käsitys kuitenkin on, etteivät nuklidierottelu ja transmutaatio täysin poista tarvetta geologiseen loppusijoitukseen (Anttila ym 1999).

Koska käytettävissä ei ole keinoja, joilla ydinjätteistä voitaisiin päästä eroon, tosiasiallisesti valittavanamme on vain joko geologinen loppusijoitus tai päätöksen lykkääminen ja väli-varastoinnin jatkaminen. Loppusijoitustarve koskee joko käytettyä polttoainetta sellaisenaan tai jälleenkäsittelystä kertyviä korkea-, keski- ja vähäaktiivisia jätteitä.

Geologisen loppusijoituksen tekniset vaihtoehdot kuvataan luvussa 3. Vaihtoehtoja myös vertaillaan keskenään ja määritellään tässä YVA-selostuksessa lähemmin tarkasteltavat vaihtoehdot.

Loppusijoitusvaihtoehtojen kuvaus on tehty vain suoraa loppusijoitusta ajatellen, mutta samoja teknisiä periaatteita voidaan käyttää myös jälleenkäsittelyssä syntyvien jätteiden loppusijoittamiseen. Jälleenkäsittelyjätteen loppusijoitustapa eroaisi käytetyn polttoaineen suorasta loppusijoituksesta lähinnä säiliö- ja pakkausratkaisujen osalta.

3 GEOLOGISEN LOPPUSIJOITUKSEN VAIHTOEHDOT

3.1 Perusratkaisu

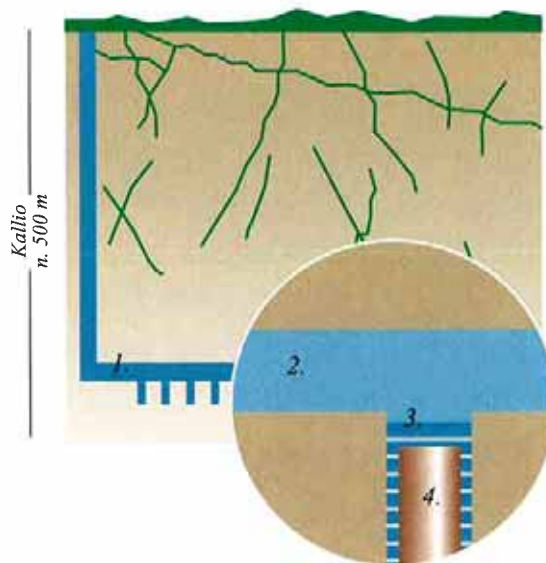
Posivan kehittämä perusratkaisu on kuvattu seikkaperäisesti mm. Posivan raportissa "Tekniikkatutkimukset vuosina 1993–1996" (Posiva Oy 1996a). Perusratkaisu on kehitetty 1970–1980-luvuilla Ruotsissa laaditun KBS 3-suunnitelman pohjalta, ja se on yli kahden vuosikymmenen tutkimus- ja kehitystyön tulos. Työ on tehty yhteistyössä monien eri tutkimuslaitosten ja tiedeyhteisöjen kanssa ja vuorovaikutuksessa ulkomaisten ydinjätehuolto-organisaatioiden kanssa.

Koska loppusijoituslaitoksen toiminta alkaa vasta noin 20 vuoden kuluttua, on ilmeistä että tekniset suunnitelmat sitä ennen vielä kehittyvät. Loppusijoituslaitoksen jatkosuunnittelu onkin parhaillaan käynnissä. Selostuksessa tarkastellaan muutosten mahdollisia vaikutuksia siltä osin kuin ne tätä kirjoitettaessa ovat nähtävissä. Eräitä teknisiä vaihtoehtoja perussuunnitelmalle on käsitelty em. tekniikkatutkimuksia koskevassa raportissa (Posiva Oy 1996a).

Perusratkaisun mukaisessa toteutuksessa

- radioaktiiviset aineet pakataan vesitiiviisiin, kestäviin säiliöihin ja
- säiliöt sijoitetaan 400–700 metrin syvyyteen kallioon, missä ne erossa ihmisistä säilyvät ilman huolenpitoa tiiviinä niin kauan kuin niiden sisällöstä voi olla haittaa elolliselle luonnolle.

Lähtökohtana on ns. *moniesteperiaate* (kuva 3-1), joka tarkoittaa, että radioaktiivisten aineiden eristäminen on toteutettu useiden toisiaan varmistavien, mutta toisistaan riippumattomien suojauskeinojen avulla. Tällaisessa toteutuksessa yhden esteen pettäminen ei vaaranna eristykseen kokonaistoimivuutta. Kestävän ja tiiviin säiliön tarkoituksena on estää



Kuva 3-1. Loppusijoituksen moniesteperiaate. Käytetty ydinpolttoaine eristetään syvälle kalliooperään. Eri vapautumisesteet varmistavat toisiaan.
1. Loppusijoitustunneli
2. Tunnelin täyteaine
3. Bentonitti
4. Metallisäiliö

radioaktiivisten aineiden pääsy pohjaveen. Vankka peruskallio taas suojelee säiliötä. Jos säiliö jostain ennalta arvaamattomasta syystä menettäisi eristyskykyään, kallio hidastaisi ja vaikeuttaisi vaarallisten aineiden pääsyä luontoon. Säiliön ja kallion välissä oleva bentoniittisavi toimii lisävarmistuksena, joka vähentää veden liikkuvuutta ja vuodon sattuessa pidättää radioaktiivisten aineiden kulkeutumista eteenpäin.

Loppusijoituslaitos koostuu maan päälle rakennettavasta laitosalueesta sekä varsinaisista loppusijoitustiloista syvällä kalliossa (kuva 3-2). Maan päällä sijaitsevat kapselointilaitos sekä apu- ja oheistoimintojen tilat: kuilujen rakennukset, konttori- ja laboratorio-tilat, varasto- ja korjaamotilat sekä LVIS-järjestelmien vaatimat tilat. Myös louheen ja murskeen varastoinnille varataan alue.

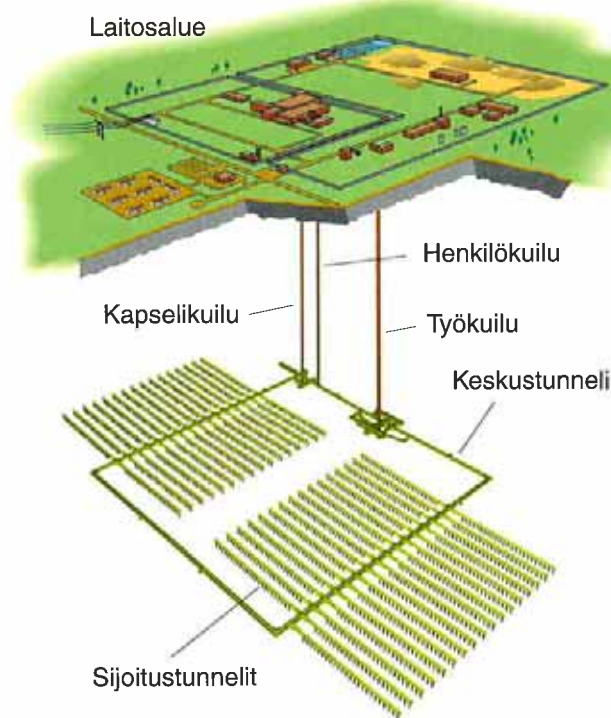
Maanpinnalta alas loppusijoitustiloihin johtaa kolme pystykuilua: työ-, henkilö- ja kapselikuilu. Kapselikuilu liittyy maan päällä kapselointilaitokseen ja henkilökuilu kapselointilaitoksen konttorirakennukseen. Kuilun sijasta

voidaan käyttää tarvittaessa myös ajotunnelia. Laitosalueen rakennusala (rakennusten, teiden, varastojen ja kenttien pohja-ala) on yhteensä noin 15 ha.

Perusratkaisussa varsinaiset loppusijoitustilat koostuvat noin 25 metrin välein sijaitsevista, 100–300 metrin pituisista keskustunnelilla yhdistetyistä sijoitustunneleista. Todelliset lopulliset sijoitustunnelien sijainnit ja pituudet sovitetaan paikallisen kallioerän olosuhteisiin. Sijoitustunnelien yhteenlaskettu pituus on perustapauksessa noin 13 km.

Käytettyä polttoainetta jäähdytetään välivarastoissa vähintään 20 vuotta ennen loppusijoitusta. Kuljetus loppusijoituslaitokseen voi tapahtua joko maanteitse, rautateitse tai meriteitse. Kapselointilaitoksessa polttoainejäte pakataan tiiviisiin metallisäiliöihin eli kapseluihin, jotka lasketaan hissillä 400–700 metrin syvyyteen louhittuihin loppusijoitustiloihin. Yhdessä kapselissa on 12 polttoaineenippua. Loppusijoituslaitoksen mitoituskapasiteetti on 250 tU vuodessa ja toimintakapasiteetti 100 tU–250 tU vuodessa.

Kuva 3-2. Loppusijoituslaitos käsittää maanpäällisen kapselointilaitoksen apu- ja oheistoimintoihin sekä maanalaiset loppusijoitustilat, jotka ovat yhteydessä maan pinnalle kuilujen tai tunneleiden kautta.



Vaikka suunniteltu ratkaisu tähtää pysyvään sijoitukseen, kapselit voidaan tarvittaessa palauttaa maanpinnalle. Palauttaminen on mahdollista perussuunnitelman mukaan toteutetun hankkeen kaikissa vaiheissa. Palauttamisessa käytettävät menetelmät on kuvattu Posivan julkaisemassa työraportissa (Saanio & Raiko 1999).

Kun kapseli on täytetty, mutta ei vielä loppusijoitettu, kapseli voidaan purkaa kapselointilaitoksessa. Jos kapseli on jo asennettu sijoitusreikään ja sijoitustunneli suljettu, kapseli voidaan poistaa purkamalla tunnelin sulkurakenne, kaivamalla tunnelin täyttömateriaali pois ja käsittelemällä sijoitusreiän bentoniittia siten, että se menettää lujuutensa. Mikäli loppusijoitustilat on jo suljettu, on kuilujen ja keskustunnelin sulkurakenteet ja täyttömateriaalit poistettava ennen kapselin palauttamista.

Ruotsin ydinjätehuolto-organisaation SKB:n tarkoituksena on demonstroida palauttamisessa käytettävä tekniikka lähivuosina Äspön kalliolaboratoriossa (SKB 1998).

3.2 Perusratkaisun muunnelmat

Loppusijoitettavien jätessäiliöiden asento ei vaikuta ratkaisun turvallisuusominaisuuksiin tai ympäristövaikutuksiin olennaisesti. Eri asennot ovat perusratkaisun muunnelmia (kuva 3-3), joita on esitelty ja arvioitu mm. Aution ym. (1996) laatimassa selvityksessä. Kyseisten ratkaisujen teknistä soveltuvuutta tutkittiin laajalti Ruotsin SKB:n PASS-projektissa (Project Alternative Systems Study), johon myös TVO osallistui. PASS-projektin tuloksia on käsitelty mm. raporteissa (Birgersson ym. 1992 ja SKB 1992).

Jos valitulle loppusijoituslaitoksen alueelle ei ole valmista tietä, varataan tiealueeksi noin 20 m:n levyinen maa-alue. Voimalaitosalueilla tiestön rakentamistarve on vähäinen. Paikkakohtaisia teiden rakentamistarpeita on kuvattu tarkemmin Posivan raporteissa (LT-Konsultit 1998).

Voimalaitospaikkakunnilla Eurajoen Olkiluodossa ja Loviisan Hästholmenissa kapselointilaitos voidaan sijoittaa myös käytetyn polttoaineen välivaraston yhteyteen. Tässä tapauksessa täytetty loppusijoituskapseli kuljetetaan siirtoajoneuvolla kuilurakennukseen ja edelleen hissillä maan alle.

Perusratkaisussa kallioperän laadusta ja rakenteesta riippuvat seikat pystytään ottamaan joustavasti huomioon: kuilujen sijoittelu ja tunneleiden muotoilu voidaan tehdä loppusijoitusalueen ja sen kallioperän erityis-

vaatimusten mukaisesti. Tunnelit voidaan tarvittaessa sijoittaa useaan eri tasoon.

Lähtökohtana on, että loppusijoitustunneleita voidaan rakentaa myös tilojen käyttövaiheessa. Suunnittelussa on myös varauduttu siihen, että tiloja voidaan laajentaa, jos loppusijoitettavan polttoaineen määrä kasvaa joko nykyisten voimalaitosyksiköiden käytön jatkamisen tai uusien laitosyksiköiden rakentamisen johdosta. Laajennus voidaan tehdä kallioperäolosuhteista riippuen joko samalle tai eri syvyydelle kuin aikaisemmin rakennetut sijoitustunnelit. Laajennuksen toteutuksesta ja paikan kallioperäolosuhteista riippuu, tarvitaanko myös uusi pystykuilu ilmastointi- ja hätäpoistumisyhteydeksi. Mikäli laajennus tehdään eri syvyydelle kuin aikaisemmat tilat, yhteys laajennusosaan rakennetaan joko ajotunnelilla tai suoraan pystykuiluilta.

Seuraavassa on esitetty lyhyt kuvaus tarkastelluista muunnelmista:

Vaakasijoitusratkaisussa kapselit sijoitetaan vaak-asennossa vaak-asentoihin tunneleihin (pitkä- ja keskipitkäreikäratkaisu) tai vaak-asentoihin reikiin (lyhytreikäratkaisu). Kaikissa vaakasijoitusvaihtoehdoissa yhteydet maanpinnalle toteutetaan samoja periaatteita noudattaen kuin perusratkaisussa.

Pitkäreikäratkaisussa polttoainekapselit sijoitettaisiin pitkiin, pyöreisiin, halkaisijaltaan n. 2,4 m:n tunneleihin peräkkäin. Tunnelit louhitaan täysprofiililouhintana. Polttoaine kapseloitaisiin ns. suurkanseleihin, joiden halkaisija olisi n. 1,6 m ja vetoisuus n. 24 polttoaineenippua. Kapselit ympäröitäisiin kompaktoidulla bentoniitilla. Sekä kapseleiden että bentoniitin asennus tapahtuisi kauko-ohjatusti. Perustapauksen polttoainemäärälle tarvittaisiin n. 4 km tunnelia.

Ratkaisu on periaatteessa teknisesti toteutettavissa ja kustannuksiltaan kilpailukykyinen perusratkaisuun verrattuna. Myös pitkäaikaisturval-

lisuus on periaatteessa riittävä edellyttäen, että kapselit voidaan sijoittaa suunnitellulla tavalla. Ratkaisun suurimmat ongelmat liittyvät tekniseen toteutettavuuteen, sillä painavan kapselin käsittelyyn ja loppusijoittamiseen pitkissä tunneleissa liittyy epävarmuustekijöitä. Ainakin heikkousvyöhykkeiden käsittely, vuotovesiongelmat, irtokivet, kapselin asennushäiriöt sekä näiden yhteisvaikutusten ratkaiseminen vaatisivat vielä runsaasti tutkimus- ja kehitystyötä. Paisuneen bentoniitin sekä suuren ja raskaan (50 tonnia) polttoainekapselin poisto esim. asennushäiriön takia useiden satojen metrien päästä on riskialtis, aikaa vievä ja teknisesti vaikea toimenpide. Yhden kapselin poisto edellyttäisi kaikkien sen eteen asennettujen kapselien poistamista.

Keskipitkäreikäratkaisu eroaa pitkäreikäratkaisusta siten, että kapselitunnelit ovat lyhyempiä (n. 200 m). Kapseleiden koko on sama kuin perusratkaisussa. Tunnelit louhittaisiin vaakasuuntaisella nousuporaus-tekniikalla n. 25 m:n välein. Perustapauksen polttoainemäärälle tarvittaisiin 73 sijoitustunnelia sekä yhteensä noin 3 km sivutunnelia. Kapseleiden

ympäristäytty ja asennus suoritettaisiin samoin kuin pitkäreikäratkaisussa. Keskipitkäreikäratkaisu edellyttää pitkälle automatisoituja asennuslaitteistoja. Myös kallioperän ominaisuuksille se asettaa suuremmat vaatimukset kuin perusratkaisu. Esimerkiksi asennusaikainen kallion murtuminen, vesivuodot ja käyttöhäiriöt voisivat aiheuttaa häiriötilanteita. Kustannuksiltaan ratkaisun on todettu olevan edullisimmillaan perusratkaisua edullisempi, mutta siihen liittyvistä epävarmuuksista johtuen se voisi käytännössä osoittautua myös selvästi perusratkaisua kalliimmaksi.

Lyhytreikäratkaisu on keskus-tunneleiden ja sijoitustunneleiden osalta tilaratkaisultaan perusratkaisun kaltainen. Polttoainekapselit sijoitetaan lyhyisiin (n. 10 m) sijoitustunneleiden seiniin porattuihin vaak-asentoihin reikiin, jotka ovat noin 45°:n kulmassa sijoitustunneliin nähden. Kapseleiden ja bentoniitin asennus on teknisesti monimutkaisempaa kuin perusratkaisussa, samoin siihen liittyy luotettavuutta heikentäviä epävarmuuksia, joista merkittävimmät ovat bentoniittivuorauksen ja kapselin epäsuotuisa liikkuminen reiässä joko pohjaveden

Vaakasijoitusratkaisu

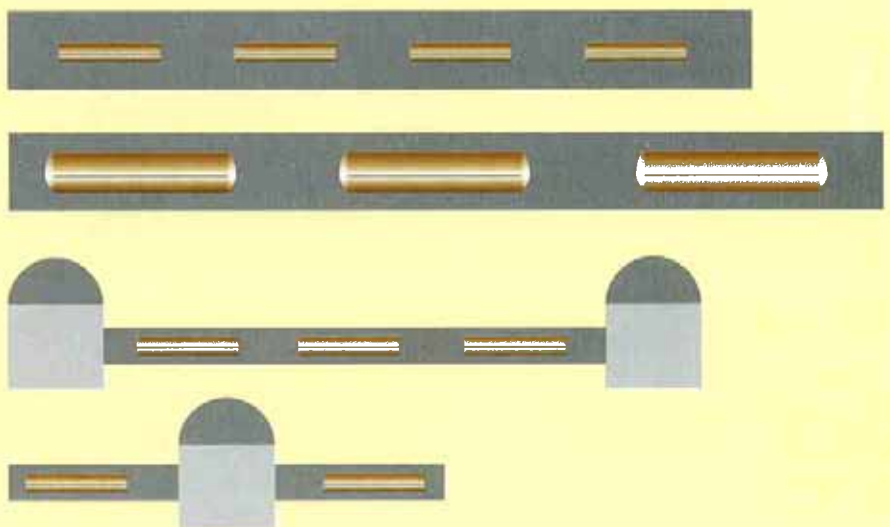
Pitkäreikäratkaisu.

Kapseli on suurempi kuin perusratkaisussa.

Keskipitkäreikäratkaisu.

Kapselit sijoitettaisiin kahden tunnelin välille porattuihin reikiin.

Lyhytreikäratkaisu on lähes samanlainen kuin perusratkaisu, mutta sijoitusreikä porataan vaakatasoon.



Kuva 3-3. Perusratkaisun muunnelmät.

paineen tai bentoniitin epätasaisen vedellä kyllästymisen vuoksi. Toisaalta vaakareikiä ympäröivän kallion kestävyys on reikiä ympäröivän jännitystilän geometriasta johtuen parempi kuin perusratkaisussa. Ratkaisu on toteutuskelpoinen, mikäli osoittautuu, että loppusijoitusalueilla jännitystila/kallion lujuussuhde on odotettua korkeampi.

Lyhyt- ja keskipitkäreikäratkaisut ovat periaatteessa perusratkaisun vaihtoehtoja, ja niiden ympäristövaikutukset ovat samanlaiset kuin perusratkaisun. Lyhytreikäratkaisussa louhintamäärät ovat hieman suuremmat ja keskireikäratkaisussa hieman pienemmät kuin perusratkaisussa.

Aution ym. (1996) laatiman raportin lisäksi näitä perusratkaisun muunnelmia on tarkasteltu julkaisuissa Öhberg 1992, Autio 1990, Autio 1992 sekä yhteenvetoraporteissa Posiva Oy 1996a, TVO 1992a ja Autio ym. 1996.

3.3 Muut geologisen loppusijoituksen toteutustavat

Tutkimus- ja kehitystyön aikana on perusratkaisun ohella selvitetty myös kahta muuta geologisen loppusijoituksen toteutusvaihtoehtoa, hydrauliseen häkkiin perustuvaa ns. WP-Cave-ratkaisua ja syväreikäratkaisua. Näitä mahdollisuuksia on käsitelty mm. Teollisuuden Voima Oy:n vuonna 1992 laatimassa yhteenvetoraportissa (TVO 1992a).

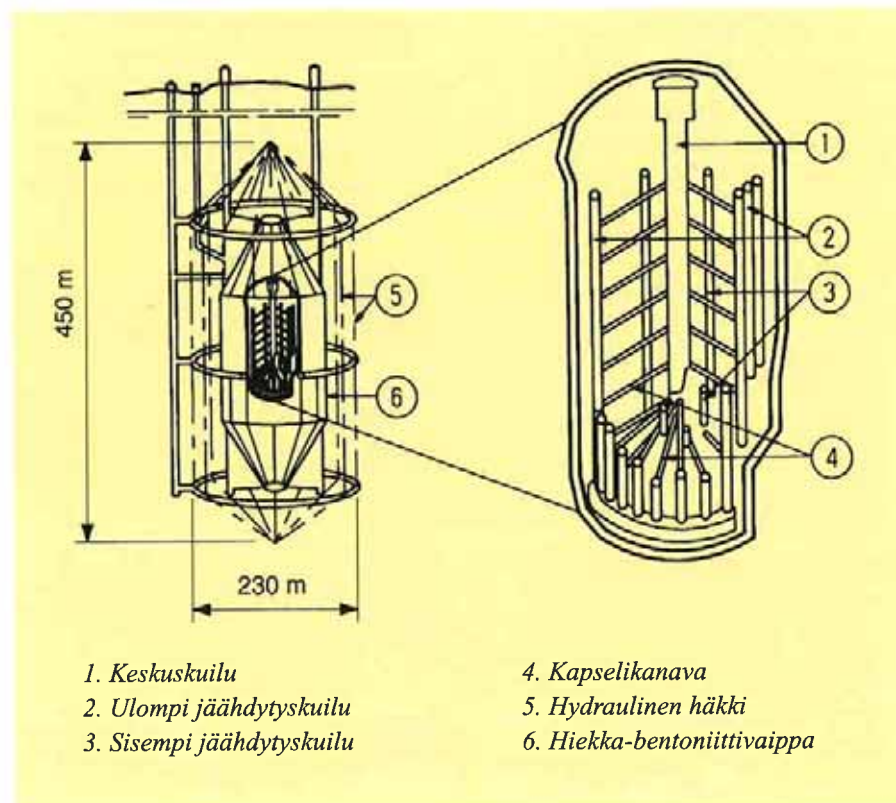
Hydraulisen häkin eli WP-Cave-ratkaisun (TVO 1992a, Öhberg 1992) perusideana on eristää muutaman sadan metrin syvyydessä sijaitseva loppusijoitusaihe pohjaveden kiertokulusta ja ympäröivästä kallioperästä ns. hydraulisella häkillä sekä siiloon ympäröivällä muutaman

metrin levyisellä hiekka-bentoniitti-vaipalla (kuva 3-4). Hydraulinen häkki koostuu pystysuorista rei'istä ja kolmesta eri tasolle siilon ympärille louhitusta tunnelista. Kapseli olisi 9 polttoaineenippua sisältävä valuteräskapseli. Yhteen siiloon voidaan asentaa n. 900 tU, joten 40 vuoden aikana kertyvälle polttoainejätteelle tarvittaisiin kolme siiloa. Kokonaislouhintamäärä olisi n. 1.700.000 m³ eli lähes viisinkertainen perusratkaisuun verrattuna.

Ratkaisun turvallisuus edellyttää aktiivista huolenpitoa, sillä kapsleita tulee jäähdyttää ilmakierrolla 100 vuotta ennen kuin siilo suljetaan lopullisesti. Hydraulisen häkin toiminnasta on vaikea varmistua. Peräkkäin vaakasuuntaisesti asennettujen teräskapselien poisto sulkemisen jälkeen voi olla erittäin hankalaa. Ratkaisuun perustuvaan loppusijoitukseen liittyy toistaiseksi monia epävarmuuksia.

Syväreikäratkaisussa sijoitus tapahtuisi 2–4 km:n syvyyteen kallioperään porattuihin, halkaisijaltaan noin 300 mm kapselien ympäröimää suurempiin reikiin (kuva 3-5). Syväreikäratkaisussa kallioperää itsessään pidetään riittävänä radioaktiivisten aineiden vapautumisesteenä, sillä pohjaveden virtaukset oletetaan näissä syvyyksissä erittäin vähäisiksi. Ratkaisussa käytettäisiin neljän polttoaineenipun titaani- tai kuparikapsleita. Kun kapselit on asennettu, reiät tulpattaisiin betonilla, asfaltilla ja bentoniitilla. Perustapauksen polttoainemäärälle (n. 2600 tU) tarvittaisiin 11–12 syväreikää.

Kallioperän ominaisuuksista (rakenne, jännitystilat, kallion lujuus reiän ympärillä ym.) useiden kilometrien syvyydessä ei ole toistaiseksi riittävästi tietoa, joten pelkän kallioperän toimimisesta radionuklidien vapautumisesteenä ei ole täyttä varmuutta. Yksityiskohdat



1. Keskuskuilu
2. Ulompi jäähdytyskuilu
3. Sisempi jäähdytyskuilu

4. Kapselikanava
5. Hydraulinen häkki
6. Hiekka-bentoniitti-vaippa

Kuva 3-4. Hydraulinen häkki eli WP-Cave-ratkaisu

ja kapselien asennustekniikka vaatisivat huomattavaa jatkotutkimusta ja kehitystyötä. Jos kapselit syystä tai toisesta haluttaisiin asennuksen jälkeen palauttaa maan pinnalle, olisi niiden poistaminen syvistä ja ahtaista porausräijistä erittäin hankalaa. Syvällä vallitsevista olosuhteista ei liioin voida saada varmuutta, joten nuklidien vapautumisriski kapseleita poistettaessa on suurempi kuin perusvaihtoehdossa ja sen muunnelmassa. Myös kapseleita ympäröivän täyteaineen poisto olisi hankalampaa. Syväreikäratkaisun kustannukset ovat huomattavasti perusratkaisua ja vaakasijoitusratkaisuja korkeammat.

3.4 Vaihtoehtojen arviointi ja rajaaminen

Käytetyn polttoaineen jälkihuollon vaihtoehtoja voidaan arvioida erilaisin

eettisin, ekologisista ja teknis-taloudellisin perustein. Yleisiä eettisiä ja ekologisista vaatimuksia ydinjätehuollolle on kirjattu Suomenkin allekirjoittamaan ydinjätehuoltoa ja käytetyn ydinpoltoaineen huoltoa koskevaan kansainväliseen yleissopimukseen (Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management). Luonnon ja ihmisen suojeluun tähtäävät kriteerit muodostavat myös keskeisen osan Valtioneuvoston käytetyn ydinpoltoaineen loppusijoitukselle esittämistä yleisistä turvallisuusmääräyksistä (Valtioneuvosto 1999).

Eettisinä ja ekologisina vaatimuksina em. suosituksissa ja ohjeissa ovat:

– Ihmisten terveyden ja ympäristön suojeleminen

Radioaktiivisten jätteiden huolto on järjestettävä niin, että varmistetaan ihmis-

ten terveyden varjelu ja ympäristön suojeleminen radioaktiivisten aineiden vaaroilta.

– Tulevien sukupolvien suojeleminen

Radioaktiivisten jätteiden huolto on järjestettävä niin, että ennustetut vaikutukset tulevien sukupolvien terveyteen eivät ole suuremmat kuin tällä hetkellä hyväksyttävänä pidettävät vaikutukset.

– Tuleviin sukupolviin kohdistuvien rasitusten välttäminen

Radioaktiivisten jätteiden huolto on järjestettävä niin, ettei tuleville sukupolville aiheudu kohtuuttomia rasitteita.

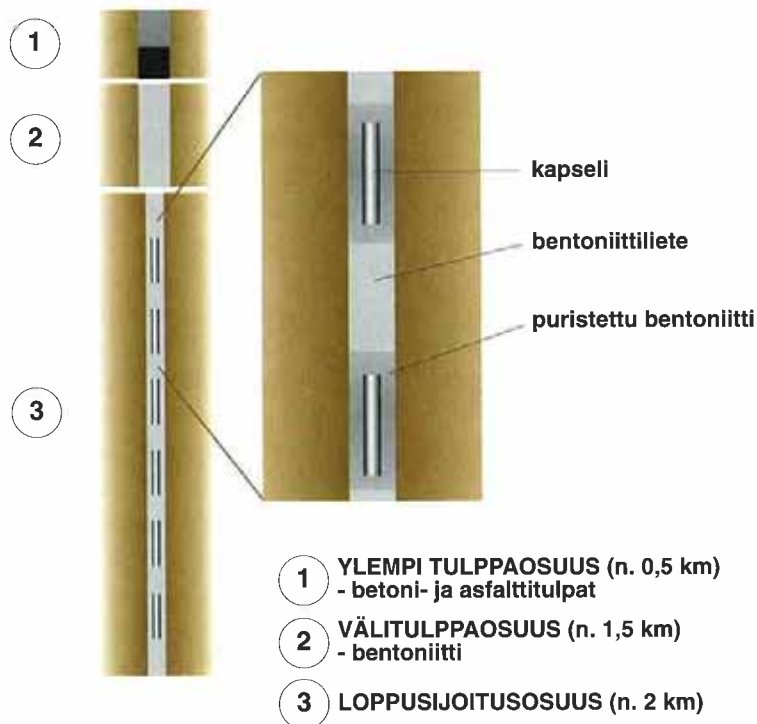
– Ydinjätelaitosten turvallisuus

Radioaktiivisten jätteiden huoltoon käytettävien laitosten turvallisuus on varmistettava asianmukaisella tavalla koko niiden eliniän ajan.

Yhtenä suunnittelu- ja arviointinäkökohtana on myös ydinainesten väärinkäytön estäminen. Vaikka vaatimukset tässä suhteessa ovat vielä kansainvälisesti selkeytymättömiä, ratkaisuja voidaan tarkastella ydinsulkutavoitteiden kannalta.

Vaihtoehtojen arviointiin vaikuttavat luonnollisesti myös ratkaisun tekninen kehitysaste ja arvioidut kokonaiskustannukset. Teknistä toteutettavuutta arvioitaessa on otettava huomioon myös ratkaisusidonnaiset sijoituspaikkavaatimukset: Tulevatko tähän mennessä tutkitut paikat kysymykseen vai tarvitaanko uusia tutkimuksia ja selvityksiä? Miten paljon materiaalikuljetuksia ratkaisu tuo mukanaan? Jälleenkäsittelyyn ja nuklidierotteluun perustuvien vaihtoehtojen edullisuus on sidoksissa myös erotettujen aineiden uudelleenkäyttömahdollisuuksiin.

Valintaa loppusijoituksen ja jatkettun välivarastoinnin (nollavaihtoehto) välillä



Kuva 3-5. Syväreikäratkaisu

tarkastellaan vaihtoehtojen vertailutaulukossa luvussa 10. Edellä esitettyjen kriteerien lisäksi vertailussa on arvioitu myös ratkaisujen soveltumista *nykyisen lainsäädännön* puitteisiin. Arvioitaessa ratkaisuja yleisten turvallisuusvaatimusten kannalta on otettava huomioon se, että nykyiset turvallisuuskriteerit on laadittu nimenomaan KBS-3-tyyppistä ratkaisua silmälläpitäen.

Perusratkaisu on teknisesti pitkälle kehitetty ja sen soveltuvuus Suomen oloihin on vaihtoehtoista parhaiten selvitetty. Useimmat ekologisista ja eettisistä periaatteista ovat olleet lähtökohtina suunnittelussa ja kehitystyössä. Turvallisuus ja tekninen toteutettavuus on osoitettu perusteellisin tutkimuksin, eikä toteutukseen liioin sisälly merkittäviä kustannusriskejä. Perusratkaisu täyttää myös peruutettavuuden ja palautettavuuden vaatimuksen, vaikkeivät peruutettavuus ja palautettavuus alun alkaen olleet loppusijoitusratkaisun suunnittelun tavoitteena.

Perusratkaisu on myös nykyisen lainsäädännön mukainen ja sen on osoitettu täyttävän asetetut turvallisuusvaatimukset.

*Perusratkaisun muunnelm*at eivät ole tekniseltä kehityasteeltaan yhtä pitkällä kuin KBS-3-ratkaisu, mutta niiden turvallisuus ja ympäristövaikutukset voidaan arvioida samalaisiksi kuin perusratkaisun. Mikäli muunnelmät osoittautuvat perusratkaisua kiinnostavammaksi, niihin sovellettava tekniikka on suhteellisen nopeasti saatettavissa perusratkaisun tasolle.

Hydrauliseen häkkiin perustuvalla loppusijoitusratkaisulla pyritään samoihin eettisiin ja ekologisiin päämääriin kuin perusratkaisullakin. Menetelmän edut riippuisivat ratkaisevasti hydraulisen eristyksen toimivuudesta. Niin kauan kuin virtaava pohja-

vesi pysyy crossa jätteistä, ratkaisu on turvallinen, edellyttäen, että se muutoin on ollut teknisesti toteutettavissa. Pitkällä aikavälillä on kuitenkin jokseenkin mahdotonta varmistua "salaojituksen" toimivuudesta. Siksi tämän ratkaisun pitkäaikaisturvallisuus riippuu lopulta samoista seikoista kuin perusratkaisunkin turvallisuus.

Lyhyellä aikavälillä perusratkaisussa säiliö ja sitä ympäröivä bentoniittisavi tarjoavat vähintään yhtä varman suojauksen kuin salaojitus. Todennäköisesti WP-Cave-ratkaisun ympäristövaikutukset olisivat jokseenkin samanlaiset kuin perusratkaisun. Ratkaisu olisi myös peruutettavissa, niin kauan kuin pakkaukset ovat ehjiä. Hydraulinen häkki olisi kuitenkin perusratkaisua selvästi kalliimpi ja vaatisi vielä huomattavaa panostusta tutkimus- ja kehitystyöhön.

Myös *syväreikäratkaisun* tarkoituksena olisi suojata luonto ja ihmiset ydinjätteiden vaaroilta ilman, että tarvitaan jatkuvaa aktiivista huolenpitoa. Ratkaisun eduiksi mainitut näkökohdat perustuvat oletukseen, että useiden kilometrien syvyydellä kalliiossa olevat pohjavedet eivät ole yhteydessä elolliseen luontoon eivätkä jätteistä mahdollisesti liukenevat radioaktiiviset aineet sen tähden voisi aiheuttaa vaaraa luonnolle tai ihmisille.

Kallioperäolosuhteet monien kilometrien syvyydellä tunnetaan toistaiseksi huonosti ja olosuhteiden luotettava selvittäminen edellyttäisikin laajoja uusia tutkimuksia uusien tutkimusmenetelmin. Tätä kirjoitettaessa saatavilla ei ole tietoa menetelmän turvallisuuden tai teknisen toteutettavuuden arvioimiseksi. Ratkaisun peruutettavuus sekä mahdollisten käsittelyvirheiden korjaaminen olisi kyseenalaista, koska syvällä kalliiossa pakkausten ehjänä pysymisestä olisi vaikea varmistua. Ydinsulkusopimuk-

sen kannalta vaikeudet voisivat olla myös etu, joskaan ratkaisu ei käytännön valvontatoimien osalta eroaisi perusratkaisusta. Menetelmän kustannukset olisivat todennäköisesti perusratkaisua korkeammat.

Jälleenkäsittelyvaihtoehdossa loppusijoitettavaksi jää käytettyjen polttoainien asema kiinteitettyä korkea- ja keskiaktiivista ydinjätettä. Koska uraani ja plutonium olisi suurimmaksi osaksi erotettu jätteistä uudelleenkäyttöä varten, pitkäikäisten radionuklidien määrä ydinjätteessä olisi vähäisempi kuin käytetyssä polttoaineessa. Ensimmäisten satojen vuosien aikana käytetyn polttoaineen vaarallisuus johtuisi ensisijaisesti fissiotuotteista, jotka jäisivät loppusijoitettavaksi jälleenkäsittelyn jälkeen. Jälleenkäsittely ei siis olennaisesti väljennä loppusijoitusratkaisulle asetettavia teknisiä turvallisuusvaatimuksia.

Valinta jälleenkäsittelyn ja suoran loppusijoituksen välillä riippuu muista kuin suoranaisesti käytetyn polttoaineen huoltoon liittyvistä näkökohdista. Jälleenkäsittely muuttaisi ydinpolttoainekierrosta aiheutuvien ympäristövaikutuksien ajallista ja paikallista jakautumista. Jälleenkäsittelylaitokset aiheuttavat ainakin nykyisin Ranskassa ja Englannissa käytössä olevalla tekniikalla huomattavasti enemmän käytönaikaisia päästöjä kuin käytetyn polttoaineen varastointi ja perusratkaisun mukainen loppusijoituslaitos yhteensä. Toisaalta jälleenkäsittelyssä erotettujen uraanin ja plutoniumin uudelleenkäyttö vähentäisi uraanin louhintatarvetta, mikä puolestaan vähentäisi kaivostoiminnan päästöjä. Eroa suoran loppusijoituksen ja jälleenkäsittelyn pitkän aikavälin riskeissä on vaikea arvioida.

Ydinasevalvonnan kannalta jälleenkäsittelylaitokset ja jälleenkäsittelyssä

erotettava plutonium vaativat enemmän huomiota kuin kapselointilaitos tai käytetty polttoaine sellaisenaan. Jo olemassa olevien plutoniumvarastojen käyttökin on osoittautunut ongelmaksi. Toisaalta jälleenkäsittelyjätteessä ydinaseeseen soveltuvien aineiden määrä on hyvin pieni ja siksi ilmeisesti myös valvontatarve olisi vähäisempi kuin loppusijoitetun käytetyn polttoaineen kohdalla.

Jälleenkäsittelyvaihtoehdon eettisesti merkittävin etu on, että se säästää energiavaroja. Toisaalta jälleenkäsittely tulisi varsin kalliiksi siinäkin tapauksessa, että jälleenkäsittelypalvelut voitaisiin ostaa ulkomailta. Mikäli jälleenkäsittelylaitos rakennettaisiin Suomeen, jouduttaisiin verraten pienten polttoainemäärien takia erittäin korkeisiin yksikkökustannuksiin. Kokonaisuutena jälleenkäsittelyvaihtoehdo on perusratkaisua monin kerroin kalliimpi ratkaisu. Toisaalta – jos jälleenkäsittelyn taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttavat olosuhteet muuttuisivat olennaisesti – ainakin perusratkaisun ja sen muunnelmien mukainen loppusijoitustapa olisi melko helposti muunnettavissa korkea-aktiivisten jälleenkäsittelyjätteiden loppusijoitukseen sopivaksi.

Radionuklidien hävittäminen *transmutaatiolla* on teoreettisesti mahdollista, mutta menetelmän kehittäminen teolliseen mittakaavaan vaatisi pitkän kehitystyön, eikä transmutaatiolla nykykäsityksen mukaan kuitenkaan päästäisi eroon kaikista ydinjätteistä. Transmutaatio edellyttäisi tavallista jälleenkäsittelyä kehittyneempää nuklidierottelua ja transmutaatioreaktioihin tarkoitettuja reaktoreita. Kaikesta huolimatta tarvittaisiin jonkinlaiset loppusijoituslait, jotka kenties voitaisiin toteuttaa perusratkaisuun verrattuna vähemmän vaatimuksin. Tarvittava tutkimus- ja kehitystyö samoin kuin varsinaiset

nuklidierotteluun ja transmutaation tarvittavat laitokset edellyttäisivät nykykäsityksen mukaan niin suuria investointeja, että ne tuskin olisivat järkevästi perusteltavissa, elleivät laitokset samalla tuottaisi hyötyenergiaa. Siksi transmutaatiotekniikka edellyttäisi pitkäaikaista sitoutumista ydinenergian käyttöön. Koska transmutaatio ei ole nykytietämyksen perusteella realistinen vaihtoehto, sen valinta merkitsisi käytännössä päätöksenteon lykkäämistä eli nollavaihtoehdon toteutumista.

Yhteenvedo vertailusta on, että hydraulinen häkki ja syvät reiät eivät tarjoa perusratkaisuun verrattuna merkittäviä turvallisuus- tai ympäristönsuojeluetuja, vaan ne tulisivat todennäköisesti huomattavasti kalliimmaksi ja vaatisivat enemmän jatkotutkimusta ja kehitystyötä. Ympäristövaikutuksiltaan tai sosiaalisilta vaikutuksiltaan ne eivät liioin merkittävästi poikkeaisi perusratkaisusta. Syväreikäratkaisu edellyttäisi lisäksi tarvittavien geologisten tutkimusmenetelmien kehittämistä ja mahdollisesti myös uutta paikanvalintamenettelyä kallioperätutkimuksineen.

Jälleenkäsittely ei olennaisesti muuttaisi loppusijoituksen tarvetta eikä siitä aiheutuvia riskejä, mutta johtaisi kuitenkin huomattaviin lisäkustannuksiin. Nuklidierottelu- ja transmutaatiotekniikan toteutettavuutta on toistaiseksi mahdoton arvioida, joten nyt ei voida päättää näiden tekniikoiden käyttönotosta. Käytetyn polttoaineen huollon perustaminen transmutaation varaan voi tällä hetkellä merkitä vain päätöksenteon lykkäämistä eli nollavaihtoehdon valintaa. Nykyinen käsitys on, ettei transmutaatio täysin poistaisi geologisen loppusijoituksen tarvetta.

Geologisen loppusijoituksen toteuttamiseksi ovat Suomessa tällä hetkellä varteenotettavina vaihtoehtoina vain perusratkaisu ja sen muunnelmät.

Perusratkaisun muunnelmät eivät ympäristövaikutuksiltaan alustavan arvion mukaan kuitenkaan merkittävästi eroa perusratkaisusta. Tällä perusteella ympäristövaikutusten arvioinnissa on tässä YVA-selostuksessa keskitytty nollavaihtoehdon lisäksi vain perusratkaisuun.

Taulukko 3-1: Loppusijoitusvaihtoehdot eettisten ja ekologisten periaatteiden, teknisen toteutettavuuden ja eri säädösten näkökulmista.

	Perusratkaisu ja sen variaatiot	Hydraulinen häkki
A. Yleiset eettiset ja ekologiset periaatteet		
1. Ihmisen ja luonnon suojeleminen	Jätteet eristetään luonnosta niin ettei aktiivista huolenpitoa tarvita.	Jätteet eristetään luonnosta niin ettei aktiivista huolenpitoa tarvita.
2. Tulevien sukupolvien suojeleminen	Moniesteperiaate eristää jätteet niin kauan kuin niistä voisi olla vaaraa.	Jätteet pysyvät erossa luonnosta niin kauan kuin hydraulinen eristys toimii.
3. Tuleville sukupolville koituvan rasitteen välttäminen	Ei vaadi toimia tulevilta sukupolvilta muttei myöskään estä niitä.	Ei vaadi toimia, jos hydraulinen eristys toimii. Palautettavuus riippuu pakkauksista.
4. Laitosten käytönaikainen turvallisuus	Voidaan toteuttaa tiukoin päästökriteerein.	Voidaan toteuttaa tiukoin päästökriteerein.
5. Ydinaineiden väärinkäytön estäminen	Ydinaineiden anastaminen olisi työlästä ja kallista ja helposti havaittavissa.	Ydinaineiden anastaminen olisi työlästä ja kallista ja helposti havaittavissa.
B. Tekninen toteutettavuus		
1. Tekninen kehitysaste	Perustuu Suomessa käytössä olevaan tekniikkaan.	Tarvittava tekniikka on olemassa.
2. Valmius sijoituspaikan valintaan	Tarvittavat tutkimukset suurimmaksi osaksi suoritettu.	Jo tehtyjä tutkimuksia voidaan käyttää hyväksi.
3. Kustannukset	Kustannuksiin on varauduttu.	Perusratkaisua huomattavasti kalliimpi
4. Kuljetusten tarve	Jonkin verran kuljetuksia tarvitaan riippumatta sijoituspaikasta.	Jonkin verran kuljetuksia tarvitaan riippumatta sijoituspaikasta.
5. Sopivuus muuhun energiajärjestelmään	Sopii pienen maan ydinenergiajärjestelmään.	Sopii pienen maan ydinenergiajärjestelmään.
C. Soveltuvuus nykyisten lakien ja säännösten kannalta		
1. Ydinenergialain ja -asetuksen määräysten täyttäminen	Täyttää vaatimukset.	Täyttää vaatimukset, mikäli hydraulinen eristys toimii ilman huolenpitoa.
2. STUK:n ehdottamien turvallisuusmääräyksien täyttäminen.	Voidaan osoittaa täyttyvän.	Hydraulisen eristyksen pitkäaikaisen toimivuuden osoittaminen vaikeaa.

Syvä reikä	Jälleenkäsittely ja lasitetun jätteen loppusijoitus	Nuklidierottelu, transmutaatio ja jäljelle jäävän jätteen loppusijoitus
Jätteet eristetään luonnosta niin ettei aktiivista huolenpitoa tarvita. Luotettava arviointi ei ole mahdollista käytettävissä olevin tiedoin. Ei vaadi toimia, mutta jätteiden palauttaminen lähes mahdotonta. Käsittelyvirheistä voi aiheutua seurauksia, jotka ovat vaikeasti hallittavissa. Ydinaineiden anastaminen olisi hyvin vaikeaa ja vaarallista.	Hyödylliset aineet erotetaan jatkokäyttöön, muut eristetään luonnosta. Loppusijoitus voidaan toteuttaa samoin kuin perusratkaisussa. Loppusijoitus voidaan toteuttaa samoin kuin perusratkaisussa. Jälleenkäsittelystä aiheutuu voimaloita enemmän päästöjä. Ydinaineiden anastamismahdollisuus riippuu valvonnasta.	Hyödylliset aineet ja muutettavat aineet erotetaan, muut eristetään luonnosta. Loppusijoitus kuten edellä; jätteiden vaarallisuus aika lyhenee. Vaatii tulevia sukupolvia kehittämään tarvittavan tekniikan. Nuklidierottelusta aiheutuu voimaloita enemmän päästöjä. Tarjoaisi myös mahdollisuuden ydinaseiden raaka-aineiden tuotantoon.
Voinee perustua käytössä olevaan tekniikkaan. Edellyttää uudenlaisia paikatutkimuksia ja tutkimusmenetelmien kehittämistä. Kustannuksia vaikea arvioida. Jonkin verran kuljetuksia tarvitaan riippumatta sijoituspaikasta. Sopii pienen maan ydinenergiajärjestelmään.	Perustuu ulkomailla käytössä olevaan tekniikkaan. Riippuu toteutustavasta. Jälleenkäsittelylaitoksen sijoittelu kuten voimalan. Perusratkaisua huomattavasti kalliimpi. Monenlaisia kuljetuksia tarvitaan. Sopii huonosti pieneen ydinenergiajärjestelmään.	Tarvittavaa tekniikkaa ei ole käytettävissä. Riippuu toteutustavasta. Erottelulaitoksen sijoittelu kuten voimalan. Kustannukset eivät ole tiedossa, koska tekniikka ei ole saatavilla. Monenlaisia kuljetuksia tarvitaan. Edellyttää pitkäaikaista sitoutumista ydinenergian käyttöön.
Täyttää vaatimukset, mikäli turvallisuudesta voidaan varmistua. Täyttää tuskin vaatimusta täydellisestä eristämisestä.	Edellyttäisi, että jälleenkäsittelylaitos rakennetaan Suomeen. Määräykset puuttuvat jälleenkäsittelyn osalta.	Edellyttäisi, että tarvittavat laitokset rakennetaan Suomeen. Määräykset puuttuvat erottelun ja transmutaation osalta.

4 PERUSRATKAISUN KUVAUS

4.1 Käytetyn ydinpolttoaineen kertymä

Käytettyä ydinpolttoainetta oli vuoden 1998 lopussa Olkiluodossa 5472 nippua (= noin 840 tU) ja Loviisassa oli 2206 nippua (= noin 270 tU). Loviisassa polttoainetta on vähemmän, koska suurin osa toistaiseksi kertyneestä käytetystä polttoaineesta on palautettu Venäjälle. Myös Loviisan reaktoreiden teho on pienempi kuin Olkiluodon reaktoreiden.

Nykyisistä Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosyksiköistä arvioidaan 40 vuoden käyttöiällä eli vuoteen 2020 mennessä kertyvän käytettyä polttoainetta yhteensä noin 2600 tonnia. Jos voimalaitosten käyttöikä on 60 vuotta eli vuoteen 2040, käytettyä polttoainetta kertyy yhteensä noin 4000 tonnia (kuva 4-1).

Käytetyn polttoaineen tuleva kertymä riippuu yleisesti ottaen ydinvoimalaitosten

- laitosyksiköiden yhteenlasketusta tehosta,
- käyttöajan pituudesta,
- käyttökertoimesta sekä
- polttoaineen ominaisuuksista.

Loppusijoituksen yksityiskohtaisissa teknisissä suunnitelmissa ja turvallisuusarvioissa on lähtökohtana ollut nykyisten laitosyksiköiden käytetyn polttoaineen loppusijoittaminen. Kalliotilojen suunnittelussa on otettu huomioon käyttöiän pituuteen ja polttoaineen ominaisuuksiin liittyvä epävarmuus. Suunnittelussa on lisäksi otettu huomioon myös se mahdollisuus, että Suomeen rakennetaan uusia ydinvoimalaitosyksiköitä ja että niiden käytetty polttoaine loppusijoitetaan samoihin tiloihin kuin nykyisten laitosyksiköiden polttoainejäte.

Mahdollisilta uusilta laitosyksiköiltä kertyvän polttoaineen määrä riippuu laitosyksiköiden tehosta, käyttökertoimesta, käyttöiästä ja uraanipolttoaineen tyypistä. Jos uusi laitosyksikkö olisi kapasiteetiltaan noin 1500 MW_e ja sen käyttöikä olisi 60 vuotta, kertyisi käytettyä polttoainetta noin 2500 tonnia.

Tässä arvioinnissa tarkastellaan seuraavia tapauksia:

1. Nykyiset laitosyksiköt toimivat 40 v, jolloin käytetyn ydinpolttoaineen kokonaiskertymä on 2600 tU. Tätä kutsutaan hankkeen *perustapaukseksi*.
2. Nykyiset laitosyksiköt toimivat 60 v, jolloin käytetyn polttoaineen kokonaiskertymä on 4000 tU.
3. Miten ympäristövaikutukset muuttuvat, jos käytetyn ydinpolttoaineen määrä kasvaa edelleen (esim. jos Suomeen rakennetaan uusia ydinvoimalaitosyksiköitä).

Yksityiskohtaiset arviot on tehty nykyisten laitosten polttoainemäärille eli tapauksille 1 ja 2. Kolmannen tapauksen eli uusien laitosyksiköiden käytetyn polttoaineen osalta on tunnis-

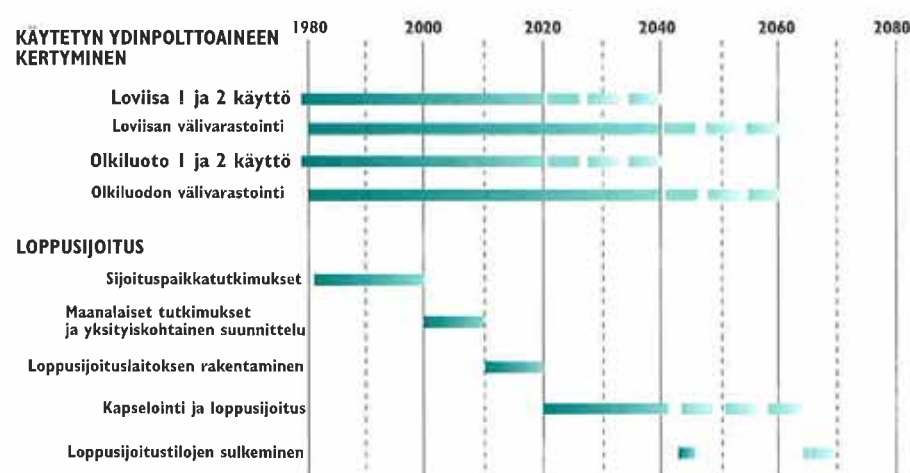
tettu ne loppusijoituksen ympäristövaikutukset, jotka muuttuisivat tästä lisärakentamisesta johtuen.

4.2 Hankkeen elinkaari

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusvalmisteluissa tähdätään siihen, että loppusijoitus voidaan aloittaa vuonna 2020. Loppusijoituspaikkaa koskevat tutkimukset ja yksityiskohtainen suunnittelu saatetaan loppuun vuoden 2010 loppuun mennessä ja laitoksen rakennustyöt käynnistyvät 2010-luvulla.

Perusratkaisun mukainen loppusijoitus-hanke käsittää seuraavat vaiheet:

- loppusijoituspaikan valinta ja valinnan jälkeinen *tutkimusvaihe* (maanalaisen tutkimustilojen rakentaminen ja paikatutkimusten loppuunsaattaminen)
- loppusijoituslaitoksen *rakentaminen* (kapselointilaitoksen ja loppusijoitus-tilojen rakentaminen sekä muu rakentaminen)
- *loppusijoitus* (käytetyn polttoaineen kuljetukset kapselointilaitokseen, kapselointi ja sijoittaminen kallio-perään)
- loppusijoituslaitoksen *sulkeminen*



Kuva 4-1. Loppusijoitushankkeen vaiheet ja aikataulu Loviisan 1 ja 2 sekä Olkiluoto 1 ja 2 laitosyksiköiden käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamiseksi, kun laitosyksiköiden toiminta-ajaksi on oletettu 40 vuotta ja 60 vuotta.

(loppusijoituslaitoksen toiminnan lopettaminen, loppusijoitustilojen sulkeminen ja sulkemisen jälkeinen aika)

Loppusijoittamiseen ja laitoksen sulkemiseen tarvittava aika määräytyy loppusijoitettavan ydinpolttoaineen kokonauskertymästä. Loppusijoituslaitoksella vuosittain käsiteltävän käytetyn polttoaineen määrä on enintään 250 tU. Käytännössä toiminnan laajuus on 100 tU–250 tU vuodessa.

Kaavio 4-1 kuvaa hankkeen vaiheita ja käytetyn polttoaineen määrän vaikutusta loppusijoittamisen kestoon nykyisten laitosyksiköiden kyseessä olleen. Suunniteltu kapasiteetti riittää myös mahdollisilta uusilta laitosyksiköiltä tulevalle käytetylle polttoaineelle; laitoksen toiminta-aika vain pitenee kuvassa esitetystä.

Kaikissa tarkastelutapauksissa loppusijoituslaitoksen toiminta alkaa vuonna 2020 ja päättyy nykyisten ydinvoimalaitosyksiköiden käytön päätyttyä aikaisintaan noin vuonna 2040 ja viimeistään noin vuonna 2100.

4.3 Hankkeen vaiheet ja niiden toteutus

4.3.1 Tutkimusvaihe

Sijoituspaikan kallioperän ominaisuudet varmennetaan maanalaisten tutkimusten avulla. Samalla hankitaan tiedot loppusijoitustilojen yksityiskohdalliseen suunnitteluun rakentamislupahakemusta varten. Maanalaisista kuiluista tai tunneleista käsin voidaan

selvittää loppusijoitustilojen asemoinnin kannalta tärkeiden kalliorakenteiden laatua ja merkittävyyttä sekä etsiä kuilujen sijoittamisen ja loppusijoitustunneleiden rakentamiseen edullisimmat kalliotilavuudet. Syvällä olevissa kalliotiloissa voidaan tehdä mm. kalliomassan ominaisuuksia kuvaavia kokeita todellisessa ympäristössä ja testata loppusijoitusta varten suunniteltua tekniikkaa.

Pohjaveden kemialliset olosuhteet ovat keskeisessä asemassa teknisten vapautumisestien hyvien eristysominaisuuksien säilymisen sekä ydinpolttoaineen liukoisuuden kannalta. Kemialliset ominaisuudet kuvaavat myös kallioperän vakautta. Siksi pohjavesikemian tutkimustuloksilla on tärkeä merkitys turvallisuusarvioissa tehtäessä päätelmiä kallioperän pitkän aikavälin kehityksestä. Pohjavesinäytteiden otto onnistuu parhaiten maanalaisista tiloista käsin, kun kairauksen häiriöt voidaan eliminoida mahdollisimman täydellisesti.

Loppusijoituspaikalle rakennetaan maanalaisia tutkimuksia varten *pysty-kuilu tai ajotunneli*. Valinta riippuu valitun paikan ominaisuuksista. Rakennettavat tutkimustilat on tarkoitettu sijoituspaikan ominaisuuksien tutkimiseen ja varmentamiseen. Tässä suhteessa tutkimusten luonne ja niihin tarvittavat maanalaiset tilat voivat poiketa tähänastisista maanalaisista kalliolaboratorioista, joissa on enimmäkseen keskitytty loppusijoitusjärjestelmän yleiseen tutkimiseen. Maanalaisissa laboratorioissa Kanadassa, Sveitsissä ja Ruotsin Stripassa sekä Äspöissä (kuva 4-2) on kehitetty ja testattu kallioperän tutkimusmenetelmiä, laadittu kallion käyttäytymistä kuvaavia malleja, tehty kokeita täyteaineilla sekä demonstroitu suunniteltujen loppusijoitustekniikoiden toimivuutta.



Kuva 4-2. Maanalaisia tutkimuksia Ruotsin Äspöissä.

H a n k k e e n e l i n k a a r i

TUTKIMUSVAIHE 2001–2010

Maanalaisten tutkimustilojen rakentaminen ja ylläpito sekä tutkimukset

Hanke alkaa periaatepäätöksen ja sijoituspaikan valinnan jälkeen maanalaisten tutkimustilojen suunnittelulla ja niiden sijoitukseen tähtäävillä tutkimuksilla. Rakentaminen aloitetaan muutamaa vuotta myöhemmin. Tilojen rakentamisen arvioidaan vievän kolmivuorotyönä noin neljä vuotta. Rakentamisen yhteydessä tehtävät tutkimukset voivat kuitenkin pidentää rakennusaikaa.

RAKENTAMISVAIHE 2010–2020

Kapselointilaitoksen ja loppusijoitustilojen rakentaminen, muu rakentaminen

Loppusijoitustilojen rakentaminen aloitetaan 2010-luvulla. Tätä ennen loppusijoituslaitokselle haetaan ydinenergialain vaatima rakentamislupa. Keskustunneli, henkilö- ja kapselikuilu sekä maanalaiset oheistilat louhitaan valmiiksi rakennusvaiheessa. Sijoitustunneleista noin kymmenesosa louhitaan rakennusvaiheessa ja loput jaksoittain loppusijoitusvaiheessa. Vaihtoehtona on louhia luolasto kokonaan valmiiksi ennen loppusijoituksen aloittamista. Rakennusvaiheen louhintatöiden arvioidaan kestävän kaksivuorotyönä noin viisi vuotta. Kapselointilaitos samoin kuin muut maanpäälliset rakennukset voidaan rakentaa samanaikaisesti loppusijoitustilojen kanssa.

Loppusijoitettavan polttoaineen määrän lisääntyminen ei lisää merkittävästi rakentamisaikaa, jos tilat rakennetaan vaiheittain.

LOPPUSIJOITUSVAIHE 2020–

Käytetyn polttoaineen kuljetukset kapselointilaitokseen, sijoitustunneleiden louhinta, polttoaineen kapselointi ja kapseloiden sijoitus kalliooperään sekä sijoitustunneleiden täyttäminen.

Aikataulun mukaan kapselointi ja loppusijoitus aloitetaan vuonna 2020 lopullisen turvallisuusselosteen hyväksymisen ja käyttöluvan myöntämisen jälkeen. Jos Loviisan ja Olkiluodon voimalaitosten käyttö päättyy vuoden 2020 tienoilla, loppusijoitus vie aikaa noin 20 vuotta. Mikäli voimalaitosten käyttöaika on pidempi, myös loppusijoitusvaihe pitenee vastaavasti. Jos ydinvoimalaitoksia rakennettaisiin lisää ja ne otettaisiin käyttöön n. vuonna 2010, laitoksen käyttöaika pitenis. Esimerkiksi kaksi uutta voimalaitosyksikköä voisivat nostaa käytetyn ydinpolttoaineen kokonaismäärän 9000 tonniin. Käyttöaika olisi tällöin n. 70 vuotta. Perussuunnitelman mukaan vuosittain valmistuu n. 60 kapselia loppusijoitettavaksi. Loppusijoitustunnelit suljetaan sitä mukaa kuin ne täytetään kapsleilla.

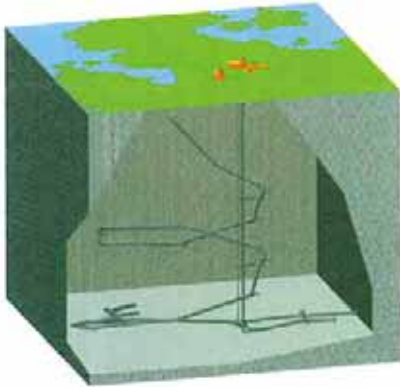
Loppusijoitusvaiheessa tunneleita louhitaan joka kolmas vuosi. Vaikka polttoainemäärä lisääntyisi nykyisten laitosyksiköiden jatkuvan käyttöajan tai uusien voimalaitosyksiköiden rakentamisen myötä, voidaan kalliotiloja laajentaa ja kuilujen määrää lisätä loppusijoituksen kanssa rinnakkain. Jos vuosittain loppusijoitettavaa polttoainemäärää lisätään kapselointilaitoksen kapasiteettia kasvattamalla, louhintajaksoja tiennetään tai kerralla louhittavaa määrää kasvatetaan.

SULKEMISVAIHE

Loppusijoituslaitoksen toiminnan lopettaminen, loppusijoitustilojen sulkeminen ja sulkemisen jälkeinen aika

Toiminnan lopettamisen yhteydessä, kun kaikki polttoaine on kapseloitu, kapselointilaitoksesta puretaan radioaktiiviset osat ja aineet ja ne viedään loppusijoitustiloihin. Keskustunneliin rakennetaan sulkurakenteet ja se täytetään murskeella ja bentoniitilla. Kuiluihin rakennetaan myös sulkurakenteet ja ne täytetään murskeella, bentoniitilla ja betonilla. Tämä vaihe kestää pari vuotta. Sulkemisen jälkeen alue maisemoidaan. Myös kaikki rakennukset voidaan purkaa, mikäli niille ei ole muuta käyttöä.

Kuva 4-3. Äspön kalliolaboratoriota varten louhitut maanalaiset tilat. Spiraalimainen ajotunneli johtaa 460 m:n syvyyteen. Pystykuilu on rakennettu ns. nousuporauksena.



riippuen voi olla suora tai spiraalimainen. Tunnelivaihtoehtoa havainnollistaa kuva Äspön saarelle rakennetusta kalliolaboratoriosta, joka ulottuu 460 m:n syvyyteen (kuva 4-3).

30

Tunneli louhitaan perinteisin poraus-räjäytysmenetelmin. Louhe kuljetetaan maanpinnalle kuorma-autoilla ja viedään läjitysalueelle. Tunnelin poikkipinta-ala on noin 30 m². Tunnelilouhinta ja tutkimukset voidaan toteuttaa samanaikaisesti. Tutkimuksia varten louhitaan ajotunnelista poikkeavia tutkimusperiä, joiden pituus voi vaihdella muutamasta metristä useisiin kymmeneen metreihin. Tutkimustunneli on edullisinta toteuttaa muutamassa vaiheessa, jolloin päätös etenemisestä loppusijoitusyvydelle tehdään tutkimustulosten arvioinnin jälkeen. Tutkimustunnelista rakennetaan pystykuilu maanpinnalle ilmastointia ja hätäpoistumistietä varten.

Mikäli tunneli rakennettaisiin noin 500 m:n syvyyteen, sen pituus kaltevuudesta riippuen olisi 4,5–5 km. Louhetta tunneleiden louhinnasta on arvioitu syntyvän 250 000–300 000 m³ itr (irtokuutio = irrotetun kiviaineksen tilavuus). Itse tutkimustunnelin tilavuus on noin 150 000 m³.

Kuiluvaihtoehdossa louhitaan noin 5–8 m:n läpimittainen (poikkipinta-ala 20–50 m²) pystykuilu loppusijoitusyvyteen. Kuiluun louhitaan yksi tai useampia välitasoja, joista selvitetään kallioperän ominaisuuksia ennen lopulliseen syvyyteen etenemistä. Kuilun saavutettua suunnitellun pohjatason, louhitaan tälle syvyydelle vaakasuuntaisia tutkimustunneleita. Tutkimustiloista tehdään nousuporauksena lisäkuilu ilmastointia ja hätäpoistumistietä varten.

Pystykuilu louhitaan ylhäältä alas perinteisin menetelmin. Louhe nostetaan maanpinnalle hissillä ja siirretään läjitysalueelle. Osa louheesta käytetään sellaisenaan laitosalueen ja teiden rakentamiseen. Louhetta kuilun ja tunneleiden louhinnasta on arvioitu syntyvän 55 000 m³itr.

Maanpinnalle rakennettavat tilat ovat samanlaiset sekä tunneli- että kuiluvaihtoehtoisissa. Rakennusten rakennuspinta-ala on muutama sata neliometriä. Tarvittava maa-alue on noin 5 ha.

Tutkimusvaihe kestää useita vuosia louhintatöiden valmistuttua. Täksi ajaksi maanalaisiin tiloihin asennetaan vesi-, viemäröinti-, ilmanvaihto-, sähkö-, puhelin-, palontorjunta-, hälytys- ja hissijärjestelmät. Tutkimustunnelin tai -kuilun rakentamisen aikana henkilö- ja tavaraliikenteen arvioidaan olevan noin 50 ajoneuvoa vuorokaudessa.

4.3.2 Rakentamisvaihe

Loppusijoitustilojen rakentaminen

Varsinaisten loppusijoitustilojen rakentaminen aloitetaan louhimalla maanalaiselle toiminnalle välttämät-

tömät aputilat ja yhdystunneli lisäkuilujen tulevalle sijaintipaikalle (kuva 4-4).

Kapseli- ja henkilökuilu louhitaan ns. avausavarrus-tekniikalla. Ensin louhitaan pieniläpimittainen avausreikä alhaalta ylöspäin. Tämän jälkeen kuilu avarretaan lopulliseen läpimittaansa ylhäältä alaspäin edeten. Louhe putoaa silloin loppusijoitustasolle, mistä se nostetaan työkuilun tai ajotunnelin kautta maan pinnalle. Kuilujen läpimita on noin 5 m.

Mikäli jokin kuiluista korvataan ajotunnelilla, myös se louhitaan tässä vaiheessa. Loppusijoitusyvydellä jatketaan keskustunnelin ja oheistilojen louhintaa samanaikaisesti kuilujen louhinnan kanssa. Keskustunnelin yhteispituus on perustapauksessa yli 2 km. Loppusijoitustasolla olevat tilat louhitaan porausräjäytystekniikalla. Rakentamisvaiheessa louhitaan valmiiksi noin kymmenen sijoitustunnelia. Sijoitustunnelien leveys on noin 3,5 m ja korkeus noin 4,4 m. Tarkoitus on, että sijoitustunnelit louhitaan loppusijoitusvaiheessa vähitellen loppusijoituksen etenemisen myötä. Vaihtoehtoisena toteutustapana on myös kaikkien tarvittavien tunnelitilojen louhinta etukäteen jo rakennusvaiheessa.

Loppusijoitustiloja rakennettaessa tehdään myös rakennusteknisiä sekä vesi-, viemäröinti-, ilmastointi- ja sähköjärjestelmien asennustöitä. Rakennusteknisiä töitä ovat mm. eri tilojen seinien, lattioiden ja välitasojen rakentaminen.

Kuva 4-5 osoittaa esimerkinomaisesti, miten kuilut, keskustunneli ja loppusijoitustunnelit voisivat sijaita toisiinsa nähden, kun loppusijoitustunnelit on sijoitettu yhteen tasoon. Tunnelit voidaan sijoittaa paikan kallioperän ominaisuuksien mukaan myös

useampaan tasoon. Perustapauksessa tunneliston kokonaistilavuus on n. 360 000 m³. Louhetta syntyy yhteensä n. 720 000 m³itr, josta n. 290 000 m³itr rakentamisvaiheessa. Loppusijoitus-tilojen louhinta ja rakennustekniset työt tehdään pääosin kaksivuorotyönä.

Louhe kuljetetaan maan päälle työkuilua tai ajotunnelia pitkin ja edelleen läjitysalueelle. Kiviainesta käytetään louheena tai eri murskelajikkeina seuraavasti (Tolppanen 1998):

- laitosalueelle rakennettavien uusien tieyhteyksien pohjatoihin louheena, murskeena ja sepelinä

- laitosalueen rakennusten ja teiden pohjatoihin louheena, murskeena ja sepelinä
- loppusijoitustilan tunneleiden lattiarakenteisiin sepelinä ja
- loppusijoitustilojen täyttämiseen murskeena.

Tiloihin suotautuvan vuotoveden määräksi arvioidaan useita satoja litroja minuutissa. Määrä riippuu mm. vettä johtavasta rakoilusta, kerrallaan avoimena olevien tilojen määrästä ja tiivistämisen laajuudesta. Vuotovedet pumpataan öljynerotuksen sekä selkeytyksen jälkeen maanpinnalle ja lasketaan

takaisin maastoon. Selkeytettyä vuotovettä voidaan käyttää myös louhinta-porauksessa sekä tunneleiden ja koneiden pesuvedenä.

Kapselointilaitoksen sekä apu- ja oheistilojen rakentaminen

Kapselointilaitoksen rakentamisen arvioidaan kestävän noin neljä vuotta. Mikäli kapseloiden kuljettamiseen käytettävä pystykuilu on yhteydessä kapselointilaitosrakennukseen, on käytännöllistä louhia tätä kuilua valmiiksi joitakin kymmeniä metrejä alaspäin ennen kapselointilaitoksen rakentamisen aloittamista. Jos kapselointilaitos sijaitsee välivaraston yhteydessä voimalaitosalueella erillään loppusijoitustiloihin johtavista kuiluista, rakennetaan kapselikuilun yläpäähän kapseloiden vastaanottorakennus, johon kuparikapselit tuodaan ja josta ne kuljetetaan hissillä alas loppusijoitustiloihin. Kapselointilaitoksen läheisyyteen rakennetaan myös toimistorakennus. Rakennuksessa sijaitsee kapselointilaitoksen ja loppusijoitustilan valvomo.

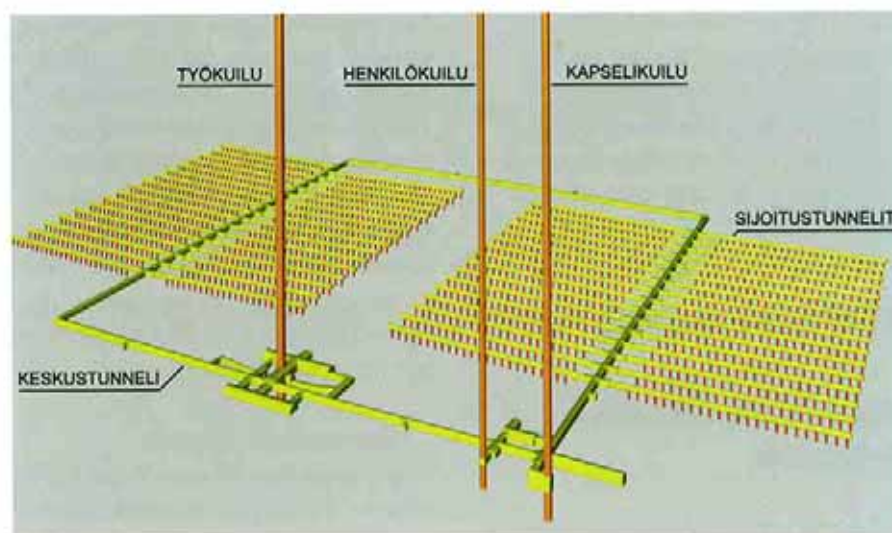
Kapselointilaitoksen tärkeimmät osat ovat:

- käytetyn ydinpolttoaineen kuljettussäiliöiden vastaanottotila
- kapselointitilat
- valvomo
- kapselihiisi
- bentoniitin käsittelytilat

Kapselointilaitos suunnitellaan turvallisuusmääräyksiä noudattaen (Valtioneuvosto 1999) siten, että radioaktiivisten aineiden pääsy ympäristöön häiriö- ja onnettomuustilanteissakin jää merkityksettömän pieneksi. Laitoksen runkorakenteet ovat teräsbetonia. Rakenteiden paksuus on 0,2–1,4 m. Huoltotasot, ovet, luukut ja osa portaista ovat teräsrakenteisia. Laitos sisältää useita järjestelmiä, mm. sähkö-,



Kuva 4-4. Esimerkki työkuilun ja sen yhteyteen suunnitelluista rakennuksista. Etualalla toimistorakennus tutkimustiloihin, oikealla itse työkuilurakennus ja vasemmalla lämpö- ja vesilaitosrakennus. Taustalla on louheen ja murskeen läjitysalue.



Kuva 4-5. Esimerkki kuilujen, keskustunnelin ja loppusijoitustunneleiden sijoittelusta.



Kuva 4-6. Esimerkki kapselointilaitoksesta ja sen yhteyteen suunnitelluista rakennuksista. Itse kapselointilaitos taaimmaisena vasemmalla, sen oikealla puolella toimistorakennus, edessä oikealla vierailukeskus ja vasemmalla neljä vierasmajoitustaloa.

vesi-, viemäri- ja ilmastointijärjestelmiä, hissejä, nosto- ja siirtojärjestelmiä, elektronisuihkuhitauslaitteen ja tarkastuslaitteita.

Kapselointilaitoksen ja toimistorakennuksen lisäksi tarvitaan muita maanpäällisiä apu- ja oheistiloja, joita ovat:

- työkuilurakennus
- raaka- ja jätevesien käsittelylaitokset (vain Kuhmossa)
- työkuilurakennuksen konttori
- sähkö- ja lämpökeskus
- bentoniitin varastointialue
- louhittujen massojen läjitys- ja murskausalue
- rakennustarvikevarasto
- vierailukeskus
- vierasmajat
- räjähdde- ja nallivarastot
- rakennusjätteen läjitysalue
- tankkauspaikka
- tiet ja pysäköintialueet

Laitosalueen rakennusten (kuva 4-6) tilavuus on yhteensä noin 65 000 m³.

Rakentamisvaiheessa työvoiman tarve laitosalueella on keskimäärin 140 hen-

kilöä, joista maan alla työskentelee 30 henkilöä. Henkilö- ja tavaraliikenteen arvioidaan olevan n. 250 ajoneuvoa vuorokaudessa. Rakennusmateriaalit ja raaka-aineet ovat kallio- ja teollisuusrakentamisessa tyypillisesti käytettyjä puu-, teräs- ja betonimateriaaleja sekä räjähdysaine- ja LVIS-tarvikkeita.

Rakennusvaiheessa vettä tarvitaan noin 150 m³/vrk. Kaikki kertyvät jätevedet puhdistetaan ennen maastoon johtamista. Kallion vuotovedet kerätään salaojin selkeytysaltaaseen, josta ne öljynerotuksen jälkeen pumpataan maan pinnalle ja johdetaan maastoon. Talousjätevettä syntyy noin 30 m³/vrk ja se puhdistetaan jätevedenpuhdistamossa.

4.3.3 Loppusijoitusvaihe

Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetukset

Käytettyä ydinpolttoainetta on vuosina 1981–1996 kuljetettu Loviisan voima-

laitokselta Tsheljabinskin jälleenkäsittelylaitokselle Venäjälle yhteensä 15 kertaa. Kuljetukset on toteutettu rautatiekuljetuksina (kuva 4-7). Kaikkiaan kuljetettiin 2823 polttoaineenippua eli noin 330 tU. Rautatiekuljetuksiin päädyttiin aikanaan siksi, että venäläisillä oli siihen valmis kalusto. Kuljetuksia varten perusparannettiin Loviisa–Lahti-rata. Vastaavanlaisia kuljetuksia on tehty eri maissa jo pitkään, joten kuljetusten tekniikasta ja valvonnasta on runsaasti kokemusta.

Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusten teknisen toteutettavuuden ja ympäristövaikutusten arvioimiseksi selvitettiin nykyisin käytössä olevaa kuljetustekniikkaa ja sille käyttökelpoiset kuljetusmuodot ja -reitit ydinvoimalaitosten välivarastojen ja vaihtoehtoisten loppusijoituspaikkojen välillä.

Kuljetukset alkavat aikaisintaan vuonna 2020, joten kuljetussäiliöt, -muodot ja -reitit valitaan lopullisesti noin silloin käytettävissä olevista vaihtoehdoista.

Kuljetuksissa käytettävä tekniikka

Käytetty polttoaine välivarastoidaan Eurajoen Olkiluodossa ja Loviisan Hästholmenissa. Sieltä se kuljetetaan loppusijoituspaikalle erikoissäiliöllä ja erikoiskuljetuksena. Säiliöille, säiliön käsittelylle, onnettomuustilanteisiin varautumiselle ja dokumentaatiolle on asetettu korkeat vaatimukset. Periaate on, että kuljetussäiliö ei saa menettää säteilysuojeluo ominaisuuksiaan pahimmassakaan ajateltavissa olevassa onnettomuudessa. Nykyisin käytetyn polttoaineen kuljetuksia ja siihen käytettävää tekniikkaa sääntelevät mm.

- ydinenergialaki ja -asetus
- laki vaarallisten aineiden kuljetuksesta
- asetus ja liikenneministeriön päätös vaarallisten aineiden kuljetuksesta tiellä

- asetus ja liikenneministeriön päätös vaarallisten aineiden kuljetuksesta rautatiellä
- asetus ja merenkulkuhallituksen (nykyinen Merenkululaitos) päätös vaarallisten aineiden kuljettamisesta aluksessa
- Säteilyturvakeskuksen ohjeet.

Kuljetussäiliöiden mitoitus riippuu polttoaineniippujen koosta ja muodosta. Eri valmistajilla on myös jonkin verran toisistaan eroavia teknisiä säiliö-ratkaisuja. Polttoainetta voidaan kuljettaa säiliön sisällä kuiviltaan tai siten, että säiliö on täytetty vedellä. Tähänastisissa selvityksissä on käytetty esimerkkinä kahta eri CASTOR-säiliö-

tyyppiä (kuvat 4-8 ja 4-9) ja suunnittelun lähtökohtana on ollut kuljettaminen kuivana. Ennen käyttöönhyväksymistä kuljetussäiliötyyppi testataan monin tavoin erilaisten onnettomuustilanteiden varalta. Onnettomuustestien rasi-tukset ovat suuremmat kuin ne, joiden kohteeksi säiliö joutuisi todellisissa käsittelytilanteissa.



Kuva 4-7. Käytettyä ydinpolttoainetta kuljetettiin vuosina 1981–1996 Loviisasta Neuvostoliittoon (myöhemmin Venäjälle) rautateitse 15 kertaa. Käytetty polttoaine siirrettiin maanteitse Hästholmenista Loviisan rautatieasemalle, jossa kuljetussäiliöt lastattiin junavaunuihin. Kuljetuksissa käytettiin venäläisiä kuljetussäiliöitä.



Kuva 4-8. Loviisan laitoksen käytetyn ydinpolttoaineen kuljetukseen soveltuva Castor-VVER -säiliö. Kuljetussäiliön paino on noin 110 t, pituus noin 4,1 m ja läpimitta 2,7 m, ja siihen mahtuu kerrallaan 84 nippua.



Kuva 4-9. Olkiluodon käytetyn ydinpolttoaineen Castor-TVO-siirtosäiliö. Säiliön paino on noin 80 t, pituus 5,2 m ja läpimitta 2,0 m ja siihen mahtuu 41 polttoaineniippua.

Säiliöiden on kestävä ilman merkitäviä vaurioita mm. seuraavat testit:

- pudotus 9 m:n korkeudelta perään-
antamattomalle alustalle
- puoli tuntia +800 °C:n ulkoista
lämpövaikutusta
- 1 tunnin upotus veteen 200 m:n
syvyyteen.

Maantiekuljetuksessa siirtosäiliö siirretään kuorma-auton vetämällä moniakselisella erikoiskuljetuslavetilla, jolloin kuljetuksen akselipaino pysyy teiden ja siltojen sallimissa rajoissa. Kuljetussäiliö (kuva 4-10) lastataan autoon ydinvoimalaitosten käytetyn polttoaineen välivarastoissa. Ajoreitteinä ovat pääasiassa kanta-, valta- ja seututiet. Kuljetusta saattaa poliisi ja Säteilyturvakeskuksen valvoja. Kuljetuksen keskinopeus on noin 35 km tunnissa. Maassamme kuljetetaan vuosittain useita vastaavan painoisia kuormia.

Rautatiekuljetusten reitti muodostuu rautatieosuudesta sekä alku- ja loppupään maantieosuuksista. Siirtokuljetukset voimalaitokselta radan varteen

sekä radalta loppusijoituslaitokselle vaativat saman kaluston, saattueen ja samat turvatoimet kuin em. maantiekuljetukset. Kuljetussäiliöiden kuljettamiseen rautateitse tarvitaan erikoisjuna ja jokaiselle säiliölle oma erikoisvaunu, jollaisia on nykyäänkin käytettävissä.

Loviisan ja Olkiluodon välillä voidaan käytettyä ydinpolttoainetta kuljettaa myös meriteitse. Samoin Kuhmoon kuljetettaessa voitaisiin polttoaine viedä ensin meritse Raahen ja sieltä edelleen maanteitse tai rautateitse Kuhmoon.

Merikuljetus voitaisiin toteuttaa Ruotsin ydinpolttoaine- ja ydinjätehuollosta vastaavan SKB:n omistamalla M/S Sigynillä tai muulla samantyyppisellä aluksella (kuva 4-11). M/S Sigyn on rakennettu ydinjätekuljetuksia varten ja se kykenee kuljettamaan 1200 tonnin hyötykuorman. Kuljetusjärjestelmään kuuluu erikoisajoneuvo, joka voi ottaa 120 tonnin kuorman.

Olkiluodossa on satama laitosalueella. Välivaraston ja laivan välillä säiliöitä



Kuva 4-11. Käytettyä ydinpolttoainetta kuljetetaan Ruotsissa M/S Sigyn aluksella ydinvoimalaitoksista Oskarshamnissa sijaitsevaan välivarastoon.

voitaisiin kuljettaa laivan mukana kulkevalla erikoisajoneuvolla. Loviisassa voitaisiin käyttää Valkon satamaa, joka on noin 25 km:n päässä käytetyn ydinpolttoaineen välivarastosta. Kuljetus laivalta loppusijoituslaitokseen voitaisiin tehdä laivan erikoisajoneuvolla.

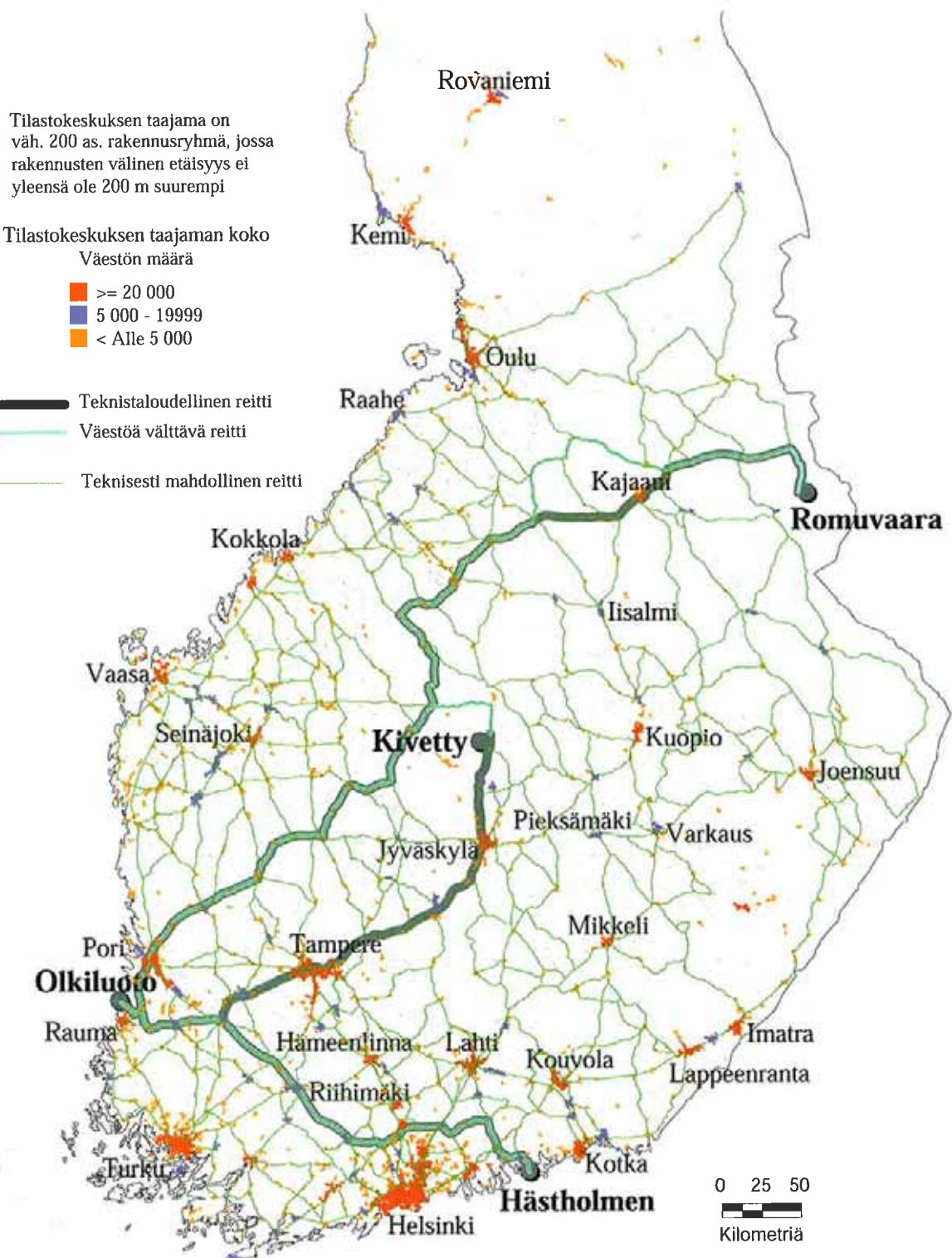
Käytännön kuljetusjärjestelyt

Mahdollisia kuljetusmuotoja ovat maan-, rauta- ja meriteitse tapahtuvat kuljetukset. Erilaisia reittivaihtoehtoja näille kuljetusmuodoille muodostuu suuri joukko (Jakonen ym. 1998). Jotta kuljetusten ympäristövaikutuksia voitiin arvioida, muodostettiin sekä Olkiluodon ja Loviisan säiliötyypeille ja kullekin kuljetusvälille esimerkkireittejä. Näiden avulla tarkasteltiin kuljetusmuotojen eroja, kuljetusreittien ominaisuuksia, kuljetusmääriä ja -kertoja sekä hankittiin lähtötiedot tarkemmille arvioille ja laskelmille.

Esimerkkireittien hahmottamiseksi valittiin kullekin kuljetusmuodolle ”tekniikaloudellinen reittivaihtoehto” ja ”väestöä välttävä reittivaihtoehto”. Tekniikaloudellinen reittivaihtoehto on lyhin kuljetusreitti. Väestöä välttävät reitit pyrkivät kiertämään suuret asutustaajamat. Joillakin osuuksilla, esim. hyvin harvaan asutuilla alueilla, reitit ovat samat.



Kuva 4-10. Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetussäiliö. Kuvassa säiliötä siirretään Olkiluodon ydinvoimalaitokselta voimalaitosalueella sijaitsevaan välivarastoon.



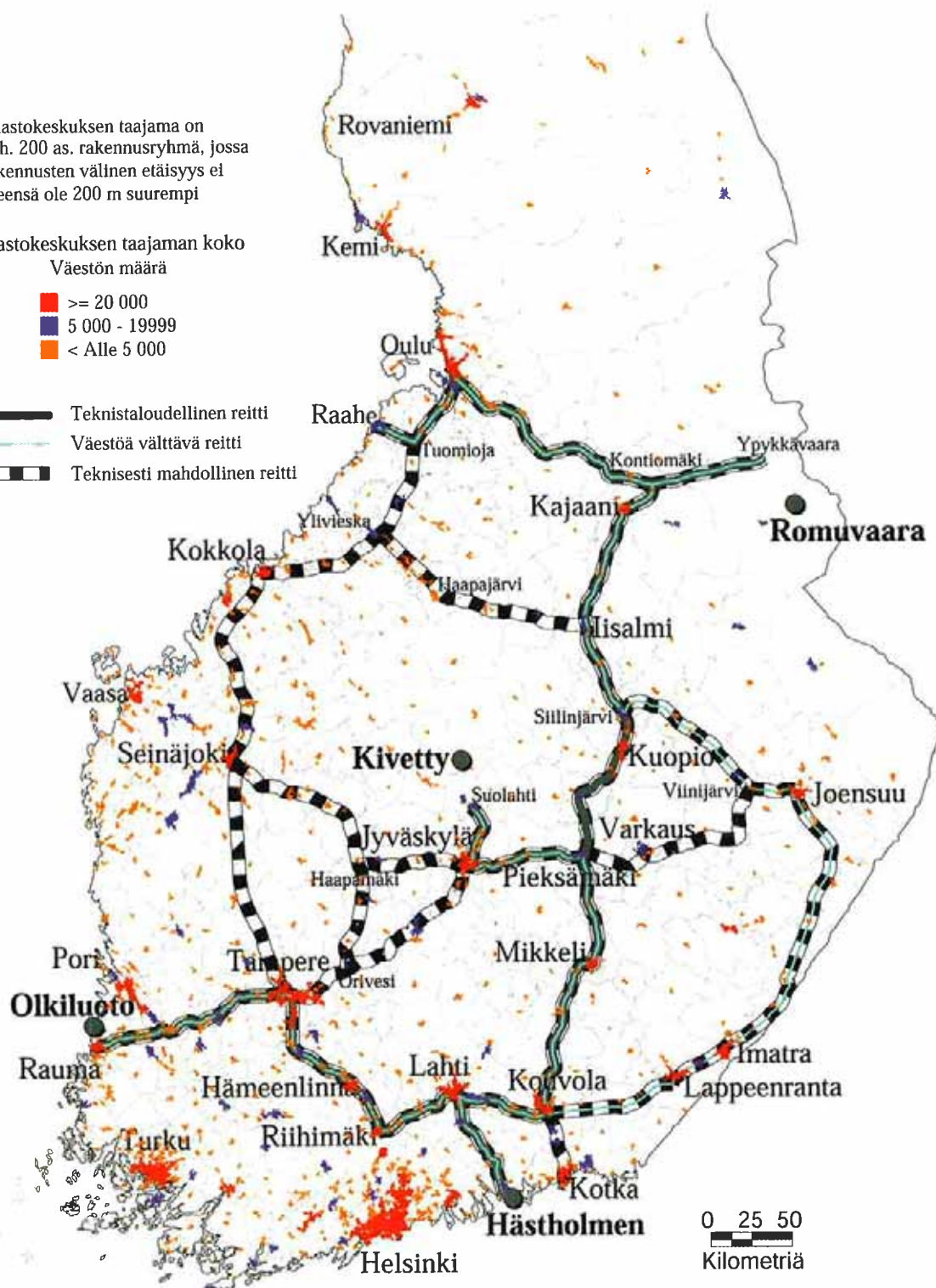
Kuva 4-12. 100 tonnia painavan kuljetussäiliön mahdolliset maantiekuljetusreitit Olkiluodosta.

Tilastokeskuksen taajama on väh. 200 as. rakennusryhmä, jossa rakennusten välinen etäisyys ei yleensä ole 200 m suurempi

Tilastokeskuksen taajaman koko Väestön määrä

- $\geq 20\ 000$
- 5 000 - 19 999
- < Alle 5 000

- Teknistoloudellinen reitti
- Väestöä välttävä reitti
- - - Teknisesti mahdollinen reitti



Kuva 4-13. Mahdolliset rautatiereitit Loviisasta sekä merikuljetuksen liityntäreitti Raahesta.



Kuva 4-14. Mahdolliset meriväylät.

Kokonaan maanteitse tapahtuville kuljetuksille oli tarjolla 20 reittiä (Eurajoelle 3, Kuhmoon 10, Loviisaan 2 ja Äänekoskelle 7). Rautateitä hyödyntäviä reittivaihtoehtoja on tarjolla 7 (Eurajoelle 1, Kuhmoon 4, Loviisaan 1 ja Äänekoskelle 2). Lisäksi Loviisan, Eurajoen ja Raahen välillä on käytettävissä meriväylä.

Kuljetusreitit on esitetty yksityiskohtaisesti useilla kartoilla työraportissa (Jakkonen ym. 1998). Kuvissa 4-12, 4-13 ja 4-14 on havainnollistettu kuljetusten arviointia varten muodostettuja esimerkkireittejä eri kuljetusmuodoissa.

Kuljetusmuoto ja -kalusto vaikuttavat kuljetusten lukumäärään olennaisesti. Maantiekuljetuksessa voidaan käyttää 1–2 kuljetussäiliötä, rauta- ja meriteitse kuljetettaessa 2–4 säiliötä. Kuljetusten vuosittaiset määrät hankkeen perustapaukselle on esitetty taulukossa 4-1.

Mikäli käytetyn ydinpolttoaineen määrä kasvaisi perustapausta suuremmaksi, vuosittaiset kuljetusmäärät olisivat yhä samat, mutta kokonaismäärät kasvaisivat. Poikkeuksellisesti voidaan keskimääräinen vuotuinen kuljetusten määrä kaksinkertaistaa.

	CASTOR-TVO-säiliö Olkiluodosta tai Loviisasta	CASTOR VVER-säiliö Loviisasta
1 säiliöllä	16	9
2 säiliöllä	8	5
3 säiliöllä	5	3
4 säiliöllä	4	3

Taulukko 4-1. Käytetyn polttoaineen kuljetusten vuosittainen määrä olettaen, että voimalaistosten käyttöaika on 40 vuotta ja että polttoainetta kuljetetaan vuorovuosina voimalaitospaikoilta. VVER-säiliöillä voidaan kuljettaa vain Loviisan polttoainetta.

Kapselointi ja loppusijoittaminen

Käytetyn ydinpolttoaineen käsittely kapselointilaitoksessa

Välivarastosta tuodut polttoaineniput suljetaan kapselointilaitoksessa (kuva 4-15) kuparikapseleihin. Toimenpidettä varten kuljetussäiliö kytketään eristettyyn käsittelykammioon (kuva 4-16), missä säiliön kansi avataan kauko-ohjatusti. Mikäli kuljetussäiliö on täytetty vedellä polttoaineen jäähdyttämiseksi kuljetuksen aikana, polttoaineniput nostetaan kuljetussäiliöstä yksi kerrallaan ja asennetaan ensin kuivaustilaan. Kuivatuksen jälkeen ne siirretään käsittelykammiossa edelleen yksi kerrallaan kauko-ohjatusti loppusijoituskapselin (kuva 4-17) sisään. Yhteen kapseliin asennetaan 12 polttoainenippua. Kapselointi ja siinä käytävä tekniikka on kuvattu yksityiskohdaisemmin viitteissä (Kukkola 1999b). Loppusijoituskapseli koostuu kahdesta osasta. Ulommainen kuparikapseli toimii korroosiosuojana ja pallografiittiraudasta valmistettu sisäosa antaa kapselille mekaanisen lujuuden (Raiko & Salo 1999).

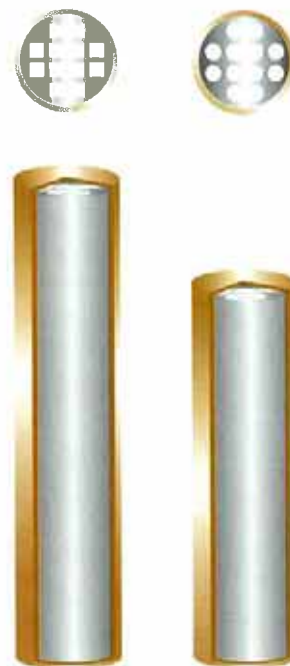
Kapselit toimitetaan kapselointilaitokseen valmiina. Kapselien ulkohalkaisija on n. 1 m. Olkiluodon ydinpolttoaineen kapseli on 4,8 m pitkä ja painaa noin 25 t. Loviisan polttoaineen kapselin pituus on 3,6 m ja paino noin 19 t.

Kun polttoaineniput on asennettu kapselin sisään, rautaisen sisäosan kansi suljetaan ja kiinnitetään pulteilla. Tämän jälkeen kapseli irrotetaan käsittelytilasta, ulkoinen kuparikansi

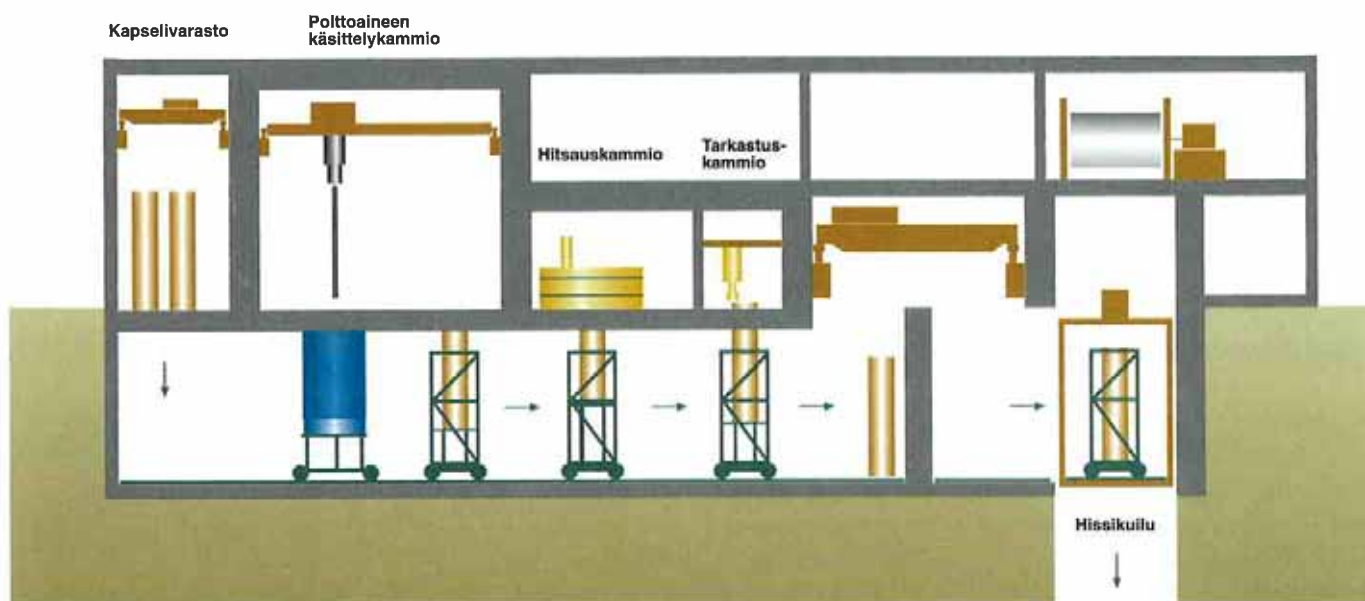


Kuva 4-16. Eristetty käsittelykammio. Kuljetussäiliö kytketään tiiviisti vasemmalla näkyvään asemaan. Kauko-ohjattu siirtokone asentaa polttoaineniput yksittellen kuparikapseliin, joka on kytketty takana oikealla olevaan asemaan.

sijoitetaan paikalleen ja kapseli siirretään kauko-ohjatusti hitsauslaitteeseen. Kuparikansi suljetaan tiiviisti elektronisuihkuhitsauksella. Hitsausseaman viimeistelyn ja tarkastuksen jälkeen kapseli siirretään hissillä loppusijoitus-tiloihin.



Kuva 4-17. Kaaviokuva loppusijoituskapseleista.



Kuva 4-15. Kaaviokuva kapselointilaitoksesta.

Jos kapselointilaitos sijaitsee voimalaitosalueella välivaraston yhteydessä, kapselit siirretään kuljetusajoneuvolla kapselikuilun yläpäähän rakennettavaan vastaanottorakennukseen ja edelleen hissillä loppusijoitustiloihin.

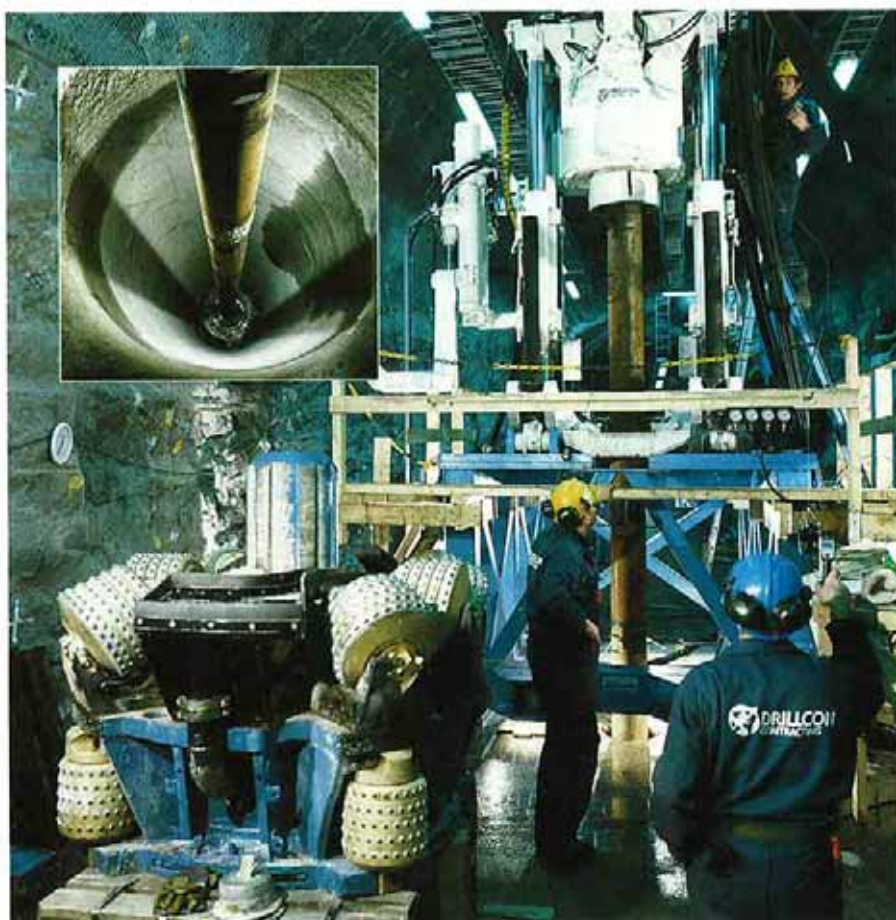
Kapselointiprosessin tilat ovat säteily-suojattuja ja ilmastoituja siten, että ydinpolttoaineen käsittelytiloissa vallitsee alipaine. Poistoilmaa tarkkaillaan jatkuvasti. Pahin ajateltavissa oleva onnettomuus on polttoainepippujen rikkoutuminen esimerkiksi putoamisen seurauksena. Polttoainesauvoista voi tällöin vapautua kapselointilaitoksen sisälle kaasumaisia ja hiukkasmaisia aineita, jotka kerätään talteen ilmastoinnin suodatusjärjestelmällä. Turvalisuumääräykset (Valtioneuvosto 1999) edellyttävät, ettei laitoksesta

tällaisessakaan tilanteessa pääse ympäristöön olennaisia määriä radioaktiivisia aineita.

Käytetyn ydinpolttoaineen käsittelytilassa syntyvä radioaktiivinen pöly imuroidaan ja pakataan loppusijoitus-kapseleihin. Kiinteät aktivoituneet esineet, kuten ilman ja veden suodatimet, pakataan (esim. betonimallalla tynnyreihin) ja loppusijoitetaan niille loppusijoitustilojen yhteydessä varattuun erilliseen tilaansa.

Kapselien sijoitus kallioperään

Perusratkaisussa kuparikapselit asennetaan tunneleiden lattiaan porattuihin sijoitusreikiin. Reikien poraus voidaan tehdä täysprofiiliporauksena (kuva 4-18).



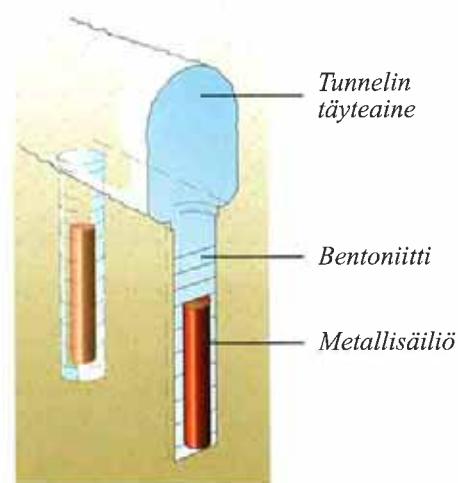
Kuva 4-18. Kapselireiät voidaan porata täysprofiilitekniikalla. Kuva Olkiluodon tutkimustunnelissa tehdystä porauskokeesta.

Loppusijoitusreikään asennetaan valmiiksi bentoniittisavivuoraus ennen kuparikapselin sijoittamista. Vuoraukseen tarvittavat bentoniittilohkot puristetaan maan päällä olevassa käsittelylaitoksessa. Raakaa bentoniittisavea varastoidaan teräskonteissa. Bentoniittilohkot voidaan valmistaa myös muualla ja tuoda laitokselle valmiiksi puristettuina.

Loppusijoitustiloissa kapseli siirretään hissistä säteilysuojattuun kuljetusajoneuvoon ja ajetaan loppusijoitustunneliin. Kapseli sijoitetaan reikään, joka lopuksi täytetään bentoniitilla.

Sijoitustunneli täytetään tarkoitukseen soveltuvalla täyttömateriaalilla esim. murske-bentoniittiseoksella sitä mukaa kuin kapseleita sijoitetaan (kuva 4-19). Tunnelien täyteaine valmistetaan maanalaisissa tiloissa. Ennen täyttöä sijoitustunnelista poistetaan ilmanvaihto-, sähkö- ja vesijärjestelmät ja tunneli puhdistetaan.

Sijoitustunnelia louhitaan loppusijoitusvaiheessa urakkaluonteisesti noin joka kolmas vuosi. Louhintajakso kestää kaksivuorotyönä noin vuoden. Loppusijoitettujen kapselien lähellä ei tehdä louhintatöitä eikä louhetta kuljeteta tiloissa, joissa siirretään kapseleita.



Kuva 4-19. Perusratkaisun mukaisesti loppusijoitettu kapseli ja sijoitustunneli.

Suunnittelussa varaudutaan siihen, että tiloja laajennetaan loppusijoitusvaiheen aikana.

Jos Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten käyttö pitenee 60 vuoteen, loppusijoitusvaihe jatkuu vastaavasti noin 20 vuodella. Suunnittelussa varaudutaan myös mahdollisten uusien voimalaitosyksiköiden käytetyn polttoaineen loppusijoitukseen.

Taulukossa 4-2 on esimerkinomaisesti tarkasteltu polttoaineen määrän vaikutusta maanalaisten tilojen tilavuuteen. Käytetyn polttoaineen määrän kasvaminen nykyisten ydinvoimalaitosten pidemmän käytön myötä kasvattaisi loppusijoitustilojen tilavuutta noin 60 % lisääntyneen kapselimäärän johdosta. Myös tilojen vaatima alue kallioperässä kasvaisi suunnilleen samassa suhteessa. Maanpäällisiin rakennuksiin polttoaineen määrän lisääntyminen ei juuri vaikuttaisi.

Turvajärjestelyt ja turvallisuusvalvonta

Laitoksella toteutetaan Valtioneuvoston päätöksen (1991b) mukaisesti turvajärjestelyt, joilla estetään käytettyyn polttoaineeseen tai laitokseen itseensä kohdistuva lainvastainen toiminta. Vaatimukset edellyttävät henkilö- ja tavaraliikenteen valvontaa laitos-

alueella samoin kuin itse laitteiden käytön jatkuvaa valvontaa.

Suomen sitoutuminen ydinsulkusopimukseen merkitsee kansainvälisen *safeguards*-valvonnan (ydinmateriaalin rauhanomaisen käytön valvonta) toimeenpanoa kaikkialla, missä käytettyä polttoainetta käsitellään. Valvonnan tekniset yksityiskohdat ovat vielä avoimia, mutta sen toteutukseen on varauduttu laitossuunnittelussa.

Loppusijoituslaitoksen henkilöstö, raaka-aineet ja raaka-ainekuljetukset

Loppusijoitusvaiheessa laitosalueella tarvittava henkilömäärä on n. 110–130. Loppusijoitustilassa työskentelee noin 20 henkilöä. Heillä on käytössään kapselin siirtoajoneuvo, bentoniitin siirto- ja käsittelyajoneuvo, murskeen siirtoajoneuvo ja täyteen käsittelykone.

Loppusijoitustoiminnassa kapseleita tarvitaan vuosittain n. 60 kpl eli noin 30 kuljetusta. Bentoniittia tarvitaan noin 5000 tonnia vuodessa, mikä merkitsee vuosittain n. 160 kuljetusta. Täytemurske valmistetaan laitosalueella.

Raakaveden tarve loppusijoituslaitoksessa on n. 55 m³/vrk.

4.3.4 Sulkemisvaihe

Loppusijoituslaitoksen sulkeminen

Kun kaikki käytetty ydinpolttoaine on loppusijoitettu ja sijoitustunnelit täytetty, alkaa kapselointilaitokseen aktiivisten osien purku ja siirto loppusijoitustiloihin. Jäte on pakattu tynnyreihin tai betoniastioihin. Muut rakennukset voidaan ottaa muuhun käyttöön.

Loppusijoitustiloista puretaan käytön-aikaiset rakenteet ja järjestelmät. Samaan aikaan purkutöiden kanssa aloitetaan tilojen täyttötöyt ja sulkurakenteiden rakentaminen. Täyttömateriaalin sekoitusasema siirretään loppusijoitustiloista maanpinnalle. Loppusijoitustasolla olevat tilat ja pystykuilut täytetään murskeen ja bentoniitin seoksella samoin kuin sijoitustunnelitkin. Kuilujen yläosat suljetaan betonirakentein.

Sulkemisen jälkeinen aika

Mikäli kapselointilaitokselle ja muille maanpäällisille rakennuksille ei ole jatkokäyttöä, ne voidaan purkaa ja alue maisemoida. Tällöin luonto palautuu vähitellen ennalleen. Loppusijoitustilojen olemassaolosta voidaan jättää merkki jälkipolville.

Ydinenergiain mukaan vastuu ydinjätteistä siirtyy valtiolle sen jälkeen kun Säteilyturvakeskus on todennut jätteet sijoitetuiksi pysyväksi hyväksymällään tavalla. Loppusijoitustoiminta dokumentoidaan ja tieto arkistoidaan pysyvällä tavalla. Viranomaisten harkittavaksi jää, järjestetäänkö paikalle tämän jälkeen esimerkiksi jälkivalvontaa.

Polttoainemäärä	2600 tU	4000 tU	9000 tU
Tilavuus m³			
Kuilut	39 000	39 000	70 000
Keskustunneli	68 000	119 000	250 000
Sijoitustunnelit	199 000	350 000	713 000
Sijoitusreiät	25 000	39 000	80 000
Muut tilat	30 000	35 000	45 000

Taulukko 4-2. Käytetyn ydinpolttoaineen määrän vaikutus maanalaisten loppusijoitustilojen tilavuuteen, kun oletettu loppusijoitussyvyys on 500 m.

4.3.5 Loppusijoituksen kustannukset

Johdannossa mainittu perusvaihtoehtoon kustannukset 4.6 miljardia markkaa koostuu käytetyn polttoaineen kuljetuskustannuksista, loppusijoituslaitoksen rakennus- ja käyttökustannuksista sekä käytöstäpoisto- ja sulkemiskustannuksista.

Rakennuskustannukset ovat noin 1,2 miljardia markkaa siten, että noin puolet kustannuksista muodostuvat maanpäällistä rakennuksista. Niiden kustannukset eivät ole riippuvaisia käytetyn polttoaineen määrästä. Maanalaisen loppusijoituslaitoksen kustannukset ovat riippuvaisia käytetyn polttoaineen määrästä ja kallion laadusta.

Käyttökustannukset ovat noin 2,9 miljardia markkaa. Ne sisältävät loppusijoituslaitosten kustannukset, jotka perusvaihtoehtoon noin 1400 kapselille ovat 1.250 miljoonaa markkaa. Muut käyttökustannukset ovat riippuvaisia paitsi käytetyn polttoaineen määrästä myös aikataulusta ja jossain määrin kallion laadusta.

Kuljetuskustannukset riippuvat kuljetusmuodosta ja matkan pituudesta sekä siitä kuin monta säiliötä kerralla kuljetetaan. Kustannukset ovat enimmillään noin 200 miljoonaa mk. Sulkemiskustannuksiin vaikuttavat käytetyn polttoaineen määrä ja kallion laatu. Ne ovat noin 300 miljoonaa markkaa.

Kustannukset kerätään ydinvoimalaitosten sähkön hinnassa ja rahastoidaan valtion ydinjätterahastoon. Loppusijoitukseen vaadittava summa tarkistetaan vuosittain vastaamaan todellista tilannetta.

5 SIOITUSPAIKKAVAIHTOEHDOT

Loppusijoituslaitoksen sijoituspaikoiksi ovat ehdolla Eurajoen Olkiluoto, Kuhmon Romuvaara, Loviisan Hästholmen ja Äänekosken Kivetty. Näihin paikkavaihtoehtoihin on päädytty luvussa 1 kuvatun, monivaiheisen tutkimus- ja valintaprosessin tuloksena. Alueiden nykytilaa ja loppusijoituslaitoksen suunniteltua sijaintia tarkastellaan ympäristövaikutusten arvioinnin yhteydessä. Tässä luvussa esitetään yleistiedot sijoituspaikkavaihtoehtoista ja suunnitellun laitospaikan sijainnista.



Kuva 5-1. Loppusijoituspaikoiksi ehdolla olevat kunnat.

Eurajoen Olkiluoto

Eurajoki on Pohjanlahden rannikkokunta, joka kuuluu Rauman talousalueeseen. Kuntakeskus sijaitsee runsaan 10 kilometrin päässä Rauman keskustasta pohjoiseen ja vajaan 40 kilometrin päässä Porista etelään, valtatie 8 varrella. Päivittäinen työmatkaliikenne Eurajoen ja Rauman välillä on vilkasta.

Kunnassa on runsaat 6000 asukasta. Maa- ja metsätaloudella sekä jalostuselinkeinoilla ja palveluilla on merkittävä asema kunnan elinkeinorakenteessa. Olkiluodon ydinvoimalaitos on kunnan suurin työllistäjä. Voimalaitoksella on töissä 500 henkilöä, jonka lisäksi noin 200 henkilöä saa välillisesti voimalaitoksesta toimeentulonsa (Ollikainen & Rimpiläinen 1997a).

Maantiekuljetukset käyttäisivät nykyisiä tieyhteyksiä Olkiluodon voimalaitosalueelle. Loviisan ydinvoimalaitoksen ja Rauman välillä on useita reittivaihtoehtoja.

Rautateitse kuljetettava käytetty polttoaine lastattaisiin maantiekuljetusajoneuvoon noin 20 km:n päässä Olkiluodosta Eurajoen kunnassa sijaitsevalla Vuojoen lastauspaikalla. Uutta rautatietä ei todennäköisesti rakennettaisi. Myös rautatiekuljetuksille on vaihtoehtoisia reittejä (Jakonen ym. 1998).

44

Mahdollinen loppusijoitusalue sijaitsee Olkiluodossa ydinvoimalaitoksen läheisyydessä (kartassa rengastettu). Alueen omistajia ovat TVO, Fortum ja Metsähallitus. Idässä alue rajoittuu maa- ja metsätalousalueisiin ja muualla saaristoon. Lähimmät asuinrakennukset ja loma-asunnot ovat saaren itäosassa runsaan kilometrin etäisyydellä mahdollisen rakennusalueen reunasta.

Kapselointilaitos voisi sijaita joko nykyisellä voimalaitosalueella käytetyn polttoaineen välivaraston vieressä tai loppusijoitustilojen päällä saaren keskiosassa.

Olkiluodon ydinvoimalaitoksen tuottaman käytetyn ydinpolttoaineen lisäksi loppusijoitettavaa polttoainetta kuljetettaisiin Loviisasta laivalla, rautateitse tai maanteitse.

Meriteitse saapuva käytetty polttoaine purettaisiin Olkiluodon voimalaitoksen satamassa. Merikuljetuksessa käytettävää väylää ei ole vielä määritelty.

Kartta 5-1. Olkiluodon sijainti



Kuhmon Romuvaara

Kuhmon kaupunki sijaitsee Kainuussa. Kuhmo on pinta-alaltaan maamme suurimpiin kuuluva kunta, noin 5500 km². Kajaanin kaupunkiin on matkaa noin 100 km. Kuhmossa on runsaat 12 000 asukasta.

Yli 50 prosenttia työvoimasta saa toimeentulonsa palveluelinkeinoista. Suurimmat työllistäjät ovat kaupunki, rajavartiolaitos ja Metsähallitus. Matkailu työllistää runsaat 100 henkilöä. Maa- ja metsätalous on edelleen merkittävä työllistäjä, vaikka työpaikat ovat viime vuosina vähentyneet. Maatalouden päätuotantosuunta on lypsykarjatalous. Teollisista työpaikoista puolet on puutavaran ja puutuotteiden valmistusta (Ollikainen & Rimpiläinen 1997a).

Maantiekuljetukset olisivat mahdollisia Kajaanista Sotkamon tai Lentiiran kautta Romuvaaraan. Nurmeksen kautta voitaisiin kuljettaa, mikäli yhtä reitin varrella olevaa siltaa parannettaisiin. Myös reitti Valtimosta Sotkamon kautta on mahdollinen (Jakonen ym. 1998).

Rautatiekuljetukset olisivat mahdollisia Kostamuksen rataa pitkin Ypykkävaaran lastauspaikalle, jossa kuljetus lastattaisiin maantieajoneuvoon. Maantieosuus olisi noin 60 km. Myös rautatiekuljetukselle on useita vaihtoehtoisia reittejä.

Romuvaaran tutkimusalue sijaitsee 30 km Kuhmon keskustasta koilliseen (kartassa rengastettu). Romuvaara lähiympäristöineen on Metsähallituksen omistamaa asumatonta metsäaluetta. Pitämävaarassa, 2 km Romuvaarasta länteen, on 10 asukasta. Kaksi lähintä loma-asuntoa ovat vanhoja metsäkämppejä ja ne sijaitsevat noin kilometrin päässä mahdollisen rakennusalueen reunasta.

Sekä kapselointilaitos että loppusijoitustila voisivat sijaita samalla, noin 1 km²:n alueella Romuvaarassa. Alueelle jouduttaisiin rakentamaan Särkän harjumuodostuman kiertämiseksi noin 3 km uutta tietä. Uutta rataa ei todennäköisesti rakennettaisi.

Olkiluodon ja Loviisan ydinvoimaloista voitaisiin kuljettaa käytettyä ydinpoltoainetta Romuvaaraan maanteitse tai rautateitse. Osalle matkaa soveltuu myös merikuljetus.



Loviisan Hästholmen

Loviisan kaupunki sijaitsee itäisen Uudenmaan rannikolla valtatie 7 varressa. Asukkaita on vajaat 8000. Tärkeimmät taajamat ovat Loviisan keskusta ja Valko. Kaupunki on kaksikielinen; ruotsinkieliset ovat niukasti vähemmistönä.

Palvelut ja jalostus ovat merkittäviä elinkeinoja. Maa- ja metsätalouden merkitys on pieni. Yli puolet väestöstä saa toimeentulonsa palveluelinkeinoista (Ollikainen & Rimpiläinen 1997a).

Tutkimusalue sijaitsee Hästholmenin voimalaitossaarella ja mantereella olevalla Fortumin alueella (kartassa rengastettu). Voimalaitos sijaitsee saaren keskiosassa ja rannat ovat pääosin rakentamattomia. Lähiympäristössä on runsaasti loma-asutusta. Lähin asuinrakennus ja loma-asunto sijaitsevat noin 100 m:n päässä mahdollisen rakennusalueen reunasta.

Kapselointilaitos voitaisiin rakentaa Hästholmenin saareen, jonne johtaa hyväkuntoinen tie. Kapselointilaitos sijaitsisi todennäköisesti nykyisen käytetyn polttoaineen välivaraston vieressä voimalaitosalueella. Loppusijoitustilat voitaisiin rakentaa Hästholmenin saaren ja mahdollisesti osittain läheisen niemen kallioperään.

Loviisaan loppusijoitettaisiin siellä välivarastoissa olevan käytetyn ydinpolttoaineen lisäksi Olkiluodosta meri-, maantie- tai rautatiekuljetuksena tuotavaa käytettyä ydinpolttoainetta. Merikuljetukset purettaisiin Valkon satamassa ja siirrettäisiin laivan erikoisajoneuvolla tai muuna maantiekuljetuksena noin 25 km Hästholmeniin (Jakonen ym. 1998).

Rautatiekuljetuksen pääteasema olisi Loviisan keskustassa, kirkon lähistöllä sijaitseva lastauspaikka. Sieltä kuljetukset Hästholmeniin tehtäisiin maantiekuljetuksena.



Äänekosken Kivetty

Äänekoski on 14 000 asukkaan suurteollisuuspaikkakunta Keski-Suomessa. Se sijaitsee valtatie 4 varrella noin 40 km:n päässä Jyväskylästä. Äänekoski, Suolahti, Konnevesi ja Sumiainen muodostavat yhtenäisen työssäkäyntialueen, Ääneseudun.

Väestömäärä on viime vuosina hiukan kasvanut ja kasvaa edelleen ensi vuosituhannen alussa, kunnes alkaa taas vähetä suurten ikäluokkien ikääntyes-sä. Työllisyystilanne on koko 90-luvun ollut maan keskiarvoa heikompi, vaikka työllisyystilanne on tosin viime vuosina hiukan parantunut (Ollikainen & Rimpiläinen 1997a).

Perinteisen paperi- ja kemiallisen puunjalostusteollisuuden rinnalle on nousemassa elektroniikkateollisuus. Palvelujen sekä maa- ja metsätalouden osuus elinkeinoista on selvästi pienempi kuin teollisuuden.

Kivetty ja sen lähiympäristö ovat asumatonta metsä- ja suoaluetta, joka on Metsähallituksen omistuksessa. Lähimmät yksittäiset asuinrakennukset sijaitsevat mahdollisesta rakennus-alueesta noin 3 km kaakkoon. Etäisyys lähimpiin loma-asuntoihin on noin 2 km. Konginkankaan kirkonkylään on noin 7 km ja Äänekosken keskusta on noin 25 km.

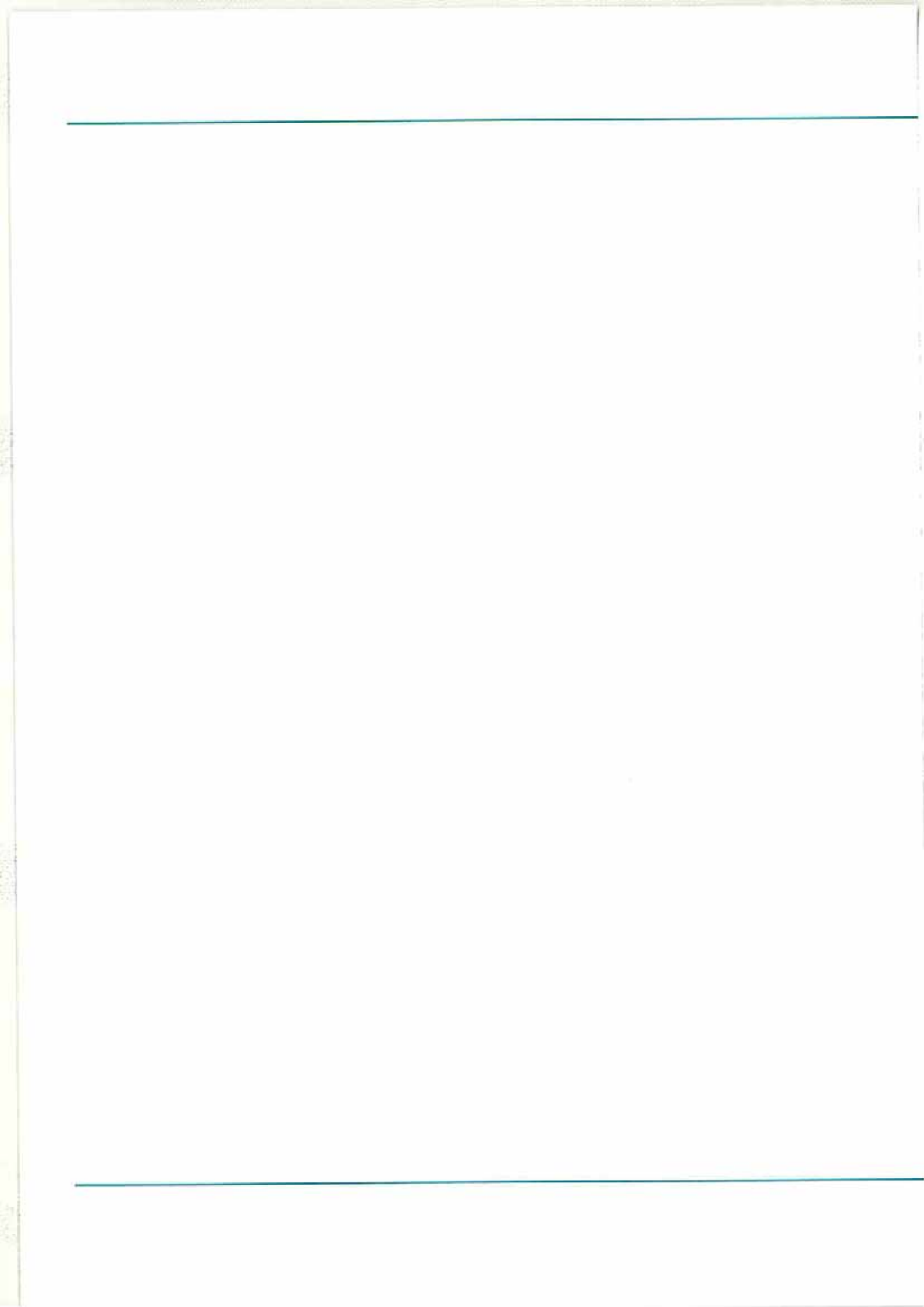
Kapselointilaitos ja loppusijoituslait sijoittuisivat Kivettyyn, jonne johtaa metsäautoteitä kolmelta suunnalta. Tieyhteys voitaisiin rakentaa nykyisiä teitä parantamalla.

Rautateitse Olkiluodosta ja Loviisasta saapuva käytetty polttoaine lastattaisiin maanteitse kuljetettavaksi Suolahden lastauspaikalla. Sieltä maantiekuljetusreitti kulkisi Äänekosken kautta tai kantatietä 69 Äänekosken ohi valtatielle 4, josta käännettäisiin Lintulahden Essolta kohti länttä Kivettyyn.

Toinen mahdollinen lastauspaikka olisi Hietama, josta maantiekuljetusreitti kulkisi alempiasteista tieverkkoa lounaasta Kivettyyn.

Kolmas mahdollisuus olisi lastata käytetty polttoaine maanteitse kuljetettavaksi Kannonkoskella ja kuljettaa se alempiasteista tieverkkoa pitkin Kivettyyn. Maantiekuljetusten ensisijainen reitti olisi valtatie Äänekosken ja Konginkankaan ohitse Lintulahden Essolle ja edelleen Kivettyyn. (Jakonen ym. 1998).





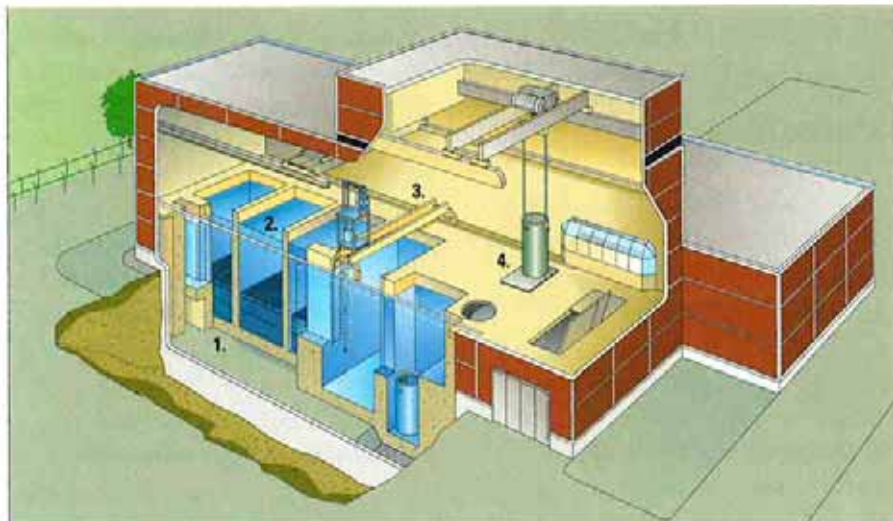
6 TOTEUTTAMATTA JÄTTÄMINEN

6.1 Nollavaihtoehto

Loppusijoitushankkeen toteuttamatta jättäminen merkitsee sitä, että käytetyn ydinpolttoaineen vesiallasvarastointia Olkiluodon ja Loviisan ydinvoimalaitoksilla jatketaan epämääräisen ajan. Tässä selostuksessa varastoinnin on oletettu jatkuvan nykyisissä varastoissa tai niiden laajennuksissa. Välivarastot on suunniteltu siten, että nippujen varastointia niissä voidaan jatkaa kymmeniä vuosia. Varastoinnin jatkamiselle epämääräiseen tulevaisuuteen ei asiantuntijoiden mukaan ole ehdotonta teknistä takarajaa.

Jätehuoltoväestöjen tavoitteena on toteuttaa ydinjätehuolto turvallisesti säädösten tarkoittamalla tavalla ja siten ettei huolehtimisvastuuta tarpeettomasti siirretä tuleville sukupolville. Vesiallasvarastoinnin jatkaminen ei voi olla todellinen vaihtoehto loppusijoitukselle, koska ympäristönsuojelutavoitteet ja viime kädessä lainsäädäntö edellyttävät käytetyn polttoaineen pysyvää sijoittamista maa- tai kallio-perään. Mikäli valtioneuvosto ja eduskunta loppusijoituslaitosta koskevaa periaatepäätöstä harkitessaan päätyisivät kuitenkin kielteiseen ratkaisuun, merkitsisi tämä käytännössä nollavaihtoehdon toteutumista ja päätös pysyvistä sijoituksesta siirtyisi tulevaisuuteen.

Vaikka nollavaihtoehtossa seurattaisiin käytetyn ydinpolttoaineen huollon muiden vaihtoehtojen, kuten nuklidierottelun ja transmutaation, mahdollista kehittymistä, olisi loppusijoitushankkeeseen kuitenkin ennen pitkää palattava. Tämä sen vuoksi, että niin jälleenkäsittelystä kuin nuklidierottelusta ja transmutaatiostakin jäljelle jäävät ydinjätteet olisi mitä todennäköisimmin varastoitava ja aikaa myöten loppusijoitettava Suomeen.



Kuva 6-1. Olkiluodon käytetyn polttoaineen välivarasto (KPA-varasto).
1. polttoainetelineet, 2. varastoaltaat, 3. siirtokone, 4. siirtosäiliö.

6.2 Käytetyn ydinpolttoaineen välivarastointi Olkiluodossa

Olkiluodon käytettyä polttoainetta varastoidaan väliaikaisesti voimalaitosyksiköiden reaktorirakennuksissa sekä voimalaitosalueella sijaitsevassa erillisessä käytetyn polttoaineen välivarastossa (kuva 6-1). Polttoaineen varastoaltaisissa nippujen päällä oleva muutaman metrin vesikerros vaimentaa polttoaineesta tulevan säteilyn. Vesi huolehtii myös polttoainennippujen jäähdytyksestä.

Olkiluoto 1:llä on varastointikapasiteettia yhteensä 1520 polttoainennipulle ja Olkiluoto 2:lla yhteensä 1560 polttoainennipulle. Käytännössä kummallakin laitosesyksiköllä on tilaa n. 1000 nipulle eli laitoksilla yhteensä n. 2000 nipulle (350 tU).

Syksyllä 1987 Olkiluodon voimalaitosyksiköiden lounaispuolelle valmistui käytetyn polttoaineen välivarasto (kuva), jossa on kolme vesiallasta varastointia varten. Varastoon voidaan

sijoittaa yhteensä noin 6800 nippua eli noin 1200 tU. Olkiluodossa oli vuoden 1998 lopussa käytettyä ydinpolttoainetta yhteensä n. 840 tU, ja vuosittain sitä kertyy lisää alle 50 tU.

KPA-varaston suunnittelun lähtökohtana käytetty tekninen käyttöikä on 60 vuotta, mikä saavutettaisiin vuonna 2047. Varaston laajentamiseen on varauduttu jo suunnitteluvaiheessa. Nyt käytössä olevan varaston kapasiteetti on riittävä 2010-luvun alkupuolelle. Laajentaminen merkitsisi yhden tai useamman uuden varastoaltaan rakentamista nykyisen varaston yhteyteen. Varaston laajentaminen tulee ajankohtaiseksi 2010-luvun alussa, mikäli voimalaitoksen tuotanto jatkuu nykyisen kaltaisena.

Varaston suunniteltu toiminta-aika perustapauksessa on oletettu päättyväksi vuonna 2040 edellyttäen, että kaikki polttoaine on tuolloin toimitettu loppusijoituslaitokselle. KPA-varastoa on tarkoitus käyttää aikanaan voimalaitosyksiköiden purkamisesta syntyvien tiettyjen komponenttien käsitteilyyn ja pakkaamiseen loppusijoitusta varten.

6.3 Käytetyn ydinpoltto- aineen välivarastointi Hästholmenissa

Loviisan käytettyä ydinpolttoainetta säilytetään vesialtaissa voimalaitoksen käytetyn polttoaineen varastossa (kuva 6-2). Nykyisiin varastotiloihin kuuluvat laitosyksiköiden suojarakennusten sisällä sijaitsevat reaktorin vaihtolatasaltaat sekä kiinteästi voimalaitoksen yhteydessä sijaitsevat varasto 1 (kaksi allasta) ja varasto 2 (kolme allasta). Nykyisten varastotilojen kapasiteetti käsittää tilan noin 3000 polttoainepun varastointiin.

Loviisan polttoaineen palautuskuljetukset Venäjälle päättyivät vuoden 1996 lopussa. Vuoden 1998 lopussa voimalaitoksella oli yhteensä 2206 käytettyä polttoainepunaa (n. 270 tU). Varastoituna olevan käytetyn polttoaineen määrä kasvaa vuosittain noin 30 tU; nykyisiin välivarastotiloihin mahtuu voimalaitoksen kymmenen vuoden toiminnasta kertyvä polttoainemäärä eli noin 280–290 tU.

Loviisan käytetyn polttoaineen välivarastokapasiteetin lisäämistä on tutkittu laajasti eri varastointitekniikoiden pohjalta. Suunniteltavana ja tarkasteltavana on ollut kaikkiaan yhdeksän eri vaihtoehtoa (Mayer & Palmu 1995, IVO 1996). Vaihtoehtoina tulivat kyseeseen nykyisen käytetyn polttoaineen välivarasto 2:n laajentaminen tai kokonaan uuden erillisen varaston rakentaminen.

Vesiallasvarastotekniikan osalta tarkasteltiin seuraavia vaihtoehtoja:

- nykyisen varaston laajentaminen rakentamalla kahdessa vaiheessa lisäallaita (4 + 4 allasta)
- nykyisen varaston polttoainetelineiden vaihtaminen ns. tiheisiin telineisiin ja kahden lisäallaan rakentaminen
- kokonaan uuden erillisen vesiallasvaraston rakentaminen maan alle voimalaitosjätteiden loppusijoitusluolan yhteyteen

Vesialtaissa jäähtynyt polttoaine voidaan siirtää sopivan ajan kuluttua kuivaan säilytykseen. Kuivan varastointi-

tekniikan vaihtoehtoja tarkasteltiin seuraavien vaihtoehtojen osalta:

- polttoaineen siirtosäiliövarasto maan pinnalla
- polttoaineen siirtosäiliövarasto voimalaitosjätteiden loppusijoitusluolan yhteydessä
- kuivasiilovarasto, jossa polttoaine säilytetään tyypellä täytetyissä varastoputkissa
- kuivasiilovarasto, jossa polttoaine säilytetään heliumkaasulla täytetyissä kanistereissa (kolme eri sovellusta)

Näiden selvitysten keskeisenä tavoitteena on ollut kartoittaa kaikki realistiset vaihtoehdot, jotka voivat tulla kysymykseen käytetyn polttoaineen varastokapasiteetin lisäämiseksi Loviisan voimalaitosalueella. Erityisesti on tutkittu kuivaan varastointiin perustuvat vaihtoehdot, joita on markkinoitu pitkäaikaiseen varastointiin soveltuvina. Kaikista vaihtoehdoista on tehty tietokoneavusteinen suunnittelu sovitettuna Loviisan voimalaitoksen ympäristöön. Teknisen soveltuvuuden lisäksi on selvitetty jokaisen vaihtoehdon suunnittelu-, investointi-, käyttö- ja käytöstäpoistokustannukset. Vastaavasti on tarkasteltu vaihtoehtojen toteutus aikataulua, liittymistä voimalaitoksen olemassa olevaan varastointijärjestelmään yms.

Tehtyjen selvitysten perusteella valittiin Loviisan ydinpolttoainehuoltoon teknisesti ja taloudellisesti sopivin ratkaisu, joka on nykyisen välivarasto 2:n laajentaminen lisäallaita rakentamalla (Mayer & Palmu 1995, IVO 1996). Ensivaiheessa rakennetaan neljä vanhan osan varastoaltaiden kanssa identtistä allasta. Säteilyturvakeskus hyväksyi Loviisan KPA-varasto 2:n laajennuksen alustavan turvallisuusselosteen vuonna 1997. Rakennustyöt käynnistyivät syksyllä 1997. Varaston on tarkoitus valmistua vuonna 2000, jolloin varastointikapasiteettia on



Kuva 6-2. Välivarastointi Loviisan maanpäällisessä vesiallasvarastossa.

riittävästi noin vuoteen 2010 saakka. Suunnitelmissa on myös varauduttu mahdollisesti myöhemmin rakennettavaa toista vastaavaa laajennusvaihetta varten.

6.4 Muita käytetyn ydinpolttoaineen välivarastointitapoja

Reaktorista poiston jälkeen käytettyä polttoainetta jäähdytetään aluksi vesialtaissa, minkä jälkeen polttoaineelle voidaan harkita muitakin varastointitapoja kuin säilyttämistä vesialtaissa. Ydinpolttoaine voidaan siirtää kuiva-varastoon, jossa tarvittava säteilysuojaus ja jäähdyttäminen jälkilämmön vuoksi hoidetaan ilman vettä.

Käytännössä polttoaine siirretään vahvoihin ja raskaisiin säiliöihin, jollaisia käytetään mm. kuljetussäiliöinä. Järeiden vesi- ja ilmativiiden säiliöiden pitkäaikaista varastointia varten tarvitaan erillinen varasto, jossa säiliöt jäähtyvät luonnonkierrolla toimivan ilmastointijärjestelmän avulla. Itse säiliön täytössä voidaan käyttää moniakin aineita, esim. lämpöä hyvin johtavaa heliumkaasua. Näitä varastointivaihtoehtoja on käsitelty mm. edellä esitetyssä IVOn Hästholmenin välivaraston laajennusselvityksessä ja periaatteessa niitä voitaisiin soveltaa nykyisillä voimalaitosalueilla (kuva 6-3). Maanalaisten varastojen osalta tosin eräitä hankalasti ratkaistavia seikkoja ovat mahdolliset tulipalot sekä pohjaveden tulviminen varastotiloihin, mikäli pumppaus ei toimisi.

Erityyppisiä maanpäällisiä siiloratkaisuja (esim. MVDS, FUELSTOR, NUHOMS) on myös ehdotettu polttoaineen kuivaan säilytykseen. Yhteistä näille kuivasiilovarastoille on, että polttoaineeniput sijoitetaan putkiin tai kanistereihin, jotka puolestaan sijoite-

taan betonirakenteiden sisään. Jälkilämmön poisto hoidettaisiin luonnonkiertoisella ilmalla.

Pitkäaikaiseen välivarastointiin on ehdotettu myös maanalaista DRD-varastoa (Dry Rock Deposit). Menetelmästä on esitetty useita eri muunnelmia, joiden yhteisenä periaatteena kuitenkin on, että sijoituspaikalla varastoa ympäröivä kalliopohjavesi voitaisiin ”kuivattaa” pois kallioperän luontaista ruheisuutta tai keino-tekoisesti aikaansaatuja vettäjohtavia vyöhykkeitä hyväksikäyttäen (Eggert ym. 1987). Näin menetellen luoliin sijoitetut jätepakkaukset eivät missään vaiheessa joutuisi pohjaveden kanssa tekemisiin eikä varaston kuivana pitämiseen tarvittaisi koneellista pumppausta. Tässä vaihtoehdossa käytettäisiin edellä kuvatun kaltaisia tai vastaavia polttoaineen siirtosäiliöitä. Itse varastotila olisi pohjaveden yläpuolella ja jäähdytys hoidettaisiin ilman kierrätyksellä.

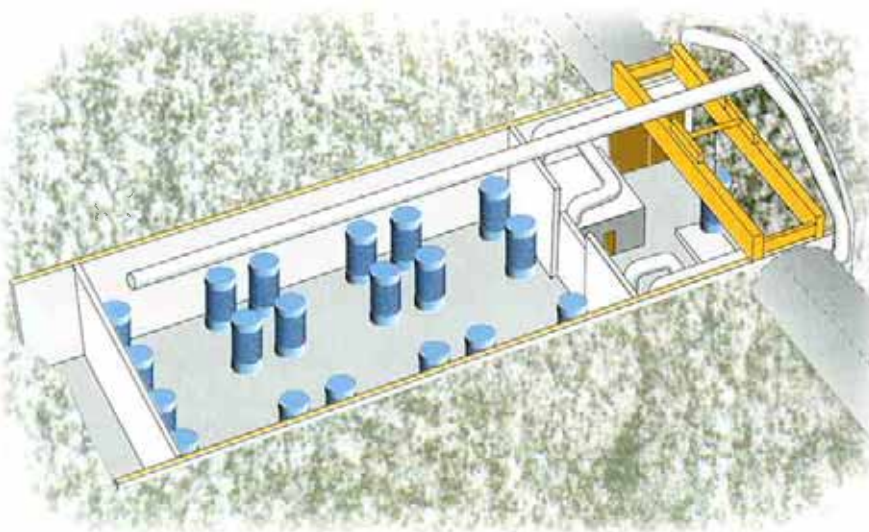
Koska Suomessa pohjaveden pinta on varsin lähellä maanpintaa ja menetelmä edellyttää varsin suuren kalliotilavuuden kuivattamista, soveltuisi tällaisen

varaston rakentamiseen vain ympäristöään merkittävästi korkeammalla oleva alue. Nykyiset ydinvoimalaitosalueet tai loppusijoitusta varten tutkitut alueet eivät matalan topografiansa vuoksi sovellu tämäntyyppisen varaston rakentamiseen. Suomen olosuhteissa tällaisen varaston sijoittamiseen soveltuisi korkeussuhteidensa puolesta edullisimmin Pohjois-Suomi. Soveltuvan paikan löytyminen olisikin yksi vaikeus menetelmän soveltamisessa ydinpolttoaineen välivarastointiin. Varaston kuivana pitäminen vaatisi myös ”viemäröintijärjestelmän” auki-pysymisen aktiivista valvontaa.

6.5 Välivarastoinnin kustannuksista

Olkiluodon KPA-varasto rakennettiin 1980-luvulla ja käyttökokemuksia siitä on kertynyt jo yli kymmenen vuoden ajalta. Tästä syystä kustannusesimerkinä voidaan tässä yhteydessä käyttää KPA-varaston jo toteutuneita ja arvioituja tulevia kustannuksia.

KPA-varaston rakentamiskustannukset



Kuva 6-3. Esimerkkikaavio kallioon louhitusta kuivavarastointiin perustuvasta välivarastointivaihtoehdosta.

olivat sen valmistuessa vuonna 1987 noin 200 milj.mrk silloisessa rahassa. Tulevaisuudessa mahdollisesti tarvittavasta varastointikapasiteetin laajentamisesta aiheutuvat kustannukset olisivat arviolta 30–35 miljoonaa markkaa. Tähän arvioon sisältyvät lisäaltaan rakentaminen ja altaaseen hankittavista polttoainetelineistä aiheutuvat kustannukset.

Tämän hetken varastoinnissa käytetään hyväksi ydinvoimalaitoksen järjestelmiä. KPA-varasto on kuitenkin suunniteltu siten, että se voidaan muuttaa toimimaan myös itsenäisenä laitoksena ilman tukeutumista olemassa olevaan infrastruktuuriin. KPA-varaston irrottaminen ydinvoimalaitoksen järjestelmistä ja muuttaminen itsenäiseksi laitokseksi aiheuttaa suuruusluokaltaan 10 miljoonan markan kustannukset.

Varaston käyttökustannuksiksi on arvioitu noin 10 miljoonaa markkaa vuodessa. Tällöin henkilökustannukset perustuvat noin 20 henkilötyövuoden vuosittaiseen työpanokseen.

7 YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTIMENETTELY (YVA)

7.1 YVA-menettelyn tarkoitus

Ydinenergian tuottamisessa syntyneiden ydinjätteiden käsittelyyn, varastointiin ja loppusijoitukseen tarkoitetut laitokset kuuluvat ympäristövaikutusten arvioinnista säädetyn lain piiriin ja niille on suoritettava ympäristövaikutusten arviointi. YVA-selostus liittyy ydinenergiain mukaiseen päätöksen tekoon.

Yleiseltä merkitykseltään huomattavan ydinenergiailaitoksen rakentaminen edellyttää valtioneuvoston periaatepäätöstä siitä, että laitoksen rakentaminen on *yhteiskunnan kokonaisedun mukaista* (YEL 1987). Ennen periaatepäätöksen tekemistä hankkeesta vastaavan on laadittava hankkeen YVA-selostus ja se tulee liittää laitosta koskevaan periaatepäätöshakemukseen. KTM yhteysviranomaisena huolehtii YVA-menettelyyn kuuluvien kuulemisten järjestämisestä, sekä lausuntojen ja mielipiteiden kokoamisesta.

YVA-menettely tähtää kansalaisten tiedonsaannin ja vaikutusmahdollisuuksien lisäämiseen sellaisessa vaiheessa, kun hanketta koskevia sitovia päätöksiä ei ole vielä tehty.

YVA-menettelyssä kootaan taustatietoa, lausuntoja ja kansalaisnäkemyksiä valtioneuvoston periaatepäätöstä varten. YVA-menettely ei korvaa hankkeen toteuttamiseksi tarvittavia muita selvityksiä tai lupia. Periaatepäätöstä varten valtioneuvosto hankkii käyttöönsä monia muitakin selvityksiä. Periaatepäätöshakemusta käsitellessään valtioneuvosto pyytää Säteilyturvakeskukselta alustavan arvion laitoksen turvallisuudesta ja kysyy ehdokaskuntien valtuustojen kantaa laitoksen sijoittamisesta kunnan alueelle. Valtioneuvosto voi tehdä myönteisen periaatepäätöksen vain, jos aiottu sijainti-

kunta hyväksyy laitoksen sijoittamisen alueelleen eikä muuten ole tullut ilmi seikkoja, joiden perusteella hanketta ei voitaisi turvallisesti toteuttaa.

7.2 Osallistumisjärjestelmä

Tärkeä osa hankkeen ympäristövaikutusten arviointia oli eri tahojen osallistuminen YVA-menettelyyn. Osallistumisen tarkoituksena oli loppusijoitus-suunnitelmista vastaavien sekä YVA-menettelyyn osallistuvien tahojen välinen vuorovaikutus. Pääroolissa olivat sijoituspaikaksi ehdolla olevat kunnat.

Kuntien ja Posivan välille muodostetuissa yhteistyö- tai seurantaryhmissä pidettiin tärkeänä saada kuntalaiset mahdollisimman laajasti mukaan hankkeesta käytävään keskusteluun ja aktivoita heidät ilmaisemaan hankkeeseen liittyviä kysymyksiä. Tavoitteeksi asetettiin se, että vuorovaikutuksen tuli myötävaikuttaa erityisesti arvioitavien vaikutusten tunnistamiseen YVA-ohjelman laatimisvaiheessa sekä myöhemmin itse arvioinnissa. Tarkoituksena oli tuoda yhteiseen keskusteluun asiantuntijoiden tiedot ja kansalaisten näkemykset hankkeesta ja sen arvioituista vaikutuksista. Vuorovaikutuksen avulla on pyrittiin myös vähentämään tiedon puutteesta johtuvia osapuolten välisiä väärinkäsityksiä ja ristiriitoja. Tämän varmistamiseksi vuorovaikutuksen järjestämiseen osallistui myös ulkopuolinen asiantuntija.

Osallistumisen aktivoimiseksi

- tiedotettiin osallistumismahdollisuuksista
- tiedotettiin hankkeen ja YVA-menettelyn suunnittelusta, menettelyn etenemisestä ja valmistuneista selvityksistä
- ylläpidettiin ehdokaskuntien kunta-

- laisten ja Posivan välistä keskustelua
- käytiin avointa keskustelua hankkeesta ja sen vaikutuksista sekä sen ympäristövaikutusten arvioinnista
- koottiin näkemyksiä hanketta koskevien selvitysten riittävydestä ja käytettyjen menetelmien hyväksyttävyydestä

Menetelminä edellä vuorovaikutuksen aikaansaamiseksi käytettiin

- sijoituspaikkakunnilla joka talouteen jaettuja YVA-tiedotteita
- Posivan paikallistoimistoista saatavilla olevaa materiaalia
- kaikille avoimia yleisötilaisuuksia
- pienryhmätapaamisia
- sijoituspaikkakuntien ja naapurikuntien valtuustoille järjestettyjä tiedotus- ja keskustelutilaisuuksia
- kuntiin perustettuja virkamiehille ja luottamushenkilöille tarkoitettuja yhteistyö- tai seurantaryhmiä
- hanketta ja YVA-menettelyä esitteleviä näyttelyitä, joissa on ollut myös mahdollisuus antaa palautetta
- eri selvitysten yhteydessä suoritettuja kuntalaiskyselyjä ja teemahaastatteluja
- aluehallinnon virkamiehille järjestettyjä keskustelutilaisuuksia
- keskushallinnon virkamiehille järjestettyjä seminaareja
- lehtien palstoilla käytyä keskustelua.

YVA-tiedotteet ja muut aineistot

Posiva teki hanketta tunnetuksi tutkimuskunnissa julkaisemallaan YVA-tiedotteella, jossa esiteltiin hanketta ja YVA-menettelyä helposti lähestyttävällä tavalla. Teksti ja tiedotteiden ulkoasu pyrittiin saamaan tavallista kansalaista kiinnostavaksi ja osallistumiseen aktivoivaksi. Loviisan seudulla aineisto jaettiin myös ruotsinkielisenä.

Vuonna 1997 julkaistiin neljä YVA-tiedotetta ja vuonna 1998 kaksi. Tiedotteet jaettiin Eurajoella, Kuhmossa,

Loviisassa ja Äänekoskella joka talou-
teen. Kokonaismäärä oli n. 20 000 kpl.

Tiedotteet jaettiin myös Loviisan naa-
purikunnissa Lapinjärvellä, Liljen-
dalissa, Pernajassa ja Ruotsinpyhtäällä,
koska Loviisan seudun katsottiin muo-
dostavan muita tutkimuskuntia ja nii-
den naapureita kiinteämmän alueellisen
kokonaisuuden.

Vuonna 1998 tutkimuskuntien kesä-
asukkaille YVA-tiedote (kuva 7-1)
postitettiin kirjeenä mökin omistajan
vakinaisen asuinpaikan osoitteella.

YVA-tiedotteisiin 1/97 ja 2/97 sisältyi
palauteosa. Kaikkiaan Posiva vastaan-
otti noin 700 palautetta, joissa esitettiin
400 kannanottoa joko itse hankkeesta
tai YVA-menettelystä. Arviointia kos-
kevat mielipiteet ja kommentit otettiin
huomioon selvityspäätöksiä tehtäessä.
Kirjallinen palaute on koottu työ-
raporttiin (Pasanen 1998).

Yleisötilaisuudet sekä keskustelu- ja pienryhmät

Kuntalaisten vaikutusmahdollisuuksien
parantamiseksi järjestettiin paikkakun-
nittain avoimista yleisötilaisuuksista ja
syventävistä keskustelutyöryhmistä
rakentuva tapaamisten sarja.

Kaikille avointen yleisötilaisuuksien
pää tavoitteena oli koota YVA-ohjel-
maan kuntalaisia kiinnostavat kysy-
mykset ja aktivoida asukkaita osallis-
tumaan keskustelutyöryhmien
toimintaan (kuva 7-2).

Ohjelman laatimisvaiheessa järjestet-
tiin kussakin ehdokaskunnassa kaksi
yleisötilaisuutta, joissa kansalaisille
tarjottiin mahdollisuus kertoa mielipi-
teensä hankkeesta ja tehdä YVA-ohjel-
man sisältöä koskevia kysymyksiä ja
selvitysaloitteita.

Yleisötilaisuuksiin kutsuttiin

- lehti-ilmoituksilla, jotka julkaistiin
kahdesti paikkakunnilla eniten leviävissä
sanomalehdissä (Länsi-Suomi,
Sisä-Suomen lehti, Kuhmolainen,
Loviisan Sanomat, Östra Nyland),
- Eurajoella ja Loviisassa joka talou-
teen jaetuilla kutsukirjeillä
- kunnissa joka talouteen jaetun YVA-
tiedotteen avoimella kutsulla,
- lähettämällä toisen tilaisuuden kutsu
kirjeenä tiedoksi kunnanvaltuute-
tuille, kunnanhallituksen, ympäristö-
asioista vastaavan lautakunnan sekä
yhteistyö- ja seurantaryhmien
jäsenille.

Tilaisuudet painoutuivat osallistujien
näkemysten keräämiseen hankkeesta ja
sen vaikutuksista erilaisen ideointi- ja
ryhmätyömenetelmien avulla. Puheen-
johtajana ja dokumentoijana toimi
ulkopuolinen taho.

Keskustelutyöryhmissä syvennyttiin
yleisötilaisuuksissa kertyneeseen
aineistoon, varsinkin keskusteltiin
hankkeen vaikutuksista ja niiden
merkittävyydestä. Yhdessä pohdittiin
myös tiedotuksen ja vuorovaikutuksen
jatkoitoimenpiteitä vaikutusten arvioin-
tivaiheessa. Keskustelutyöryhmät
kokoontuivat syksyllä 1997 kussakin
ehdokaskunnassa kahdesti.



Kuva 7-1. YVA-tiedotteita



Kuva 7-2. Yleisötilaisuuksien yhteydessä on ollut loppusijoitushanketta ja YVA-menettelyä havainnollistava näyttely.

YVA-ohjelman kuulemisvaiheessa keskustelutyöryhmät kokoontuivat kerran. Keskustelutyöryhmiin kutsuttiin edustajat tutkimuspaikkakunnilla toimivista yhdistyksistä ja kansalaisjärjestöistä. Kirjalliset kutsut lähetettiin kunnista saatujen yhteystietojen perusteella. Lisäksi kaikista kokoontumisista ilmoitettiin kahdesti paikallisesti suurilevikkisissä lehdissä.

Myös naapurikunnissa toimivien yhdistysten ja muiden ryhmien oli mahdollista osallistua työryhmiin lehti-ilmoituksen tai avoimessa yleisötilaisuudessa esitetyn kutsun perusteella.

Keskustelutyöryhmiin kutsuttiin mm.

- ehdokaskunnissa toimivat kansalaisryhmät, kuten kylätoimikunnat ja asukasyhdistykset
- poliittisten puolueiden paikallisosastot ja poliittiset järjestöt
- paikalliset ympäristöyhdistykset ja ympäristöseurat
- muut paikalliset yhdistykset ja
- kuntien nimeämät yhteyshenkilöt.

Ohjelmavaiheen yleisötilaisuuksien yksityiskohtaiset kuvaukset, esitetyt mielipiteet ja aloitteet on koottu erilliseen työraporttiin (Leskinen ym.1997).

Yleisötilaisuuksiin ja keskustelutyöryhmien kokouksiin kutsuttiin myös tiedotusvälineiden edustajat. Kaikista yleisötilaisuuksista on ollut artikkeleita paikallisissa lehdissä sekä yksi artikkeli valtakunnallisessa lehdessä. Lisäksi tilaisuudet saivat huomiota paikallis- ja alueradioilta.

Halukkaille pienryhmille järjestettiin keskustelutilaisuuksia jokaisella tutkimuspaikkakunnilla. Keskustelutilaisuusmahdollisuudesta tiedotettiin mm. YVA-tiedotteessa, jonka palautelomakkeella tai yhteystietojen perusteella kansalaisjärjestöt ja yhdistykset voivat ilmaista kiinnostuksensa. Tilaisuuksia järjestettiin arviointiohjelman laatimis-

vaiheessa v. 1997 yhteensä 40 ryhmälle ja selvitysvaiheessa v. 1998 yhteensä 46 ryhmälle. Tilaisuuksissa esiteltiin loppusijoitushanketta ja YVA-menettelyä. Tämän jälkeen keskusteltiin hankkeen ympäristövaikutuksista vaikutustyypeittäin. Erityisesti pyrittiin tunnistamaan hankkeen vaikutuksia osallistuneen ryhmän paikallistietouden ja asiantuntijuuden avulla.

Näyttelyt

Kiinnostus yleisötilaisuuksia kohtaan oli laimea. Syynä vähäiseen osallistumiseen katsottiin olevan tilaisuuksien kertaluonteisuudessa ja ajankohdassa. Tilaisuudet järjestettiin yleensä iltaisin.

Paremmen tavoitettavuuden tarjoamiseksi ja osallistumiskynnyksen alentamiseksi päätettiin järjestää kiertävä näyttely palvelemaan vaikutusalueiden asukkaita. Syksyllä 1998 suunnitelma toteutettiin ja loppusijoituskuntien ja naapurikuntien päättäjiä ja kuntalaisia informoitiin kiertävän näyttelybussin avulla. Tavoitteena oli tavata taajamissa ja kylissä asuvia kuntalaisia heidän omassa ympäristössään. Bussi kiersi kuukauden ja viipyi noin viikon kullakin tutkimuspaikkakunnalla ja ympäristökunnissa.

Kaikkiaan bussi vieraili 30 kunnassa ja yhteensä 48 eri paikassa. Kunnat olivat: Kuhmo, Ristijärvi, Sotkamo, Valtimo, Lieksa, Hyrynsalmi, Suomussalmi, Nurmes, Äänekoski, Konnevesi, Laukaa, Uurainen, Saarijärvi, Kannonkoski, Viitasaari, Sumiainen, Suolahti, Vesanto, Eurajoki, Rauma, Nakkila, Luvia, Lappi, Eura, Kiukainen, Loviisa, Lapinjärvi, Liljendal, Pernaja ja Ruotsinpyhtää.

Bussin näyttely esitteli tutkimusalueita ja loppusijoitustekniikkaa. Nähtävillä oli mm. loppusijoituskapselin koemalli.

Myös kuntalaisilta saatua palautetta ja sen huomioimista (mm. kuljetusreitiselvitys) esiteltiin. Näyttely oli avoinna yleisölle päivittäin klo 9.00–19.00. Kuntien päättäjiä lähetettiin erilliset kutsut. Näyttelyyn tutustui yhteensä noin 1500 henkilöä.

Kuntien osallistuminen

Eurajoella ja Äänekoskella jo aiemmin toimineiden Posivan ja kuntien välisten yhteistyöryhmien lisäksi myös Loviisaan ja Kuhmoon perustettiin vastaavat ryhmät 1997. Ryhmät ovat käsitelleet loppusijoitukseen, sen suunnitteluun ja vaikutusten arviointiin liittyviä kysymyksiä. Yhteistyö- ja seurantaryhmien toimintaan ovat osallistuneet kuntien ja Posivan edustajat. Ryhmän jäsenenä on erikseen nimetty kunnan YVA-yhteyshenkilö. Ryhmät ovat kokoontuneet noin joka toinen kuukausi.

Kuntien valtuustoille on tiedotettu arvioinnin etenemisestä. Eurajoella, Kuhmossa ja Loviisassa valtuustoille on järjestetty säännöllisesti informaatilaisuuksia vuosien 1997–1999 aikana, myös naapurikuntia on informoitu hankkeesta YVA-menettelyn aikana. Äänekosken valtuustoa informoitiin yhdessä Suolahden valtuuston kanssa kuntien liitosaikeiden vuoksi.

Tapaamiset virkamiesten ja asiantuntijoiden kanssa

Aluehallinnon keskeisiä viranomaisia informoitiin ja heidän kanssaan neuvoteltiin ohjelman laatimisvaiheessa. Neuvotteluihin osallistuivat vaihtelevin kokoonpanoin alueelliset ympäristökeskukset, lääninhallitusten sosiaali-toimesta vastaavat henkilöt, elinkeino- ja työvoimakeskukset sekä maakunnalliset liitot. Keskushallinnon edustajille järjestettiin arvioinnin kuluessa seminaareja. Ensimmäinen, YVA-menettelyä

käsittelevä yleisseminaari järjestettiin lokakuussa 1997. Elokuussa 1998 järjestettiin viranomaisille seminaari ydinjätteen kuljetuksista. Syyskuussa oli sosiaalisten vaikutusten (SVA) seminaari tutkijoille ja marraskuussa viranomaisille (Kivinen & Turunen 1999).

Muu viestintä

Posiva teki loppusijoitushanketta tunnetuksi myös muulla viestinnällä sekä toimittamalla tiedotusmateriaalia ja järjestämällä tilaisuuksia, joissa on voinut tutustua loppusijoitushankkeeseen. Tutkimuspaikkakunnilla ilmestyvissä paikallislehdissä on julkaistu nelisivuiset liitteet kolme kertaa vuosina 1997 ja 1998. Lehtiliitteissä on kerrottu hankkeeseen liittyvistä ajankohtaisista ja paikkakuntakohtaisista aiheista.

yleisölle. Tätä varten Posiva rakennutti siirrettävän näyttelykontin (kuva 7-3). Yksi huomattavimmista esittelypaikoista oli Tiedekeskus Heureka Vantaalla. Konttinäyttelyyn on tutustunut yhteensä n. 65 000 henkilöä.

Ruotsalaisen ydinjätehuolto-yhtiö SKB:n omistama ydinjätteen kuljetuslaiva Sigyn on kesäisin v. 1996–1998 toiminut uivana ydinjätteenäyttelyynä (kuva 7-4). Alus on vierailut Suomessa kolme kertaa. Raumalla näyttelyyn tutustui 5 000 henkeä, Loviisassa 6 000 ja Helsingissä 4 000 henkeä. Suomen vierailua varten Sigynin näyttely on muokattu Posivan loppusijoitus-suunnitelmaa vastaavaksi.

7.3 YVA-ohjelma

Posiva laati YVA-ohjelmansa vuorovaikutuksessa monien eri tahojen kanssa. Luonnollisesti ohjelmaan sisällytettiin hankkeesta vastaavan omat näkemykset samoin kuin säteily- ja yhteysviranomaisen sekä muiden asiantuntijatahojen ehdottamat aihealueet. Näiden lisäksi arvioinnin piiriin koottiin monimuotoisin menetelmin kansalaisten,

ehdokas- ja naapurikuntien sekä maakunnallisten ja valtakunnallisten päättäjien sekä viranomaisten näkemykset.

YVA-ohjelma yhteysviranomaiselle 6.2.1998

Posiva jätti hankkeen ympäristövaikutusten arviointiohjelman yhteysviranomaiselle 6.2.1998. Yhteysviranomaisen asetti Posivan YVA-ohjelman nähtäville ja kuulutti menettelyn alkamisesta. Posiva toimitti YVA-ohjelmia jokaiseen ehdokaskuntaan 100 kpl, naapurikuntien käyttöön 10 kpl sekä ehdokas- ja naapurikunnan kirjastoihin yleisölle lainattavaksi. Loviisan seudulla ohjelma jaettiin myös ruotsinkielisenä. Lisäksi YVA-ohjelma on ollut lainattavissa Posivan toimipisteistä. YVA-ohjelma julkaistiin myös myös englanninkielisenä.

YVA-ohjelman lyhennelmä jaettiin joka talouteen Eurajoella, Kuhmossa, Loviisassa ja sen naapurikunnissa sekä Äänekoskella ja Suolahdessa. Lyhennelmä oli luettavissa myös sähköisessä muodossa Posivan kotisivuilta Internetistä: <http://www.posiva.fi>.

Loppusijoitushankkeesta tuotettiin myös video, joka oli saatavilla pienryhmä- ja vuorovaikutustilaisuuksissa tai tilattavissa maksutta YVA-tiedotteen lomakkeella. Kaikkiaan nauhoja jaettiin n. 3500. Posiva osallistui erilaisiin messu-, näyttely- ja yleisötapahtumiin, joissa loppusijoitushanketta esiteltiin suurelle



Kuva 7-4. Ruotsin ydinjätteen kuljetukseen rakennettu Sigyn-laiva vierailulla Raumalla (yllä).

Kuva 7-3. Posivan loppusijoitushanketta esittelevä kontti Kuhmossa.

Kuulemisvaiheessa julkaistu YVA-tiedote 1/98 sisälsi YVA-ohjelman pääkohdat. YVA-tiedote 2/98 sisälsi yhteysviranomaisen ja kuntien sekä naapurimaiden lausuntojen pääkohdat.

Yhteistyö- ja seurantaryhmille sekä kunnanvaltuustoille järjestettiin tiedotustilaisuudet YVA-ohjelman sisällöstä. Naapurikuntien valtuustoille järjestettiin tiedotustilaisuuksia kuntien oman kiinnostuksen mukaan.

Posivan paikallistoimistoissa oli YVA-ohjelman laatimisen aikana hankkeesta ja YVA-menettelystä kertova näyttely. Lokakuussa 1997 oli tutkimuskunnissa myös ns. YVA-infopisteet, joissa niin ikään oli mahdollisuus antaa Posivalle kirjallista palautetta sekä tehdä YVA-aloitteita. Infopisteet sijoitettiin kuntien virastotaloihin paitsi Loviisissa, jossa se käytännön syistä sijaitsi Posivan paikallistoimistossa.

Arviointiohjelmasta tiedottaminen ja kuuleminen

KTM ilmoitti arviointiohjelman vireilläolosta seuraavien kuntien ja kaupunkien ilmoitustauluilla: Eurajoki, Eura, Kiukainen, Lappi, Luvia, Nakkila, Rauma, Kuhmo, Hyrynsalmi, Lieksa, Nurmes, Ristijärvi, Sotkamo, Suomussalmi, Valtimo, Loviisa, Lapinjärvi, Liljendal, Pernaja, Pyhtää, Ruotsinpyhtää, Äänekoski, Kannonkoski, Konnevesi, Laukaa, Saarijärvi, Sumiainen, Suolahti, Uurainen, Vesanto, Viitasaari.

Lausuntoja pyydettiin em. kunnilta sekä lisäksi ympäristöministeriöltä, sosiaali- ja terveysministeriöltä, liikenneministeriöltä, puolustusministeriöltä, Säteilyturvakeskukselta, Suomen ympäristökeskukselta, Valtion teknilliseltä tutkimuskeskukselta, Geologian tutkimuskeskukselta, Tielaitokselta, Etelä-Suomen, Länsi-Suomen ja

Oulun lääninhallituksilta, Ahvenanmaan maakuntahallitukselta, Uudenmaan, Keski-Suomen, Satakunnan ja Kainuun ympäristökeskuksilta, Itä-Uudenmaan liitolta, Keski-Suomen liitolta, Satakuntaliitolta ja Kainuun liitolta. Vesioikeuksille ja Ahvenanmaan lääninhallitukselle varattiin tilaisuus lausunnon antamiseen.

Vireilläolosta ilmoitettiin seuraavissa lehdissä: Länsi-Suomi, Satakunnan Kansa, Uusi-Rauma, Kuhmolainen, Kainuun Sanomat, Karjalainen, Loviisan Sanomat, Uusimaa, Östra Nyland, Borgåbladet, Keskisuomalainen, Sisä-Suomen Lehti, Keski-Suomen Viikko, Hufvudstadsbladet, Helsingin Sanomat ja Kansan Uutiset.

YVA-ohjelma oli nähtävillä 23.2.–23.4. 1998 virka-aikana ehdokaskuntien ja niiden naapurikuntien kunnanvirastoissa. Kuulemisaikana kansalaisilla oli mahdollisuus esittää mielipiteitä YVA-ohjelmasta sekä kirjallisesti että suullisesti. Mielipiteiden esittämistä varten saatavilla oli yhteysviranomaisen osoitteella varustettuja vastauslomakkeita ja valmiiksi maksettuja palautekuoria.

Eurajoen kunta, Kuhmon kaupunki, Loviisan kaupunki ja Äänekosken kaupunki järjestivät maaliskuussa 1998 YVA-ohjelmaa koskevat tiedotus- ja keskustelutilaisuudet, joissa oli paikalla hankkeesta vastaavan, yhteysviranomaisen sekä Säteilyturvakeskuksen edustajat. Tilaisuuksissa keskusteltiin hankkeesta ja YVA-menettelystä.

Ympäristöministeriö lähetti Ruotsin, Viron ja Venäjän viranomaisille ilmoituksen hankkeen ympäristövaikutusten arviointiohjelman vireilläolosta. Ilmoitus perustuu syyskuussa 1997 voimaan tulleeseen YK:n Euroopan talouskomission jäsenvaltioiden kesken solmittuun valtioiden rajat ylittävien ympäristövaikutusten arviointia koske-

vaan yleissopimukseen sekä lakiin ympäristövaikutusten arviointimenettelystä. Ympäristöministeriö pyysi näitä valtioita ilmoittamaan hankkeen ympäristövaikutusten arviointimenettelyyn osallistumisesta sekä antamaan lausuntonsa arviointiohjelmasta. Ruotsia, Venäjää ja Viroa informoidaan myös YVA-selostuksesta.

Yhteysviranomaisen lausunto 24.6.1998

KTM vastaanotti kaikkiaan 56 pyydettyä lausuntoa ja 120 mielipidettä. Saamansa aineiston sekä oman arvionsa perusteella KTM antoi ohjelmasta lausuntonsa 24.6.1998. Yhteysviranomaisen lausunto on kokonaisuudessaan tämän selostuksen liitteenä.

YVA-ohjelman täydentäminen

Posiva otti huomioon tätä YVA-selostusta laatiessaan yhteysviranomaisen lausunnossaan esittämät tarkistusvaatimukset, joista keskeisimmät ovat:

- hankkeen toteuttamatta jättämisen eli ns. nollavaihtoehdon ja sen ympäristövaikutusten käsittely
- muiden kuin perussuunnitelmaan kuuluneiden geologisten loppusijoitusvaihtoehtojen (syväreikä, hydraulinen häkki eli WP Cave) seikkaperäisempi käsittely
- polttoaineen maanpinnalle palautettavuuden selvittäminen eri loppusijoitusvaihtoehtoissa
- säteilyn yleisten terveysvaikutusten ja kuljetuksen turvallisuusriskien käsittely seikkaperäisellä, helposti ymmärrettävällä tavalla
- sosiaalisten vaikutusten arviointimenetelmiä ja arvioinnin sisältöä on käsitelty asiantuntijoille ja viranomaisille tarkoitetussa seminaarissa
- eri väestöryhmien (esim. kesäasukkaat) tasapuolisempi huomioonottaminen tiedotuksessa ja vuorovaikutuksessa.

Lisäksi Posiva otti YVA-selostusta laatiessaan huomioon kuntien vuorovaikutustilaisuuksissa esille tulleet kysymykset, jotka eri kunnissa ovat hyvinkin erilaisia. Pääosaa kysymyksistä käsitellään sosiaalisten vaikutusten luvussa.

YVA-ohjelmavaiheen aikana Posivan omistajayhtiöt TVO ja Fortum aloittivat ympäristövaikutusten arviointityön, joka koski nykyisten ydinvoimalaitosten laajentamista. Yhtiöt ovat laatineet vuoden 1998 aikana YVA-ohjelman uuden voimalaitosyksikön rakentamisesta, TVO Eurajoen Olkiluotoon ja Fortum Loviisan Hästholmeniin.

Mikäli Suomeen rakennettaisiin yksi tai useampia uusia ydinvoimalaitosyksiköitä, on ilmeistä, että niissä syntyvä ydinjäte loppusijoitettaisiin Suomeen ja käytetty ydinpolttoaine käsiteltäisiin ja loppusijoitettaisiin samaan loppusijoituslaitokseen kuin nykyisten ydinvoimalaitosyksiköidenkin jäte. Tämä merkitsisi nyt suunnitteilla olevan loppusijoituslaitoksen maanalaisten tilojen laajentamista.

Yhteysviranomaisen totesi lausunnossaan, että Posivan hankkeen laajuus on syytä määritellä loppusijoitettavan ydinpolttoainemäärän suhteessa. Viranomaisen ei nähnyt kuitenkaan estettä sille, että Posivan YVA-selostuksessa käsiteltäisiin suurempaa polttoainemäärää kuin mitä nykyiset neljä ydinvoimalaitosyksikköä tuottavat. Tässä selostuksessa on arvioitu, millaisia vaikutuksia nykyistä suuremmalla polttoainemäärällä olisi hankkeen elinkaareen ja ympäristövaikutuksiin.

7.4 Arvioinnin suorittajat ja aineisto

Vastuu ympäristövaikutusten arvioinnista on Posivalla, joka on huolehtinut YVA-menettelyssä tarvittavien selvitysten teettämisestä, YVA-ohjelman sekä -selostuksen laadinnasta sekä osallistumisjärjestelmästä.

Sekä ohjelman laatimisvaiheessa että arviointivaiheessa selvitysten ja tutkimusten laatijoina ovat olleet lukuisat asiantuntijat. Tausta-aineisto on raportoitu Posivan raportteina, jotka on jaettu sekä ehdokaskuntiin että monille muille tahoille. Luettelo keskeisistä asiantuntijoista ja YVA-selostusta varten laadituista raporteista on ohessa.

- ANSERI-Konsultit Oy
- Corporate Image Oy
- Diskurssi Oy
- Eurajoen Yrittäjät ry
- Fintact Oy
- Fortum Engineering Oy
- Galson Sciences Ltd
- Geologian tutkimuskeskus
- Golder Associates Inc.
- Helsingin yliopisto/ Radiokemian laitos
- Helsingin yliopisto/ Sosiaalipsykologian laitos
- IVQ/Ympäristönsuojeluyksikkö
- Insinööritoimisto Saario & Riekkola Oy
- Kaupunkitutkimus Seppo Laakso tmi
- Kuhmon Yrittäjät ry
- Kuluttajatutkimuskeskus
- Libenter Oy
- Loviisan käsityö- ja tehdasyhdistys ry
- Loviisan Yrittäjänaiset ry
- LT-Konsultit Oy
- Maakanta Oy
- PRG-Tec Oy
- Suunnittelukeskus Oy
- Säteilyturvakeskus/ Luonnonsäteilylaboratorio
- Taloustutkimus Oy
- Teknillinen korkeakoulu/Yhdyskuntasuunnittelun täydennyskoulutuskeskus
- Tielaitos
- Turun yliopisto/Sosiologian laitos
- Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT)/Energia
- Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT)/Yhdyskuntateknikka
- Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT)/Kemiantekniikka
- Ympäristötutkimus Oy Metsätähti
- Yritystaito Oy
- Äänekosken Yrittäjät

Luettelo käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen ympäristövaikutusten arviointiin keskeisistä osallistuneista tutkimuslaitoksista ja konsulteista.

YVA-SELOSTUSTA VARTEN TEHDYT SELVITYKSET

POSIVA-raportit

96-06 Geochemical modelling study on the age and evolution of the groundwater at the Romuvaara site

98-07 Geochemical modelling of groundwater evolution and solute residence time at the Kivetty site

98-10 Geochemical modelling of groundwater evolution and solute residence time at the Olkiluoto site

98-15 Normal evolution of a spent fuel repository at the candidate sites in Finland

98-16 Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen sosiaaliset vaikutukset kuntalaisten näkökulmasta. Haastattelututkimus

98-17 Ydinjätteen loppusijoituslaitoksen mahdolliset vaikutukset kuluttajien valintoihin ja loppusijoituspaikkakunnan tuotteiden menekkiin markkinoilla.

99-07 Safety assessment of spent fuel disposal in Hästholmen, Kivetty, Olkiluoto and Romuvaara TILA-99

99-11 Final disposal of spent nuclear fuel in Finnish bedrock – Romuvaara site report

99-09 Final disposal of spent nuclear fuel in Finnish bedrock – Kivetty site report

99-10 Final disposal of spent nuclear fuel in Finnish bedrock – Olkiluoto site report

99-08 Final disposal of spent nuclear fuel in Finnish bedrock – Hästholmen site report

99-02 An overview of a possible approach to calculate rock movements due to earthquakes at Finnish nuclear waste repository sites

99-12 Site scale groundwater flow in Hästholmen

99-03 Site scale groundwater flow in Olkiluoto

99-13 Regional-to-site scale ground-water flow in Kivetty

99-14 Regional-to-site scale ground-water flow in Romuvaara

99-15 Site-to-canister scale flow and transport at the Håstholmen, Kivetty, Olkiluoto and Romuvaara sites

99-06 Ydinjätteiden loppusijoitus yhteiskunnallisena kiistakysymyksenä

99-05 Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen aluetaloudelliset vaikutukset

99-4 Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen psykososiaaliset vaikutukset

99-17 Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusten terveysriskien arviointi

99-16 Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen normaalikäytön, käyttöhäiriöiden ja onnettomuustilanteiden aiheuttamien säteilyannosten arviointi

Työraportit

96-24 Äänekosken Kivetyt luontoselvitys 1996

97-12 Kuhmon aluekuvaus

97-13 Äänekosken aluekuvaus

97-14 Eurajoen aluekuvaus

97-15 Loviisan aluekuvaus (julkaistu myös ruotsiksi)

97-44 Eurajoen Olkiluodon, Kuhmon Romuvaaran, Loviisan Håstholmenin ja Äänekosken Kivetyt linnustotutkimus 1997 (julkaistu myös ruotsiksi)

97-48 Selvitys kiinteistöjen hintakehityksestä Loviisan alueella (julkaistu myös ruotsiksi)

97-55 Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen vaatimat ilmoitukset, suunnitelmat, luvat ja niihin rinnastettavat päätökset

97-64 Loviisan Håstholmenin luontoselvitys 1997 (julkaistu myös ruotsiksi)

97-65 Kuhmon Romuvaaran luontoselvitys 1997

97-66 Eurajoen Olkiluodon luontoselvitys 1997

97-67 Vuorovaikutus käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen ympäristövaikutusten arvioinnissa – Arviointiohjelman laadintavaiheen tilaisuudet (julkaistu myös ruotsiksi)

98-01 Matkailijoiden suhtautuminen käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen

98-40 Louhitun kiven käyttökohteet ja murskaus

98-41 Räjähdystarvikkeiden käyttö, varastointi ja kuljetus käytetyn polttoaineen loppusijoitustilojen louhinnassa

98-44 Summary of recent observations from Håstholmen hydrogeochemical studies

98-47 Rakennusvaiheen louhinta-, lujitus- ja tiivistystyöt

98-48 Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusvaihtoehdot mahdollisille loppusijoituspaikoille

98-50 Kuhmolaisten yritysten perustietoselvitys

98-62 Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksesta ympäristöön pääsevän luonnon radonkaasun aiheuttamat säteilyannokset

98-63 Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituspaikkavaihtoehtojen ympäristön radioaktiiviset aineet ja ionisoiva säteily

98-64 Kuntalaispalaute käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen ympäristövaikutusten arvioinnissa: Kirjallinen palaute, pienryhmät ja lehtikirjoittelu

98-73 Kalliotilojen vaikutus pohjaveden pinnankorkeuteen ja kasvillisuuteen

98-74 Loppusijoituslaitoksen ympäristövaikutuksia

98-75 Loppusijoituslaitoksen vesi-huollon yleissuunnitelma Romuvaaran ja Kivetyt tutkimusalueille

98-78 Eurajokelaisten yritysten perustietoselvitys

98-79 Selvitys kiinteistöjen hintakehityksestä ja markkinoista Eurajoen, Kuhmon, Loviisan ja Äänekosken alueilla

98-80 Selvitys kiinteistöjen hintakehityksestä Eurajoen alueella

99-10 Äänekoskelaisten yritysten perustietoselvitys

99-13 Asiantuntijaseminaarit käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen ympäristövaikutusten arvioinnista

99-14 Loviisan seudun yritysten perustietoselvitys

99-17 Loppusijoituslaitoksen normaali-käytön, käyttöhäiriöiden ja onnettomuustilanteiden määrittäminen päästö- ja annos-laskentaa varten

99-18 Kemiallinen myrkyllisyys käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksessa

99-23 Kuntaimagotutkimus 1998

99-24 Ydinjätteen loppusijoituslaitoksen vaikutukset Eurajoen, Kuhmon, Loviisan ja Äänekosken kunnallistalouteen 2003–2030

99-21 Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituskapseleiden palautettavuus

