

Käytetyn ydinpolttoaineen huoltoa ja loppusijoitusta tukeva tutkimus- ja kehitystoiminta vuosina 2001-2013

Seppo Vuori



Käytetyn ydinpolttoaineen huoltoa ja loppusijoitusta tukeva tutkimus- ja kehitys- toiminta vuosina 2001-2013

Seppo Vuori



ISBN 978-951-38-8179-5 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

VTT Technology 190

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu)

Copyright © VTT 2014

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT

PL 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)

02044 VTT

Puh. 020 722 111, faksi 020 722 7001

VTT

PB 1000 (Teknikvägen 4 A, Esbo)

FI-02044 VTT

Tfn +358 20 722 111, telefax +358 20 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland

P.O. Box 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)

FI-02044 VTT, Finland

Tel. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7001

Tiivistelmä

Tässä raportissa esitettävä aineisto käsittelee vuonna 2001 hyväksytyn periaatepäätöksen jälkeen toteutetun käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen tutkimus- ja kehitystoiminnan tavoitteita ja toteutumaa sekä tutkimustoiminnan ja sen tulosten säännöllistä viranomaisvalvontaa, minkä yhteydessä on tuotu esille käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen suunnittelussa ja tutkimuksessa seuraavassa vaiheessa huomioon otettavia näkökohtia. Tässä raportissa huomiota on kiinnitetty muun muassa turvallisuuteen, teknisiin vapautumisesteisiin ja sijaintipaikkaan.

Raportissa esitetään lisäksi suppea katsaus ydinjätehuoltoon liittyvästä kansainvälisestä yhteistyöstä kansainvälisen ydinenergiajärjestön (IAEA), Euroopan Unionin sekä OECD:n ydinenergiajärjestön (NEA) toiminnoissa. Yhtenä erityisaihepiirinä käsitellään ydinjätteiden loppusijoitusta koskevien viranomaisvaatimusten kehitystä näissä järjestöissä sekä Suomessa että eräissä muissa maissa. Lisäksi esitetään ajantasainen katsaus käytetyn ydinpolttoaineen tai korkea-aktiivisen jätteen loppusijoitushankkeiden etenemisestä Ruotsissa ja Ranskassa sekä eräissä muissa maissa. Lisäksi raportissa esitetään suppea yhteenveto aiemmissa VTT:n laatimissa raporteissa esitetyistä katsauksista käytetyn ydinpolttoaineen huollon vaihtoehtojen tai täydentävien käsittelymenetelmien kehittämiseen kohdistuvasta kansainvälisestä yhteistyöstä.

Avainsanat T&K toiminta liittyen käytetyn ydinpolttoaineen huoltoon ja loppusijoitukseen

Abstract

The material presented in this report deals with the objectives and results of the R&D activities carried out by Posiva Oy on the geological disposal of spent nuclear fuel as well as the pertinent regulatory control after the Decision-in-Principle accepted by the Finnish Parliament in 2001. In the regulatory control activities viewpoints to be considered in the future activities related to the further planning and research& development on the spent fuel disposal are discussed in this report. Attention has been paid among others to long-term safety, technical release barriers and features of the disposal site.

In the report a succinct overview is also presented on the international co-operation regarding nuclear waste management and disposal within the International Atomic Energy Agency (IAEA), the European Commission as well as within the Nuclear Energy Agency (NEA) of the OECD. As one specific topic this report describes the development regulatory requirements related to the geological disposal of nuclear wastes within the activities of these organizations as well as in Finland and a number of other countries. In addition, a short overview is presented on the progress of national projects aiming at the realization of the handling and disposal of spent nuclear fuel or high-level nuclear wastes in Sweden and France as well as in some other countries. Furthermore a short overview is presented on the international activities related to the development of alternative or supplementary methods for the management of spent fuel is presented,

Keywords R&D related to management and disposal of spent nuclear fuel

Esipuhe

Tämä katsaus on laadittu Työ- ja elinkeinoministeriön tilaamana selvityksenä. Ministeriön yhteyshenkilönä on toiminut neuvotteleva virkamies Jaana Avolahti. Katsausta laadittaessa on pyydetty kommentteja myös Säteilyturvakeskuksen ja Posiva Oy:n edustajilta.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	4
Esipuhe.....	5
1. Johdanto	8
2. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitushankkeen teknisten suunnitelmien ja loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden arvioinnin eteneminen vuoden 2001 jälkeen.....	11
2.1 Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta koskevat kolmivuotissuunnitelmat ja vuosisuunnitelma ja niiden viranomaisarviointi	12
2.1.1 TKS-suunnitelma 2000 ja vuosisuunnitelmat 2002 ja 2003	12
2.1.2 TKS-suunnitelma 2003 sekä vuosisuunnitelmat 2004, 2005 ja 2006.....	16
2.1.3 TKS-suunnitelma 2006 sekä vuosisuunnitelmat 2007, 2008 ja 2009.....	22
2.1.4 TKS-suunnitelma 2009 vuosille 2010-2012	27
2.1.5 YJH-suunnitelma 2012 vuosille 2013-2015	32
2.2 Ydinjätteiden loppusijoitusta koskevien viranomaisvaatimusten kehitys 36	
2.2.1 Vaatimukset Suomessa.....	36
2.2.2 Kansainväliset vaatimukset	37
2.2.3 Eräiden yksittäisten maiden vaatimukset ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudesta.....	39
2.3 Käytetyn ydinpolttoaineen välivarastoinnin ja kuljetusten turvallisuus.	42
3. Katsaus kansainvälisen yhteistyön tilanteeseen.....	45
3.1 Kansainvälinen atomienergiajärjestö (IAEA)	45
3.1.1 Ydinjätehuoltokonventio	45
3.1.2 IAEA:n koordinoima ydinjätehuoltoon liittyvä yhteistyö.....	46
3.2 Ydinjätehuoltoa koskeva yhteistyö EU:n piirissä.....	47

3.3	Ydinjätehuoltoa koskeva yhteistyö OECD:n ydinenergiajärjestössä (NEA).....	48
4.	Käytetyn ydinpolttoaineen tai korkea-aktiivisen jätteen loppusijoitushankkeiden eteneminen muissa maissa.....	50
4.1	Ruotsi	51
4.2	Ranska.....	53
4.3	Venäjä	56
4.4	Kanada	57
4.5	Sveitsi	58
4.6	Yhdysvallat.....	60
5.	Vaihtoehtoisten menetelmien kehittäminen ja siihen liittyvä kansainvälinen yhteistyö	63
5.1	Valvottu pitkäaikaisvarastointi	63
5.2	Loppusijoituksen palautettavuus.....	64
5.3	Tehostettu jälleenkäsittely ja transmutaatio.....	65
5.4	Loppusijoitus syviin porareikiin	66
5.5	Käytetyn ydinpolttoaineen huollon vaihtoehtoisten ratkaisujen vertailu	67
6.	Yhteenveto	69
	Kirjallisuusviitteet.....	70

1. Johdanto

Käytetyn ydinpolttoaineen ja muiden ydinjätteiden huoltoa ja loppusijoitusta on Suomessa tutkittu jo 1970-luvun loppupuolelta lähtien ja vuonna 1983 valtioneuvosto teki tulevaa pitkän aikavälin tutkimus- ja toteutusohjelmaa koskevan yleispäätöksensä, jonka tavoitteena oli muun muassa käytetyn polttoaineen loppusijoituspaikan valinta vuonna 2000 sekä loppusijoituslaitoksen toiminnan aloittaminen noin vuonna 2020. Näiden tavoitteiden mukaisesti Posiva Oy valmisteli 1990-luvun loppupuolella osakasyhtiöidensä (TVO ja Fortum) toimeksiannosta käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta koskevan periaatepäätöshakemusaineiston, jonka se toimitti valtioneuvoston käsiteltäväksi toukokuussa 1999. Viranomaiskäsitteilyn pohjalta valtioneuvosto teki joulukuussa 2000 periaatepäätöksen, jonka mukaisesti Olkiluodon ja Loviisan nykyisin käytössä olevien reaktoriyksiköiden (Lo1-2 ja OL1-2) käytetty polttoaine voidaan aikanaan loppusijoittaa Olkiluotoon sijoitettavaan loppusijoituslaitokseen. Eduskunta vahvisti tämän periaatepäätöksen toukokuussa 2001. Myöhemmin eduskunta on hyväksynyt käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen kapasiteetin laajentamista koskevat periaatepäätökset vuosina 2002 ja 2010 koskien Olkiluodon ydinvoimalaitoksen reaktoriyksiköitä OL3 ja OL4. Lisäksi vuonna 2010 valtioneuvosto käsiteli periaatepäätöstä koskien Loviisaan suunnitellun lisäyksikön (Lo3) tuottamaa käytettyä ydinpolttainetta. Tästä laajennussuunnitelmasta valtioneuvosto teki kielteisen periaatepäätöksen, koska myös vastaavaa uuden reaktoriyksikön rakentamista koskien tehtiin kielteinen periaatepäätös.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta koskevan ensimmäisen periaatepäätöksen eduskuntakäsittelyn yhteydessä eduskunta edellytti talousvaliokunnan ehdotuksen mukaisesti, että *valtioneuvosto antaa eduskunnalle selvityksen ennen rakentamisluvan myöntämistä tämän periaatepäätöksen jälkeen saadusta uudesta tutkimustiedosta ja teknillisestä kehityksestä ydinjätteen loppusijoituksen turvallisuuden varmistamiseksi*. Talousvaliokunnan lausunnossa, jossa otettiin huomioon myös ympäristövaliokunnan esittämiä näkemyksiä, todetaan Säteilyturvakeskuksen lausuntoon viitaten muun muassa, että loppusijoituksen turvallisuutta ei vielä tuolloin ollut osoitettu sillä varmuudella kuin rakentamisluvan yhteydessä tullaan edellyttämään. Valiokunta piti välttämättömänä, että loppusijoitusta tutkitaan ja kehitetään edelleen vuoden 2000 jälkeen turvallisuuden varmistamiseksi viimeisimmän tiedon mukaiseksi.

Vuoden 2001 jälkeen Posivan toteuttamassa käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuutta selvittäneessä tutkimuksessa on otettu huomioon eduskunnan talous- ja ympäristövaliokuntien mietinnöissä ja lausunnoissa esitettyjä näkökohtia koskevat lisätutkimustarpeet. Valiokunnat toivat esille loppusijoitusjärjestelmän eri osakokonaisuuksiin liittyviä lisätutkimustarpeita kattaen tekniset vapautumisesteet (mm. bentoniitti ja loppusijoituskapselin materiaalit), sijaintipaikan ominaisuudet (mm. suolaisen pohjaveden vaikutukset ja jätekapselien eheyteen vaikuttavat luonnonilmiöt ja tapahtumat) sekä tulevien jääkausien vaikutukset. Viimeksi mainittuun aihepiiriin liittyen on hankittu lisätietoja myös Grönlannissa tehdyissä tutkimuksissa. Pitkäaikaisturvallisuutta käsittelevissä tutkimuksissa on käsitelty monipuolisesti radioaktiivisten aineiden kulkeutumista ympäristöön. Selvityksissä on otettu monipuolisesti huomioon turvallisuuteen mahdollisesti vaikuttavia kemiallisia ja fysikaalisia prosesseja sekä niihin liittyviä vuorovaikutuksia. Myös loppusijoitustilojen mahdollisesti esille tulevaa avattavuutta koskien on tehty selvityksiä.

Vuoden 2001 ja sen jälkeisten tutkimussuunnitelmien ja tutkimustulosten viranomaisarviointia on jatkettu säännöllisesti sekä Säteilyturvakeskuksen että ministeriöiden (kauppa- ja teollisuusministeriö ja myöhemmin työ ja elinkeinoministeriö) toimesta.

Tässä raportissa esitettävä aineisto käsittelee vuonna 2001 hyväksytyt periaatepäätöksen jälkeen toteutetun käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen tutkimus- ja kehitystoiminnan tavoitteita ja toteutumaa sekä tutkimustoiminnan ja sen tulosten säännöllistä viranomaisvalvontaa, minkä yhteydessä on tuotu esille käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen suunnittelussa ja tutkimuksessa seuraavassa vaiheessa huomioon otettavia näkökohtia.

Posiva Oy jätti käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemuksen valtioneuvostolle 28.12.2012. Rakentamislupahakemuksen kohteena on kahden toisiinsa kytketyn ydinlaitoksen, maanpäällisen kapselointilaitoksen ja maanalaisen loppusijoituslaitoksen muodostama laitoskokonaisuus, johon sisältyy myös tiloja kapselointilaitoksen käytön ja käytöstä poiston yhteydessä syntyneiden ydinjätteiden loppusijoittamiseksi. Loppusijoitustilat on tarkoitus rakentaa 400–450 metrin syvyydelle ja ne koostuvat vaiheittain rakennettavasta tunnelistosta ja siihen liittyvistä teknisistä tiloista.

Olkiluodon kallioperän soveltuvuus loppusijoitukseen on vahvistunut maanalaisen tutkimustilan, ONKALOn rakentamisen myötä. Sekä ONKALOn rakentamisen myötä että maan pinnalta hankittujen tietojen avulla on kehitetty kriteerit ja yksityiskohtainen menetelmä loppusijoitustunnelien sijoittamiselle Olkiluodon kallioperään siten, että sen pitkäaikaisturvallisuuden kannalta suotuisat ominaisuudet voidaan hyödyntää parhaalla mahdollisella tavalla.

Pitkäaikaisturvallisuutta koskevien vaatimusten toteutumista tarkastellaan lupahakemusta varten laaditussa turvallisuusperustelussa (TURVA-2012), joka koostuu laajasta joukosta eri aihepiirien raportteja. Posivan esittämän turvallisuusperustelun mukaan todennäköisinä pidettävien kehityskulkujen seurauksena seuraavan kymmenen tuhannen vuoden aikana vuotuiset säteilyannokset jäävät eniten altistuvillakkin henkilöillä selvästi alle säädetyn annosrajan. Myös pidempää aikavä-

liä koskevat viranomaisvaatimukset täyttyvät ja radioaktiivisten aineiden vapautumismäärät jäävät selvästi rajoituksia pienemmiksi.

Työ- ja elinkeinoministeriö pyysi 15.2.2013 hakemusaineistosta lausunnot useilta eri tahoilta syyskuun 2013 loppuun mennessä. Lausuntopyyntö ja annetut lausunnot on esitetty Työ- ja elinkeinoministeriön www-sivuilla osoitteessa: http://www.tem.fi/energia/ydinenergia/kaytetyn_ydinpolttoaineen_loppusijoitushankkeen_laitoshanke/rakentamislupahakemus.

Osana rakentamislupahakemuksen viranomaisarviointia vuoden 2015 alussa on valmistumassa Säteilyturvakeskuksen turvallisuusarvio liittyen loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemuksen käsittelyyn. Arviossa tullaan käsittelemään monipuolisesti loppusijoituksen turvallisuuteen sekä käyttövaiheessa että tulevaisuudessa vaikuttavien eri tekijöiden arvioinnin kattavuutta rakentamislupahakemukseen liitetystä aineistosta sekä esitetään yksityiskohtainen arvio turvallisuusperustelusta.

Arviointinsa ensimmäisessä vaiheessa STUK teki viranomaisohjeiston edellyttämän kattavuustarkastuksen Posiva Oy:n käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemukselle huhtikuun 2013 loppuun mennessä. Toisessa vaiheessa STUK tarkasti pitkäaikaisturvallisuutta koskevan aineiston kattavuuden ja teki sitä koskevan päätöksen marraskuussa 2013.

Tässä raportissa ei ole tavoitteena esittää erillistä arviota rakennuslupahakemuksesta sinänsä, vaan kuvailla yleisemmin hankkeen etenemistä vuoden 2001 periaatepäätöksen jälkeen sekä siihen liittyntä viranomaisvalvontaa.

2. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus- hankkeen teknisten suunnitelmien ja loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden arvioinnin eteneminen vuoden 2001 jälkeen

Jo ennen vuotta 2000 voimayhtiöt raportoivat kauppa- ja teollisuusministeriölle ydinjätehuollon vuotuiset suunnitelmansa sekä laativat yhteenvedon suunnitelmien toteutumisesta. Kolmen vuoden välein julkaistuissa käytetyn polttoaineen huollon kehityssuunnitelmissa on esitetty yhteenvedot sekä edellisen kauden keskeisistä tutkimustuloksista että suunnitelmat tulevalle kolmivuotiskaudelle. Näiden ohjelma-yhteenvedojen perusteella ydinjätehuollon toteutumista valvova kauppa- ja teollisuusministeriö ja vuodesta 2008 lähtien työ- ja elinkeinoministeriö on esittänyt lausuntonsa näistä peräkkäisten kolmivuotiskausien ohjelmista ja esitetystä tulokista yleisellä tasolla. Näiden lausuntojen keskeisen pohjan ovat muodostaneet Säteilyturvakeskuksen (STUK) omissa lausunnoissaan esittämät näkökohdat.

Jo vuodesta 1989 lähtien on Suomessa toteutettu myös julkisrahoitteisia ydinjätehuollon tutkimusohjelmia perustuen ydinenergialakiin (990/1987), jonka mukaan ydinjätehuoltoa käsittelevän tutkimustoiminnan tarkoituksena on "varmistaa, että viranomaisten saatavilla on riittävästi ja kattavasti sellaista ydinteknistä asiantuntemusta ja muita valmiuksia, joita tarvitaan ydinjätehuollon erilaisten toteutustapojen ja menetelmien vertailuun". Useissa peräkkäisissä jaksoissa toteutetuissa tutkimusohjelmissa on tutkittu kansallisesti merkittäviä ydinjätehuoltoon liittyviä kysymyksiä.

Nykyisin käynnissä olevan kansallisen ydinjätehuollon tutkimusohjelman (KYT) pitkän aikavälin tarkoituksena on osaltaan ylläpitää kansallista osaamista ydinjätehuollon alalla ja edistää yhteistyötä viranomaisten, ydinjätehuoltovelvollisten ja tutkijoiden kesken. Parhailaan käynnissä oleva ohjelmavaihe (KYT 2014) on katkannut vuodet 2011-2014 ja ohjelmajakson loppuraportointi on parhailaan käynnissä samoin kuin seuraavan ohjelmajakson suunnittelu.

Vuoden 2012 lopulla Posiva Oy toimitti valtioneuvoston käsiteltäväksi hakemuksen rakentamisluvan myöntämiseksi käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle. Tämän lupahakemuksen yksityiskohtaisesta teknisestä

arvioinnista huolehtii Säteilyturvakeskus ja työ- ja elinkeinoministeriö tulee otta-
maan huomioon STUKin esittämät arviot valmistellessaan valtioneuvoston päätös-
tä rakennuslupahakemuksesta.

2.1 Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta koskevat kolmivuotissuunnitelmat ja vuosisuunnitelma ja niiden viranomaisarviointi

Ydinenergialain mukaan ydinjätehuoltovelvollisten tulee säännöllisin välein esittää
työ- ja elinkeinoministeriölle (aiemmin kauppa- ja teollisuusministeriölle) selvitys
siitä, miten jätehuoltovelvollinen on suunnitellut toteuttavansa ydinjätehuoltoon
kuuluvat toimenpiteet ja niiden valmistelun. Vuoteen 2008 saakka tällaiset selvi-
tykset toimitettiin ministeriölle vuosittain, mutta vuonna 2009 voimaan astuneen
ydinenergialain muutoksen jälkeen selvitykset on laadittu kolmen vuoden välein ja
niiden tavoitteina on ollut kuvata yksityiskohtaisesti seuraavan kolmivuotiskauden
toimenpiteet ja pääpiirteittäin myös tätä seuraavien kolmen vuoden suunnitelmat.

Vuosittaisten ydinjätehuoltoa koskevien selvitysten lisäksi TVO ja Fortum ovat
jo vuodesta 2003 lähtien laatineet kolmivuotissuunnitelmia Olkiluodon ja Loviisan
ydinvoimalaitosten ydinjätehuollolle. Tehdyt selvitykset (TKS-2003, TKS-2006 ja
TKS-2009) ovat käsittäneet paitsi suunnitelmat tulevasta tutkimus-, kehitys- ja
suunnittelutyöstä (TKS-työ), myös arvion ydinjätehuollon tilanteesta erityisesti
käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusvalmistelujen osalta.

Näiden lisäksi Posiva Oy toimitti välittömästi valtioneuvoston joulukuussa 2000
tekemän periaatepäätöksen jälkeen suunnitelmaraportin TKS-2000 (Posiva
2000-14), jonka tarkoituksena oli esittää tutkimus-, kehitys- ja teknisen suunnitte-
lutyön tavoitteet ja pääasiallinen sisältö loppusijoituslaitoksen rakentamislupa-
hakemukseen mennessä. Raportin julkaisuvaiheessa eduskunta ei vielä ollut
vahvistanut kyseistä periaatepäätöstä.

2.1.1 TKS-suunnitelma 2000 ja vuosisuunnitelmat 2002 ja 2003

Teollisuuden Voima Oyj (TVO) käynnisti käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta
koskevat selvitykset jo 1980-luvun alkupuolella. Vuonna 1983 valtioneuvosto teki
yleislinjauksen Olkiluodon ja Loviisan ydinvoimalaitosten tuottamien ydinjätteiden
huoltoa ja loppusijoitusta kokonaisuudessaan koskevasta yleisaikataulusta, joka
pääpiirteissään on edelleen paikkansa pitävä.

TKS-2000 suunnitelmassa (Posiva 2000-14) esitettiin tutkimus-, kehitys- ja tek-
nisen suunnittelutyön yleiset tavoitteet ja pääasiallinen sisältö loppusijoituslaitok-
sen rakentamislupahakemukseen mennessä. Teknisen kehitys- ja suunnittelutyön
pää tavoitteeksi raportissa esitettiin loppusijoituslaitosta koskien riittävän luotta-
muksen saavuttaminen sille, että kapselointi- ja loppusijoitustoiminnot voidaan
suorittaa suunnitelmien mukaisesti. Tulevissa paikkatutkimuksissa katsottiin ole-
van keskeistä varmistaa periaatepäätöksen hakemiseen mennessä luotu käsitys

Olkiluodon soveltavuudesta loppusijoitustarkoitukseen, määritellä ja tunnistaa loppusijoitukseen sopivat kalliolohkot Olkiluodon alueella sekä määrittää aiempaa tarkemmin loppusijoituskallion ominaisuudet teknistä suunnittelua, rakentamistöitä ja turvallisuuden arviointia varten.

Käytetyn polttoaineen loppusijoituksen turvallisuutta koskevat yleissäädökset oli määritelty Valtioneuvoston päätöksellä vuonna 1999 (VNP 1999) jo ennen periaatepäätöshakemuksen toimitusta viranomaiskäsitteilyyn.

Yksityiskohtaisempia määräyksiä esitettiin syksyllä 2000 julkaistussa Säteilyturvakeskuksen YVL-ohjeessa 8.4 (YVL 8.4), jossa esitettiin pitkän aikavälin turvallisuutta koskevat vaatimukset. Samalla asetettiin yleiset suuntaviivat tutkimus- ja kehitystyölle sekä tekniselle suunnittelulle. YVL-ohjeessa 8.4 määriteltiin yleiset suuntaviivat:

- tarkasteltaville ympäristön (biosfäärin) kehityskuluille sekä säteilyaltistus- tavoille, joita tulee tarkastella jatkosuunnittelussa,
- tarkasteltaville merkittäville häiriötilanteille sekä
- esitettiin tarve rakentaa maanalainen tutkimustila.

Näiden lisäksi YVL-ohjeessa 8.4 esitettiin vaatimukset tarkastella

- parhaita käytettävissä (tai kehitettävissä olevia) tekniikoita,
- kokeellisen tiedon hankkimista suunniteltavasta loppusijoitusjärjestelmästä,
- mahdollisia valvontatoimenpiteitä,
- loppusijoituksen palautettavuutta kohtuullisin kustannuksin sekä
- kallioperälle aiheutuvia häiriöitä johtuen loppusijoitustilojen rakennus- ja käyttötoiminnasta sekä loppusijoitustiloihin sijoitettavista alkuperäisestä poikkeavista aineista.

Lisäksi YVL-ohje 8.4 edellytti, että

- moninkertaisten päästöesteiden periaatteeseen nojautuvan järjestelmän yksittäisille komponenteille määritellään toimintakykytavoitteet,
- loppusijoitustiloja ympäröivän emäkallion rakenteet tulee luokitella kehitettävän kallioperäluokitusjärjestelmän mukaisesti sekä
- on kehitettävä täydentäviä tarkastelutapoja, joita käyttämällä voidaan lisätä luottamusta turvallisuusarviointeihin sekä täydentää arviointeja loppusijoitusjärjestelmästä niiltä osin, joille ei ole mahdollista tehdä yksityiskohtaisia määrällisiä arvioita.

Loppusijoituslaitoksen käytönaikaista turvallisuutta käsitteli vuonna 2002 käyttöön otettu ohje YVL 8.5.

TKS-2000 suunnitelmassa (Posiva 2000-14) esitettiin, että käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilan varsinaista rakentamista edeltävässä vaiheessa toteutettavaksi suunniteltu tutkimus- ja kehitystoiminta voidaan jakaa kolmeen pääalueeseen:

- koko loppusijoitusjärjestelmän tekninen suunnittelu sisältäen teknisten päästöesteiden järjestelmän sekä osajärjestelmät, jotka tarvitaan jätteen kapselointiin ja sijoittamiseen loppusijoitustiloihin,
- loppusijoitusalueen yksityiskohtainen geologinen kuvaus sekä
- pitkäaikaista ja käytön aikaista turvallisuutta koskeva turvallisuusperustelu.

Tuossa vaiheessa loppusijoituksen turvallisuuskonseptiin jätettiin vielä mahdollisuuksia loppusijoitusjärjestelmän yksityiskohtien erilaisille teknisille ratkaisuille.

Turvallisuusperustelun tavoitteiksi esitettiin tuolloin, että sen perusteella voidaan saavuttaa riittävä varmuus siitä, että valtioneuvoston päätöksessä vuonna 1999 esitetyt käyttöturvallisuutta ja pitkäaikaisturvallisuutta koskevat vaatimukset voidaan täyttää. Sen lisäksi, että vaadittiin osoitettavaksi arvioidun säteilyaltistuksen jäävän väestön annosrajoitusten alapuolelle käyttö- ja pitkän aikavälin turvallisuuteen liittyen vaatimuksiin sisältyi useisiin muihin näkökohtiin liittyviä vaatimuksia kuten

- laadunvarmistus ja turvallisuuskulttuuri,
- henkilökunnan pätevyysvaatimukset,
- käyttöolosuhteet, hallinnolliset menettelyt ja valvonta,
- toimintojen turvallisuusluokittelu,
- turvallisuustoimintojen toteutuminen,
- radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen,
- kriittisyysonnentomuuden ehkäiseminen,
- tulipaloihin ja räjähdysiin liittyvien uhkien estäminen,
- ulkoisten tapahtumien tarkastelu,
- fyysisestä suojelusta ja pelastusvalmiudesta huolehtiminen sekä
- ydinmateriaalivalvonta.

Pitkäaikaisturvallisuutta koskevien vaatimusten osalta raportissa (Posiva 2000-14) todettiin, että silloiseen YVL-ohjeeseen 8.4 sisältyneet vaatimukset on otettu suunnittelun lähtökohdiksi, mutta samalla varaudutaan vaatimusten täsmentymiseen tulevaisuudessa ottaen huomioon eri osapuolten välisissä keskusteluissa esille tulevat muut näkökohdat.

Olkiluodossa tehtävien varmentavien kallioperätutkimusten tavoitteiksi asetettiin:

- varmistaa periaatepäätöshakemukseen mennessä muodostetut käsitykset Olkiluodon alueen soveltuvuudesta,
- määrittää ja tunnistaa loppusijoitukseen soveltuvat kalliotilavuudet sekä
- määrittää näiden kalliotilavuuksien ominaisuudet loppusijoituksen yksityiskohtaista suunnittelua, turvallisuusarviointeja ja rakentamisen suunnittelua varten.

Asetettujen tavoitteiden toteuttamiseksi nämä päätavoitteet jaettiin pienempiin osatavoitteisiin, jotka riippuvat hankkeen toteutusvaiheesta. Käytännön toimenpiteitä tukevat välittömät tavoitteet liittyivät

- kallioperän maanalaiseen karakterisointiin rakennettavan ONKALO-järjestelmän tekniseen suunnitteluun,
- itse loppusijoituslaitoksen suunnitteluun sekä
- turvallisuusperustelua varten tarvittavien lähtötietojen hankkimiseen.

Näiden osatehtävien keskinäisen priorisoinnin nähtiin vaihtelevan koko loppusijoitushankkeen kuluessa ja alkuvaiheessa ensisijaisena tehtävänä oli ONKALON suunnittelu. Loppusijoitusalueen varmentavien tutkimusten osavaiheiksi esitettiin suunnitelmassa seuraavat:

- Vaihe 1: Maanpinnalta toteutetut täydentävät tutkimukset ennen maan alle johtavan tunnelin tai kuilun avauskohdan valintaa,
- Vaihe 2: Suunnitellun lähtökohteen (tunneli tai kuilu) rakentaminen sekä
- Vaihe 3: Maanalaisen kallioperän karakterisointiin tarkoitetun järjestelmän (ONKALO) rakentaminen ja siinä eri syvyyksillä suoritettavat kallioperätutkimukset.

ONKALosta käsin suoritettavilla kallioperätutkimuksilla tavoiteltiin hankittavan maanpinnalta käsin suoritettuja kallioperätutkimuksia täydentävää ja varmistavaa tietoa. Erityisesti näillä tutkimuksilla tavoitteena oli parantaa tietämystä kallioperän seuraavista ominaisuuksista:

- kallioperän yksittäiset rakenteet, joita tulee välttää,
- kallion jännitystilän suuruus ja suuntaus,
- kallioperän lujuusominaisuudet,
- kallioperän lämpötekniset ominaisuudet,
- louhinnan aiheuttamat kalliomekaaniset vaikutukset sekä
- kallioperän yksityiskohtaiset hydrogeologiset ja hydrogeokemialliset ominaisuudet.

Voimayhtiöiden vuosisuunnitelmien 2002 ja 2003 viranomaistarkastus

Voimayhtiöt (TVO ja Fortum) toimittivat aiemmin noudatetun käytännön mukaisesti ydinjätehuollon vuosisuunnitelmansa vuosille 2002 ja 2003. Kauppa- ja teollisuusministeriö (KTM) esitti vuotta 2002 koskevasta ohjelmasta näkemyksensä 14.6.2002 tekemissään päätöksissä (9/815/2001 ja 12/815/2001 KTM). Näiden päätösten perusteena käytettiin myös Säteilyturvakeskuksen 15.2.2002 esittämään lausuntoon (A811/35, V811/27) sisältyneitä näkemyksiä. Ministeriö katsoi päätöksessään, että esitetty tutkimussuunnitelma vuodelle 2002 ja yleispiirteinen suunnitelma vuoteen 2006 asti olivat sijoituspaikkatutkimusten ja maanalaista tutkimustilaa koskevan tutkimus- ja suunnitteluhjelman osalta hyväksyttäviä.

Vuoden 2003 tutkimussuunnitelmaa koskevissa päätöksissään TVO:lle (16.4.2003, 9/815/2002) ja Fortumille (15.4.2003, 12/815/2002) KTM otti huomioon STUKin 14.2.2003 päivätyssä lausunnossa (A811/40, C811/32) esitetyt näkökohdat koskien ONKALOn rakentamista tukevia kallioperätutkimuksia sekä kapselointilaitoksen jatkosuunnittelun pohjaksi valittavaa laitossuunnitelman vaihtoehtoa. Lisäksi ministeriö toi esille STUKin lausunnossaan tekemän ehdotuksen, jonka mukaisesti Posiva Oy:n tulee seuraavassa vuoden 2003 lopussa ensimmäistä kertaa toimitettavassa, kolmivuotisohjelmassaan, joka laadittiin KTM:n päätöksen (3.12.2002; KTM Dno 14, 15, 17 /815/2002) mukaisesti, tehdä yhteenveto turvallisuustutkimusten tilanteesta ja esittää, mitä tähänastisilla tutkimuksilla on selvitetty ja mikä on jäljellä oleva tutkimustarve. Vuotta 2003 koskevassa päätöksessään KTM kiinnitti huomiota siihen, että vuosittain syyskuussa toimitettavien vuosi-ohjelmien ja kulloinkin viimeksi laaditun kolmivuotissuunnitelman tulee yhdessä muodostaa kokonaisuus, joka sisällöltään vastaa ydinenergia-asetuksen 74 §:n ja 75 §:n vaatimuksia.

2.1.2 TKS-suunnitelma 2003 sekä vuosisuunnitelmat 2004, 2005 ja 2006

Joulukuussa 2003 julkaistussa kolmivuotisohjelmassa (TKS-2003) vuosille 2004–2006 esitetään ensinnäkin katsaus Posiva Oy:n sekä sen omistajayhtiöiden, TVO Oyj ja Fortum Power and Heat Oy, viime vuosina tekemään ydinjätehuollon TKS-työhön sekä suunnitelma seuraavien vuosien toiminnalle keskittyen ajanjaksoon 2004-2006. KTM:n päätöksen (3.12.2002) mukaan vastaavansisältöinen ohjelma vaadittiin toimitettavaksi tulevaisuudessakin säännöllisesti kolmen vuoden välein.

KTM teki vuonna 2003 päätöksen (9/815/2003) käytetyn ydinpolttoaineen geologisen loppusijoituksen toteutukseen tähtäävän valmistelutyön tavoitteista. Päätöksen mukaan Posiva Oy:n tuli olla valmistautunut esittämään tutkimukset ja suunnitelmat, joiden katsottiin olevan tarpeellisia käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemuksen jättämiseen vuoden 2012 loppuun mennessä. Tämän tavoitteen lisäksi ministeriö edellytti että Posivan tuli vuonna 2009 toimittaa selvitys, jossa tullaan kuvaamaan rakentamislupahakemuksessa tarvittavan laajan aineiston valmistelun tilannetta ja riittävyttä.

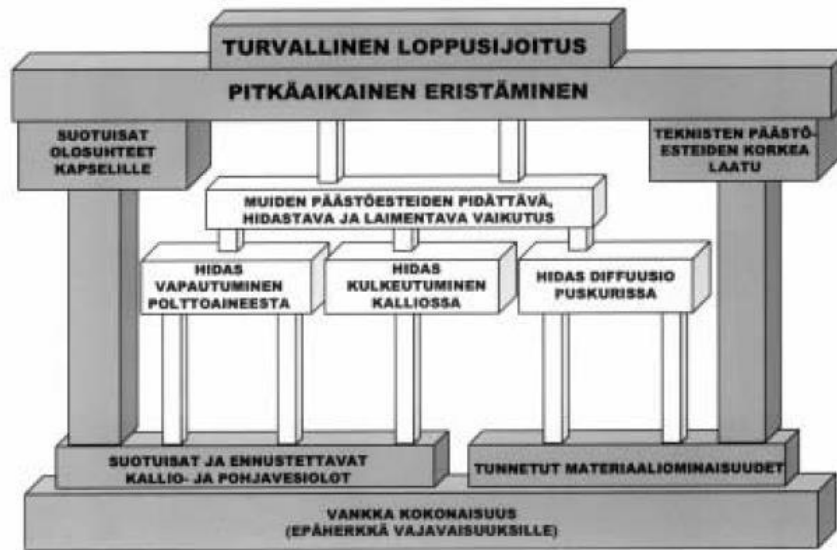
TKS-suunnitelma 2003 sisälsi ensinnäkin kuvauksen edeltävinä vuosina tehdystä käytetyn polttoaineen loppusijoituksen tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyöstä (TKS) jäsennehtynä samaan tapaan kuin voimassa olevassa pitkän aikavälin TKS-ohjelmassa (POSIVA 2000-14). Raportissa käsiteltiin maanalaisen tutkimustilan, ONKALON, suunnittelun lähtökohtia ja suunnitelmien silloista tilannetta, loppusijoituslaitoksen ja loppusijoitusjärjestelmän kehitys- ja suunnittelutyötä, loppusijoitustilojen kalliioympäristön geologisten, hydrogeologisten, pohjavesikemian ja kalliomekaniikan ominaisuuksien sekä biosfääriolosuhteiden selvittämistä samoin kuin turvallisuuden arviointiin tähtäävää tutkimusta.

Ennen TKS-2003 raportin julkaisemista STUK ja sen kutsuma asiantuntijaryhmä arvioi Posivan aiemmin valmistelemaa ohjelmaa (POSIVA 2000-14) ja esitti raportissaan (STUKin kirje KTM:lle 26.9.2001, Y811/35) johtopäätökset arvioinnistaan. Yleisellä tasolla asiantuntijaryhmä katsoi Posivan laatiman ohjelman olevan rakenteeltaan looginen, vaikkakin joitakin päällekkäisyyksiä ja epätasapainoa oli havaittavissa yksittäisten osalukujen välillä. Arviointiryhmä toi esille useita yksittäisiä tutkimus- ja kehitystarpeita. Useimmat näistä esitetyistä kommentteista otettiin huomioon valmisteltaessa aikavälillä 2001-2003 toteutettua ohjelmaa sekä suunniteltaessa tulevia tutkimuskohteita.

Tutkimusohjelman (TKS-2003) tavoitteena oli kehittää valittua teknistä ratkaisumallia käytetyn ydinpolttoaineen käsittelylle ja loppusijoitukselle sekä analysoida valitun ratkaisun toimivuutta verrattuna eri yhteyksissä esitettyihin vaatimuksiin. TKS-2003 raportissa esitettiin käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukselle suunniteltu turvallisuuskonsepti (Kuva 1). Konsepti havainnollistaa Posivan tuolloista käsitystä loppusijoitusjärjestelmän eri osien ensisijaisista toiminnoista ja keskinäisistä riippuvuuksista. Tässä konseptissa loppusijoituksen pitkän aikavälin turvallisuuden katsottiin perustuvan ensisijaisesti loppusijoituskapselien tarjoamaan radioaktiivisten aineiden pitkäaikaiseen eristykseen loppusijoituskapseleissa.

Kapseleiden pitkäkestoisen eristyskyvyn katsottiin perustuvan ensisijaisesti siihen, että kapseleissa mahdollisesti esiintyvien alkuvikojen todennäköisyys ja vikojen laajuus pidetään mahdollisimman alhaisella tasolla ja muut tekniset päästöesteet myötävaikuttavat siihen, että kapselien lähiympäristön olosuhteet säilyvät pitkäaikaisesti edullisina kapselien kestävyyskannalta.

Teknisten vapautumisesteiden suotuisia ominaisuuksia katsottiin voitavan edistää käyttämällä komponentteja, joiden materiaaliominaisuudet tunnetaan hyvin ja niiden hyväksyttävyydelle asetetaan asianmukaiset suunnittelu- ja hyväksyntärajat. Sen lisäksi suunnitelmassa esitettiin, että tekniset päästöesteet varmistavat kapselien eheinä säilymiselle otolliset olosuhteet. Loppusijoituspaikan valinnan ja loppusijoitustilan teknisen suunnitelman katsottiin varmistavan, että mahdollisesti alun perin tai myöhemmin vaurioituneista kapseleista vapautuvien radioaktiivisten aineiden kulkeutumista loppusijoitustilojen ulkopuoliseen kallioon ja edelleen biosfääriin voidaan monieste-periaatteen mukaisesti hidastaa muiden teknisten ja luonnollisten vapautumisesteiden suoman pidätyskyvyn, viivästyksen sekä laimennuksen kautta.



Kuva 1. Posivan raportissa TKS-2003 esitetty KBS-3 tyyppiseen loppusijoitusratkaisuun perustuva turvallisuuskonsepti käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukselle (Vira 2004).

Turvallisuuskonseptin suotuisten ominaisuuksien katsottiin perustuvan seuraaviin näkökohtiin (TKS-2003):

- monet loppusijoitusratkaisussa käytettävät materiaalit esiintyvät myös luonnollisissa olosuhteissa, kuten bentoniittisavi ja luonnonkupari,
- turvallisuusarviot ovat osoittaneet, että riittävän turvallisuuden varmistamiseen riittävät normaalisti vallitsevat olosuhteet kallioperässä eli ei ole tarvetta etsiä erityisen poikkeuksellisia loppusijoitusolosuhteita valitulla syvyydellä kallioperässä,
- loppusijoitustila koostuu yksinkertaisista osajärjestelmistä sekä
- loppusijoituskonseptin kehitystyötä on suoritettu pitkällä aikavälillä.

Turvallisuuskonseptin heikompia piirteitä katsottiin suunnitelmassa TKS-2003 liittyvän seuraaviin näkökohtiin:

- kiteinen kallioperä on heterogeenista, mistä on seurauksena, että epäsuotuisten virtausolosuhteiden esiintymistä ei voida kokonaan sulkea pois – tällaisten tilanteiden mahdollisuutta voidaan kuitenkin pienentää kallioperän luokittelujärjestelmään nojautuen,
- teknisten järjestelmien laatueroja ei voida kokonaan sulkea pois sekä
- minikä tahansa loppusijoitusjärjestelmän tapaan - riippumatta tutkimuspanosten kokonaismäärästä - ei voida täydellä varmuudella todistaa, että järjestelmä toimii täysin suunnitellulla tavalla.

TKS-ohjelmassa esitettiin, että turvallisuuskonseptia pyritään jatkossa kehittämään korostaen järjestelmän vahvoja piirteitä ja kehittämään niitä edelleen pyrkien samalla näiden myötä varautumaan heikkojen piirteiden kompensointiin moniesteperiaatteeseen nojautuen.

TKS-2003 ohjelmassa esitettiin, että maanalaisen tutkimustilan tarve oli tuotu esille jo loppusijoituskonseptin varhaisessa kehitysvaiheessa vuonna 1982. TKS-2003 ohjelmassa esitettiin keskeiset tavoitteet maanalaisen tutkimustilan (ONKALO) toteuttamiselle. Ennen vuotta 2003 oli selvitetty erilaisia toteutusvaihtoehtoja ONKALOLLE ja tällöin päädyttiin kahteen päävaihtoehtoon, joista toinen perustui tutkimustiloihin pääsyy osalta pystysuorien kuilujen käyttöön ja toinen spiraalimaiseen ajotunneliin. Vuonna 2003 julkaistiin täsmennetty suunnitelma tutkimuksille, joita on tarkoitus toteuttaa ONKALON tutkimustiloissa. Suunnitelmaa laadittaessa otettiin huomioon STUKin kokoaman arviointiryhmän esittämiä näkemyksiä. ONKALO-tutkimustilan suunnittelussa tarkasteltiin myös tilojen rakentamisesta ja käytöstä aiheutuvia häiriöitä ympäröivään kallioperään sekä etsittiin mahdollisuuksia vähentää syntyvien häiriöiden laajuutta. Tähän liittyen selvitettiin muun muassa mahdollisuuksia välttää betonitiivisteiden käytön aiheuttamien häiriöiden syntymistä ja rajoittaa niiden laajuutta tutkimalla alhaisemman pH:n tiivistebetonin käyttömahdollisuuksia.

TKS-2003 ohjelma sisälsi myös ohjelman käytetyn polttoaineen loppusijoituksen seuraavien vuosien TKS-työlle. Tavoitteeksi esitettiin eteneminen tasaisesti ja oikea-aikaisesti kohti pitkän ajan TKS ohjelman tavoitetta eli valmiutta jättää käy-

tyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamista koskeva lupahakemus vuoden 2012 loppuun mennessä – edellyttäen, että tehtävät tutkimukset tuohon ajankohtaan mennessä varmistavat Olkiluodon soveltuvuuden loppusijoituspaikaksi. Erityisesti paikkatutkimusohjelmasta suurimman osan katsottiin liittyvän ONKALOn toteutukseen, ja lisäksi tässä yhteydessä korostettiin tutkimuksiin liittyvää mallinnusta ja tulkintaa. Erityisesti kapselointi- ja loppusijoitustekniikan TKS-työssä yhteistyö ruotsalaisen ydinjätehuolto-yhtiö SKB:n kanssa oli jo tuolloin ollut laajaa. Posiva oli jo tuossa vaiheessa laajasti mukana myös monissa muissa loppusijoitukseen liittyvissä yhteistyöhankkeissa, erityisesti EU:n puiteohjelmissa.

Vuosien 2004-2006 ohjelman (TKS-2003) pääalueet liittyivät suunnitelman mukaan seuraaviin aihepiireihin:

- ONKALOn suunnittelu käsittäen siihen liittyvät osajärjestelmät sekä rakentamisohjelman,
- Loppusijoitusjärjestelmän suunnittelu ja kehittäminen; loppusijoitusjärjestelmän tavoitteena oli perustua korkeaan laatuun sekä tunnettuihin komponenttien materiaaliominaisuuksiin. Suunnittelutyön ohella loppusijoitusjärjestelmän komponentteja suunniteltiin kehitettävän ja huomiota kiinnitettävän osajärjestelmien ja komponenttien valmistusmenetelmien toteuttamistapoihin käytännössä,
- Turvallisuusperustelussa käytettävien menetelmien suunniteltu kehittäminen sisältäen rakentamislupa-aineistona aikanaan tarvittavan alustavan turvallisuusselosteen (PSAR) laadinnan suunnittelun,
- Loppusijoituspaikan ominaisuuksien tuntemuksen laajentaminen – sisältäen loppusijoituspaikan kokonaisvaltaisen karakterisoinnin, mallinnuksen käytön kehitysohjon, loppusijoituspaikan ominaisuuksien kehittymisen tulevaisuudessa sekä loppusijoituspaikan soveltuvuuden varmistamisen,
- Loppusijoitustilan lähialueen tuntemuksen täydentäminen – sisältäen kansainvälisen yhteistyön, kapselien ulkopuolisen alueen olosuhteiden kehittämisen, kapselien ominaisuuksien selvittämisen ja kapselisuunnitelmien kehittämisen sekä radioaktiivisten aineiden vapautumisen, pidättymisen ja kulkeutumisen arvioinnin kehittämisen sekä
- Kaukoaluetta koskevien prosessien tuntemuksen edistäminen, sisältäen pidättymisen ja kulkeutumisen arvioinnin kallioperässä sekä biosfääriin liittyvien prosessien arvioinnin.

ONKALOn rakentamisella oli keskeinen rooli aikavälillä 2004 – 2006 toteutettavaksi suunnitellussa tutkimusohjelmassa. ONKALOn keskeisten osajärjestelmien nähtiin liittyvän tutkimustunneleihin, joihin pääsy puolestaan liittyy pystykuiluihin ja ajotunneliin. Tutkimustarkoituksiin toteutettavaksi suunniteltujen tilojen kaavailtiin myöhemmässä vaiheessa toimivan loppusijoitustiloja täydentävänä osakokonaisuutena. Tutkimustilojen tarkempi suunnittelu esitettiin toteutettavaksi ennen kuin ajotunnelin rakentaminen etenee tutkimustilojen suunnitellulle syvyydelle.

Kapselointilaitoksen suunnittelussa aikavälillä 2004 - 2006 keskityttiin kuumaammion eri osajärjestelmien alustavaan suunnitteluun. Läheisesti tähän suunnit-

teluun liittyi valurauta-kupari –kapselin kehitystyö, jota suoritettiin yhteistyössä ruotsalaisen ydinjätehuolto-yhtiön SKB kanssa. Posivan kehitystyössä kapselin sulkemishitsauksen menetelmä perustui tuossa vaiheessa elektronisuihkuhitsaukseen (EBW) kun taas SKB:n suunnitelmat perustuivat silloin Posivan kannalta vaihtoehtoisena pidettyyn menetelmään eli kittatappihitsaukseen (FSW).

Loppusijoitustilojen osia koskevien kalliotilojen louhintamenetelmiä tutkittiin ja tavoitteena oli ollut louhinnan aiheuttaman häiriövyöhykkeen (EDZ) minimointi. Eri louhintamenetelmiä suunniteltiin jatkossa tutkittavaksi ONKALO-tutkimustilan louhinnan yhteydessä ottaen huomioon paikkakohtaiset kallioperän ominaisuudet. Lisäksi tutkimus- ja kehitystyön kohteina olivat kallion lujitus- ja tiivistystekniikat. Tiivistysaineiden valinnalla pyrittiin minimoimaan häiriövaikutukset ajotunnelin eri osiin. Erityisesti ennen ONKALOn louhintatöiden aloittamista kallion tiivistysmenetelmiä tutkittiin myös kansainvälisissä yhteistyöhankkeissa, erityisesti Åspön HRL-tutkimustilassa Ruotsissa. Puskuri- ja täyteainetutkimuksessa päämääränä oli tulevien vuosien kuluessa ottaa enenevästi huomioon Olkiluodon alueen kallioolosuhteet.

Loppusijoituslaitoksen suunnitteluperiaatteena pidettiin tuolla tutkimusjaksolla edelleen sitä, että pitkäaikaisturvallisuus on pystyttävä takaamaan ilman tukeutumista pitkäaikaiseen monitorointiin ja tavoitteeksi oli asetettu, että jätekapselin palauttamiseksi loppusijoitustilan tulee olla periaatteessa tarvittaessa avattavissa, mikäli palautukseen on myöhemmin perusteltuja syitä ja kehittynyt tekniikka tulevaisuudessa tekee palautuksen tarkoituksenmukaiseksi ja perustelluksi.

Turvallisuusperustelun kehitystyön suunnitelmassa otettiin huomioon viranomaisten esittämä vaatimus, että ennen vuoden 2012 loppuun mennessä toimitettavaa loppusijoitus- ja kapselointilaitoksen rakentamislupahakemusta Posivan tulee vuonna 2009 toimittaa viranomaisten arvioitavaksi loppusijoituslaitosta koskeva alustava kuvaus rakentamislupahakemukseen liittyen viranomaisille toimitettavasta aineistosta. Tähän tavoitteeseen liittyen ohjelmakauden 2004 – 2006 aikana tavoitteena oli ensinnäkin laatia turvallisuusperustelun suunnitteluraportin ensimmäinen versio vuonna 2004 ja päivittää sitä säännöllisesti sen jälkeen.

Turvallisuusperusteluun liittyvien turvallisuusarvioiden laatimisen katsottiin TKS-2003 tutkimusohjelman mukaan sisältävän seuraavia pääkohteita:

- loppusijoitusjärjestelmän alkutilan ja ennen sulkemista tapahtuvan kehittämisen kuvaus lähtien ensimmäisten kapselien sijoittamisesta loppusijoitustilaan,
- järjestelmän kehittyminen kapselien sijoittamisen jälkeen sekä
- radioaktiivisten aineiden mahdollisen vapautumisen ja kulkeutumisen kuvaus.

Tuolloin käytössä olleen YVL-ohjeen 8.4:n mukaan turvallisuusarvioiden vaadittiin sisältävän:

- arvion radioaktiivisten aineiden vapautumisesta, kulkeutumisesta päästöesteiden läpi ja aiheutuvista säteilyannoksista aikavälillä, jonka kuluessa ympäristöolosuhteet ovat ennustettavissa,
- mikäli mahdollista arvioida radioaktiivisten aineiden vapautumisen todennäköisyyttä ja säteilyannoksia johtuen epätodennäköisistä tapahtumista, jotka heikentävät pitkäaikaisturvallisuutta sekä
- epävarmuus- ja herkkyysanalyysijä sekä täydentäviä tarkasteluja sellaisille ilmiöille ja tapahtumille, joita ei voida kvantitatiivisesti arvioida.

Turvallisuustarkasteluissa tuli ohjeen YVL 8.4 mukaan tarkastella perusskenaariota ja muunnelmaskenaarioiden ohella ainakin seuraavia poikkeustilanteita:

- syvän porakaivon poraus loppusijoitusalueelle,
- jätekapseliin osuvaa syvää porareikää sekä
- huomattavan suurta kallioliikuntaa loppusijoitustilan lähialueella.

Valtioneuvoston periaatepäätöksen jälkeen julkaistun suunnitelman (Posiva 2000-14) mukaisesti arvioitiin, että jatkovaiheessa olennainen osa kallioperätutkimuksista tulee keskittymään suoritettavaksi maanalaisina ONKALO-tutkimustiloista käsin, vaikka myös maanpinnalta käsin tehtäviä tutkimuksia esitettiin tarpeelliseksi jatkaa. Jatkovaiheessa sijoituspaikkatutkimuksissa päätavoitteina katsottiin olevan:

- soveltuvien kalliotilojen ominaisuuksien määrittäminen ja tilojen valinta loppusijoitustilan jatkokehitykseen ja
- kalliotilojen karakterisointi ja loppusijoitustilan yksityiskohtainen suunnittelu turvallisuusarviointia ja ONKALON sekä loppusijoitustilojen suunnittelua varten.

Voimayhtiöiden TKS-2003 ohjelman sekä vuosisuunnitelmien 2004, 2005 ja 2006 viranomaistarkastus

Voimayhtiöt (TVO ja Fortum) toimittivat aiemmin noudatetun käytännön mukaisesti kolmivuotissuunnitelman (2004–2006) ohella myös ydinjätehuollon vuosisuunnitelmansa vuosille 2004, 2005 ja 2006. Kauppa- ja teollisuusministeriö (KTM) esitti vuotta 2004 koskevista ohjelmista näkemyksensä 25.5.2004 tekemissään päätöksissä (14/815/2003 ja 13, 14/815/2003 KTM). Näiden päätösten perusteena käytettiin myös Säteilyturvakeskuksen 19.1.2004 esittämään lausuntoon (A811/40, C811/32) sisältyneitä näkemyksiä. Lisäksi STUK laati erikseen lausunnon TKS-2003 ohjelmasta. STUKin lausunnossa vuoden 2004 ohjelmaa koskien esitettiin ydinmateriaalivalvontaa koskien kommentteja. KTM:n lausunnossa todettiin, että STUKissa oli tuolloin tekeillä alustava ohjeistus siitä, mitä tietoaineistoa Posivalta tullaan edellyttämään ydinmateriaalivalvontajärjestelmän luomiseksi.

Posivan vuodelle 2005 esittämää vuosisuunnitelmaa koskevassa KTM:n päätöksessä 30.3.2005 (12/815/2004) esitettiin osin STUKin 14.12.2004 esittämään lausuntoon (Y812/25) sekä STUKin yksityiskohtaisempaan TKS-2003 ohjelmaa koskevaan lausuntoon (4.11.2004, Y811/43) perustuen muun muassa, että turval-

lisuusperustelun suunniteltua raportointia kymmenen pääraportin muodostamana kokoelmana voitiin tuossa vaiheessa pitää järkevänä edellyttäen, että niiden kesken tulee olemaan riittävä koordinaatio ja kokonaisuutta hallitaan erillisen turvallisuusperustelun kokonaissuunnitelman avulla. KTM kiinnitti lisäksi huomiota siihen, että ydinmateriaalivalvonnan käynnistäminen ONKALO-hankkeen osalta edellyttää tarvittavan tiedon tuottamista ja oikea-aikaista toimitusta STUKille.

Posivan vuodelle 2006 esittämää vuosisuunnitelmaa koskevissa KTM:n päätöksissä TVO:lle 23.3.2006 (7/815/2005) sekä Fortumille 24.3.2006 (10/815/2005) tukeuduttiin STUKin 18.1.2006 esittämään lausuntoon (Y812/38) sekä STUKin aiempaan yksityiskohtaisempaan TKS-2003 ohjelmaa koskevaan lausuntoon (4.11.2004, Y811/43). KTM kiinnitti huomiota muun muassa siihen, että ONKALO-hanke oli tuossa vaiheessa viivästynyt alkuperäisestä aikataulustaan ja edellytti, että ministeriötä informoidaan kyseisen viivästyksen mahdollisesti vaikuttaessa rakentamislupahakemuksen edellyttämien selvitysten valmistumiseen. TVO ja Fortum ilmoittivat vastineissaan, että Posiva oli jo käynnistänyt toimet, joilla viivästyksistä TKS-työlle aiheutuvat häiriöt pyrittiin minimoimaan.

2.1.3 TKS-suunnitelma 2006 sekä vuosisuunnitelmat 2007, 2008 ja 2009

Käytetyn polttoaineen loppusijoituksen osalta TKS-suunnitelma 2006 (TKS-2006) oli myös osa STUKin 2000-luvun alussa ehdottamaa kolmivuositista väliraportointia. Väliraportointi käsitti pääraportin ohella erikseen julkaistun uusitun laitokuvauksen sekä raportit loppusijoituksen odotetusta kehityskulusta, biosfääritutkimuksista ja loppusijoituspaikan ominaisuuksista. KTM:n antamien suuntaviivojen mukaan Posiva ilmoitti tähtäävänsä käytetyn polttoaineen loppusijoituslaitosta koskevan rakentamislupahakemuksen jättämiseen vuoden 2012 loppuun mennessä. Vuoden 2009 loppuun mennessä Posiva ilmoitti tarkoituksenaan olevan esittää viranomaisten arvioitavaksi ensimmäisen yleiskuvauksen siitä aineistosta, jonka perusteella Posiva tulee aikanaan rakentamislupaa hakemaan. Käytännössä tämä tuli edellyttämään loppusijoitusjärjestelmän eri osien määrittämistä riittävän yksityiskohtaisella tasolla rakentamista ajatellen. Posiva asetti seuraavan kolmi-vuotiskauden 2007—2009 keskeisiksi tavoitteiksi:

- määritellä loppusijoitusjärjestelmän eri osien toimintakykytavoitteet siten, että loppusijoituksen turvallisuusvaatimukset kokonaisuudessaan täyttyvät, ja
- osoittaa, että nämä vaatimukset voidaan täyttää käytettävissä olevalla tekniikalla.

Raportissa esitettiin arvio toimintakykytavoitteiden nykytilasta komponentteittain. Useimmille loppusijoitusjärjestelmän osille välttämättömien toimintakykyvaatimusten katsottiin olevan periaatetasolla pitkälti jo selvillä ja niiden käytännön toteutavuuden katsottiin olevan osoitettu. Kapselointitekniikka oli kokonaisuudessaan edennyt ratkaisevasti viime vuosien aikana eikä siihen enää katsottu sisältyvän merkittäviä avoimia kysymyksiä. Toisaalta bentoniitin ja täyteaineiden käytön

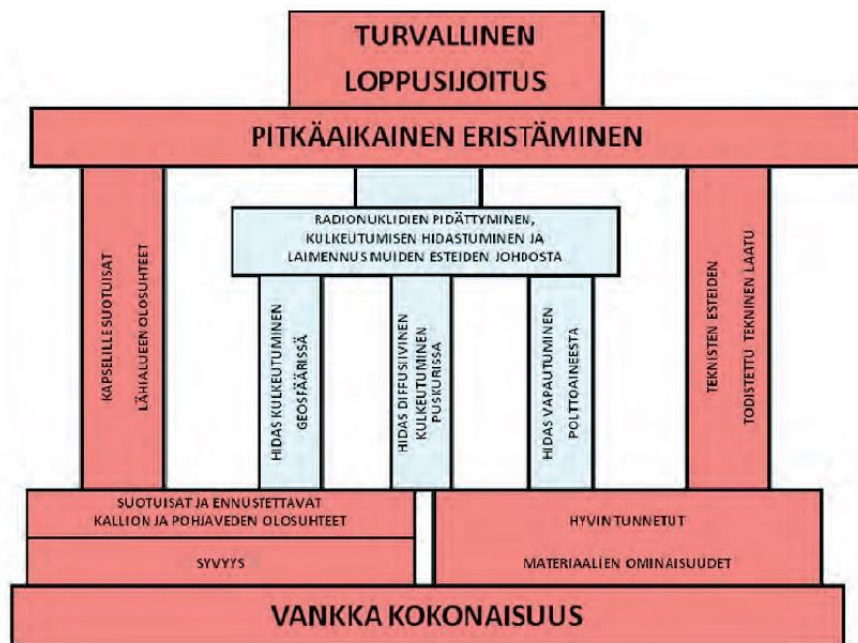
katsottiin vaativan edelleenkin intensiivistä tutkimusta. Samoin loppusijoitus-kalliolle asetettavia vaatimuksia katsottiin olevan tarvetta täsmentää siten, että niiden toteutumisen todentaminen käytännössä on yksikäsitteistä ja luotettavaa.

Loppusijoituksen turvallisuusperustelun kehittämisen esitettiin etenevän vuonna 2005 julkaistujen suunnitelmien mukaisesti. TKS-2006 ohjelman julkaisemista edeltäneiden vuosien tutkimuksissa pääpaino oli ollut loppusijoituksen odotetun kehityskulun kuvauksessa ja biosfäärimallinnuksen kehittämisessä. Seuraavaksi tutkimuskaudella 2007-2009 vuorossa olevaksi tavoitteeksi esitettiin loppusijoituksen eri ilmiöitä ja prosesseja käsittelevän kuvauksen päivittäminen ja radionuklidien kulkeutumisesta koskeva mallinnus. Lisäksi todettiin tarkoituksena olevan jatkossa kehittää samalla myös turvallisuusperustelun tuottamiseen käytettävää metodologiaa.

Maanalaisen tutkimustilan, ONKALOn, rakentaminen aloitettiin syksyllä 2004 ja se oli edennyt syksyyn 2006 mennessä noin 150 metrin syvyyteen. Tunnelipituutta oli kertynyt yli puolitoista kilometriä. TKS-2006 raportissa kuvattiin tulevaa kolmi-vuotisjaksoa koskevat toteutus suunnitelmat pääpiirteissään. ONKALossa tehtäviä tutkimuksia käsiteltiin osana Olkiluodon paikkatutkimusten kokonaisuutta.

TKS-2006 tutkimusohjelmassa esitettiin täsmennetty havainnollistus (Kuva 2) sovellettavasta turvallisuuskonseptista, joka sisältyi vastaavassa muodossa myös vuoden 2012 lopussa viranomaiskäsitteilyyn toimitettuun rakentamislupahakemukseen. Turvallisuuskonsepti esitettiin alkuperäisessä muodossa Posivan vuonna 2000 julkaisemassa TKS suunnitelmassa (Posiva 2000-14). Sittenmin sen esitystapaa on muokattu ja kuvassa 2 on esitetty TKS-2003 ohjelman pohjalta esitetty päivitetty versio.

Kuvassa 2 havainnollistetun turvallisuuskonseptin mukaisesti valitussa loppusijoitusratkaisussa loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden esitettiin TKS-2006 ohjelmassa edelleen perustuvan ensisijaisesti radioaktiivisten aineiden eristämiseen kupari-rauta-kapseleissa, joiden pitkäaikaisen kestävyuden esitettiin perustuvan kuparin hyvään korroosionkestävyyteen. Kestävyyttä katsottiin edistävän suotuisat lähialueen olosuhteet (bentoniittipuskuri, loppusijoitustunnelien täyttöaine ja eristystulpat sekä kaikkien maanalaisten tilojen sulkemISRakenteet) sekä yleisesti teknisten päästöesteiden todistettu korkea tekninen laatu. Suotuisten ja ennustettavissa olevien kallion ja pohjaveden olosuhteiden katsottiin edistävän kapseleiden kestävyyttä. Mikäli kapseli kuitenkin jostakin syystä menettää eristyskykynsä ja alkaa vuotaa, esitettiin TKS-2006:ssa arvio, että kapselia ympäröivä bentoniittipuskuri, täyttöaineet ja loppusijoitustiloja ympäröivä kallio ja loppusijoitustilojen sijaintisyvyys varmistavat, että radioaktiivisten aineiden päästöt elävään luontoon jäävät tällöinkin merkityksettömän pieniksi. Loppusijoitusjärjestelmä kokonaisuutena toteuttaa ns. moniesteperiaatteen, jolloin radioaktiivisille aineille on toisiaan täydentäviä vapautumis- ja kulkeutumisesteitä. Yhden vapautumiseen epätäydellisen toiminnan ei katsottu vaikuttavan järjestelmän turvallisuuteen kokonaisuutena.



Kuva 2. KBS 3-tyyppisen kiteiseen kallioon tapahtuvan käytetyn polttoaineen loppusijoituksen turvallisuuskonseptin pääpiirteet. Punaiset pilarit ja palkit kuvaavat loppusijoitusjärjestelmän ensisijaisia turvallisuuspiirteitä ja -ominaisuuksia, joiden tavoitteena on säilyttää vapautumisesteiden, ennen kaikkea kapselin, toimintakyky. Siniset pilarit ja palkit kuvaavat toissijaisia turvallisuustekijöitä, joilla on merkitystä erityisesti, jos radionuklideja vapautuu kapselista. Lähde: Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemus (31.12.2012). (Posiva 2012a)

Loppusijoituskapselin toiminnallisten vaatimusten luotettavan täyttämisen esitettiin TKS-2006 suunnitelmassa perustuvan kattavaan laadunvarmistusohjelmaan sekä korkeatasoiseen valmistus- ja sulkemistekniikkaan. Lukuun ottamatta pientä murto-osaa alun perin viollisia kapseleita, pääosan kapseleista arvioitiin säilyvän ehjinä.

Yhtenä lisäselvityksiä edellyttävänä osa-alueena katsottiin olevan kapselien sisässä olevan EPR-reaktorin alhaispalamaisen käytetyn ydinpolttoaineen säilyminen alikriittisenä. Mikäli loppusijoituskapselin kriittisyysmahdollisuutta alentavien rakenteiden laadun ja määrän oletetaan oleellisesti muuttuvan hyvin pitkällä aikavälillä kapselien korroosion sekä kapseleita ympäröivien materiaalien eroosion ja poiskulkeutumisen vaikutuksesta, katsottiin TKS-2006 suunnitelmassa olevan tarpeellista selvittää yksityiskohtaisesti mahdollisuuksia sulkea luotettavasti pois mahdollisuus uudelleen kriittisyyteen tilanteissa, joissa poiskulkeutuvien suojamateriaalien sijalle oletettaisiin kulkeutuvan lisää vettä.

TKS-2006 tutkimusohjelmassa esitettiin laaja kuvaus toimenpiteistä ja osatehtävistä, jotka liittyvät koko loppusijoitushanketta kuvaavan turvallisuusperustelun laatimiseen. Turvallisuusperustelun kehitystyössä merkittävänä välietappina pidettiin sitä, että viranomaisten arvioitavaksi esitetään vuoden 2009 loppuun mennessä luonnosversio alustavasta turvallisuusselosteesta (PSAR).

Turvallisuusperustelun yleiset vaatimukset sisältyivät tuossa vaiheessa Valtioneuvoston asetukseen (1999/478) sekä tarkemmat vaatimukset silloiseen YVL 8.4-ohjeeseen. Kuten edellä TKS-2003 ohjelman kuvauksessa on esitetty pitkäaikaisturvallisuutta koskevissa tarkasteluissa tuli ohjeen YVL 8.4 mukaan tarkastella perusskenaarion ja muunnelskenaarioiden ohella ainakin seuraavia poikkeustilanteita:

- syvän porakaivon poraus loppusijoitusalueelle,
- jättekapseliin osuvaa syvää porareikää sekä
- huomattavan suurta kallioliikuntaa loppusijoitustilan lähialueella.

Valtioneuvoston asetuksessa (1999/478) edellytettiin tarkasteltavaksi yksityiskohtaisemmin aikaväliä, jonka kesto on useita tuhansia vuosia ja jonka kuluessa voidaan riittävässä määrin ennustaa ihmisille aiheutuvaa säteilyaltistusta. Tätä aikaväliä myöhemmässä vaiheessa edellytettiin, että loppusijoitustilasta ympäristöön vapautuvien radioaktiivisten aineiden määrät pysyvät radionuklidikohtaisesti määriteltujen raja-arvojen alapuolella.

Näiden yleisten vaatimusten pohjalta kvantitatiivisissa arvioissa käsiteltävät aikavälit jaotellaan seuraavasti: (1) useiden tuhansien vuosien päähän ulottuvalla ajanjaksolla suoritetaan yksityiskohtaisia biosfäärikulkeutumisanalyyskejä sekä eri altistusreittien kautta aiheutuvien henkilöiden säteilyannosten arviointeja ja lisäksi arvioidaan kasveille ja eliöstölle sekä eläimille aiheutuvaa säteilyaltistusta, (2) useista tuhansista vuosista useisiin satoihin tuhansiin vuosiin ulottuvalla ajanjaksolla ei suoriteta biosfäärikulkeutumistarkasteluja vaan rajoitutaan arvioimaan radioaktiivisten aineiden päästömääriä ympäristöön sekä (3) tätä pidemmällä ajanjaksolla suoritetaan vain kvalitatiivisia tarkasteluja.

Turvallisuusperustelun tilannekatsauksessa esitettiin TKS-2006 ohjelmassa kaavailu, mitkä eri aihepiirejä koskevat raportit (10 kpl) tulevat liittymään turvallisuusperustelua kuvaavaan raportointiin. Lisäksi TKS-2006 ohjelmakuvauksessa kuvailtiin lyhyesti näiden osaraporttien kaavailtua sisältöä sekä esitettiin näiden raporttien laadinnan suunniteltu aikataulu. Lisäksi TKS-2006:ssa esitettiin yleisempi alustava kuvaus vuoteen 2012 ulottuvasta turvallisuusperustelun kehitystyöstä.

Voimayhtiöiden TKS-2006 ohjelman sekä vuosisuunnitelmien 2007, 2008 ja 2009 viranomaistarkastus

Voimayhtiöt (TVO ja Fortum) toimittivat aiemmin noudatetun käytännön mukaisesti kolmivuotissuunnitelman (2007-2009) ohella myös ydinjätehuollon vuosisuunnitelmat vuosille 2007, 2008 ja 2009. Kauppa- ja teollisuusministeriö (KTM) esitti vuotta 2007 ja yleispiirteisiä suunnitelmia vuoteen 2011 asti koskevista ohjelmista näkemyksensä 19.3.2007 tekemissään päätöksissä (14/815/2006 ja 11/815/2006

KTM). Näiden päätösten perusteena käytettiin myös Säteilyturvakeskuksen 12.1.2007 esittämään lausuntoon (Y812/49) sisältyneitä näkemyksiä. Lisäksi STUK laati erikseen yksityiskohtaisen lausunnon TKS-2006 ohjelmasta myöhemmin vuonna 2007. STUKin lausunnossa vuoden 2007 ohjelmaa koskien esitettiin sijoituspaikkatutkimusten ja maanalaisen tutkimustilan osalta arvio suunnitelluista jatkotutkimuksista ja todettiin ONKALOn rakentamisen edenneen uudistetun ja tarkistetun aikataulun mukaisesti.

Vuotta 2008 koskevia voimayhtiöiden vuosisuunnitelmia ja yleispiirteisiä suunnitelmia vuoteen 2012 asti koskevissa Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) lausunnoissa (19.3.2008; 6854/815/2008 ja 6472/815/2008) tuotiin esille STUKin 30.1.2008 esittämään lausuntoon (Y812/58) sisältyneitä havaintoja ja huomautuksia. STUK esitti pitävänsä tärkeänä Posivan esittämiä kriteerejä kallion soveltuvuudelle loppusijoituskapselien paikoiksi ja niiden hyödyntämistä tilojen asemoinnin päivityksessä. STUK toi omassa lausunnossaan lisäksi esille, että Posiva ei ole esittänyt yksityiskohtaista suunnitelmaa louhinnan aiheuttamaa häiriövyöhykettä koskevan EDZ300-projektin osalta. Lisäksi STUK edellytti Posivan kiinnittävän erityistä huomiota jännitystilamittausten suunnitteluun ja toteutukseen. Lisäksi STUK huomautti kapselointi- ja loppusijoitustekniikkaa käsitteleviä osahankkeita koskien, että kapselien valmistus- ja sulkemistekniikan osalta raportointi on hyvin niukkaa eikä ohjelmassa niiden osalta ollut esitetty raportointitavoitteita. STUK huomautti myös, että turvallisuustutkimusten raportoinnissa on ollut viiveitä mm. radionuklidien kulkeutumista ja prosessien päivitystä koskien. ONKALO-hankkeen osalta STUK totesi rakentamisen edenneen uudistetun suunnitelman mukaisesti. Viivästyminen alkuperäiseen aikatauluun nähden ei STUKin tuolloin esittämän käsityksen mukaan vielä vaikuttaisi loppusijoitushankkeen kokonaisaikatauluun.

Posivan vuodelle 2009 esittämää vuosisuunnitelmaa ja yleispiirteistä suunnitelmaa vuoteen 2013 asti koskevissa TEMin lausunnoissa 3.2.2009 TVO:lle (3272/815/2008) sekä Fortumille (3270/815/2008) osin STUKin 4.12.2008 esittämään lausuntoon (Y812/66) perustuen TEM totesi, että vuonna 2009 jatketaan ONKALOn louhintatyötä ja jatketaan rakennuslupahakemuksen asiakirjojen valmistelua. STUK totesi maanalaisen tutkimustilan T&K-toimintaan ja tekniseen suunnitteluun liittyen, että Posivan tulee vastaisuudessa kehittää pilottireikien perusteella tehtävien ennusteiden luotettavuutta, kehittää louhintatekniikka sekä kerätä louhinnasta riittävät tiedot ja terävöittää ONKALOSSA tehtävien tutkimusten kokonaissuunnittelua. Posivan raportointi EDZ300-hankkeesta on viivästynyt eikä uudelle EDZ 09-hankkeelle ollut ohjelmassa esitetty tavoitteita. STUK esitti pitävänsä kallion injektointimenetelmien kehitystyötä, pintahydrologian mallintamista sekä Olkiluodon kallioperän soveltamiskriteerien selvittämistä tärkeinä ja suotautumakokeiden tulosten mallintamista ja tulkintaa haastavana. STUK totesi, että T&K-toiminta kapselointitekniikan ja loppusijoitustekniikan alueella näyttää etenevän odotetusti huolimatta tiukasta aikataulusta ja että ONKALOn rakentaminen etenee loppusijoitushankkeelle asetetussa kokonaisaikataulussa.

2.1.4 TKS-suunnitelma 2009 vuosille 2010-2012

Syyskuussa 2009 julkaistussa kolmivuotisohjelmassa (TKS-2009) vuosille 2010 - 2012 esitettiin ensinnäkin katsaus Posiva Oy:n sekä sen omistajayhtiöiden, TVO Oyj ja Fortum Power and Heat Oy, edeltävinä vuosina tekemään ydinjätehuollon TKS-työhön sekä suunnitelma seuraavien vuosien toiminnalle keskittyen ajanjaksoon 2010 - 2012. Tämä kolmivuotisohjelmaa käsittelevä raportti oli ensimmäinen vuonna 2009 voimaan astuneen ydinenergialain muutoksen jälkeen toimitettu, uudistetun 28 §:n vaatimusten mukainen raportti. Posiva oli kuitenkin jo aiemmin toimittanut kolmivuotisraportit TKS 2003 ja TKS 2006 perustuen KTM:n päätökseen (3.12.2002). Muuttuneen käytännön myötä jatkossa myös viranomaisien (TEM ja STUK) lausunnot esitetään näiden kolmivuotissuunnitelmien pohjalta.

Käytetyn polttoaineen loppusijoituksen aikataulu määrättiin KTM:n päätöksessä 9/815/2003. Päätöksen mukaan TVO:n ja Fortumin tuli joko erikseen, yhdessä tai Posiva Oy:n välityksellä varautua esittämään vuoden 2012 loppuun mennessä ydinenergia-asetuksen mukaiset käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen rakentamislupaa varten tarvittavat selvitykset ja suunnitelmat.

Lisäksi vaadittiin, että ydinjätehuoltovelvollisten tulee esittää viimeistään vuonna 2009 ydinenergia-asetuksen 32 §:ssä luetellut rakentamislupaa varten tarvittavat selvitykset siten, että niistä käy ilmi se, miltä osin rakentamisluvan edellyttämä asiakirja-aineisto vielä tuossa vaiheessa edellyttää täydentäviä selvityksiä sekä se, millä tavalla ja missä aikataulussa aineistoa oli suunniteltu täydennettävän. Vaatimuksen mukainen ns. esiluvitusaineisto laadittiin osin samanaikaisesti TKS-2009-ohjelman kanssa ja toimitettiin viranomaisille syyskuun 2009 loppuun mennessä.

TKS-2009 -ohjelman tavoitteena oli luoda suunnitelma, jolla varmistetaan, että käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta koskevan rakentamislupavalmiuden edellyttämä tietotaso saavutetaan vuoteen 2012 mennessä.

Suurimman osan kolmivuotiskauden 2010 - 2012 TKS-työstä suunniteltiin suuntautuvan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen. Työn suunniteltiin käsittävän Olkiluodon loppusijoituspaikan varmentavien tutkimusten loppuunsaattamisen, tarvittavien laitosten suunnittelun ja käytettävän loppusijoitustekniikan kehittämisen rakentamislupahakemuksen edellyttämälle tasolle sekä rakentamislupahakemukseen liitettävän pitkäaikaisturvallisuutta koskevan turvallisuusperustelun tuottamisen. Samalla käynnistettiin lupahakemukseen tarvittavien asiakirjojen valmistelu.

Kaudella 2010 - 2012 loppusijoituspaikan ominaisuuksien kuvauksen suunniteltiin tarkentuvan tutkimusalueen itäiselle alueelle porattavien uusien tutkimusreikien myötä. Tämän lisäksi maanalaisessa tutkimustilassa, ONKALOSSA, tehtävien kartoitusten ja tutkimusten suunniteltiin ulottuvan varsinaisen loppusijoituskallion lähialueille. Loppusijoitusyvytydessä tehtäviä tutkimuksia ja kokeita varten ONKALOON varauduttiin tekemään useita ns. tutkimuskuprikoita. Tutkimuspaikalla, maanpinnalla ja ONKALOSSA tehtävien tutkimusten ja kokeiden suunniteltiin tukevan paitsi paikkamallinnusta yleensä myös tutkimuspaikan erityisominaisuuksien

selvittämistä. Tällaisia kysymyksiä olivat muun muassa (1) kallion hilseilylujuus, (2) tutkimuspaikan jännitystilän mallintaminen, (3) kallion muuntuneisuus ja sen vaikutus loppusijoitustilan lähikallion ominaisuuksiin ja (4) kalliopohjavesiolosuhteiden stabiilisuus.

Edellä mainittujen maanpinnalta ja ONKALOSSA tehtäväksi suunniteltujen kartoitusten, tutkimusten ja kokeiden ohella tutkimuspaikan ominaisuuksien kuvauksen suunniteltiin nojautuvan olennaisesti Olkiluodon seurantaohjelman (Olkiluoto Monitoring Programme, OMO) tuottamaan tietoon. TKS-2009 -kaudella Olkiluodon seurantaohjelman suunniteltiin laajenevan kenttätutkimusten myötä itäiselle alueelle samoin kuin yhä syvemmälle kallioon ONKALON rakentamisen edistymisen myötä. Seurantaohjelmasta saatavien tietojen avulla suunniteltiin luotavan havaintoihin pohjautuva käsitys mm. syvien suolapitoisten vesien mahdollisesta kumpuamisesta ylöspäin sekä lämpötilan muutosten etenemisestä kalliossa.

Kaudella 2010 - 2012 myös kallion soveltuvuus-kriteerien (Rock Suitability Criteria, RSC) kehitystyötä suunniteltiin jatkettavan. Soveltuvuus-kriteereissä suunniteltiin otettavan huomioon sekä pitkäaikaisturvallisuuden että tilojen rakentamisen kannalta merkittävät kallio-ominaisuudet. Tavoitteena oli tuolla kaudella kehittää menettelyt sekä loppusijoitukseen soveltuvien kalliotilavuuksien tunnistamiseen että tunneliosuuksien ja loppusijoitusreikien soveltuvuuden arvioimiseen. Tutkimuskaudella 2010 - 2012 keskeisiä RSC-kriteerien kehitykseen liittyen suunniteltuja tehtäviä olivat kriteereiden riittävyden ja toimivuuden arviointi, RSC-II-kriteerien kehitys sekä kriteerien käytännön soveltamiseen liittyvien menettelytapojen kehitys.

Posivan suunnittelema käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitos tulee koostumaan kahdesta ydinjätelaitoksesta: maanpäällinen kapselointilaitos ja varsinainen maanalainen loppusijoituslaitos. Kapselointilaitoksessa käytetty ydinpolttoaine kapseloidaan loppusijoituskapseliin. Loppusijoituskapselit siirretään kapselointilaitoksesta maanalaiseen loppusijoituslaitokseen, joka koostuu loppusijoitustiloista, näitä yhdistävistä keskustunneleista, ajotunnelista, kuiluista sekä muista maanalaisista apu- ja teknisistä tiloista.

Kaikille loppusijoituslaitoksen järjestelmille, rakenteille ja laitteille suunniteltiin määriteltävän turvallisuusluokitus niiden turvallisuusmerkityksen perusteella. ONKALON järjestelmien osalta Posiva oli tuossa vaiheessa laatinut luokitusasiakirjan, jonka STUK oli hyväksynyt. Kapselointilaitoksen ja loppusijoituslaitoksen luokituksen osalta ehdotus luokitusasiakirjaksi suunniteltiin toimitettavaksi rakentamislupahakemuksen yhteydessä. TKS-2009 -kaudella kapselointilaitoksen suunnittelutyön suunniteltiin keskittyvän rakentamislupahakemusaineiston laadintaan.

Loppusijoituslaitoksen pitkästä käyttöajasta johtuen loppusijoitustilojen rakentamista koskien suunnitelmassa esitettiin olevan tarkoitus rakentaa ja sulkea yksittäisiä tunnelistoja vaiheittain. Tilojen käyttövaiheessa loppusijoitustunneleita louhitetaan, kapseleita sijoitetaan ja loppusijoitustunneleita täytetään osittain samanaikaisesti.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustekniikan kehitystyön suunniteltiin muodostuvan seuraavista "tuotantolinjoista": loppusijoitukseen tarvittavat kalliotilat, puskuri, loppusijoituskapseli sekä täyttö ja sulkeminen.

Kalliotilojen tuotantolinjan tavoitteena esitettiin olevan suunnitella ja kuvata maanalaisten tilojen rakentamisen eri vaiheet loppusijoituksen alkutilan määrittelymiseksi pitkäaikaisturvallisuuden arviointia varten ja tarkemman toteutussuunnittelun pohjaksi. Tarkastelujen suunniteltiin painottuvan tästä syystä niihin kalliorakentamisen tekijöihin, joiden arvioitiin vaikuttavan kalliooperän ominaisuuksiin loppusijoituksen alkutilassa ja joilla katsottiin voivan olla vaikutusta teknisten vapautumisesteiden toimintaan.

Tutkimuskaudella 2010 - 2012 bentoniittipuskurin suunniteltiin olevan keskeisessä asemassa sekä tekniikan kehitystyössä että loppusijoitusjärjestelmän toimintakykyselvityksissä. Puskurin kehitystyön esitettiin painottuvan toteutettavan ratkaisun suunnitteluun ja puskurilohkojen valmistus- ja asennustapojen määrittelyyn. Kehitystyötä suunniteltiin koordinoitavan BENTO-ohjelman puitteissa. Valittu puskurisuunnitelma perustui puristetusta MX-80-tyyppisestä natriumbentoniitista valmistettuihin, sylinterin ja renkaan muotoisiin lohkoihin, jotka ympäröivät kapselin joka puolelta. Puskurin suunnitteluperusteiden täsmentyessä suunnitelmaa kaavailtiin muokattavan vastaavasti. Suunnittelu- ja verifiointivaiheen jälkeen suunnittelun toimivuutta esitettiin testattavan sekä yksittäisinä komponentteina että kokonaisuutena. Tavoitteena on ollut osoittaa puskurin toimintakyky ja vaatimustenmukaisuus rakentamislupahakemuksen edellyttämällä tarkkuudella. Puskurikomponenttien valmistuksessa oli jo aiemmin edetty sekä yksiaksiaalisella että isostaattisella menetelmällä pienen mittakaavan valmistuskokeista täysimittakaavaisten lohkojen laatuvaatimukset täyttävään valmistukseen. Bentoniittilohkojen asennusta suunniteltiin testattavan ONKALOSSA. Koeasennuksiin suunniteltiin liittyvän myös mittavan monitorointi- ja tiedonkeruujärjestelmän kehittämisen sekä samanaikaisesti myös puskurin asennuksen laadunvarmistusmenetelmien kehittämisen. Suunnitelmien mukaan sekä pienen (1:3) että täyden mittakaavan puskurin toteutusdemonstraatioiden valmistelut ajoittuivat vuosille 2010 - 2012.

Vuosien 2010 - 2012 suunnitelmiin kuului käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden osoittaminen laatimalla ns. turvallisuusperustelu (Safety Case), jolla kansainvälisesti omaksutun määritelmän mukaisesti tarkoitetaan kaikkea sitä teknis-tieteellistä aineistoa, analyysejä, havaintoja, kokeita, testejä ja muita todisteita, joilla perustellaan loppusijoituksen turvallisuus ja turvallisuudesta tehtyjen arvioiden luotettavuus. Yhteenveto turvallisuusperustelusta suunniteltiin liitettävän myös alustavaan turvallisuusselosteeseen (PSAR).

Vuonna 2008 laaditun alustavan suunnitelman mukaan turvallisuusperustelu suunniteltiin tuotettavan useana erillisenä raporttina, joista tärkeimmistä suunniteltiin esitettävän: (1) loppusijoitusjärjestelmän kuvaus, (2) loppusijoitukseen vaikuttavien prosessien kuvaus, (3) turvallisuusanalyysissä tarkasteltavien skenaarioiden määrittely, (4) mallien ja lähtötietojen kuvaus, (5) skenaarioanalyysit (arviot loppusijoituksen vaikutuksista), (5) täydentävät turvallisuutta tukevat tarkastelut sekä (6) turvallisuusperustelun yhteenveto.

Turvallisuusperustelun yhdeksi lähtökohdaksi asetettiin tuolloin loppusijoitusjärjestelmälle määritellyt toimintakykytavoitteet ja tavoiteominaisuudet. Teknisten päästöesteiden alustavat toimintakykytavoitteet oli määriteltävä lähtien loppusijoitusympäristön odotettavissa olevasta todennäköisestä kehityskulusta (Design

Basis Scenario) siten, että tavoitteiden toteutuessa loppusijoituksen turvallisuusvaatimukset mahdollisista yksittäisistä poikkeamista huolimatta täyttyvät suurella varmuudella. Loppusijoitustiloja ympäröivälle lähikalliolle oli puolestaan määritelty alustavat tavoiteominaisuudet, joiden suunniteltiin toimivan perustana RSC-kriteereille, joita on tarkoitus soveltaa yksittäisten loppusijoitustunnelien ja -reikien paikkojen valintaan.

Keskeisiksi TKS-tehtäviksi ennen rakentamislupahakemuksen jättämistä asetettiin vaatimuksia lisätarkasteluille sellaisiin näkökohtiin ja epävarmuuksien liittyen, jotka voisivat merkittäväällä tavalla kyseenalaistaa pitkäaikaisturvallisuusarvioiden luotettavuuden. Keskeiseksi TKS-tehtäväksi ja tavoitteeksi kolmivuotiskaudelle 2010 - 2012 asetettiin vapautumisesteiden (käytetty polttoaine, kapseli, puskuri, lähikallion ominaisuudet sekä loppusijoitusjärjestelmän komponenttien väliset rajapinnat) alkutilojen määrittely perusskenaariossa. Erityisen huomion kohteena katsottiin olevan puskurin ominaisuudet, mutta merkittävänä kysymyksenä pidettiin myös sitä, millaisella todennäköisyydellä loppusijoitustiloihin voisi tarkastusmenetelyistä huolimatta päätyä viallinen kapseli ja millainen vika tällöin voisi olla kyseessä.

Toisena keskeisenä tehtävänä pidettiin suunnitelmassa mahdollisten vaihteluvälien määrittelyä puskurin ominaisuuksien odotettavissa olevalle kehitykselle. Erityisen tarkastelun kohteina suunnitelmassa mainittiin: (1) mineraalien muuntumisprosessit, mm. korkean pH:n veden ja puskurin välinen vuorovaikutus (sementin vaikutus), montmorilloniitin muuntuminen ja sementoituminen, montmorilloniitin ja pohjaveden välinen vuorovaikutus sekä raudan ja bentoniitin välinen vuorovaikutus, (2) puskurin jäätymis-sulamissyklin vaikutusten arviointi ja (3) virtauskanavien muodostuminen ja eroosio (sekä mekaaninen että kemiallinen eroosio).

Muina merkittävänä tarkastelukohteina suunnitelmassa mainittiin: (1) pohjaveden virtausolosuhteet ja suolaisuus erityisesti loppusijoitusreikien lähialueella eri tarkasteluajanjaksoina, (2) kallion puskurikapasiteetti (pH, pelkistyskyky), (3) mikrobireaktioissa sulfaattista pelkistyvän sulfidin maksimimäärä ja muodostumisnopeus huomioiden kalliossa esiintyvä metaani-kaasu, (4) loppusijoitustilojen vaikutukset kallio-olosuhteisiin pitkällä aikavälillä (lämpötila, louhinta, tiivistys, jännityskentän muutokset) ja (5) kalliomekaaninen kuormitus; erityisesti kalliosiirrosten vaikutus.

Posiva suunnitteli myös hankkivansa lisätietoa turvallisuuden arvioinnissa tarvittavia skenaariomäärittelyjä varten. Tutkimuskaudella suunniteltiin olevan käynnissä muun muassa seuraavat hankkeet (1) kansainvälinen Grönlannin analogia-projekti (GAP), jonka tulosten perusteella tavoiteltiin saatavan kokonaisvaltainen ja realistinen näkemys siitä, miten jääpeite ja ikirouta saattavat vaikuttaa käytetyn ydinpolttoaineen geologiseen loppusijoitukseen ja (2) Ilmatieteen laitoksen toteuttama hanke, jonka päämääränä oli arvioida lämpimien ja kylmien jaksojen aika-kausia, niiden todennäköisyyttä ja mahdollisia ääriarvoja eri ilmastoskenaarioissa seuraavien 100 000 vuoden aikana.

TKS-2009 toimintasuunnitelmassa tarkasteltiin myös edelliselle kolmivuotiskaudelle (2007 - 2009) asetettujen tavoitteiden toteutumista. Seuraavan kolmivuotiskauden (2010 - 2012) osalta TKS-2009 toimintasuunnitelmassa tuotiin esille eri

osa-aihepiireille asetettuja tavoitteita muun muassa seuraaviin kohteisiin liittyen (1) käytetyn polttoaineen loppusijoituspaikan ominaisuudet ja soveltuvuus, (2) laitossuunnittelu, (3) loppusijoitusjärjestelmän eri osakokonaisuudet eli kalliotilat, puskurimateriaali, kapseli, tunnelitäyttö, tilojen sulkeminen sekä loppusijoituksen mahdollinen peruuttaminen, (4) turvallisuusperustelun pääkohdat ja tuotantoprosessi.

TKS-2009-toimintasuunnitelmassa käsiteltiin lisäksi vaihtoehtoiseen loppusijoitusratkaisuun KBS 3H liittyviä tutkimussuunnitelmia.

Voimayhtiöiden TKS-2009 ohjelman 2010-2012 viranomaistarkastus

Toimintasuunnitelmaa TKS-2009 koskien työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) antoi 31.12.2010 lausuntonsa ydinjätehuoltovelvollisille eli TVO:lle ja Fortumille (TEM/2967 ja 2963/08.05.01/2009). TEMin pyynnöstä STUK antoi asiasta oman lausuntonsa 5.10.2010 (5/H48112/2009). Loppusijoituspaikkaan liittyen STUK huomautti, että Posiva oli tuossa vaiheessa julkaissut vain vähän tietoa kalliooperän luokitusjärjestelmään liittyvästä kehitystyöstä eikä ennusteiden onnistumista voitu vielä tuossa vaiheessa kunnolla arvioida. Posivan vastineessa todettiin, että kallion luokitusjärjestelmän toimivuus ja vaikutukset kalliotilojen suunnitteluun oli kaavailtu selvittäväksi vuoden 2011 aikana ja tehtävä työ suunniteltiin raportoitavan rakentamislupa-aineiston yhteydessä. STUK esitti lausunnossaan lisäksi, että loppusijoituspaikan kemialliseen stabiiliuteen sekä kalliooperän luokitusjärjestelmän jatkekehittämiseen ja testaamiseen tulee liittymään lisätyötarpeita, kuten kalliooperän stabiiliustutkimukset ja kalliooperän kokonaispuskurikapasiteetin selvittäminen. Niin ikään huokosvesien ja pohjaveden suolapitoisuuden erojen selvittämisessä katsottiin olevan vielä epävarmuuksia. Myös loppusijoitusalueen itäosan karakterisointia ehdotettiin STUKin lausunnossa täydennettäväksi. Posivan vastineessa todettiin, että itäisen tutkimusalueen tutkimuksia jatketaan vuosien 2010 - 2012 aikana. Vastineessa todettiin edelleen, että kallion luokitusjärjestelmän toimivuus ja vaikutukset kalliotilojen suunnitteluun oli tarkoitus selvittää vuoden 2011 aikana. Vastineessa todettiin myös, että kalliomekaanisia tutkimuksia on tarkoitus jatkaa sekä tunnelin louhinnan että kuilujen nousuporausten yhteydessä tehtävillä tutkimuksilla. Louhituissa tiloissa esitettiin olevan tarkoitus tehdä myös jännitystilamittauksia työhön sopivalla kalustolla.

Loppusijoitusjärjestelmään liittyen STUK totesi loppusijoituskapselin kehityksen ja tutkimusten raportoinnin viivästyneen ja STUKin käsityksen mukaan kapselin turvallisuustoimintojen täyttymiseen katsottiin tuossa vaiheessa vielä liittyvän avoimia kysymyksiä. Samoin STUK totesi, että TKS-2009 suunnitelmassa oli esitetty puskuriin ja loppusijoitustunneliin liittyvän vielä paljon tutkimus- ja kehitystarpeita sekä avoimia kysymyksiä. STUK huomautti myös, että järjestelmäsuunnittelussa ei tuossa vaiheessa ollut tarkasteltu riittävän laajasti yhteyttä käyttöhäiriöiden ja onnettomuuksien asettamien vaatimusten ja suunnittelun lähtötietojen välillä eikä aikataulusuunnitelmaa turvallisuusselosteeseen sisältyvien järjestelmien kuvausten ja aihekohtaisten raporttien laatimisesta.

Lisäksi STUK huomautti, ettei tutkimusohjelmaan vielä tuossa vaiheessa sisällynyt suunnitelmaa kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suunnittelua ja käyttötur-

vallisuutta koskevan todennäköisyysperusteisen riskianalyysin suorittamisesta. Turvallisuusperustelua koskevassa huomautuksessa STUK totesi, että suunnitelma todennäköisyysperusteisen riskianalyysin suorittamisesta oli esitetty osana STUKille toimitettua alustavaa hakemusaineistoa, mutta sitä ei ollut huomioitu TKS-2009-ohjelmassa. STUK huomautti lisäksi ydinsulkuvalvontaan liittyen, että tutkimusohjelmassa maanalaisen tutkimustilan rakentamisvaiheen kuvaus ei tuossa vaiheessa ollut riittävä koko kapselointi- ja loppusijoituslaitosta varten.

TVO:n toimittamassa vastineessa todettiin, että esitetyt huomautukset oli suunniteltu otettavan huomioon viimeistään rakentamislupahakemuksen yhteydessä. Ydinsulkuvalvontaan liittyen vastineessa todettiin, että valvonnan on suunniteltu tapahtuvan ydinsulkukäsikirjan mukaisesti ja tarkennettu suunnitelma ydinaseiden leviämisen estämiseksi on suunniteltu sisällytettävän rakentamislupahakemuksen yhteydessä toimitettavaan aineistoon.

Turvallisuusperusteluun liittyen TEMin lausunnossa todettiin, että turvallisuusperustelun suunnitelma on tarkoitus päivittää vielä ennen rakentamislupahakemuksen toimittamista viranomaisten käsiteltäväksi vuoden 2012 loppuun mennessä. STUK totesi lausunnossaan, että turvallisuusperustelun luotettavuutta lisääisivät vaihtoehtoisten ilmastoskenaarioiden laatiminen, skenaarioiden muodostamista varten tehtävät kvantitatiiviset tarkastelut sekä skenaarioiden muodostusmenetelmien johdonmukaisempi integrointi loppusijoituskonseptiin ja sen turvallisuustoimintoihin. STUK huomautti turvallisuuden osoittamiseen liittyen, että suunnitelmista ei tuossa vaiheessa riittävän selvästi käynyt ilmi koko loppusijoitusjärjestelmän kattavan analyysin toteuttamistapa. TVO:n toimittaman vastineen mukaan turvallisuusperustelussa on suunniteltu analysoitavan myös usean kapselin rikkoutumista samalla aikavälillä ja tällaisen tilanteen yhteydessä arvioidut seuraukset radionuklidipäästöjen suhteen on suunniteltu raportoitavan vuonna 2012.

Tulevaan rakentamislupahakemukseen liittyen TEMin lausunnossa todettiin, että suurin osa TKS-työstä suuntautuu käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen ja tarkoituksena on varmistaa, että rakentamislupavalmiuden edellyttämä tietotaso saavutetaan vuoteen 2012 mennessä. STUKin mukaan tavoite saavuttaa valmius rakentamisluvan hakemiseen vuonna 2012 katsottiin olevan vaativa. TVO:n ja Fortumin toimittamissa vastineissa todettiin Posivan olevan tietoinen aikataulun tiukkuudesta, mutta voimayhtiöt katsoivat suunniteltujen tehtävien olevan toteutettavissa ja vaaditut selvitykset esitettiin toimitettavaksi rakentamislupahakemuksen jättämisen yhteydessä vuonna 2012.

2.1.5 YJH-suunnitelma 2012 vuosille 2013-2015

Syyskuussa 2012 julkaistussa kolmivuotisohjelmassa (YJH-2012) vuosille 2013 - 2015 esitettiin sekä katsaus Posiva Oy:n sekä sen omistajayhtiöiden, Teollisuuden Voima Oyj ja Fortum Power and Heat Oy, viime vuosina tekemään ydinjätehuollon TKS-työhön että suunnitelma seuraavien vuosien toiminnalle keskittyen ajanjaksoon 2013 - 2015 ja yleisemmällä tasolla suunnitelma ulottuen vuoteen 2018.

Suurimman osan kolmivuotiskauden tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyöstä suunniteltiin suuntautuvan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen. YJH-2012-ohjelmassa päätavoitteen esitettiin olevan suunnitelman esittäminen siitä, miten vuosien 2013 - 2015 aikana tehtävällä työllä saatetaan rakentamislupahakemusvaiheen suunnitelmat sellaiseen valmiuteen, että loppusijoituslaitoksen rakentamisvaiheen toteuttaminen on mahdollista aloittaa. Ohjelmakauden loppupuolella suunniteltiin olevan tarkoitus valmistautua yhteistoimintakokeisiin. Niiden avulla on suunniteltu osoitettavan, että käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittaminen KBS 3-menetelmällä Olkiluodossa on mahdollista.

Ohjelmassa käsitellyn tutkimus- ja kehitystyön suunniteltiin käsittävän Olkiluodon loppusijoituspaikan varmentavien tutkimusten loppuunsaattamisen, tarvittavien laitosten suunnittelun ja käytettävän loppusijoitustekniikan kehittämisen loppusijoitustoiminnan käynnistämisen edellyttämälle tasolle sekä myöhemmin valmisteltavaan käyttölupahakemukseen liitettävän pitkäaikaisturvallisuutta koskevan turvallisuusperustelun viimeistely. Loppusijoituksen perussuunnitelman mukaisen työn ohessa suunniteltiin selvittävän Ruotsin SKB:n kanssa yhteistyössä vaihtoehtoisen ns. vaakasijoitusratkaisun (KBS-3H) toteutettavuutta ja pitkäaikaisturvallisuutta. Ohjelmassa esitettyjen töiden ajoittumisen ja osin sisällönkin kannalta on ratkaisevaa, miten vuoden 2012 aikana jätettävän rakentamislupahakemuksen käsittely etenee viranomaispalautteineen ja milloin rakentamislupa myönnetään.

Syksyllä 2012 ilmestynyt Olkiluodon paikankuvausraportti (Site Description) oli yhteenvedo varmentavista tutkimuksista, joilla Posiva Oy:n näkemysten mukaan tullaan osoittamaan Olkiluodon soveltuvuus loppusijoituspaikaksi. Raportissa esitettiin, että alueella pitkään jatkuneissa tutkimuksissa ei ole ilmennyt merkkejä seikoista, jotka voisivat kyseenalaistaa soveltuvuuden. Eräistä Olkiluodon piirteistä suunniteltiin kuitenkin vielä tehtäväksi tarkentavia lisätutkimuksia kolmevuotiskauden 2013 - 2015 aikana.

Loppusijoituspaikan täsmentyvän kallioperän karakterisoinnin ja mallinnuksen päätavoitteeksi esitettiin tuottaa vuoden 2016 loppuun mennessä ajan tasalle saatettu paikankuvausraportti (Olkiluoto Site Description 2016). Sitä on suunniteltu käytettävän turvallisuusarvioinnin päivityksessä sekä laitossuunnitelmien laatimiseen. Ohjelmakauden aikana tutkimusten on suunniteltu keskittyvän aikaisemman paikkaraportoinnin yhteydessä havaittujen avoimien asioiden selvittämiseen ja tutkimusten täydentämiseen, kuten esimerkiksi loppusijoitusalueen itäosan rakennemallien luotettavuuden parantamiseen, jännitystilän seikkaperäisempään ymmärtämiseen loppusijoitusvyvydellä, hydrogeokemiallisten prosessien kuvaamiseen sekä kallioperän kivilajeista muodostuvan kalliomatriisin ominaisuuksien määrittämiseen.

Tutkimuskaudella 2013 - 2015 pintahydrologian mallia on suunniteltu ylläpidettävän ja kehitettävän, jotta mallin sovellettavuutta turvallisuusperustelun eri laskeutustapauksiin voidaan lisätä. Laitospaikan geologian mallin tarkistuksessa käytetään erityisesti tutkimusalueen itäosan geologian ja geofysiikan tutkimustietoja sekä ONKALON kartoitusaineistoja. Kalliomekaanista mallia on suunniteltu tarkistettavan vaiheittain uuden tiedon karttuessa ja sitä kehitetään käytettävyyden

parantamiseksi. Malli on tarkoitus ottaa jatkossa toteuttamisen työkaluksi loppusijoituslaitoksen suunnittelijoiden ja rakentajien käyttöön. Hydrogeologiset tutkimukset keskittyvät tällä ohjelmakaudella erityisesti suunnittelualueen itäosan hydrogeologisten ominaisuuksien selvittämiseen sekä ONKALON pohjavesivaikutusten arviointiin. Hydrogeologisen rakennemallin saattaminen vastaamaan kertynyttä tietoa suunniteltiin valmistuvan vuoden 2014 aikana.

Hydrogeokemian tutkimusten teemat kytkeytyvät pohjavesisysteemin kemialliseen kokonaispuskurikapasiteettiin, sulfidin kiertoon sekä suolaisuuden jakamaan ja paleohydrogeologiseen kehitykseen. Radionuklidien kulkeutumisominaisuuksien konseptia tarkistetaan uuden geologisen kartoitusaineiston ja laboratoriotutkimusten perusteella. ONKALOSSA tehtävä matriisidiffuusio- ja REPRO esitettiin suunnitelmassa saatavan päätökseen tällä ohjelmakaudella.

Kallion soveltuvuusluokitteludemonstraatioon liittyvien töiden suunnitellaan jatkuvan tutkimusjakson alkuvaiheessa ONKALOSSA. Vuonna 2013 suunniteltiin suoritettavaksi loput kaavailluista kairareikätkätkimyksistä ja soveltuvuusluokittelumenettelyn (RSC) viimeistely. Ennen käyttöluvapahakemuksen jättämistä esitettiin olevan tarkoitus julkaista Posiva-raportti, joka sisältää kattavasti RSC:n soveltamisesta saadut kokemukset, tehdyn kehitystyön ja mahdollisesti tarkistetun luokittelumenettelyn.

Kapselin suunnittelun yhteenveto on esitetty vuonna 2012 julkaistussa suunnitelmaraportissa ja kapselin koko tuotantolinjan erillisessä raportissa. Kapselin suunnittelussa, toimintakyvyn osoittamisessa ja tuotantolinjan määrittelyssä katsottiin edelleen olevan muutama aihepiiri, joissa selvitystyötä jatketaan meneillään olevalla ohjelmakaudella. Kuparivaipan sulkemismenetelmän valinta tutkittujen vaihtoehtojen (elektronisuihkuhitaus (EBW) ja kitkatappihitaus (FSW)) kesken oli suunniteltu tehtäväksi kolmivuotiskauden aikana ja maaliskuussa 2014 Posiva Oy ilmoitti päätyneensä samaan ratkaisuun ruotsalaisen SKB:n kanssa eli kitkatappihitaus -vaihtoehtoon. Jatkossa yhtiöt yhdistävät voimansa ja käynnistävät yhteisen ohjelman sekä kitkatappihitauslaitteiston että toteutusmenetelmän jatkokehittämiseksi ja luvittamiseksi.

Puskurin kehitystyö on aiemmin painottunut toteutettavan ratkaisun yksityiskohtaiseen suunnitteluun ja puskurilohkojen valmistus- ja asennustekniikoiden kehitykseen ja testaukseen. Puskurisuunnitelma on tarkoitus viimeistellä meneillään olevan ohjelmakauden aikana mallinnusten ja toimintakyvyn liittyvien tutkimusten, suunnittelu- ja kehitystyön, laboratoriomittakaavassa tehtävien testien sekä täydessä mittakaavassa ONKALOSSA tehtävän puskuridemonstraation tulosten perusteella. Puskurin valmistustekniikan kehityksessä siirrytään täyden mittakaavan puskurilohkojen valmistuksen testaukseen isostaattisella puristusmenetelmällä.

Nykyisen perussuunnitelman mukainen loppusijoitustunnelien täyttö muodostuu loppusijoitustunnelin lattian tasausmateriaalista, Friedland-savesta puristetuista lohkoista sekä lohkojen ja kallion väliin jäävän tilan täyttävistä pelleteistä. Ohjelmakauden aikana on suunniteltu tehtävän täyttökäytännön testejä ONKALON demonstraatiotunneleissa. Loppusijoitustunnelin päätytulpan yksityiskohtainen suunnittelu, mukaan lukien betonireseptin kehitys, on suunniteltu toteutettavaksi kolmivuotiskaudella 2013 - 2015.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden osoittamiseksi on laadittu ns. turvallisuusperustelu, jonka yhteenveto on liitetty myös alustavaan turvallisuusselosteeseen (PSAR). Turvallisuusperustelun yhtenä lähtökohdista ovat olleet loppusijoitusjärjestelmälle määritellyt toimintakykytavoitteet ja tavoiteominaisuudet. Teknisten päästöesteen alustavat toimintakykytavoitteet on määritelty lähtien loppusijoitusympäristön odotettavissa olevasta todennäköisestä kehityskulusta siten, että tavoitteiden toteutuessa loppusijoituksen turvallisuusvaatimukset mahdollisista yksittäisistä poikkeamista huolimatta täyttyvät suurella varmuudella. Loppusijoitustiloja ympäröivälle lähikalliolle on puolestaan määritelty alustavat tavoiteominaisuudet, jotka toimivat perustana RSC-kriteereille, joita sovelletaan loppusijoitustunnelien ja -reikien paikkojen valintaan.

Keskeisiksi tehtäviksi rakentamislupahakemuksen jättämisen jälkeen on tutkimusohjelmassa asetettu lisätarkasteluja koskien sellaisia näkökohtia ja epävarmuuksia, jotka voisivat merkittäväällä tavalla kyseenalaistaa pitkäaikaisturvallisuusarvioiden luotettavuuden. Keskeinen tehtävä ja tavoite käynnissä olevalle kolmi-vuotiskaudelle on vapautumisesteen (käytetty polttoaine, sekä loppusijoitusjärjestelmän komponentit ja niiden väliset rajapinnat) toimintakykyyn liittyvien epävarmuuksien vähentäminen ja avoimena olevien asioiden ratkaiseminen. Esitetyt tutkimussuunnitelman mukaan erityisen huomion kohteena ovat: (1) bentoniittimineraalien (montmorilloniitti) muuntumisprosessit, mm. korkean pH:n veden ja puskurin välinen vuorovaikutus (sementin vaikutus), montmorilloniitin muuntuminen ja sementoituminen, (2) virtauskanavien muodostuminen ja eroosio (sekä mekaaninen että kemiallinen eroosio) savimateriaaleissa, (3) bentoniitin ominaisuudet kalliosiiroksessa, (4) mikrobien toiminta puskuribentoniitissa, (5) sulkemissuunnitelman kehittäminen ml. materiaalit ja niiden toimintakyky, (6) kapselimateriaalin viruminen ja virumismekanismi, (7) kuparin korroosio vedessä, (8) kapselien sulkuhitsaukseen jäävät jäännösjännitykset, ja (9) korkeapalamisen polttoaineen liukoisuus.

Muita merkittäviä suunniteltuja tarkastelukohteita käynnissä olevalla tutkimusjaksolla tulevat olemaan: (1) Pohjaveden kemiallinen koostumus sekä virtaus; koostumuksen kehittyminen yleensä, kolloidit, suolaisuus, sulfiditason varmentaminen, (2) kalliomekaaninen kuormitus; erityisesti kalliosiiirrosten vaikutus, ja (3) louhinnan aiheuttaman häiriövyöhykkeen (EDZ) vaikutus pohjavesivirtaukseen.

Voimayhtiöiden YJH-2012 suunnitelman 2013-2015 viranomaistarkastus

Toimintasuunnitelmaa YJH-2012 koskien työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) antoi 4.4.2013 lausuntonsa ydinjätehuoltovelvollisille eli TVO:lle ja Fortumille (TEM/2230 ja TEM/2208/08.05.01/2012). TEMin pyynnöstä STUK antoi voimayhtiöiden selvityksistä sekä voimayhtiöiden toimittamista vastineista omat lausuntonsa (1/H48112/2012, 1.2.2013 ja 1/H48111/2013, 21.3.2013). TEM pyysi myös ydinjätehuoltovelvollisilta vastineet STUKin lausuntoihin. Edelleen TVO toimitti vastineensa TEM:lle 1.3.2013 (TVO-10152) sekä vastaavasti Fortum 4.3.2013 (TJATE-A4-374740).

Loppusijoituksen osalta STUK huomauttaa lausunnossaan tätä YJH-suunnitelmaa koskien, että aineistosta ei käy selkeästi ilmi, miten tutkimusohjelmassa

olevat hankkeet liittyvät loppusijoituksen turvallisuuteen tai vapautumisesteiden turvallisuustoimintoihin. Näin ollen STUKin mukaan esitetyt suunnitelmat eivät sellaisenaan olisi täyttäneet vaatimusta yksityiskohtaisesta suunnitelmasta. TVO esitti vastineessaan, että rinnakkain YJH-ohjelman kanssa on valmisteltu rakentamislupahakemusta ja siihen liittyvää monin osin YJH-ohjelmaa yksityiskohtaisempaa aineistoa sekä YJH-ohjelman tarkoituksena olevan toimia lähitulevaisuuden jätehuoltosuunnitelmana kaiken radioaktiivisen jätteen osalta ja sen pääpainona olevan käytetyn ydinpolttoaineen huoltoon liittyvissä toimenpiteissä aikatauluineen. Vastineen liitteenä oli yksityiskohtainen muistio, jossa esitettiin sekä yleiset näkökohdat STUKin kommentteihin liittyen että yksityiskohtaisia täsmennyksiä perusteluineen. Fortum esitti omassa vastineessaan vastaavia näkökohtia ja totesi YJH-ohjelmalla olevan tavallaan kaksoisrooli eli kaiken radioaktiivisen jätteen huollon kattava ja toisaalta käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemuksen ja sen valmistelun teknisenä ja strategisena kuvauksena. STUK arvioi ydinjätehuoltovelvollisten toimittamat vastineet ja totesi johtopäätöksensä, että YJH-ohjelma yhdessä ydinjätehuoltovelvollisten toimittamien vastineiden perusteella täyttää ydinenergia-asetuksen vaatimuksen yksityiskohtaisesta suunnittelusta. Yhteenvetona TEM totesi omassa lausunnossaan, että toimitettu YJH ohjelma sekä vuosittain raportoitavat toimenpiteet sisältävät yhdessä ne selvitykset, jotka ydinenergia-asetuksen 74 §:n mukaan ydinjätehuoltovelvollisten tulee toimittaa sekä ohjelman ja sitä täydentäneiden vastineiden muodostaneen yhdenmukaisen ja johdonmukaisen kokonaisuuden.

2.2 Ydinjätteiden loppusijoitusta koskevien viranomaisvaatimusten kehitys

2.2.1 Vaatimukset Suomessa

Alun perin 1990-luvun alussa valmisteltiin erillinen Valtioneuvoston päätös voimalaitosjätteiden (VnP 398/1991) loppusijoitukselle. Ennen Posiva Oy:n toukokuussa 1999 jättämää periaatepäätöshakemusta vahvistettiin Valtioneuvoston päätöksessä (VnP 478/1999) käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuudesta esitetyt keskeiset turvallisuusvaatimukset, jotka edellyttävät, että käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta ei saa millään tarkasteluajanjaksolla aiheutua sellaisia terveydellisiä tai ympäristöllisiä vaikutuksia, jotka ylittäisivät loppusijoituksen toteutusajankohtana hyväksyttävänä pidettävän enimmäistason. Lisäksi edellytetään, että loppusijoitus tulee suunnitella siten, että todennäköisenä pidettävien kehityskulkujen seurauksena aiheutuvat säteilyvaikutukset eivät ylitä päätöksessä esitettyjä enimmäisarvoja. Tarkasteluajanjaksolla, jona ihmisille aiheutuva säteilyaltistus voidaan riittävän luotettavasti arvioida, mutta jonka on oltava vähintään usean tuhannen vuoden mittainen, tulee: (1) eniten altistuville ihmisille aiheutuvan efektiivisen vuosiannoksen jäädä alle arvon 0,1 mSv/a; ja (2) muille ihmisille aiheutuvien keskimääräisten efektiivisten vuosiannosten jäädä merkityksettömän pieniksi.

Edellä tarkoitetun ajanjakson jälkeisille tarkasteluajanjaksoille tulee loppusijoitusta ydinjätteistä peräisin olevien elinympäristöön vapautuvien radioaktiivisten aineiden määrien pitkän ajan keskiarvojen alittaa enimmäisarvot, jotka Säteilyturvakeskus asettaa kunkin radionuklidin osalta erikseen.

Pitkäaikaisturvallisuutta koskevien säteilyturvallisuusvaatimusten täytyminen sekä loppusijoitusmenetelmän ja loppusijoituspaikan soveltuvuus on perusteltava turvallisuusanalyysillä, jossa on tarkasteltava sekä todennäköisinä pidettäviä kehityskulkuja että pitkäaikaisturvallisuutta heikentäviä epätodennäköisiä tapahtumia. Turvallisuusanalyysin perustana tulee olla kokeellisiin tutkimuksiin pohjautuva numeerinen analyysi, jota on täydennettävä kvalitatiivisin, asiantuntijaharkintaan perustuvien tarkasteluin siltä osin kuin kvantitatiiviset analyysit eivät ole mahdollisia tai niihin sisältyy huomattavia epävarmuuksia. Perusteltaessa eniten altistuvien ihmisten säteilyaltistusrajan täyttymistä tulee tarkastella sellaista loppusijoituspaikan lähiympäristöstä ravintonsa hankkivaa yhteisöä, johon kohdistuu suurin säteilyaltistus. Ihmisiin kohdistuvien vaikutusten lisäksi on tarkasteltava mahdollisia vaikutuksia eläin- ja kasvilajeihin.

Yksityiskohtaisemmat säädökset sisältyivät 1.12.2001 lähtien virallisesti voimassa olleeseen Säteilyturvakeskuksen ohjeeseen "Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuus (YVL 8.4)". Ohjeessa esitettiin vähintään usean tuhannen vuoden mittaisella ajanjaksolla sovellettavat annosrajoitukset sekä pidemmällä ajanjaksolla sovellettavat nuklidikohtaiset enimmäisarvot aktiivisuuspäästöille elinympäristöön.

Seuraavassa vaiheessa valmisteltiin Valtioneuvoston päätöksen (VnP 478/1999) korvannutta Valtioneuvoston asetusta (VNA 736/2008), joka on edelleen voimassa. Tässä asetuksessa määritellään yleiset vaatimukset ja puolestaan yksityiskohtaisemmat vaatimukset esitetään ydinjätteiden loppusijoitusta koskevassa YVL ohjeessa D.5 (Ydinjätteiden loppusijoitus), joka on ollut voimassa 1.12.2013 lähtien.

2.2.2 Kansainväliset vaatimukset

Yksittäisten maiden vaatimuksia käsitellään suppeasti luvussa 2.2.3. Euroopan neuvoston direktiivi (Direktiivi 2009/71/Euratom) Ydinlaitosten turvallisuutta koskevan yhteisön kehysten perustamisesta koskee myös ydinjätelaitoksia loppusijoituslaitoksia lukuun ottamatta. Neuvoston direktiivillä (Direktiivi 2011/70/Euratom) perustettiin vastaava kehys radioaktiivisen jätteen ja käytetyn ydinpolttoaineen vastuullisen ja turvallisen huollon varmistamiseksi.

Direktiivissä määritellään, että jäsenvaltiot ovat viimekädessä vastuussa käytetyn ydinpolttoaineen ja muiden ydinjätteiden asianmukaisesta huollosta ja loppusijoituksesta sekä siitä, että ydinjätehuollolle luodaan kansalliset puitteet, joihin sisältyy muun muassa kattava kansallinen ohjelma ydinjätehuollon järjestämisestä, lainsäädännöllinen vaatimus pohja ydinjätehuollon turvalliselle toteuttamiselle, eri toimijoiden vastuualueiden selkeä määrittely sekä säädökset ydinjätehuollon aiheuttamien taloudellisten vastuiden kattamisesta ja siihen liittyvistä

käytännön järjestelyistä. Yhteenveto direktiiviin sisältyvistä keskeisistä vaatimuksista (Summary of Directive 2011/70/Euratom) on laadittu viidellä kielellä.

Ydinjätedirektiivin saattamiseksi voimaan 1.8.2013 Suomessa ydinenergialakia ja säteilylakia on muutettu. Tässä direktiivissä käsitellään ydinjätehuollon käytännön järjestelyitä koskevia yleisiä periaatteita, mutta ei esitetä yksityiskohtaisia turvallisuusvaatimuksia. EU:n jäsenvaltioiden tulee toimittaa EU:n komissiolle ensimmäiset raportit tämän direktiivin soveltamisesta kussakin jäsenmaassa viimeistään elokuussa 2015.

Myös kansainvälinen säteilysuojelukomissio (ICRP) on uudistanut pitkäikäisten radioaktiivisten jätteiden geologista loppusijoitusta koskevat säteilysuojeluvaatimuksensa julkaisussaan ICRP 122 (ICRP 2013, OECD 2013). Tässä julkaisussa tarkastellaan kolmea eri ajanjaksoa: 1) aikaväli, jolloin suora valvonta on mahdollista, 2) epäsuora säteilyturvallisuuden valvonta ajanjaksolla, jolloin loppusijoitustila on jo suljettu sekä 3) aikaväli, jolloin aktiivista valvontaa ei enää suoriteta tapauksessa, jolloin tietoa loppusijoituslaitoksen sijainnista ei mahdollisesti enää ole käytettävissä. Jotta voidaan varmistua siitä, että loppusijoitustilan toiminta täyttää turvallisuusvaatimukset riippumatta valvonnan jatkumisesta, loppusijoitustilan toiminta on suunniteltava perustumaan sisäänrakennettuihin ominaisuuksiin, jotka riippuvat loppusijoituskapseleista, muista teknisistä vapautumisesteistä sekä kallioperän ominaisuuksista. Vaatimuksissa on edelleen säilytetty säteilysuojelun kolme pääperiaatetta eli 1) Oikeutusperiaate, jonka mukaan toiminnasta saatavan hyödyn on oltava suurempi kuin siitä aiheutuvat haitat, 2) Optimointiperiaate (ALARA-periaate, As Low As Reasonably Achievable), jonka mukaan toiminnasta aiheutuva säteilyaltistus on pidettävä niin pienenä kuin kohtuudella on mahdollista sekä 3) Yksilönsuojaperiaate, jonka mukaisesti työntekijöiden ja väestön yksilön säteilyaltistus ei saa ylittää vahvistettuja enimmäisarvoja eli annosrajoja.

Kansainvälinen atomienergiajärjestö (IAEA) on laatinut julkaisuja, jotka liittyvät ensinnäkin yleisiin turvallisuusperiaatteisiin (IAEA 2006, Safety Fundamentals). Toisella tasolla käsitellään aihepiiriakohtaisesti noudatettavia turvallisuusvaatimuksia (Safety Requirements). Raportissa (SSR-5) käsitellään radioaktiivisten jätteiden geologiseen loppusijoitukseen liittyviä vaatimuksia. Kolmannen tason dokumenteissa (Safety Guides) esitetään suosituksia ja opastuksia, miten vaadittava turvallisuustaso on eri osasovelluksissa saavutettavissa. Geologiseen loppusijoitukseen liittyviä näkökohtia esitetään turvallisuusohjeessa (SSG-14).

Turvallisuusvaatimukset on jaoteltu seuraaviin pääaihepiireihin:

- Yleinen valtiotason lainsäädäntö ja luvitusmenettelyt,
- Turvallisuuden arvioinnin yleiset periaatteet,
- Geologiseen loppusijoitukseen liittyvä kokonaisjärjestelmä,
- Turvallisuusperustelu ja turvallisuuden arviointi,
- Geologisen loppusijoitusjärjestelmän kehittämiseen, käyttöön ja sulkemiseen liittyvät osavaiheet,
- Turvallisuuden varmistaminen sekä
- Käytössä olevien loppusijoituslaitosten turvallisuus.

2.2.3 Eräiden yksittäisten maiden vaatimukset ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudesta

Seuraavassa esitetään suppea katsaus eräissä yksittäisissä maissa noudatettavista turvallisuusperiaatteista ja -vaatimuksista ydinjätteiden loppusijoituksen osalta. Julkaisussa (NEA 2004) on esitetty suppeampi yleiskuvaus OECD:n ydinenergiajärjestön (NEA) viidessätoista jäsenmaassa noudatettavista viranomaismenetelyistä ydinjätehuollon valvonnassa.

Ruotsi

Ruotsissa ydinjätteiden loppusijoitusta koskevien turvallisuusvaatimusten asettamisesta vastaa SSM (Strålsäkerhetsmyndigheten). Yleiset turvallisuusvaatimukset koskien ydinmateriaalien ja ydinjätteiden loppusijoitusta on esitetty turvallisuusohjeessa (SSMFS 2008:21). Samoin kuin Suomen ydinenergialaissa myös Ruotsin vastaavan lainsäädännön mukaan ydinjätehuoltovelvollisen vastuu ydinjätteiden loppusijoituksesta huolehtimisesta päättyy silloin, kun SSM on aikanaan hyväksynyt loppusijoitustilan sulkemisen.

Turvallisuusohjeessa (SSMFS 2008:21) esitetään, miten loppusijoitustilan turvallisuutta sulkemista seuraavana ajanjaksona tulee arvioida selvittämällä radioaktiivisten aineiden vapautumista loppusijoitustilasta ja niiden mahdollista kulkeutumista ympäristössä erilaisissa mahdollisissa tulevilla kehityskuluissa (skenaarioissa). Skenaarioiden määrittelyssä tulee tarkastella sekä loppusijoitustilan ulkoisista että sisäisistä olosuhteista riippuvia turvallisuusominaisuuksia, tapahtumia ja prosesseja (FEP, Features, Events and Processes). Samaan tapaan kuin Suomessa skenaarioanalyysissä on tarkasteltava pääskenaarion ohella myös vähemmän todennäköisiä tapahtumakulkuja ja myös täydentäviä ja poikkeusskenaarioita. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen osalta on tarkasteltava tulevan jääkausijakson vaikutuksia pitkäaikaisturvallisuuteen. Lisäksi turvallisuustarkasteluissa on tarkasteltava eri syistä aiheutuvia epävarmuuksia.

Ohjeen (SSMFS 2008:37) mukaisesti on tarkasteltava väestölle aiheutuvasta säteilyaltistuksesta aiheutuvia riskejä. Tällöin muunnoskertoimena yksilöriskin ja eniten altistuvan ryhmän keskimääräisen efektiivisen annoksen (Sv) välillä käytetään yhteyttä 7.3×10^{-2} per Sv. Säteilylle eniten altistuvalla väestöryhmällä näin arvioitu riski ei saa ylittää arvoa 10^{-6} vuotta kohden. Mikäli eniten altistettu väestöryhmä on erittäin pieni (eli vain muutamia yksilöitä) riskirajoituksena voidaan käyttää arvoa 10^{-5} vuotta kohden. Tämä vastaa sitä, että tässä tapauksessa eniten altistetun pienryhmän yksilöannoksen rajoitus on 0,14 mSv vuotta kohden. Annosarvioissa lähtökohtana voidaan olettaa, että biosfääriolosuhteet vastaavat nykytilannetta. Yhdenmukaisesti suomalaisten turvallisuusmääräysten kanssa on tarkasteltava säteilyaltistusta myös muille eliöille ja eläimille.

Turvallisuustarkasteluissa keskeinen aikaväli on 1000 vuotta loppusijoitustilan sulkemisen jälkeen. Pidempiä aikavälejä (100 000 vuoteen asti) tarkasteltaessa suositellaan käytettäväksi yksilöriskin ohella myös lisäindikaattoreita, kuten ra-

dionuklidien vuotomääriä ja pitoisuuksia ympäristössä, jotka havainnollistavat loppusijoitustilan suojaavaa vaikutusta.

Kanada

Ydinjätteiden huoltoa koskevat yleiset periaatteet on kuvattu viitteessä (CNSC 2004). Sen mukaan käytetty ydinpolttoaine luokitellaan ydinjätteeksi. Kaikkia ydinjätteitä koskien tavoitteeksi esitetään muun muassa, että jätteiden määrä tulee pitää mahdollisimman pienenä ja vaatimuksien ydinjätteiden huollon turvallisuudelle tulee olla yhteensopivia niistä aiheutuville haitoille. Tulevaisuudessa ilmenevien haittojen osalta vaatimustason tulee vastata toimenpiteiden päätöshetkellä hyväksyttäväksi katsottua tasoa. Ydinjätteistä nykyiselle ja tuleville sukupolville aiheutuvien kohtuuttomien riskien estämiseksi ydinjätteiden huollon toimenpiteet on kehitettävä, rahoitettava ja toteutettava mahdollisimman ripeästi. Yksityiskohtaisempia ohjeita pitkän aikavälin vaikutusten arvioimiseksi on esitetty turvallisuusohjeessa (CNSC 2006). Ydinjätehuollon aiheuttamien säteilyhaittojen kuvauksessa voidaan käyttää joko säteilyannoksia tai niistä aiheutuvaa riskiä, koska säteilystä aiheutuvien stokastisten haittojen todennäköisyys on suoraan verrannollinen säteilyannokseen. Säteilyaltistusta koskevaa rajoitusta 0,3 mSv/a vastaa tällöin yksilöriskirajoitustaso 2×10^{-5} vuotta kohden. Ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuutta arvioitaessa on laadittava turvallisuusperustelu, jonka yleisenä tavoitteena on kohtuullisesti varmistaa, että ydinjätteistä huolehtiminen voidaan toteuttaa siten, että ihmisiin ja luontoon kohdistuvilta vaikutuksilta suojaudutaan riittävästi. Arvioinnissa on käytettävä toisiaan täydentäviä turvallisuusindikaattoreita sekä käytettävä muita mahdollisia perusteluja, joilla voidaan lisätä luottamusta ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuteen. Turvallisuusperustelun keskeinen osa on turvallisuusarviointi, jossa arvioidaan radioaktiivisten aineiden vapautumista, kulkeutumista kallioperässä ja ympäristössä, aiheutuvaa altistusta sekä siitä mahdollisesti aiheutuvia vaikutuksia. Säteilyaltistuksen arvioinnin ohella turvallisuusarviointeja on täydennettävä vaihtoehtoisilla tarkastelutavoilla perustuen muun muassa luonnonanalogioihin sekä täydentäviin indikaattoreihin muun muassa kappalien korroosionopeus, pohjaveden ikä ja kulkeutumisaika, ydinjätelaitokselta mahdollisesti vapautuvien aineiden kokonaisvuotomäärät verrattuna luonnollisesti esiintyvien radioaktiivisten aineiden, kuten radium, määrään loppusijoituslaitoksen ympäristössä.

Sveitsi

Sveitsin ydinturvallisuusviranomaisen on julkaissut vuonna 2009 ydinjätteiden geologista loppusijoitusta ja siihen liittyvää turvallisuusperustelua koskevat vaatimukset (ENSI-G03). Vaatimusten johtavat periaatteet liittyvät 1) väestön yksilöille aiheutuvien säteilyannosten rajoittamiseen, 2) ympäristön suojeleminen siten, että geologinen loppusijoitus ei saa vaarantaa luonnon monimuotoisuutta, 3) geologisesta loppusijoituksesta ei saa aiheutua muissa maissa suurempia haittoja kuin mitä sallitaan Sveitsissä, 4) tulevaisuudessa aiheutuvat riskit eivät saa olla suurempia kuin mitä nykyisin sallitaan Sveitsissä, 5) loppusijoituslaitos on suunniteltava siten, että sulkemisen jälkeen ei tarvita toimenpiteitä pitkäaikaistur-

vallisuuden varmistamiseksi, 6) pitkäaikaisturvallisuus on varmistettava moniesteriaatteeseen nojautuen käyttäen sekä luonnollisia että teknisiä päästöesteitä, 7) toimenpiteet, joilla helpotetaan geologisen loppusijoitustilan toiminnan valvontaa (monitorointia) tai loppusijoitettujen jätteiden palauttamista eivät saa vaarantaa luonnollisten päästöesteiden toimintaa, 8) vastuu geologisen loppusijoituksen toteutuksesta kuuluu sukupolvelle, joka hyödyntää ydinenergialla tuotettua energiaa ja tuleville sukupolville ei saa kohdistua kohtuuttomia haittoja, 9) geologinen loppusijoitustila ei saa tarpeettomasti häiritä luonnollisten resurssien ennustettavissa olevaa tulevaa käyttöä ja 10) loppusijoitustilan suunnittelussa, rakentamisessa ja käytössä, mukaan lukien tilojen sulkeminen, on tarkasteltava erilaisia vaihtoehtoja ja suoritettava vaihtoehtojen keskinäinen optimointi käyttö- ja pitkäaikaisturvallisuuden kannalta.

Loppusijoituslaitoksen käytön aikaisten vaikutusten osalta on sovellettava samoja vaatimuksia kuin muiden ydinlaitosten normaalikäytön osalta ja suoritettava käyttövaihetta koskien myös todennäköisyyspohjainen turvallisuusanalyysi. Loppusijoitustilan sulkemisen jälkeisessä vaiheessa todennäköisissä kehityskuluissa ei saa aiheutua tason 0,1 mSv/vuosi ylittäviä yksilöannoksia. Tulevaisuudessa esiintyvistä vähemmän todennäköisistä tilanteista ei saa aiheutua säteilystä aiheutuvaa terveyshaittojen yksilöriskiä, joka ylittäisi tason kerran miljoonassa vuodessa. Loppusijoituksen aiheuttamien pitkäaikaisten vaikutusten arvioimiseksi on esitettävä monipuolinen turvallisuusperustelu, johon läheisesti liittyen on suoritettava systemaattinen kvantitatiivinen turvallisuusarviointi, jossa otetaan huomioon loppusijoitustilan tekniset piirteet, erityisesti luonnollisten ja teknisten vapautumisesteiden toimintaa on arvioitava matemaattisia malleja käyttäen. Tarkasteluissa on otettava huomioon tulevaisuudessa odotettavissa olevat geologiset muutostapahtumat. Samoin on arvioitava loppusijoitusratkaisussa käytettävien materiaalien odotettavissa olevaa tulevaa käyttäytymistä. Analyyseissa on suoritettava skenaarioanalyseja, joiden tulosten perusteella valitaan keskeiset laskentatapaukset, joita tarkastellaan arvioitaessa loppusijoitustilan tulevaa käyttäytymistä. Tulevien tapahtumien aiheuttamia radioaktiivisten aineiden biosfääriin joutuvien päästö-määrien vaihtelurajoja on arvioitava. Analyyseissa käytettävien laskentamallien osalta on perusteltava niiden soveltuvuus tarkasteltavien tilanteiden arviointiin. Turvallisuusanalyysiin liittyen on suoritettava lähtötietoihin, prosesseihin ja malleihin sisältyvien epävarmuuksien analysointia. Lisäksi on suoritettava laskentaparametreille herkkyystarkasteluja, joilla voidaan arvioida käytettävien parametrien vaikutusta radioaktiivisten aineiden vapautumismääriin ja aiheutuviin säteilyannoksiin. Turvallisuustarkasteluissa on arvioitava aiheutuvia säteilyannoksia myös kaukana tulevaisuudessa, mutta tällöin laskelmissa voidaan käyttää nykyisiin elinolosuhteisiin ja elintapoihin liittyviä parametrien arvoja. Turvallisuusvaatimuksissa todetaan lisäksi, että suoritettavissa turvallisuusanalyyseissa ei ole tarvetta tarkastella ihmisten tahallista tunkeutumista suljettuihin loppusijoitustiloihin, eikä tahallisesti aiheutettua vahinkoa loppusijoitustilan rakenteille eikä myöskään erittäin harvinaisia tapahtumia, kuten suuren meteoriitin törmäystä loppusijoituslaitoksen alueelle.

Ranska

Ranskan ydinturvallisuusviranomaisen (ASN) on julkaissut vuonna 2008 ydinjätteen geologista loppusijoitusta ja siihen liittyvää turvallisuusperustelua koskevat vaatimukset (ASN 2008). Ohje käsittelee radioaktiivisten jätteiden syvään geologiseen loppusijoitukseen liittyviä näkökohtia, noudatettavia päätavoitteita, sijoituspaikan valinnan vaiheita sekä loppusijoituslaitoksen toteuttamiseen liittyviä näkökohtia sekä turvallisuuteen liittyviä näkökohtia loppusijoituslaitoksen sulkemisvaiheessa. Ohje käsittelee muun muassa seuraavia keskeisiä näkökohtia liittyen loppusijoituksen turvallisuusvaatimukseen: 1) henkilöiden säteilyturvallisuus ja ympäristön turvallisuus, 2) turvallisuusperiaatteet ja loppusijoituksen toteuttamiseen liittyvät turvallisuusnäkökohdat sekä 3) loppusijoituksen turvallisuuden osoittamiseen käytettäviin menetelmiin liittyviä näkökohtia.

Turvallisuusanalyseissa on tarkasteltava sekä 1) perustilannetta, joka liittyy loppusijoituslaitoksen ja sen geologisen ympäristön käyttäytymiseen odotettavissa olevissa tai hyvin todennäköisissä tilanteissa että 2) muuttuvissa olosuhteissa, jotka liittyvät epävarmoihin, mutta uskottaviin kehityskuluihin, jotka voivat liittyä joko luonnollisiin tapahtumiin tai olla yhteydessä ihmisten suorittamiin toimenpiteisiin, jotka perustilanteeseen liittyen voivat nopeuttaa radioaktiivisten aineiden kulkeutumista vapautumisesteiden kautta biosfääriin.

Voimassaolevan lainsäädännön mukaan loppusijoituksen turvallisuuden arvioinnissa ja toiminnan toteutusvaiheessa on tarkasteltava mahdollisuuksia peruuttaa jätteiden loppusijoitus ennen lopullista sulkemispäätöstä. Tähän liittyy läheisesti vaatimus loppusijoituslaitoksen tarkkailusta (monitoroinnista) ennen sulkemista. Kuitenkin korostetaan, että pitkäaikaisturvallisuus ei saa olla riippuvainen pitkäaikaisesta monitoroinnista.

Perustilanteessa loppusijoitustilan sulkemisen jälkeen arvioidut yksilöiden säteilyannokset odotettavissa olevissa tai hyvin todennäköisissä tilanteissa eivät saa ylittää arvoa 0.25 mSv/vuosi koskien pitkäkestoista säteilyaltistusta. Tätä rajoitusta sovelletaan ajanjaksolla, joka ulottuu 10 000 vuoden päähän. Tämän aikavälin jälkeen ympäristössä vallitseviin olosuhteisiin liittyvät epävarmuudet kasvavat merkittävästi, mutta esitettyä annosnopeusrajoitusta käytetään referenssiarvona myös kauempana tulevaisuudessa. Odotettavissa olevista tai todennäköisistä kehityskuluista poikkeavissa harvinaisissa tilanteissa voidaan annosnopeurajoituksen sijasta käyttää riskiperusteista lähestymistapaa, vaikka todennäköisyyksien arviointiin liittyy suuria epävarmuuksia. Annosarvioiden tuloksia voidaan käyttää myös optimoitaessa turvallisuutta ALARA-periaatteen mukaisesti.

2.3 Käytetyn ydinpolttoaineen välivarastoinnin ja kuljetusten turvallisuus

Käytetyn ydinpolttoaineen huollossa yksi merkittävä välivaihe on ydinpolttoaineen välivarastointi. Välivarastoinnissa käytettävä tekniikka ei periaatteessa ole riippuvainen siitä, onko varastointi suunniteltu lyhyt- vai pitkäaikaiseksi (Vuori & Rasilainen 2009). Jälkivalvonnan ja turvallisten toimintaolosuhteiden säilyttämisen

merkitys korostuu sitä enemmän, mitä pitkäaikaisemmaksi välivarastointi on tarkoitettu.

Käytettyä polttoainetta säilytetään edelleen useimmiten vesiallasvarastoissa. Näin tapahtuu mm. Suomen ydinvoimalaitoksilla. Tästä niin sanotusta märkävarastoinnista on käytettävissä kokemuksia jo usealta vuosikymmeneltä. Käyttökokemukset ovat osoittaneet, että kaikki kuviteltavissa olevat, polttoainetta mahdollisesti vaurioittavat mekanismit, kuten hapettuminen, vedyttyminen, eri korroosiomuodot, galvaaniset ilmiöt tai reaktiot polttoaineen suoja kuoren ja fissiotuotteiden välillä voidaan estää, mikäli varastoaltaissa ylläpidetään oikeat olosuhteet. Useissa maissa, kuten esimerkiksi Yhdysvalloissa, loppusijoitusratkaisujen toteutus on huomattavasti viivästymässä ja tämän vuoksi käytetyn ydinpolttoaineen pitkäaikaisessa välivarastoinnissa ollaan enenevästi siirtymässä kuivavarastointiin perustuviin ratkaisuihin.

Vesiallasvarastojen käyttökokemusten mukaan on ennustettavissa, että varastoitavat polttoaine-elementit säilyvät vaurioitumatta selvästi yli 50 vuotta, ja ruotsalaisen maanalaisen CLAB-keskusvälivaraston käyttökokemusten perusteella tehtyjen arvioiden perusteella jopa yli 100 vuotta. Polttoaine-elementtien säilyminen vaurioitumatta edellyttää kuitenkin, että säilytysaltaan veden kemialliset ominaisuudet ylläpidetään koko varastointijakson ajan oikeina. Tarkasti valvotuissa olosuhteissa hyvin pitkäaikaisestakaan välivarastoinnista ei aiheudu säteilyhaittoja ympäristön väestölle eikä käyttöhenkilökunnalle.

Posiva Oy:n joulukuussa 2012 jättämään loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemuksen liitteessä 18 (Posiva 2012b) on esitetty viimeisin versio VTT:n suorittamasta selvityksestä koskien käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusten turvallisuutta.

Tutkimuksessa on tarkasteltu käytetyn ydinpolttoaineen normaaleja kuljetustilanteita Loviisan ydinvoimalaitokselta Eurajoen Olkiluodossa sijaitsevalle loppusijoituslaitokselle sekä siirtokuljetuksia Olkiluodossa. Tarkastelu on käsittänyt eri reittivaihtoehtoihin ja kuljetusmuotoihin liittyvien säteilyvaikutusten ja riskien vertailua sekä niiden hallinnan perusteita.

Kuljetusten tulee täyttää kansainvälisten alan järjestöjen (IAEA, IMO) sekä Säteilyturvakeskuksen (STUK) asettamat säännökset ja ohjeet. Laskelmien mukaan enimmäiskokonaisannokset kuljetushenkilöstölle Loviisasta Olkiluotoon tapahtuvissa kuljetuksissa olisivat kaikkien kuljetusmuotojen ja kuljetusreittien osalta hyvin alhaisia. Rannikkoreitillä kuljetushenkilöstö altistuu suuremman tehollisen kuljetusnopeuden ja siten pienemmän altistusajan takia vähemmän kuin sisämaan reitillä.

Väestön kuljetuksista saama säteilyannos oli kaikilla tarkastelluilla reiteillä selvästi pienempi kuin mitä samana ajanjaksona aiheutuu normaalista luonnon taustasäteilystä. Kuljetussäiliöiden käsittelijöiden ja kuljetushenkilöstön altistuminen säteilylle kuljetuksissa voi kuitenkin olla jonkin verran tausta-altistusta suurempi.

Liikenteellisten onnettomuustilanteiden seurauksena ympäristössä aiheutuvat säteilyannokset olisivat vähäiset. Vakavimmissa liikenteellisissä onnettomuuksissa seurauksena voisi olla jalokaasujen ja muiden haihtuvien aineiden muodostama

radioaktiivinen päästö, josta aiheutuisi yksilölle luonnon taustasäteilyyn verrattuna vain noin sadastuhannesosan suuruinen annoskertymä.

Riskienhallinnan näkökulmasta tarkastellen, maantie- ja junareitteihin näyttäisi liittyvän suurempi häiriötilanteiden todennäköisyys kuin laivareittiin. Laivareitillä saavutettaisiin alhaisimmat säteilyannokset sekä kuljetuksien helpompi valvottavuus.

3. Katsaus kansainvälisen yhteistyön tilanteeseen

Ydinjätehuoltoa koskeva kansainvälinen yhteistyö on keskeisessä asemassa kansainvälisten järjestöjen, erityisesti IAEA, EU ja OECD/NEA toiminnassa. Luvussa 2.2.2 käsitellään ydinjätehuoltoa koskevaa kansainvälistä yhteistyötä liittyen ydinjätehuoltoa koskevien kansainvälisten vaatimusten kehitystyöhön.

3.1 Kansainvälinen atomienergiajärjestö (IAEA)

3.1.1 Ydinjätehuoltokonventio

Käytetyn polttoaineen ja radioaktiivisen jätteen huollon turvallisuutta koskeva yleissopimus tuli voimaan kesäkuun 18 päivänä vuonna 2001. Sopimuksen piiriin kuuluva käytetyn polttoaineen huolto määritellään tarkoitavaksi kaikkia toimia, jotka liittyvät käytetyn polttoaineen käsittelyyn tai varastointiin. Radioaktiivisten jätteiden huolto tarkoittaa kaikkia toimenpiteitä, jotka koskevat radioaktiivisen jätteen käsittelyä, pakkaamista, varastointia tai loppusijoitusta. Koska Suomessa käytetty polttoaine katsotaan jätteeksi, sopimus koskee myös sitä. Myös ydinlaitosten käytöstä poistamisen yhteydessä syntyvät jätteet kuuluvat yleissopimuksen piiriin.

Ensimmäinen kansallisten selontekojen tarkastelukokous pidettiin marraskuussa 2003 ja sen jälkeen se on toistunut kolmen vuoden välein. Arviointikokouksessa maiden raportit puidaan perusteellisesti ns. maaryhmissä, joissa on sekä ydinenergiamaita että ei-ydinenergiamaita. Maaryhmät raportoivat kokouksen yleisistunnolle, jossa ao. maaryhmään kuulumattomat voivat vielä keskustella yksittäisistäkin maaraporteista.

Suomen kansalliset raportit ovat englanninkielisiä ja ne on julkaistu raporteina STUK-B-YTO 223 (vuonna 2003), STUK-B-YTO 243 (vuonna 2005), STUK-B-96 (vuonna 2008) sekä STUK-B-138 (vuonna 2011). Viides Suomen kansallinen katsaus STUK-B-180 on julkaistu lokakuussa 2014.

Kansainvälisesti vertaillen Suomessa ydinjätteiden huollon ja loppusijoituksen toimintaohjelma on edennyt johdonmukaisesti jo vuonna 1983 määriteltyjen yleis-

tavoitteiden mukaisesti. Suomen maaraportteihin ei ole esitetty erityisiä kommentteja. Pikemminkin Suomen ydinjätehuollon ohjelmaa on pidetty systemaattisena ja sen edenneen varsin tarkkaan ennalta määriteltyjen aikataulutavoitteiden mukaisesti.

3.1.2 IAEA:n koordinoima ydinjätehuoltoon liittyvä yhteistyö

IAEA:n toiminta ydinjätehuoltoon liittyen jakautuu kahteen pääalueeseen eli ensinnäkin ydinjätehuollon eri vaiheissa ja erityisesti ydinjätteiden loppusijoituksessa sovellettavien teknologioiden ja menetelmien kehittämiseen ja toisaalta yleisten turvallisuusperiaatteiden sekä turvallisuusvaatimusten yhtenäistämiseen kansainvälisesti.

Ydinjätehuollossa tarvittavien teknologioiden kehityksessä IAEA avustaa jäsenvaltioitaan kehitettäessä kokonaisvaltaisia kansallisia ohjelmia ydinjätehuollon toteuttamiseksi sekä johdonmukaisia strategioita näiden ohjelmien toteuttamiseen. Ydinjätteiden käsittelyssä ja jätteiden loppusijoituksessa sovellettavien teknologioiden kehitykseen ja käyttöön ottoon liittyen IAEA:n toiminnalla on tavoitteena avustaa jäsenmaita menettelytapojen ja teknologioiden soveltamisessa ja samalla yhtenäistää näissä toiminnoissa käytettäviä teknologioita ja menettelytapoja. IAEA tukee jäsenvaltioitaan myös toiminnoissa, jotka liittyvät käytöstä poistettujen säteilylähteiden asianmukaiseen jälkihoitoon, jotta niistä ei aiheutuisi säteilyhaittoja väestölle, mikäli jälkihoitoa ei toteuteta asianmukaisesti. Teknologioiden kehitystoimintaan kuuluu myös jäsenvaltioiden toimintojen tukeminen ydinlaitosten käytöstä poistossa sovellettavien menetelmien kehitystyössä ja soveltamisessa. IAEA:n ydinjäteteknologiaan liittyvässä toiminnassa neuvoa-antavana elimenä toimii tekninen komitea.

Ydinjätteiden huollon ja loppusijoituksen turvallisuuden arviointiin liittyvästä toiminnasta vastaa IAEA:ssa erillinen yksikkö. Sen toiminta-aihepiiriin kuuluu ensinnäkin turvallisuusvaatimusten kehittäminen liittyen radioaktiivisten jätteiden ja käytetyn ydinpolttoaineen ennakkokäsittelyyn loppusijoitusta varten sekä toisaalta jätteiden loppusijoitusta koskevien yleisten vaatimusten kehitystyö, jota on käsitelty edellä luvussa 2.2.2. Tähän IAEA:n toimintaan liittyen on järjestön koordinoimana laadittu julkaisuja liittyen ydinjätehuoltoon ja ydinjätteiden loppusijoitusta ja loppusijoitusta koskeviin turvallisuusperiaatteisiin ja turvallisuusvaatimuksiin.

Myös luvussa 3.1.1 esitellyn ydinjätetekonvention liittyvän toiminnan hallinnointi kuuluu tämän ydinjätehuollon turvallisuuden arvioinnista vastaavan IAEA:n yksikön tehtäviin. Edellä kuvattujen toimintojen käytännön toteutukseen liittyy toimintojen tuottamien tulosten esittely kansainvälisissä konferensseissa ja kokouksissa, turvallisuusvaatimuksia käsittelevissä erillisissä komiteoissa sekä suorissa yhteyksissä jäsenvaltioihin. Lisäksi IAEA organisoi kansainvälisiä projekteja ja työkokouksia, joiden tavoitteena on harmonisoida sekä jätteiden ennakkokäsittelyyn että loppusijoitukseen liittyviä menettelyjä eri jäsenvaltioissa. Esimerkiksi GEOSAF-projekti tarjoaa jäsenvaltioiden edustajille foorumin, jossa voidaan esitellä kokemuksia ja suunnitelmia kehitettäessä ja arvioitaessa geologisia loppusijoituslaitok-

sia käsitteleviä turvallisuusperusteluita, joissa käsitellään sekä käytönaikaista että pitkäaikaisturvallisuutta.

3.2 Ydinjätehuoltoa koskeva yhteistyö EU:n piirissä

Ydinenergiaa koskevaa tutkimustoimintaa toteutetaan nykyisin osana koko energia-alan tutkimuksen käsittävää laajempaa kokonaisuutta (Horizon 2020). Yhteenvedo Euratomin tutkimusohjelman pääkohdista ja niille asetutut yleistavoitteet on kuvattu viitteessä (Euratom 2020). Euratomin tutkimusohjelma jakautuu kahteen pääalueeseen eli 1) ydinfissio ja säteilysuojelu sekä 2) ydinfuusio. Ydinturvallisuutta käsitellään tutkimusohjelmassa kattaen ydinvoimalaitosten ohella myös muut ydinlaitokset. Ydinjätehuollon tutkimuksessa keskitytään turvallisten pitkän aikavälin ratkaisujen kehittämiseen ydinjätteiden käsittelyyn ja loppusijoittamiseen. Euratomin tutkimusohjelman nykyiseen vaiheeseen vuosille 2014-2015 (Euratom 2014-2015) liittyy seuraavat ydinjätehuoltoa käsittelevät osa-alueet:

- NFRP 4, Yleinen yhteishanke, jonka tavoitteena on kehittää synergiaa ja lisätä yhteistyötä eri kansallisten ydinjätetutkimusohjelmien kesken ottaen huomioon erillisenä yhteishankkeena toteutettavan teknologiayhteisön IGDTF toteuttama tutkimusohjelma ja sen tavoitteet.
- NFRP 5, Geologisten loppusijoituslaitosten viranomaistoimintaa koskeva yhteistyöhanke, jossa pyritään kehittämään viranomaisten, niiden tukiorganisaatioiden sekä jätehuoltoyritysten välistä yhteistyötä ottaen kuitenkin huomioon tarpeen viranomaisten toiminnan ja siihen liittyvien tutkimushankkeiden säilyttämisen riippumattomana.
- NFRP 6, Ensimmäisten geologisten loppusijoituslaitosten toteuttamista koskeva yhteistyö, ottaen huomioon teknologiayhteisön (IGDTF) puitteissa tehtävä yhteistyö. Tämä aihepiiri liittyy EU:n johtavaan asemaan käytetyn ydinpoltoaineen ja korkea-aktiivisten ydinjätteiden loppusijoitushankkeiden etenemisessä eli kolmen jäsenvaltion (Suomi, Ruotsi ja Ranska) tavoitteeseen jättää loppusijoituslaitoksen rakentamista koskeva hakemus viranomaiskäsitelyyn näissä maissa.
- NFRP 9, Aktinidien transmutointia koskevassa tutkimuksessa selvitetään transmutoinissa käytännössä saavutettavaa tehokkuutta kattaen sekä kriittiset järjestelmät (nopeat reaktorit) että alikriittiset järjestelmät. Tehokkuuden ohella tarkastellaan näiden järjestelmien luotettavuutta, turvallisuutta ja teollisuusmittakaavan sovellusten toteutettavuutta.

Vuonna 2009 perustettu eurooppalainen teknologiayhteisö IGD-TP (Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste Technology Platform) on julkaissut verkkosivuillaan yhteisön tulevaisuuden vision (IGDTF Vision report 2011), jonka mukaan "Euroopan ensimmäiset geologiset loppusijoituslaitokset käytetylle polttoaineelle, korkea-aktiiviselle jätteelle ja muulle pitkäikäiselle radioaktiiviselle jätteelle ovat turvallisesti toiminnassa vuonna 2025". Vision mukaan geologista loppusijoitusta pidetään turvallisena, toteuttamiskelpoisena ja kestäväenä ratkaisuna kor-

kea-aktiivisen ja muun pitkäikäisen ydinjätteen käsittelyyn. Strateginen tutkimussuunnitelma on julkaistu myös vuonna 2011 (IGDTP SRA 2011).

Vuonna 2014 teknologiayhteisö on julkaissut tuoreimman toteutussuunnitelmansa (IGDTP Master Deployment Plan 2014) geologiseen loppusijoitukseen liittyvälle strategiselle tutkimusohjelmalleen. IGD-TP suunnittelee ja koordinoi korkea-aktiivisen ja muun pitkäikäisen ydinjätteen loppusijoitukseen liittyviä tutkimus-, kehitys- ja demonstraatiohankkeita. Yhteisöön osallistuu yli 100 ydinjätealan organisaatiota eri puolilta Eurooppaa. Osallistujien joukossa on ydinjätehuollon toteutusorganisaatioita, tutkimuslaitoksia, yliopistoja, teollisuusyrityksiä ja järjestöjä.

Tutkimussuunnitelmassa on eritetty seitsemän avaintutkimusalueita: 1) Turvallisuusperustelu, 2) Jätemuodot ja käyttäytyminen loppusijoitusolosuhteissa, 3) Loppusijoitusratkaisun komponenttien tekninen toteutettavuus, 4) Loppusijoitusratkaisun kehittämisstrategia, 5) Rakentamis- ja käyttövaiheen turvallisuus, 6) Loppusijoitustilan monitorointi sekä 7) Hallitusten ja muiden osapuolten osallistuminen hankkeita koskevaan päätöksentekoon. Aihepiireistä kaikkiaan 16 on luokiteltu kiireellisiksi. Teknisten tutkimusaihepiirien lisäksi on määritelty muita toiminnan aihepiirejä: 1) Yhteydenpito viranomaisiin, 2) Aihepiirin osaamisen ylläpitäminen, opiskelu ja koulutus, 3) Osaamisen hallinta (mm. tiedon säilyttäminen) ja 4) Yhteydenpito muihin osapuoliin sekä tiedonvälitykseen liittyvät muut toiminnot.

3.3 Ydinjätehuoltoa koskeva yhteistyö OECD:n ydinenergiajärjestössä (NEA)

OECD:n ydinenergiajärjestön yksi pääkomiteoista on ydinjätekomitea (Radioactive Waste Management Committee, RWMC, <http://www.oecd-nea.org/rwm/>), joka käsittelee monipuolisesti radioaktiivisten jätteiden huollon ja loppusijoituksen asianmukaista toteuttamista yhteiskunnallisesti hyväksyttävällä tavalla. Toiminnan erityisinä painotuskohteina ovat pitkäikäisten jätteiden ja käytetyn ydinpolttoaineen huolto ja loppusijoitus sekä toimintansa lopettaneiden ydinlaitosten käytöstä poistaminen. Pääkomitean lisäksi toimii alatyöryhmiä, jotka käsittelevät turvallisuusperusteluun liittyviä näkökohtia (Integration Group for Safety Case, IGSC), geologisen loppusijoituslaitoksen käyttöturvallisuutta (Expert Group on Operational Safety, EGOS) sekä ydinlaitosten ja erityisesti korkea-aktiivisten jätteiden ja käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitosta koskevaan päätöksentekomenettelyyn osallistuvien tahojen välisen luottamuksen kehittämistä (Forum on Stakeholder Confidence, FSC). Lisäksi komitean alaisuudessa toimii ydinlaitosten purkuun ja käytöstä poistoon liittyviä näkökohtia käsittelevä työryhmä (Working Party on Management of Materials from Decommissioning and Dismantling, WPDD). Ydinturvallisuusviranomaisia edustavien RWMC:n jäsenten väliseen yhteistyöhön ja yhteydenpitoon on lisäksi erillinen foorumi (Regulator's Forum).

Ydinjätekomitean (RWMC) toiminnan tavoitteena on tukea kansainvälistä yhteistyötä liittyen ydinlaitoksista peräisin olevien jättemateriaalien käsittelyyn, erityi-

sesti ydinlaitoksia käytöstä poistettaessa, sekä pitkän aikavälin ydinjätehuoltoa sekä jätteiden loppusijoittamista. Komitean toimintaohjelmassa toteutetaan seuraaviin aihepiireihin liittyvää yhteistyötä jäsenvaltioiden kesken:

- yhteisen ja monipuolisen näkemyksen edistäminen liittyen jätehuollon nykykäytäntöihin ja uusiin näkökohtiin,
- yhteiskunnalliset vaatimukset täyttävien ydinjätehuoltostrategioiden muodostaminen,
- yhteisten perustoimintalinjojen muodostaminen kansallisten turvallisuusvalvonnan toimintaperiaatteiden kesken,
- radioaktiivisten jätteiden ja materiaalien huollon menettelyjen kehittäminen ottaen huomioon tieteellis-teknisen tietämyksen kehittyminen, esimerkiksi yhteisissä hankkeissa ja asiantuntijoiden välisissä erityiskokouksissa,
- jätehuoltoon liittyvän tietämyksen kokoaminen ja siihen liittyvä tiedonsiirto perustuen teknillisiin raportteihin, yhteisesti hyväksytyihin julkilausumiin ja niiden yhteenvetoihin sekä
- osallistuminen parhaiden käytäntöjen edistämiseen, esimerkiksi tukemalla jäsenvaltioiden ydinjätehuolto-ohjelmien kansainvälisten arviointien toteutusta.

Vuodesta 1985 lähtien OECD:n ydinjätekomitea on julkaissut useita komitean yhteisiä kannanottoja (NEA 2011, NEA 2008, NEA 2000, NEA 1999, NEA 1995, NEA 1991). Keskeiset näkökohdat ensimmäisistä kannanotosta vuosina 1985-1999 on esitetty julkaisussa (NEA 2000).

Vuonna 2008 julkaistussa kannanotossa (NEA 2008) kiteytetään näiden yhteisten kannanottojen keskeiset viestit liittyen geologisen loppusijoituksen soveltuvuuteen ja toteutettavuuteen. Kannanoton mukaan vallitsee yhteinen laaja kansainvälinen näkemys, että geologinen loppusijoitus on eri tekijät huomioon ottaen soveltuvin lähestymistapa perustuen seuraaviin pääasiallisiin näkökohtiin: 1) geologinen loppusijoitus on teknisesti toteutettavissa, 2) sen turvallisuus on suunniteltavissa ottamaan huomioon sekä nykyiselle väestölle että tuleville sukupolville aiheutuvien vaikutusten pitäminen mahdollisimman pieninä, 3) geologiselle loppusijoitukselle ei ole nykyisin nähtävissä uskottavia vaihtoehtoja ja 4) riippumatta ydintekniikan ja ydinjätehuollon tulevasta teknisestä kehittämisestä tarve useimpien ydinjätetyyppien syvälle geologiselle loppusijoitukselle säilyy myös tulevaisuudessa. Lisäksi geologisen loppusijoituksen katsotaan olevan eettisesti oikea ratkaisu, jonka mukaisesti nykyinen sukupolvi ottaa vastuun teknisten ratkaisujen kehittämisestä. Käytännön toteutuksessa on otettava huomioon kunkin maan erityisolosuhteet.

4. Käytetyn ydinpolttoaineen tai korkea-aktiivisen jätteen loppusijoitushankkeiden eteneminen muissa maissa

Vuonna 2009 laaditussa aiemmassa katsauksessa (Vuori & Rasilainen 2009) esitettiin katsaus ydinjätehuollon etenemisestä 13 maassa. Tähän raporttiin on sisällytetty katsaus kuudesta maasta. Maittain esitettävissä suppeissa katsauksissa kuvaillaan sekä käytetyn ydinpolttoaineen tai korkea-aktiivisten jätteiden loppusijoitushankkeiden teknistä toteutusta että sijoituspaikan valintaan liittyviä pääosin yhteiskunnallisia kysymyksiä. Merkittävimpien ydinenergiaa käyttävien maiden tekniset suunnitelmat on viety jo varsin yksityiskohtaiselle tasolle, vaikkakin kehityshaasteita on vielä jäljellä. Merkittävimmät erot eri maiden kesken liittyvät erityisesti loppusijoituslaitosten sijoituspaikkojen valintaan ja niistä aiheutuviin ympäristövaikutuksiin ja yhteiskunnallisiin vaikutuksiin. Ruotsissa ydinjätehuolto-yhtiö SKB on pitkäjänteisessä ja selkeästi välivaiheisiin jaetussa sijoituspaikan valintaprosessissa edennyt Forsmarkin alueen valintaan. Loppusijoituslaitoksen sijoituspaikkakunnan paikallisen väestön hyväksyntä loppusijoituspaikan valinnalle on tarkoitus varmistaa loppusijoituslaitoksen rakentamista ja käyttöä koskevan lupahakemusten viranomaiskäsitteilyn kuluessa. Myös Ranskassa on valittu jatkoselvitysten kohteeksi Buren alue, joka sijaitsee Meusen ja Haute-Marnen departementtien raja-alueella. Korkea-aktiivisten sekä pitkäikäisten keskiaktiivisten ydinjätteiden loppusijoittamiseen tällä alueella tähtää Cigéo projekti (Centre industriel de stockage géologique).

Monissa maissa (kuten Sveitsissä, Kanadassa ja Yhdysvalloissa) on sijoituspaikan valintamenettelyssä viime aikoina valittu ratkaisumalleja, joissa korostetaan vaiheittaista etenemistä ja kokonaissuunnitelman joustavaa mukauttamismahdollisuutta sekä kaikissa merkittävässä kehitysvaiheissa menettelyyn sisältyvää laajaa kuulemismenettelyä.

4.1 Ruotsi

- Käytössä olevien reaktorien määrä ja tuotantokapasiteetti (netto) heinäkuussa 2014: 10 kpl; 9 474 MWe,
- Ydinenergian osuus sähkön nettotuotannosta vuonna 2013: 42,7 %.

Ydinjätehuollon turvallisuutta valvoo ympäristöministeriön alaisuudessa toimiva säteilyturvallisuusviranomaisen SSM (Strålsäkerhetsmyndigheten). Oman ja kansallisen osaamisensa turvaamiseksi SSM rahoittaa tutkimusta sekä Ruotsissa että muissa maissa. Osa tutkimuksista liittyy riippumattomien arviointien suorittamiseen. Hallituksen antaman tehtävän mukaisesti SSM on laatinut ja julkaissut kesäkuussa 2009 kaikki radioaktiiviset jätteet kattavan kansallisen jätehuoltosuunnitelman (SSM 2009), joka lähinnä määrittelee viranomaistehtävät eri jätetyypin osalta, joista merkittävin on ydinenergian tuotannosta peräisin olevat ydinjätteet. Lisäksi yhtenä hallitukselle neuvoa-antavana elimenä toimii nykyisin Kärnavfallsrådet (<http://www.karnavfallsradet.se>), jonka toimintaan liittyy kolmen vuoden välein toimitettava muista toimijoista riippumaton arvio SKB:n tutkimus- ja kehitystoiminnasta. Vuodesta 2010 lähtien Kärnavfallsrådet on laatinut vuosittaisen katsauksen ydinjätehuollon ajankohtaisesta tilanteesta.

Ydinvoimateollisuuden omistama SKB-yhtiö (Svensk Kärnbränslehantering AB) on vastuussa ydinjätehuollon toteutuksesta ja sen edellyttämästä tutkimustoiminnasta. Käytetty ydinpolttoaine välivarastoidaan tällä hetkellä Oskarshamnissa ydinvoimalaitoksen yhteydessä olevassa keskusvarastossa (CLAB), johon kauempana sijaitsevista laitoksista tulevat käytetyn ydinpolttoaineen kuljetukset saapuvat meritse. Keskusvaraston yhteyteen on suunniteltu rakennettavaksi myös laitos käytetyn ydinpolttoaineen kapseloimiseksi loppusijoitusta varten. Kapselointilaitoksen rakentamiseen liittyen SKB jätti ydinenergiain (kärntekniklagen) mukaisen hakemuksen ensimmäisen version kapselointilaitoksen rakentamisesta jo marraskuussa 2006 ja tätä hakemusta on käsitellyt SSM. Viranomaisarviointien aikana SKB on täydentänyt hakemusaineistoa useita kertoja.

Maaliskuussa 2011 SKB jätti viranomaisille (SSM sekä Mark- och miljödomstolen/Nacka tingsrätt) hakemuksen rakentaa käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitos Forsmarkiin ja polttoaineen kapselointilaitos Oskarshamniin. Hakemuksen pääkäsitely Mark- och miljödomstolenissa (miljöbalken-lain mukaisesti) on suunniteltu suoritettavaksi vuoden 2015 lopulla ja lausunto hallitukselle on tarkoitus toimittaa alkuvuodesta 2016. Huhtikuussa 2014 SSM puolestaan lähetti hakemusaineiston lausuntopyyntöille eri viranomaisille ja lausuntojen määräaika on lokakuun 2014 loppu.

Ruotsin Joint Convention -sopimukseen liittyvän neljännen maaraportin (Ds 2011:35) mukaan kapselointilaitoksen hakemusaineiston viranomaiskäsitely SSM:ssä ja Mark- och miljödomstolenissa sekä alustavan turvallisuusselosteen viimeistely on tarkoitus saada päätökseen vuonna 2016. Rakentamisen ja käyttöönoton on suunniteltu tapahtuvan aikavälillä 2016 - 2025. Koekäytön aloittamista koskeva hakemus on suunniteltu toimitettavaksi viranomaiskäsitelyyn vuonna 2024. Koekäytön (2025 - 2026) jälkeen vuonna 2026 toimitettavan käyttöluupa-

hakemuksen käsittelyn jälkeen kapselointilaitoksen toiminnan on suunniteltu alkavan vuonna 2027.

SKB on toteuttanut useassa vaiheessa tutkimuksia käytetyn polttoaineen loppusijoituslaitoksen sijoituspaikan valintaan liittyen. Viimeisimmässä vaiheessa vertailevia tutkimuksia suoritettiin Oskarshamnin ja Forsmarkin ydinvoimalaitosten läheisyydessä, niiden sijainti- tai lähikunnissa eli Laxemarissa sekä Östhammarissa. Kesäkuussa 2009 SKB tiedotti valinneensa sijoituspaikaksi Östhammarin kunnan, jonka alueella sijaitsee Forsmarkin ydinvoimalaitos.

Vuonna 2011 viranomaisten käsiteltäväksi toimitetun loppusijoituslaitoksen rakentamista koskevan lupahakemusaineiston viranomaiskäsitely SSM:ssä ja Mark- och miljödomstolenissa sekä alustavan turvallisuusselosteen viimeistely on tarkoitus saada päätökseen vuonna 2015. Laitoksen rakentaminen ja käyttöönotto on suunniteltu toteutettavaksi aikavälillä 2015 - 2025.

Pieni osa Ruotsissa syntynyttä käytettyä ydinpolttoainetta on jälleenkäsittely Irossa-Britanniassa. Suunnitelmien mukaan tulnaisiin pieniä määriä MOX-polttoainetta valmistamaan ja käyttämään Oskarshamnin ydinvoimalaitoksella. Ruotsin hallitus teki päätöksen asiasta joulukuussa 2002. Silloinen Oskarshamin voimalaitoksen käyttöorganisaatio esitti aikovansa ladata reaktoriin kyseistä polttoainetta vuoden 2005 jälkeen. Lisäksi on sovittu Saksan ja Ruotsin kesken, että Ruotsista aikanaan La Hagueen jälleenkäsiteltäväksi toimitetusta polttoaine-erästä (55 tonnia) muodostuneen lasitetun korkea-aktiivisen jätteen Ruotsiin palautuksen sijasta saksalaista MOX-polttoainetta palautetaan 24 tonnia Ruotsiin ja sitä varastoidaan CLAB-keskusvarastossa. Perusteluna tälle vaihdolle on se, että tällöin Ruotsin käytetyn polttoaineen loppusijoituslaitoksella ei tarvitse erikseen suunnitelmassa varautua myös lasitetun korkea-aktiivisen jätteen loppusijoittamiseen.

Käytetty ydinpolttoaine on tarkoitus loppusijoittaa noin 500 metrin syvyyteen kallioperään. Loppusijoitusmenetelmä vastaa Suomessakin käytettäväksi suunniteltua KBS-3-menetelmää. Sen mukaan ydinpolttoaineniput kapseloidaan kuparirautakapseleihin, jotka loppusijoitustilassa lisäksi eristetään bentoniitilla ympäröivästä kalliosta. Sulkemisen jälkeen loppusijoitustila ei edellytä valvontaa. Loppusijoituksen palautettavuudelle tai peruutettavuudelle ei ole viranomaisvaatimuksia, mutta käytännössä valittu loppusijoituskonsepti tarjoaa eri vaiheissa mahdollisuuksia tällaisiin ratkaisuihin. Monipuolisia käytännön loppusijoitustutkimuksia sekä ruotsalaisten omina että kansainvälisinä projekteina tehdään SKB:n Äspössä sijaitsevassa SKB:n maanalaisessa kalliolaboratoriossa, jossa tutkimukset voidaan tehdä todellisessa loppusijoitusyvytydessä. Äspön kalliolaboratorioon on myös rakennettu prototyypiloppusijoitustila eli täysimittaisen loppusijoitustilan osa, johon on sijoitettu kuusi sähköisesti lämmitettyä loppusijoituskapselia. Mitauksin seurataan sijoitusreiän kallion, kapselin, täyteaineen ja tunnelitäytteen käyttäytymistä pitkäaikaiskokeen kuluessa.

4.2 Ranska

- Käytössä olevien reaktorien määrä ja tuotantokapasiteetti (netto) heinäkuussa 2014: 58 kpl; 63 130 MWe,
- Rakenteilla olevien reaktorien määrä ja tuotantokapasiteetti (netto) heinäkuussa 2014: 1 kpl; 1 630 MWe (Flamanville EPR),
- Ydinenergian osuus sähkön nettotuotannosta vuonna 2013: 73,3 %.

Ydinjätehuollon toteuttamisesta vastaa valtion omistama ydinjäteyhtiö ANDRA (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs). Käytännön tutkimus- ja kehitystyöstä vastaa ANDRA yhdessä Ranskan ydinenergiakomission (CEA) kanssa. Ranskassa kaasujäähdytteisten reaktorien polttoaineen jälleenkäsittelylaitos (UP1, Usine de Plutonium) oli käytössä Marcoulessa vuoteen 1997 asti. La Hagueen on rakennettu suuri kevytvesireaktorien polttoaineen jälleenkäsittelylaitos, jossa on nykyisin käytössä kaksi yksikköä. UP2:ssa, jonka kapasiteetti nykyisin on 1 000 tonnia käytettyä polttoainetta vuodessa, käsitellään kaikki Ranskassa syntyvä käytetty ydinpolttoaine. UP3-laitoksella käsitellään ulkomaisten ydinvoimayhtiöiden Ranskaan toimittamaa käytettyä polttoainetta ja myös sen nimellinen kapasiteetti on luokkaa 1 000 tonnia vuodessa. Ulkomainen kysyntä on kuitenkin huomattavasti vähentymässä johtuen toisaalta oman jälleenkäsittelykapasiteetin rakentamisesta (Japani) tai monien maiden siirtymisestä käytetyn polttoaineen suoraan loppusijoitukseen ilman jälleenkäsittelyä. Ranskan korkea-aktiivisen ydinjätteen huollon (ml. käytetyn polttoaineen loppusijoitus) tutkimusta ja kehitystä varten säädettiin vuonna 1991 erityinen laki. Siinä määrättiin selvitettäväksi ja tutkittavaksi yhtä suurella panostuksella (1) geologista loppusijoitusta, (2) isotooppierottelua ja transmutaatiota sekä (3) pitkäaikaisvälivarastointia.

Pitkäaikaisvälivarastoinnin tutkimuksessa ja kehityksessä selvitettiin vuoteen 2006 mennessä erilaisia teknisiä mahdollisuuksia toteuttaa maanpinnalla tai maanalaisesti lähellä maanpintaa tapahtuva erilaisten jätetuotteiden (mm. lasitettu korkea-aktiivinen jäte ja polttoaine-elementtien metalliset rakenneosat) ja sekaoksidipolttoaine-elementtien (MOX) välivarastointi. Vaikka sekä vuoden 1991 että vuoden 2006 laeissa pitkäaikaisvarastointi tuodaan esille itsenäisenä tutkimuslinjana, ei sitä voida pitää kestävästä kehityksen mukaisena lopullisena ratkaisuna. Toisaalta pitkäaikainen välivarastointi on jo nykyisin käytössä oleva, geologista loppusijoitusta edeltävä välivaihe. Lisäksi välivarastointivaihe luo joustavuutta isotooppierottelun ja transmutaation toteutukseen ennen geologista loppusijoitusta. Esimerkiksi sekaoksidipolttoainetta ei tällöin olisi tarvetta loppusijoittaa käsittelemättömänä, vaan jälleenkäsittely on mahdollista toteuttaa myös tälle polttoainetyypille pitkähkön jäähtymisajan (60–80 vuotta) jälkeen ja tällöin voidaan hyödyntää myös sekaoksidipolttoaineessa käytön jälkeen vielä jäljellä olevat käyttökelpoiset polttoainevarat (uraani, aktinidit ja sivuaktinidit). Vuonna 1991 säädetyin lain edellyttämät tutkimukset raportoitiin vuonna 2005 ja tutkimustuloksien pohjalta hallitus viimeisteli uuden lain, joka hyväksyttiin vuonna 2006.

Vuoden 2006 lain vaatimusten mukaan pitkäaikaisvarastointia koskevalla tutkimuksella on luotava edellytykset toteuttaa uusi pitkäaikainen välivarastointiratkai-

su tai modifioida olemassa olevia pitkäaikaisvarastoja siten, että ne täyttävät lisäkapasiteetin tarpeen. Laissa määritellään käytetyn polttoaineen käsittelyyn ja korkea-aktiivisen jätteen geologiseen loppusijoitukseen liittyvän tutkimuksen ja toteutuksen tavoitteet ja aikataulut. Laissa edellytetään lisäksi, että kolmen vuoden välein on laadittava loppusijoitushankkeen edistymistä kuvaava tilanneraportti. Viimeisin kautta 2013 - 2015 käsittelevä raportti (PNGMDR) julkaistiin syyskuussa 2013.

Käytetystä polttoaineesta pääosa jälleenkäsitellään ja UP2- ja UP3-laitosten kapasiteetti riittää kaikkiaan noin 1 700 tonnin polttoainemäärän jälleenkäsittelyyn vuodessa. Aiemmassa laissa määritellyille pääselvityskohteille on kullekin määriteltä uudet tavoitteet. Isotooppierottelun ja transmutaation tutkimuksen ja kehityksen vastuuorganisaationa on edelleen CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique). Transmutaation toteuttamisvaihtoehtoina on edelleen sekä uuden sukupolven nopeita reaktoreita että kiihdytinpohjaisia alikriittisiä järjestelmiä (Varaine ym. 2010) ja tavoitteeksi asetettiin, että vuonna 2012 tehdään valinta näiden vaihtoehtoisten ratkaisujen kesken perustuen arvioihin teollisesta toteuttamiskelpoisuudesta. Valintaa vastaavan prototyyppilaitoksen käyttöön oton aikataulutavoite on vuosi 2020. Vuonna 2012 julkaistun raportin (CEA 2012) mukaan neljännen polven reaktorijärjestelmiin kuuluvilla nopeilla reaktoreilla, jotka perustuvat uraanin ja plutoniumin kierrätykseen, voidaan turvallisesti ja taloudellisesti toteuttaa syntyvien ydinjätteiden transmutointi (eli muuntaminen puoliintumisajaltaan lyhemmiksi radioaktiivisiksi aineiksi). Transmutointi on mahdollista toteuttaa myös alikriittisiä kiihdytinpohjaisia menetelmiä käyttäen, mutta niiden edellyttämä tutkimus- ja kehityspanos olisi paljon suurempi ja niiden käyttö transmutointiin tulisi noin viidenneksen kalliimmaksi kuin nopeita reaktoreita käyttäen.

Lisäksi on huomattava, että kaikkia radioaktiivisia aineita ei voida täydellisesti transmutoida, vaan myös transmutaatiota sovellettaessa jää lopuksi jäljelle korkea-aktiivisia jätteitä, jotka edellyttävät geologista loppusijoitusta. Lisäksi transmutointia ei voida soveltaa jo aiemmin syntyneisiin korkea-aktiivisiin jätteisiin, jotka on jo kiinteytetty lasittamalla. Käytetystä sekaoksidipolttoaineesta (MOX) jälleenkäsittelyssä erotettu plutonium sisältää eräitä plutonium-isotooppeja, joita on hankala käyttää kevytvesireaktoreissa. Myös näitä plutonium-isotooppeja voidaan myöhemmin käyttää nopeissa reaktoreissa.

Geologisen loppusijoituksen osalta aiempi laki vuodelta 1991 edellytti, että on valittava vähintään kaksi paikkaa, joihin rakennetaan maanalainen laboratorio. Laki edellytti, että laboratorioista ainakin yhden tulisi sijaita graniittikalliossa ja toisen savikivessä. Savikivilaboratorion paikaksi valittiin hallituksen päätöksellä vuonna 1998 Buren alue. Sen sijaan graniittilaboratorion sijoituspaikan valinnasta jouduttiin kokonaan luopumaan, koska millään vaihtoehtoisilla sijoituspaikoilla ei saatu riittävän laajaa poliittista ja kansalaisten hyväksyntää. Vuoden 2006 lain mukaan loppusijoituspaikan kallioperän tulee olla tyypiltään samaa kuin on tutkittu kalliolaboratoriossa eli Buressa tutkittu savimuodostelma. Sitemmin myös varsinainen korkea-aktiivisen ja pitkäikäisen keskiaktiivisen ydinjätteen loppusijoituslaitos on suunniteltu sijoitettavaksi Buren alueelle. Yksityiskohtaiset sijoituspaikkatutkimukset tämän loppusijoitusalueen valitsemiseksi käynnistettiin vuonna 2007.

Vuonna 2006 vahvistetussa laissa on määritelty, että loppusijoituslaitos on toteutettava ylläpitäen vaiheittaisessa toteutuksessa kaikissa vaiheissa mahdollisuus kunkin vaiheen peruuttamiseen. Peruutettavuusvaatimus koskee vähintään 100 vuoden jaksoa. Vaatimuksen noudattamisen vahvistaminen edellyttää parlamentin hyväksyntää ennen kuin aikanaan päätetään loppusijoituslaitoksen käyttöönotosta. Parlamentin hyväksyntä edellytetään myös loppusijoituslaitoksen lopullisen sulkemisen yhteydessä.

Helmikuussa 2013 Ranskan ydinturvallisuusviranomaisen (ASN) julkaisi vuodet 2013 - 2015 kattavan kansallisen jätesuunnitelman (PNGMDR 2013 2015). Toukokuussa 2014 ydinjätehuoltovelvollinen (Andra) esitti julkilausuman (ANDRA 2014), jossa esitettiin touko-kesäkuussa 2013 toteutetun laajan kansalaisten kuulemisprosessin perusteella uudistetut loppusijoitushankkeen toteuttamisen yksityiskohtaiset välivaiheet ja niille määritellyt tavoitteet. Ensimmäisessä vaiheessa on suunniteltu toteutettavan täyden mittakaavan pilottivaihe, jonka ensimmäisen osajakson kuluessa toteutetaan ei-aktiivisia testauksia. Pilottivaiheen toisessa osajaksossa kokeita jatketaan pienellä määrällä todellisia jätepakkauksia. Pilottivaiheen kolmannen osajakson kuluessa on suunniteltu, että riittävän merkittävä määrä Cigéo-laitokselle tarkoitettuja jätepakkauksia loppusijoitetaan asteittain. Tässä pilottivaiheessa selvitetään todellisissa olosuhteissa erilaisia loppusijoituslaitoksen käyttöön liittyviä toimenpiteitä sekä mahdollisuuksia tarvittaessa peruuttaa jätepakkausten loppusijoitus sekä kehittää loppusijoitustilan monitoroinnissa käytettäviä menetelmiä ja sensoreita. Pilottivaiheen päättyessä Andran tavoitteena on saavuttaa loppusijoituslaitoksen toteutettavuuden varmistaminen teollisessa mittakaavassa ja tämän perusteella voidaan edetä seuraavaan vaiheeseen mahdollisten täydennysselvitysten jälkeen.

Pilottivaiheen tulosten perusteella Andra on suunnitellut laativansa loppusijoituslaitoksen varsinaiselle käyttövaiheelle perussuunnitelman, jota voidaan tarvittaessa säännöllisin välein muokata. Cigéo-loppusijoituslaitoksen käyttöönotto edellyttää, että loppusijoituksen palautettavuutta koskeva erillinen laki hyväksytään. Vuonna 2015 Andra toimittaa valtiolle ja ydinturvallisuusviranomaiselle (ASN) tämän käyttövaiheen perussuunnitelman luonnoksen, joka sisältää loppusijoituslaitoksen turvallisuusjärjestelmien sekä palautettavuuden teknisten toteutusvaihtoehtojen kuvaukset. Andran tavoitteena on viimeistellä loppusijoituksen käyttöönottoa koskeva lupahakemus vuoden 2017 loppuun mennessä ja saada viranomaisen hyväksyntä rakentamislupahakemukseen vuoteen 2020 mennessä, jolloin loppusijoituslaitoksen rakentamisvaiheen on suunniteltu alkavan. Loppusijoituslaitoksen teollisen pilottivaiheen on suunniteltu alkavan vuonna 2025. Lupaprosessin kuluessa Andran tavoitteena on olla yhteydessä paikallisiin ja kansallisiin osapuoliin ja ottaa näiden näkemyksiä huomioon suunnitelmien laadinnassa.

4.3 Venäjä

- Käytössä olevien reaktorien määrä ja tuotantokapasiteetti (netto) heinäkuussa 2014: 33 kpl; 23 643 MW
- Rakenteilla olevien reaktorien määrä ja tuotantokapasiteetti (netto) heinäkuussa 2014: 10 kpl; 8 382 MW
- Ydinenergian osuus sähkön nettotuotannosta vuonna 2013: 17,5 %.

Venäjäällä Duuma hyväksyi kesäkuussa 2011 uuden radioaktiivisten jätteiden huoltoon koskevan lain (WNA 2014), jonka esitetään täyttävän IAEA:n ydinjätekonvention vaatimukset, jonka Venäjä ratifioi vuonna 2006. Rosatom ja ydinjätehuollon toteuttajaorganisaatio National Operator for Radioactive Waste Management (NO RAO, <http://www.nti.org/facilities/920/>) tulevat olemaan vastuussa ydinjätehuollon, erityisesti ydinjätteiden loppusijoituksen, suunnittelusta ja toteutuksesta. NO RAO on liittovaltiotason valtiollinen yritys, joka perustettiin vuonna 2012. Se huolehtii ydinjätteiden huollosta ja on valtuutettu huolehtimaan radioaktiivisten jätteiden loppusijoituksesta. Matala- ja keskiaktiivisten ydinjätteiden loppusijoitusta koskevat suunnitelmat on määrä saada valmiiksi vuoteen 2018 mennessä. Lisäksi tavoitteena on perustaa maanalainen tutkimuslaboratorio graniitti-tyyppiseen (Nizhnekansky Granite Massif) kallioperään (Gupalo et al. 2004) lähelle Krasnoyarskia vuoteen 2021 mennessä. Vuonna 2008 esitettiin suunnitelma sijoittaa kansallinen syvä loppusijoituslaitos korkea-aktiivisille ydinjätteille tälle alueelle. Tavoitteena on tehdä vuoteen 2025 mennessä päätös lopullisen korkea-aktiivisen jätteen loppusijoituslaitoksen rakentamisesta tälle alueelle, jossa toteutettiin hanketta koskeva julkinen kuuleminen vuonna 2012. Loppusijoituslaitos on suunniteltu otettavaksi käyttöön vuonna 2035.

Käytetyn polttoaineen huollossa perusratkaisu nojautuu jälleenkäsittelyyn. Vuodesta 1971 lähtien käytettyä polttoainetta, joka on peräisin VVER-440-reaktoreista (Kuola 1-4 sekä ukrainalaisista reaktoreista Rovno 1-2), Beloyarskin nopeista reaktoreista BN-350 ja BN-600 sekä ydinkäyttöisistä jäänmurtajista, on jälleenkäsittely purex-prosessia käyttäen Mayakin laitoksella (RT-1) Ozerksissa (Kysh-tumissa, noin 70 km luoteeseen Tsheljabinskistä). Laitoksen nykyistä käsittelykapasiteettia (noin 100 tU/vuosi) on suunniteltu kasvatettavaksi laitoksen uudistusten yhteydessä ja prosessia soveltuvaksi myös VVER-1000 reaktorien polttoaineen jälleenkäsittelyyn vuoteen 2015 mennessä. Vuonna 2009 esitettyjen suunnitelmien mukaan kapasiteetti saavuttaisi vuonna 2012 tason 500 tU/vuosi. Myös käytetyn polttoaineen välivarastointikapasiteettia RT-1-laitoksella ollaan kasvatamassa noin tasolle 9000 tU. Uuden jälleenkäsittelylaitoksen (RT-2) valmistuttua Mayakin laitos poistettaisiin käytöstä noin vuonna 2030. Myös Loviisan ydinvoimalaitokselta on aikanaan toimitettu käytettyä polttoainetta Mayakin laitokselle. Tällä hetkellä Venäjän ulkopuolelta toimitetaan polttoainetta jälleenkäsiteltäväksi vain Bulgariasta ja Ukrainasta. Kapasiteetin riittämättömyyden vuoksi polttoainetta varastoidaan väliaikaisesti polttoainealtaissa.

Nykyisin VVER 1000 reaktorien käytettyä polttoainetta toimitetaan kolmelta venäläiseltä laitokselta, kolmelta ukrainalaiselta laitokselta sekä yhdeltä bulgarialai-

selta laitokselta välivarastoitavaksi Zheleznogorskiin (Krasnoyarsk 26, noin 60 km Krasnoyarskista pohjoiseen), jossa sijaitsee Gorno-Khimensky Kombinaatti GHK (Mining & Chemical Combine (MCC)). Polttoaineen välivarastointikapasiteettia Zheleznogorskissa on asteittain kasvatettu. Varastointitekniikkana sovelletaan pääasiallisesti vesiallasvarastointia, mutta myös kuivavarastointia käytetään, erityisesti RBMK-reaktorien käytetylle polttoaineelle. Tällä hetkellä RBMK reaktorien käytetyn polttoaineen jälleenkäsittelyä ei pidetä taloudellisesti kannattavana ja tältä osin ei toistaiseksi ole tehty lopullista päätöstä jälleenkäsittelystä, mutta periaatteessa RT 2:n suunnitelmissa on varauduttu myöhemmässä vaiheessa jälleenkäsittelyä myös RBMK-polttoainetta.

MCC on suunnitellut toteuttavansa myös uusien jälleenkäsittelytekniikoiden kehitystä Zhelenogorskin alueella rakenteilla olevalla pilottilaitoksella, jonka kapasiteetti on aluksi 100 tU/vuosi ja myöhemmin 250 tU/vuosi vuonna 2018: Aluksi laitos tulisi käsittelemään käytettyä VVER 1000 polttoainetta ja myöhemmin nopeiden reaktorien käytettyä polttoainetta. Pilottilaitos on itse asiassa esivaihe toiselle jälleenkäsittelylaitokselle (RT-2), joka on suunniteltu otettavaksi käyttöön vuonna 2024.

4.4 Kanada

- Käytössä olevien reaktorien määrä ja tuotantokapasiteetti (netto) heinäkuussa 2014: 19 kpl; 13 500 MW
- Ydinenergian osuus sähkön nettotuotannosta vuonna 2013: 16,0 %.

Kanadassa käytetyn ydinpolttoaineen huolto perustuu avoimeen polttoainekiertoon eli käytetyn polttoaineen suoraan loppusijoitukseen ilman jälleenkäsittelyä. Käytetyn polttoaineen loppusijoitusta kiteiseen kallioperään on tutkittu jo pitkään Kanadassa yleisellä tasolla, mutta sijoituspaikan valintaan tähtääviä tutkimuksia ei käytetyn polttoaineen loppusijoituksen osalta ole tehty. Graniittityyppisen kallioperän soveltuvuutta käytetyn polttoaineen loppusijoitukseen tutkittiin vuodesta 1985 lähtien Manitobassa sijaitsevassa kalliolaboratoriossa, jossa tehtävistä koikeista vastasi AECL:n (Atomic Energy of Canada Ltd) Whiteshellin laboratorio. Kalliolaboratorio lopetti toimintansa 2010.

AECL toteutti laajan ympäristövaikutusten arviointimenettelyn, jota koskeva raporttiaineisto toimitettiin viranomaisten arvioitavaksi vuonna 1994. Ympäristövaikutusten arviointipaneelin lausunnossa vuonna 1998 todettiin tutkitun loppusijoitusratkaisun olevan teknisesti hyväksyttävä, mutta yhteiskunnallisen hyväksyttävyyden suhteen nähtiin olevan vielä tarpeita lisäselvityksiin. Lausunnossa esitetyt jatkotoimenpidesuosituksot johtivat erityisen käytettyä ydinpolttoainejätettä koskevan lain (Nuclear Fuel Waste Act (NFWA), 2002) säätämiseen.

Lain säädösten mukaisesti perustettiin käytetyn polttoaineen huollon toteutuksesta vastaava yhtiö NWMO (Nuclear Waste Management Organisation). Vuoteen 2005 asti NWMO selvitti vaihtoehtoisia ratkaisumalleja ja päätyi suositamaan vaiheittain etenevää lähestymistapaa (APM, Adaptive Phased Management), jonka yksityiskohtia voidaan joustavasti harkita uudelleen hankkeen edetessä.

Kanadan hallitus myönsi kesäkuussa 2007 NWMO:lle toimivallan APM lähestymistapaan perustuvan ratkaisun toteuttamiseen. NWMO esitti tammikuussa 2009 viisivuotissuunnitelman APM lähestymistavan soveltamiseksi vuoteen 2013 asti (NWMO 2009 a, b). Seuraavaa viisivuotiskautta koskevan suunnitelman luonnos (NWMO 2014) julkaistiin syyskuussa 2013 ja saatujen kommenttien perusteella päivitetty lopullinen raportti julkaistiin maaliskuussa 2014.

Varsinainen sijoituspaikan valintaan tähtäävä toiminta aloitettiin vuonna 2010. Vapaaehtois pohjalta ehdotetuilla sijoituspaikoilla on aloitettu yhdeksänportaisessa arviointiprosessissa portaaseen 3 kuuluvien alustavien soveltuvuus selvitysten suorittaminen. Vuoden 2013 lopulla NWMO oli saanut päätökseen portaaseen 3 kuuluvan alustavan turvallisuusarvion ensimmäisen osavaiheen kahdeksalle sijaintipaikalle kaikkiaan mukana olevasta 21 paikkavaihtoehdosta. Paikoista, joille on suoritettu alustavan turvallisuusarvion (porras 3) ensimmäinen osavaihe, neljällä paikkavaihtoehdolla on katsottu olevan erittäin hyvät mahdollisuudet täyttää asetetut paikanvalintavaatimukset ja niiden osalta tutkimuksia jatketaan portaan 3 toiseen osavaiheeseen. Neljän portaalle 3 edenneen paikkavaihtoehdon osalta ei ole katsottu olevan perusteltua jatkaa alustavaa turvallisuusarviointia. Näiden lisäksi 13 paikkavaihtoehdon osalta ei vielä ollut vuoden 2013 mennessä edetty soveltuvuus selvitysten portaalle 3 asti ja näiden paikkojen osalta selvitykset jatkuvat edelleen.

Aikaisimmaksi mahdolliseksi ajankohdaksi geologiseen loppusijoitukseen perustuvan laitoksen käynnistymiselle on arvioitu vuosi 2025, mutta kustannusarvioiden pohjana vuotta 2035 käytetään varovaisempana oletettuna käyttöönoton ajankohtana. Ennen loppusijoituslaitoksen käyttöön ottoa jatketaan käytetyn polttoaineen välivarastointia ydinvoimalaitoksilla ja tutkimuslaitoksilla. Alkuvaiheessa varastointi toteutetaan märkävarastointina ja asteittain polttoainetta siirretään kuivavarastointiin perustuviin laitoksiin, joita on aloitettu rakentaa ydinvoimalaitospaikoille 1990-luvun puolivälistä lähtien.

Laitospaikoilla tapahtuvasta välivarastoinnista vastaavat voimalaitosten käyttöorganisaatiot. Käytetyn polttoaineen pitkän aikavälin huolto-ohjelman ja erityisesti geologisen loppusijoituksen suunnittelusta ja toteutuksesta vastaa NWMO. Liittovaltion osalta ydinjätehuollosta vastaava ja toimintaa valvova organisaatio on NRCan (Natural Resources Canada). Ydinturvallisuudesta vastaava valvontaviranomainen on CNSC (Canadian Nuclear Safety Commission).

4.5 Sveitsi

- Käytössä olevien reaktorien määrä ja tuotantokapasiteetti (netto) heinäkuussa 2014: 5 kpl; 3 308 MW
- Ydinenergian osuus sähkön nettotuotannosta vuonna 2013: 36,4 %

Sveitsin lainsäädännön mukaan kaikki radioaktiiviset jätteet on sijoitettava tarkoitukseen soveltuvissa geologisissa muodostumissa sijaitseviin loppusijoitustiloihin. Ydinvoimayhtiöiden ja valtion yhteinen yhtiö NAGRA (Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle) vastaa kaikkien Sveitsin ydinjätteiden loppu-

sijoituksen suunnittelusta. Turvallisuusvalvonnasta vastaa itsenäinen viranomainen ENSI (Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat), joka aloitti toimintansa vuoden 2009 alusta. Sen edeltäjä oli HSK, joka toimi liittovaltion energia-asioista vastaavan organisaation yhteydessä. Muutoksella on ollut tavoitteena edistää viranomaistoiminnan riippumattomuutta. Sveitsin lainsäädännön mukaan voimayhtiöt voivat valita käytetyn polttoaineen huollon perusratkaisuksi joko jälleenkäsittelyn tai polttoaineen suoran loppusijoituksen. Kuitenkin vuodesta 2006 lähtien on 10 vuoden ajan voimassa kielto toimittaa käytettyä polttoainetta ulkomaille jälleenkäsitteltäväksi. Ennen kiellon voimaan tuloa 1 139 tonnia käytettyä polttoainetta oli toimitettu jälleenkäsitteltäväksi Ranskaan ja Iso-Britanniaan ja koko tämä polttoainemäärä on tällä hetkellä jälleenkäsittelyssä. Jälleenkäsittelyssä erotettua plutoniumia on hyödynnetty MOX-polttoaineen valmistukseen ja edelleen käytettäväksi Sveitsin ydinvoimalaitoksilla. Vuoden 2010 loppuun mennessä 50 % Ranskassa jälleenkäsittelystä sveitsiläisestä polttoaineesta peräisin olevaa korkea-aktiivista lasitettua jätettä oli palautettu Sveitsiin.

Tällä hetkellä käytettyä polttoainetta varastoidaan sekä ydinvoimalaitoksen yhteydessä (Beznau (kuiva varasto) ja Gösgen (vesiallavarastointi)) olevissa väli-varastoissa että vuonna 2001 Würenlingenissä käyttöön otetussa keskitetyssä kuivassa väli-varastossa (ZZL, Zentrale Zwischenlager Würenlingen), jonka käyttöä vastaa ydinvoimayhtiöiden yhdessä omistama Zwiilag-niminen yhtiö.

Aiempi lainsäädäntö ei ollut ydinjätehuollon osalta kattavaa. Alkuvuodesta 2000 valmistui energiaministerin asettaman EKRA-työryhmän mietintö, jossa asetettiin voimakkaasti kannattamaan geologista loppusijoitusta ainoana strategiana, joka täyttää pitkäaikaisturvallisuuden vaatimukset. Työryhmä edellytti loppusijoitukselta myös palautettavuutta, jonka tarvetta tarkkailtaisiin erillisen pilottivaraston avulla. Muun muassa EKRA:n suosituksiin perustuen uusittu ydinenergilaki astui voimaan helmikuussa 2005.

Korkea-aktiivisen jätteen tai käytetyn polttoaineen loppusijoituksen osalta sijoituspaikkatutkimuksia on Sveitsissä toteutettu jo 1970-luvulta lähtien. Alkuvaiheessa keskityttiin lähinnä kiteisen kallioperän tutkimuksiin ja myöhemmin liittohallituksen määräyksestä alettiin tutkia myös sedimenttikivestä koostuvia kallioperämuodostelmia. Tutkimusten perusteella Nagra valitsi Zürichin kantonin pohjoisosassa sijaitsevan opalinus-savimuodostelman jatkotutkimusten kohteeksi ja perusti Mont Terrin kalliolaboratorion.

Nagra toimitti vuonna 2002 savimuodostelman sijoituspaikkatutkimusten pohjalta laaditun loppusijoituksen toteutettavuuden osoittavan selvityksen viranomaisten arvioitavaksi ja liittohallitus hyväksyi selvityksen vuonna 2006. Seuraavana vuonna liittovaltion viranomaiset laativat sijoituspaikan valinnassa noudatettavia menettelyjä kuvaavan suunnitelman, josta käytiin myös laaja kansalaiskeskustelu. Liittohallitus hyväksyi käsittelyn pohjalta uudelleen muotoillun sijoituspaikan valintamenettelyn huhtikuussa 2008 (DETEC 2008). Valintamenettelyyn sisältyy kolme vaihetta, joista ensimmäisessä vaiheessa nimetään loppusijoitukseen soveltuvia alueita eri jätetyypeille.

Nagra esitti syksyllä 2008 kuusi matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitukseen soveltuvaa aluetta sekä kolme korkea-aktiivisen jätteen tai käytetyn ydinpolt-

toaineen geologiseen loppusijoitukseen soveltuvaa aluetta (opalinus-savimuodostelmat alueilla Zürich Nordost, pohjois-Lägern ja Jura Ost). Toisessa vaiheessa valituilta alueilta valitaan tarkemmin tutkittavat kohteet ja verrataan niitä keskenään alustavissa turvallisuusarvioissa. Kolmannessa vaiheessa jäljellä oleville paikoille (vähintään kaksi kullekin jätetyypille) tehdään yksityiskohtaisia paikkatutkimuksia ja suoritetaan perusteellinen turvallisuusarviointi kullekin paikalle erikseen. Tämän kolmannen vaiheen tulosten perusteella valitaan sijoituspaikat sekä korkea-aktiivisten jätteiden että matala- ja keskiaktiivisten jätteiden loppusijoituslaitoksille. On myös mahdollista, että samalle paikalle sijoitetaan sekä voimalaitosjätteiden että korkea-aktiivisen jätteen ja käytetyn polttoaineen loppusijoituslaitokset. Kaikkiin kolmeen sijoituspaikan valintaprosessin vaiheeseen sisältyy laaja julkinen kuuleminen sekä Sveitsissä että myös naapurimaissa. Turvallisuutta ja toteutettavuutta koskeneen arvioinnin pohjalta Sveitsin turvallisuusviranomaisen (ENSI) ja muut arviointiin osallistuneet tahot suosivat ehdotettujen loppusijoitusalueiden hyväksymistä. Marraskuussa 2011 liittohallitus päätti sisällyttää ehdotetut alueet Sveitsin sektorisuunnitelmaan. Tämä päätös liittyi sijoituspaikan valinnan ensimmäiseen vaiheeseen. Valintaprosessin toisessa ja kolmannessa vaiheessa toteutetaan perusteellinen tutkimus, jossa selvitetään, täyttävätkö valitut paikat turvallisuusvaatimukset sekä paikanvalinnan vaikutuksia aluesuunnitteluun ja yleisiä sosioekonomisia vaikutuksia. Sen jälkeen NAGRA toimittaa hakemuksen geologisten loppusijoituslaitosten (käytetylle polttoaineelle ja korkea-aktiiviselle jätteelle sekä muille ydinjätteille) rakentamisesta turvallisuusviranomaiselle. Seuraavaksi liittohallituksen ja parlamentin tulee vielä hyväksyä päätös. Luvitusta koskeva yleissuunnitelma voi vielä edellyttää hyväksymistä kansanäänestyksessä, mikäli siitä aikanaan esitetään vaatimus.

4.6 Yhdysvallat

- Käytössä olevien reaktorien määrä ja tuotantokapasiteetti (netto) heinäkuussa 2014: 100 kpl; 99 081 MW
- Rakenteilla olevien reaktorien määrä ja tuotantokapasiteetti (netto) heinäkuussa 2014: 5 kpl; 5 633MW
- Ydinenergian osuus sähkön nettotuotannosta vuonna 2013: 19,4 %

Kaavailut käytetyn ydinpolttoaineen tai korkea-aktiivisen jätteen loppusijoittamisesta geologisiin muodostumiin ovat Yhdysvalloissa alkaneet jo 1950-luvun puolivälissä. Kaupallisten ydinvoimalaitosten käytetyn polttoaineen jälleenkäsittely on Yhdysvalloissa ollut kiellettyä vuodesta 1977 lähtien. Vuonna 1982 säädettiin ns. ydinjätelaki, Nuclear Waste Policy Act, jonka mukaan tällä hetkellä toimitaan. Laissa määriteltiin käytetyn polttoaineen suora geologinen loppusijoitus maan viralliseksi pitkän tähtäimen toimintastrategiaksi. Ydinjätehuollosta ja loppusijoituksesta oli pitkään vastuussa energiaministeriön (DOE, Department of Energy) alaisuudessa toimiva yksikkö (OCRWM, Office of Civilian Radioactive Waste Management). Kuitenkin tämä yksikkö lopetti toimintansa syyskuussa 2010. Ydinjätehuollon suunnittelun ja toteutuksen rahoittamiseksi on ollut käytössä ydinjäte-

rahasto, jonne varat on kerrytetty ydinvoimayhtiöiden suorittamista, sähköntuotannon ja -myynnin määrän mukaan määräytyvästä maksusta (1 US\$/MWh). Vuoden 2013 lopussa ydinjätehuoltorahastossa oli varoja 20,4 miljardia dollaria. Touko-kuussa 2014 DoE keskeytti varojen keräämisen voimayhtiöiltä. Merkittävimpänä syynä tähän on ollut se, että lopullisen loppusijoituspaikan valinta on oleellisesti viivästynyt.

Ydinjätehuollon ja loppusijoituksen turvallisuusvalvonnasta vastaa ydinturvallisuusviranomaisen (NRC, Nuclear Regulatory Commission). Loppusijoituksen ympäristö- ja säteilyturvallisuusvaatimusten asettamisesta puolestaan vastaa ympäristöviranomaisen (EPA, Environmental Protection Agency).

Edellä mainitun vuoden 1982 ydinjätelain ohjaamana tutkittiin aluksi kolmea erityyppistä kalliomuodostelmaa (basaltti, Washingtonin osavaltiossa; suola Teksassissa ja tuhkakivi Nevadassa). Näiden alustavien loppusijoituslaitoksen paikanvalintavaiheiden jälkeen vuonna 1987 kongressi kehotti energiaministeriötä keskitämään paikkatutkimukset Yucca Mountainin (Nevada) alueelle. Vuonna 2002 senaatti hyväksyi Yucca Mountainin valinnan loppusijoituslaitoksen sijaintipaikaksi. Yucca Mountain -hankkeen aikataulua on useaan otteeseen lykätty ja alkuperäinen aikataulutavoite käyttöön otolle oli vähitellen lykkääntynyt 2010-luvun loppupuoliskolle.

Yucca Mountainin tutkimusalue koostuu vulkaanisesta kivilajista (tuhkakivestä) ja loppusijoitustilat oli suunniteltu rakennettavan 300 m:n syvyyteen. Paikalle on rakennettu maanalaiset tutkimustilat, joissa on suoritettu muun muassa täyden mittakaavan loppusijoituskokeita. Laitokseen oli suunniteltu loppusijoitettavan käytettyä ydinpolttoainetta, joka on kertynyt paitsi ydinvoimaloista myös puolustusvoimien toiminnoista, tutkimusreaktoreista (ml. ulkomailla toimivat tutkimusreaktorit) ja ydinkäyttöisistä aluksista. Loppusijoituslaitokseen oli suunniteltu voitavan sijoittaa myös ydinkärjistä purettavaa plutoniumia ja ydinaseohjelmista peräisin olevaa korkea-aktiivista lasitettua jätettä. On arvioitu olettaen kaikkien 104 reaktorin saavan 20 vuoden pidennyksen käyttöluupaansa, että vuoteen 2055 mennessä käytettyä ydinpolttoainetta tulisi kertymään USA:ssa 130 000 tonnia.

Kesäkuussa 2008 DOE toimitti rakentamislupahakemuksen ydinturvallisuusviranomaisen (NRC) käsiteltäväksi. Silloin arvioitiin, että NRC:n turvallisuusarviointiin kuluisi ainakin kolme vuotta. Kuitenkin uuden presidentin Barack Obaman astuttua virkaansa 2009 Yhdysvaltain hallitus leikkasi merkittävästi Yucca Mountain -hankkeen rahoitusta tasolle, joka riittää pelkästään vastausten valmisteleminen kysymyksiin, joita NRC lupakäsittelyn yhteydessä esittää. Presidentin pyynnöstä vuoden 2010 maaliskuussa aloitti työskentelynsä energiaministerin nimeämä toimikunta, The Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future (BRC). Komission toimintatavoitteeksi annettiin selvittää laajasti ydinpolttoainekierron loppupään aiempia menettelyjä ja esittää suositus uudeksi strategiaksi. Toimikunta kokoontui lähes kolmekymmentä kertaa ja julkaisi loppuraporttinsa (BRC 2012) tammikuussa 2012. Toimikunnan raportin suositusten perusteella Energiaministeriö (DoE) julkaisi oman käytetyn ydinpolttoaineen ja korkea-aktiivisen jätteen huoltoa käsittelevän strategiansa tammikuussa 2013 (DoE 2013). Strategia sisältää kehysuunnitelman kohti kestävän kehityksen mukaista ydinjätehuollon

ohjelmaa, johon perustuen huolehditaan kaupallisesta ydinvoiman tuotannosta sekä puolustustoiminnasta ja muista toiminnoista peräisin olevan käytetyn ydinpolttoaineen ja korkea-aktiivisen jätteen kuljetuksista, pitkäaikaisvarastoinnista sekä loppusijoittamisesta.

Tämän strategiaraportin mukaisesti Energiaministeriö suunnittelee Kongressin asianmukaisen valtuutuksen pohjalta toteuttavansa seuraavan 10 vuoden kulussa suunnitelman, jonka mukaisesti

- vuoteen 2021 mennessä valitaan käytetyn polttoaineen väliaikaisvarastoinnin pilotti-laitokselle sijoituspaikka, hoidetaan sen luvittaminen ja aloitetaan laitoksen käyttö. Alkuvaiheessa kyseinen laitos keskittyy vastaanottamaan käytettyä polttoainetta jo kokonaan käytöstä poistetuilta ydinvoimalaitoksilta,
- edetään suuremman välivarastointilaitoksen sijoituspaikan valinnassa ja laitoksen luvittamisessa siten, että laitos olisi käytettävissä vuoteen 2025 mennessä ja
- edetään käytetyn polttoaineen ja muiden jätteiden loppusijoituspaikan valinnassa ja karakterisoinnissa siten, että geologinen loppusijoituslaitos olisi käytettävissä vuoteen 2048 mennessä.

5. Vaihtoehtoisten menetelmien kehittäminen ja siihen liittyvä kansainvälinen yhteistyö

Vaihtoehtoisia ratkaisumalleja ja menettelyjä käytetyn polttoaineen ja korkea-aktiivisten jätteiden huollolle ja loppusijoitukselle on kuvattu aiemmissa VTT:n laatimissa katsauksessa (Vuori & Rasilainen 2009, Anttila, Björnberg & Vuori 1999) ja tässä yhteydessä esitetään vain suppea yhteenveto pääosin näihin aiempiin katsauksiin perustuen. Muunnelmia perinteiselle geologiselle loppusijoitukselle, kuten loppusijoitusta syviin porareikiin, on tutkittu muun muassa Yhdysvalloissa ja Ruotsissa.

5.1 Valvottu pitkäaikaisvarastointi

Väliaikaisena ratkaisuna käytetyn ydinpolttoaineen huollolle on esitetty eräissä maissa hyvin pitkäaikaista välivarastointia. Käytetyn ydinpolttoaineen välivarastointitekniikka ei periaatteessa ole riippuvainen siitä, onko varastointi suunniteltu lyhyt- vai pitkäaikaiseksi. Jälkivalvonnan ja turvallisten toimintaolosuhteiden säilyttämisen merkitys korostuu sitä enemmän, mitä pitkäaikaisemmaksi välivarastointi on tarkoitettu.

Käytettyä polttoainetta säilytetään nykyisin useimmiten vesiallasvarastoissa. Näin tapahtuu mm. Suomen ydinvoimalaitoksilla. Tästä niin sanotusta merkävavarastoinnista on käytettävissä kokemuksia jo usealta vuosikymmeneltä. Käyttökokemukset ovat osoittaneet, että polttoainetta mahdollisesti vaurioittavat mekanismit voidaan estää ylläpitämällä varastoaltaissa oikeat olosuhteet. Vesiallasvarastojen käyttökokemusten mukaan on ennustettavissa, että varastoitavat polttoaineelementit säilyvät vaurioitumatta yli 50 vuotta, ja ruotsalaisen maanalaisen CLAB-keskusvälivaraston käyttökokemusten perusteella tehtyjen arvioiden perusteella jopa yli 100 vuotta. Polttoaine-elementtien säilyminen vaurioitumatta edellyttää kuitenkin, että säilytysaltaan veden kemialliset ominaisuudet ylläpidetään koko varastointijakson ajan oikeina. Tarkasti valvotuissa olosuhteissa hyvin pitkäaikaisestakaan välivarastoinnista ei aiheudu säteilyhaittoja ympäristön väestölle eikä käyttökäyttökunnalle.

Myös käytetyn polttoaineen pitkäaikainen kuivavarastointi on mahdollista toteuttaa joko maanalaisena tai maanpäällisenä. Ennen varastoon siirtämistä polttoaine-

elementtejä on pidettävä muutaman vuoden ajan reaktoreiden yhteydessä olevissa vesialtaissa tai vesiallasvälivarastoissa. Tämän vesijäähdytysvaiheen jälkeen käytetyssä polttoaineessa syntyvän jälkilämmön poistamiseen riittää kuivavarastoinnissa ilman luonnolliseen kiertoon perustuva jäähdytys. Märkävarastointiin verrattuna kuivavarastointi asettaa pienempiä vaatimuksia seurannalle ja valvontatoimille. Menetelmänä kuivavarastointi sopisi periaatteessa käytettäväksi myös Suomessa. Käytetyn polttoaineen välivarastointiin on muissa maissa alettu käyttää yhä enemmän myös kuljetukseen soveltuvia ilmajäähdytteisiä metallisia säiliöitä. Tällaisia kuivavarastoja on käytössä mm. Belgiassa, Saksassa, Sveitsissä, Unkarissa ja Yhdysvalloissa. Muun muassa monet niistä Itä-Euroopan maista, jotka aiemmin palauttivat käytetyn polttoaineen entiseen Neuvostoliittoon, ovat päätyneet kuivavarastointiin käyttäen säiliöitä, jotka soveltuvat sekä kuljetukseen että varastointiin. Kuivavarastoinnista kertyneet käyttökokemukset ovat olleet hyviä ja mahdollisuuksia jatkaa välivarastointia aina 50–150 vuoteen pidetään hyvinä. Nykyisin käytössä olevat kuivavarastot on kuitenkin tarkoitettu vastaavaan välivarastointiin kuin Suomessakin käytettävät vesiallasvarastot. Eräissä maissa, kuten Hollannissa, on esitetty suunnitelmia selvästi pidempiaikaiseen, jopa satojen vuosien välivarastointiin tarkoitetuista kuivavarastoista.

5.2 Loppusijoituksen palautettavuus

Useissa maissa käytetyn ydinpolttoaineen tai korkea-aktiivisen jätteen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuudesta varmistautumiseen on liitetty suunnitteluvaatimus, että käytetty ydinpolttoaine tai korkea-aktiivinen jäte on voitava tarvittaessa palauttaa varastosta tai loppusijoitustilasta takaisin maan pinnalle.

Palauttamista voidaan tulevaisuudessa pitää tarpeellisena esimerkiksi siinä tapauksessa, että transmutointiteknologiassa tehdään merkittävä harppaus eteenpäin. Transmutointiin liittyvää tutkimusta tehdään edelleen mm. Ranskassa ja EU:n tutkimusohjelmissa. Yleinen näkemys kuitenkin on, että transmutointiin soveltuvat paremmin tulevaisuudessa mahdollisesti laajemmin käyttöön otettavat nopeat reaktorit. Myös tällöin on taloudellisesti edullisempaa soveltaa lisäkäsitelyä vain uuteen syntyvään käytettyyn polttoaineeseen eikä nykyinäymin olisi kannattavaa palauttaa jo loppusijoitettuja runsasaktiivisia jätteitä tai käytettyä polttoainetta jatkokäsiteltäväksi ja transmutoitavaksi.

Oleellisesti loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuteen vaikuttavien puutteellisuuksien tai vapautumisesteiden vaurioiden havaitseminen polttoaineen loppusijoituksen kuluessa tai jonkin verran sen jälkeen voivat myös edellyttää palautettavuutta.

Loppusijoituksen tarkoituksena on käsitellä käytetty ydinpolttoaine niin, että siitä ei tulevaisuudessa aiheudu haittaa eikä huolehtimisvelvollisuutta. Syvälle kallioperään sijoittamisen etuna ja vaatimuksenakin on pidetty sitä, että väärinkäytön estämiseksi kapselit ei helposti saada palautetuksi ja että loppusijoitustilaan ei tulevaisuudessa vahingossa tunkeuduta. Toisaalta palautettavuuden vaatimus edellyttää tiedon säilyttämistä jälkipolville siitä, missä ja miten kapselit ovat varas-

toituina. Samalla kuitenkin kasvaa myös todennäköisyys tahalliseen tai rikolliseen tiloihin tunkeutumiseen.

Aiemmin kuvattuja, pitkäaikaiseen välivarastointiin tarkoitettuja menetelmiä käytettäessä ja varsinkin varaston sijaitessa maan päällä tai maan pinnan tuntumassa, on palautettavuus paitsi mahdollista myös suhteellisen yksinkertaista ja halvempaa. Palautettavuuskysymyksistä on pääasiassa keskusteltu geologisen loppusijoituksen yhteydessä. Suomessa ja Ruotsissa ei turvallisuusvaatimusten mukaan vaadita loppusijoitustilojen sulkemisen jälkeistä valvontaa ja siten pitkäaikais-turvallisuus on varmistettava perustuen luonnollisiin ja teknisiin vapautumisestisiin. Esitetyn ratkaisutekniikan mukaisesti toteutettuna loppusijoitus on kuitenkin tarvittaessa peruutettavissa ja ydinpolttoaine palautettavissa maan pinnalle kaikissa loppusijoituksen vaiheissa, myös tilojen ja tunnelien sulkemisen jälkeen.

Ruotsin Äspön laboratoriossa on tehty palauttamistekniikkaan liittyviä käytännön kokeita. Vuonna 2006 tehdyssä täyden mittakaavan kokeessa osoitettiin, että metallikanisteri voitiin onnistuneesti poistaa samalla nostotekniikalla kuin se oli sijoitusreikään asennettu. Ennen kapselin poistoa paisunut täyteaine oli erityiskäsittelymenetelmällä poistettu. Suomen ja Ruotsin kiteinen, luja kallioperä on erityisesti pitkällä aikavälillä edullisempi palautettavuutta ajatellen kuin savi- ja suola-muodostumat, joita eräissä muissa maissa kaavaillaan vaihtoehtoina loppusijoitus-tilan sijaintipaikaksi.

5.3 Tehostettu jälleenkäsittely ja transmutaatio

Transmutaatioon liittyvää tutkimusta Ranskassa on käsitelty luvussa 4.2 ja sen mukaisesti neljännen polven reaktorijärjestelmiin kuuluvilla nopeilla reaktoreilla, jotka perustuvat uraanin ja plutoniumin kierrätykseen, voidaan turvallisesti ja taloudellisesti toteuttaa syntyvien ydinjätteiden transmutointi (eli muuntaminen puoliintumisajaltaan lyhemmiksi radioaktiivisiksi aineiksi). Transmutointi on mahdollista toteuttaa myös alikriittisiä kiihdytinpohjaisia menetelmiä käyttäen, mutta niiden edellyttämä tutkimus- ja kehityspanos olisi paljon suurempi ja niiden käyttö transmutointiin tulisi noin viidenneksen kalliimmaksi kuin nopeita reaktoreita käyttäen. Lisäksi on huomattava, että kaikkia radioaktiivisia aineita ei voida täydellisesti transmutoida, vaan myös transmutaatiota sovellettaessa jää lopuksi jäljelle korkea-aktiivisia jätteitä, jotka edellyttävät geologista loppusijoitusta. Lisäksi transmutointia ei voida soveltaa jo aiemmin syntyneisiin korkea-aktiivisiin jätteisiin, jotka on jo kiinteytetty lasittamalla.

OECD:n ydinenergiajärjestössä (NEA) toteutetaan tehostettuun jälleenkäsittelyyn perustuvien vaihtoehtojen kehityksen seuranta ja siihen liittyen tarkastellaan myös eräiden pitkäikäisten radioaktiivisten aineiden erottamista jälleenkäsittelyn yhteydessä sekä näiden aineiden muuntamista lyhytikäisemmiksi isotoopeiksi transmutoimalla näitä aineita joko energiantuotantoon käytettävissä nopeissa reaktoreissa tai erityisissä kiihdytinpohjaisissa alikriittisissä käsittelylaitoksissa (Dujardin ym. 2012). Pitkäikäisten radioaktiivisten isotooppien erottamisen ja transmutoinnin tavoitteeksi on esitetty niitä sisältävien radioaktiivisten jätteiden

tilavuuden ja pitkäikäisten radioaktiivisten aineiden määrän ja jätteiden lämmönkehityksen pienentäminen. Näistä toimenpiteistä huolimatta jäljelle jäävien radioaktiivisia aineita sisältävien ydinjätteiden loppusijoittaminen on välttämätöntä. Yleisenä johtopäätöksenä on lisäksi esitetty, että radioaktiivisten aineiden erottelu ja niiden transmutointi on edullisinta toteuttaa nopeissa reaktoreissa, jolloin voidaan samalla tehostaa uraanivarojen käyttöä.

EURATOMin rahoittamissa tutkimuksissa selvitetään vastaavalla tavalla ydinpolttoainekierron jälkipäähän liittyviä toimintoja (Hahn 2012). Käytetyn ydinpolttoaineen huollossa Euroopan Unionin jäsenmaissa noudatetaan kahta päästrategiaa joko perustuen polttoaineen jälleenkäsittelyyn ja erotettujen uraanin ja plutoniumin kierrätykseen tai käytetyn polttoaineen suoraan loppusijoitukseen. Pitkän aikavälin tavoitteisiin liittyen tutkitaan transmutaatiota sekä nopeisiin tehoreaktoreihin että alikriittisiin, kiihdytinpohjaisiin käsittelylaitoksiin perustuen.

5.4 Loppusijoitus syviin porareikiin

Muun muassa Yhdysvalloissa ja Ruotsissa on selvitetty myös vaihtoehtoisia menetelmiä käytetyn ydinpolttoaineen tai korkea-aktiivisen jätteen geologiselle loppusijoitukselle. Yksi tarkastelluista vaihtoehdoista on ollut näiden jätteiden loppusijoitus useita kilometrejä syviin pystysuoriin porareikiin. Yhdysvalloissa tätä loppusijoitusmenetelmää tutkittiin jo 1970-luvulla ja vuonna 2012 Blue Ribbon -komitea suositteli menetelmän jatkotutkimuksia. Viitteessä (NWTRB 2013) esitetään menetelmän tarjoamina etuina muun muassa: 1) sijoitus syvälle kallioperään, minkä seurauksena etäisyys elolliseen ympäristöön kasvaa, 2) kallioperän alhaisempi vedenjohtavuus suuremmissa syvyyksissä ja 3) pelkistävät olosuhteet syvemmällä kallioperässä. Näiden esitettyjen etujen vastapainona nähdään useita merkittäviä haasteita menetelmän soveltamiselle, muun muassa seuraavia: 1) halkaisijaltaan noin 0,5 m suuruisen reiän poraamisesta useiden kilometrien syvyyteen ei ole tähän mennessä kertynyt kokemuksia, 2) menetelmä perustuu vain lähinnä yhteen päästöesteeseen (geologiset ominaisuudet sijoitusyvytydellä), 3) käytetyt polttoaine-elementit on purettava ja koottava tiiviimmiksi pakkauksiksi, jolloin voi aiheutua polttoainevaurioita ja on tarkasteltava perusteellisemmin myös kriittisyysmahdollisuuksia ja termisiä vaikutuksia, 4) reikien yläosien tehokkaaseen tiivistämiseen on kehitettävä ja testattava uusia menetelmiä ja materiaaleja, 5) kapselien sijoitustekniikka voi pettää ja yksittäisen kapselin juuttumista välisyvyydelle on erityisesti tarkasteltava ja 6) loppusijoituksen peruuttaminen ja jätepakkausten takaisin palauttaminen on sekä teknisesti että turvallisuusmielessä erittäin haasteellista.

Ruotsissa tehdyissä selvityksissä (mm. Grundfelt 2010 ja SKB 1993) on myös tuotu esille edellä kuvatun kaltaisia haasteellisia teknisiä näkökohtia ja merkittävimpänä etuna on nähty muun muassa hyvin vähäinen pohjaveden virtaus syvällä kallioperässä. Loppusijoitusmenetelmän valinnan vaihtaminen perustumaan loppusijoitukseen syviin porareikiin edellyttäisi kuitenkin hyvin laajaa tutkimusohjelmaa ja lykkäisi loppusijoituksen toteutusta useilla vuosikymmenillä eikä olisi var-

muutta siitä, voitaisiinko tällä vaihtoehtoisella menetelmällä parantaa loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuutta.

5.5 Käytetyn ydinpolttoaineen huollon vaihtoehtoisten ratkaisujen vertailu

Käytetyn ydinpolttoaineen huollossa tarvitaan kaikissa vaihtoehdoissa loppusijoitusta. Käytetyn ydinpolttoaineen huollon vaihtoehtoisten ratkaisujen keskeisiä etuja ja haittoja on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Yhteenveto käytetyn ydinpolttoaineen huollon ja loppusijoituksen vaihtoehtoisten ratkaisujen eduista ja haitoista sekä sovellettavuudesta Suomen olosuhteissa (Rasilainen & Vuori 2009).

Vaihtoehto	Edut	Haitat	Soveltamismahdollisuudet Suomessa
Suora loppusijoitus	<ul style="list-style-type: none"> • Käsittelyvaiheita vähän ja käyttöhenkilökunnan säteilyaltistus pieni • Perusteknologia on olemassa • Suuria kertavaikutuksia aiheuttavat tapahtumat erittäin epätodennäköisiä 	<ul style="list-style-type: none"> • Kaikki pitkäikäiset radioaktiiviset aineet mukana jätteessä, joten potentiaalinen vaarallisuus kestää pitkään • Uraanivarojen käyttötehokkuus huono 	<ul style="list-style-type: none"> • Perusratkaisumalli Suomessa • Täyttää ydinenergialain vaatimukset käsittelystä ja pysyvästä sijoittamisesta Suomeen; myös loppusijoituksen peruuttaminen mahdollista
Valvottu pitkäaikainen välivarastointi	<ul style="list-style-type: none"> • Valvonta mahdollista • Mahdollistaa vaihtoehtojen uudelleen harkinnan: palautettavuus suhteellisen yksinkertaista • Teknologia olemassa 	<ul style="list-style-type: none"> • Siirtää vastuuta tuleville sukupolville • Turvallisuus ja ympäristövaikutusten hallinta vaativat aktiivista valvontaa • Vaatii jatkuvaa ydinmateriaalivalvontaa • Lisää kustannuksia • Ei voi olla lopullinen ratkaisu 	<ul style="list-style-type: none"> • Nykyisten välivarastojen käyttöä voidaan jatkaa jopa 100 vuotta • Mahdollisen uudentyyppisen välivaraston rakentamispäätös tarvitaan vasta vuosikymmenien päästä

Taulukko 1. (jatkuu)

Vaihtoehto	Edut	Haitat	Soveltamis- mahdollisuudet Suomessa
Jälleen- käsittely ja loppusijoitus	<ul style="list-style-type: none"> • Uraanivaroja voidaan käyttää tehokkaammin ja uraanin väkevöintitarve pienempi • Uraanin ja plutoniumin määrä jätteessä pienempi ja mahdollinen vaarallisuus pitkällä aikavälillä alhaisempi 	<ul style="list-style-type: none"> • Useita käsittelyvaiheita, mikä lisää käyttöhenkilökunnan säteilyannoksia; häiriötilanteissa voi aiheutua päästöjä ympäristöön • Kustannukset kasvavat • Useita loppusijoitettavia jätetyyppejä; kokonaisuus ei olennaisesti pienene • Ydinaseateriaalien leviämisen riski suurempi 	<ul style="list-style-type: none"> • Kustannus- ja muista syistä johtuen olisi epätarkoituksenmukaista rakentaa pelkästään Suomen tarpeisiin jälleenkäsittelylaitosta • Nykyisessä muodossaan ydinenergialaki ei salli ulkomaisten palvelujen käyttöä
Jälleen- käsittely, lisäerottelu, transmutaatio, loppusijoitus	<ul style="list-style-type: none"> • Pitkäikäisten radioaktiivisten aineiden määrä jätteessä vähenee • Potentiaalisen vaarallisuuden ajanjakso lyhenee • Osana kehittyntä ydinenergiajärjestelmää voisi olla edullinen ratkaisu 	<ul style="list-style-type: none"> • Tarvittava jälleenkäsittelyteknologia monimutkaista ja kasvattaa edelleen kustannuksia • Ydinaseateriaalin valmistusteknologian leviämisen riski voi lisääntyä • Teknologia ei ole käytettävissä vielä, vaan vaatii huomattavaa lisäkehitystä • Toteutettavuus epävarmaa 	<ul style="list-style-type: none"> • Suomen ydinvoimaohjelma on liian suppea itsenäiseen soveltamiseen • Ottaen huomioon jo perusvaihtoehtoon sisältyvän välivarastoinnin ja loppusijoituksen palautettavuuden tarvittaessa tulevaisuudessa voidaan periaatteessa hyödyntää mahdollisesti kehitettyjä kansainvälisiä palveluita

6. Yhteenveto

Suomessa on selvitetty pitkäjänteisesti käytetyn ydinpolttoaineen huoltoa kattaen sekä pitkäaikaisvarastoinnin että käytetyn ydinpolttoaineen kapseloinnin ja loppusijoituksen. Jo vuonna 1983 Valtioneuvosto esitti pitkän aikavälin toimintastrategian, joka tähtäsi käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen aloittamiseen vuonna 2020. Tämän strategisen päätöksen jälkeen viranomaiset (STUK sekä TEM ja aiemmin KTM) ovat säännöllisesti seuranneet ydinjätteiden ja erityisesti käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen tähtäävien hankkeiden edistymistä ja esittäneet väliarvioinneissaan näkemyksiä, jotka tulee ottaa huomioon jatkoselvityksissä. Merkittävä välietappi saavutettiin vuonna 2001, jolloin eduskunta hyväksyi käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta koskeneen Valtioneuvoston periaatepäätöksen. Tähän päätökseen sisältyi myös Olkiluodon ydinvoimalaitoksen alueen valinta käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen sijoituspaikaksi. Kehitystyössä saavutettiin merkittävä etappi, kun Posiva jätti vuoden 2012 lopussa rakentamislupahakemuksen kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle. Säteilyturvakeskukseen arvio rakentamislupahakemuksesta on valmistumassa vuoden 2015 alussa. Tämän jälkeen Valtioneuvosto tulee tekemään rakentamislupahakemusta koskevan päätöksensä.

Kirjallisuusviitteet

- ANDRA 2014. Follow-up of the CIGÉO project by ANDRA after public debate. Radioactive waste geological disposal facility (Press release of ANDRA 6.5.2014 and related communication. (<http://www.andra.fr/international/download/site-principal/document/communiqu-de-presse/press-release-on-the-cigeo-public-debate-follow-up.pdf>) ja (http://www.andra.fr/international/download/andra-international-en/document/news/andra-mai-2014-v13_en-der_web.pdf)
- Anttila, M., Björnberg, M. & Vuori, S. 1999. Käytetyn ydinpolttoaineen huollon vaihtoehdot, pitkäaikaisvarastointi ja transmutaatio. Helsinki, Kauppa- ja teollisuusministeriö KTM, energiaosasto. 64 s. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 10. (http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/1999/KTM-raportti_10_1999.pdf)
- ASN 2008. Guide de sûreté relative au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde, Autorité de Sûreté Nucléaire, février 2008. (<http://www.debatpublic-cigeo.org/docs/complementaires/docs-avis-autorites-contrrole-evaluations/guide-de-surete-2008.pdf>)
- BRC 2012. The Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future (BRC). (http://energy.gov/sites/prod/files/2013/04/f0/brc_finalreport_jan2012.pdf)
- CEA 2012. Sustainable Radioactive Waste Management Act of June 28, 2006: Results of research carried out on the separation and transmutation of long-lived radioactive elements, and on the development of a new generation of nuclear reactors. CEA Nuclear Division, December 2012. 35 p. (<http://www.cea.fr/content/download/112863/2133449/file/CEA-report-sustainable-radioactive-waste-management-18092013.pdf>)
- CNSC 2004. Managing Radioactive Waste, Regulatory Policy P-290. Canadian Nuclear Safety Commission, July 2004. (http://www.nuclearsafety.gc.ca/pubs_catalogue/uploads/P290_e.pdf)
- CNSC 2006. Assessing the Long Term Safety of Radioactive Waste Management, Regulatory Guide G-320. Canadian Nuclear Safety Commission, December 2006. http://www.nuclearsafety.gc.ca/pubs_catalogue/uploads/G-320_Final_e.pdf
- DETEC 2008. Sectoral Plan for Deep Geological Repositories – Conceptual Part, Department of Transport. Energy and Communications (DETEC), Switzerland. ([http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=en&name=en_8218444_89.pdf&endung=Sectoral Plan for Deep Geological Repositories – Conceptual Part.](http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=en&name=en_8218444_89.pdf&endung=Sectoral+Plan+for+Deep+Geological+Repositories+–+Conceptual+Part.))
- Direktiivi 2011/70/EURATOM, annettu 19.7.2011, yhteisön kehityksen perustamisesta käytetyn ydinpolttoaineen ja radioaktiivisen jätteen vastuullista ja turvallista huoltoa varten. (<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011L0070&from=EN>)
- DOE 2013. Strategy for the Management and Disposal of Used Nuclear Fuel and High-Level Radioactive Waste. US Department of Energy, January 2013. (<http://www.energy.gov/downloads/strategy-management-and-disposal-used-nuclear-fuel-and-high-level-radioactive-waste>)
- Ds 2011:35. Sweden's fourth national report under the Joint Convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management. Swedish implementation of the obligations of the Joint Convention. (<http://www.regeringen.se/sb/d/108/a/182224>)
- Dujardin, Th., Gulliford, J. & Comer, S. M. 2012. OECD/NEA activities related to partitioning and transmutation, Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation. Twelfth Information Exchange Meeting, Prague, Czech Republic, 24 - 27 September 2012. Nuclear Science, NEA/NSC/DOC(2013)3, April 2013, pp. 18-22.

(<https://www.oecd-nea.org/science/docs/2013/nsc-doc2013-3.pdf>)

ENSI-G03. Specific design principles for deep geological repositories and requirements for the safety case, April 2009. Guideline for Swiss nuclear installations G03/e, Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate, ENSI. (http://static.ensi.ch/1314022023/g-003_e.pdf)

Euratom 2014-2015. Euratom Work Programme 2014 – 2015.

(http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/euratom/h2020-wp1415-euratom_en.pdf).

Euratom 2020. Research Programme for nuclear research and training.

(<http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/euratom>)

Haas, D. 2013. Fuel cycle back-end and recycling strategies in Europe and related EURATOM research, Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation. Twelfth Information Exchange Meeting, Prague, Czech Republic, 24 - 27 September 2012. Nuclear Science, NEA/NSC/DOC(2013)3, April 2013, pp. 23-27.

(<https://www.oecd-nea.org/science/docs/2013/nsc-doc2013-3.pdf>)

Grundfelt, B. 2010. Jämförelse mellan KBS-3-metoden och deponering i djupa borrhål för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle. Svensk Kärnbränslehantering AB, Rapport R-10-13, September 2010. 77 s. (<http://www.skb.se/upload/publications/pdf/R-10-13.pdf>)

Gupalo, T. A., Kudinov, K. G., Jardine, L. J. & Williams, J. 2004. Creation and Plan of an Underground Geologic Radioactive Waste Isolation Facility at the Nizhnokansky Rock Massif in Russia. Waste Management Symposium, Tucson, AZ, United States, February 27, 2005 through March 3, 2005. (<https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/313754.pdf>)

Horizon 2020. The EU Framework Programme for Research and Innovation.

(<http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/>)

IAEA 2006. Fundamental Safety Principles, Safety Fundamentals. Vienna, IAEA, 2006.

(http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1273_web.pdf)

ICRP 2013. Radiological protection in geological disposal of long-lived solid radioactive waste. ICRP Publication 122. Ann. ICRP 42(3).

IGDTP Master Deployment Plan 2014.

(http://www.igdt.eu/index.php/key-documents/doc_download/235-master-deployment-plan-2014)

IGDTP SRA 2011. IGDTP Strategic Research Agenda: Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste (IGDP-TP).

(http://www.igdt.eu/index.php/key-documents/doc_download/14-strategic-research-agenda)

IGDTP Vision report 2011. The Technology Platform on Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste (IGDP-TP) – Vision and Commitment.

(http://www.igdt.eu/index.php/key-documents/doc_download/16-vision-report)

KYT 2014. Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma, KYT 2014. Puiteohjelma tutkimuskaudelle 2011 - 2014. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia ja ilmasto 68/2010.

(https://www.tem.fi/files/28531/TEM_68_2010_netti.pdf)

NEA 1991. Can Long-term Safety Be Evaluated? An International Collective Opinion. OECD Nuclear Energy Agency, 1991. (<http://www.nea.fr/html/rwm/reports/1991/longterm.pdf>)

NEA 1995. The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal of Long-Lived Radioactive Wastes. A Collective Opinion of the Radioactive Waste Management Committee. OECD Nuclear Energy Agency, 1995.

(<http://www.oecd-nea.org/rwm/reports/1995/geodisp/geological-disposal.pdf>)

NEA 1999. Progress Towards Geologic Disposal of Radioactive Waste: Where Do We Stand? An International Assessment. OECD Nuclear Energy Agency, 1999.

(<http://www.oecd-nea.org/rwm/reports/1999/progress.pdf>)

- NEA 2000. Geological Disposal of Radioactive Waste Radioactive Waste Management: Review of Developments in the Last Decade, Appendix 7 Key Texts of Published Collective Opinions of the NEA. OECD Nuclear Energy Agency, 2000.
(<http://www.oecd-nea.org/rwm/pubs/1999/2048-geological-disposal.pdf>)
- NEA 2004. The Regulatory Control of Radioactive Waste Management. Overview of 15 NEA Member Countries. Nuclear Energy Agency of OECD, 2004.
(<http://www.oecd-nea.org/rwm/pubs/2004/3597-regulatory-control-rwm.pdf>)
- NEA 2008. Moving Forward with Geological Disposal of Radioactive Waste Moving Forward with Geological Disposal of Radioactive Waste: A Collective Statement by the NEA Radioactive Waste Management Committee (RWMC). OECD Nuclear Energy Agency, 2008.
(<http://www.oecd-nea.org/rwm/reports/2008/nea6433-statement.pdf>)
- NEA 2011. Geological Disposal of Radioactive Wastes: National Commitment, Local and Regional Involvement. A Collective Statement of the OECD Nuclear Energy Agency Radioactive Waste Management Committee, Adopted on March 2011.
(<http://www.oecd-nea.org/rwm/docs/2011/rwm2011-16.pdf>)
- NWMO 2009a. Implementing Adaptive Phased Management 2009 to 2013. Nuclear Waste Management Organization (NWMO).
(http://nwmo.ca/uploads_managed/MediaFiles/361_ImplementingAdaptive)
- NWMO 2009b. Project Description of Canada's Long-Term Plan for Used Nuclear Fuel Management. Nuclear Waste Management Organization (NWMO).
(http://www.cna.ca/english/pdf/Waste/NWMO/ProjectDescrip_used_Fuel.pdf)
- NWMO 2014. Implementing Adaptive Phased Management 2014 to 2018, March 2014. Nuclear Waste Management Organization (NWMO). Report NWMO 2348.
<http://www.oecd-nea.org/rwm/pubs/2004/3597-regulatory-control-rwm.pdf>
- NWTRB 2013. Deep Borehole Disposal of Spent Nuclear Fuel and High-Level Waste. U.S. Nuclear Waste Technical Review Board. 4 p. (<http://www.nwtrb.gov/facts/deepborehole.pdf>)
- OECD 2013. Radiological Protection and Geological Disposal, The Guiding Principles and Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP), Committees on Radiation Protection and Public Health and Radioactive Waste Management. OECD Nuclear Energy Agency 2013. (<http://www.oecd-nea.org/rwm/igsc/docs/icrp-flyer-2013.pdf>)
- PNGMDR 3, French National Plan 2013 – 2015 for the Management of Radioactive Materials and Waste. Autorité de Sûreté Nucleaire, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, February 2013.
(<http://www.french-nuclear-safety.fr/content/download/86001/597960/version/3/file/DVS-DRC-ATR-020365-2014.pdf>)
- Posiva 2000-14. Disposal of spent fuel in Olkiluoto bedrock Programme for research, development and technical design for the pre-construction phase. Posiva Report 2000-14, Posiva Oy, December 2000.
(http://www.posiva.fi/files/2612/POSIVA-2000-14_web.pdf)
- Posiva 2012a. Rakentamislupahakemus Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamiseksi käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta varten. Posiva Oy, joulukuu 2012.
(http://www.posiva.fi/files/2923/Posivan_rakentamislupahakemus.pdf)
- Posiva 2012b. Rakentamislupahakemus, Liite 18. Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusten riskienhallinta. 39 s.
(http://www.posiva.fi/files/2923/Posivan_rakentamislupahakemus.pdf)
- SKB 1993. Project on Alternative Systems Study (PASS), Final report. Svensk Kärnbränslehantering AB. SKB Technical Report 93 04. 120 p.
(<http://www.skb.se/upload/publications/pdf/TR93-04webb.pdf>)

- SSG-14. Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste, Specific Safety Guide. Vienna, IAEA, 2011. IAEA Safety Standards Series No. SSG-14.
(http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1483_web.pdf)
- SSM 2009. Nationell plan för allt radioaktivt avfall. Strålsäkerhetsmyndigheten. 92 s.
(https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Myndighetshandling/Regeringsupdrag/Nationell_plan_for_allt_radioaktivt_avfall_2009.pdf)
- SSMFS 2008:21. The Swedish Radiation Safety Authority's Regulations Concerning Safety in Connection with the Disposal of Nuclear Material and Nuclear Waste, issued on 19 December 2008.
(<http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Publikationer/Forfattning/SSMFS-2008/SSMFS-200821/>)
- SSMFS 2008:37. The Swedish Radiation Safety Authority's Regulations and General Advice Concerning the Protection of Human Health and the Environment in Connection with the Final Management of Spent Nuclear Fuel and Nuclear Waste, issued on 19 December 2008.
(<https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Forfattning/Engelska/SSMFS-2008-37E.pdf>)
- SSR-5. Disposal of Radioactive Waste, Specific Safety Requirements. IAEA Safety Standards Series No. SSR-5, Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste. Vienna, IAEA, 2011.
(http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1449_web.pdf)
- STUK-B 96. Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. 3rd Finnish National Report as referred to in Article 32 of the Convention. Helsinki, Radiation and Nuclear Safety Authority, 2008.
(<http://www.stuk.fi/julkaisut/stuk-b/stuk-b96.pdf>)
- STUK-B 138. Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. 4th Finnish National Report as referred to in Article 32 of the Convention. Helsinki, Radiation and Nuclear Safety Authority, 2011.
(<http://www.stuk.fi/julkaisut/stuk-b/stuk-b138.pdf>)
- STUK-B 180. Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. 5th Finnish National Report as referred to in Article 32 of the Convention. Helsinki, Radiation and Nuclear Safety Authority, 2014.
(<http://www.stuk.fi/julkaisut/stuk-b/stuk-b180.pdf>)
- STUK-B-YTO 223. Finnish Report on the Safety of Spent Fuel and Radioactive Waste Management. Finnish National Report as referred to in Article 32 of the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. Helsinki, Radiation and Nuclear Safety Authority, 2003.
(<http://www.stuk.fi/julkaisut/stuk-b/stuk-b-yto223.pdf>)
- STUK-B-YTO 243. Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. 2nd Finnish National Report as referred to in Article 32 of the Convention. Helsinki, Radiation and Nuclear Safety Authority, 2005.
(<http://www.stuk.fi/julkaisut/stuk-b/stuk-b-yto243.pdf>)
- Summary of Directive 2011/70/Euratom. Management of spent fuel and radioactive waste (summary of EU legislation).
(<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1411286421854&uri=URISERV:en0027>).
- TKS-2003. Nuclear Waste Management of the Olkiluoto and Loviisa Power Plants: Programme for Research, Development and Technical Design for 2004 – 2006. Posiva Oy, December 2003. 288 p. (<http://www.posiva.fi/files/344/TKS-2003.pdf>)
- TKS-2006. Nuclear Waste Management of the Olkiluoto and Loviisa Power Plants: Programme for Research, Development and Technical Design for 2007 – 2009. Posiva Oy, December 2003. 285 p. (<http://www.posiva.fi/files/345/TKS-2006web.pdf>)

- TKS-2009. Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuolto: Selvitys suunnitelluista toimenpiteistä ja niiden valmistelusta vuosina 2010 – 2012. Posiva Oy, syyskuu 2009. 532 s.
(http://www.posiva.fi/files/1001/TKS_2009_web_r1.pdf)
- Varaine, F., Buiron, L., Boucher, L. & Verrier, D. 2010. Overview on homogeneous and heterogeneous transmutation in a new French SFR: Reactor and fuel cycle impact. In Proceedings of the Eleventh Information Exchange Meeting on Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation. San Francisco, California, USA, 1 - 4 November 2010. Pp. 113-122.
(<https://www.oecd-nea.org/science/reports/2012/nea6996-11thPandT.pdf>)
- Vira, J. 2004. TKS-2003. Tutkimuksesta toteutukseen. ATS Ydintekniikka nro 1/2004, s. 6-10.
(http://www.ats-ydintekniikka.fi/lehtiarkisto/ATS%20Lehti%202004_1.pdf)
- VNA 736/2008. Valtioneuvoston asetus ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudesta.
(<http://plus.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/20080736>)
- VnP 398/1991. Valtioneuvoston päätös ydinvoimalaitosten voimalaitosjätteiden loppusijoituslaitoksen turvallisuutta koskevista yleisistä määräyksistä. (Tämä on korvattu Valtioneuvoston asetuksella ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudesta 27.11.2008/736).
- VnP 478/1999. Valtioneuvoston päätös käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuudesta 25.3.1999/478.
(<http://www.edilex.fi/lainsaadanto/arkisto/19990478>). (Tämä päätös on kumottu Valtioneuvoston asetuksella 27.11.2008/736). Käännös VnP 478/1999:sta englanniksi:
(<http://plus.edilex.fi/stuklex/en/lainsaadanto/19990478>.)
- Vuori, S. & Rasilainen, K. 2009. Katsaus ydinjätehuollon tilanteeseen Suomessa ja muissa maissa. Espoo, VTT. VTT Tiedotteita 2515. 59 s.
(<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2515.pdf>)
- Vuori, S. 1996. Käytetyn ydinpolttoaineen suoraan loppusijoitukseen ja jälleenkäsittelyyn perustuvien huoltovaihtoehtojen säteily- ja ympäristöturvallisuus. Helsinki, Kauppa- ja teollisuusministeriö KTM, energiaosasto. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 8/1996. 68 s.
(http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/1996/KTM-raportti_8_1996.pdf)
- WNA 2014. Russia's Nuclear Fuel Cycle (Used Fuel and Reprocessing & Wastes).
(<http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-O-S/Russia--Nuclear-Fuel-Cycle/>)
- YJH-2012. Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuollon ohjelma vuosille 2013 - 2015. Posiva Oy, syyskuu 2012. 354 s.
(<http://www.posiva.fi/files/2844/YJH-2012-ohjelmaFinal.pdf>)
- YVL 8.1. Voimalaitosjätteiden loppusijoitus. Säteilyturvakeskus.
(<http://www.finlex.fi/data/normit/3993-YVL8-1.pdf>) (Ohje oli voimassa 1.3.2004 alkaen ja korvasi 20.9.1991 annetun ohjeen YVL 8.1 edellisen version ja korvautui virallisesti 1.12.2013 alkaen ohjeella YVL D.5 ydinjätteiden loppusijoitus).
- YVL 8.4. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuus. Säteilyturvakeskus.
(<http://www.finlex.fi/data/normit/8050-YVL8-4e.pdf>). (Ohje oli voimassa 1.12.2001 alkaen ja korvautui virallisesti 1.12.2013 ohjeella YVL D.5 Ydinjätteiden loppusijoitus).
- YVL 8.5. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen käyttö. Säteilyturvakeskus.
(<http://www.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/saannosto/YVL8-5>) (Ohje julkaistiin 23.12.2002 ja se korvautui virallisesti 1.12.2013 ohjeella YVL D.3 Ydinpolttoaineen käsittely ja varastointi).
- YVL D.3. Ydinpolttoaineen käsittely ja varastointi. Säteilyturvakeskus.
(<http://plus.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/saannosto/YVLD-3>)
- YVL D.5. Ydinjätteiden loppusijoitus. Säteilyturvakeskus.
(<http://plus.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/saannosto/YVLD-5>)

Nimeke	Käytetyn ydinpolttoaineen huoltoa ja loppusijoitusta tukeva tutkimus- ja kehitystoiminta vuosina 2001-2013
Tekijä(t)	Seppo Vuori
Tiivistelmä	<p>Tässä raportissa esitettävä aineisto käsittelee vuonna 2001 hyväksytyt periaatepäätöksen jälkeen toteutetun käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen tutkimus- ja kehitystoiminnan tavoitteita ja toteutumaa sekä tutkimustoiminnan ja sen tulosten säännöllistä viranomaisvalvontaa, minkä yhteydessä on tuotu esille käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen suunnittelussa ja tutkimuksessa seuraavassa vaiheessa huomioon otettavia näkökohtia. Tässä raportissa huomiota on kiinnitetty muun muassa turvallisuuteen, teknisiin vapautumisesteisiin ja sijaintipaikkaan.</p> <p>Reportissa esitetään lisäksi suppea katsaus ydinjätehuoltoon liittyvästä kansainvälisestä yhteistyöstä kansainvälisen ydinenergiajärjestön (IAEA), Euroopan Unionin sekä OECD:n ydinenergiajärjestön (NEA) toiminnoissa. Yhtenä erityisaihepiirinä käsitellään ydinjätteiden loppusijoitusta koskevien viranomaisvaatimusten kehitystä näissä järjestöissä sekä Suomessa että eräissä muissa maissa. Lisäksi esitetään ajantasainen katsaus käytetyn ydinpolttoaineen tai korkea-aktiivisen jätteen loppusijoitushankkeiden etenemisestä Ruotsissa ja Ranskassa sekä eräissä muissa maissa. Lisäksi raportissa esitetään suppea yhteenveto aiemmissa VTT:n laatimissa raporteissa esitetyistä katsauksista käytetyn ydinpolttoaineen huollon vaihtoehtoisten tai täydentävien käsittelymenetelmien kehittämiseen kohdistuvasta kansainvälisestä yhteistyöstä.</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-8179-5 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu)
Julkaisuaika	marraskuu 2014
Kieli	Suomi, englanninkielinen tiivistelmä
Sivumäärä	74 s.
Projektin nimi	KPA-huolto ja LS-kehitys
Rahoittajat	Työ- ja elinkeinoministeriö
Avainsanat	T&K toiminta liittyen käytetyn ydinpolttoaineen huoltoon ja loppusijoitukseen
Julkaisija	VTT PL 1000, 02044 VTT, puh. 020 722 111

Title	Research and development activities related to management and disposal of spent nuclear fuel in 2001-2013
Author(s)	Seppo Vuori
Abstract	<p>The material presented in this report deals with the objectives and results of the R&D activities carried out by Posiva Oy on the geological disposal of spent nuclear fuel as well as the pertinent regulatory control after the Decision-in-Principle accepted by the Finnish Parliament in 2001. In the regulatory control activities viewpoints to be considered in the future activities related to the further planning and research& development on the spent fuel disposal are discussed in this report. Attention has been paid among others to long-term safety, technical release barriers and features of the disposal site.</p> <p>In the report a succinct overview is presented on the international co-operation regarding nuclear waste management and disposal within the International Atomic Energy Agency (IAEA), the European Commission as well as within the Nuclear Energy Agency (NEA) of the OECD. As one specific topic this report describes the development regulatory requirements related to the geological disposal of nuclear wastes within the activities of these organizations as well as in Finland and a number of other countries. In addition, a short overview is presented on the progress of national projects aiming at the realization of the handling and disposal of spent nuclear fuel or high-level nuclear wastes in Sweden and France as well as in some other countries. Furthermore a short overview is presented on the international activities related to the development of alternative or supplementary methods for the management of spent fuel is presented.</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-8179-5 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-122X (Online)
Date	November 2014
Language	Finnish, English abstract
Pages	74 p.
Name of the project	KPA-huolto ja LS-kehitys
Commissioned by	Ministry of Employment and the Economy
Keywords	R&D related to management and disposal of spent nuclear fuel
Publisher	VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland, Tel. 020 722 111

Käytetyn ydinpolttoaineen huolto ja loppusijoitusta tukeva tutkimus- ja kehitystoiminta vuosina 2001- 2013

ISBN 978-951-38-8179-5 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-122X (Verkkójulkaisu)