



YJH-2015

Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuollon ohjelma vuosille 2016–2018

Posiva Oy

Syyskuu 2015

POSIVA OY

Olkiluoto

FI-27160 EURAJOKI, FINLAND

Phone (02) 8372 31 (nat.), (+358-2-) 8372 31 (int.)

Fax (02) 8372 3809 (nat.), (+358-2-) 8372 3809 (int.)

YJH-2015

**Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten
ydinjätehuollon ohjelma vuosille 2016—2018**

Posiva Oy

Syyskuu 2015

YHTEENVETO

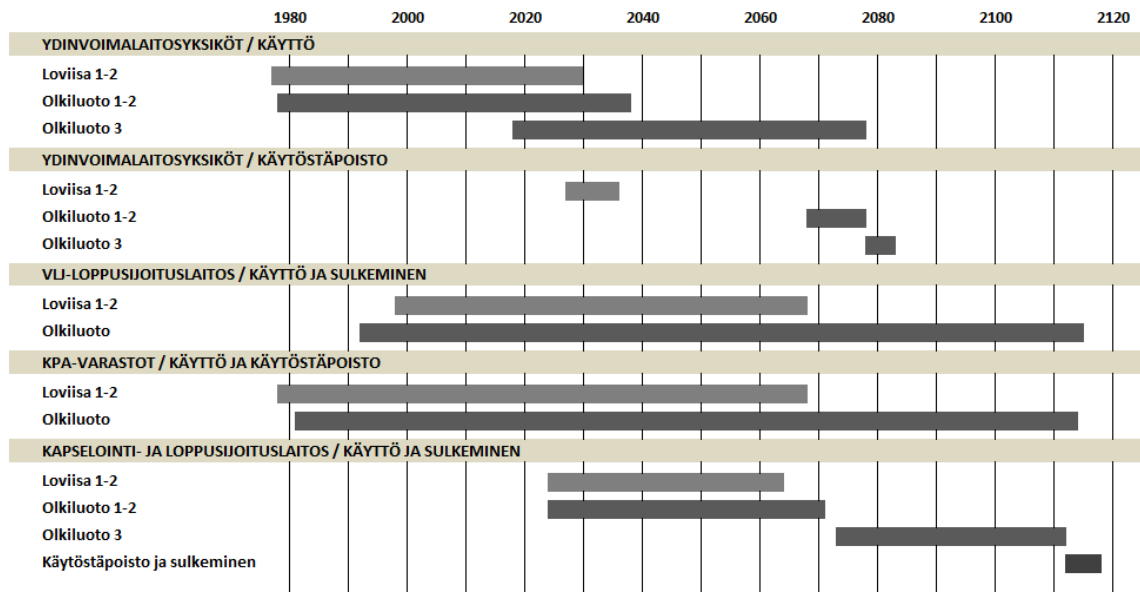
Raportin tausta ja tarkoitus

Ydinjätteen tuottajina Teollisuuden Voima Oyj (TVO) ja Fortum Power and Heat Oy (Fortum) ovat ydinenergialain mukaisesti vastuussa omistamiensa Olkiluodon ja Loviisan ydinvoimalaitosten ydinjätehuollon toteuttamisesta ja tästä aiheutuvista kustannuksista. Lain mukaan ydinjätehuoltovelvollisten tulee säännöllisin välein esittää selvitys siitä, miten ydinjätehuoltoon kuuluvat toimenpiteet ja niiden valmistelu on suunniteltu toteutettavaksi. Kolmen vuoden välein annettavan selvityksen tulee kuvata yksityiskohtaisesti seuraavan kolmivuotiskauden toimenpiteet ja pääpiirteittäin myös tätä seuraavien kolmen vuoden suunnitelmat. Ydinjätehuoltovelvolliset ovat vuodesta 2003 lähtien laatineet kolmivuotissuunnitelmat Olkiluodon ja Loviisan ydinjätehuollolle. Tehdyt selvitykset (TKS-2003, TKS-2006, TKS-2009 ja YJH-2012) ovat sisältäneet suunnitelmat tulevasta tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyöstä ja arvion ydinjätehuollon tilanteesta erityisesti käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusvalmistelujen osalta. Nyt laadittu selvitys, ydinjätehuolto-ohjelma YJH-2015, noudattelee pitkälti samoja suuntaviivoja kuin edeltäjänsä.

TVO ja Fortum huolehtivat itse omien voimalaitostensa voimalaitosjätteen varastoinnista, käsittelystä ja loppusijoituksesta laitospaikoillaan. Kummallakin laitospaikalla on käytössä oleva loppusijoituslaitos, johon sijoitetaan käytön aikana syntyvä voimalaitosjäte. Samoihin loppusijoitustiloihin on tarkoitus aikanaan loppusijoittaa myös voimalaitosten käytöstäpoiston yhteydessä syntyvä ydinjäte. Käytetyn ydinpolttoaineen huollon järjestämiseksi TVO ja Fortum perustivat vuonna 1995 Posiva Oy:n (Posiva), jonka tehtävänä on huolehtia käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta omistajiensa tarpeiden mukaisesti.

Posivan tavoitteena on, että vuonna 2012 jätetyn hakemuksen perusteella yhtiölle myönnetään rakentamislupa vuoden 2015 aikana ja että se muuttuu ohjelmakauden aikana ydinlaitosluvanhaltijaksi. Vuosina 2016–2018 tehtävän työn päämääränä on saattaa kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen sekä loppusijoituskonseptin suunnitelmat sellaiseen valmiuteen, että hankkeen toteuttaminen on mahdollista aloittaa YJH-2015-ohjelmakauden alkupuolella. Ohjelmakauden loppuosan päätavoite on käyttölupahakemusvalmiuden saavuttaminen.

Tutkimus- ja kehitystyön kannalta merkittävän tavoitteen muodostaa pitkäaikaisturvallisuuteen kohdistuvien epävarmuuksien pienentäminen ja saattaminen sellaiselle tasolle, että ne voidaan sulkea pois käyttölupahakemukseen liitettävissä selvityksissä ja niitä koskevissa turvallisuustarkasteluissa. Tavoitteena on suunnitella myös perusratkaisuna olevan KBS-3V-ratkaisun toteutusvaihtoehto – vaakasijoitusratkaisu KBS-3H – tasolle, joka mahdollistaa näiden suunnitteluvaihtoehtojen keskinäisen arvioinnin ja perustellun valinnan tekemisen.



Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuollon kokonaisaikataulu.

Voimalaitosten ydinjätehuolto

Loviisan voimalaitos

Loviisan ydinvoimalaitoksen ydinjätehuolto ja matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitusluolan käyttö on edennyt suunnitelmien mukaisesti ja käyttöluopaehtojen mukaiset selvitykset sekä turvallisuusperustelun päivitykset on tehty. Loviisan ydinvoimalaitoksen käytöstäpoistosuunnitelma päivitetään seuraavan kerran vuonna 2018. Vuoden 2018 loppuun mennessä tehdään myös voimalaitos- ja käytöstäpoistojätteen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuutta käsittelevä turvallisuusperustelu.

Loviisan ydinvoimalaitoksen jätehuollon tutkimus- ja kehitystoimenpiteet tähtäävät olemassa olevien jätehuoltomenettelyjen kehittämiseen ja parantamiseen sekä sen varmistamiseen, että käytön aikana syntyvä voimalaitosjäte on pääsääntöisesti käsitelty ja loppusijoitettu ennen käytöstäpoiston alkamista. Käytetyn polttoaineen käsittelyyn ja varastointiin kohdistuvat toimenpiteet (esim. tiheiden telineiden hankinnat ja asennukset) tähtäävät riittävän varastointikapasiteetin varmistamiseen laitoksella käyttöään loppuun saakka sekä edellytysten luomiseen polttoaineen kuljetukselle kapselointilaitokseen ja sieltä edelleen kapseloituna loppusijoituslaitokseen.

Olkiluodon voimalaitos

TVO:ssa käyvien ydinvoimalaitosyksiköiden, OL1 ja OL2, jätehuolto ja niiden matala- ja keskiaktiivisen käyttöjätteen loppusijoituspaikan, VLJ-luolan, käyttö Olkiluodossa on edennyt suunnitelmien mukaan ja käyttöluopaehtojen mukaiset selvitykset ja turvallisuusperustelun päivitykset on tehty. Laitosyksiköiden käytöstäpoistosuunnitelmat on päivitetty ja ne tarkentuvat laitosten käyttöään loppua kohden. Olkiluodossa sijaitsevan käytetyn polttoaineen välivarastoa, KPA-varastoa, on laajennettu.

Olkiluodon voimalaitoksen jätehuollon tutkimus- ja kehitystoimenpiteillä on kolme pää-
tavoitetta:

- olemassa olevien jätehuoltomenettelyjen kehittäminen ja parantaminen,
- loppusijoitustilan seuranta ja monitorointi, sekä
- loppusijoitustilojen pitkäaikaiskestävyyden varmentaminen.

Tärkeä tutkimus- ja kehitystyön tavoite on myös jätteen määrän pienentäminen loppu-
sijoitustilojen riittävyden ja käytettävyyden varmistamiseksi.

Käytöstäpoistosuunnitelmaa kehitetään asteittain kohti lopullista suunnitelmaa, jonka
mukaan käytöstäpoisto voidaan aikanaan toteuttaa. Käytöstäpoistosta syntyvän jätteen
loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuusanalyysin päivitys on tehty 2014 ja seuraavan
kerran viimeistään vuonna 2020. Uuden OL3-laitosyksikön käytöstäpoistosuunnitelma
tarkentuu seuraavan kerran käyttöluvan hakemisen yhteydessä. Voimalaitosjätteen lop-
pusijoitustilan turvallisuusperustelu päivitetään vuoden 2021 loppuun mennessä.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus

Loppusijoituspaikan karakterisointi, monitorointi ja kallion soveltuvuusluokittelu

Olkiluodon paikankuvaustyön päätavoitteena alkavalla ohjelmakaudella on tuottaa turval-
lusperustelulle (TURVA-2020) ja muille loppukäyttäjille päivitetty mallikuvaukset
jokaiselta paikkatutkimuksen osa-alueelta. Integroitua paikankuvausta tullaan käyttämään
myös turvallisuusarvioinnin (FSAR) laadinnassa. Loppusijoitustiloja rakennettaessa ka-
rakterisoinnin ja mallinnuksen tärkeimpänä tehtävänä on tuottaa ajantasainen pienen mit-
takaavan kuvaus loppusijoitustilojen lähikalliosta soveltuvuusluokittelun tarpeisiin.

Loppusijoituspaikan ja -laitoksen pitkäaikaisen kehityksen seurantaan varten on käynnis-
sä kuusi osa-aluetta kattava Olkiluodon monitorointiohjelma (OMO). Monitorointioh-
jelma on päivitetty vuonna 2012 kattamaan tulevat vuodet aina loppusijoituslaitoksen
käytön alkuun asti. Vaatimus teknisten vapautumisesteiden monitoroinnista tulee varsii-
naisesti ajankohtaiseksi vasta loppusijoituslaitoksen käytön alkaessa, mutta teknisten
vapautumisesteiden monitoroinnissa mahdollisesti käytettävää tekniikkaa kehitetään ja
testataan jo ennen loppusijoituslaitoksen käyttövaihetta. Ympäristön säteilyn ja radioak-
tiivisten aineiden päästöjen valvonnan osalta on valmiina suunnitelma perustilan kartoit-
tamiseksi. Perustilan kartoitus ja käytön aikaisen säteilyn ja päästöjen valvontaohjelman
laadinta suoritetaan käyttöluvahakemukseen mennessä. Monitorointiohjelma tullaan
päivittämään kokonaisuudessaan käyttöluvahakemukseen mennessä.

Loppusijoitustilojen tuottamisen yhteydessä tehtävän kallioluokittelun (Rock suitability
classification, RSC) toteuttaminen on ohjeistettu. Ennen loppusijoitustilojen rakentamisen
aloittamista laaditaan suunnitelma luokituksen luotettavuudesta ja tarvittavasta jatkokehi-
tyksestä. RSC-menetelmän luotettavuuden arvioinnissa käytetään jo aiemmin tehtyä de-
monstraatiotyötä ja lisäksi täydentävää demonstrointia. RSC-menettelyyn liittyvät hyväk-
symismenettelyt viimeistellään kattamaan rakentamisen kaikki vaiheet, mukaan lukien
pilottireikästudkimukset. Tutkimusten ja RSC:n tuottamien lähtötietojen dokumentointi,
esittäminen ja hyväksynnät kuvataan viimeistään 2016. Tulevalla ohjelmakaudella val-
mistaudutaan kallioluokituksen kattavuuden ja menettelyn toimivuuden arviointiin raken-

tamisesta saatujen kokemusten perusteella. RSC:n soveltamisesta saadut kokemukset kuvataan vuonna 2017 ja esitetään mahdollisesti päivitetty RSC-menettely.

Teknisten vapautumisesteiden kehitys

Posiva kokosi vuonna 2014 loppusijoituskonseptin kehitysohjelman, jossa esitellään vaatimuslähtöisesti Posivan näkemyksen mukaan avoinna olevat asiat sekä suunnitellut tutkimus-, kehitys- ja demonstraatiotoimet, joilla avoimet asiat on tarkoitus ratkaista. Loppusijoituskonseptin kehitysohjelma kattaa käytetyn polttoaineen, kapselin, puskurin, loppusijoitustunnelin täytön ja tulpan, sulkemisen, kallioperän sekä täyden mittakaavan järjestelmätestin ja yhteistoimintakokeet.

Kapselin, puskurin ja loppusijoitustunnelien täyttömateriaalien asentamiseen kehitettyjä laitteita, niiden toimivuutta ja saavutettavaa asennustarkkuutta sekä muita käyttötoiminnan kannalta tärkeitä tekijöitä on testattu sekä tehdasoloissa että aidoissa loppusijoitusolosuhteissa ONKALON demonstraatiotunneleissa. Komponenttikohtaisten testien jälkeen kapselin, puskurin, täyttömateriaalien ja tulpan asennusta testataan sarjana ONKALOSSA tehtävässä täyden mittakaavan järjestelmätestissä (Full-Scale In-Situ System Test, FISST), joka on suunniteltu toteutettavan vuosien 2017–2018 aikana. Varsinaiset loppusijoitustoimintaan tarvittavat asennuslaitteet suunnitellaan ja rakennetaan näissä testeissä saatujen tulosten pohjalta.

Loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden osoittaminen

Käytetyn polttoaineen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden osoittamiseksi on laadittu ns. turvallisuusperustelu (Safety Case), jolla kansainvälisesti omaksutun määritelmän mukaisesti tarkoitetaan kaikkea sitä teknis-tieteellistä aineistoa, analyysijä, havaintoja, kokeita, testejä ja muita todisteita, joilla perustellaan loppusijoituksen turvallisuus ja turvallisuudesta tehtyjen arvioiden luotettavuus. Menneen ohjelmakauden aikana turvallisuusperustelun keskeisin työ on ollut turvallisuusperustelun (TURVA-2012) koostaminen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemusta varten.

Tulevalla kolmivuotisjaksolla päätavoitteena on tuottaa päivitetty turvallisuusperustelu käyttö lupaa varten (TURVA-2020). *Turvallisuusperustelua koskevan STUKin päätöksen* vaatimukset otetaan työssä huomioon. Keskeisiä tehtäviä turvallisuusperustelun osalta ovat:

- turvallisuusperustelun TURVA-2020 suunnitelman laatiminen,
- toimintakykyanalyysin ja skenaarioiden laatimisen käytettävän metodologian kehittäminen,
- aktiivisuuspäästöjen skenaarioanalyysien ja vaikutusten kuvaaminen,
- vapautumisteiden turvallisuustoimintojen ja pitkäaikaisturvallisuuden kannalta olennaisten toimintakykytavoitteiden tavoiteominaisuuksien päivittäminen,
- kapselointilaitoksen matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilan turvallisuusarviointi ja integrointi muuhun turvallisuusperusteluun,
- turvallisuusperustelun laadunhallinnan kehittäminen, sisältäen lähtötietojen luotettavuuden varmistaminen.

Keskeinen tehtävä ja tavoite alkavalle kolmivuotiskaudelle on vapautumisesteiden toimintakykyyn liittyvien epävarmuuksien kuvaaminen ja hallinnointi. Vuosina 2019–2021 turvallisuusperustelun keskeisin työ on TURVA-2020 raporttien koostaminen ja yhteenvedon valmisteleminen lopulliseen turvallisuusselosteeseen (FSAR).

Vaakasijoitusratkaisu KBS-3H

KBS-3H-ratkaisua on edelleen kehitetty yhteistyössä SKB:n kanssa. Meneillään oleva järjestelmäsuunnitteluvaiheen yhteistyöprojekti päättyy vuoden 2016 lopussa. SKB ja Posiva päättävät vuonna 2016 siihen mennessä saadun tutkimusaineiston perusteella 3H-ratkaisun jatkosta.

Vaakasijoitusratkaisulle tehtyjen suunnitelmien mukainen toiminta varmistetaan ja demonstroidaan käynnissä olevassa täyden mittakaavan testissä (Multi Purpose Test, MPT) Äspön kalliolaboratoriossa. Olkiluodossa kairataan vuoden 2015 aikana noin 300 m pituinen lähes vaakasuora pilottireikä riittävän suorien ja pitkien kairareikien toteutavuuden osoittamiseksi. Pilottireiän suoruus todennetaan vuoden 2016 aikana tehtävän tunnelilouhinnan yhteydessä.

Loppusijoitustoiminnan suunnittelu ja valmistelu

Kapselointilaitoksen toteutussuunnitteluvaihe jatkuu vuoden 2016 lopulle, minkä jälkeen on mahdollista aloittaa järjestelmien ja laitteiden valmistus ja kapselointilaitoksen rakentaminen. Tämän hetken arvio valmistusvaiheen alkamiselle on 2017, rakennusvaiheelle 2018 ja asennusvaiheelle 2019.

ONKALOn laajuuteen liittyvät tilat louhitaan valmiiksi vuosina 2015–2017 ennen laitosprojektin louhintojen aloittamista. Loppusijoituslaitosprojektin valmistelevien louhintojen valmistuttua noin vuonna 2019 aloitetaan loppusijoituslaitoksen rakennus- ja talotekniset työt. Ensimmäiset varsinaiset loppusijoitustunnelit louhitaan rinnakkain rakennustöiden kanssa.

Koekäyttöä suoritetaan alkuvaiheessa järjestelmä- ja laitekohtaisesti ensin hyväksytyissä rakennesuunnitelmissa esitettyjen menettelyjen mukaisesti tehdasteissa (FAT) ja laitokselle asentamisen jälkeen laitoksella (SAT). Järjestelmäkohtaisen koekäytön jälkeen suoritetaan kapselointilaitoksen yhteistoimintakokeita, joilla järjestelmien keskinäinen toiminta ja laitoksen ohjausjärjestelmän toimivuus varmennetaan. Yhteistoimintakoe ilman käytettyä ydinpolttoainetta voidaan suorittaa tämänhetkisen aikataulun mukaan vuonna 2022. Ydintekninen yhteistoimintakoe käytetyllä ydinpolttoaineella tehdään aikataulun mukaan vuonna 2023, kun lupa käytetyn ydinpolttoaineen käsittelyyn on saatu STUKista. Ydintekninen yhteistoimintakoe pitää sisällään ensimmäisten käytettyä polttoainetta sisältävien kapseloiden loppusijoituksen.

Tulevan ohjelmakauden aikana aiemmin laadittuja kapselointi- ja loppusijoitusprosessien kuvauksia ylläpidetään ja päivitetään järjestelmien toteutussuunnitelmien mukaisesti. Tarkempaa tietoa prosessin vaiheajoista saadaan, kun prototyyppisiä ja myöhemmin lopullisia järjestelmiä testataan ja koekäytetään. Osana käyttötoiminnan suunnittelua laaditaan alustava laitoksen käyttösuunnitelma, jossa mm. esitetään, millä

polttoainetyypillä loppusijoitus aloitetaan. Käyttösuunnitelmaa hyödynnetään myös polttoainekuljetusten valmistelussa.

Tuotantoon valmistaudutaan perustamalla tuotantoon valmistautumisprojekti, jossa selvitetään kaikkien käyttövaiheessa tarvittavien toimintojen tilanne ja laadintaan suunnitelma niiden saattamiseksi käytön edellyttämään valmiuteen.

Käyttölupaprojekti

Posivan valmistautuminen käyttölupahakemuksen jättämiseen alkaa heti rakentamisluvan myöntämisen jälkeen. Säteilyturvakeskuksen hyväksyessä rakentamislupahakemuksen yhteydessä Säteilyturvakeskukselle toimitetun aineiston ml. alustavan turvallisuusselosteen ja turvallisuusperustelun, esitti se useita vaatimuksia kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamisen ajalle ja täytettäväksi käyttölupahakemuksen jättämiseen mennessä. Posiva on tunnistanut tämän lisäksi itse kehityskohteita ja kuvannut näitä loppusijoituskonseptin kehitysohjelmassa ja luvitus suunnitelmassa. Posiva on päättänyt projektoida käyttölupahakemukseen ja loppusijoitusmenetelmän kehitykseen tarvittavat työt siten, että käyttölupahakemus jätetään vuonna 2020 ja käyttöönottovalmius saavutetaan vuonna 2023. Tätä ennen käyttölupaprojektin tehtävänä on huolehtia, että käyttölupahakemus ja siihen liittyvä aineisto laaditaan ajallaan ja laadullisesti hyvin.

SISÄLLYSLUETTELO

YHTEENVETO

1	YLEISTÄ	9
1.1	Ohjelman tausta ja tarkoitus	9
1.2	Ydinjätehuollon vastuut ja sopimus ydinjätehuollon järjestämisestä.....	10
1.3	Lait, asetukset ja muut määräykset	12
1.4	Ydinerogia-asetuksen mukaiset selvitykset ja raportointivelvollisuus	13
1.5	YJH-2012-ohjelma	13
	1.5.1 Viranomaispalaute YJH-2012-ohjelmasta.....	13
	1.5.1.1 STUKin lausunto YJH-2012-ohjelmasta.....	14
	1.5.1.2 TEM:n lausunto YJH-2012-ohjelmasta	19
	1.5.2 YJH-2012-ohjelman toteuma	20
1.6	YJH-2015-ohjelman yleiset tavoitteet	22
2	LOVIISAN VOIMALAITOS	25
2.1	Loviisan voimalaitoksen ydinjätehuollon kokonaissuunnitelma pääpiirteittäin	25
2.2	Loviisan voimalaitoksen ydinjätehuoltotoimenpiteiden kokonaisuikataulu.....	25
2.3	Käytetyn polttoaineen käsittely ja varastointi	27
	2.3.1 Voimalaitosjätteen käsittely, varastointi ja loppusijoitus.....	28
	2.3.2 Käytöstäpoistosuunnittelu	29
2.4	Loviisan voimalaitoksen jätehuollon tutkimus- ja kehitystoimenpiteet 2016–2021	30
	2.4.1 Käytetyn polttoaineen käsittely ja varastointi	30
	2.4.2 Voimalaitosjätteen käsittely, varastointi ja loppusijoitus.....	32
	2.4.2.1 Nestemäisten jätteiden käsittely ja varastointi.....	32
	2.4.2.2 Kuivien jätteiden käsittely ja varastointi.....	32
	2.4.2.3 Voimalaitosjätteiden loppusijoitus	33
	2.4.2.4 Voimalaitosjätteen loppusijoituksen turvallisuusperustelu.....	35
	2.4.3 Käytöstäpoisto	36
3	OLKILUODON VOIMALAITOS	39
3.1	Olkiluodon voimalaitoksen ydinjätehuollon kokonaissuunnitelma pääpiirteittäin	39
	3.1.1 Olkiluodon voimalaitoksen ydinjätehuoltotoimenpiteiden kokonaisuikataulu	39
	3.1.2 Käytetyn polttoaineen käsittely ja varastointi	41
	3.1.3 Voimalaitosjätteen käsittely, varastointi ja loppusijoitus.....	42
	3.1.4 Käytöstäpoistosuunnittelu	45
3.2	Olkiluodon voimalaitoksen jätehuollon tutkimus ja kehitystoimenpiteet 2016–2021	45

3.2.1	Käytetyn polttoaineen käsittely ja varastointi	46
3.2.1.1	Käytetyn polttoaineen käsittelyn ja varastoinnin tutkimuksia vuosina 2016–2018	47
3.2.1.2	Käytetyn polttoaineen käsittelyn ja varastoinnin tutkimuksia vuosina 2019–2021	47
3.2.2	Voimalaitosjätteen käsittely, varastointi ja loppusijoitus	47
3.2.2.1	Jätteen käsittely	48
3.2.2.2	VLJ-luolan seuranta ja käytön monitorointi	48
3.2.2.3	VLJ-luolan pitkäaikaisturvallisuus	49
3.2.2.4	Voimalaitosjätteen käsittelyn, varastoinnin ja loppusijoituksen tutkimus vuosina 2016–2018	52
3.2.2.5	Voimalaitosjätteen käsittelyn, varastoinnin ja loppusijoituksen tutkimus vuosina 2019–2021	53
3.2.3	Käytöstäpoisto	54
3.2.3.1	Käytöstäpoiston tutkimus vuosina 2016–2018	54
3.2.3.2	Käytöstäpoiston tutkimus vuosina 2019–2021	55
4	KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUSVALMISTELUJEN TILANNE	57
4.1	Periaatepäätökset ja muut luvat	57
4.1.1	Periaatepäätökset	57
4.1.2	Ympäristövaikutusten arviointi	58
4.2	Rakentamislupahakemus	58
4.2.1	Kuuleminen ja lausunnot	59
4.2.2	Säteilyturvakeskuksen turvallisuusarvio	59
4.2.3	Rakentamislupavaiheen kokemuksia	60
4.3	Turvallisuuden ja laadun hallinnan tilanne	60
4.3.1	Turvallisuuskulttuuri, inhimilliset ja organisatoriset tekijät sekä johtamisjärjestelmä	60
4.3.2	Laadunvalvonta	64
4.3.3	Ympäristöturvallisuus	65
4.3.4	Ydinturvallisuus	66
4.3.5	Säteilyturvallisuus	67
4.3.6	Valmiusjärjestelyt	67
4.3.7	Ydinmateriaalivalvonta	68
4.3.8	Yritysturvallisuus	69
4.3.8.1	Työturvallisuus	69
4.3.8.2	Pelastustoiminta	69
4.3.8.3	Turvajärjestelyt	71
4.3.8.4	Tietoturvallisuus	73
4.3.9	Pitkäaikaisturvallisuus	74

4.4	Toteutusvaiheeseen siirtyminen ja valmiuden arviointi.....	74
4.4.1	Laitosprojekti ja valmiuden arviointi	74
4.4.2	Epävarmuuksien hallinta	75
4.4.3	Edellytysten arviointi	77
4.5	ONKALOn ja aluerakentamisen tilanne	77
4.5.1	ONKALOn rakentamisen tilanne	77
4.5.2	Aluerakentamisen tilanne.....	79
4.6	Laitosprojektin tilanne	80
4.6.1	Kapselointilaitoksen suunnittelun tilanne	80
4.6.1.1	Järjestelmäsuunnittelu.....	81
4.6.1.2	Rakennussuunnittelu.....	82
4.6.2	Loppusijoituslaitoksen suunnittelun tilanne.....	82
4.7	Kehitysohjelman tilanne	82
4.7.1	Käytetty ydinpolttoaine	83
4.7.2	Kapseli	84
4.7.3	Puskuri, täyttö ja sulkeminen	87
4.7.4	Täyden mittakaavan järjestelmätesti FISST.....	90
4.8	Loppusijoituspaikan kuvaus, luokittelu ja monitorointi	91
4.8.1	Geologia ja geofysiikka	94
4.8.2	Kalliomekaniikka	96
4.8.3	Hydrogeologia.....	98
4.8.3.1	Loppusijoituspaikan hydrogeologinen kuvaus.....	98
4.8.3.2	Hydrologinen ja hydrogeologinen monitorointi	101
4.8.4	Hydrogeokemia.....	102
4.8.5	Pintaympäristön monitorointi.....	105
4.8.6	Vieraat aineet	105
4.8.7	Teknisten vapautumisesteiden monitoroinnin kehitys vuosina 2013–2015	106
4.8.8	Soveltuvuusluokittelu	108
4.8.8.1	Kallion soveltuvuusluokitteludemonstraation laajentaminen	108
4.8.8.2	Kallion soveltuvuusluokittelukriteerien ja -menettelyn arviointi ja kehitys	108
4.9	Turvallisuusperustelu ja sitä tukeva tutkimus.....	109
4.9.1	Ulkoiset olosuhteet.....	110
4.9.1.1	Ilmaston kehityskulku	110
4.9.1.2	Jäätiköityminen ja jäätikkö.....	110
4.9.1.3	Ikirouta.....	111
4.9.1.4	Merenpinnan keskimääräiset muutokset, isostaattiset muutok- set ja kallioperän jännitystilän muutokset.....	111

4.9.2	Kallioperän pidättymisominaisuudet.....	112
4.9.3	Pintaympäristö (biosfääri)	112
4.9.4	Skenaariot ja niiden analysointi.....	115
4.10	Vaakasijoitusratkaisu KBS-3H	115
4.10.1	Osakomponenttien suunnittelu.....	116
4.10.2	Tuotanto ja käyttö	117
4.10.3	Toteutettavuuden osoittaminen.....	117
4.10.4	Turvallisuusarvio	118
4.10.5	Laitossuunnitteluun liittyvät työt	119
4.11	Käyttötoiminnan suunnittelu.....	120
4.11.1	Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttötoiminta	120
4.11.2	Kapselien ja savikomponenttien tuotanto.....	120
4.11.2.1	Kapselikomponenttien tuotanto	120
4.11.2.2	Savikomponenttien hankinta- ja tuotantoseelvitykset.....	121
4.11.3	Käytetyn polttoaineen kuljetukset	122
5	KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUKSEN TUTKIMUS- JA KEHITYSTYÖ 2016–2021	123
5.1	Lähtökohdat	123
5.2	Loppusijoituskonseptin kehitysohjelma	123
5.2.1	Polttoaine	124
5.2.1.1	Käytetyn ydinpolttoaineen koostumus ja ominaisuudet.....	124
5.2.1.2	Polttoaineen käsittelyyn ja tiedonhallintaan liittyvät kehitystoimet	125
5.2.1.3	Pitkäaikaisturvallisuuden arviointiin tarvittavat tutkimukset.....	126
5.2.2	Kapseli	126
5.2.2.1	Kapselien suunnittelu ja toimintakyky.....	126
5.2.2.2	Kapselikomponenttien tuotanto	129
5.2.2.3	Kapselointi.....	129
5.2.2.4	Kapselin käsittely, varastointi ja asennus.....	132
5.2.3	Puskuri	134
5.2.3.1	Puskurin ja täytön materiaalitutkimukset.....	134
5.2.3.2	Puskurin kehitys	135
5.2.3.3	Puskuri-täyttöjärjestelmän alkutilan ja asentamisen jälkeisen vettymisen demonstrointi.....	137
5.2.3.4	Toimintakykyvaatimusten osoittaminen.....	138
5.2.3.5	Puskurin valmistustekniikan kehitys	141
5.2.3.6	Asennustekniikan kehitys	141
5.2.4	Loppusijoitustunnelin täyttö ja tulppa	144
5.2.4.1	Täytön suunnittelu ja toimintakyky	144

5.2.4.2	Loppusijoitustunnelin täytön suunnittelu.....	146
5.2.4.3	Täyttökomponeenttien valmistustekniikan kehitys	146
5.2.4.4	Päätytulpan rakennustekniikan kehitys	147
5.2.4.5	Asennustekniikan kehitys.....	147
5.2.5	Sulkeminen	148
5.2.5.1	Sulkemissuunnitelma ja vaatimusmäärittelyn täytyminen ja osoittaminen.....	149
5.2.5.2	Raaka-aineiden hankintaketju	149
5.2.5.3	Valmistaminen ja varastointi.....	150
5.2.5.4	Asennus	150
5.2.6	Täyden mittakaavan järjestelmätesti FISST.....	151
5.3	Kallioperä.....	151
5.3.1	Kalliolle asetetut vaatimukset – soveltuvuusluokittelun jatkokehitys	151
5.3.2	Loppusijoitustaikaa karakterisointi ja mallinnus	152
5.3.2.1	Geologia ja geofysiikka	152
5.3.2.2	Kalliomekaniikka.....	154
5.3.2.3	Hydrogeologia ja kulkeutuminen	155
5.3.2.4	Hydrogeokemia	158
5.3.3	Kalliorakentamisen kehitys.....	161
5.3.3.1	Tunnustelu ja injektointi.....	161
5.3.3.2	Tunneleiden louhinta	161
5.3.3.3	Loppusijoitustaikaa reikien poraus ja viimeistely	162
5.4	Monitorointiohjelma.....	162
5.4.1	Kalliomekaniikka	163
5.4.2	Hydrologia ja hydrogeologia	164
5.4.3	Hydrogeokemia.....	166
5.4.4	Pintaympäristö	166
5.4.5	Vieraat aineet.....	168
5.4.6	Tekniset vapautumisesteet	168
5.5	TURVA-2020-turvallisuusperustelu ja sitä tukeva tutkimus	170
5.5.1	TURVA-2020-raporttien salkku	170
5.5.2	Ulkoiset olosuhteet.....	173
5.5.3	Loppusijoitustaikaa järjestelmän kehityskulut.....	175
5.5.3.1	Skenaarioiden muodostaminen.....	175
5.5.3.2	Pintaympäristö (biosfääri).....	176
5.5.3.3	Käytetty ydinpolttoaine	177
5.5.3.4	Kapseli.....	178

5.5.3.5	Puskuri ja täyttö.....	178
5.5.3.6	Sulkeminen.....	178
5.5.3.7	Kallioperä	178
5.5.3.8	Kapselointilaitoksen matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustila	180
5.5.4	Aktiivisuuspäästöjen ja säteilyaltistusten arviointi	180
5.5.5	Turvallisuusperustelun laadunhallinnan kehittäminen.....	181
5.5.6	Sisäinen ja ulkoinen yhteistyö	183
5.6	Vaakasijoitusratkaisu KBS-3H	183
5.6.1	Tutkimus- ja kehitystyö vuosille 2016–2018.....	183
5.6.1.1	Osakomponenttien suunnittelu.....	184
5.6.1.2	Tuotanto ja käyttö.....	184
5.6.1.3	Toteutettavuuden osoittaminen	184
5.6.1.4	KBS-3H-turvallisuusarviointi.....	185
5.6.2	Suunnitelmat aikavälille 2019–2021	186
5.7	Kapselointilaitoksen ydinjätehuolto	187
6	KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN KAPSELOINTI- JA LOPPUSIJOITUS- LAITOKSEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS 2016–2021	189
6.1	Lähtökohdat	189
6.2	Kaavoitus ja aluetyöt.....	190
6.2.1	Kaavoituksen tilanne ja suunnitelmat.....	190
6.2.2	Aluetyöt ja alueelle toteutettavat rakennukset.....	190
6.3	Kapselointilaitos	191
6.3.1	Toteutussuunnittelu.....	191
6.3.2	Toteutus	191
6.4	Loppusijoituslaitos.....	192
6.4.1	ONKALOn suunnittelu ja toteutus	192
6.4.2	Loppusijoituslaitoksen suunnittelu ja toteutus	192
7	KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN KAPSELOINTI- JA LOPPUSIJOITUS- LAITOKSEN KÄYTTÖÖNOTON JA KÄYTÖN SUUNNITTELU 2016–2021	195
7.1	Koekäytöt, asennustestaukset ja yhteistoimintakokeet.....	195
7.1.1	Kapselointilaitos	195
7.1.2	Loppusijoituslaitos.....	196
7.2	Käyttötoiminnan suunnittelu	197
7.3	Kapselien ja savikomponenttien hankinnat.....	198
7.3.1	Kapselikomponenttien ja kapselien hankinta	198
7.3.2	Savimateriaalien ja -komponenttien hankinta- ja tuotantoselvitykset	199
7.4	Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetukset.....	200

7.4.1	Kuljetussäiliöt	200
7.4.2	Kuljetusten suunnittelu	201
7.4.3	Kuljetusten luvittaminen (säiliöt, järjestelyt, suunnitelmat)	201
8	KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN KAPSELOINTI- JA LOPPUSIJOITUSLAITOKSEN KÄYTTÖLUPA.....	203
8.1	Käyttölupahakemuksen jättämiseen valmistautuminen	203
8.1.1	Käyttölupaprojekti, -organisaatio ja aikataulu.....	203
8.1.2	Laajuus ja vaatimukset käyttölupaprojektille	203
8.2	Käyttölupahakemuksen sisältö	204
8.2.1	Valmius käyttölupahakemuksen jättämiseen	204
8.2.2	Käyttölupahakemukseen tarvittavat selvitykset.....	204
8.3	Järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden kelpoistaminen ja hyväksyttäminen ennen käyttöluvan jättämistä	205
9	VIITTEET	207

1 YLEISTÄ

1.1 Ohjelman tausta ja tarkoitus

Ydinjätehuollon järjestäminen perustuu ydinenergialakiin (YEL, 990/1987) ja ydinenergia-asetukseen (YEA 161/1988), joissa määritellään ydinenergian tuottajan velvollisuudet, ydinjätehuollon toteuttaminen, lupakäsittelyt sekä viranomaisen valvontaoikeudet. Ydinjätehuollon järjestämistä koskeva keskeinen muutos tapahtui vuonna 1994, jolloin ydinenergialakia muutettiin niin, että kaikki Suomessa syntyvä ydinjäte on loppusijoitettava Suomeen.

Ydinjätteen tuottajina Teollisuuden Voima Oyj (TVO) ja Fortum Power and Heat Oy (Fortum) ovat ydinenergialain mukaisesti vastuussa omistamiensa Olkiluodon ja Loviisan ydinvoimalaitosten ydinjätehuollon toteuttamisesta ja tästä aiheutuvista kustannuksista. TVO ja Fortum huolehtivat itse omien voimalaitostensa voimalaitosjätteen varastoinnista, käsittelystä ja loppusijoituksesta laitospaikoillaan. Kummallakin laitospaikalla on käytössä oleva loppusijoituslaitos, johon sijoitetaan käytön aikana syntyvä voimalaitosjäte. Samoihin loppusijoitustiloihin on tarkoitus aikanaan sijoittaa myös voimalaitosten käytöstäpoiston yhteydessä syntyvä ydinjäte. Käytetyn ydinpolttoaineen huollon järjestämiseksi TVO ja Fortum perustivat vuonna 1995 Posiva Oy:n (Posiva), jonka tehtävänä on huolehtia käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen valmistelusta ja toteutuksesta omistajiensa tarpeiden mukaisesti. Posiva huolehtii myös käytetyn ydinpolttoaineen käsittelyssä syntyvästä ydinjätteestä.

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) päättää YEL:n mukaan periaatteista, joita ydinjätehuollossa on noudatettava. Lain mukaan ydinjätehuollosta velvollisten tulee säännöllisin välein esittää ministeriölle selvitys siitä, miten jätehuoltovelvollinen on suunnitellut toteuttavansa ydinjätehuoltoon kuuluvat toimenpiteet ja niiden valmistelun. Vuoteen 2008 saakka tällaiset selvitykset toimitettiin ministeriölle vuosittain, mutta vuonna 2009 tehdyn YEL:n muutoksen jälkeen selvitys annetaan kolmen vuoden välein, jolloin siinä kuvataan yksityiskohtaisesti alkavan kolmivuotiskauden toimenpiteet ja pääpiirteittäin myös tätä seuraavien kolmen vuoden suunnitelmat. Nyt esitettävällä ohjelmalla YJH-2015 tarkoitetaan YEA 74 §:n tarkoittamaa kokonaissuunnitelmaa.

Vuosittaisten ydinjätehuoltoa koskevien selvitysten lisäksi ydinjätehuoltovelvolliset ovat laatineet vuodesta 2003 lähtien kolmivuotissuunnitelmia Olkiluodon ja Loviisan ydinvoimalaitosten ydinjätehuololle. Tehdyt selvitykset TKS-2003 (Posiva 2003), TKS-2006 (Posiva 2006), TKS-2009 (Posiva 2009) ja YJH-2012 (Posiva 2012a) ovat pitäneet sisällään paitsi suunnitelmat tulevasta tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyöstä myös arvion ydinjätehuollon tilanteesta erityisesti käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusvalmistelujen osalta. Vuonna 2012 tehdyllä ohjelman nimen muutoksella haluttiin korostaa YEL:n tarkoittamalla tavalla ohjelman kohdentumista tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyöhön fokuusoitumisen sijasta ydinjätehuoltoon kokonaisuudessaan. Posivan vuoden 2012 lopulla jättämä Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituksen rakentamista koskeva hakemus ja rakentamisluvan mahdollinen saaminen vuoden 2015 aikana tekevät Posivasta YEL:n tarkoittaman luvanhakijan ja luvan saamisen jälkeen luvanhaltijan. Luvan saamisen jälkeen Säteilyturvakeskuksen (STUK) suorittama loppusijoitushankkeen viranomaisvalvonta perustuu yksityiskohtaisiin turvallisuussäädöksiin myös muun

kuin ONKALON rakentamisen osalta. Tähän asti Posivan maanalaista tutkimustilaa ONKALOA on rakennettu periaatepäätösten nojalla, ja sitä on valvottu yksityiskohtaisten turvallisuusvaatimusten mukaisesti, jotta se voidaan liittää myöhemmin osaksi maanalaista loppusijoituslaitosta.

Voimalaitosjätteen käsittely ja loppusijoitus noudattavat jo vakiintuneita käytäntöjä, eikä edessä olevalla kolmivuotisjaksolla ole nähtävissä uusia merkittäviä tutkimustarpeita eikä muutoksia nykyisiin tai aikaisemmin suunniteltuihin käytäntöihin. Fortum päivitti käytöstäpoistosuunnitelmansa vuonna 2012 ja TVO vuonna 2014. Molempien laitosten voimalaitosjätteen loppusijoituksen turvallisuusanalyysit (turvallisuusperustelut) päivitettiin vuonna 2006. Fortumin Loviisan voimalaitosjätteen loppusijoitustilan (VLJ-luola) turvallisuusperustelua päivitetään parhaillaan.

Loviisan voimalaitoksen voimalaitos- ja purkujätteen loppusijoituksen keskeisiä tavoitteita vuosille 2016–2018 ovat

- kiinteytyslaitoksen otto tuotannolliseen käyttöön ja
- VLJ-luolan turvallisuusperustelun päivitys.

Olkiluodon voimalaitos- ja purkujätteen loppusijoituksen keskeiset tavoitteet vuosille 2016–2018 liittyvät jätehuollon osalta seuraaviin lupahakemuksiin ja päivityksiin

- Olkiluoto 1 (OL1) ja Olkiluoto 2 (OL2) -yksiköiden käyttöluupahakemuksen jatkaminen, hakemuksen laatiminen ja jättäminen TEM:lle
- Olkiluoto 3 (OL3) -yksikön käyttöluupahakemuksen laatiminen ja jättäminen TEM:lle
- VLJ-luolan seuranta ja tutkimusohjelman päivittäminen nykyisen tutkimusohjelman päättyessä vuoteen 2017.

Suurin osa seuraavan kolmivuotiskauden tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyöstä suuntautuu käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen. YJH-2015-ohjelman keskeisiä tavoitteita vuosille 2016–2018 on esittää, millä menettelyillä

- kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentaminen ja toteutus käynnistetään,
- loppusijoituskonseptin eheys ja toteutettavuus varmistetaan ja
- pitkäaikaisturvallisuus osoitetaan.

Vuosien 2019–2021 päätehtävänä on varmistaa edellytykset ja valmistautua käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttöluupahakemuksen jättämiseen.

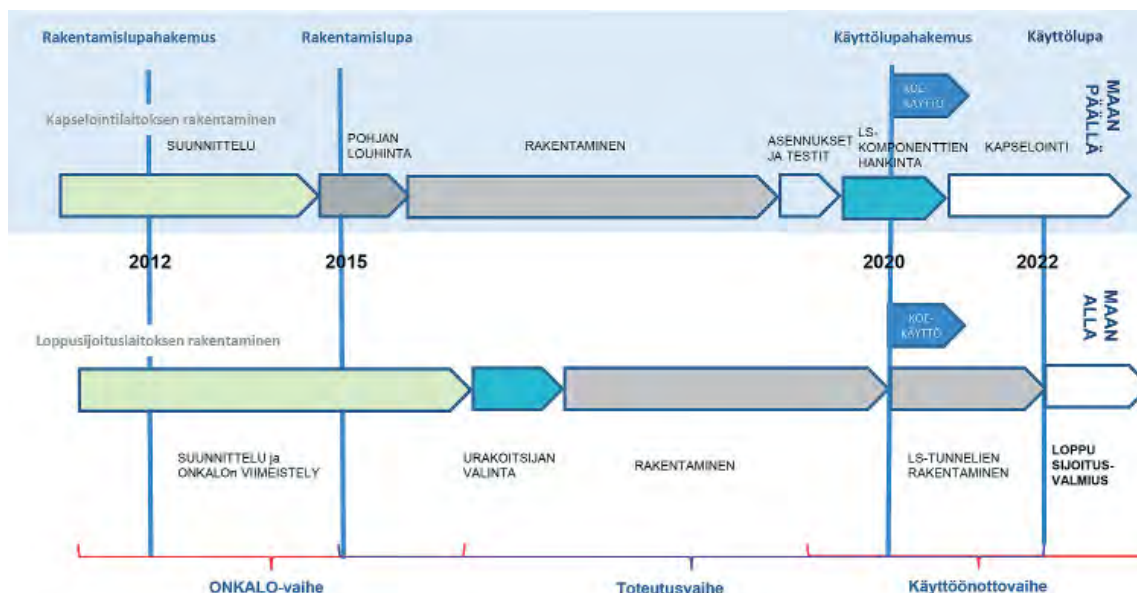
1.2 Ydinjätehuollon vastuut ja sopimus ydinjätehuollon järjestämisestä

Ydinjätteen tuottaja on ydinenergialain mukaisesti vastuussa kaikista ydinjätehuollon toimenpiteistä ja niiden kustannuksista. Ydinjätehuoltovelvolliset TVO ja Fortum huolehtivat omien voimalaitostensa voimalaitosjätteen varastoinnista, käsittelystä ja loppusijoituksesta sekä käytetyn polttoaineen välivarastoinnista voimalaitospaikoillaan. Posivan tehtävänä on vastata omistajiensa Suomessa toimivien ja Suomeen rakennettavien ydinvoimalaitosten käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta. Posiva huolehtii loppusijoitukseen tähtäävästä tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyöstä sekä loppusijoituslaitoksen rakentamisesta ja käytöstä aina loppusijoituslaitoksen sulke-

miseen asti. Posivan tehtäviin sisältyy myös kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käytöstä syntyvien jätteiden huolto, sulkeminen ja käytöstäpoisto. Posiva huolehtii myös hoitamiensa tehtävien viranomaisyhteyksistä sekä hankkii laitoksilleen tarvittavat luvat. Posivan perustaminen ei vaikuttanut voimayhtiöiden ydinjätehuoltovelvollisuuteen, vaan TVO ja Fortum vastaavat edelleen tuottamansa käytetyn polttoaineen käsittelytoimenpiteistä, varastoinnista ja loppusijoittamisesta.

TEM (aiemmin kauppa- ja teollisuusministeriö, KTM) päättää lain mukaan periaatteista, joita ydinjätehuoltovelvollisen on noudatettava. Päätökset perustuvat alun alkaen valtioneuvoston 10.11.1983 antamaan periaatepäätökseen ydinjätehuollon tutkimus-, selvitys- ja suunnittelutyön tavoitteista ja ne on esitetty KTM:n TVO:lle ja Fortumille osoittamissa kirjeissä 7/815/91 (19.3.1991), 11/815/95 (26.9.1995) ja 9/815/2003 (23.10.2003). Nämä päätökset ovat lähtökohtana sekä ydinjätehuollon käytännön toteutuksessa että tulevia toimenpiteitä koskevassa tutkimus- ja kehitystyössä.

Päätöksen 9/815/2003 mukaan ydinjätehuoltovelvollisten tulee joko erikseen, yhdessä tai Posivan välityksellä varautua esittämään vuoden 2012 loppuun mennessä YEA:n mukaiset käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen rakentamislupaa varten tarvittavat selvitykset ja suunnitelmat. Niistä tulee ilmetä, että loppusijoituksen toiminta on mahdollista aloittaa noin vuonna 2020. Posiva jätti vuoden 2012 lopulla KTM:n edellytyksen mukaisesti valtioneuvostolle hakemuksen Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamiseksi. Hakemuksessa esitetty hankeaikataulu täytti KTM:n asettaman aikataulutavoitteen (kuva 1-1). Pysyminen esitettyssä tavoiteaikataulussa laitosten käyttöönoton osalta riippuu mm. lajissaan ainutkertaisen ydinlaitoshankkeen yksityiskohtaiseen suunnitteluun, rakentamiseen, vaativien koeohjelmien toteuttamiseen sekä lupa- ja viranomaiskäsittelyyn kuluvasta ajasta.



Kuva 1-1. Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituksen rakentamista koskevassa hakemuksessa esitetty hankeaikataulu.

Posiva ja ruotsalainen ydinjäteyhtiö Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) jatkavat yhteisen loppusijoituskonseptin tutkimus- ja kehityshankkeita tavoitteena ratkaista jäl-

jellä olevat avoimet turvallisuuskysymykset, teollistaa kehitetyt tuotantomenetelmät ja optimoida loppusijoituslaitoksen käyttötoimintaa. Yhtiöt uudistivat vuoden 2014 loppupuolella järjestyksessä jo neljännen kerran yhteistyösopimuksen, jonka puitteissa yhteisiä hankkeita on jatkettu vuodesta 2001 saakka. Parhailtaan on käynnissä ja alkamassa useita yhteistyöprojekteja KBS-3-loppusijoitusratkaisun viimeistelyn ja käyttötoimintaan valmistautumisen osalta.

1.3 Lait, asetukset ja muut määräykset

Suomen ydinjätehuoltoa ohjaavat vuonna 1988 voimaan astuneet ydinenergialaki (YEL 990/1987) ja ydinenergia-asetus (YEA 161/1988, 12.2.1988), joissa määritellään muun muassa ydinenergian tuottajan velvollisuudet, ydinjätehuollon toteuttaminen, lupakäsittelyt ja valvontaoikeudet. Vuonna 1994 ydinenergialakia muutettiin niin, että kaikki Suomessa syntyvä ydinjäte on loppusijoitettava Suomeen. Ydinenergialaki kieltää myös ydinjätteen tuonnin Suomeen ja viennin Suomesta, joskin laki (lakimuutos 23.5.2008/342) mahdollistaa radioaktiivisuudeltaan vähäisten ydinjätteiden viennin toiseen maahan esimerkiksi käsiteltäväksi tarkoituksenmukaisella tavalla.

Ydinenergiaa koskevaa lainsäädäntöä uudistettiin vuosina 2008 ja 2013. Lainsäädäntöuudistuksessa vuonna 2008 osa ydinenergia-alaa koskevista valtioneuvoston päätöksistä muutettiin valtioneuvoston asetuksiksi. Uudet asetukset olivat valtioneuvoston asetus ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta (27.11.2008/733), ydinenergian käytön turvajärjestelyistä (27.11.2008/734), ydinvoimalaitoksen valmiusjärjestelyistä (27.11.2008/735) ja ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudesta (27.11.2008/736). Vuonna 2013 valtioneuvoston asetuksia uudistettiin siten, että kaksi edellämainituista korvautui samannimisillä valtioneuvoston asetuksilla ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta (17.10.2013/717) ja ydinvoimalaitoksen valmiusjärjestelyistä (17.10.2013/716).

Valtioneuvosto antaa ydinjätehuoltoa koskevat yleiset turvallisuusmääräykset. Ydinjätteiden käsittelyä ja varastointia koskevat turvallisuusmääräykset sisältyvät ydinvoimalaitosten turvallisuutta koskevaan asetukseen 17.10.2013/717. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitosta ja VLJ-luolia koskevia määräyksiä annetaan valtioneuvoston asetuksessa (27.11.2008/736) koskien ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuutta. Ydinenergialakiin astui voimaan uusi muutos (676/2015, 1.7.2015), jonka myötä yllämainitut valtioneuvoston asetukset tullaan muuttamaan STUKin määräyksiksi. Tavoitteena on, että STUKin määräykset astuisivat voimaan vuoden 2016 alussa.

Säteilyturvakeskuksen vuonna 2013 julkaiseman uudistetun YVL-ohjeiston keskeisiä ydinjätehuoltoa koskevia ohjeita ovat YVL D.3, "Ydinpolttoaineen käsittely ja varastointi", YVL D.4, "Matala- ja keskiaktiivisten ydinjätteiden käsittely ja ydinlaitosten käytöstäpoisto" sekä YVL D.5, "Ydinjätteiden loppusijoitus". Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitushanke on suunniteltu ja dokumentoitu mahdollisuuksien mukaan uusimpien vaatimusten mukaisesti. YVL-ohjeiston soveltaminen olemassa tai rakenteilla oleviin ydinlaitoksiin tapahtuu viranomaisen harkintaan perustuvien soveltamispäätösten perusteella. Uusia tai suunnitteluvaiheessa olevia ydinlaitoksia uusi YVL-ohjeisto koskee sellaisenaan. Tulevien STUKin määräysten myötä STUK tulee arvioimaan YVL-ohjeiden muutostarpeet ja muutaman vuoden sisällä päivittämään ohjeet vastaamaan uusia määräyksiä.

1.4 Ydinenergia-asetuksen mukaiset selvitykset ja raportointivelvollisuus

Ydinenergia-asetuksen 74 §:ssä säädetään ydinjätehuoltovelvollisten ydinjätehuolto-toimenpiteistä vaadittavista selvityksistä ja raportointivelvollisuudesta. Asetuksen mukainen voimayhtiöiden ydinjätehuoltoselvitys (YJH-selvitys) tulee jättää työ- ja elinkeinoministeriölle kolmen vuoden välein syyskuun loppuun mennessä. Asetuksen 77 §:n mukaan ydinjätehuoltovelvollisten tulee lisäksi toimittaa kunkin vuoden maaliskuun loppuun mennessä raportti edellisenä vuonna suoritetuista ydinjätehuollon toimenpiteistä.

Ydinjätehuoltoselvityksen tulee käsittää seuraavat selvitykset:

1) selvitys siitä, miten jätehuoltovelvollinen on suunnitellut toteuttaa ydinjätehuoltoon kuuluvat toimenpiteet ja niiden valmistelun; selvityksen tulee sisältää ainakin seuraavat osat:

- a) kokonaissuunnitelma ydinjätehuollon hoitamiseksi asianmukaisine aikatauluineen ja erittelyineen mukaan lukien tarpeelliset valmistelut ja tutkimustoimenpiteet sekä huolehtimisvelvollisuuden edellyttämät hallintojärjestelyt ja muut tehtävät;*
 - b) arvio tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyön senhetkisestä tilasta sekä yksityiskohtainen suunnitelma seuraavien kolmen vuoden aikana toteutettaviksi aiotuista toimenpiteistä; sekä*
 - c) yleispiirteinen suunnitelma seuraavien kuuden vuoden aikana toteutettaviksi suunnitelluista toimenpiteistä;*
- 2) selvitys jätehuoltovelvollisen tekemistä ydinjätehuollon järjestämistä koskevista sopimuksista tai muista järjestelyistä; sekä*
- 3) muu viranomaisen tarpeelliseksi katsoma selvitys.*

Edellä 1 momentin 1 kohdassa tarkoitettuja seikkoja koskevan suunnitelman voi ydinenergialain 28 §:ssä mainittu viranomainen vaatia tehtäväksi muulloinkin, milloin aiheutta siihen katsotaan olevan. Jos ydinjätehuollossa tapahtuu merkittäviä muutoksia, on jätehuoltovelvollisen ilmoitettava niistä viipymättä edellä tarkoitetulle viranomaiselle.

1.5 YJH-2012-ohjelma

1.5.1 Viranomaispalaute YJH-2012-ohjelmasta

TVO ja Fortum jättivät TEM:lle syyskuussa 2012 pääosin Posivan valmisteleman suunnitelman, YJH-2012-ohjelman (Posiva 2012a). Ohjelmakaudelle esitetystä tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyöstä suurin osa suuntautui käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen, päätavoitteenaan kuvata rakentamislupahakemusvaiheen suunnitelmien saattaminen hankkeen toteutusvalmiuteen.

STUK antoi TEM:lle lausunnon YJH-2012-ohjelmasta helmikuussa 2013. Lausunto toimitettiin tiedoksi ydinjätehuoltovelvollisille ja Posivalle. Lausunnossaan STUK on arvioinut edellisen vuonna 2009 toimitetun ohjelman tavoitteiden toteutumista ja YJH-2012-ohjelmakauden suunnitelmia. STUK arvioi käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuuden kokonaisuudessaan rakentamislupahakemuksen tarkastuksen yhteydessä ja esittää lisäyötarpeet suoraan Posivalle.

TVO ja Fortum toimittivat vastineensa STUKin lausuntoon maaliskuussa 2013. Posivan kokoamassa yhtiöiden vastineiden liitteessä esitetään ohjelmaa koskevia täydennyksiä ja täsmennyksiä perusteluineen. Kohdassa 1.5.1.1 esitetään aiheittain keskeisimmät STUKin havainnot ja niille vastineessa annetut täsmennykset. Vastineet ja STUKin lausunnon niihin saatuaan TEM antoi TVO:lle ja Fortumille lausuntonsa YJH-2012-ohjelmasta huhtikuussa 2013 (kohta 1.5.1.2).

Viranomaisten antamat kommentit ovat ohjanneet Posivan tutkimus- ja kehitystoimintaa kuluneen ohjelmakauden aikana. Kehitystyötä jatketaan edelleen tämän ohjelman (YJH-2015) mukaisesti.

1.5.1.1 STUKin lausunto YJH-2012-ohjelmasta

Yleistä ydinjätehuollon ohjelmasta

STUKin mukaan YJH-2012-ohjelmassa ei käy selkeästi esille, miten edelliseltä ohjelmakaudelta jatkuvat hankkeet liittyvät loppusijoituksen turvallisuuteen tai esimerkiksi eri vapautumisesteiden turvallisuustoimintoihin. Ohjelmassa ei myöskään monien hankkeiden osalta ole esitetty suunniteltua kokonaisuikataulua, sitä mitä näiden hankkeiden tarkoitus osoittaa turvallisuuden kannalta ja miten ne ajoittuvat ohjelmakaudelle. STUK katsoo, että tämä ei täytä ydinenergia-asetuksen vaatimusta yksityiskohtaisesta suunnitelmasta.

Vastineessaan Posiva totesi, että rakentamislupahakemuksen aikataulun (vuoden 2012 loppu) ja YJH-2012-ohjelman aikataulun (syyskuu 2012) eron vuoksi ohjelmassa ei voitu viitata hakemuksen aineistoihin. Posivan näkemyksen mukaan rakentamislupahakemusaineisto käsitteli yksityiskohtaisesti monia aiheita, jotka STUK katsoi ohjelmassa puutteellisesti esitettyksi. Posiva esitti, että STUKin arvioidessa YJH-2012-ohjelmaa rakentamislupahakemuksen yhteydessä, STUK osoittaisi lisätarpeet suoraan Posivalle.

Posivan johtamisjärjestelmä

STUKin lausunnon mukaan turvallisuuden kehittämisohjelma sekä menettely turvallisuuskulttuurin arviointia varten on luotava lähivuosien aikana, jotta ne ovat valmiina ja käyttöön otettuina rakentamisvaihetta varten. Lausunnon mukaan Posiva on tunnistanut, että toiminnan siirtyessä tutkimus- ja kehityspainotteisesta toiminnasta ydinjätelaitoksen rakentamisluvan myötä toteutukseen, on toimintajärjestelmää kehitettävä vastaamaan muuttuneita vaatimuksia ja organisaatiota. Ohjelmassa ei kuitenkaan kuvata tarkastelujakson aikaisia toimenpiteitä tämän kehitystyön toteuttamiseksi.

Vastineessaan Posiva kertoi, että Posiva toimittaa vuonna 2013 STUKille hyväksyttäväksi rakentamisvaihetta vastaavan johtamiskäsikirjan, jossa tulevat näkymään ydinlaitosten rakentamiseksi asetettavien projektien organisaatio ja menettelytavat. Posiva kertoi myös laativansa turvallisuuskulttuurin kehitysohjelman vuoden 2013 aikana.

Loppusijoitusjärjestelmä

STUKin lausunto nosti loppusijoitusjärjestelmästä esiin mm. seuraavia puutteita:

- *YJH-2012-ohjelma ei esitä, miten suunniteltu tutkimustyö kohdentuu toimintakykytavoitteita tarkentavasti tai miten tutkimustyöllä parannetaan käsitystä turvallisuus-toimintojen mahdollisen heikentymisen rajoista.*
- *STUKin näkemyksen mukaan kapselin toimintakyvyn osoittamista koskevat suunnitelmat on esitetty puutteellisesti. Raportista ei käy riittävän yksityiskohtaisesti ilmi, miten kapselin toimintakyvyn osoittamiseen tähtäävät kokeet jatkuvat erityisesti vuoden 2013 jälkeen.*
- *Loppusijoitustunnelin täyttöä koskevat suunnitelmat ovat puskuria keskeneräisempiä materiaalivalintojen ja tunnelin vuotovesien hallinnan osalta.*
- *YJH-2012-ohjelma ei esitä selkeästi, miltä osin TKS-2009-raportissa esitetyt toimintakykyyn liittyvät tutkimukset ovat toteutuneet.*
- *Posivan tulisi selvittää kallioperän jännitystilaa ja maanjäristys- ja muita liikunto-analyyseja nykyistä enemmän.*

Vastineessa Posiva kertoi, että toimintakykytavoitteiden toteutumista tarkastellaan turvallisuusperustelusalkkuun kuuluvassa *Performance Assessment* -raportissa (Posiva 2013a). Raportissa osoitetaan toimintakykytavoitteiden täyttyminen tarkastelujakson aikana sekä esitellään epävarmuuksia ja mahdollisia radionuklidien vapautumiseen johtavia olosuhteita. Toimintakykyyn liittyvien tutkimusten tulokset ja johtopäätökset on esitetty *Performance Assessment* -raportissa ja sitä tulevissa taustaraporteissa, jotka julkaistiin keväällä 2013.

Posiva kertoi toimittavansa STUKille aiheeseen liittyvien T&K töiden tarkemmat tutkimussuunnitelmat kevään 2013 kuluessa. Lisäksi YJH-2012-ohjelmassa kuvattua loppusijoituskonseptin tutkimus-, kehitys- ja testaustyötä tarkentamaan koottiin loppusijoituskonseptin kehitysohjelma (Posiva 2014a), joka toimitettiin STUKille keväällä 2014.

Loppusijoituksen turvallisuuden osoittaminen

Posivan tulee perustella, millaisen kehityskulun seurauksena vapautumisestaiden tavoitetila on saavutettavissa perusskenaariossa, sekä esittää tämä vapautumisestekohtainen tavoitetila.

YJH-2012-ohjelma listaa vastineena STUKin aiemmin esiin nostamille keskeisille pitkäaikaisturvallisuuden perusteluun liittyville puutteille tai kehitystarpeille päivitetyn turvallisuusperustelusuunnitelman, TURVA-2012, ilman kyseisten puutteiden ja kehitystarpeiden yksityiskohtaista läpikäyntiä. Yleisesti ottaen YJH-2012-raportin sisältämä informaatio pitkäaikaisturvallisuuden osoittamisesta on niukka eikä STUK voi sen perusteella arvioida, miten hyvin STUKin aiemmin esittämät kommentit on otettu Posivan työssä huomioon.

Vastineessaan Posiva kertoi, että loppusijoitusjärjestelmän toimintakykytavoitteet on määritelty turvallisuusperustelusalkkuun kuuluvassa *Design Basis 2012* -raportissa (Po-

siva 2012b). Toimintakykytavoitteiden toteutumista tarkastellaan vaiheittain *Performance Assessment* -raportissa (Posiva 2013a). Vastineessa on käyty läpi STUKin TKS-2009-ohjelmaan (Posiva 2009) esittämät pitkäaikaisturvallisuuteen liittyvät huomiot ja niiden vastineet.

Loppusijoitusjärjestelmän demonstraatiot ja monitorointi

Lausunnon mukaan YJH-2012-ohjelmassa esitetty demonstraatiotoiminta on varsin kattavaa ja vaatimuksenmukaiseen toteutettavuuden varmistamiseen pyrkiessään myös perusteltua ja käytännönläheistä. STUKin valvonnan kannalta demonstraatiotoiminnan suunnitelma tulisi kytkeä koekäyttöjen ja käyttöönoton suunnitteluun. Suunnitelmassa tulisi esittää demonstraatiot, niiden aikataulu sekä niihin liittyvä koe-, testaus- ja tutkimustoiminta. Lisäksi suunnittelussa tulisi huomioida viranomaisvalvontaa edellyttävät toiminnot lupaprosessin eri vaiheissa.

Vastineessaan Posiva kertoi toteuttavansa ohjelmakaudella teknisten vapautumisesteiden demonstraatioita pääosin ONKALOSSA. Ensimmäisessä vaiheessa kokeet liittyvät yksittäisten komponenttien toteutukseen ja asennukseen. Toisessa vaiheessa toteutetaan täyden mittakaavan järjestelmätesti. Kaksi ensimmäistä vaihetta ovat kehitysvaiheita, joissa voidaan poiketa varsinaisesta ratkaisusta esimerkiksi instrumentoinnin vuoksi, ja jonka perusteella ratkaisuja tai menettelyjä voidaan optimoida. Vasta kolmas vaihe, johon sisältyy maanalaiset ja maanpäälliset yhteistoimintakokeet, on osa koekäyttöä.

Vastineensa jälkeen Posiva on tarkistanut hankkeen etenemisvaiheita ja aikataulujaan. Posivan tämän hetkisen käsityksen mukaan käyttöluvhakemus toimitetaan kaksivaiheisena. Ensimmäinen vaihe toimitetaan, kun laitoksen suunnittelutiedot ovat valmistuneet ja koekäytöt alkaneet vuonna 2020. Toisessa vaiheessa käyttöluvhakemusta täydennetään koekäyttöjen ja ei-ydinteknisten yhteistoimintakokeiden tulokset. Ydintekninen koekäyttö voidaan aloittaa, kun lupa ydinpolttoaineen käsittelyyn on saatu. Posivan tämän hetkisen käsityksen mukaan ydintekninen koekäyttö alkaa vuonna 2023. Posivan Luvitus suunnitelma tullaan päivittämään vastaamaan nykyistä käsitystä etenemisestä.

Loppusijoituspaikan ja -laitoksen pitkäaikaisen kehityksen seuranta monitorointi-ohjelman avulla on kuvattu YJH-2012-raportissa varsin vaihtelevalla tavalla. Erityisesti vierasaineiden monitoroinnin kuvaus on sisällöltään hyvin suppea. STUKin arvion mukaan teknisten vapautumisesteiden monitorointiin liittyy vielä merkittäviä suunnittelu- ja kehitystehtäviä esimerkiksi monitorointistrategian, käytettävän instrumentoinnin, paikallisten demonstraatioiden edustavuuden sekä kokeiden mahdollisen nopeuttamisen osalta.

Posivan vastine täydensi YJH-2012-ohjelmaa kuvaamalla vieraiden aineiden seurantaan ja valvontaan liittyviä töitä. Teknisten vapautumisesteiden monitorointia varten Posiva kehittää ja testaa monitorointitekniikkaa komponentti-, järjestelmä- ja yhteistoimintakokeiden avulla.

Laitossuunnittelu ja rakentaminen

Posiva on kehittänyt kallion soveltuvuusluokittelun työkaluksi vuodesta 2007 lähtien RSC-menettelyä, joka sisältää kriteerit päätösten tekemiseen. YJH-2012-ohjelmassa esitettyä tavoitteena on, että hyväksyttävän kalliotilavuuksien soveltuvuusluokittelun järjestelmä valmistuisi vuoteen 2015 mennessä. Posiva suunnittelee julkaisevansa kattavan selvityksen soveltuvuusluokittelusta vasta loppusijoituslaitoksen käyttölupahakemusta varten vuonna 2017. Aikataulut ovat myöhäisiä suhteessa lupakäsittelyihin ja korostavat luokittelun kerralla onnistumisen välttämättömyyttä.

Vastineessaan Posiva kertoi, että YJH-2012-ohjelmassa esitettyä aikataulua on täsmennetty ja aikataulu esitetään Posivan luvitus suunnitelmassa. Viimeisin luvitus suunnitelman päivitys toimitetaan STUKille syyskuussa 2015.

Kallion soveltuvuusluokittelun aikataulu on linjassa Posivan kokonaisaikataulun kanssa. Soveltuvuusluokittelumenettely on alustavasti esitetty RSC 2012 -raportissa (McEwen ym. 2012). Kallion soveltuvuusluokittelun menettelyohje toimitettiin STUKille vuoden 2014 lopussa.

STUKin arvion mukaan rakentamisen nykyinen osaamis- ja laatutaso eivät vastaa YJH-2012-ohjelmassa esitettyä. Selkeää kehittämistarvetta on niin louhinnan häiriövyöhykkeen hallinnassa, kallion tiivistysinjektioinneissa, lujituksessa, rakennusmateriaaleissa kuin esimerkiksi loppusijoitusreikien poraamisessa.

Vastineessa Posiva kuvasi rakentamisen osaamis- ja laatutason kehittämiseksi tehtävää työtä. Vuoden 2013 aikana perustettiin EDZ-tutkimusprojekti kohteenaan vauriovyöhykkeen hydrologiset ominaisuudet ja niiden pitkäaikaisturvallisuusmerkityksen arviointi. Demonstraatiotunneliin 1 tehtyjen neljän koeloppusijoitusreian kokemukset raportoitiin vuonna 2013 (Posiva 2013b). Injektioinnin kehitykselle ei ole perustettu erillistä kehitysohjelmaa. Valitut menettelyt, materiaalit ja suunnitelmat on katsottu pääosin olevan riittävät loppusijoituslaitoksen rakentamisen aloittamiseksi. Mahdollisten kehityskohteiden osalta Posiva selvittää lisätutkimusten tarpeellisuuden.

STUK pitää prototyyppien valmistusta tärkeänä vaiheena, jota voidaan hyödyntää kapseloinnin ja loppusijoituksen toteutettavuuden ja turvallisen käsittelyn osoittamisessa. Posivan tulisi huomioida aikatauluissa prototyypeistä saatavien kokemusten ja mahdollisten muutostarpeiden huomiointi varsinaisessa laitesuunnittelussa.

Prototyyppien suunnittelun, valmistuksen ja testauksen aikataulutus on suunniteltu siten, että prototyyppien toteutussuunnitelmista saadaan riittävät lähtötiedot muun laitossuunnittelun tarpeisiin riittävän ajoissa ennen näiden osien toteutussuunnittelun valmistumista. Prototyyppien testeillä varmistetaan näiden järjestelmien suunnitelmien toimivuus ja vaatimustenmukaisuus sekä pyritään nopeuttamaan lopullisten laitoksen järjestelmien luvitusta näiden järjestelmien osalta. Prototyyppien toteutussuunnittelu pyrittiin tekemään pääosin valmiiksi vuoden 2013 aikana, laitteiden valmistus pääosin vuoden 2014 aikana ja testaus ajoittui pääosin vuosille 2014 ja 2015 järjestelmästä riippuen. Lopullisten järjestelmien luvitusaineistoa (mm. järjestelmäkuvaukset) ylläpidetään prototyyppien kehityksen aikana ja niissä huomioidaan mahdolliset muutostarpeet.

Vaihtoehtoinen loppusijoitusratkaisu KBS-3H

Posiva on esittänyt vaihtoehtoisen KBS-3H-ratkaisun osalta aikataulua, jossa vertailu eri ratkaisumallien välillä tehdään vuonna 2016, minkä jälkeen Posiva valmistelee KBS-3H-ratkaisua tukevan turvallisuusperusteluaineiston ja esittää tämän käyttö-lupahakemuksessa rinnan KBS-3V- aineiston kanssa. STUKin lausunnon mukaan ohjelman perusteella eri vaihtoehtojen sovittaminen rakentamiseen on epäselvä. STUKille on epäselvää, miten mahdollinen loppusijoitusratkaisun vaihdos huomioidaan loppusijoitustunnelien rakentamisessa. Koska käyttöluja perustuu jo osittain rakennettuun loppusijoitustilaan, ei STUK voi siinä antaa myönteistä lausuntoa erillisen vaihtoehdon käytön turvallisuudesta vain suunnitelmiin perustuen.

Posiva on yhdessä SKB:n kanssa kehittänyt vaakasijoitusratkaisua ja meneillään olevan projektivaiheen on tarkoitus päättyä vuonna 2015. KBS-3H-vaihtoehdon nykytila, merkittävimmät kehitystyötä vaativat asiat sekä käynnissä oleva kehitystyö on kuvattu rakentamislupahakemusaineiston yhteydessä STUKille toimitetussa PSAR:n aihekohtaisessa raportissa *Description of KBS-3H design variant* (Posiva 2012c).

Nykyiset laitossuunnitelmat ja tilat, jotka toteutetaan ennen sijoitusratkaisun valintaa, on tehty ja tullaan tekemään huomioiden mahdollinen siirtyminen KBS-3H-vaihtoehtoon. Mikäli arviointityö osoittaa KBS-3H-ratkaisun vähintään yhtä turvalliseksi kuin pystyratkaisu KBS-3V:n, tulee Posiva päättämään erikseen kehitystyön loppuun saattamisesta ja siirtymisestä toiseen vaihtoehtoon. Tässä tapauksessa KBS-3H-ratkaisulle tehdään vastaavat testaukset kuin KBS-3V:lle huomioiden kuitenkin jo tehdyt ja tulevat KBS-3H-kokeet, joiden tuloksia voidaan hyödyntää testien suunnittelussa. Tässä yhteydessä tullaan osoittamaan riittävät edellytykset käyttölujaamenettelyn kannalta.

Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ydinsulkuvalvonta

STUKin lausunnon mukaan YJH-2012-ohjelmassa ydinmateriaalivalvonnasta kuvataan edelleen osin vanhentuneita tai virheellisiä käsityksiä, jotka eivät vastaa STUKin hyväksymää Posivan ydinsulkuvalvontakäsikirjaa.

ONKALOn ydinsulkuvalvonnan tarkoituksen kuvaus on korjattu Posivan ydinsulkuvalvontakäsikirjaan elokuun 2012 päivityksen yhteydessä. Käsikirjassa todetaan, että *"ONKALOn rakentamisen aikaisen ydinsulkuvalvonnan tarkoituksena on varmistaa rakennettavan tilan rauhanomainen tarkoitus ja luoda pohja tulevalle ydinaseiden leviämisen estämiseen tähtäävälle ydinmateriaalivalvonnalle"*.

YJH-2012-ohjelmassa on kuvattu Posivan ydinsulkuvalvonnan suunnitelmia kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamisen ajalle sekä käyttötoiminnan ajalle. Suunnitelmat on kuvattu senhetkisen käsityksen mukaisesti ja joihinkin osa-alueisiin on saatu lisätietoa YJH-2012-ohjelman kirjoittamisen jälkeen. Päivittyneet suunnitelmat on huomioitu rakentamislupahakemuksen yhteydessä toimitetussa ydinmateriaalivalvonnan suunnitelmassa. Loppusijoituksen kansainvälistä ydinsulkuvalvontaa kehitetään jatkuvasti ja kehitystyö huomioidaan tulevissa YJH-ohjelman päivityksissä, ydinsulkuvalvontakäsikirjan päivityksissä sekä käyttölujaahakemuksen aineistossa.

Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen turvajärjestelyt

Lausunnossa todetaan, että YJH-2012-ohjelmassa ei ole eri osa-alueiden käsittelyssä järjestelmällisesti esitetty, miten turvajärjestelyt ja niiden vaikutukset on otettu huomioon tulevan laitospuolustuksen suunnittelussa. Mahdollista analyysia lainvastaisen toiminnan vaikutuksesta laitoksen toimintaan ei ole esitetty eikä suunnitteluperusteuhkaa ole käsitelty. Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetuksia ei ole käsitelty sillä tasolla, että turvajärjestelyiden toteutettavuutta pystyttäisiin arvioimaan, eikä eri kuljetusvaihtoehtojen mahdollista vaikutusta laitospuolustuksen suunnitteluun ole käsitelty.

Vastineen mukaan turvajärjestelyt on käsitelty yhtenä kokonaisuutena omana lukunaan. Keskeisenä suunnitteluperiaatteena on vastata ohjeen YVL A.11 ja sen liitteiden vaatimuksiin, mukaan lukien suunnitteluperusteuhka (DBT), vaikkei tätä erikseen ole mainittu. Turvajärjestelyiden merkitys on laitosuunnittelussa mukana keskeisenä tekijänä, esim. laitosalueiden ja turvavyöhykkeiden suunnittelussa.

Kuljetusmuodosta riippumatta kuljetussäiliön saapuminen ja käsittely on laitosalueelle aina samanlaista, myös turvajärjestelyjen osalta. Kokonaiskuva turvajärjestelyistä on kuvattu rakentamislupahakemuksen liitteenä olevissa alustavassa turvasuunnitelmassa ja turvaohjesäännössä. Turvajärjestelyjen tarkempi kuvaus julkisessa materiaalissa ei ole tarkoituksenmukaista. Puutteena voidaan todeta, että turvajärjestelyt olisi pitänyt olla mainittuina rakennesuunnittelun eri kohdissa, vaikka ne on otettu suunnittelussa huomioon.

Voimalaitosten ydinjätehuolto ja käytöstäpoisto

Ohjelmakaudella 2016–2018 Fortum jatkaa selvityksiä käytetyn polttoaineen pitkän aikavälin varastovaihtoehtoista, joita ovat KPA-varaston laajentaminen tai nykyisten altaiden varustaminen kokonaisuudessaan tiheillä telineillä. Lausunnon mukaan suunnittelussa tulisi arvioida kriittisesti odotettua loppusijoituksen aloitusajankohtaa ja alkuvaiheen loppusijoitusnopeutta. Loviisan tilanteen arvioimiseksi STUKin olisi tarpeen saada tarkempaa tietoa tiheiden telineiden käytettävyydestä sekä mahdollisesta varaston laajennustarpeesta ja ajankohdasta.

Vastineessa todettiin, että Loviisan käytetyn polttoaineen varaston kapasiteettia, laajennustarpeita ja -ajankohtia, sekä kasvavan polttoainemäärän vaikutuksia varaston käyttöön selvitetään vuoden 2013 aikana. Työssä selvitettiin myös sitä, mitä muutoksia varastolle on tehtävä, jotta käytetyn polttoaineen siirrot KPA-varastolta Posivalle voidaan toteuttaa.

1.5.1.2 TEM:n lausunto YJH-2012-ohjelmasta

TEM antoi lausuntonsa YJH-2012-ohjelmasta Fortumille (TEM/2208/08.05.01/2012) ja TVO:lle (TEM/2230/08.05.01/2012) huhtikuussa 2013. Lausunnossaan TEM totesi, että TVO:n ja Fortumin toimittama YJH-2012-ohjelma sisältää ne selvitykset, jotka ydinjätehuoltovelvollisten tulee toimittaa. YJH-ohjelmassa on pääpaino käytetyn ydinpolttoaineen huollossa ja siihen liittyvissä selvityksissä ja suunnitelmissa. TEM piti

tätä perusteltuna edellyttäen, että myös muiden ydinjätteiden huollon kuvaus vastaa ydinenergia-asetuksen 74 §:ssä esitettyjä vaatimuksia ja että koko ydinjätehuoltoa koskevat toimenpiteet raportoidaan ydinenergia-asetuksen 77 §:n mukaisesti vuosittain. TEM:n käsityksen mukaan myös muu ydinjätehuolto on kuvattu YJH-ohjelmassa ja edistymisestä on raportoitu vuosittain.

TEM totesi, että YJH-ohjelmassa esitetään, miten eri lausunnoissa esitetyt huomautukset on otettu huomioon mukaan lukien TEM:n edellinen ydinjätehuollon ohjelmaa koskeva lausunto. TEM:n näkemyksen mukaan YJH-2012-ohjelma ja ydinenergia-asetuksen 77 §:n mukaisesti vuosittain raportoidut toimenpiteet muodostavat yhdenmukaisen ja johdonmukaisen kokonaisuuden.

Saamiensa selvitysten perusteella TEM totesi, että YJH-ohjelmasta puuttuneet asiat on liitetty rakentamislupahakemusaineistoon, joten niitä käsitellään rakentamislupamenettelyssä. Osana lupahakemuksen käsittelyä viranomaisen voi pyytää lisäselvityksiä, joten TEM pitää edellä todetun perusteella perusteltuna luvanhaltijoiden vastineessa esitettyä toimintatapaa, jonka mukaan mahdolliset lisäselvitykset Posiva toimittaisi suoraan STUKille. TEM totesi, että ministeriö tulee edelleen pitää ajan tasalla töiden edistymisestä ja niiden mahdollisista vaikutuksista hankkeen kokonaisuikatauluun.

1.5.2 YJH-2012-ohjelman toteuma

YJH-2012-ohjelman päätavoitteet kohdistuivat käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen. Voimalaitosjätteen käsittelyn ja loppusijoituksen katsottiin noudattavan vakiintuneita linjoja, eikä ohjelmakaudella nähty merkittäviä uusia tutkimustarpeita eikä muutoksia vallitseviin käytäntöihin. YJH-2012-ohjelman päätavoitteena oli esittää, miten vuosina 2013–2015 tehtävällä työllä saatetaan käytetyn polttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitosten rakentamislupahakemusvaiheen suunnitelmat sellaiseen valmiuteen, että hankkeen toteuttaminen on mahdollista aloittaa. Ohjelmakauden loppupuolella alkaisi myös yhteistoimintakokeiden suunnittelu. Niiden tavoitteena olisi osoittaa, että käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus KBS-3-menetelmällä Olkiluodossa on teknisesti toteutettavissa.

Vuosien 2013–2015 toiminta on edennyt edellä mainittujen tavoitteiden mukaisesti. Posivan yleisenä tavoitteena oli, että ohjelmakauden aikana Posivasta tulisi ydinlaitosluvan haltija. Merkittävä askel tähän suuntaan olikin STUKin helmikuussa 2015 Posivan rakentamislupahakemuksesta antama lausunto, jonka mukaan Posivan suunnittelema käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitos voidaan rakentaa turvalliseksi. Valtioneuvosto tulee käsittelemään luvan myöntämistä syksyllä 2015.

Vaikka ohjelmakauden 2013–2015 merkittävimmät tehtäväkokonaisuudet teknisessä suunnittelussa liittyivät kapselointilaitoksen ja maanalaisen loppusijoituslaitoksen rakentamisvalmiuden saavuttamiseen, ohjelmassa katsottiin myös pitemmälle tulevaisuuteen, käyttöluपालmiuden saavuttamiseen. Käyttölupahakemuksen jättämisvalmiuden saavuttamisen kannalta nähtiin olennaiseksi, että

- vaatimukset täyttävän loppusijoitusjärjestelmän toteutettavuus on analysein ja tein osoitettu,
- käyttöluvan saannin takaava turvallisuusperustelu on laadittu,
- laitokset ja laitteet on suunniteltu ja rakennettu riittävän pitkälle koekäyttöä varten,
- Posivan organisaatio täyttää loppusijoitustoiminnan edellyttämät vaatimukset,
- tekninen valmius käytetyn polttoaineen kuljetusten aloittamiseen on saavutettu, ja
- loppusijoituksessa tarvittavien materiaalien ja komponenttien tuotanto- ja hankintaketju on rakennettu.

Näiden asioiden suunnittelu ja valmistelu nähtiin tarpeelliseksi aloittaa jo YJH-2012-ohjelmakaudella. Tutkimus- ja kehitystyön kannalta merkittävän tavoitteen muodosti rakentamislupahakemuksen yhteydessä esiin nousevien ja erityisesti pitkäaikais-turvallisuuteen kohdistuvien epävarmuuksien poissulkeminen tai saattaminen sellaiselle tasolle, että ne eivät kyseenalaista loppusijoituksen turvallisuutta. Tavoitteeksi asetettiin suunnitella myös perusratkaisuna olevan KBS-3V-ratkaisun toteutusvaihtoehto – vaaka-sijoitusratkaisu KBS-3H – tasolle, joka mahdollistaa näiden suunnitteluvaihtoehtojen keskinäisen arvioinnin ja perustellun valinnan tekemisen.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen yksityiskohtaista suunnittelua ja rakentamista varten asetettiin vuonna 2013 ns. Laitosprojekti, jonka tavoitteena oli mahdollistaa loppusijoituksen aloittaminen kauppa- ja teollisuusministeriön aikanaan vuonna 1983 asettaman aikataulun mukaisesti "noin vuonna 2020". Tämän mukaisesti projekti tähtäsi varsinaisen toteutusvaiheen alkamiseen vuoden 2015 alussa. Tämän edellytyksenä oli kuitenkin rakentamisluvan saaminen vuoden 2014 aikana, mikä ei lupahakemuksen käsittelyn viivästymisestä johtuen toteutunut. Tulevien vuosien suunnittelun pohjaksi onkin sittemmin tarkentunut, että toteutusvaihe voisi alkaa aikaisintaan vuoden 2016 jälkimmäisellä puoliskolla.

Kapselointilaitoksen suunnittelu on YJH-2012-ohjelmakauden aikana edennyt pitkälle. Kapselointilaitoksen toteutussuunnittelu alkoi kahdeksalle kapselointilaitoksen mekaaniselle järjestelmälle (kuljetussäiliön siirtovaunu, polttoaineen siirtokone, kuljetussäiliön telakointiasema, polttoaineen kuivausjärjestelmä, kapselin telakointiasema, kapselin siirtovaunu, kapselin kannatinlaite ja kapselin nosto- ja siirtokehys) konseptitarkasteluna elokuussa 2014. Konseptitarkastelut saatiin valmiiksi joulukuussa ja ne jatkuvat järjestelmien yksityiskohtaisena suunnitteluna vuonna 2015. Kapselointilaitoksen arkkitehti-, rakennus ja talotekninen suunnittelu on aloitettu syksyllä 2014.

Myös loppusijoituslaitoksen yksityiskohtainen suunnittelu on edennyt. Tämänhetkiseen suunnittelulaajuuteen kuuluvat ajotunnelin ja kapselikuilun väliset kulkuyhteydet, kapselikuilu, kapselivarasto, tarvittavat ajoneuvoyhteydet loppusijoitusalueelle, kaksi keskustunnelia (osittain), kolme loppusijoitustunnelia ja tarvittavat loppusijoitusreiät. Lisäksi suunnitellaan lujitettu kalliotila kapselointilaitoksen käytöstä syntyvän matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilaa varten.

Tutkimus- ja kehitystoiminta on edennyt pääosin YJH-2012-ohjelman mukaisesti. Vuoden 2014 alkupuolella laadittiin STUKin pyynnöstä ns. kehitysohjelma (Posiva 2014a), jossa loppusijoituskonseptin toimintakyky- ja toteutettavuusvaatimusten täyttymistar-

kasteluista lähtien asetettiin pääasialliset tavoitteet käyttöluvapahakemuksen jättämiseen mennessä tarvittavalle tutkimus- ja kehitystyölle. Vuoden 2015 tilanteen mukaan päivitettyä kyseinen kehitysohjelma muodostaa rungon myös nyt käsillä olevan YJH-2015-ohjelman T&K-osuudelle.

Edellä mainittujen YJH-2012-ohjelmassa asetettujen pitkän aikavälin tavoitteiden toteutumista voidaan arvioida seuraavasti:

- vaatimukset täyttävän loppusijoitusjärjestelmän toteutettavuuden komponenttikohdainen testaus on aloitettu mutta viivästynyt suunnitellusta; yhteistoimintakokeiden suunnittelu on käynnistynyt
- käyttöluvaa varten tarvittavan turvallisuusperustelun suunnittelu on käynnissä ja suunnitelmasta on keskusteltu myös STUKin kanssa
- loppusijoitusjärjestelmän asennuslaitteiden prototyypit ovat valmistuneet ja testaus on käynnissä mm. maanpäälle rakennetuissa tiloissa
- käytetyn polttoaineen kuljetusten suunnittelu on käynnissä
- loppusijoituksessa tarvittavien materiaalien ja komponenttien tuotanto- ja hankintaketju on suunniteltavana
- KBS-3H-vaihtoehdon kehitystyötä on jatkettu.

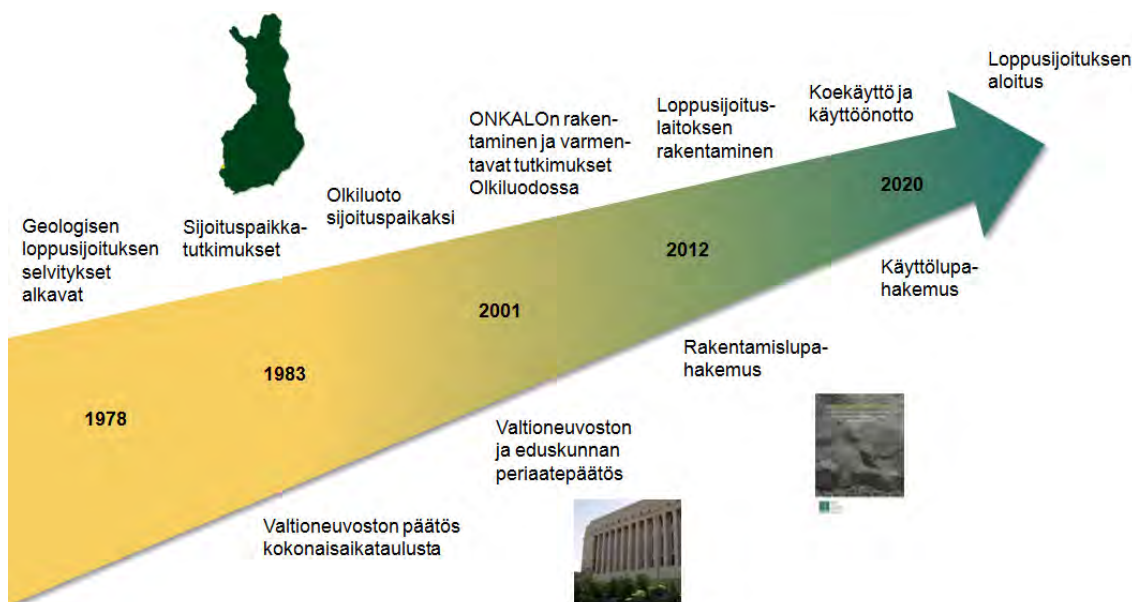
YJH-2015-ohjelman suunnittelu pohjautuu YJH-2012-ohjelman toteutumaan ja on jatkoa sille. Merkittävä osa ohjelman suunnittelussa on kuitenkin ollut myös STUKin rakentamislupahakemuksesta antamalla palautteella ja STUKin samassa yhteydessä tekemillä turvallisuusperustelua ja turvallisuusselostetta koskevilla päätöksillä.

1.6 YJH-2015-ohjelman yleiset tavoitteet

Voimalaitos- ja käytöstäpoistojätteitä koskevia jätehuoltotoimenpiteitä jatketaan ohjelmakaudella 2016–2021 Loviisan ja Olkiluodon ydinjätelaitoksilla aikaisemmissa ohjelmissa esitettyjen suunnitelmien ja vakiintuneiden menettelyjen mukaisesti. Käynnissä olevat pitkäkestoiset kokeet jatkuvat. Alkavalle kaudelle sijoittuvat mm. Loviisan kiinteytyslaitoksen käyttöönotto, käytöstäpoistosuunnitelman päivitys vuonna 2018 ja Loviisan voimalaitos- ja purkujätteen loppusijoituksen turvallisuusperustelun päivitys vuonna 2018. TVO:n seuraava käyviin laitosten käytöstäpoistosuunnitelma laaditaan viimeistään vuonna 2020 ja se sisältää OL1-3-yksiköitä koskevat suunnitelmat. Tämä yhdistetty suunnitelma laadittaneen jo aiemmin, koska OL3:n ensimmäinen käytöstäpoistosuunnitelma jätetään OL3:n käyttöluvan jättämisen yhteydessä ja se on päivitettävä kuuden vuoden kuluttua jättämisestä. TVO:n on myös päivitettävä VLJ-luolaa koskeva turvallisuusseloste vuoden 2021 loppuun mennessä.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitushankkeen valmistelun vaiheet on esitetty kuvassa 1-2. Loppusijoitukseen tähtäävä työ aloitettiin TVO:n toimesta osana sen käyttöluo-
paeidoissa annettuja vaatimuksia OL1-2-laitosyksiköiden ydinjätehuollon järjestämiseksi. Vuonna 2000 tehdyn valtioneuvoston periaatepäätöksen jälkeen työ on keskitetty sijoituspaikaksi valitun Olkiluodon kallioperän varmistaviin tutkimuksiin, loppusijoitusratkaisun kehittämiseen sekä ydinjätelaitosten suunnitteluun Olkiluotoon soveltuviksi. Periaatepäätöksen mahdollistamana on Olkiluotoon louhittu maanalainen tutkimustila ONKALO.

Käytetyn polttoaineen loppusijoitusta koskevassa työssä ollaan siirtymässä vuosina 2016–2021 hankkeen toteutukseen. Käytetyn polttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle odotetaan rakentamislupaa vuoden 2015 aikana ja loppusijoitushankkeen aikataulu tarkentuu tämän käsittelyvaiheen jälkeen. Tämän ohjelman lähtökohtana tavoitteiden asettamisessa on käytetyn polttoaineen loppusijoituksen tämänhetkinen aikataulu, joka tähtää loppusijoitustoiminnan aloittamiseen noin vuonna 2023.



Kuva 1-2. Käytetyn polttoaineen loppusijoituksen aloittamiseen tähtäävän toimintaohjelman vaiheet vuodesta 1978 alkaen. Loppusijoituspaikan valinta kytkettiin valtioneuvoston periaatepäätökseen Posivan hakemuksessa vuonna 1999. ONKALOn rakentamisen ja siellä tehtyjen tutkimusten avulla on voitu varmistua Olkiluodon kallioperän ominaisuuksista ja hankkia yksityiskohtaista tietoa loppusijoituksen suunnitteluun.

Posivan odottaa, että vuonna 2012 jätetyn hakemuksen perusteella yhtiölle myönnetään rakentamislupa vuoden 2015 aikana ja sen myötä Posiva muuttuu ydinlaitosluvanhaltijaksi. Tämän seurauksena vuosina 2016–2018 tehtävän työn päämääränä on saattaa kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen sekä loppusijoituskonseptin suunnitelmat sellaiseen valmiuteen, että hankkeen toteutus voi alkaa. Sitä seuraava päätavoite on käyttölupahakemusvalmiuden saavuttaminen ohjelmakauden 2019–2021 aikana. Sen saavuttamiseksi Posivan toiminta suuntautuu enenevässä määrin loppusijoituksen toteutukseen, mikä heijastuu alkavan ohjelmakauden aikana tapahtuvan suunnittelu- ja tutkimustyön painopisteisiin.

Tavoitteena oleva käyttölupahakemusvalmius saavutetaan ydinlaitosten maanpäällisten ja maanalaisten osien rakentamisella sekä laitoksiin liittyvällä tutkimus- ja kehitystyöllä. Tutkimus- ja kehitystyö tuottaa tuloksia toteutuksen käyttöön ja palvelee KBS-3-järjestelmän toimintakyvyn sekä turvallisuuden arviointia. Tavoitteen saavuttamisen kannalta olennaisen osan tiedonhankinnasta muodostaa testaus- ja kehitystyö ONKALoon ja maan päälle rakennetuissa demonstraatiotiloissa. Toteutuksen aikana huolehditaan järjestelmien ja laitteiden erillisluvituksesta (kelpoistamisesta) samoin kuin kehitetään hankinta- ja valmistustavat teknisten vapautumisesteiden komponenteille. Käyttö-

lupahakemusvalmius saavutetaan 2020, kun sekä maanpäällisen kapselointilaitoksen että maanalaisen loppusijoituslaitoksen suunnittelutiedot ovat valmistuneet ja koekäytöt alkaneet. Käyttölupahakemusta täydennetään koekäyttöjen ja ei-ydinteknisten yhteistoimintakokeiden tulosraporteilla. Ydintekninen koekäyttö voidaan aloittaa, kun lupa ydinpolttoaineen käsittelyyn on saatu.

Käsillä olevassa ohjelman luvussa 1 on käsitelty ydinjätehuollon vastuut ja velvoitteet. Luvuissa 2 ja 3 esitetään Loviisan ja Olkiluodon voimalaitosten ydinjätehuollon kokonaissuunnitelmat ja käsitellään Fortumin ja TVO:n jätehuollon suunniteltuja tutkimus- ja kehitystoimenpiteitä. Luvussa 4 kuvataan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusvalmistelujen tilanne asetettuja vaateita ja tavoitteita vasten. Luvussa 5 esitetään suunnitelmat käytetyn polttoaineen loppusijoituksen tutkimus- ja kehitystyöksi tarkastelujaksolla 2016–2021. Luku 6 koskee samalla jaksolla tehtävää suunnittelua ja rakentamista. Luvussa 7 tarkastellaan jälkimmäiselle kolmivuotisjaksolle painottuvaa toimintaa kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttöönottoon ja käyttötoiminnan suunnitteluun liittyen ja luvussa 8 käsitellään valmistautumista käyttölupahakemuksen laatimiseen.

2 LOVIISAN VOIMALAITOS

2.1 Loviisan voimalaitoksen ydinjätehuollon kokonaissuunnitelma pääpiirteittäin

Loviisan voimalaitos koostuu kahdesta laitosesiköstä, Loviisa 1 (LO1) ja Loviisa 2 (LO2). Lisäksi voimalaitosalueella on mm. käytetyn polttoaineen varasto (KPA-varasto), kiinteytyslaitos, nestemäisten jätteiden varasto sekä voimalaitosjätteen loppusijoituslaitos (VLJ-luola). Valtioneuvosto on myöntänyt Fortumille luvan käyttää Loviisan voimalaitoksen ensimmäistä ydinvoimalaitosesiköä (LO1) vuoden 2027 loppuun ja toista ydinvoimalaitosesiköä (LO2) vuoden 2030 loppuun asti. Valtioneuvosto on lisäksi myöntänyt luvan käyttää laitosesiköihin kuuluvia ydinpolttoaine- ja ydinjätehuollon kannalta tarpeellisia rakennuksia ja varastoja tarvittavine laajennuksineen vuoden 2030 loppuun asti. Ydinvoimalaitoksen käytön aikana syntyvät matala- ja keskiaktiiviset jätteet yhtiö sijoittaa voimalaitospaikalle rakennettuun VLJ-luolaan, jota on suunniteltu myöhemmin laajennettavaksi käytöstäpoistojätteitä varten. VLJ-luolan käyttöluva on voimassa vuoden 2055 loppuun saakka.

2.2 Loviisan voimalaitoksen ydinjätehuoltotoimenpiteiden kokonaisaikataulu

LO1:n kaupallinen sähköntuotanto alkoi vuonna 1977 ja LO2:n vuonna 1981. Laitosten käytön aikana syntyviä radioaktiivisia jätteitä välivarastoitiin laitosalueella varastoissa ja tankeissa, kunnes Loviisan VLJ-luola valmistui vuonna 1997 (kuva 2-1). VLJ-luolaan louhittiin aluksi kulkuyhteydet maanpinnalta, kaksi huoltojätetilaa (HJT1 ja HJT2) sekä myöhemmin varusteltu kiinteytetyn keskiaktiivisen jätteen tila (KJT). KJT rakennettiin valmiiksi vuonna 2008. Huoltojätteiden sijoitus VLJ-luolaan loppusijoitustilaan alkoi heti käyttöönoton jälkeen. KJT otetaan käyttöön sen jälkeen, kun Loviisan nestemäisten jätteiden kiinteytyslaitoksen koekäyttö saadaan hyväksytysti suoritetuksi ja tuotannollisen käytön lupahakemus on hyväksytty STUKissa. Vuosina 2011–2012 loppusijoitustilaa laajennettiin rakentamalla huoltojätteiden välivarastointi- ja käsittelytila HJT3 ja rakentamalla valmiiksi kuvaan 2-1 oranssilla merkitty yhdystunneli, joka mahdollistaa ajoneuvojen helpomman liikuttelun loppusijoituslaitoksessa. Myöhemmin HJT3 on tarkoitus luvittaa huolto- ja käytöstäpoistojätteen loppusijoitustilaksi.



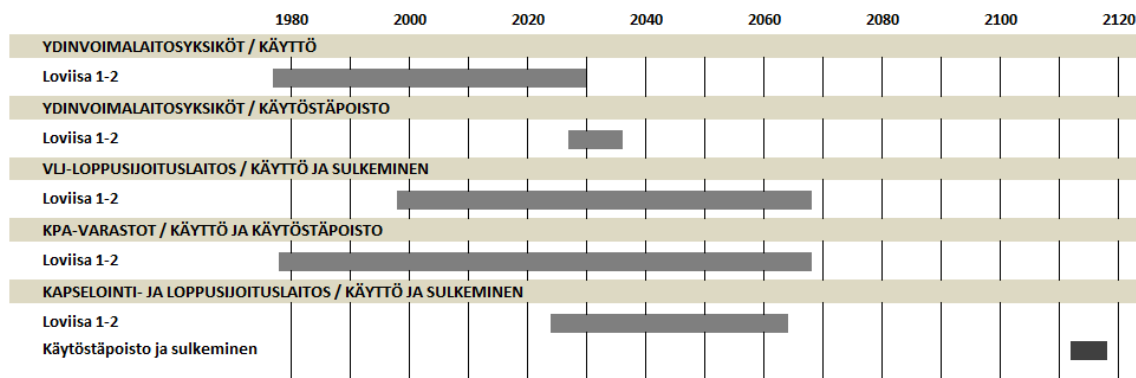
Kuva 2-1. Loviisan voimalaitoksen loppusijoituslaitos, VLJ-luola.

Loviisan voimalaitoksen käytön alkuaikoina käytetty ydinpolttoaine palautettiin lyhyen välivarastointiajan jälkeen Neuvostoliittoon (myöhemmin Venäjälle). Vuonna 1995 voimaan tulleen lakimuutoksen jälkeen käytettyä ydinpolttoainetta on varastoitu Loviisan voimalaitosalueella sijaitsevassa KPA-varastossa

Vesijähdytteisessä KPA-varastossa on 11 allasta. Varastoa laajennettiin vuosina 1997–2000, jotta varastointikapasiteetti riittäisi loppusijoituksen aloittamiseen asti. Varastolla on myös otettu käyttöön ns. tiheitä polttoainetelineitä, jotka mahdollistavat suurempien polttoainemäärien varastoimisen. Tiheitä telineitä hyödyntämällä varaston kapasiteetti riittää laitoksen nykyisen käyttöiän loppuun saakka.

Loviisan voimalaitosyksiköiden käytöstäpoisto on suunniteltu aloitettavaksi välittömästi käytön päätyttyä, jonka jälkeen KPA-varasto toimii itsenäisesti. Käytöstäpoiston ensimmäinen vaihe valmistuu tämän hetken suunnitelmien mukaan noin vuonna 2035. Osia laitosyksiköiden järjestelmistä, kuten esimerkiksi niitä, jotka liittyvät nestemäisten jätteiden käsittelyyn, ei pureta ensimmäisessä vaiheessa, sillä niitä tarvitaan edelleen KPA-varaston itsenäisen käytön aikana.

Posivan nykyisen aikataulun mukaan Loviisan polttoaine on saatu loppusijoitetuksi noin vuonna 2064, minkä jälkeen KPA-varasto ja sen käyttämät järjestelmät poistetaan käytöstä. Kertyneet jätteet loppusijoitetaan Loviisan loppusijoituslaitoksen laajennukseen ja loppusijoituslaitos suljetaan noin vuonna 2068. Loviisan voimalaitoksen suunnitellun käytön sekä ydinjätehuoltotoimenpiteiden ajoittuminen on esitetty kuvassa 2-2.



Kuva 2-2. Loviisan voimalaitoksen suunnitellun käytön sekä ydinjätehuoltotoimenpiteiden aikataulu.

2.3 Käytetyn polttoaineen käsittely ja varastointi

Loviisan voimalaitoksen käytettyä ydinpolttoainetta varastoidaan vesialtaissa voimalaitosyksiköillä LO1 ja LO2 sekä KPA-varastossa. Varaston vanhempi osa (KPA1) on rakennettu voimalaitoksen rakentamisen yhteydessä ja uudempi (KPA2) 1980-luvun alussa, kun käytetyn polttoaineen jäähtymisaikaa voimalaitoksella pidennettiin.

KPA2:n toinen laajennus neljällä lisäaltaalla otettiin käyttöön vuonna 2000. Vuonna 2005 päätettiin varastointikapasiteettia lisätä edelleen vaihtamalla osa KPA2:n polttoainetelineistä tiheiksi telineiksi. Tiheässä telineessä on 352 varastopaikkaa verrattuna vanhan, ns. avoimen telineen, 130 paikkaan. Yhtein varastoaltaaseen mahtuu neljä tiheää telinettä. Altaiisiin sijoitetaan kuitenkin kaksi tiheää telinettä ja kaksi avointa telinettä, jolloin viranomaisen edellyttämä yhden altaan tyhjentämisvaatimus on helpompi toteuttaa. Varastotilaa on lisätty hankkimalla kaksi uutta tiheää telinettä vuosina 2007, 2009, 2011 ja 2014.

Tiheitä telineitä lisäämällä ylläpidetään tarvittava varastokapasiteetti 2020-luvun alkuun saakka, jolloin käytetyn ydinpolttoaineen kuljetukset loppusijoitusta varten Olkiluotoon on määrä aloittaa. Tarvittaessa altaat voidaan varustaa kokonaisuudessaan tiheillä telineillä ja näin saavutettava varastokapasiteetti evakuointivaatimuksineen riittää laitojen nykyisten käyttöluopien loppuun saakka ilman loppusijoitustoiminnan alkamistakin (Sorjonen 2013).

Tiheiden telineiden vaihdon yhteydessä altaista poistettavista avoimista polttoainetelineistä neljää tullaan varastoimaan laitoksella. Tällä varaudutaan mahdolliseen KPA2-varaston altaan tyhjennystarpeeseen. Tällaisessa tilanteessa telineitä sijoitettaisiin KPA2-varaston kuormausaltaaseen, jota ei normaalisti käytetä varastointiin. Ensimmäiset kaksi telinettä on varastoitu vuoden 2015 aikana.

Vuoden 2014 lopussa voimalaitoksella oli varastoituna yhteensä 4 831 käytettyä ydinpolttoaineenippua, mikä vastaa noin 581 tonnia tuoretta uraania. Nipuista 335 kpl oli LO1:llä ja 179 kpl LO2:lla. KPA1-varastossa oli 480 ja KPA2-varastossa oli 3 837 nippua. Lisäksi LO1:n reaktorissa oli 313 ja LO2:n reaktorissa samoin 313 nippua käytössä.

Loviisan osalta nippukohtainen maksimipoistopalama on 57 MWd/kgU eikä tätä rajaa ole nykyisten suunnitelmien mukaan enää tarkoitus nostaa. Jatkossa poistettavien nippujen keskimääräinen poistopalama arvioidaan paljon alhaisemmaksi (47,5 MWd/kgU).

2.3.1 Voimalaitosjätteen käsittely, varastointi ja loppusijoitus

Loviisan ydinvoimalaitoksella syntyy käytön, huollon ja korjaustöiden yhteydessä voimalaitosjätteitä. Prosessivesien puhdistuksessa, valvonta-alueen viemäriveriesien käsittelyssä sekä komponenttien ja järjestelmien dekontaminoinnin yhteydessä syntyy nestemäisiä ja märkiä jätteitä, joita ovat ioninvaihtohartsit, haihdutusjätteet sekä lietteet ja sakat. Kuivia jätteitä ovat mm. ilmastointi- ja prosessikaasujärjestelmien suodattimet, huolto- ja korjaustöissä syntyvät sekalaiset jätteet sekä putkistomuutosten ja huoltotöiden yhteydessä syntyvät metalliromut. Lisäksi voimalaitosjätteisiin kuuluvat haihdutusjätteiden kesiuminerotukseen käytetyt ioninvaihtokolonnit sekä pieni määrä huoltotöiden yhteydessä syntyviä liuotinjätteitä. Matala- ja keskiaktiivinen voimalaitosjäte käsitellään, varastoidaan ja loppusijoitetaan laitospaikalla (kuva 2-1). Käsittely ja varastointi tapahtuvat voimalaitoksen tiloissa ja loppusijoitus erillisessä loppusijoituslaitoksessa.

Huoltojätteet loppusijoitetaan 200 litran terästynnyreissä. Kiinteät jätteen betoniastiat tullaan sijoittamaan erilliseen betonikaukaloon ja astioiden välit täytetään betonilla.

Käytetyt ioninvaihtohartsit ja haihdutusjätteet varastoidaan nestemäisten jätteiden varastossa, 300 m³:n säiliöissä, joita on yhteensä kahdeksan kappaletta. Haihdutusjätteelle tehdään kampanjoittain kesiumerotus, jolla vähennetään aktiivisen nestemäisen jätteen määrää. Kesiumerotuksessa käytettävät suodatinpatruunat loppusijoitetaan betonisissa loppusijoitusastioissa kiinteätyn jätteen tilaan.

Nestemäisten jätteiden varastossa on 7 kpl 300 m³ säiliötä ioninvaihtohartsien ja haihdutusjätteiden varastointia ja käsittelyä varten sekä yksi 300 m³ ylivuotosäiliö. Haihdutusjäteliuosta varastoidaan säiliössä kerrallaan noin neljä vuotta, minkä aikana liuoksessa oleva aktiivisempi kiintoaine saostuu säiliön pohjalle. Kiintoaineen päälle muodostunut vesipitoinen liuos käsitellään kampanjanomaisesti kesiumin erotuslaitoksella poistamalla siitä pitkäikäinen radioaktiivinen kesium. Tällä prosessilla voidaan vähentää huomattavasti nestemäisen jätteen määrää.

Nestemäisten jätteiden varaston yhteyteen on rakennettu kiinteytyslaitos, jossa harts- ja haihdutusjätteet kiinteytetään betonoimalla. Kiinteytyslaitos on tällä hetkellä koekäyttövaiheessa ja sen tuotannolliselle käytölle on haettu lupaa STUKilta. Kiinteytys tehdään teräsbetonisissa sisätilavuudeltaan 1 m³:n ja ulkotilavuudeltaan 1,7 m³:n jäteastioissa. Kiinteytyslaitoksella ja nestemäisten jätteiden varastolla on tehty viime vuosina laitoksen toimintaa tehostavia muutostöitä sekä kehitetty betonisen jäteastian rakennetta. Kiinteytyslaitoksen toimintaa on tarkoitus jatkaa myös voimalaitoksen käytöstäpoiston ja käytetyn polttoaineen varastointivaiheen aikana siten, että se puretaan viimeisenä laitososana voimalaitoksen käytöstäpoiston yhteydessä.

Matala-aktiiviset suodatinmassat ja lietteet, sekä liuotin- ja öljypitoiset nesteet imeytyskiinteytetään suoraan 200 litran terästynnyreihin, jotka loppusijoitetaan huoltojättiloihin.

Kuiva huoltojäte pakataan 200 litran terästynnyreihin tai vastaaviin pakkauksiin. Puristuva jäte tiivistetään tynnyreihin jätepuristimella, jolloin yhteen tynnyriin saadaan mahtumaan yli viisi kertaa enemmän jätettä kuin ilman tiivistystä. Puristumattomat jätteet ladotaan tiiviisti tynnyreihin. Jätetynnyreiden radioaktiivisuus mitataan gammaspektrometrisesti, ja tämän tiedon perusteella tynnyrit joko vapautetaan valvonnasta, varastoidaan odottamaan valvonnasta vapautusta tai loppusijoitetaan huoltojätetiloihin.

Suuria metallikomponentteja ei tavallisesti pakata tynnyreihin vaan ne pyritään mahdollisuuksien mukaan dekontaminoimaan ja vapauttamaan valvonnasta. Vain jos kontaminoituneita komponentteja ei saada puhtaaksi, niitä varastoidaan laitoksella, kunnes ne saadaan loppusijoitettua mahdollisen lisäkäsittelyn jälkeen.

Erikoistapauksissa, kun jätteen annosnopeus on suuri, kuten esimerkiksi reaktorin imuroidintäjätteen tai materiaalitutkimuksiin liittyvien koepalojen ja näyteketjujätteen tapauksessa, jäte sijoitetaan reaktorirakennuksissa tai KPA:lla sijaitseviin kuivasiloihin. Tällaisen jätteen määrä on massaltaan ja tilavuudeltaan pientä ja se loppusijoitetaan viimeistään voimalaitoksen käytöstäpoiston yhteydessä.

2.3.2 Käytöstäpoistosuunnittelu

Loviisan voimalaitoksen käytöstäpoistosuunnitelma päivitettiin viimeksi vuonna 2012. Käytöstäpoistosuunnitelmaan sisältyvät mm. purkujätteen aktiivisuusinventaaari, suunnitelma purkutoimenpiteistä, purkutöiden säteilyannosarvio, loppusijoitettavien komponenttien ja pakkausten määrät, työmäärä- ja kustannusarviot sekä purkujätteen loppusijoituksen turvallisuusperustelu. Suunnitelman lähtökohtana on laitousyksiköiden 50 vuoden käyttöään jälkeen purkaa välittömästi ne laitoksen radioaktiiviset osat, joita ei tarvita laitospaikalle itsenäisenä toimimaan jäävän KPA-varaston, nestemäisten jätteiden kiinteytyslaitoksen sekä matala- ja keskiaktiivisten jätteiden loppusijoituslaitoksen tarpeisiin.

Käytöstäpoiston lisensointi on suunniteltu aloitettavan 2020-luvun alkupuolella, minkä jälkeen loppusijoituslaitosta laajennetaan käytöstäpoistojätteitä varten. Loppusijoituslaitos ja sen laajennus on suunniteltu siten, että suuret komponentit (esim. reaktoripainesäiliöt ja höyrystimet) voidaan loppusijoittaa kokonaisina ilman paloittelua.

Käytöstäpoisto on suunniteltu aloitettavan LO1-laitousyksikön osalta vuonna 2027 ja LO2-laitousyksikön osalta vuonna 2030 valmisteluvaiheella. Valmisteluvaiheen aikana siirretään käytetty polttoaine reaktorirakennuksesta käytetyn polttoaineen varastolle, prosessijärjestelmät tyhjennetään ja tarvittaessa dekontaminoidaan, tehdään tarpeelliset rakentamis- ja raivaustyöt sekä tehdään tarvittavat hankinnat käytöstäpoistoa varten.

Aktivoituneen materiaalin (reaktorin paineastia, reaktorin sisäosat, säätösauva-absorbaattorit, reaktorirakennuksen kuivasilo, reaktorin biologinen suoja, höyrystintilan aktivoitunut lattia) käytöstäpoisto on suunniteltu aloitettavan LO1-laitousyksiköllä vuonna 2029 ja LO2-laitousyksiköllä 2032. Aktivoituneen materiaalin purkamisen on suunniteltu kestävän 3 vuotta laitousyksikköä kohden.

Kontaminoituneen materiaalin (reaktorin paineastian kansi, reaktorin säätösauvakoneistot, primääripiirin suuret komponentit, primääripiirin kontaminoituneet järjestelmät ja reaktorirakennuksen kontaminoituneet rakenteet) käytöstäpoisto aloitetaan LO1:llä vuonna 2029 ja työ valmistuu LO2:lla vuonna 2035.

Käytetyn polttoaineen varasto, kiinteytyslaitos, nestemäisten jätteiden varasto sekä apurakennuksen kontaminoituneet rakenteet ja järjestelmät poistetaan käytöstä käytetyn polttoaineen varastoinnin lopettamisen jälkeen vuosina 2066–2068. Loppusijoitustilat suljetaan vuonna 2068.

Käytöstäpoistosuunnitelma päivitetään seuraavan kerran vuonna 2018. Päivitykseen varaudutaan erilaisilla käytöstäpoistoon liittyvillä selvityksillä, jotka täydentävät ja tarkentavat nykyistä suunnitelmaa. Tämän jälkeen suunnitelma päivitetään viranomaisvaatimusten mukaisesti vuonna 2024. Päivityksillä edetään kohti lopullista, toteutettavaa käytöstäpoistosuunnitelmaa.

2.4 Loviisan voimalaitoksen jätehuollon tutkimus- ja kehitystoimenpiteet 2016–2021

Loviisan ydinvoimalaitoksen jätehuollon tutkimus- ja kehitystoimenpiteet tähtäävät olemassa olevien jätehuoltomenettelyjen ja suunnitelmien edelleen kehittämiseen ja parantamiseen sekä sen varmistamiseen, että käytön aikana syntyvä voimalaitosjäte on pääsääntöisesti käsitelty ja loppusijoitettu ennen käytöstäpoiston alkua.

Käytetyn polttoaineen käsittelyyn ja varastointiin kohdistuvat toimenpiteet (esim. tiheiden telineiden hankinnat ja asennukset) tähtäävät riittävän varastointikapasiteetin varmistamiseen laitoksella käyttöään loppuun saakka sekä edellytysten luomiseen polttoaineen kuljetukselle kapselointilaitokseen ja sieltä edelleen kapseloituna loppusijoituslaitokseen.

2.4.1 Käytetyn polttoaineen käsittely ja varastointi

Uusia selvityksiä ja toimia vuosina 2016–2018

Ydinpolttoaineen varastointi

KPA2:n kapasiteetin lisäämistä tiheillä telineillä jatketaan seuraavalla telineasennuksella vuonna 2016. Samalla varastoidaan altaasta poistettavat kaksi avointa polttoainetelineitä. Telinehankintoja jatketaan tarvittaessa myös vuosina 2018 ja 2020.

Jälkilämpöteholaskentaohjelmistojen validointi

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuuden kannalta tärkeälle loppusijoituskapselin ulkopinnan lämpötilalle on asetettu suurin sallittu arvo. Lämpötilaa hallitaan asettamalla jälkilämpötehoraja kapseliin sijoitettaville polttoainepuille. Nippujen tuottama jälkilämpöteho määritetään laskennallisesti tarkoitukseen kehitetyillä ja verifioituilla laskentaohjelmilla.

Kokeellista tietoa ohjelmistojen validointiin VVER-440-ydinpolttoaineelle voidaan hankkia mittaamalla ydinpolttoainenipun jälkilämmöntuotto kalorimetrisesti tai radiokemiallisin analyysin.

YJH-2012-ohjelmasta poiketen Fortum selvittää kalorimetralaitteistolle vaihtoehtoisena menettelynä radiokemiallisia mittauksia ja olemassa olevien validointien soveltuvuutta VVER-440-polttaineelle.

Käytetyn ydinpolttoaineen pakkaaminen kuljetusta varten

Käytetyn ydinpolttoaineen pakkaaminen kuljetusta varten edellyttää sopeutumista valittavaan kuljetuspakkaukseen, kuljetusmuotoon ja kuljetustapaan. Toiminnassa käytetään laitteita ja menettelyjä, joita ei tällä hetkellä käytetä laitoksella.

Fortum selvittää ja aloittaa toimenpiteet Loviisan voimalaitoksella tapahtuvan pakkaamisen toteuttamiseksi. Tässä yhteydessä huomioidaan myös vuotavan ydinpolttoaineen asettamat erityisvaatimukset kuljetusvalmistelujen suhteen. Selvityksiä jatketaan sopivan vaatimukset täyttävän pakkaamistavan valitsemiseksi.

Loppusijoitettavan ydinpolttoaineen tunnistaminen

Ydinmateriaalivalvonnalla STUK, Euratom ja IAEA varmistavat ydinaineiden pysymisen niille tarkoitettuun käytössä. Viranomaiset toteuttavat valvontaa polttoaineen verifiointimittauksilla riippumattomasti omilla laitteillaan. Ydinpolttoaineen loppusijoitus asettaa aiempaa korkeammat vaatimukset näille verifiointimittalaitteille, koska ydinpolttoainetta ei ole myöhemmin enää mahdollista mitata uudelleen. Valvontaa suorittavat organisaatiot kehittävät verifiointimittausmenetelmiä loppusijotuskäyttöön. Fortum seuraa kehitystä viranomaisyhteydenpidolla sekä osallistumalla tarvittaessa valikoituihin hankkeisiin.

Fortum osallistuu yhdessä TVO:n ja Posivan kanssa Helsingin yliopiston johtamaan FiDiPro-hankkeeseen käytetyn ydinpolttoaineen passiivitomografian kehittämiseksi ajanjaksolla 2015–2018.

Alustavia suunnitelmia vuosille 2019–2021

Ydinpolttoaineen varastointi

Varastokapasiteettia lisätään tarvittaessa tiheillä telineillä sekä varaudutaan kapasiteetin lisäämiseen seuraavalla ohjelmakaudella loppusijoitushankkeen etenemisen edellyttämällä tavalla.

Käytetyn ydinpolttoaineen pakkaaminen kuljetusta varten

Pakkaamisjärjestelyjen toteuttaminen jatkuu ajanjaksolla 2016–2018 tehtyjen päätösten edellyttämällä tavalla.

2.4.2 Voimalaitosjätteen käsittely, varastointi ja loppusijoitus

2.4.2.1 Nestemäisten jätteiden käsittely ja varastointi

Toimenpiteet vuosina 2016–2018

Nestemäisten jätteiden osalta keskitytään lähivuosina kiinteytyslaitoksen ja nestemäisten jätteiden varaston käyttöönottoon, käyttöön ja mahdollisiin järjestelmämuutos- ja kehitystöihin. Muutos- ja kehitystyöt on koottu nestemäisten jätteiden käsittelyn kehitysohjelmaksi (TW/TT-ohjelma), jolle on perustettu ohjausryhmä ja laadittu suunnitelma, jonka toimenpiteet hyväksytetään vuosittain. Vuosien 2016–2018 aikana suunnitellaan ja osittain toteutetaan siirtojärjestelmät kaikkiin niihin nestemäisten jätteiden varaston säiliöihin, joissa ei ole vielä siirtojärjestelmää. Siirtojärjestelmällä nestemäinen jäte voidaan siirtää kiinteytyslaitokselle betonoitavaksi. Tarkoituksena on myös selvittää mahdollisuutta siirtää nestemäistä jätettä säiliöstä toiseen laitoksen olemassa olevilla järjestelmillä, jolloin siirtojärjestelmiä ei tarvittaisi kaikissa säiliöissä. Lisäksi vuosien 2016–2018 suunnitelmiin kuuluu loppusijoitusastian kehitystöitä mm. astian tartuntaosan ja raudoituksen osalta, sekä lietteiden käsittelyn kehittämistä. Kiinteytetyn jätteen tilan täyttövalun osalta tehdään menetelmä- ja laitteistosuunnittelua, laitteistojen valmistusta ja testausta, sekä toteutuksen suunnittelua.

Vuosien 2016–2018 suunnitelmiin kuuluu myös kiinteytysreseptien tutkimus ja kehittäminen. Yhtenä tutkimuskohteena on varastoinnin aikana erottuneen haihdutusjäteliuoksen käyttäminen hartsin kiinteytyksessä lisävetenä.

Alustavia suunnitelmia vuosille 2019–2021

Edellä mainitut siirtojärjestelmien toteutukset ajoittuvat osittain kaudelle 2019–2021. Pitkän tähtäimen suunnitelmana on kehittää kiinteytyslaitoksen ja koko voimalaitoksen viemäri-vesien käsittelyä, kiinteytysreseptien tutkimusta sekä kiinteytystuotteen laadunvalvontamenetelmiä ja -työkaluja.

2.4.2.2 Kuivien jätteiden käsittely ja varastointi

Selvitykset vuosina 2016–2018

Orgaanisen jätteen kaatopaikkaläjittäminen kieltävällä, vuoden 2016 alussa voimaan tulevalla asetuksella on vaikutuksensa myös Loviisan voimalaitoksen kuivien jätteiden käsittelylle. Loviisassa on tarkoituksena kehittää sellaiset menettelyt, että kuivien jätteiden valvonnasta vapautusmenettely pystytään turvaamaan jatkossakin. Vapautettavan jätteen osuutta pyritään edelleen kasvattamaan tehostamalla lajittelu- ja pakkausmenettelyjä. Jätteiden käsittelyä järkeistetään esim. uusimalla metallijätteen käsittelyyn tarkoitettuja laitteita ja toimittamalla isoja metallikomponentteja sulatukseen. Jätetynnyreiden jäljitettävyyden parantamiseksi siirrytään käyttämään viivakoodi-identifiointia, joka vähentää inhimillisten virheiden mahdollisuutta sekä antaa paremman mahdollisuuden tietokantojen hyväksikäyttöön.

Loviisan voimalaitoksen tiloissa on noin 1 000 jätetyynyriä pitkäaikaisvarastoituna. Kyseisessä jätevarastossa suoritetaan järjestelytoimenpiteitä, joiden yhteydessä osa tynnyreistä siirretään loppusijoitustilaan. Tarvittaessa jäte vapautetaan valvonnasta tai pakataan uusiin tynnyreihin, jolloin tynnyri myös punnitaan ja sen aktiivisuus mitataan.

Tynnyrijätteen pakkaamiseen käytettävien jätepuristimien uusintaa selvitettiin vuosina 2014–2015. Uusien puristimien valinnassa on otettu huomioon myös räjähdysvaarallisten aineiden käsittelyä koskevat määräykset. Uusien jätepuristimien hankinta ja käyttöönotto ajoittuu vuoteen 2016.

Alustavia suunnitelmia vuosille 2019–2021

Vuosina 2019–2021 selvitetään mm. mahdollisuuksia parantaa laitoksen kuivien jätteiden varastointitiloja huomioiden samalla myös käytöstäpoiston tarpeet. Muilta osin suunnitelmat tarkentuvat lähivuosien aikana.

2.4.2.3 Voimalaitosjätteiden loppusijoitus

Toimenpiteet vuosina 2016–2018

Voimalaitosjätteiden loppusijoituslaitoksen kalliomekaanista ja hydrologista seurantaan sekä pohjavesikemian analyysyjä jatketaan entisten ohjelmien mukaisesti. Loppusijoituslaitokseen on asennettu automaattinen kalliomekaaninen mittauslaitteisto, johon on kytketty 17 tankoekstensometriä, 10 kuormitusanturia, kaksisuuntafissurometri ja 8 lämpötila-anturia. Kallion stabiilisuutta seurataan lisäksi manuaalisilla konvergenssimittauksilla. Loppusijoituslaitoksessa on yhteensä 14 mittausleikkausta ja 61 mittauspulttia. Mittausohjelmassa on kaikkiaan 27 mittaväliä.

Hydrologinen seuranta käsittää maanpinnalla meriveden korkeuden, sadannan, pohjavedenpinnan korkeuden sekä makean ja suolaisen pohjaveden rajapinnan korkeuden mittausta. Loppusijoituslaitoksessa mitataan pohjaveden painetta, sähkönjohtavuutta sekä vuotoveden määrää. Pohjavesikemian analyysiohjelmassa on fysikaalis-kemiallisten perusparametrien lisäksi pääkationit ja -anionit sekä hivenmetallit. Hivenmetalleista Ni, Co, Zn, Sr ja Cs ovat merkittäviä metalleja voimalaitosjätteessä. Analyysiohjelmassa on huomioitu mahdolliset betoniaggressiiviset parametrit (mm. aggr. CO₂, NH₃, SO₄). Pohjaveden redox-tilan arvioimiseksi ja evoluution selvittämiseksi on analyysiohjelmassa redox-parametreista Fe(II) ja Fe(tot). Perusanalyysieihin sisältyvät myös kairauksissa käytetyn merkkiaineen analysointi (uraniini) sekä veden alkuperää ja pinnallisen veden sekoittumista indikoivat parametrit (H-2/O-18, H-3). Lisäksi analyysiohjelmassa on pohjaveden muodostumisprosesseja ja viipymää tarkentavia isotooppeja ja kaasuja: C-13/C-14 (DIC, DOC), Rn-222, S-34, Sr-87/Sr-86, CO₂, O₂, N₂, CH₄, H₂.

Loppusijoituslaitoksen kunnonseurannassa on havaittu joidenkin metallirakenteiden syöpyvän nopeasti. Olosuhteiden on havaittu olevan joissakin paikoissa huonommat kuin yleisesti. Selvitysten perusteella on päätetty mm. tehostaa ilmastointikuilun ilmanvaihtoa ja -kuivausta niin, ettei vesi pääse kondensoitumaan terästen pinnoille.

HJT3 on päätetty varustaa kankaisella sisäkatolla, joka ohjaa mahdolliset tippuvedet pois tynnyreiden päältä ja ehkäisee suolaisen pohjaveden aiheuttamaa korroosiota.

Vuonna 2015 havaittiin KJT:n betonikaukalon ulkoseinämässä kaksi vaurioitunutta kohtaa. Vaurioituneet kohdat sijaitsivat paikoissa, jossa kaukalon seinämään oli päässyt roiskumaan VLJ-luolan vuotovesiä. Ongelman laajuuden selvittämiseksi kaukalosta otettiin näytteitä, jotka analysoitiin. Tapahtuma saattaa aiheuttaa lisäselvityksiä tai toimenpiteitä myös lähivuosille.

Puolimittakaavaisiin loppusijoitusastioihin vuonna 1987 kiinteytetyn aktiivisen ioninvaihtohartsin säilytyskoe jatkuu. Jätepakkaukset ovat olleet pohjavesisäilytyksessä Loviisan voimalaitoksella ja ovat odotusten mukaisesti edelleen hyväkuntoisia. Tulevalla kaudella suunnitellaan kiinteystuotteen vesisäilytyskappaleiden analysointiohjelmaa. Ohjelman tavoitteena on tarkkailla oikealla jätteellä kiinteytetyjen tuotteiden kuntoa vuosittain sisältäen mm. visuaalisen kunnon tarkastelut sekä kemialliset analyysit vedestä, missä massa on.

Täysimittakaavaisen loppusijoitusastiaan kiinteytettiin vuonna 1980 inaktiivista Loviisan voimalaitoksella käytettyä vanhaa ioninvaihtohartsia. Loppusijoitusastiaan säilytetty hitaasti virtaavassa makeassa vedessä Pyhäkosken voimalaitoksella. Loppusijoitusastian kunto on seurannassa havaittu hyväksi. Kokeita jatketaan edelleen ja niiden tuloksia käytetään voimalaitosjätteen loppusijoituksen turvallisuusperustelussa tukemaan oletuksia vapautumisesteiden kestävydestä. Lisäksi TVO:n kanssa yhteistyössä tehtävä betonin pitkäaikaissäilyvyys loppusijoitusolosuhteissa -projekti jatkuu. Aiheesta on kerrottu tarkemmin luvussa 3.2.2.3.

Tutkittaessa betonin pitkäaikaissäilyvyyttä loppusijoitusolosuhteissa on erääksi teräsbetonirakenteiden vaurioitumismekanismiksi noussut esille betonirakenteiden karbonatisoituminen eli ilman hiilidioksidin aiheuttama betoniteräksiä suojaavan betonin neutralisoituminen loppusijoitustilan vuosikymmeniä kestävä käyttövaiheen aikana. Tämän vuoksi loppusijoitustilan seurantaohjelmaan sisältyy betonirakenteiden pitkäaikaissäilyvyyden arviointiin tarvittavien parametrien (lämpötila, suhteellinen kosteus, ilman CO₂-pitoisuus sekä betonirakenteiden karbonatisoitumissyvyyden) seuraaminen. Betonirakenteiden karbonatisoitumissyvyyksien sekä mikrorakenteen ja lujuuksien määritykset on tehty ensimmäisen kerran syksyllä 2006. Kokeet jatkuvat ja näytteitä otetaan tulosten perusteella mahdollisesti vuosina 2018 ja 2022.

Alustavia suunnitelmia vuosille 2019–2021

Loppusijoituslaitoksessa olevien lujituspulttien kunto tarkastettiin vuonna 2014 boltometer-menetelmällä. Seuraava kuntotarkastus ajoittuu vuosiin 2019–2021, jolloin mahdollisesti kairataan myös jokin pultti irti, jotta voidaan verrata eri tutkimusmenetelmien tuloksia.

Edellä mainittuja pitkäaikaiskokeita, samoin kuin loppusijoitustilan seurantaa ja monitorointia jatketaan ja niiden laajuutta ja sisältöä arvioidaan ja kehitetään tarvittaessa.

2.4.2.4 Voimalaitosjätteen loppusijoituksen turvallisuusperustelu

Voimalaitosjätteen pitkäaikaisturvallisuusperustelun edellinen päivitys valmistui vuonna 2006 (Eurajoki 2006) ja käytöstäpoistojätteen vuonna 2008 (Eurajoki 2008). Pitkäaikaisturvallisuutta käsiteltiin suppeamman selvityksen muodossa myös loppusijoitustilan määräaikaissa turvallisuusarviossa vuonna 2013 (Eurajoki 2013). Turvallisuusarviossa ei noussut esille yksittäistä pitkäaikaisturvallisuuteen heikentävästi vaikuttavaa tekijää, mutta joitain esille nousseista asioista tullaan tarkastelemaan päivitettävänä olevassa turvallisuusperustelussa.

Seuraava turvallisuusperustelu valmistuu vuoden 2018 loppuun mennessä ja siinä tarkastellaan sekä voimalaitos- että käytöstäpoistojätteen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuutta. Työtä varten muodostettiin vuonna 2014 turvallisuusperusteluprojekti. Tavoitteena on selkeä ja tasapainoinen turvallisuusperustelu, jossa otetaan huomioon uudistuneiden YVL-ohjeiden vaatimukset. Vuonna 2014 laadittiin yksityiskohtainen projektisuunnitelma, jossa kuvataan turvallisuusperustelun eri osat, niiden keskinäiset riippuvuudet sekä aikataulu, jonka mukaan turvallisuusperustelutyö toteutetaan (Nummi 2014).

Vuosina 2014–2015 turvallisuusperusteluprojektissa on keskitytty laskennallisten työkalujen ja siihen liittyvän osaamisen kehittämiseen. Aihealueita ovat mm.

- pohjavesivirtausmallinnus
- radionuklidien vapautuminen ja kulkeutuminen loppusijoitustiloista kallion läpi biosfääriin
- radionuklidien kulkeutuminen biosfäärissä ja niistä aiheutuvat säteilyannokset ihmisille ja muulle elolliselle luonnolle
- vapautumisesteiden pitkäaikaiskestävyys
- yksinkertaistettu mallinnustapa, jonka avulla lisätään mallinnuksen läpinäkyvyyttä ja luottamusta varsinaiseen analyysiin
- kaasunkehitys ja -kulkeutuminen loppusijoitustiloista.

Selvitykset vuosina 2016–2018

Vuosina 2016–2018 turvallisuusperusteluprojektissa keskitytään varsinaiseen turvallisuusanalyysiin ja turvallisuusperustelun koostamiseen. Turvallisuusperustelussa huomioidaan nestemäisten jätteiden kiinteytyksestä saatavat kokemukset sekä mahdolliset muutokset käytöstäpoistosuunnitelmassa.

Turvallisuusperustelussa kiinnitetään aiempaa enemmän huomiota turvallisuuskonseptin, vapautumisesteiden ja turvallisuustoimintojen määrittämiseen toimintakykytavoitteineen. Näiden pohjalta muodostettavat skenaariot kuvaavat niitä tulevaisuuden kehityskulkuja, joiden pohjalta radioaktiivisuuden vapautumista ja kulkeutumista loppusijoitustiloista ihmisiin ja muuhun elolliseen luontoon mallinnetaan. Tähän liittyen biosfääri yhdistetään aikaisempaa tiiviimmin loppusijoitusjärjestelmään.

Turvallisuusperustelussa käytettävien lähtötietojen epävarmuuksia tarkastellaan epävarmuus- ja herkkyysanalyyseissa ja tavoitteena on tulosten epävarmuuksien ymmärtä-

minen. Varsinaisen mallinnuksen luottamusta lisätään yksinkertaistetun kulkeutumismallin avulla.

Aikaisempien turvallisuusperustelujen mukaan C-14 on Loviisan VLJ-luolan tapauksessa yksi eniten säteilyaltistusta aiheuttavista nuklideista. Vuonna 2013 käynnistyneessä EU:n CAST-tutkimushankkeessa (CARbon-14 Source Term) selvitetään C-14:n vapautumista jätteestä ja vapautuvan C-14:n olomuotoa (CAST 2015). Hankkeen kautta saadaan lisätietoa em. asioista ja tulosten perusteella voidaan vähentää C-14:n vapautumiseen ja kulkeutumiseen liittyviä epävarmuuksia. Hankkeessa mukana oleva VTT analysoi vapautuvan C-14:n olomuotoa Loviisan ja Olkiluodon voimalaitoksilta peräisin olevissa teräksissä. Fortum soveltaa CAST-hankkeen tuloksia Loviisan voimalaitosjätteen loppusijoituksen turvallisuusperusteluun.

Alustavia suunnitelmia vuosille 2019–2021

Vuosien 2016–2021 selvitykset riippuvat vuoden 2018 turvallisuusperustelun johtopäätöksistä ja siitä saatavista viranomaiskommenteista.

2.4.3 Käytöstäpoisto

Vuosien 2016–2021 aikana Loviisan voimalaitoksen käytöstäpoistoon varaudutaan erilaisilla selvityksillä, joiden tarkoituksena on tarkentaa teknistä toteutussuunnittelua, taloudellista varautumista varten tehtäviä laskelmia sekä loppusijoituksen turvallisuusperustelun taustatietoja. Lisäksi valmistaudutaan mahdolliseen käytöstäpoiston luvituksen aloittamiseen 2020-luvun alussa.

Käytöstäpoistosuunnittelussa hyödynnetään voimalaitoksen käytön aikana kertyviä käyttökokemustietoja (esim. komponenttien kunnostus ja vaihtaminen, käytetyt työtunnit, työmenetelmät ja kontaminaatio) sekä kokemuksia voimalaitosjätteiden käsittelystä, varastoinnista ja loppusijoituksesta. Järjestelmien, laitteiden ja rakenteiden aktiivisuuksia valvotaan laitoksella normaalin käyttötoiminnan osana.

Voimalaitosjärjestelmien, laitteiden ja rakenteiden vuotuinen aktiivisuuden seuranta jatkuu. Seurantaohjelma kattaa kontaminoitumisen, jätteiden kertymisen sekä eri tilojen säteilyannosnopeustasojen seuraamisen. Seurantaohjelmaa käytetään hyväksi käytöstäpoistoselvitysten teossa.

Selvitykset vuosille 2016–2018

Kaudella 2016–2018 tähdätään vuoden 2018 käytöstäpoistosuunnitelman päivitykseen. Päivityksessä huomioidaan vuosina 2013–2018 tehdyt tutkimukset ja selvitykset.

Ohjelmakaudella jatketaan vuonna 2015 aloitettua käytöstäpoistosuunnitelman tarkentamista voimalaitoksen henkilökunnan avustuksella. Vuoden 2015 aikana tarkennetaan käytöstäpoiston valmisteluvaiheen työvaiheet, jäteinventari sekä kustannukset. Vuosina 2016 ja 2017 tarkennetaan aktivoituneen ja kontaminoituneen materiaalin käsittelyä työmenetelmien, aikataulun sekä kustannusten osalta.

Metallien ja komponenttien kierrätystä selvitetään, koska suuri osa käytöstäpoistettavasta materiaalista on lievästi kontaminoitunutta. Materiaalia voidaan vapauttaa valvonnasta joko käsittelemällä tai lyhyehkön valvonta-ajan jälkeen. Tavoitteena on selvittää, kuinka suuri osa käytöstäpoistettavasta materiaalista voidaan kierrättää ja mitkä ovat sen kustannusvaikutukset verrattuna loppusijoitukseen.

Käytöstäpoiston yhteydessä voimalaitoksen maa-alueen ja rakennuksien valvonnasta vapautusta selvitetään. Tarkoituksena on selvittää, mitä menettelyitä käytöstäpoiston aikainen valvonnasta vapauttaminen vaatii ja kuinka siihen tulisi valmistautua.

Käytöstäpoistettava materiaali sekä käytöstäpoistopakkaukset vaativat uudenlaisia mittausten menettelyitä. Tulevalla kaudella selvitetään millaisia, mittausten menettelyitä ja mittaamiseen käytettäviä tiloja ja laitteita tarvitaan käytöstäpoistossa. Loppusijoitus-tilojen layout-suunnitelma sekä suunnitelma tilojen täytöstä ja tulppauksista päivitetään uusimman tiedon pohjalta.

Käytöstäpoistojätteen aktiivisuusinventaria tarkennetaan uusien mittausten perusteella osana turvallisuusperustelun päivitystä. Käytöstäpoiston säteilyannosarviota päivitetään arvioitujen annosnopeustasojen ja päivitetyn työsuunnitelman perusteella.

Käytöstäpoistojätteen pitkäaikaisturvallisuutta analysoidaan samassa turvallisuusperustelutyössä kuin voimalaitosjätteenkin. Tätä työtä on kuvattu edellä kohdassa 2.2.2.4.

Selvitykset vuosille 2019–2021

Ohjelmakaudella tehtävät selvitykset tarkentuvat vuonna 2018 tehtävän käytöstäpoistosuunnitelman päivityksen jälkeen. Selvitykset kohdistuvat mm. käytöstäpoiston riskeihin, käytöstäpoiston aikatauluun ja purkus suunnitelmien tarkentamiseen. Lisäksi valmistellaan 2020-luvun alussa mahdollisesti alkavaa Loviisan voimalaitoksen käytöstäpoiston luvitusvaihetta laatimalla mm. ympäristövaikutusten arvioinnin (YVA) vaatimia taustaselvityksiä.

3 OLKILUODON VOIMALAITOS

3.1 Olkiluodon voimalaitoksen ydinjätehuollon kokonaissuunnitelma pääpiirteittäin

TVO:lla on Eurajoen Olkiluodossa kaksi kiehutusvesireaktoria, Olkiluoto 1 (OL1), joka kytkettiin valtakunnan verkkoon ensimmäisen kerran syyskuussa 1978 ja Olkiluoto 2 (OL2) helmikuussa 1980. Lisäksi voimalaitosalueella on käytetyn polttoaineen välivarasto (KPA-varasto) sekä voimalaitosjätteen loppusijoitustila (VLJ-luola). Valtioneuvoston myöntämät käyttöluvut voimalaitosyksiköille ovat voimassa vuoden 2018 loppuun. Olkiluodon VLJ-luolan käyttö lupa on voimassa vuoden 2051 loppuun asti. Olkiluotoon on rakenteilla myös TVO:n kolmas ydinvoimalaitosyksikkö Olkiluoto 3 (OL3).

Uusien laitosyksiköiden ydinjätehuollon järjestämiseen varaudutaan olemassa olevissa varasto- ja loppusijoitustiloissa tarpeellisin selvityksin ja suunnitelmin. TVO on jo laajentanut KPA-varastoa uusilla polttoainealtailla, jotka valmistuivat 2014. VLJ-luolan laajentaminen tulee ajankohtaiseksi aikaisintaan 2030-luvulla.

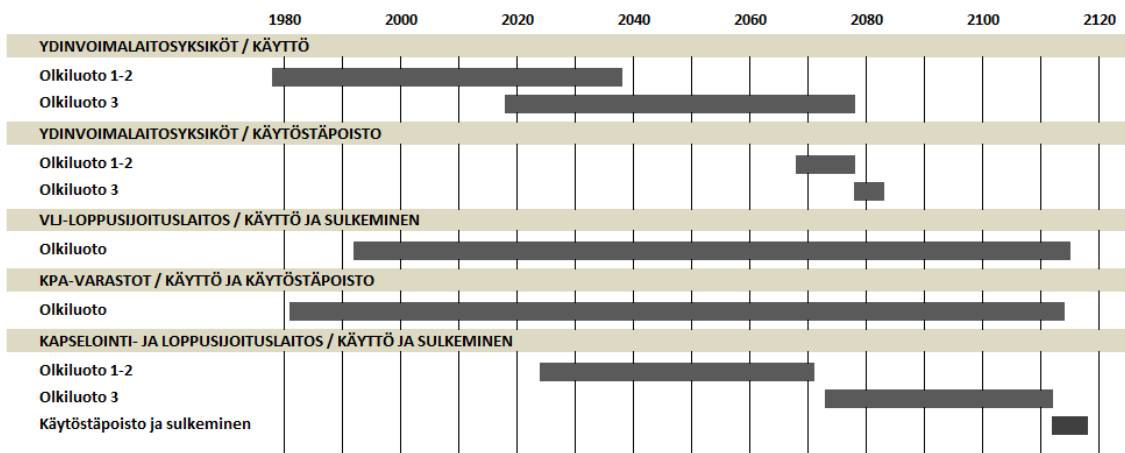
VLJ turvallisuusselosteen (VLJ-FSAR) päivitys on tehty vuonna 2006 ja STUK on hyväksynyt sen vuonna 2010. Päivityksessä on huomioitu OL3:n voimalaitosjätteen loppusijoitus ja kuvattu pääpiirteittäin OL3:n tynnyriin kuivatun jätteen välivarastointitarkaisu. TVO:n on saatettava VLJ-luolaa koskeva turvallisuusperustelu ajan tasalle 15 vuoden väliajoin VNA:n 736/2008 16 §:n mukaisesti eli seuraava arvio tulee tehdä vuoden 2021 loppuun mennessä.

3.1.1 Olkiluodon voimalaitoksen ydinjätehuoltotoimenpiteiden kokonaisuika- taulu

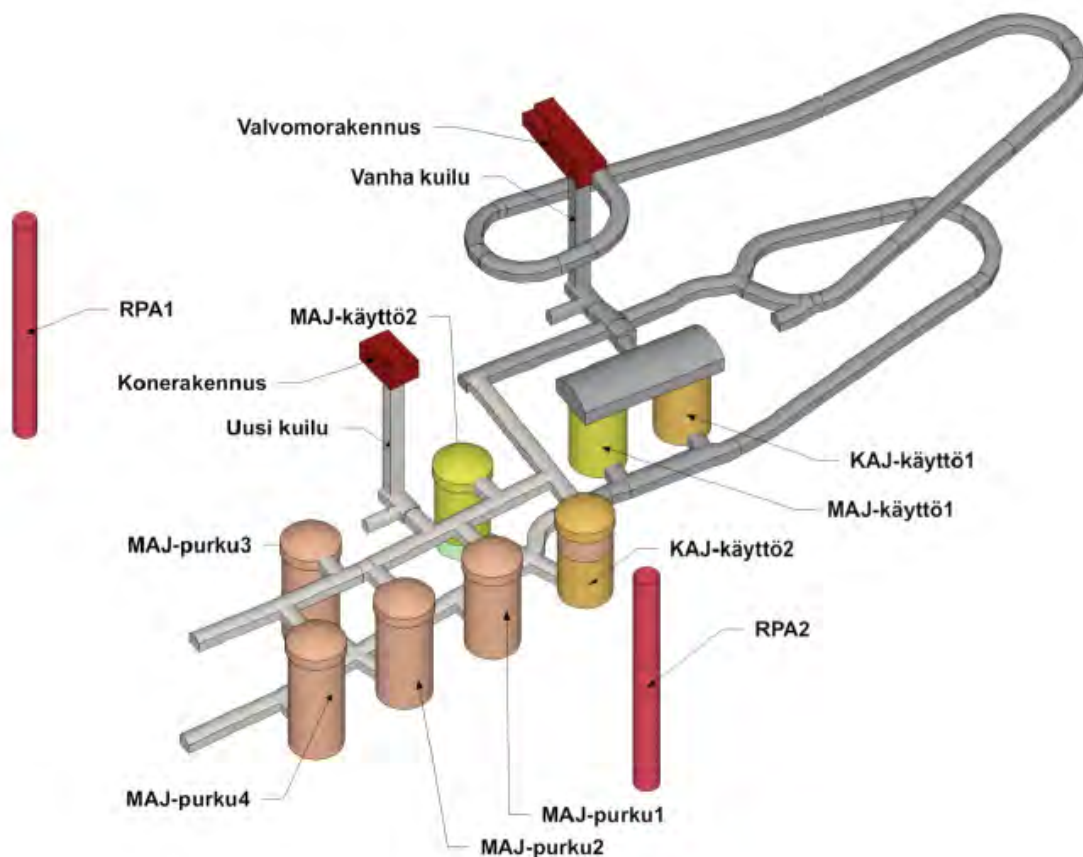
Voimalaitosyksiköiden OL1 ja OL2 käyttöönotto tapahtui vuosina 1978 ja 1980. Näiden laitosten suunniteltu 40 vuoden käyttöikä tulee täyteen vuonna 2018 ja molemmille laitoille ollaan nyt hakemassa 20 vuoden jatkoa käyttöluville. Käyttöjaksoa seuraa laitosten käytöstäpoisto, joka on suunniteltu toteutettavan OL1:lle ja OL2:lle viivästetyllä aikataululla. Uuden laitosyksikön OL3 rakentaminen on käynnissä ja käyttöönottoon valmistaudutaan 2010-luvun loppupuolella, käyttö lupaa tullaan hakemaan tämän YJH-suunnitelman kaudella. OL3:n suunniteltu käyttöikä on 60 vuotta, jota seuraa tämän hetkisten suunnitelmien mukaan välitön käytöstäpoistovaihe (Kuva 3-1).

Voimalaitosjätteen loppusijoitusluolan on suunniteltu toimivan Olkiluodon voimalaitosyksiköiden toiminnan ja purkamisen vaatiman ajan. VLJ-luolaan ja sen suunniteltuihin laajennuksiin tullaan sijoittamaan kaikki voimalaitosten käytön aikainen matala- ja keskiaktiivinen jäte sekä käytöstäpoistojäte (Kuva 3-2). VLJ-luolan laajennuksen on arvioitu tulevan ajankohtaiseksi 2030-luvulla.

Olkiluodon ydinvoimalaitosten käytöstä syntyvien jätteiden käsittely, kuljetus ja sijoitus jatkuvat suunnittelukaudella kuten aiemmin.



Kuva 3-1. Olkiluodon voimalaitoksen suunnitellun käytön sekä ydinjätehuoltotoimenpiteiden aikataulu.

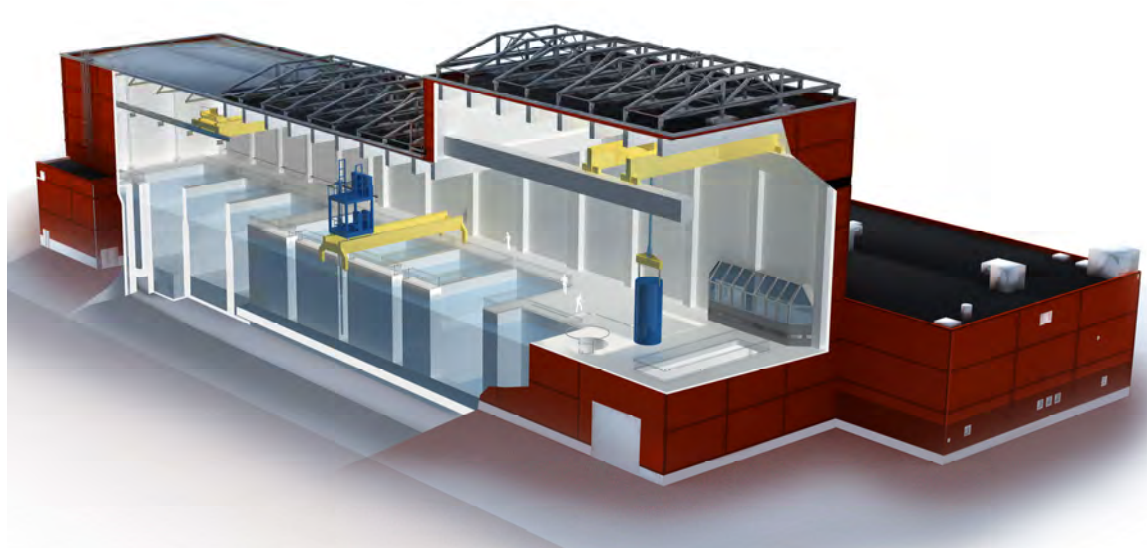


Kuva 3-2. Olkiluodon VLJ-luola laajennettuna. Näkymä lounaasta. Takimmaisheet kaksi siiloa kuuluvat VLJ-luolan käytössä olevaan osaan (KAJ-käyttö1 ja MAJ-käyttö1).

3.1.2 Käytetyn polttoaineen käsittely ja varastointi

Olkiluodon voimalaitosten käytetty ydinpolttoaine varastoidaan OL1- ja OL2-voimalaitosyksiköillä olevissa vesialtaissa noin neljän vuoden ajan reaktorista poiston jälkeen ennen kuljetusta laitosalueella sijaitsevaan KPA-varastoon. OL3-yksiköllä varastointiaika ennen siirtoa KPA-varastoon tulee olemaan noin kuusi vuotta. Käytettyä polttoainetta varastoidaan KPA-varastolla kymmeniä vuosia jälkilämmöntuoton ja aktiivisuuden alentamiseksi loppusijoituksen mahdollistavalle tasolle.

Olkiluodon KPA-varaston kapasiteettia nostettiin rakentamalla kolme uutta vesiallasta, jotka otettiin käyttöön vuonna 2014 (Kuva 3-3). Laajennuksessa otettiin huomioon myös OL3-voimalaitosyksikön tarpeet. KPA-varastointia varten tullaan tarvitsemaan uusia polttoainetelineitä sekä BWR- että EPR-tyyppisille polttoaineille. Vaurioituneet polttoainesauvat kapseloidaan yksitellen hermeettisesti suljettuihin kapselisiin ja ne varastoidaan voimalaitosyksiköissä sijaitsevissa vesialtaissa.



Kuva 3-3. Olkiluodon KPA varasto laajennuksen jälkeen vuonna 2014.

Poistopalama

OL1-2-laitosyksiköillä tällä hetkellä käytössä olevan polttoaineen nippukohtainen, vuonna 2011 hyväksytty maksimipoistopalama on 50 MWd/kgU. TVO:n tavoitteena on hyväksyttävä OL1-2-laitosyksiköillä käytössä oleville nipputyypeille nippukohtaiseksi poistopalamaksi tätä korkeampi 55 MWd/kgU palama. Tästä syystä TVO:lla on käynnissä koenippuohjelmia, joissa yksittäisten nippujen palamat nousevat lähivuosina arvoon 55 MWd/kgU. Palaman korotus ajoittunee laitosyksiköiden käyttöluvan uusimisen yhteyteen vuoteen 2018.

OL3:n polttoaineelle on tällä hetkellä hyväksytty nippukohtaiseksi maksimipalamaksi 45 MWd/kgU. TVO:n tarkoituksena on kasvattaa poistopalamaa laitoksen

käynnistymisen jälkeen tasolle 50–53 MWd/kgU, mikä on tarpeen erityisesti kaksivuotisilla käyttöjaksoilla. Palaman korottaminen edellyttää joidenkin turvallisuus-analyyysien päivittämistä sekä polttoaineen tutkimusohjelman laatimista ja toteutusta.

Käytetyn polttoaineen tutkimuksen osalta TVO osallistui Euratomin FIRST (Fast/Instant Release of Safety Relevant Radionuclides from Spent Nuclear Fuel) -hankkeeseen, joka käynnistyi vuoden 2012 alussa. TVO luovutti hankkeelle korkeamman palaman käytetyn polttoaineen näytteitä tutkittavaksi. Tavoitteena oli selvittää loppusijoitetun korkeapalamaisen UO₂-polttoaineen radionuklidien nopeaa/välitöntä vapautumista. TVO:n polttoaineelle tehtiin eluutiokokeita, jossa mitattavia nuklideja olivat Cs, I, Rb, Ba, Sr, Mo, Tc sekä valitut aktinidit ja lantanidit. Radionuklidien vapautumista on arvioitu vapautumisosuuksien ja suhteellisten vapautumisnopeuksien mukaan. Hanke päättyi vuonna 2014 (Roth 2015).

YJH-2012-ohjelmasta poiketen TVO selvittää yhteistyössä Fortumin ja Posivan kanssa käytetyn polttoaineen radiokemiallisten mittausten suorittamista vaihtoehtona polttoaineen jälkilämpötehon kalorimetrimittauksille. Tietoa tultaisiin hyödyntämään nuklidi-inventaarin varmentamisessa sekä jälkilämpötehon laskennassa.

3.1.3 Voimalaitosjätteen käsittely, varastointi ja loppusijoitus

Olkiluodon ydinvoimalaitosten käytöstä syntyy matala- ja keskiaktiivista jätettä (MAJ ja KAJ), joita kutsutaan yhteisnimityksellä voimalaitosjätteeksi (VLJ). Jäte syntyy käyttötoiminnan, kunnossapidon ja korjaustöiden yhteydessä käsittäen erilaisia suoja-, apu- ja prosessimateriaaleja (muovi, paperi, metalli, puu ja erityyppiset henkilökohtaisiin suojaimiin käytetyt materiaalit), prosessivesien ja aktiivisten nestemäisten jätteiden puhdistuksessa käytettäviä suodatinmateriaaleja sekä puhdistuksessa syntyviä jäteliuoksia ja -lietteitä (suodatinsauvat, ioninvaihtohartsit, haihdutuksessa muodostuvat lietteet ja dekontaminointiliuokset).

Alkuperänsä perusteella kaikki ydinvoimalaitoksen valvonta-alueella syntynyt jäte käsitellään radioaktiivisena jätteenä. Aktiivisuusmittauksiin perustuen vain hyvin vähän kontaminoitunut tai puhdas jäte voidaan vapauttaa valvonnasta, toisin sanoen poistaa radioaktiivisen jätteen valvonnan alaisuudesta, jatkokäsiteltäväksi konventionaalisen jätteen tavoin. Tyypillinen käytöstä syntyvän radioaktiivisen jätteen vuosikertymä nykyisin käytössä olevilta Olkiluodon laitosyksiköiltä on 100–200 m³. OL3:n käynnistymisen jälkeen jätteen vuosikertymän odotetaan kasvavan noin kolmanneksella.

Olkiluodon voimalaitosjätehuollon peruseriaatteena on jätteen välitön käsittely ja loppusijoitus kuitenkin niin, että käsittely- ja kuljetuskampanjat toteutetaan kustannustehokkuuden ja käytettävyyden kannalta optimaalisesti esimerkiksi kerran tai kahdesti vuodessa. Käytöstä syntyvien jätteiden välivarastointi ja käsittely toteutetaan voimalaitosyksiköiden jäterakennuksissa sekä KAJ- ja MAJ-varastoissa. MAJ-varaston yhteydessä on lisäksi komponenttivarasto suurten matala-aktiivisten komponenttien välivarastointiin.

Kokoonpuristuva matala-aktiivinen huoltojäte pakataan jätetynnyreihin hydraulisella puristimella, minkä jälkeen tynnyrit puristetaan puoleen niiden korkeudesta, pitäen

niiden halkaisija alkuperäisenä. Kokoonpuristumaton matala-aktiivinen jäte, kuten metalliromu mukaan lukien prosessivesien puhdistuksen suodatinsauvat, pakataan suoraan betonilaatikoihin. Komponenttien tilavuutta voidaan pienetää kokoonpuristamalla (putket) tai romun murskaimella (puu, eristyspellit ja kaapeliromu).

OL1:n, OL2:n ja KPA-varaston vesienpuhdistuksessa käytetyt, voimakkaasti kontaminoituneet ioninvaihtohartsit kiinteytetään sekoittamalla bitumiin. Sekoituksen jälkeen homogeeninen tuote pakataan 200 litran tynnyriin. Nesteet ja lietteet käsitellään alipainehaihduttimella, minkä jälkeen väkevöitynyt konsentraatti kiinteytetään suoraan 200 litran tynnyriin käyttäen jätteen kemiallisista ominaisuuksista riippuen joko betonia tai tarkoituksen mukaista erikoissementtiä. Lietteitä voidaan myös bitumoida yhdessä käytettyjen ioninvaihtohartsien kanssa. Valvonta-alueelta kerätyt jäteöljyt laskeutetaan kiintoaineista sekä suodatetaan. Puhdistettu öljy vapautetaan valvonnasta kierrätettäväksi. Aktiiviset jäteöljyt ja öljyiset lietteet kiinteytetään 200 litran tynnyriin käyttäen erikoissementtejä.

OL3-laitokselta syntyvän kuivan kiinteän jätteen, käsittäen kunnossapitojätteen ja metalliromun, on arvioitu olevan samanlaista kuin OL1-2-yksiköillä. Myös jätteen aktiivisuus ja muut ominaisuudet ovat samankaltaisia. Jätteen käsittelyyn käytetään samoja menetelmiä kuin OL1-2-laitosyksiköillä on käytössä, lukuun ottamatta suodatinpatruunoita, jotka pakataan sellaisenaan 200 litran tynnyreihin erityistä suodattimenvaihtolaitteistoa käyttäen. Prosessi- ja jätevesienpuhdistuksessa käytettävät ioninvaihtohartsit sekä puhdistuksessa syntyvät jäteliuokset ja -lietteet kuivataan alipaineen avulla suoraan 200 litran loppusijoitustynnyriin ilman väli- tai lisäaineita. OL3:n valvonta-alueella kerätyt jäteöljyt käsitellään yhdessä OL1:n ja OL2:n jäteöljyjen kanssa.

Käsitellyt ja pakatut voimalaitosjätteet kuljetetaan loppusijoitettavaksi VLJ-luolaan. VLJ-luola otettiin käyttöön vuonna 1992 ja se käsittää kaksi 60–100 metrin syvyyteen rakennettua jättesiiloa, MAJ-siilo matala-aktiiviselle ja KAJ-siilo keskiaktiiviselle jätteelle. VLJ-luola suunniteltiin ydinvoimalaitosyksiköiden OL1 ja OL2 40 vuoden käyttöiän aikana kertyville matala- ja keskiaktiivisille jätteille. Toimintojen kehittämisen kautta on kuitenkin pystytty vähentämään syntyvän voimalaitosjätteen määrää sekä parantamaan voimalaitosjätteen pakkaamisen tilavuustehokkuutta, ja nykyinen käytössä oleva siilotilavuus vastaa hyvin OL1:n ja OL2:n suunnitellun 60 vuoden käyttöiän aikana kertyvän voimalaitosjätteen määrää. Jätteiden sijainnit, määrät ja aktiivisuustasot on esitetty vuosittaisissa raporteissa (Posiva 2015).

OL3:n käytössä sekä kaikkien voimalaitosten käytöstäpoistossa syntyvä voimalaitosjäte vaatii kuitenkin lisätilojen rakentamista tulevaisuudessa. OL3:n käytön alkaessa ennen OL1:n ja OL2:n käytöstäpoistoa on OL3:n voimalaitosjätteitä tarkoitus sijoittaa ensimmäisessä vaiheessa jo olemassa oleviin OL1:n ja OL2:n voimalaitosjätteille suunniteltuihin siiloihin. VLJ-luolan käyttöluvan ehtoja muutettiin vuoden 2012 lopussa muun muassa mahdollistamaan OL3:n voimalaitosjätteiden loppusijoitus. Lisäksi VLJ-luolaan sijoitetaan myös sosiaali- ja terveysministeriön hallinnoimia terveydenhuollon, puolustusvoimien ja yliopistojen radioaktiivisia pienjätteitä. VLJ-luolan nykyisen loppusijoituskapasiteetin odotetaan loppuvan 2030-luvulla.

OL3:n kuivatun jätteen kemiallinen koostumus poikkeaa merkittävästi väliaineeseen kiinteytetyn jätteen koostumuksesta. Kuivattu jäte koostuu pääasiassa epäorgaanisista suoloista, jotka vapautuvat herkästi joutuessaan vesiympäristöön ja kiihdyttävät jäte- ja loppusijoituspakkausten sekä luolan rakenteiden korroosiota. TVO on selvittänyt alustavasti vaihtoehtoja OL3:n keskiaktiivisten jätteen loppusijoituskonseptiksi. Selvitysten mukaan kuivatun jätteen loppusijoitus nykyisiin tai nykyisen kaltaisiin loppusijoitustiloihin on mahdollista vain, mikäli jätetynnyrit nykyisten teknisten leviämisseiden lisäksi ympäröidään betonilla niin, että tynnyristä aikanaan vapautuvat sulfaatti- ja magnesiumyhdisteet sitoutuvat siihen kokonaan. Toisena vaihtoehtona tehdyissä selvityksissä oli keskiaktiivisten jätteiden välivarastointi ja loppusijoitus myöhemmin rakennettavaan VLJ-luolan laajennukseen. Tässä vaihtoehdossa OL3:n kuivatun jätteen koostumus voidaan huomioida jo sillojen suunnitteluperusteissa niin, että tarvittavat lisärakenteet tai jälkibetonointiratkaisut voidaan sijoittaa loppusijoitustilaan tai sen välittömään yhteyteen jo rakennusvaiheessa. Välivarastointi voidaan toteuttaa OL3:n jäterakennuksen tynnyrivarastossa ja edelleen KAJ-varastolla, joka on alun perin suunniteltu OL1:n ja OL2:n bitumoidun jätteen välivarastointiin ennen loppusijoitustilojen käyttöönottoa. VLJ-laajennuksen tarkemmat tutkimukset tehdään lähempänä laajennusajankohtaa 2020-luvulla.

Jätteen syntymistä on Olkiluodossa pyritty ehkäisemään sekä jätteenkäsittelyä kehitetty teknisten parannusten sekä ostettujen käsittelypalvelujen avulla. Merkittävimpiä voimalaitosjätteen käsittelyn projekteista ovat olleet ruotsalaisen Studsvik AB:n toteuttamat suurien käytöstä poistettujen komponenttien romutusprojektit. Käsittely perustuu sula-tukseen, jonka esikäsittelynä komponentit pilkotaan ja suurimmat aktiivisuudet dekontaminoidaan pinnoilta kuulapuhaltamalla. Prosessin yhteydessä otetaan talteen kaikki jätteen sisältämät radioaktiiviset aineet ja ne palautetaan Olkiluotoon. Palautuva jäte koostuu kuulapuhallus- ja leikkausjätteestä, suodattimista ja muusta käsittelyn sekundaarijätteestä sekä radioaktiivisista valuharkoista. Prosessissa erotettu puhdas tai hyvin lievästi kontaminoitunut metallijäte vapautetaan valvonnasta Ruotsissa kierrätykseen.

Olkiluodosta on lähetetty Studsvikiin käytöstäpoistettuja metallikomponentteja kahdessa erässä vuosina 2010 ja 2012. Ensimmäisessä erässä romutettavaksi lähetettiin vuosina 2005 ja 2006 käytöstäpoistetut hiiliteräksiset välitulistinlohkot. Lähetyksen arvioitu kokonaistilavuus oli noin 1 040 m³ ja paino 704 tonnia. Jäte-erän käsittelystä sekundaarijätteenä palautettiin metallikokilleja ja käsittelyjätettä yhteensä noin 75 m³ ja 75 tonnia. Käsittelyllä saavutettiin lähes 93 prosentin säästö loppusijoitustilavuudessa tilavuudenpientymiskertoimen oltua lähes 14.

Toisessa erässä käsittelyyn toimitettiin kaikkiaan 1 072 200 kg metalliromua, pääasiassa käytöstäpoistettujen turbiinien osia. Sekundaarijätteenä Olkiluotoon loppusijoitettavaksi palautettiin 54 350 kg käsittelyjätettä, 2 286 kg huoltojätettä sekä 30 323 kg metallikokilleja. Loppusijoitettuna sekundaarijätteen määrä vastaa noin 30 m³ tilavuutta. Käsittelyllä saavutettiin loppusijoitettavan jätteen massan aleneminen noin kahdeksaan prosenttiin alkuperäisestä. Käsiteltyjen komponenttien geometria huomioiden vaadittava loppusijoitustilavuus aleni suhteessa vielä tätä huomattavasti enemmän.

3.1.4 Käytöstäpoistosuunnittelu

Olkiluodon ydinvoimalaitoksen käytöstäpoistosta syntyvän jätteen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuusanalyysin päivitys on viimeksi tehty vuoden 2014 aikana. YEL:n mukaisesti käytöstäpoistosuunnitelma päivitetään vähintään kuuden vuoden välein eli seuraavan kerran viimeistään vuonna 2020. OL3:n mukaantulo YJH-järjestelyihin aiheuttaa kuitenkin sen, että OL3:n käyttöluvan hakemisen yhteydessä jätetään OL3:n erillinen käytöstäpoistosuunnitelma.

Käytöstäpoistaselvitykset tähtäävät purkusuunnitelman teknistaloudelliseen kehittämiseen ja loppusijoituksen turvallisuusarvion lähtötietojen tarkentamiseen. Reunaehdot käytöstäpoistosuunnitelmien laadinnalle asetetaan lainsäädännössä ja viranomaisohjeissa. Tärkeimmät käytöstäpoiston suunnittelua ohjaavat viranomaisohjeet ovat YVL 8.2 "Ydinjätteiden ja käytöstä poistettujen ydinlaitosten vapauttaminen valvonnasta", sekä ohje YVL D.4 "Matala- ja keskiaktiivisten ydinjätteiden käsittely ja ydinlaitoksen käytöstäpoisto". YVL D.4 on jo voimassa uusille laitoksille ja astui voimaan vanhoilla laitoksilla 1.9.2015.

Vuoden 2014 käytöstäpoistosuunnitelman lähtökohdat ovat OL1-2-laitosyksiköiden 60 vuoden käyttö ja viivästetty käytöstäpoisto 30 vuoden valvotun säilytyksen jälkeen. Esitetyt jätemäärät ja aktiivisuusarviot on arvioitu näistä lähtökohdista. Purkutyön aiheuttama kollektiivinen annos perustuu laitoksen aktiivisuustason perusteella arvioituihin annostasoihin, purkutyön kestoon sekä työmääräarvioihin. Käytöstäpoistojätteen loppusijoituksen turvallisuusperustelussa ja tilasuunnittelussa arvioitiin neljän laitosyksikön purkujätteet. KPA-varaston purkusuunnitelmiin vaikuttaa tuleva OL3:n käytetyn polttoaineen varastointi ennen loppusijoitusta. KPA-varaston purkujätteen loppusijoittamiseksi jätemäärät on huomioitu VLJ-luolan tilasuunnittelussa, mutta aikataulullisesti KPA-varaston purkujätteen loppusijoitus VLJ-luolaan ei todennäköisesti ole tarkoituksenmukaista. KPA-varaston purkujätteen loppusijoitukseen on esitetty kaksi muuta vaihtoehtoa. Ensimmäisenä vaihtoehtona on esitetty loppusijoitus käytetyn polttoaineen loppusijoituslaitoksen yhteyteen, mitä on tarkoitus selvittää yhteistyössä Posivan kanssa. Toisena vaihtoehtona on KPA-varaston purkujätteen loppusijoitus Olkiluodon maaperään. Tehdyn alustavan selvityksen mukaan maaperäloppusijoitus KPA-varaston purkujätteelle voitaisiin toteuttaa turvallisesti ja kustannustehokkaasti.

3.2 Olkiluodon voimalaitoksen jätehuollon tutkimus ja kehitystoimenpiteet 2016–2021

Olkiluodon voimalaitoksen jätehuollon tutkimus- ja kehitystoimenpiteillä on kolme päätaavoitetta:

- olemassa olevien jätehuoltomenettelyjen kehittäminen ja parantaminen,
- loppusijoitustilan seuranta ja monitorointi, sekä
- loppusijoitustilojen pitkäaikaiskestävyyden varmentaminen.

Tärkeä tutkimus- ja kehitystyön tavoite on myös jätteen määrän pienentäminen loppusijoitustilojen riittävyyden ja käytettävyyden varmistamiseksi.

Käytetyn polttoaineen käsittely ja varastointi perustuvat jo käytössä oleviin menettelyihin. Tarvittaessa, esimerkiksi polttoaineissa tapahtuvien muutosten yhteydessä, tehdään tutkimus- ja kehitystyötä, joilla muutosten merkitystä selvitetään. Käytetyn polttoaineen loppusijoituksen edellyttämässä aiheissa tehdään kiinteää tutkimusyhteistyötä Posivan ja Fortumin kanssa.

Käytöstäpoistosuunnitelmaa kehitetään asteittain kohti lopullista purkus suunnitelmaa, jonka mukaan käytöstäpoisto voidaan aikanaan toteuttaa. Uuden laitoksen käytöstäpoistosuunnitelma tarkentuu seuraavan kerran käyttöluvan hakemisen yhteydessä.

3.2.1 Käytetyn polttoaineen käsittely ja varastointi

Keskeinen tutkimustavoite polttoaineen käsittelyn ja varastoinnin osalta liittyy palaman nostoon ja kriittisyysturvallisuuden arviointiin. Palaman noston teknisten ja kustannusvaikutusten arviointi edellyttää

- kansainvälisten tutkimusohjelmien puitteissa tehtäviä koesäteilytyksiä tutkimusreaktoreissa ja laitoskokeissa sekä jälkilämmön laskentaa, joiden avulla mahdollisuudet palaman nostoon ja vastaavasti tarvittava jäähtymisaika määritetään,
- palaman noston aiheuttamien, polttoaineen käsittelyyn ja varastointiin liittyvien tekijöiden selvittämistä viranomaishyväksynnän mukaisesti, sekä
- tulevaisuudessa mahdollisten palama-arvojen määrittämistä optimointiprosessina.

Posivan käytetyn polttoaineen loppusijoituksen kriittisyysturvallisuusanalyseissä sovelletaan palamavytystä. Selvitykset palamavytyksen soveltamiseksi myös käytetyn polttoaineen välivarastoinnin kriittisyysturvallisuusanalyseissä ovat ajankohtaisia suunnitelmajaksolla. TVO osallistuu OECD/NEA:n työryhmään "Working Party on Nuclear Criticality Safety" (WPNCS) ja sen asiantuntijaryhmiin, joissa käsitellään kriittisyysturvallisuuteen liittyviä teknisiä ja tieteellisiä asioita. Asiantuntijaryhmien toiminta on painottunut laskennallisten menetelmien arviointiin ja kelpoistamiseen sekä benchmark-toimintaan. Palamavytyksen soveltamista käsitellään "Expert Group on Burnup Credit" -ryhmässä (EGBUC). Työtä jatkaneet tulevaisuudessa perustettava asiantuntijaryhmä "Expert Group on Spent Fuel Management". TVO:n osallistumista OECD/NEA/WPNCS:n ja sen asiantuntijaryhmien toimintaan jatketaan suunnitelma vuosina.

Käytetyn polttoaineen onnettomuus- ja pitkäaikaisturvallisuuden arvioinnin lähtötiedoiksi tarvitaan

- isotooppikoostumusten mittauksia, joita tehdään kansainvälisenä yhteistyönä,
- selvitys niistä uusien polttoainetyyppien materiaaliominaisuuksista, joilla on merkitystä loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuteen (YVL B.4), ja
- loppusijoitettavan polttoaineen fissiokaasujen vapautumismääräarviot nipputasolla.

Polttoaineen kuljetus ei Olkiluodon alueella aiheuta merkittäviä tutkimustarpeita, vaan kuljetuksissa tullaan soveltamaan jo käytössä olevia ratkaisuja.

Vuoden 2014 lopussa käytettyä polttoainetta oli varastoituna yhteensä 8 306 nippua, jotka sisältävät noin 1 396 tonnia uraania. Varastoiduista nipuista 7 007 oli KPA-varastossa, 632 OL1:n vesialtaissa ja 667 OL2:lla. Lisäksi OL1:n reaktorissa oli 500 ja

OL2:n reaktorissa samoin 500 nippua käytössä. Luvuissa ovat mukana myös sauvatelineet (1 kpl/laitos), joissa säilytetään vaurioituneita polttoainesauvoja (vuoden 2014 loppussa yhteensä 41 kpl).

3.2.1.1 Käytetyn polttoaineen käsittelyn ja varastoinnin tutkimuksia vuosina 2016–2018

Kaudella 2016–2018 jatketaan selvitystä palamannoston vaikutuksista ydinjätehuoltoon ja sen kokonaiskustannuksiin jäähdytysajan ja palamannoston optimoimiseksi. Myös palamamahyvytykseen liittyviä selvityksiä tehdään tarpeen mukaan käytetyn polttoaineen välivarastoinnin kriittisyysturvallisuusanalyysiin.

Loppusijoituksen kannalta on tärkeää tuntea käytön aikana mahdollisesti rikkoontuneiden sauvojen mahdolliset uudet käsittely- ja pakkaustavat. Tutkimuskaudella selvitetään OL1:lla ja OL2:lla varastoitujen rikkoontuneiden sauvojen vaihtoehtoisia pakkaustapoja kapselointia ja loppusijoitusta varten, tarvittaessa tutkimusta jatketaan ja hyödynnetään yhteistyötä.

TVO osallistuu yhdessä Fortumin ja Posivan kanssa Helsingin yliopiston johtamaan FiDiPro - NINS3 hankkeeseen: *Novel Instrumentation for nuclear safety, security and safeguards*. Projekti käynnistyi 2015 ja jatkuu vuoteen 2018. Hanke liittyy käytetyn ydinpolttoaineen passiivitomografian mittaustaitteen kehitykseen.

3.2.1.2 Käytetyn polttoaineen käsittelyn ja varastoinnin tutkimuksia vuosina 2019–2021

Palamannoston vaikutuksista ydinjätehuoltoon ja sen kokonaiskustannuksiin jäähdytysajan ja palamannoston optimoimiseksi jatketaan tarpeen mukaan. Myös palamamahyvytykseen liittyviä selvityksiä tehdään tarpeen mukaan käytetyn polttoaineen välivarastoinnin kriittisyysturvallisuusanalyysiin.

Uusien teknologioiden kehitystä rikkoontuneiden sauvojen pakkaamiseksi seurataan edelleen.

FiDiPro-hankkeen tuloksia hyödynnetään käytetyn polttoaineen verifiointiin ja karakterisointiin KPA-varastoinnin jälkeen. Mahdolliseen jatkohankkeeseen osallistutaan tarpeen mukaan.

3.2.2 Voimalaitosjätteen käsittely, varastointi ja loppusijoitus

VLJ-luolan monitoroinnissa noudatetaan Olkiluodon VLJ-luolan kallioperän tutkimus- ja seurantaohjelmaa (Hagros 2005), joka päättyy vuonna 2017. Uusi ohjelma tullaan laatimaan nykyisten tulosten perusteella vuoden 2016 aikana. Myös varastointia ja loppusijoitusta tukevien ohjelmien ja hankkeiden suunnitelmat on tarkoitus päivittää tässä vaiheessa.

3.2.2.1 Jätteen käsittely

Jätteen käsittelyssä pyritään jätemäärän pienentämiseen sekä jätteen turvalliseen varastointiin ja loppusijoitukseen. Uusien jätetyyppien vaatimat käsittelytavat edellyttävät myös tutkimuksen suorittamista. VTT:n vetämässä Tekesin rahoittamassa kolmivuotisessa NUWA-projektissa on tutkittu uutta kiinnostavaa tapaa pienentää jätteen tilavuutta. NUWA-projekti valmistuu vuoden 2015 loppuun mennessä, jolloin sen tulosten käyttöä voimalaitoksen tarpeisiin arvioidaan.

3.2.2.2 VLJ-luolan seuranta ja käytön monitorointi

VLJ-luolan käyttö edellyttää käytönaikaista kalliotilojen seuranta ja monitorointia, jota on jatkettu laaditun ohjelman mukaan. Perustana on vuonna 1998 laadittu suunnitelma, joka on päivitetty vuoden 2005 lopussa ja suunniteltu vuoteen 2017 asti. Ohjelmaan kuuluvat luolassa tehtävät kalliomekaaniset, hydrologiset ja hydrogeologiset sekä pohjavesikemian ja ilmanlaadun mittaukset. Tuloksia käytetään eri tekijöiden pitkäaikaisvaikutusten arviointiin VLJ-luolan turvallisuusperustelussa. Viiden vuoden välein suoritetaan laajemmat mittaukset. Monitoroinnin ja seurannan tulokset raportoidaan vuosittain. Viimeisimmät raportit ovat vuosilta 2013 ja 2014 (Lehtonen 2014, 2015, Johansson 2014, 2015).

VLJ-luolan kallioperän kalliomekaaninen monitorointi koostuu automaattisista ekstensometrimittauksista, kalliopulttien kuormitusmittauksista sekä kallion lämpötilan mittauksista. Laajempina mittausvuosina suoritetaan myös manuaaliset konvergenssimittaukset ja KAJ-betonisiilon siirtymämittaukset sekä tarkastetaan hallin katon ruiskubetonipinta. VLJ-luolan lujituspulttien pitkäaikaiskestävyyden selvittämiseksi käynnistettiin vuonna 1993 tutkimus lujituspulttien korroosiosta. VLJ-luolaan asennettiin kymmenen lujituspulttia, joista kaksi on irtikairattu vuosina 1996 ja 2004. Silmin nähtävää syöpymistä ei ole kairatuissa pulteissa todettu, minkä vuoksi seuraavaa kalliopultin irtikairausta on päätetty siirtää vuosille 2016–2020. Tarkempaa ajankohtaa määritettäessä pyritään hyödyntämään Fortumin kokemuksia ainettarikkomattomasta pulttien kuntoarviosta. Tällä tavoin vältytään koepulttien liian aikaiselta irtikairaukselta.

VLJ-luolan hydrologinen monitorointi käsittää vuotovesivirtaamien seurannan, pohjaveden hydraulisen korkeuden seurannan automaattisissa ja manuaalisissa seurantapisteissä, sadannan ja meriveden korkeuden mittaukset sekä VLJ-luolan vuotokohtien valokuvauksen. Ilman laadun mittaukset (lämpötila, kosteus ja CO₂-pitoisuus sekä radon- ja poistokaasumittaukset) raportoidaan vuosittain osana hydrologisen monitoroinnin raporttia.

Kairareikien pohjaveden vesikemiaa seurataan säännöllisesti tehtävillä pH- ja johtokyky- ja johtokyky- ja johtokyky-mittauksilla sekä vuosittain tehtävillä On-line pH-, happi-, redoxpotentiaali- ja johtokyky-mittauksilla. Lisäksi kairareilistä otetaan vuosittain vesinäytteet fysikaalis-kemiallisia analyysejä varten. Kairareilistä poiketen VLJ-luolan pohjavesiasemien näytteenotot tehdään neljän vuoden välein. Pohjavesiasemien näytteille tehdään kemiallisia analyysejä, isotooppimäärityksiä sekä analysoidaan kaasujen koostumusta.

VLJ-luolan pohjavesimittausten tulokset on koottu koko VLJ-toiminnan ajalta vuoden 2013 aikana (Haavisto & Puukka 2013). Aineistoa on täydennetty vuonna 2015 tulosten edustavuuden arvioimiseksi sekä tulevan geokemian kuvauksen laatimiseksi VLJ-luolasta ja sen ympäristöstä. Analysointityö on käynnistetty 2015 ja sitä jatketaan vuoteen 2017.

3.2.2.3 VLJ-luolan pitkäaikaisturvallisuus

VLJ-luolan pitkäaikaisturvallisuuden varmistamiseksi ja luolan sulkemisen jälkeisen tilan arvioimiseksi on käynnissä kolme erillistä laajaa koeohjelmaa: kaasunkehityskoe, betonien pitkäaikaskestävyyden koe ja purkujättemetallien hajoamista/korroosiota tutkivat kokeet.

VLJ-luolan sulkemisen jälkeisen tilan simulointi ja kaasunkehitys

Matala-aktiivisen huoltojätteen mikrobiologista hajoamista loppusijoitusolosuhteissa tutkitaan suuren mittakaavan kaasunkehityskokeessa VLJ-luolan louhintatunneliin rakennetussa koelaitteistossa (kuva 3-4). Tutkimus on ollut käynnissä vuodesta 1997 lähtien. Tutkimuksella tarkennetaan huoltojätteestä muodostuvan kaasun (CO₂, CH₄, H₂) määrä- ja muodostumisnopeusarviota. Lisäksi saadaan tietoa mikrobien toiminnan vaikutuksesta hajoamistapahtumaan ja teräksen korroosiosta olosuhteissa, jotka vastaavat VLJ-luolan sulkemisen jälkeistä tilaa. Vuonna 2013 järjestettiin laaja näytteenotokampanja, jossa vesi- ja kiintoainenäytteitä kerättiin mikrobiologisia ja kemiallisia määryksiä varten. Osa näytteistä annettiin KYT2014-ohjelman käyttöön. Vuonna 2013 TVO teetti diplomityön "Kaasun kehittyminen matala-aktiivisen voimalaitosjätteen loppusijoituksessa" (Sauramo 2013), johon koottiin kaasunkehityskokeen tiedot sekä pohdittiin kokeen jatkoa sekä esitettiin sen lopettamissuunnitelma. Samalla päivitettiin kokeen mittalaitteistot ajan tasalle. Mikrobiyhteisöjä on kartoitettu vuonna 2014 ja todettiin, että mikrobiaktiivisuus on vilkkainta biohajoavaa jätettä sisältävissä tynnyreissä ja lähes kaikki näytteet sisältävät sulfaatinpelkistäjiä. Lisäksi kiintonäytteiden hajoamista ja metallinäytteiden korroosiota on tutkittu. Näistä saadulla tiedolla voidaan arvioida ja mallintaa jätteen hajoamisastetta ja nopeutta sekä kaasunkehityksen määrää ja laatua. Vuonna 2014 jatkettiin kokeen mallinnustyötä vuodesta 2006 eteenpäin kertyneellä datalla. Mallissa käsitellään mm. kaasun muodostumisnopeutta ja pH:n kehitystä.

Tutkimuksen tavoitteena on tuottaa arvio kaasunkehitysnopeudesta VLJ-luolan turvallisuusanalyysiin, joka viimeksi saatettiin ajan tasalle vuonna 2006. Pitkällä aikavälillä kaasunkehitysnopeus on vakiintunut tasolle 60–90 dm³/kk, joka on lähes kertaluokkaa pienempi kuin VLJ-luolan alkuperäiseen turvallisuusanalyysiin valittu arvo. Kokeen aikana jätetynnyriä välisen veden pH on laskenut alkalista (> 10) neutraaliksi. Laskun syynä pidetään mikrobien aineenvaihduntatuotteita ja lasku on betonin alkalisuuden perusteella tehtyjä päätelmiä suurempi.



Kuva 3-4. Kaasunkehityskoelaitteisto Olkiluodon VLJ-luolassa.

Kaasunkehityskokeen jatkamiselle on STUKin myöntämä poikkeuslupa, jolla poiketaan VLJ-luolan turvallisuusteknisistä käyttöehdoista vuoteen 2017 saakka. Vuoden 2016 aikana TVO tekee päätöksen, haetaanko kokeelle uusi poikkeuslupa vai lopetetaanko koe.

Euratom MIND -projekti (Microbiology in Nuclear Waste Disposal) käynnistyi syksyllä 2015. Projektin koordinaattorina toimii SKB ja siihen osallistuu Suomesta TVO:n lisäksi Posiva, GTK ja VTT. TVO:n tavoite on saada lisätietoa kaasunkehityskokeen mikrobiologiasta ja sen vaikutuksesta jätteen hajoamiseen ja kaasunkehitykseen. Kansainväliseen yhteistyöhön annetaan näytteitä kokeesta. Hankkeessa on mahdollisuus myös kokeen laajempaan mallinnukseen sekä simulointiin erilaisilla prosessiparametreilla (pH- ja lämpötilamuutokset, joiden vaikutuksia ei itse kokeessa nähdä). Hanke päättyy 2019.

Betonien pitkäaikaiskestävyyden tutkimus

Betonirakenteiden pitkäaikaiskäyttämistä tutkitaan yhteistyössä Fortumin kanssa vuonna 1997 aloitetun Betonin pitkäaikaiskestävyys -hankkeen puitteissa. Vuoden 2010 joulukuuhun asti pilot-mittakaavan simuloitu koe oli käynnissä Myyrmäessä entisen IVO:n toimipaikassa, josta se siirrettiin Olkiluotoon VLJ-luolan tutkimustilaan -60 m:n tasolle. Kokeet VLJ-luolassa saatiin uudestaan käyntiin alkuvuodesta 2011.

Tutkimuksen perusteella arvioidaan betonin pitkäaikaiskäyttämisen vaikutusta radionuklidien liukoisuuteen ja kulkeutumiseen loppusijoitusolosuhteissa sekä rapautumista käyttöolosuhteita vastaavissa kalliopohjavesiolosuhteissa. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää vallitsevissa olosuhteissa parhaiten kestävät betonikoos-

tumukset, joilla pystytään täyttämään VLJ-luolalle asetetut 60 vuoden käyttöikävaatimukset sekä luomaan tietoa betonimateriaalien pitkäaikaiskestävyyden mallinnusta ja mallien kehitystä varten.

Simuloiduissa vesiolosuhteissa oleville yhdeksälle koebetonille toteutettiin koepaikan siirron yhteydessä laaja, koko koeaineiston kattava näytteenotto, jolla selvitettiin koebetonien ja koeliuosten tila koepaikan muutoksen hetkellä. Lisäksi haluttiin selvittää entistä systemaattisemmin aggressiivisten ionien tunkeutumaprofiilit sekä mikrorakenteen ja lujuusominaisuuksien muutokset betoninäytteistä. Tämä selvitystyö tehtiin voimayhtiöiden toimesta ja laaja koeaineisto annettiin myös KYT2014-ohjelman käyttöön vuosina 2011–2014 laajempaa tutkimusta ja mallinnustyötä varten sekä kansainvälisen julkaisemisen ja yhteistyön lisäämiseksi aiheesta, jonka hyödynnettävyys on VLJ-luolaa laajempaa. Pilot-kokeen lisäksi vastaavia betonikoe-kappaleita tutkitaan todellisissa kalliopohjavesiolosuhteissa Olkiluodon VLJ-luolassa kairarei'issä.

Tutkimushankkeella on selvitetty eri liuoskoostumusten tunkeutumista erilaisiin betoni-laatuihin ja tutkimustuloksia voidaan hyödyntää sekä KAJ-siilon betonin pitkäaikaiskestävyysarvioihin että uusien siilojen betonin koostumisvalinnoissa. Aalto-yliopistossa valmistuneessa väitöstyössä hyödynnettiin voimayhtiöiden betonikokeen tuloksia ja näyttemateriaalia (Kari 2015). Väitöstyössä laadittiin malli, joka kalibroitiin koekappaleiden tulosten perusteella. Lopputuloksena todettiin, että termodynaamisella mallintamisella vesi-sementtisuhteen ollessa alle 0.43 sulfaatinkestävä koekappaleiden betoni suoriutui kohtuullisesti simuloidusta 500 vuoden ajanjaksosta. Väitöskirjassa huomioitiin myös epävarmuudet. Koekappaleet eivät ole kuitenkaan KAJ-siilon betonin osalta edustavia, koska kiviaines on erilainen ja KAJ-siilon rakenne on raudoitettu.

Betonin pitkäaikaistutkimusta tehtiin edellä mainituille näytteille myös KYT2014-ohjelmassa. Tuloksista laadittiin raportti, jossa koottiin yhteen tehtyjen yli 10 vuoden tutkimusten tulokset. Raportissa todettiin, että betonin karbonatisoitumisen vaikutus ennen luolan sulkemista tulisi huomioida betonin pitkäaikaiskestävyyden arvioinnissa. VTT:n BetKYT-raportissa (Ferreira ym. 2015) todetaan, että betoni kestää hyvin yli 100 vuotta, mutta siinä ei vielä ole huomioitu karbonatisoitumista ja mahdollisen betoniteräskorroosion vaikutusta. Lisäksi hyvin karbonisoitumista kestävä betoni ei ole välttämättä hyvä estämään kloridien tunkeutumista pohjavesiolosuhteissa.

Purkujättemetallien tutkimus

Purkujättemetallien liukoisuuskokeet (pitkäaikaiset hiiliterästen ja sinkitettyjen terästen sekä sinkkilevyjen korroosio-kokeet) ovat käynnissä Olkiluodon VLJ-luolan kairarei'issä ja VTT:n seurantatutkimuksena laboratorio-olosuhteissa. Vuonna 1998 käynnistetyn kokeen tarkoituksena on tutkia teräksen liukenemista loppusijoitusolosuhteissa, jotta saataisiin realistinen kuva teräksen korroosionopeudesta Olkiluodon VLJ-luolan sulkemisen jälkeisissä olosuhteissa. Vuoden 2014 lopussa oli koepaikkoihin sijoitettuna yhteensä 69 levyä: teräslevyjä 52, sinkkilevyjä 9 ja sinkkipinnoitettuja teräslevyjä 8. Lisäksi kairarei'issä YD10 oli betonin sisään valettuja teräsnäytteitä, jotka on asennettu kahdessa muoviputkessa kalliopohjavesiolosuhteisiin vuonna 1985, joista vielä toinen putki on jäljellä.

Teräsnäytteitä on tutkittu viimeksi vuonna 2013. Sinkkinäytteitä ei ole otettu tutkittavaksi vuoden 2010 jälkeen. Purkujättemetallien liukoisuuskokeiden tuloksia verrattiin kaasunkehityskokeen tuloksiin vuonna 2014 tehdyssä tutkimuksessa.

VLJ-luolan kokeiden lisäksi on edelleen käynnissä vuonna 1998 aloitetut hiiliteräsnäytteiden upotuskokeet laboratoriossa betoniympäristössä ollutta pohjavettä vastaavassa vedessä. Näitä näytteitä on jäljellä yhtä näytteenottokertaa varten.

KYT2014-tutkimusohjelmassa koeaineistoon on lisätty myös ruostumattomia teräsnäytteitä hiiliteräsnäytteiden lisäksi pullokokeisiin, joissa ympäristönä on todellinen VLJ-luolasta otettu pohjavesi. KYT2014-tutkimusohjelmassa toteutettiin 4 pitkäaikaista laboratorioskoea (esikoe, 1. laboratorioskoe, 2. laboratorioskoe ja biosidikoe) ja yhteensä kolme vuotta kestänyt kenttäkoe. Laboratorioskokeissa kehitettiin olosuhteet, jotka jäljittelevät mahdollisimman tarkasti in situ -olosuhteita. Lisäksi laboratorioskokeissa simuloitiin erilaisia loppusijoituksen aikana mahdollisesti tapahtuvia ympäristömuutoksia, jotka voivat vaikuttaa mikrobitoimintaan ja korroosioon.

Euratom CAST-projektin C-14-osuutta seurataan ja sen tuloksia tullaan hyödyntämään turvallisuusarviossa. TVO ei suoraan osallistu projektiryhmän toimintaan, mutta on mukana esim. purkujättemetallinäytteiden määrittämisessä ja mahdollisesti niiden toimittamisessa projektille (CAST 2015).

3.2.2.4 Voimalaitosjätteen käsittelyn, varastoinnin ja loppusijoituksen tutkimus vuosina 2016–2018

Vuosien 2016–2018 aikana jatketaan edellä esitettyjä käynnissä olevia selvityksiä sekä seurataan alan kehittymistä. Lisäksi toteutetaan seuraavia T&K-toimenpiteitä tai -hankkeita:

- Kalliomekaanisen, hydrogeologisen ja hydrogeokemian seurannan jatkaminen pitkäaikaisvaikutusten arvioimiseksi ja tutkimusohjelman päivitys seuraavan laajan koevuoden (2015) jälkeen ennen ohjelman päättymistä 2017.
- VLJ-seurantaohjelman (vuodet 2006–2017) arviointi
- VLJ-seurantaohjelman uusiminen (vuodet 2017–2027) vuoden 2016 aikana.
- Kaasunkehityskokeen hajoamisasteen määrittäminen mikrobiologisten näytteiden ja seurantatiedon perusteella (VTT yhteistyö 2014–2016)
- Euratomin MIND-projektiin osallistuminen vuosina 2015–2019. Kaasunkehityskokeen (KKK) tulos- ja näyteaineiston siirtäminen MIND-projektin käyttöön vuoteen 2016 mennessä.
- Kaasunkehityskokeen päättämisestä päätös vuoteen 2017 mennessä sekä sulkemisen vaatimien toimenpiteiden suunnittelu ja toteutus mikäli koe päätetään tässä vaiheessa. Mikäli koetta voidaan MIND-projektin takia jatkaa vuoteen 2019, siirtyä päättäminen vuoteen 2020.
- Betonin pitkäaikaiskokeista laadittujen tutkimusten hyödyntäminen KAJ-siilon betonirakenteen tiiviyyden arvioimiseksi pitkällä aikavälillä selvitetään jatkohankkeissa (TVO, Fortum, VTT, Aalto-yliopisto) mahdollisuuksien mukaan tällä tutkimuskaudella. Betonin liukenemiskokeiden ja teräsrakenteiden

kestävyyden sekä metallisen purkujätteen liukenevuuden tutkimusten jatkaminen pitkäaikaisvaikutusten arvioimiseksi. Tutkimus tehdään yhteistyössä betonien pitkäaikaiskestävyyttä mallintavien ryhmien (VTT ja Aalto-yliopisto) kanssa kootun koeaineiston analysoimiseksi.

- KAJ-siilon rakenteet, betonin laatu ja rakenteeseen kohdistuvat rasitukset vaihtelevat, joten vaihtelun huomioonottaminen simuloinnissa tulee arvioida.
- Betonien kiihdytetyn vanhenemistestin toteuttamista tulee harkita huomioiden koko betonirakenne, jossa on mukana myös teräs. SAFIR2018-ohjelmassa tutkitaan betonin NDT-menetelmiä, joita voitaisiin hyödyntää VLJ-luolan rakenteiden kunnonseurannassa. Ruotsin ydinvoimayhtiöiden ja viranomaisen SSM:n kanssa on meneillään laaja betonitutkimusohjelma (Energiforsk-Concrete).
- Purkujättemetallien osalta jatketaan vuosien 2016–2018 aikana teräsnäytteiden tutkimuksia. Kairarei'issä olevien näytteiden näytteenottoa jatketaan vuosittain tehtävän suunnitelman mukaan, riippuen korroosionopeuden kehityksestä. Samassa yhteydessä kairareikiin kannattaisi sijoittaa myös ruostumattomia teräsnäytteitä.
- Kairarei'issä olevia sinkkinäytteitä ja sinkittyjä teräsnäytteitä tullaan tutkimaan vuosien 2016–2021 aikana. Myös kaasunkehityskokeen ja purkujättemetallien tulosten vertailua jatketaan.
- KYT2018-tutkimusohjelmassa mukana olevan VTT:n hankkeen tavoitteena on arvioida biofilmiä muodostumista ja mikrobiologisen korroosion riskiä metallisille materiaaleille (hiiliteräs ja ruostumattomat teräkset) Suomen loppusijoitusolosuhteissa, sekä monitoroida korroosion ja vesikemian muutosten yhteyttä in situ. Tähän tutkimukseen annetaan VLJ-näytteitä.
- Purkujättemetallien tutkimustuloksia hyödynnetään arvioitaessa purkujättemetallien mahdollisesta mikrobiologisesta korroosiosta aiheutuvaa radioaktiivisten aineiden vapautumista. KYT2018-hankkeessa otetaan käyttöön uusia mikrosensoreihin perustuvia menetelmiä biofilmi-korroosio-kerroksen tutkimiseksi sekä kehitetään laitteisto korroosion ja vesikemian monitoroimiseksi kallioperässä.
- OL3:n keskiaktiivisen jätteen käsittelyyn/loppusijoitukseen liittyen tehdään OL3:n käyttöönoton aikana koe, jossa käytetyt ioninvaihtohartsit ja haihdutinkonsentraatit kuivataan tynnyrissä. Kokeen tarkoituksena on selvittää eri partikkeleiden jakaantuminen jätetynnyrissä. Koe tehdään ennen polttoaineen latausta.

3.2.2.5 Voimalaitosjätteen käsittelyn, varastoinnin ja loppusijoituksen tutkimus vuosina 2019–2021

Kaudella 2019–2021 suoritetaan useita tutkimushankkeita matala- ja keskiaktiivisen jätteen sijoittamisesta, joita on lueteltu seuraavassa:

- VLJ-luolan kemian, kalliomekaniikan, pohjaveden ja ilman seuranta jatkuu vuonna 2017 päivitetyn tutkimus- ja seurantaohjelman mukaan. Laaja raportointi tehdään viiden vuoden välein ja suppea seuranta raportoidaan välivuosina. Betonin liukenevuuden tutkimuksia jatketaan pitkäaikaisvaikutusten arvioimiseksi. Kokeet päättyvät, kun altistuskokeissa olevat materiaalit on kulutettu näytteenottokampanjoissa loppuun. On myös mahdollista, että kokeita jatketaan ja koeohjelmaan lisä-

tään uudentyypisiä betonilaatuja tai teräksiä riippuen rakenneaineiden kehityksestä ja käytön muutoksista.

- Ioninvaihtohartsin tilavuuden pienentämiseen ja loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden varmentamiseen tähtäävä tutkimus suuntautuu joko korkealämpötilaisemman plasman käyttöön tai muiden polttomenetelmien käyttöön. Asiaan liittyen seurataan teknologian kehittymistä.
- Mikäli KKK-koetta voidaan MIND-projektin takia jatkaa vuoteen 2019, siirtyy päättäminen vuoteen 2020. Tässä vaiheessa arvioidaan myös koko kokeen tulosaineisto ja sen käyttö VLJ-turvallisuusarviossa.

3.2.3 Käytöstäpoisto

Käytöstäpoiston tutkimuksia ei ole toistaiseksi mukana kansallisissa tutkimusohjelmissa ja TVO:n oma tutkimus on selvitysluontoista ja tukee käytöstäpoistosuunnittelua ja kustannusten arviointia.

Yhtenä mahdollisuutena on osallistua ruotsalaisen Barsebäckin voimalaitoksen käytöstäpoiston yhteydessä tehtävään tutkimukseen. Tästä ei kuitenkaan vielä ole ohjelmaston suunnitelmia olemassa. Tutkimus mahdollistanee säteilytetyn betonin ja reaktoripiirin komponenttien tutkimuksen ja laitoksen kunnonarvioinnin yleisesti.

3.2.3.1 Käytöstäpoiston tutkimus vuosina 2016–2018

Vuosien 2016–2018 aikana jatketaan ja tarkennetaan aikaisemmissa käytöstäpoistosuunnitelmissa tehtyjä selvityksiä seuraavaa käytöstäpoistosuunnitelman päivytystä varten. Oleellinen osa työstä liittyy OL3:n mukaan ottamiseen koko laitosta koskevaan käytöstäpoistosuunnitelmaan, jolloin viimeistään vuonna 2020 laadittava suunnitelma todennäköisesti sisältää OL1-, OL2- ja OL3-yksiköitä koskevat suunnitelmat. Tätä tarkoitusta parhaiten tukien tulee laatia periaatesuunnitelma OL3:n reaktoripaineastian loppusijoittamisesta kokonaisuutena, sisältäen alustavat suunnitelmat aktivoituneiden käytöstäpoistojätteiden loppusijoittamiseksi paineastian sisälle. Lisäksi suunnitellaan selvitystyötä käytöstäpoiston kustannusarvion muokkaamiseksi OECD:n mukaiseen jaotteluun.

OL1-2-laitosyksiköiden vuosihuoltojen yhteydessä on suurten komponenttien vaihdossa saatu kokemuksia matala-aktiivisen metallijätteen sulatuksesta ulkomailla. Hyvien kokemusten pohjalta kannattaa metallien käsittelyn mahdollisuuksia selvittää myös käytöstäpoistosuunnitelmissa. Kun menettelyä käytetään hyvin matala-aktiiviselle jätteelle, helpottuu mm. valvonnasta vapauttaminen, koska käsittelyn aikana sulatettujen komponenttien aktiivisuuspitoisuus voidaan määrittää tarkasti. Menettely tuottaa lisäksi kustannuksia nykyiseen käytöstäpoistosuunnitelman kustannusarvioon verrattuna, mutta toisaalta kustannuksia laskeva tekijä on tarvittavan loppusijoitustilan pieneneminen. Uusi ajankohtaiseksi tuleva aihe on selvitystyön tekeminen KPA-telineiden käytöstäpoistosta ja loppusijoituksesta.

3.2.3.2 Käytöstäpoiston tutkimus vuosina 2019–2021

Käytöstäpoiston suunnitelman seuraava päivitys osuu tälle ajanjaksolle. OL1:n ja OL2:n sekä soveltuvien osien OL3:n osalta tarkentavaa tutkimusta tulee koskemaan seuraavia osa-alueita:

- Jätteiden aktiivisuusarvioiden kehittämistä jatketaan mittausohjelmaa jatkamalla.
- Dekontaminoinnin tarkastelua jatketaan, ottaen huomioon ohjeen YVL D.4 asettamat vaatimukset. Kokemukset käytöstäpoistettujen komponenttien käsittelystä Studsvikissa ovat olleet hyviä.
- Käytöstäpoiston toteutusvaiheita ja eri vaiheissa mm. laitosdokumentaatiolle ja laitoksen järjestelmille asetettavia vaatimuksia tarkennetaan.
- Käytöstäpoiston logistiikan (eri työvaiheiden yhteensovittaminen) alustava suunnittelu käynnistetään.
- Jätteiden karakterisointi ja menetelmät maa-alueiden ja rakennusten valvonnasta vapauttamiseksi ovat kehityskohteina mm. OECD/WPDD:ssä, jonka toimintaa seurataan.
- Metallien kierrätyksen hyödyntämisestä kootaan kokemuksia ja mahdollisuuksia tarkastellaan.
- Purkujätteiden loppusijoituksen turvallisuusperustelua tarkennetaan lähtötietojen tarkentuessa.

Lisäksi seurataan aktiivisesti käytöstäpoistotekniikoiden kehittymistä ja käytöstäpoistohankkeista saatavia kokemuksia.

4 KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUSVALMISTELUJEN TILANNE

4.1 Periaatepäätökset ja muut luvat

Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitos on ydinenergialaissa (990/1987) tarkoitettu yleiseltä merkitykseltään huomattava ydinlaitoskokonaisuus, jonka rakentaminen edellyttää valtioneuvoston periaatepäätöstä siitä, että laitosten rakentaminen on yhteiskunnan kokonaisedun mukaista. Valtioneuvoston antaman periaatepäätöksen, ja sen eduskunnassa tehdyn vahvistamisen jälkeen, toimitetaan valtioneuvoston päätettäväksi ydinlaitoksia koskevat rakentamislupa- ja käyttö lupahakemukset, joihin liittyvät yksityiskohtaiset kuvaukset ja turvallisuusselvitykset toimitetaan samassa yhteydessä STUKille. Rakentamislupa- ja käyttö lupavaiheessa keskeistä on, että STUKin valtioneuvostolle luvitusaineiston perusteella laatimassa turvallisuusarviossa ei nähdä esteitä laitoksen rakentamiselle ja käytölle. Ydinenergialain perusteella tapahtuvan lupamenettelyn ohella periaatepäätöskäsittelyä varten on toteutettava ympäristölainsäädännön mukainen ympäristövaikutusten arviointi.

4.1.1 Periaatepäätökset

Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamiseen liittyen Posiva haki 26.5.1999, 23.11.2000 ja 25.4.2008 päivätyissä kolmessa hakemuksessaan ydinenergialain 11 §:ssä tarkoitettua valtioneuvoston päätöstä siitä, että Posivan suunnitteleman käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentaminen Eurajoen Olkiluotoon niin, että siellä voidaan käsitellä ja sinne voidaan loppusijoittaa Fortumin kahden laitosesikön ja TVO:n neljän laitosesikön käytettyä ydinpolttoainetta enintään yhteensä 9 000 uraanitonnia vastaava määrä, on yhteiskunnan kokonaisedun mukaista.

Valtioneuvosto teki hakemusten perusteella kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamisesta periaatepäätökset 21.12.2000, 17.1.2002 ja 6.5.2010, jotka eduskunta on päättänyt jättää voimaan 18.5.2001, 24.5.2002 ja 1.7.2010. Vuonna 2000 tehty periaatepäätös koskee Suomen neljän käytössä olevan ydinvoimalaitosesikön (LO1 ja LO2 sekä OL1 ja OL2) toiminnassa syntyvää käytettyä ydinpolttoainetta, jonka uraanimäärä kokonaisuudessaan on enintään noin 4 000 tonnia.

Vuonna 2002 tehty periaatepäätös loppusijoituslaitoksen rakentamisesta laajennettuna koskee TVO:n OL3-yksesikön käytettyä ydinpolttoainetta määrältään enintään 2 500 uraanitonnia. Vuonna 2010 tehty periaatepäätös loppusijoituslaitoksen rakentamisesta laajennettuna koskee TVO:n Olkiluoto 4 -laitosesikön käytettyä ydinpolttoainetta enintään 2 500 uraanitonnia vastaavalla määrällä. Tämä periaatepäätös raukesi 30.6.2015, kun TVO ei jättänyt rakentamislupahakemusta Olkiluoto 4 -laitosesikölle.

Fortum haki periaatepäätöstä Loviisa 3 -laitosesikölle vuonna 2010 ja samassa yhteydessä Posiva haki periaatepäätöstä kyseisen laitosesikön käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukselle. Koska Loviisa 3 -laitosesikön periaatepäätöshakemus hylättiin, hylättiin myös hakemus laitosesikön ydinpolttoaineen loppusijoittamiselle.

Posivalla on voimassa olevat periaatepäätökset OL1-3- ja LO1-2-laitosyksiköiden käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamista varten, yhteensä 6 500 uraanitonnia.

4.1.2 Ympäristövaikutusten arviointi

Posiva toteutti vuosina 1997–1999 käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamista koskevan ympäristövaikutusten arviointimenettelyn (YVA-menettelyn), joka kattoi kuuden ydinvoimalaitosyksikön käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustarpeen (9 000 uraanitonnia). YVA-selostuksen tiedot saatiin ajan tasalle vuonna 2008 Olkiluoto 4 -laitosyksikön käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta koskevaa periaatepäätöshakemusta varten. Posiva suoritti vuosien 2008–2009 aikana myös kokonaan uuden YVA-menettelyn, jossa arvioitiin suunnitellun kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen loppusijoituskapasiteetin laajentamista 9 000 uraanitonniasta 12 000 uraanitonniin Loviisa 3 -laitosyksikköä varten. Uusi YVA-selostus liitettiin Loviisa 3 -laitosyksikön käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta koskevaan Posivan periaatepäätöshakemukseen.

Posiva laati kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemukseen liittyen ajantasaisen selvityksen hankkeen ympäristövaikutuksista, jossa tarkastelun kohteena on 9 000 uraanitonniin suuruisen käytetyn ydinpolttoainemäärän loppusijoitus. Selvitys sisältää ajantasaiset tiedot sekä kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ympäristövaikutuksista että niistä suunnitteluperusteista, joita Posiva aikoo noudattaa ympäristövahinkojen välttämiseksi ja ympäristörasituksen rajoittamiseksi. Selvitys on laadittu perustuen siihen tietämykseen, joka tällä hetkellä on käytettävissä kapselointi- ja loppusijoituslaitoksesta, sen sijoituspaikasta ja käytetyn ydinpolttoaineen ominaisuuksista ja käyttäytymisestä loppusijoitustilassa.

4.2 Rakentamislupahakemus

Posiva jätti ydinenergialain (YEL, 990/1987) 18 §:n mukaisen hakemuksen Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamiseksi valtioneuvostolle 28.12.2012. Samassa yhteydessä Posiva toimitti STUKille ydinenergia-asetuksen 35 §:n ja valtioneuvoston asetuksen (VNA, 736/2008) 16 §:n mukaiset asiakirjat Posivan ydinjätelaitosten ja niiden toiminnan kuvaamiseksi turvallisuuden kokonaisarviointia varten.

Posivan rakentamislupa-aineisto sisälsi alustavan turvallisuusselosteen (PSAR), joka koostuu 11-osaisesta yleisestä osasta, 28 aihekohtaisesta raportista ja noin 180-osaisesta järjestelmäkuvausten osasta. Suuren osan Posivan rakentamislupa-aineistosta muodosti pitkäaikaisturvallisuuden arviointi, turvallisuusperustelu TURVA-2012, joka koostui kymmenestä pääraportista ja kymmenistä taustaraporteista. Turvallisuusperustelun tehtävänä on arvioida Olkiluodolle sijoittuvan KBS-3V-loppusijoitusmenetelmään perustuvan loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuutta jopa satojen tuhansien vuosien ajalle. Lisäksi toimitettiin erillisiä selvityksiä mm. turva-, valmius- ja ydinmateriaalivalvonnan järjestelyistä, ehdotus luokitusasiakirjaksi, laitosprojektin projektinhallinta-asiakirjoja, selvitykset turvallisuuskulttuurista ja rakentamisen laadunhallinnasta sekä suunnitteluvaiheen todennäköisyysperustainen riskianalyysi (PRA). YVL-ohjeista tehtiin myös vaatimuskohtaiset täyttymisarviot. Rakentamislupa-aineiston käsittelyn

aikana Posiva toimitti lisäksi yli 100 täydentävää selvitystä ja raporttia STUKille arvioitavaksi sekä STUKin selvityspyyntöjen että omien kehitystarpeiden vuoksi.

4.2.1 Kuuleminen ja lausunnot

Posivan rakentamislupahakemus oli kuultavana 15.2.2013–30.9.2013 TEM:ssä. TEM järjesti avoimen keskustelutilaisuuden Posivan loppusijoitushankkeesta 12.9.2013. Keskustelutilaisuudessa olivat kertomassa omasta roolistaan Posivan lisäksi STUK ja TEM. Lisäksi TEM pyysi nimetyiltä tahoilta lausunnot hakemuksesta ml. STUKilta, sisäasiainministeriöltä ja ympäristöministeriöltä. TEM sai rakentamislupahakemuksesta yhteensä 32 lausuntoa. Lausunnoissa esitettiin kommentteja laaja-alaisesti liittyen ydinjätelaitosten pitkäaikaisturvallisuuteen, käyttöturvallisuuteen ja yleisesti rakentamislupahakemuksen käsittelyyn. Posiva vastasi kommentteihin 26.2.2015 toimittamallaan vastineellaan TEM:lle. Lausunnot ja Posivan vastineet ovat luettavissa TEM:n internet-sivuilla.

4.2.2 Säteilyturvakeskuksen turvallisuusarvio

Säteilyturvakeskus teki TEM:n pyynnöstä turvallisuusarvionsa (1/H42212/2013, 11.2.2015, liite 1, myöhemmin turvallisuusarvio) rakentamislupahakemusaineistosta. Turvallisuusarvion mukaan Posivan esittämä käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitos voidaan rakentaa turvallisesti. Turvallisuusarviossaan STUK antoi arvionsa kattavasti ydinjätelaitosten käyttöturvallisuudesta ja rakentamisesta, käyttöön-otosta ja käytöstä, käytöstäpoistosta ja sulkemisesta sekä pitkäaikaisturvallisuudesta. STUK arvioi myös ydinmateriaalivalvonnan sekä valmius- ja turvajärjestelyt. Myös Posivan johtamisjärjestelmä ja turvallisuuskulttuuri arvioitiin, minkä lisäksi selvitykset ikääntymisen hallinnasta, STUKin valvontamahdollisuuksien varmistamisesta, loppusijoitetun ydinpolttoaineen palautettavuudesta ja käytetyn ydinpolttoaineen kuljetuksista arvioitiin. Rakentamislupa-aineiston lisäksi STUK suoritti rakentamisen aikaisen tarkastusohjelman mukaisia RTO-tarkastuksia rakentamislupahakemuksen käsittelyn aikana. Nämä aloitettiin jo ONKALOn rakentamisen yhteydessä. RTO-tarkastuksissa käytiin läpi Posivan organisaation valmiutta ydinjätelaitosten rakentamiseen. STUKin mukaan Posivan esittämät suunnitelmat ovat rakentamislupavaiheessa riittäviä ja asianmukaisia, mutta se esitti turvallisuusarviossaan kuitenkin yhteensä seitsemän huomiota ja rajausta, jotka tulee ottaa huomioon ennen rakentamisen aloittamista, sen aikana ja käyttöluupahakemukseen mennessä. STUK on tarkentanut huomioitaan Posivalle toimittamissaan mm. alustavaa turvallisuusselostetta koskevassa päätöksessä (1/H42241/2012, 10.2.2015, myöhemmin PSAR-päätös) ja turvallisuusperustelua koskevassa päätöksessään (1/H42252/2015, 10.2.2015, myöhemmin turvallisuusperustelupäätös).

STUK toteaa Posivan rakentamislupaa koskevassa launnossaan, että STUKin ko. lausunto ja sen liitteenä oleva turvallisuusarvio Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen turvallisuudesta ja Posivan hankkeesta ovat voimassa, vaikka TVO:n Olkiluoto 4 -laitosyksikkö ei etenisi rakentamislupahakemusvaiheeseen ja sen käytetty ydinpolttoaine rajattaisiin pois Posivan rakentamislupavaiheesta.

Lisäksi STUK toteaa launnossaan, että mikäli Posiva aikoo muuttaa loppusijoituksen pystysijoitusratkaisunsa vaakasijoitusratkaisuun, voidaan muutos Posivan pyynnön mu-

kaisesti käsitellä ydinenergia-asetuksen 112 §:n mukaisena muutoksena osana annettua rakentamislupaa. Muutos voidaan käsitellä em. muutuskäsittelynä, koska STUKin käsityksen mukaan myös vaakasijoitusratkaisu voi täyttää asetetut turvallisuusvaatimukset. Vaakasijoitusratkaisua ja Posivalla tehtävää kokonaisarviota pysty- ja vaakasijoitusratkaisujen välillä käsitellään tarkemmin kohdissa 4.10 ja 5.6.

4.2.3 Rakentamislupavaiheen kokemuksia

Posivan rakentamislupahakemus laadittiin syksyn 2012 aikana ja se sisälsi hakemuksen ja 18 liitettä. Rakentamislupa-aineiston laatimisessa nojaututtiin vuonna 2009 STUKille toimitetusta esiluvitusaineistosta saatuun palautteeseen. Laatimisen aikana keskusteluyhteys viranomaisen kanssa oli avointa ja mm. avoimia asioita käsiteltiin STUKin kanssa. Lisäksi rakentamislupa-aineisto laadittiin STUKilta saadun päätöksen mukaisesti uudistuvien YVL-ohjeiden luonnosversioita (L4-versio) seuraten. Posiva kehitti rakentamislupa-aineiston keräämiseen ja laadunvarmistamiseen menettelyjä, jotta aineisto oli mahdollisimman yhtenäistä ja johdonmukaista. Erityisesti laadunhallintaa korostettiin TURVA-2012-turvallisuusperustelussa, joka omana projektinaan kesti useita vuosia. Turvallisuusperustelulle kehitettiin omia laadunvarmistusmenettelyjä ja valmistelutyöhön otettiin mukaan useita tunnustettuja kansainvälisiä arvioijia, joiden tehtävänä oli arvioida raportoinnin laatua ja oikeellisuutta jo ennen kuin aineisto toimitettiin STUKille. Rakentamislupahakemuksen käsittelyn aikana Posiva on kehittänyt menettelyjä, joilla varmistetaan käyttölupavaiheessa aineiston oikea-aikainen ja laadukas valmistuminen. Posiva tulee laatimaan rakentamislupahakemusvaiheesta kokemusraportin vuoden 2015 aikana ja hyödyntämään näitä kokemuksia käyttölupahakemuksen jättämiseen valmistautuessaan. TURVA-2012 kokemusraportti on jo laadittu ja sen oppeja hyödynnetään TURVA-2020 turvallisuusperustelun suunnittelussa. Posivan käyttöluvan hakemiseen valmistautumista on kuvattu ohjelman luvussa 8.

4.3 Turvallisuuden ja laadun hallinnan tilanne

4.3.1 Turvallisuuskulttuuri, inhimilliset ja organisatoriset tekijät sekä johtamisjärjestelmä

Turvallisuuskulttuuri

Posiva on kehittänyt turvallisuuskulttuuriaan pitkäjänteisesti ja suunnitelmallisesti. Posivalla on laadittu turvallisuuskulttuuriohjelma, jota täsmennetään vuosittain ja jossa on kerrottu toistuvat turvallisuuskulttuurin kehittämiseksi tehtävät toimenpiteet. Kunkin vuoden turvallisuuskulttuurin toimenpideohjelmassa kerrotaan yksityiskohtaisesti kyseisen vuoden aikana tehtävät toimenpiteet aikatauluineen ja vastuutahoineen.

Posivan turvallisuuskulttuuriryhmä aloitti toimintansa vuoden 2015 alussa. Turvallisuuskulttuuriryhmä on Posivan johtoryhmän nimittämä, ja se raportoi toimintasääntönsä mukaisesti säännöllisesti Posivan johdolle. Vuoden 2015 tavoitteena on Posivan turvallisuuskulttuurin menettelytapojen yhtenäistäminen ja toimintojen yhdistäminen TVO:n kanssa.

Posiva on määritellyt hyvän turvallisuuskulttuurin tunnusmerkit ja dokumentoinut ne. Hyvästä turvallisuuskulttuurista ja sen merkityksestä järjestetään koulutusta ja työpajoja

sekä omalle että alihankkijoiden henkilöstölle. Turvallisuuskulttuurikoulutusta tarjotaan myös toimitusketjuun osallistuville yrityksille.

Posiva tekee turvallisuuskulttuurin itsearviointin noin joka kolmas vuosi. Itsearviointin tavoitteena on nostaa tietoisuutta turvallisuuskulttuurin tilasta sekä jatkuvan parantamisen periaatteiden mukaisesti kehittää turvallisuuskulttuuria tunnistettujen kehityskohtien pohjalta. Tämän lisäksi Posiva teettää kyselytutkimuksena selvityksen turvallisuuskulttuurin tilasta kolmen vuoden välein. Nämä selvitykset toteutetaan vuorotellen.

Turvallisuuskulttuurin tilasta tehdään myös riippumattomia arviointeja turvallisuuskulttuuriryhmän suosituksesta ja aina mikäli organisaatiossa on tapahtunut sellaisia muutoksia, että arviointi katsotaan tarpeelliseksi. Turvallisuuskulttuuriryhmä ja yhtiön johto käsittelevät riippumattoman arvioinnin tulokset.

Posivan projekteissa omalle projektihenkilöstölle sekä Posivan alueilla toimiville toimittajien ja alihankkijoiden henkilöstölle välitetään tulo-, alue- ja perehdytyskoulutuksissa Posivan määrittelemät hyvän turvallisuuskulttuurin tunnusmerkit ja niiden merkitys. Laitosprojektissa käynnistetyissä teknisen toteutussuunnittelun toimeksiantoissa on järjestetty erillisiä suunnittelualakohtaisesti räätälöityjä turvallisuuskulttuurikoulutuksia suunnittelutoimistojen ja heidän alihankkijoidensa henkilöstölle. Posivassa on valmisteilla internet-pohjainen turvallisuuskulttuurin koulutusaineisto, jonka suorittamista tullaan edellyttämään Posivan toimeksiantojen yhteydessä.

Inhimilliset ja organisatoriset tekijät

Inhimillisten ja organisatoristen tekijöiden tunnistaminen ja hallinta yhdessä teknisten asioiden kanssa mahdollistaa näiden osa-alueiden huomioimisen yhteensovittamisen turvallisuutta kokonaisvaltaisesti tukevalla tavalla.

Inhimilliset tekijät, osana turvallisuutta korostavaa ja edistävää toimintaa, ovat ihmisten turvallisuutta edistävä asenne, kyvykkyys ja pätevyys toimia määritellyissä tehtävissä, motivaatio ja työssä viihtyminen.

Yksilöiden turvallisuuslähtöinen asenne on ensiarvoisen tärkeää turvallisuuskriittisissä toiminnoissa. Yksilöiden asenne on pitkälti riippuvainen koko toimintaympäristössä vallitsevasta asenteesta (yhtiön turvallisuuskulttuuri). Oikeanlaisen asenneilmapiirin varmistamisessa johdon sitoutuminen ja viestintä sekä työyhteisön sosiaalinen ympäristö ovat koulutuksen ohella tärkeitä tekijöitä yksilötason asenteiden luojina. Edellä mainittuja tekijöitä ylläpidetään ja kehitetään jatkuvasti.

Turvallisuuteen liittyvien toimintojen suorittajien pätevyys varmistetaan määrittelemällä toiminnoille ja toimille pätevyysvaatimukset. Fyysisen ja henkisen kyvykkyyden arvioinnissa käytetään määräaikaista tarkastuksia varmistamassa todetun kyvykkyyden säilyminen.

Yksilötasolla työssä viihtyminen ja työtehtäviin liittyvä motivaatio ovat läheisesti riippuvaisia toisistaan. Työssä viihtymistä ja motivaatiota edesauttavat työstä saatava palaute, työn monipuolisuus sekä mahdollisuus vaikuttaa omaan työhönsä, turvallinen ja

viihtyvyyttä edistävä työympäristö ja työpaikan yleinen sosiaalinen ilmapiiri, jossa yksilöä tuetaan ja kannustetaan.

Yksilön ja työyhteisön turvallisuuslähtöinen asenne antaa pohjan inhimillisten, organisatoristen ja teknisten tekijöiden ja virhemahdollisuuksien tunnistamiseen ja sitä kautta niiden hallintaan riskienhallinnan tai erilaisten havaintojen kautta. Henkilöille järjestetään säännöllisesti turvalliseen ja turvallisuutta kehittävään työskentelyyn liittyvää koulutusta. Tähän koulutukseen sisällytetään myös inhimillisten virheiden sekä niiden lähteiden tunnistamiseen ja välttämiseen liittyviä osioita. Erityistä huomiota kiinnitetään menettelytapoihin, joilla inhimillisiä virheitä vältetään. Tällaisia työkaluja ovat mm. parityöskentely, riippumaton arviointi sekä aloitus- ja lopetuskokoukset.

Käyttökokemusten, läheltä-piti-tapahtumien ja poikkeamien käsittelyssä kiinnitetään huomiota ja pyritään löytämään mahdollisia inhimillisperäisiä piirteitä, kuten liian monimutkaisia toimintoja, ohjeiston tai osaamisen puutteita. Tarvittaessa tapahtumille tehdään perussyyanalyyskejä, joiden perusteella tapahtumien juurisyihin voidaan löytää tehokkaat korjaustoimenpiteet.

Organisatoriset tekijät muodostavat sen kulttuurillisen kehyksen, jossa toimintaa harjoitetaan. Yhteisön näkyvän ja näkymättömän toimintakulttuurin tulee olla turvallisuutta edistävää sekä yhteisö- että yksilötasolla. Organisaation tavoitteiden ja menettelyjen viestinnällä ja koulutuksella luodaan mahdollisuudet yhteisön "näkymättömän" kulttuurin suuntaamiseksi turvallisuutta edistävään suuntaan. Esimiehiä tuetaan korkeatasoisen turvallisuuskulttuurin ja organisaatiokulttuurin kehittämisessä. Organisaation toimintaa, siinä tapahtuneita muutoksia ja vaikutuksia turvallisuuteen arvioidaan säännöllisesti.

Päättymässä olevan konseptisuunnittelujakson yksi suunnittelun pääperiaatteista on ollut syvyysuuntaisen turvallisuuden varmistaminen. Ihmisen ja tekniikan vuorovaikutus on yksi syvyyspuolustuksen rajapinnoista, jonka vahvuutta varmistetaan teknisten ratkaisujen, osaamisen kehittämisen ja suunnitteluprosessin keinoin. Jotta ihmisen ja laitoksen rajapinta voitaisiin tunnistaa ja arvioida, tulee prosessien ja prosessin käyttäjien toiminnot ja vuorovaikutus olla hyvin selvillä.

Suurin osa loppusijoitukseen liittyvästä ihmisen ja koneen välisestä tekniikasta sijoittuu kapselointilaitokseen ja erityisesti sen käsittelykammioon. Posivan kapselointilaitokselle laadittiin alkuvuodesta 2015 operointikonsepti, jossa on kuvattu käytön ja kunnossapidon toimintoja ja toimintatapoja. Konsepti ei ole vielä lopullinen ja sitä tarkennetaan suunnittelun edetessä. Operointikonseptin avulla kyetään tarkemmin tunnistamaan inhimillisen virheen lähteitä ja tuottamaan yksityiskohtaisia tehtäväänalyyskejä järjestelmien ja laitteiden suunnittelun, sekä ohjeistoa käytön ja kunnossapidon tueksi. Toteutus suunnittelun aikana operointikonsepti tullaan laajentamaan myös loppusijoituslaitokseen ja työ kokonaisuudessaan tulee tarkentumaan laitoskokonaisuuden suunnittelun, valmistuksen ja käyttöönoton edetessä.

Posivan turvallisuuden kannalta tärkeät järjestelmät ovat yksittäisvikakestoisia ja niiden sähkönsyötöt, automaatio ja mekaniikka on kahdennettu ja pidetty rakenteeltaan mahdollisimman yksinkertaisena sekä toimintavarmana. Toimivilla teknisillä perusratkaisuilla suunnitellaan järjestelmät kestäväksi mahdollista yksittäistä loppukäyttäjän vir-

hettä. Käytännön toteutustavat ja menettelyohjeet määritetään toteutussuunnitteluvaiheessa, kuvataan operointikonseptissa, käyttövarmuus- sekä tehtäväanalyyseissä, joista ne siirtyvät toteutuksen ratkaisuksi, jotka tullaan testaamaan tehdaskokeissa ja käyttöönoton eri vaiheissa. Näissä vaiheissa tullaan luomaan myös käyttöä ja kunnossapitoa ohjaava ohjeisto, joka validoidaan käyttöönottovaiheessa.

Posiva kartoitti loppuvuodesta 2014 STUKin vaatimuksesta käytettävissään olevan ihmisten tekijöiden asiantuntemuksen suunnitteluprosessissa ja sen valvonnassa. Kartoituksen perusteella todettiin riittävät resurssit olevan käytettävissä, mutta toiminnan yhtenäistämiseksi ja ohjaamiseksi käynnistettiin 2015 alkuvuodesta human-machine interface/human factors engineering (HMI/HFE) -koulutuksen projekti. Projekti tuotti koulutusmateriaalin täydentävän koulutuksen suunnittelijoille ja suunnittelutyötä ohjaille henkilöille Posivassa ja Posivan toimittajaverkostossa. Koulutus tullaan toistamaan aina tarvittaessa, kun uusia resursseja hankkeen suunnitteluun hankitaan.

Johtamisjärjestelmä

Posivan johtamisjärjestelmässä kuvataan, kuinka Posiva määrittelee toimintansa tavoitteet ja millä menettelyillä asetetut tavoitteet tulee saavuttaa. Erityisenä tavoitteena johtamisjärjestelmän kehittämisessä on turvallisuuden ja laadun hallinta yhteiskunnan ja sidosryhmien vaatimusten mukaisesti.

Organisaation luomat ja ylläpitämät yhteiset tavoitteet ja säännöt muodostavat näkyvän osan turvallisuuskulttuurista. Johtamisjärjestelmään määritellyt vastuut ja valtuudet, toiminnan ja resurssien systemaattinen suunnittelu, arviointi ja kehittäminen, laadukkaat työmenetelmät ja niiden kirjalliset kuvaukset sekä prosessit mahdollistavat systemaattisen työskentelyn, jossa otetaan turvallisuus huomioon.

Johtamisjärjestelmä tulee kehittymään vaiheittain toiminnan mukana. Kaudella 2015–2018 johtamisjärjestelmän kehittämisen painopiste tulee siirtymään suunnittelusta toteutukseen ja käyttöönoton valmisteluun.

Vuodesta 2015 yhtenä tavoitteena johtamisjärjestelmän kehittämisessä on johtamisjärjestelmän ja menettelyjen integraatio ja yhteensovittaminen TVO:n kanssa. Johtamisjärjestelmien menettelyt tullaan yhdenmukaistamaan mahdollisuuksien mukaan toiminnan tehostamiseksi Olkiluodossa. Posivalla tulee säilymään oma laadunhallintajärjestelmä, mutta ympäristö- ja yritysturvallisuusjärjestelmien osalta yhteiseen järjestelmään siirtyminen voi tulla kysymykseen.

Johtamisjärjestelmän ja toiminnan jatkuvaan parantamiseen tähtäävät arvioinnit tehdään säännöllisesti kohdistuen arvioinnit toiminnan turvallisuusmerkityksen mukaan. Posiva arvioi johtamisjärjestelmää sisäisesti sekä käyttää ulkoisia toimijoita arvioinneissa.

Laitosprojektin laadunhallintaan liittyvät menettelyt on määritelty laitosprojektin laatusuunnitelmassa. Sen tarkoituksena on osoittaa, miten Posivan johtamisjärjestelmää sovelletaan laitosprojektissa. Laatusuunnitelman määrittelemien menettelyiden toteutumista arvioidaan säännöllisesti laadittavissa edistymäarvioinneissa sekä laitosprojektiin kohdistettujen auditointien tai viranomaistarkastusten yhteydessä.

Tuotteiden vaatimustenmukaisuuden varmistamiseksi Posiva laatii järjestelmä- tai suunnittelualakohtaiset laatusuunnitelmat. Toimittajaa koskevat toteutustapa-vaatimukset esitetään hankintavaiheessa toimittajaspesifikaatioissa, joiden perusteella toimittajat laativat toimituskohtaiset laatusuunnitelmat. Suunnitelmien toteutumista seurataan toimitusvalvontamenettelyillä sekä tuotteeseen kohdistuvilla tarkastuksilla.

4.3.2 Laadunvalvonta

Laadunvalvonnan tarkoituksena on varmistaa, että valmistettavat tuotteet ja rakenteet vastaavat niille asetettuja vaatimuksia. Vaatimukset esitetään suunnitelmissa.

Tulevan ydinjätelaitoksen rakentamisen laatua hallitaan toimimalla Posivan johtamisjärjestelmän ohjeistuksen mukaisesti. Toiminta on esitetty organisaatiokäsikirjassa. Laadunvalvontaan liittyvä ohjeistus on luettavissa johtamiskäsikirjaan kuuluvassa tarkastuskäsikirjassa. STUK on Posivan ydinjätelaitosten rakentamislupaan liittyvässä turvallisuusarviossa (11.2.2015) todennut Posivan laadunvalvonnan täyttävän ydinlaitosrakentamisen vaatimukset.

Posivan laadunvalvonta

Posivan laadunvalvonta vastaa tarkastustoiminnasta rakentamisessa ja laitteiden valmistuksessa (mekaniikka, painelaite, sähkö, rakennustekniikka) ja kalliorakentamisen laadunvalvonnasta. Laadunvalvonta toimii myös prototyyppilaitteiden tarkastajana ja näiden laitteiden FAT- (Factory Acceptance Testing, tehdastestaus) ja SAT- (Site Acceptance Testing, käyttöönottotestaus) testien valvojana.

Posivan laadunvalvontaa toteuttaa Posivan turvallisuusyksikköön kuuluva riippumaton laadunvalvontaryhmä. Laadunvalvontaryhmän henkilöstö kuuluu hallinnollisesti TVO:n Laadunohjauksen Osaamiskeskukseen, mutta toimii operatiivisesti Posivalla Posivan johtamiskäsikirjan mukaisesti. Laadunvalvontaryhmää johtaa ryhmäpäällikkö, joka vastaa siitä, että tarkastustoiminta tapahtuu oikea-aikaisesti ja ohjeistoa noudattaen. Eri tekniikan alueille on omat asiantuntijat, jotka vastaavat oman alueensa tarkastustoiminnasta. Näitä tekniikka-alueita ovat mekaniikka ja painelaitteet, rakennustekniikka, sähkötekniikka ja kalliorakentaminen. Posivan laadunvalvonta hyödyntää TVO:n Laadunohjauksen Osaamiskeskusta, kun tarvitaan lisää tarkastajia.

Posivan laadunvalvontaryhmän tehtävänä on toimia tarkastustoiminnan osalta yhteyshenkilönä viranomaiseen (STUK). Laadunvalvontaryhmän päällikkö on vastannut siitä, että YVL-ohjeiden vaatimat yleistarkastussuunnitelmat liittyen rakentamislupaan tulivat hyväksytyksi (TL 3 painelaitteiden, teräsrakenteiden ja betonirakenteiden yleistarkastussuunnitelmat). Muut YVL-ohjeiden vaatimat yleistarkastussuunnitelmat tullaan hyväksyttämään STUKissa siten, että ne ovat käytössä rakennesuunnitelmien teon yhteydessä.

Laadunvalvontaryhmä tarkistaa omalta vastuualueeltaan rakennesuunnitelmat. Tarkastuksessa katsotaan, että suunnitelmassa esitetyt tarkastussuunnitelmat täyttävät yleistarkastussuunnitelmien vaatimukset.

Laadunvalvonta tekee Posivan QC-tarkastukset. Tarkastuskutsu tulee taholta, jonka vastuulla ko. valmistus on. Tarkastukset perustuvat hyväksytyihin rakennesuunnitelmiin ja niissä oleviin tarkastussuunnitelmiin. Jokaisesta tarkastuksesta tehdään pöytäkirja. Jos tarkastettava kohde vaatii STUKin tai STUKin hyväksymän auktorisoidun tarkastuslaitoksen hyväksynnän, laadunvalvonta hoitaa yhteyden ja kutsun ko. viranomaiselle.

Laadunvalvontaryhmän vastuuhenkilö vastaa ohjeen YVL E.12 mukaisten Posiva käyttämien testauslaitosten hyväksynnöistä STUKille. Posivalla itsellään ei ole NDT (Non-Destructive testing, ainetta rikkomaton testaus) testaajia. NDT-testaajat kutsutaan Posivan laadunvalvonnan toimesta TVO:n Laadunohjauksen osaamiskeskuksesta.

Laadunvalvonnan toteutuminen projektissa

Laitosprojektin järjestelmä- tai suunnittelualakohtaisissa laatusuunnitelmissa on määriteltä kuhunkin toteutusprosessin vaiheeseen liittyvät valvontamenettelyt.

Laitosprojektissa vuoden 2015 alkupuolella käynnistyneen teknisen toteutussuunnittelu-työn aikana toimitusvalvontaan kuuluvat mm. katselmukset, ohjauspalaverit, suunnittelupäiväkirja ja avointen asioiden lista. Toimittaja laatii Posivalle luovutettavasta suunnitteluaineistosta toimittajan yhteenvedon ja Posiva perusteluyhteenvedon hyväksyntäkatselmuksen jälkeen. Yhteenvedoissa osoitetaan, että suunnittelu täyttää kohteelle asetetut vaatimukset. Niissä kuvataan myös organisaatioiden suorittaman tarkastuksen laajuus ja syvyys.

Toteutusvaiheessa Laitosprojektissa suoritetaan edellisessä luvussa kuvatun tarkastuksen lisäksi toteutuksen työaikaista valvontaa, josta vastaa toteutuksesta vastuussa oleva henkilö. Kunkin kohteen valvonta määritellään järjestelmä- tai suunnittelualakohtaisessa laatusuunnitelmassa tai laite- tai rakennespesifikaatiossa. Kaiken valvonnan (myös tarkastusten) toteutumisesta vastaa kohteesta vastuussa oleva henkilö, joka kutsuu tarkastussuunnitelmien mukaisesti tarkastuksiin Posivan laadunvalvontaryhmän.

4.3.3 Ympäristöturvallisuus

Posivassa on standardin ISO 14001:2004 mukaan sertifioitu ympäristöasioiden hallintajärjestelmä. Järjestelmän avulla pyritään varmistamaan johtamisjärjestelmässä ympäristönhallinnalle asetettujen päämäärien saavuttaminen. Ympäristönhallinnan suunnittelun perustana on säännöllinen ja systemaattinen merkittävien ympäristönäkökohtien tunnistaminen ja riskien arviointi sekä hallintatoimenpiteiden suunnitelmallinen toteuttaminen.

Posivassa kukin organisaatioyksikkö vastaa omaan toimintaansa liittyvien ympäristöriskien tunnistuksesta ja hallinnasta. Ympäristönäkökohtien tunnistamisella ja hallinnalla pyritään myös siihen, että toiminnalla ei pilata tutkimustuloksia tai loppusijoitustilaa.

Käytännön toimina huolehditaan siitä, että jätettä syntyy mahdollisimman vähän ja ettei jätteestä aiheudu vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. Jätteen syntymistä ehkäistään mm. raaka-aineiden säästeliäällä käytöllä.

Ympäristövahinkojen ennaltaehkäisy on Posivan ympäristöriskien hallinnan yksi keskeinen tavoite. Mikäli vahinko kuitenkin sattuu, on tavoitteena torjua siitä mahdollisesti aiheutuvat terveys- ja ympäristöhaitat. Ympäristövahingot kirjataan ja käsitellään Posivan havaintojen käsittelymenettelyllä. Posivan turvallisuusyksikkö seuraa ja arvioi ympäristövahinkojen käsittelyä ja tekee tarvittaessa ehdotuksia lisätoimenpiteistä.

Posivan alueilla toteutettavissa projekteissa noudatetaan Posivan ympäristöhallintajärjestelmän menettelyjä. Menettelyt sekä toimialuekohtaiset järjestelyt perehdytetään Posivan henkilöstölle sekä Posivan alueilla toimiville toimittajille ja heidän alihankkijoidensa henkilöstölle tulo-, alue- ja perehdytyskoulutuksissa. Muissa Posivan toimeksiannoissa toimittajat kuvaavat ympäristöasioiden huomioinnin toimeksiantokohtaisessa laatusuunnitelmassa tai se varmistetaan toimittajan arvioinnilla.

ONKALO-alueella työmaavalvojat valvovat ympäristöhallintajärjestelmän menettelyjen noudattamista mm. jätteiden käsittelyä ja lajittelua sekä ympäristövahinkojen ennaltaehkäisyä.

4.3.4 Ydinturvallisuus

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ydinturvallisuutta on menneellä ohjelmakaudella kehitetty mm. päivittämällä radioaktiivisten aineiden hallintaan liittyviä suunnitelmia. Käytetyn polttoaineen käsittelyyn liittyvien odotettavissa olevien käyttöhäiriöiden ja oletettujen onnettomuuksien osalta on mm. tarkistettu päästö- ja säteilyannoslaskelmien lähtöoletuksia ja arvioitu sähkönmenetystilanteiden vaikutusta radioaktiivisten aineiden päästöihin sekä laitosten selviytymistä onnettomuustilanteista. Myös päästölaskennassa tarvittava sääaineisto päivitettiin uudempaan Olkiluodossa mitattuun aineistoon sekä kapselointilaitoksen päästökorkeutta tarkistettiin suhteessa laitossuunnitelmien kehitykseen. Käytetyn polttoaineen käyttöturvallisuuden lisäksi on menneellä ohjelmakaudella arvioitu laitosjätteen käsittelyyn liittyviä odotettavissa olevia käyttöhäiriöitä ja oletettuja onnettomuuksia. Ympäristön väestölle kohdistuvat säteilyvaikutukset alittavat viranomaisten asettamat annosrajat kaikissa sekä käytetyn ydinpolttoaineen että laitosjätteen käsittelyyn liittyvissä tilanteissa.

Menneellä ohjelmakaudella on analysoitu myös käytetyn polttoaineen kriittisyysturvallisuutta polttoaineen kapseloinnin aikana sekä polttoaineen jälkilämmön poistoon vaikuttavia häiriö- ja onnettomuustilanteita. Kriittisyysturvallisuus ja jälkilämmön poisto huomioidaan kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen järjestelmien, laitteiden ja rakenteiden suunnittelussa siten, että turvallisuutta voidaan laitoksen käytön aikana ylläpitää ensisijaisesti rakenteellisin ratkaisuin ilman aktiivisia toimenpiteitä. Myös kapselointi- ja loppusijoituslaitokseen kohdistuvia sisäisiä ja ulkoisia uhkia on arvioitu. Tällaisia uhkia ovat mm. tulipalot, raskaiden taakkojen putoamiset, rakenteiden sortumiset, räjähdönnettomuudet, kovat tuulet ja rankkasateet. Uhkat huomioidaan laitossuunnittelussa siten, etteivät ne voi aiheuttaa radioaktiivisten aineiden päästöihin johtavia käyttöhäiriö- tai onnettomuustilanteita.

Menneellä ohjelmakaudella on päivitetty kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen alustavaa luokitusasiakirjaa, valmistauduttu todennäköisyysanalyysien päivittämiseen sekä aloitettu turvallisuusteknisten käyttöehtojen laatiminen.

Ydinturvallisuus on huomioitu kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen järjestelmien vaatimusmäärittelyssä. Ydinturvallisuus on huomioitu myös tilanteissa, joissa järjestelmien vaatimuksia on jouduttu suunnittelun edetessä muuttamaan.

Laitosprojektissa vuoden 2015 alkupuolella käynnistyneen teknisen toteutussuunnittelutyön aikana suunnittelun tulosaineisto katselmoidaan, tarkastetaan ja hyväksytään toteutussuunnittelua varten laadittujen menettelyjen mukaisesti. Toteutussuunnittelussa esiin tulevat muutosehdotukset käsitellään konfiguraation- ja muutostenhallintamenettelyjen mukaisesti. Ydinturvallisuuden edustaja osallistuu tarvittavin osin suunnittelun tulosaineiston katselmointi-, tarkastus- ja hyväksyntätöihin. Muutostenhallintamenettelyn mukaisesti ydinturvallisuuden edustaja arvioi muutosehdotuksen ydinturvallisuusmerkityksen ja hyväksyttävyyden.

4.3.5 Säteilyturvallisuus

Menneellä ohjelmakaudella päivitettiin kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen säteily-suojelusuunnitelmaa tarkastelemalla mm. laitosten säteilylähteitä ja valvonta-alue- luokittelua. Myös jo olemassa olevaa laitosten käyttövaiheen säteily-suojelutoimintaa koskevaa suunnitelmaa laajennettiin. Menneellä ohjelmakaudella eriytettiin myös rakentamislupahakemusaineistoon kuuluva ympäristön radioaktiivisuuden perustilaselvityksen suunnitelma monitorointiohjelmasta erilliseksi asiakirjaksi ja täydennettiin suunnitelmaa erityisesti laitosalueen suunnitelmilla.

Menneellä ohjelmakaudella on tarkistettu ja täydennetty kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakenteiden säteilymitoituslaskelmia. Myös säteilymittausjärjestelmien kehitystä on jatkettu, ja järjestelmille on laadittu vaatimusmäärittelyt. Säteilyturvallisuus on huomioitu myös muiden järjestelmien vaatimusmäärittelyissä. Säteilyturvallisuus on huomioitu myös tilanteissa, joissa järjestelmien vaatimuksia on jouduttu suunnittelun edetessä muuttamaan.

Laitosprojektissa vuoden 2015 alkupuolella käynnistyneen teknisen toteutussuunnittelutyön aikana suunnittelun tulosaineisto katselmoidaan, tarkastetaan ja hyväksytään toteutussuunnittelua varten laadittujen menettelyjen mukaisesti. Toteutussuunnittelussa esiin tulevat muutosehdotukset käsitellään konfiguraation- ja muutostenhallintamenettelyjen mukaisesti. Säteilyturvallisuuden edustaja osallistuu tarvittavin osin suunnittelun tulosaineiston katselmointi-, tarkastus- ja hyväksyntätöihin. Muutostenhallintamenettelyn mukaisesti säteilyturvallisuuden edustaja arvioi muutosehdotuksen säteilyturvallisuusmerkityksen ja hyväksyttävyyden.

4.3.6 Valmiusjärjestelyt

Menneen ohjelmakauden aikana kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen valmiusjärjestelyjen alustava suunnitelma on hyväksytty, ja ydinenergiailain tarkoittama valmiusjärjestelyjen vastuuhenkilö on hyväksytty ja nimetty tehtävänsä.

Valmiustoimintaan liittyvät tilat, järjestelmät ja laitteet on huomioitu osana laitossuunnittelua. Tällaisia tiloja ovat mm. nostinlaiterakennuksen käyttökeskuksen yhteydessä oleva valmiuskeskus, nostinlaiterakennuksen väestönsuoja, nostinlaiterakennuksen sosiaalitilojen yhteydessä sijaitsevat henkilöstön dekontaminointitilat sekä loppusijoituslai-

toksen maanalaiset turvakeskukset. Vastaavasti kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen järjestelmäsuunnittelussa on huomioitu valmiustoiminnan tarvitsemat järjestelmät ja laitteet, joita ovat mm. viestintä- ja hälytysjärjestelmät, tiedonvälitysjärjestelmät, päästöjen arviointiin ja mittaamiseen liittyvät järjestelmät sekä kiinteät ja kannettavat säteilymittausjärjestelmät.

4.3.7 Ydinmateriaalivalvonta

Säteilyturvakeskuksen ilmoituksen mukaan Posivan toimintaa ja ONKALON rakentamista valvotaan ydinenergialain sekä Kansainvälisen atomienergiajärjestön (International Atomic Energy Agency, IAEA) ja Euroopan unionin (EU) säädösten mukaisesti. Valvonnan ohjeistamiseksi Posiva on laatinut ydinsulkuvalvontakäsikirjan, joka on hyväksytty STUKissa ensimmäisen kerran vuonna 2005. ONKALON rakentamisen aikana Posivan ydinsulkuvalvontakäsikirjassa on käytetty ydinenergialain mukaisesta ydinmateriaalivalvonnasta nimitystä ydinsulkuvalvonta, sillä valvonta on kohdistunut maanalaisen tilan valvontaan. Ydinlaitosten rakentamiseen valmistauduttaessa on tarkoituksenmukaista muuttaa käsikirja ydinmateriaalivalvonnan käsikirjaksi. Käyttölupahakemuksen valmistauduttaessa käsikirja täydennetään ydinmateriaalien kirjanpitoa ja raportointia koskevalla osalla.

Käsikirjassa määritellään Posivaa koskevat raportointi- ja ilmoitusvelvoitteet sekä ohjeistetaan tarkastuksiin valmistautuminen. STUK, IAEA ja Euroopan komissio tekevät vuosittain erityisesti ONKALON suunnittelu- ja toteumatietojen tarkastuksia. ONKALON laajuuteen määriteltyjen tilojen rakentaminen jatkuu vielä tulevina vuosina ja näiden tilojen valvonta toteutetaan vakiintuneilla menettelyillä. Ydinsulkuvalvontamenettelyn tarkoituksena on omalta osaltaan mahdollistaa, että ONKALO voi olla osa loppusijoitustilaa.

Posivan kapselointilaitoksen ja loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemuksen yhteydessä STUKille toimitettiin ydinenergia-asetuksen 35 §:n mukainen *suunnitelma ydinaseiden leviämisen estämiseksi tarpeellisen valvonnan järjestämisestä*. Suunnitelmassa esitettiin alustavina ne tekniset ja hallinnolliset toimenpiteet, joilla ydinmateriaalivalvonta toteutetaan loppusijoitustoiminnan aikana. STUK hyväksyi suunnitelman 12.12.2014 päivätyllä kirjeellään vaatimuksilla huomioida ja mahdollistaa IAEA:n ja Euroopan komission valvonta kapselointilaitoksen ja loppusijoituslaitoksen jatkosuunnittelussa ja toteutuksessa.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen kansainvälisen valvonnan periaatteet kehittyvät edelleen rakentamisaikana, joten käsikirjaa päivitetään tarpeen mukaan kattamaan tarkentuvat vaatimukset. Loppusijoitustoiminnan ydinmateriaalivalvontaa kehitetään IAEA:n ja Euroopan komission perustamassa EPGR-projektissa (Encapsulation Plant and Geological Repository). Vuonna 2014 valmistui Suomea koskeva kapselointilaitoksen valvontakonsepti, jossa kuvataan valvonnan kattavuus, menetelmät ja laitteet. Konseptin tarkoituksena on esittää valvonnan tekniset vaatimukset, jotta Posiva voi huomioida ne kapselointilaitoksen layoutissa ja järjestelmäsuunnittelussa. Maanalaisen toiminnan valvonnan kehitys jatkuu tulevina vuosina.

Ydinmateriaalivalvonta toteutetaan Posivan Turvallisuusyksikön alaisuudessa. Ydinmateriaalivalvonnan vastuuhenkilönä toimii nimetty henkilö ja hänellä on varahenkilö. Molemmilla vastuuhenkilöillä on STUKin hyväksyntä.

Laitosprojektissa vuoden 2015 alkupuolella käynnistyneessä teknisessä toteutussuunnittelutyössä on huomioitu ydinmateriaalivalvontaa varten toteutettavien valvontalaitteiden ja tiedonsiirtojärjestelmien varaukset siinä laajuudessa, kuin laitekuvaukset ja -vaatimukset on saatu valvontaa suorittavalta organisaatiolta. Laitekuvaukset ja -vaatimukset tarkentuvat Posivan teknisen toteutussuunnittelun ja valvontaa suorittavan organisaation menetelmä- ja laitesuunnittelutyön edetessä.

Ydinmateriaalivalvonnan vastuuhenkilö osallistuu tarvittavin osin layout- ja järjestelmäsuunnitteluun, toteutussuunnittelun tulosaineiston katselmointi-, tarkastus- ja hyväksyntätyöhön sekä muutosehdotusten vaikutusten ja hyväksyttävyyden arviointiin.

4.3.8 Yritysturvallisuus

4.3.8.1 Työturvallisuus

Työturvallisuus on osa yritysturvallisuuden hallintaa ja siten myös osa Posivan johtamisjärjestelmää. Posivalla työterveys- ja työturvallisuusasioihin liittyvien menettelyjen tarkoituksena on varmistaa posivalaisten työterveyden ja työturvallisuuden (myöhemmin TTT) ylläpito ja edistäminen sisältäen työolojen kehittämistarpeet ja työympäristöön liittyvien tekijöiden vaikutukset. Menettelyillä varmistetaan myös, ettei Posivan hallinnoimilla alueilla (yhteiset työpaikat) työskentelevien ulkopuolisten toimijoiden henkilöstön terveyttä tai turvallisuutta vaaranneta.

Laitosprojektissa käynnistettyihin osaprojekteihin (Kapselointilaitosprojekti ja Loppusijoituslaitosprojekti) on nimitetty turvallisuuskoordinaattori. Turvallisuuskoordinaattorin tehtävänä on huolehtia siitä, että valtioneuvoston asetuksessa 205/2009 (VNa rakennustyön turvallisuudesta) rakennuttajalle tehtäväksi asetetut turvallisuutta ja terveellisyttä koskevat toimenpiteet tulevat tehdyiksi.

Kapselointilaitos- sekä Loppusijoituslaitos-osaprojektien rakennushankkeille on laadittu lain (VNa 205/2009 8§) vaatimat turvallisuusasiakirjat ja niitä päivitetään projektin edetessä. Turvallisuusasiakirja on rakennuttajan laatima asiakirja, jossa esitetään ja selvitetään kyseessä olevan rakennushankkeen ominaisuuksista, olosuhteista ja luonteesta aiheutuvat haitta- ja vaaratekijät sekä hankkeen toteuttamiseen liittyvät tarpeelliset työterveyttä ja -turvallisuutta koskevat tiedot.

Turvallisuusasiakirjasta suunnittelijat sekä toteutusta valmistelevat tahot saavat lähtötietoja työturvallisuuden huomioimiseksi suunnitelmia laadittaessa ja hanketta valmisteltaessa.

4.3.8.2 Pelastustoiminta

Pelastustoiminta on osa yritysturvallisuuden hallintaa ja Posivan johtamisjärjestelmää. Posivan pelastustoimintaan liittyvien menettelyiden tarkoituksena on ennaltaehkäistä tulipalot ja rajata syntyvät vahingot mahdollisimman pieniksi ja paikallisiksi.

Palotekninen suunnittelu, kapselointilaitos ja loppusijoituslaitos

Paloteknisen suunnittelun koordinoinnista Posivan ydinlaitoksissa vastaa TVO:n palotekninen suunnittelija. Vuoden 2014 syksyllä on laadittu "palokonseptit" maanalaiseen loppusijoituslaitokseen sekä kapselointilaitokseen. Palokonseptit on laadittu yhteistyössä Posivan suunnittelun ja TVO:n laitospalokunnan kanssa. Palokonseptien tarkoitus on toimia ohjaavina asiakirjoina varsinaiselle tarkemmalle palotekniselle suunnittelulle sekä järjestelmien suunnittelulle. Keskeinen osa palokonsepteissa on ydinlaitoksille asetettujen palo- ja henkilöturvallisuusvaatimusten täyttymisen varmistaminen.

Palokonsepteilla varmistetaan paloturvallisuuden syvyyspuolustusperiaatteiden toteutuminen ydinlaitoksen suunnittelussa, rakentamisessa sekä käyttövaiheessa. Palontorjunnan syvyyspuolustusperiaatteen tavoite on estää palon syttyminen, havaita ja sammuttaa palo nopeasti, estää palon kehittyminen ja leviäminen sekä rajoittaa palon vaikutukset siten, että turvallisuustoiminnot voidaan toteuttaa luotettavasti palon vaikutuksista huolimatta. Ydinlaitosten paloturvallisuuden syvyyspuolustusperiaatteen toteutuminen varmistetaan sekä aktiivisin että passiivisin palontorjunnan keinoin.

Passiivinen palontorjunta tarkoittaa laitoksen rakenteellista palontorjuntaa, kuten palo-osastointia yhdessä laitoksen toiminnallisen suunnittelun ja tilasuunnittelun kanssa (layout), jonka tehtävänä on varmistaa mahdollisimman pitkälle ydinlaitoksen turvallisuus palotilanteissa ilman aktiivisia sammutustoimenpiteitä.

Aktiivinen palontorjunta täydentää passiivista laitoksen tilasuunnitteluun, palo-osastointiin ja palonkestäviin rakenteisiin liittyvää palontorjuntaa. Aktiiviseen palontorjuntaan kuuluvat mm. paloilmoin- ja sammutusjärjestelmät, savunpoistojärjestelmät, turvavalaistus sekä palokunnan operatiivinen palontorjunta.

Posivalla on laadittu aikaisemmin järjestelmäkuvauksia ja paloteknisiä suunnitelmia mm. kapselointilaitokseen ja loppusijoituslaitokseen. Ennen palokonseptien julkaisua laaditut suunnitelmat päivitetään palokonsepteissa esitettyjen näkökohtien pohjalta. Paloteknisestä suunnittelusta vastaavaa tahoja ei ole nimetty tässä vaiheessa.

Operatiivinen pelastustoiminta

Suurin maan alaisiin tiloihin liittyvä henkilöturvallisuusriski niin rakentamisen kuin loppusijoitustoiminnan aikana on tulipalo. TVO:n laitospalokunta on koulutettu toimintamalliin, jonka mukaisesti mahdollisessa onnettomuustilanteessa voidaan noutaa ONKALOSSA olevat henkilöt pois maanalaisista tiloista. Palokunnan toimintamalli on tarkentumassa sisäiseksi ohjeeksi. Nykyisten rakentamisen järjestelyjen ollessa voimassa (2015) pelastustoiminnan organisointi ja toteuttaminen maanalaisissa tiloissa on erittäin haastavaa mm. viestiliikenteen, erityisriskien sekä paloturvallisuustekniikkaan liittyvien haasteiden vuoksi.

Nykytilanteessa operatiivisen pelastustoiminnan painopiste onnettomuustilanteissa on ihmisten evakuointi tilanteen sallimissa rajoissa. ONKALOON on järjestetty kiinteitä savutiiviitä suojatiloja sekä liikuteltavia turvakontteja itsepelastautumisen mahdollista-

miseksi. Tuloilmakuilussa 1 sijaitseva pelastuskori toimii palokunnan ohjaamana hyök-
käystienä sekä ONKALOn käyttäjien varapoistumistienä.

TVO:n laitospalokunnan Posivalle määrätty vastuupalomestari tekee riskiperusteista selvitystyötä siitä, millä edellytyksillä laitospalokunta ja pelastusviranomaiset voivat tulevaisuudessa toimia onnettomuustilanteen aikana loppusijoituslaitoksen palokonseptin mukaisissa valmiissa ydinlaitostiloissa (maalaiset tilat). Selvitystä hyödynnetään tulevaisuudessa mm. pelastusviranomaisen ja TVO:n laitospalokunnan koulutuksessa ja toimintasuunnitelmissa. Selvitystyössä tuotetaan tarvittavaa taustatietoutta, jolla tarvittaessa kohdennetaan loppusijoituslaitoksen palokonseptissa esitettyjä, palokunnan operatiiviseen toimintaan liittyviä vaatimuksia.

4.3.8.3 Turvajärjestelyt

Posivan laitosten turvajärjestelyjen tarkoituksena on varmistua siitä, että ydinlaitoksen ja siellä käsiteltävien ydinjätteiden turvallisuus ei vaarannu lainvastaisen toiminnan seurauksena. Turvajärjestelyt koostuvat rakenteellisista ja teknisistä järjestelmistä ja hallinnollisista toimenpiteistä ja kattavat käynnissä olevan tutkimusvaiheen, rakentamisen ja käyttötoiminnan loppusijoituslaitoksen sulkemiseen saakka.

Ydinenergian käytön turvajärjestelyjä koskevat velvoitteet esitetään ydinenergiailaissa (880/1987), ydinenergia-asetuksessa (161/1988) ja ydinenergian käytön turvajärjestelyjä koskevassa valtioneuvoston asetuksessa (734/2008). Ydinlaitoksia koskeva YVL-ohjeisto on uusittu ja turvajärjestelyjä koskeva ohje YVL A.11 on laadittu sellaisenaan sovellettavaksi kaikille ydinlaitoksille. Erityyppisten laitosten yksityiskohtaiset vaatimukset on esitetty luottamuksellisissa liitteissä. YVL A.11 -ohjeen sekä ydinaineiden ja ydinjätteen kuljetusten turvajärjestelyjä koskevan ohjeen YVL D.2 vaatimukset on huomioitu rakentamislupahakemuksessa siinä laajuudessa kuin YEL ja YVL-ohjeet edellyttävät hankkeen eri vaiheissa.

Posivan laitosten turvajärjestelyt on suunniteltu mainittujen säädösten mukaisiksi ja kuvattu rakentamislupahakemuksen jättämisen yhteydessä STUKille toimitetussa, YEA 35 §:n tarkoittamassa alustavassa turvajärjestelysuunnitelmassa. Suunnitelmassa on huomioitu myös periaatetasolla polttoaineen kuljetukset ydinvoimalaitoksilta kapselointilaitokselle. Aineistoa koskee ydinenergiain 78 §:n mukainen luottamuksellisuus.

Turvajärjestelyt on sovitettu yhteen käyttötoiminnan, paloturvallisuuden ja valmiusjärjestelyjen kanssa. Samoin turvajärjestelyt on sovitettu yhteen viranomaisten laatimien pelastus-, valmius- ja erityistilannesuunnitelmien kanssa.

Posiva on toimittanut ydinlaitoksen rakentamislupahakemuksen yhteydessä STUKille YEA 35 §:n mukaisen alustavan turvasuunnitelman ja käyttöluupahakemuksen yhteydessä toimitetaan YEA 36 §:n mukainen lopullinen turvasuunnitelma. Turvajärjestelyissä tukeudutaan TVO:n turvajärjestelyihin ja TVO huolehtii ONKALOn ulkopuolisten alueiden turvajärjestelyistä.

Rakentamislupahakemuksen käsittelyaika

Rakentamislupahakemuksen käsittelyvaiheen aikana Posiva on valmistautunut rakentamisen aloittamiseen ja toteuttanut alustavassa turvajärjestelmäsuunnitelmassa esitettyjä turvajärjestelyjä. Turvajärjestelyt pitävät sisällään kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen työmaa-alueen turvajärjestelyjen rakentamisen siten, että ne varsinaisessa ydinlaitoksen rakentamiskäytössä luovat perustan toteuttaa YEL:n ja YEA:n edellyttämät turvajärjestelyt.

Rakentamisen aikaisten turvajärjestelyjen tarkoituksena on toteuttaa seuraavat turvallisuuteen liittyvät kohdat:

- Havaita lainvastainen toiminta ja käynnistää vastatoimenpiteet, jotka on kuvattu TVO:n ja Posivan yhteisessä turvaohjesäännössä.
- Estää lainvastainen toiminta, jonka tarkoituksena on vahingoittaa henkeä, terveyttä ja omaisuutta työmaa-alueella.
- Estää luvaton pääsy alueelle.
- Varmistaa henkilöiden luvallisuus alueelle tai tiloihin kulunvalvonnan avulla.
- Estää varkaudet, väkivallanteot, päihtyneenä olon (0-toleranssi) ja muut kielletyt asiat työmaa-alueella (alkoholi, huumeet).
- Poistaa luvattomasti alueella olevat henkilöt.
- Suojata työntekijöitä onnettomuuksilta ja vahingoilta niiltä osin, kuin ne liittyvät turvajärjestelyihin.
- Ennalta ehkäistä vaaran tai tahattoman vahingon syntyminen (räjähteet, nostokaluston tarkastus, yms.).

Työmaa-alueella liikkumista valvotaan ja alueelle pääsy edellyttää henkilötunnistusta. Alueella työskentelyn edellytyksenä ovat etukäteen tehtävät turvallisuusselvitykset sekä tulokoulutukset, joilla taataan henkilön kelpoisuus sekä annetaan tarpeelliset tiedot toimia oikein ja turvallisesti alueella. Materiaalien ja ajoneuvojen luvallisuus tarkastetaan portilla.

Käytetyn polttoaineen kuljetusten turvallisuus

Ydinjätekuljetukset luvitetaan ydinenergialain mukaisesti erillään kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen luvituksesta, ohjeen YVL D.2 mukaisesti. Kuljetusten turvallisuusperiaatteet kuvataan myös kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen turvallisuusselosteessa (PSAR/FSAR). Kuljetusten turvajärjestelyt toteutetaan voimassa olevien säädösten mukaisesti ja esitetään kuljetusten turvajärjestelyjä koskevassa turvasuunnitelmassa. Kuljetusten osalta Posiva on selvittänyt vaihtoehtoisia kuljetusmuotoja ja kuljetusten toteutustapaa sekä reittejä ja niihin liittyviä riskejä (Suolanen & Rossi 2012). Posiva on myös laatinut YVL A.1 -ohjeen mukaisen alustavan selvityksen kuljetusten turvajärjestelyistä.

YEL:n mukaan Posiva on nimennyt ja esittänyt turvajärjestelyjen vastuuhenkilön ja tämän varahenkilön STUKille hyväksyttäväksi. Posivan on myös nimennyt henkilön edustajakseen Turvajärjestelyasetuksen, VNA 734/2008, mukaiseen ydinalan turvajärjestelyjen neuvottelukuntaan (TJNK).

Turvajärjestelyiden huomioiminen laitosprojekteissa

Posivan laitosten turvajärjestelyt on suunniteltu ja kuvattu rakentamislupahakemuksen jättämisen yhteydessä STUKille toimitetussa alustavassa turvajärjestelysuunnitelmassa. Turvajärjestelyjen edellyttämät rakenteelliset ja toiminnalliset vaatimukset on viety kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen järjestelmien vaatimusmäärittelyihin. Vaatimusmäärittelyt toimivat toteutussuunnittelun lähtötietoaineistona.

Laitosprojektissa vuoden 2015 alkupuolella käynnistyneen teknisen toteutussuunnittelutyön aikana suunnittelun tulosaineisto katselmoidaan, tarkastetaan ja hyväksytään toteutussuunnittelua varten laadittujen menettelyjen mukaisesti. Turvajärjestelyjen edustaja osallistuu tarvittavin osin laitosten layout-, järjestelmä- ja toteutussuunnitteluun sekä laitosten operointikonseptien suunnitteluun.

Toteutussuunnittelussa esiin tulevat muutosehdotukset käsitellään konfiguraation- ja muutostenhallintamenettelyjen mukaisesti. Turvajärjestelyjen edustaja osallistuu suunnittelun tulosaineiston katselmointi-, tarkastus- ja hyväksyntätyöhön. Muutostenhallintamenettelyn mukaisesti turvajärjestelyjen edustaja arvioi turvajärjestelyjen osalta muutosehdotuksen turvallisuusmerkityksen ja hyväksyttävyyden.

4.3.8.4 Tietoturvallisuus

Posivalla on mittavasti kehitetty tietoturvallisuutta kaikilla sen osa-alueilla mm. ohjeistot, käytännöt ja koulutus. Posiva on laatinut tietoturvallisuussuunnitelmat sekä muita uudessa YVL-ohjeessa A.12 vaadittuja suunnitelmia ja ohjeita.

Posivalle on perustettu oma tietoturvallisuusryhmä, jonka tehtävänä on valmistella, suunnitella ja koordinoida yhtiön tietoturvallisuuden ylläpitoa ja kehittämistä hallinnollisissa sekä laitek teknisissä ratkaisuissa ja menettelytavoissa. Posivalla on myös otettu käyttöön uudet tietoaineistonluokittelu-ohjeet ja luotu posivalaisia ja toimittajia koskevat vaatimukset tietoturvallisuudelle. Tietoturvallisuuteen liittyvää koulutusta on lisätty ja järjestetty koko henkilöstölle tarkoitettuja tietoturvallisuuskoulutuspäiviä.

Posivalla otetaan käyttöön myös tietoturvallisuuden toimitilakerrokset, joiden tarkoituksena on omavalvonta sekä poikkeamien, kehityskohteiden ja puutteiden havainnointi. Näiden toimenpiteiden perusteella suoritetaan tietoturvallisuuden itsearviointia sekä luodaan menetelmät jatkuvan parantamisen toteuttamiseen.

Laitosprojektin toiminnassa on otettu käyttöön uudet tietoaineiston luokitteluohjeet sekä tietoturvallisuudelle asetetut vaatimukset. Toimittajien tietoturvallisuudelle asetetut vaatimukset on liitetty toimittajavaatimuksiin ja toimeksiantojen tarjouskyselyillä. Toimittajien hyväksyntään liittyvissä arvioinneissa/auditoinneissa tarkastetaan soveltuvin osin toimittajien kyky täyttää tietoturvallisuudelle asetetut vaatimukset.

Tietoturvallisuuteen liittyvää koulutusta on järjestetty projektihenkilöstölle.

4.3.9 Pitkäaikaisturvallisuus

Pitkäaikaisturvallisuutta on käsitelty vuonna 2012 jätetyssä kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemuksessa ns. turvallisuusperusteluna (TURVA-2012). Turvallisuusperustelua ja sitä tukevaa tutkimusta käsitellään jäljempänä kohdassa 4.9.

Laitosprojektissa pitkäaikaisturvallisuuden varmistaminen liittyy ensisijaisesti loppusijoituslaitoksen kalliotilojen suunnitteluun ja rakentamiseen. Kalliorakenteiden suunnittelun ja toteutuksen aikana varmistetaan, että pitkäaikaisturvallisuuden kannalta tärkeät kallioperän ominaisuudet säilyvät ja että toteutetut kalliotilat täyttävät niille asetetut vaatimukset. Pitkäaikaisturvallisuuden kannalta tärkeitä kallioperän ominaisuuksia ovat mm.

- teknisten vapautumisesteiden ja radionuklidien pidättymisen kannalta suotuisat pohjavesikemian olosuhteet
- vähäinen veden virtaus loppusijoitustilojen ympärillä
- mekaanisesti stabiilit olosuhteet.

Menneen YJH-ohjelmakauden 2012–2015 aikana Posivan kehitysosasto tuotti mm. loppusijoituslaitoksen laitos- ja sijoituspaikkatiedot, laitossuunnitelmat sekä vaatimukset ja muut suunnitteluperusteet sellaiselle valmiustasolle, että loppusijoituslaitoksen toteutus suunnittelu oli mahdollista aloittaa. Toteutussuunnittelun lähtötiedoiksi määriteltiin erilliset pitkäaikaisturvallisuusvaatimukset ja pitkäaikaisturvallisuus huomioitiin muiden vaatimusten määrittelyssä, katselmointi- ja hyväksyntätyössä. Posivan on kuvannut vaatimusten määrittelyssä sekä toteutussuunnittelussa noudatettavat menettelyt toteutussuunnittelua varten laaditussa käsikirjassa. ONKALON rakentamisen aikana käytössä ollut pitkäaikaisturvallisuuskriittisten toimintojen (vuotovedet, vieraat aineet, kairaukset ja poraukset sekä louhintavaurio) laadunhallintaohjeistus täydennettiin soveltumaan loppusijoituslaitoksen rakentamiseen ja liitettiin mukaan suunnittelukohteen suunnittelulähtöaineistoon. Pitkäaikaisturvallisuuden edustaja katselmoi sekä tarkastaa tai hyväksyy toteutussuunnitelmat ja muutosehdotukset niiden pitkäaikaisturvallisuusmerkityksen edellyttämällä laajuudella.

4.4 Toteutusvaiheeseen siirtyminen ja valmiuden arviointi

4.4.1 Laitosprojekti ja valmiuden arviointi

Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen toteuttamista varten asetettiin elokuussa 2013 Posivan hallituksen päätöksellä projekti (Laitosprojekti) vastaamaan tämän kokonaisuuden suunnittelusta ja toteutuksesta käyttöönottoineen. Laitosprojekti on täytännönpanosuunnitelmansa mukaisesti jaettu seuraaviin vaiheisiin:

- Toteutussuunnittelu
- Toteutus (sis. rakentaminen, valmistus ja asennukset)
- Käyttöönotto (sisältäen kaikki käyttöönoton vaiheet)
- Projektin lopetus

Laitosprojektin projektisuunnitelmaa päivitetään kunkin vaiheen lopussa ennen seuraavaan vaiheeseen siirtymistä, jolloin tarkennetaan seuraavien vaiheiden sisältöä tarpeen mukaan. Kutakin projektivaihetta edeltää kohta, jossa arvioidaan, voidaanko siirtyä seu-

raavaan vaiheeseen. Tällöin analysoidaan toteutuneen vaiheen työt ja arvioidaan ko. vaiheelle asetettujen tavoitteiden täyttymistä sekä tunnistetaan mahdolliset kehityskoh- teet. Ennen seuraavaan vaiheeseen siirtymistä arvioidaan myös jatkotyöhön liittyvät riskit sen hetkisen tiedon perusteella. Tämän arviointityön on määritelty sisältävän myös muiden Posivan hanketta koskevien epävarmuuksien tilanne ja niiden ratkaisemiseksi tarvittavien toimenpiteiden määrittely. Tämän työn varmistamiseksi perustettiin POSIVARMA-projekti lokakuussa 2014.

Toteutusvaiheeseen siirtymiseksi kesällä 2016 tarvittavien edellytysten täytyminen ja niiden arviointi rakentamisluvan saamisen jälkeen edellyttää paitsi riittävää suunnitel- mavalmiutta ja organisointia myös loppusijoituskonseptin kehitykseen liittyvien epä- varmuuksien arviointia ja hallintaa. Tällöin tavoitteena voidaan edelleen pitää sitä, että käyttö lupaa voidaan hakea noin vuonna 2020.

Projektin toteutussuunnitteluvaiheen tavoitteena on tuottaa valmiudet sille, että projek- tin toteutusvaihe voidaan aloittaa kohtuullisessa ajassa rakentamisluvan saamisen jäl- keen. Siihen mennessä toteutussuunnitteluvaiheessa tulee saavuttaa sekä teknisten suunnitelmien että projektin toimintatapojen ja resurssien osalta riittävä valmius toteu- tusvaiheeseen siirtymiseksi. Toteutussuunnitteluvaiheen onnistumista arvioidaan suun- nitelmien kypsyiden ja avoinna olevien kysymysten perusteella. Toteutusvaiheeseen siirtyminen edellyttää, että merkittäviä asioita ei ole avoinna tai tulee olla selkeä käsitys, että ne voidaan ratkaista riittävän aikaisessa vaiheessa.

Alla on mainittu asioita, joiden perusteella toteutusvaiheeseen siirtymistä ja investointi- päätöksen tekemistä voidaan arvioida:

- Rakentamisluvan myöntämisen ja STUKin sitä edeltäneen puoltavan lausunnon edellytykset täyttyvät.
- Vaatimusmäärittely on tehty kattavasti, suunnitelmat ovat suunnitteluperusteiden ja suunnittelun lähtötietojen mukaisia.
- Toteutussuunnitelmat mahdollistavat viranomaishyväksynnät ja toteutuksen aloituk- sen käytännössä.
- Loppusijoituskonseptin toimintakyvystä on riittävä varmuus ja mahdolliset avoimet asiat on listattu ja niiden ratkaisemiseksi on laadittu uskottavat toimintasuunnitel- mat, jotka on sovitettu yhteen laitoksen toteutuksen kanssa.
- Referenssiratkaisuun liittyvät valinnat on tehty (tai niistä on sovittu).
- Kattava riskitarkastelu on tehty ja riskit huomioitu.
- Aikataulujen riippuvuudet on määritelty.
- Toteutukseen tarvittavat resurssit on olemassa.
- Hankkeen etenemisen edellytykset on varmistettu.
- Toteutusvaiheen menettelytavat on kuvattu ja niihin liittyvä ohjeistus on laadittu.

4.4.2 Epävarmuuksien hallinta

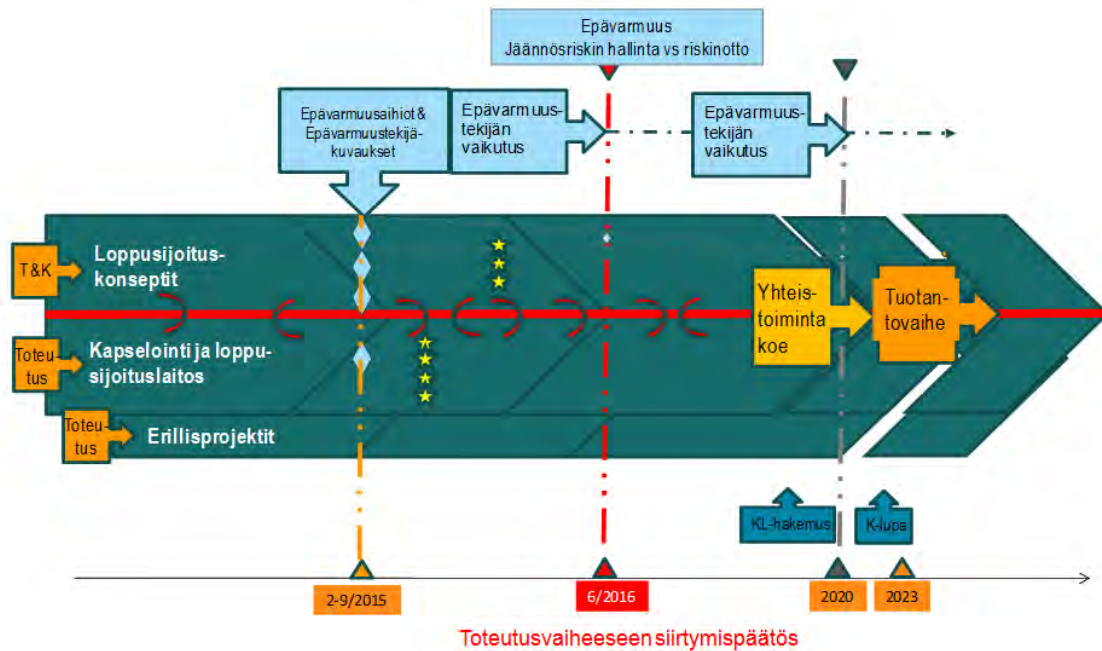
Edellä mainittu projekti (POSIVARMA) epävarmuuksien tunnistamiseksi ja hallitsemi- seksi käynnistettiin lokakuussa 2014. Projekti asetettiin selkiinnyttämään, tuomaan nä- kyväksi ja arvioimaan toteutusvaiheeseen siirtymispäätöksen (6/2016) aikaansaamiseen liittyviä epävarmuuksia. On tiedostettu, että Posivan hankkeeseen liittyvää epävarmuut- ta ei voida poistaa kokonaan, sillä täydellistä tietoa ja varmuutta ei koskaan saada. Pää- töksiin tulee aina sisältymään jäännösriskiä, vaikka päätettävään asiaan liittyviä tutki-

muksellisia asioita arvioidaan miten pitkään ja syvällisesti tahansa. Kattavalla epävarmuuden hallinnalla pystytään perustellusti ja tavoiteltavalla luotettavuudella tekemään päätös, miten paljon epävarmuuksia pitää ja kannattaa selvittää. Toteutukseen siirtymiseen liittyvissä päätöksissä hyväksyttävä jäännösriski luo Posivalle oman haasteensa ja täten tarpeen systemaattiselle, perustelevalle epävarmuudenhallinnalle.

Posivan loppusijoitushankkeeseen liittyviä epävarmuuksia tarkastellaan sekä ylhäältä alas - että alhaalta ylös -menetelmin. Etenemisen ennustaminen ja tutkimukseen ja kehitykseen nojaava, uskottava suunnittelu on kuitenkin osoittautunut vaikeaksi. Tutkimus on tuonut tietoa, mutta samalla myös uusia avoimia asioita, joihin on etsittävä ratkaisut. Monet näistä epävarmuuksista ovat ennen hyväksyttävän ratkaisun aikaansaantia kyseenalaistaneet jopa koko loppusijoituskonseptin toimintavarmuuden ja sen osoittamisen luotettavalla tavalla. Yhtenäisen käsityksen aikaansaaminen on tärkeää, jotta tällaisia kustannuksiin, aikatauluihin tai turvallisuuteen merkittävästi vaikuttavia epävarmuuksia ei enää olisi. Mikäli niitä edelleen on, tiedostetaan, mitä ne ovat ja mitä niille pitää ja voidaan tehdä ennen toteutukseen siirtymistä.

Epävarmuuksien hallinnassa pyritään asiantuntijoiden avulla kehitetyllä systematiikalla tunnistamaan epävarmuusaihioita, ryhmittelemään ne keskeisiksi epävarmuustekijöiksi ja arvioimaan niiden vaikutusta. Näin syntyy näkyväksi ja kommunikointikelpoiseksi käsitys, mitä epävarmuustekijät ovat ja mistä ne tämänhetkisen käsityksen mukaan muodostuvat.

Epävarmuuksien hallinnan kehitystyössä tavoiteltu konsepti (kuva 4-1) perustuu systematiikkaan, jossa hankitaan asiantuntijanäkemykset (epävarmuusaihiot), ryhmitellään epävarmuusaihiot suuremmiksi kokonaisuuksiksi (epävarmuustekijät) ja lopuksi arvioidaan epävarmuustekijäkohtaisesti tavoitetilän ylä- ja alaraja-arvot (90 % konfidenssi). Keskeistä etenemiselle on, että numeeriset arvot syntyvät vasta epävarmuusarvioinnin avulla saatavan kirjallisen kuvauksen perusteella. Tämä mahdollistaa tarvittavat täsmennykset ja luo uskottavuuden tulevaisuuden ennusteille ja mahdollistaa perustellun, läpinäkyvän epävarmuuden pienentämiseen tähtäävän tekemisen.



Kuva 4-1. POSIVARMAssa luotu tilannekuva vallitsevasta tilanteesta ja Posivan hankkeen kattavasta toimintaympäristöstä, jotka ovat keskinäisessä vuorovaikutuksessa ajan suhteen.

4.4.3 Edellytysten arviointi

Valmiuden arvioinnin ja epävarmuuksien vaikutusten käsittelyn jälkeen Posiva tekee omiin ja Posivan ulkopuolisten tahojen arvioihin perustuen päätöksen toteutusvaiheeseen siirtymisestä, kun riittävä valmius ja varmuus konseptiin liittyvien toimintaedellytysten osalta todetaan saavutetuksi.

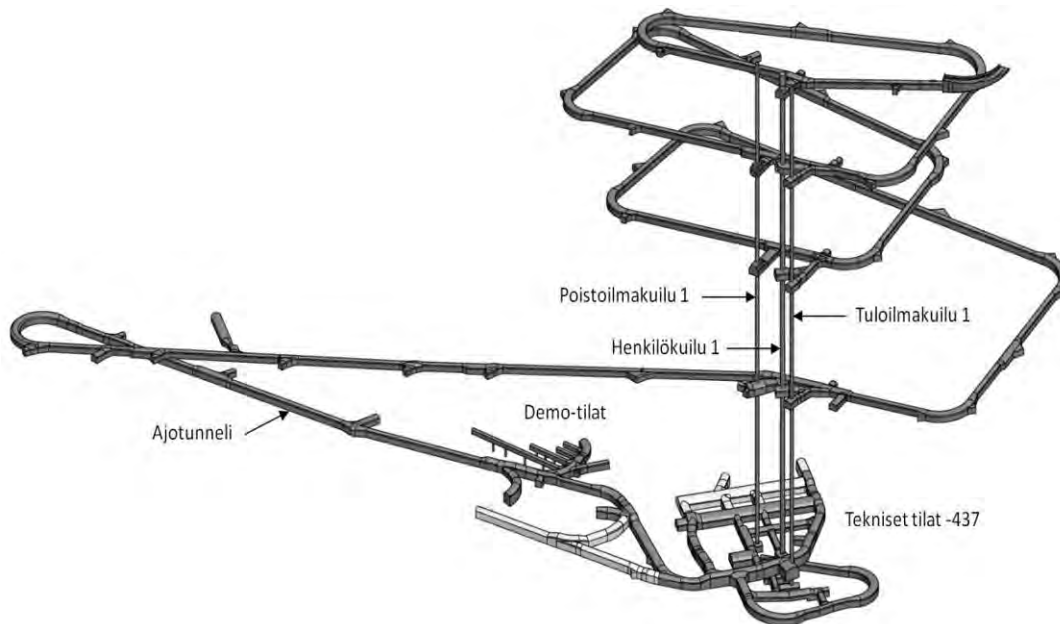
4.5 ONKALON ja aluerakentamisen tilanne

ONKALO on tarkoitus liittää osaksi aikanaan rakennettavaa loppusijoituslaitosta. Tästä syystä ONKALON toteutussuunnittelua on koordinoitu yhdessä loppusijoituslaitoksen suunnittelun kanssa ja sen suunnittelussa ja toteutuksessa on otettu huomioon ydinlaitoksen suunnitteluvaatimukset. STUK on valvonut ONKALON rakentamista samalla tavoin kuin ydinlaitosta. Maanalaisen loppusijoituslaitoksen käyttöön tähtäävä kehitystyö on suunniteltu tehtäväksi valtaosin ONKALON tunnelitiloissa loppusijoitusta vastaavissa olosuhteissa.

4.5.1 ONKALON rakentamisen tilanne

ONKALON rakentaminen on ollut vuosina 2014–2015 vähäistä verrattuna aiempiin vuosiin. Syynä tähän on sekä ONKALON että tulevan loppusijoituslaitoksen töiden hallittu yhteensovitus huomioiden molempien projektien tulevana vuosina rinnan tehtävät rakennus- ja suunnittelutyöt. ONKALON louhinnat on ilmanvaihtokuilujen louhintojen myötä saatettu lähes loppuun, lukuun ottamatta toista hallitilaa ja ajoneuvoyhteyksiä, jotka vievät tuleviin loppusijoitustiloihin. ONKALON laajuuteen liittyviä rakennus- ja taloteknisiä töitä ei ole tarkoitus rakentaa omina urakoinaan, vaan niiden rakentaminen

liitetään loppusijoituslaitoksen 1. vaiheen louhintojen jälkeen tehtävien urakoiden yhteyteen. Kuvassa 4-2 on esitetty ONKALOn nykylaajuus ja louhintojen tilanne.



Kuva 4-2. ONKALOn laajuus ja louhinnan tilanne 2015; tummalla on esitetty louhitut tilat, vaalealla louhimattomat.

ONKALOn rakentamisen merkittävä välietappi saavutettiin vuonna 2014 pitkään valmisteltujen ilmakuilujen louhintojen valmistuttua. Louhinnat suoritettiin nousuporaustyönä. Valmistelut olivat erityisen haasteellisia, koska ennen louhintaa kuilujen vesi-voptomäärät oli saatettava vaadittuihin arvoihin esi-injektointityöllä.

ONKALOn demonstraatiotiloissa on rakentamisen yhteydessä kehitetty louhintamenetelmiä (vrt. taulukko 4-1 luvussa 4.8). Demonstraatiotunneleiden louhittua pohjaa tasattiin rouhimalla, joko ohjaamaan vuotovesiä haluttuun paikkaan tai tasaamaan tunnelin pohja jatkotöitä, kuten koeloppusijoitusreiän porausta tai asennuslaitteiden testausta, varten. Rouhintamenetelmä osoittautui toimivaksi ja sitä on käytetty myös loppusijoitustunnelin päätytulpan paikan louhinnan yhteydessä. Rakenteilla oleva loppusijoitustunnelin päätytulpan (ks. kohdat 4.7.3 ja 5.2.4.4) levitys toteutettiin porauskiilaustekniikalla. Pinnat tasoitettiin vaatimusten mukaisiksi rouhintamenetelmällä. Syksyllä 2014 aloitettu koeloppusijoitusreikien poraus demonstraatiotunneliin 2 saatiin päätökseen keväällä 2015. Työn aikana porattiin kuusi uutta koeloppusijoitusreikää, joiden karakterisointi aloitettiin keväällä 2015.

Vuonna 2015 alkaneita ONKALOn töitä ovat mm. edellä mainittuihin ONKALOn laajuuteen liittyvien ajoneuvoyhteyksien louhinnat ja henkilökuilun tason -437 rakennustyöt. ONKALOn suunnittelutyöt ovat pitkälti keskittyneet meneillään olevien urakoiden toteutussuunnitteluun. Huomattava työ on tehty myös betonimassojen, päätytulppabetonin ja matalan pH:n pulttijuotosmassan suunnitteluun liittyen.

ONKALO-projektin määriteltyyn laajuuteen kuuluu myös taloteknisiä järjestelmiä, joiden suunnittelutyö on edennyt vuoden 2014 jälkeen rinnan maanalaisen loppusijoituslaitoksen suunnittelutyön kanssa. Tämä suunnittelutöiden yhdistäminen on katsottu tarkoituksenmukaiseksi eheän kokonaisuuden saavuttamiseksi esimerkiksi taloteknisten järjestelmien osalta. Suunnittelutöiden yhdistäminen tarkoittaa käytännössä suunnitteluperusteiden, -vaatimusten ja toimintatapojen yhtenäistämistä.

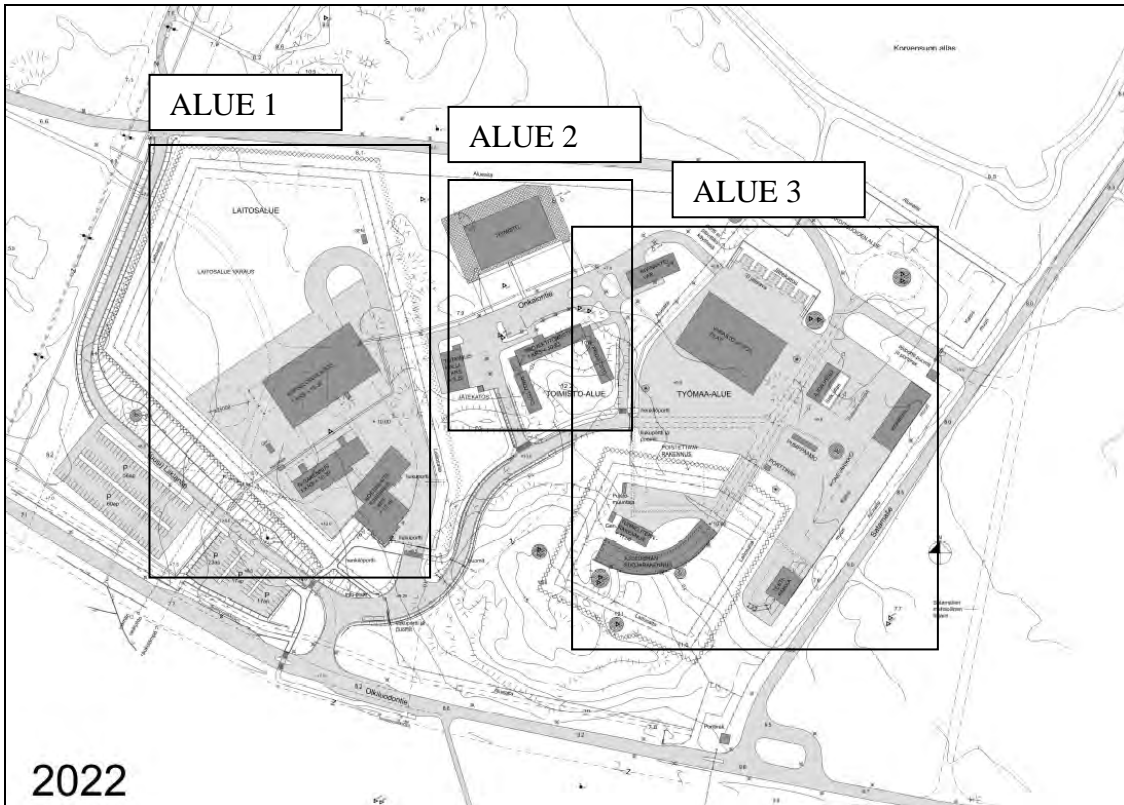
4.5.2 Aluerakentamisen tilanne

Posivan aluerakentaminen Olkiluodossa voidaan jakaa karkeasti käyttötarkoituksen perusteella kolmeen pääalueeseen. Kuvassa 4-3 on esitetty aluejako tämänhetkiseen luonnossuunnitelmaan nähden. Aluerakentamisella tarkoitetaan loppusijoituslaitokseen liittyviä ja sen toimintaa niin suunnittelu- kuin käyttövaiheessa tukevia maanpäällisiä rakennuksia.

Alue 1 on laitosrakennusalue ja siihen kuuluvat kapselointilaitoksen rakentamista ja sen aloitusta tukevat aluetyöt sekä laitoksen toimintaan olennaisesti kuuluvat ilmanvaihtoja nostinlaiterakennukset. Tämän alueen työt on pääosin suunniteltu ja niiden toteuttaminen on käynnissä. Suurimpina kokonaisuuksina voidaan mainita tiestön ja siihen liittyvän infrastruktuurin rakentaminen sekä nostinlaiterakennuksen käynnissä oleva runkourakka. Alueeseen 1 kuuluu myös kapselointilaitosrakennus, jota käsitellään kapselointilaitosta koskevissa kohdissa 4.6.1 ja 6.3.

Alue 2 on loppusijoitustoimintaa tukevien, hallinnollisten rakennusten alue. Tämän alueen töistä on viimeksi rakennettu projektitoimiston laajennus vuosina 2013–2014.

Alue 3 on ns. ONKALO-alue, jonka tehtävänä on tukea maanalaista rakennustoimintaa sekä tulevaisuudessa loppusijoituslaitoksen käyttötoiminnan aikaista rakennus- ja louhintatyötä. Alueelle on viimeksi rakennettu vuonna 2014 valmistunut testaushalli.



Kuva 4-3. Aluetöiden luonnossuunnitelmaan perustuva jako. Alue 1 on laitosrakennus-alue, alue 2 loppusijoitustoimintaa tukevien hallinnollisten rakennusten alue ja alue 3 ns. ONKALO-alue.

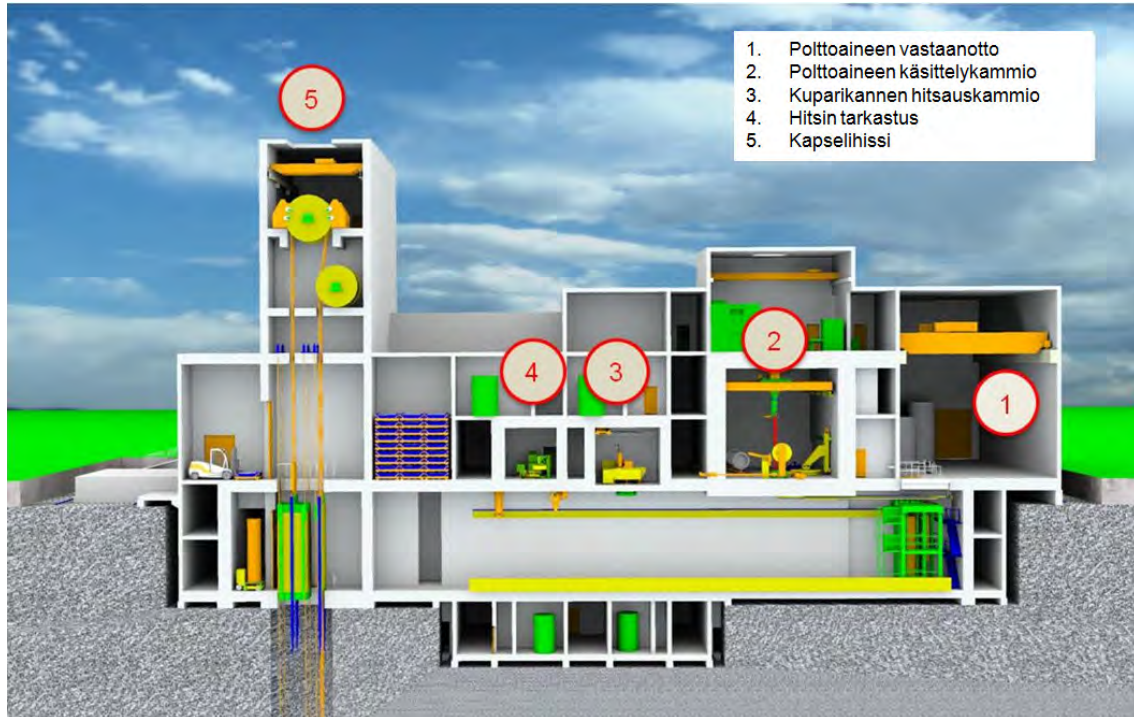
4.6 Laitosprojektin tilanne

Laitosten suunnittelu ja toteutus toteutetaan kohdan 4.4.1 alussa kuvattujen vaiheiden mukaisesti.

4.6.1 Kapselointilaitoksen suunnittelun tilanne

Kapselointilaitoksen suunnittelussa on ohjelmakaudella 2013–2015 siirrytty rakennusten, rakenteiden ja järjestelmien toteutussuunnitteluvaiheeseen. Toteutussuunnittelun rinnalla tehdään samalla kapselointi- ja loppusijoitusprosessin erikoisjärjestelmien kehitystyötä. Tällaisia järjestelmiä kapselointilaitoksessa ovat kapselin siirtovaunu sekä kapselin siirtotrukki, joiden prototyypit saatiin valmiiksi vuonna 2014 ja joiden testikäyttö alkoi vuoden 2015 alusta. Suunnitelmien toimivuuden varmistamiseksi kehitetään prototyyppien yhteydessä myös lopullisten laitteiden valmistamisen, asennuksen ja käyttöönoton laadunvarmistusmenettelyjä yhdessä viranomaisten kanssa.

Kapselointilaitos koostuu käytetyn polttoaineen kapselointitoimintaa varten toteutettavasta rakennuksesta ja sen sisällä olevista järjestelmistä. Kuvassa 4-4 on esitetty leikkaus kapselointilaitoksesta kapselin siirtokäytävän kohdalta. Kuvassa näkyvät myös kapselointilaitoksen päätoiminnot.



Kuva 4-4. Periaatekuva kapselointilaitoksen päätoiminnoista.

Kapselointilaitoksen toteutussuunnitteluvaihe alkoi syksyllä 2013 varsinaisen toteutussuunnitteluvaiheen varmistamisella. Siihen liittyi mm. konseptisuunnitelmien ja vaatimusmäärittelyjen arviointi ja täydentäminen. Lisäksi tehtäviin on kuulunut järjestelmäkuvausten täydentäminen uusien YVL-ohjeiden vaatimuksia vastaavalle tarkkuustasolle. Kapselointilaitoksen ensimmäisten mekaanisten järjestelmien varsinaisesta toteutussuunnittelusta lähetettiin tarjouspyynnöt vuoden 2014 keväällä. Toteutussuunnitteluvaiheen ohjaamiseksi toteutussuunnittelukäsikirja päivitettiin toiminnan edellyttämälle tasolle, täydennettiin suunnittelua ohjaavaa ohjeistusta sekä luotiin suunnittelumuutosten hallintaprosessi.

Toteutussuunnittelu etenee toteutussuunnittelukäsikirjan kuvaamien menettelyjen mukaisesti ja suunnitteluprosessissa havaituista muutostarpeista on laadittu ja käsitelty konfiguraation hallintaprosessin mukaisesti muutosehdotuksia.

4.6.1.1 Järjestelmäsuunnittelu

Järjestelmäkohtaiset vaatimusmäärittelyt on laadittu laitoskonfiguraation hallintasuunnitelman mukaisesti järjestelmäsuunnittelun lähtötiedoiksi ja laitoksen sekä sen järjestelmän teknisen kokoonpanon kulloisenkin elinkaaren vaiheen hallitsemiseksi. Nämä vaatimusmäärittelyt on toimitettu järjestelmiä suunnitteleville toimittajille. Suunnittelun hankintaa, valvontaa, ohjausta ja hyväksymistä varten on ohjeet järjestelmäkohtaisten laatusuunnitelmien laatimiseksi ja niiden perusteella luodaan järjestelmä- ja suunnittelualakohtaiset laatusuunnitelmat sekä niistä johdetut toimitusaluekohtaiset toimittajaspesifikaatiot, joiden mukaisesti toimittajat toteuttavat suunnittelutoimeksiantonsa.

4.6.1.2 Rakennussuunnittelu

Rakentamislupahakemusta täydennettiin vuoden 2014 loppupuolella toimittamalla kapselointirakennuksen pää-, palo ja turvallisuusluokituspiirustukset STUKille. Näillä päivitettyillä rakennussuunnitelmilla aloitettiin kapselointilaitoksen rakennuksen toteutussuunnitteluvaihe. Kapselointiprosessiin liittyvien rakennusten ja rakenteiden suunnittelu on edennyt suunnitellusti, joskin tarkentuneilla suunnitelmilla sekä säteilymitoituskennalla on ollut pieniä muutosvaikutuksia kapselointilaitoksen layoutiin.

Laitoksen konfiguraation ja suunnittelumuutosten hallitsemiseksi on edellisellä ohjelmakaudella perustettu erillinen layout-työryhmä, joka säännönmukaisesti katselmoi suunnittelussa havaitut muutokset, vie muutokset päivitettäviin rakennuspiirustuksiin ja edelleen 3D-mallin katselmointeihin. Näiden katselmointien perusteella on pidetty yllä kapselointilaitoksen laitosmallia, josta järjestelmä- ja laitetoimittajille jaetaan ajan tasaisia layout-kuvia oman vastualueensa suunnittelutyötä varten. Laitosmallin avulla on myös tehty ns. törmäystarkasteluja eri suunnitteluosa-alueiden välillä. Näiden törmäystarkastelujen tarkoituksena on varmistaa rakennusten, rakenteiden ja järjestelmien suunnittelun yhteensopiminen.

4.6.2 Loppusijoituslaitoksen suunnittelun tilanne

Loppusijoituslaitoksen osalta työt painottuvat yksityiskohtaisen suunnittelun ohjaukseen ja tekemiseen, toteutusvaiheen projektinhallinnan prosessien luomiseen ja kehittämiseen sekä resurssien hankkimiseen. Lisäksi kartoitetaan toteutusvaiheen urakoitsijoita ja valmistellaan urakkasopimukset seuraavan vaiheen töistä. Valmistelujen on tarkoitus edetä niin, että loppusijoituslaitoksen rakennustyöt voidaan aloittaa rakentamisluvan saamisen jälkeen.

Toteutussuunnitteluvaiheen alussa järjestelmille, rakennuksille, rakenteille, rakennusosille ja kallioiloille on tehty vaatimusmäärittelyt. Tämä työ hyväksytetään Kehitysosaston Laitoskokonaisuus-yksiköllä ennen suunnittelun aloittamista.

Projektin totuussuunnitteluvaiheessa ei asennus- ja rakentamistöitä tehdä, vaan tänä aikana luodaan rakentamisen aloitusvalmiudet. Sitä varten nimetään rakentamisesta vastaava organisaatio, joka huolehtii omalta osaltaan aloitusvalmiuden saavuttamisesta ajoissa. Loppusijoituslaitos-projektiin on nimetty suunnittelupäällikkö ja pääsuunnittelija ohjaamaan suunnittelukokonaisuutta.

4.7 Kehitysohjelman tilanne

YJH-2012-ohjelmassa (Posiva 2012a) kuvattua loppusijoituskonseptin tutkimus-, kehitys- ja testaustyötä tarkentamaan koottiin loppusijoituskonseptin kehitysohjelma kevään 2014 aikana (Posiva 2014a). Kehitysohjelma täydentää ja tarkentaa YJH-2012-ohjelmaa loppusijoituskonseptin testaus- ja demonstraatiohankkeiden osalta ja samalla vastaa STUKin selvityspyyntöön 11/H42212/2013, jossa vaaditaan, että

"Posivan on toimitettava STUKille tiedoksi viimeistään 15.3.2014 demonstraatiotoimintaa koskeva kokonaissuunnitelma aikatauluineen. Suunnitelmassa on tarkasteltava demonstraatiotoimintaa jaksolla vuoden 2014 alku - ydinjätelaitoksen käyttöönotto-

heen alku. Suunnitelmassa on esitettävä kaikki hankkeet, joilla Posiva pyrkii osoittamaan konseptin toteutettavuuden ja toimintakyvyn. Hankkeille on määritettävä vastuuyksiköt."

Jäljellä oleva kehitystyö koostuu tutkimuksista, mallinnoista ja erilaisista testeistä, joiden avulla osoitetaan loppusijoituskonseptin toteutettavuus ja turvallisuus käyttölu-pahakemuksen turvallisuusperustelussa (kohta 4.9). Lisäksi kehitystyön yhteydessä laaditaan laatusuunnitelmat, joilla varmistetaan teknisten vapautumisesteiden materiaalien ja komponenttien laatu suunnittelu-, valmistus- ja hankintaprosessien aikana. Hyväksytyjä komponentteja ja tiloja valmistetaan koekäyttöä varten (yhteistoimintakokeeseen) sekä lopulliset järjestelmäkuvaukset tehdään käyttölu-pahakemukseen.

Posivan on esittänyt rakentamislupahakemuksen tueksi laaditussa turvallisuusperusteluaineistossa (Posiva 2012b) polttoaineen, teknisten vapautumisesteiden ja loppusijoituspaikan vaatimukset. Vaatimuksia on tämän jälkeen päivitetty osana Posivan suunnittelu- ja kehitystyötä sekä SKB:n ja Posivan välistä yhteisiin ratkaisuihin ja mahdollisiin hankintoihin tähtäävää yhteistyötä (ns. KUPP-VAHA projekti). Vaatimusten muutossuosittukset kootaan raportiksi ja muutosehdotukset käsitellään Posivan menettelyjen mukaisesti, minkä jälkeen tehdyt muutokset päivitetään vaatimustenhallintajärjestelmään (VAHA).

Seuraavassa esitellään yhteenveto jo aiemmin alkaneista tutkimus- ja kehitystyöistä, jotka kuuluvat kehitysohjelmaan.

4.7.1 Käytetty ydinpolttoaine

Ohjelmakauden 2013–2015 aikana jatkettiin käytettyyn polttoaineeseen liittyvien kehityshankkeiden suunnittelua käyttölu-pahakemuksen jättämistä ja laitosten käyttövaihetta varten. Ohjelmakaudella selvitettiin tarvittavien käytetyn ydinpolttoaineen radioaktiivisten nuklidien inventaarianalyysien päivitystarve sekä käyttöturvallisuuden että pitkäaikaisturvallisuuden osalta. Loppusijoituksen kannalta merkittävistä nuklideista laadittiin selvitys, jossa huomioitiin myös ne nuklidit, jotka on mahdollista radiokemiallisesti analysoida laskettujen nuklidi-inventaarien validointia varten (Haavisto 2014). Kriittisyysturvallisuuteen liittyviä tehtäviä jatkettiin mm. palamalaskennan ja kriittisyysturvallisuuslaskennan kelpoistamisella, pitkäaikaisturvallisuuteen liittyvien skenaarioiden täydentämisellä ja analysoinnilla. Lisäksi kapselointilaitoksen kriittisyysturvallisuutta koskeva analyysi valmistui (Ranta-aho 2014). Ohjelmakauden aikana laadittiin myös alustava kuvaus polttoainetietojen hallintaan tarkoitetun ohjelman vaatimuksista, ja kuvausta täydennettiin koko ohjelmakauden ajan yhteistyössä Posivan omistajien kanssa. Tietokannan kehitystä jatkettiin myös toteuttamalla ohjelman toiminnallisuutta kartoitava esiprojekti mahdollisen toimittajan kanssa. Myös vuotavien polttoaine-elementtien käsittelysuunnitelmia päivittävä selvitys valmistui (Sorjonen 2015).

Polttoaineen pitkäaikaisturvallisuustutkimukset

Polttoaineen liukoisuustutkimuksia luonnonvesissä ja tutkimuksia polttoaineen pintaominaisuuksien vaikutuksesta liukoisuuteen tutkittiin EU:n puiteohjelmaan kuuluvassa, vuonna 2011 alkaneessa REDUPP-projektissa. REDUPP-projekti oli kolmivuotinen Euratomin (European Atomic Energy Community) seitsemännen puiteohjelman alainen

hanke. Projektissa tutkittiin, miten fluoriittirakenteisten kiinteiden aineiden (UO_2 , ThO_2 , CeO_2 ja CaF_2) pinnat muuttuivat ajan myötä liukenemisen aikana ja miten nämä muutokset vaikuttivat liukenemisnopeuteen. Työssä tehtiin sekä arviointilaskuja, että laboratoriokeiteita, joissa monitoroitiin murskatun synteettisen aineen liukenemistä. REDUPP-projektissa saatiin kehitettyä laskennallinen malli kuvaamaan fluoriittirakenteiden pintojen kehittymistä liukenemisen aikana. Projektissa vähennettiin epävarmuuksia käytetyn ydinpolttoaineen liukenemisnopeuksissa, joita käytetään radionuklidien vapautumis- ja kulkeutumislaskuissa. Projektissa tutkittiin myös miten luonnon pohjaveden kompleksisempi kemiallinen koostumus verrattuna synteettisiin vesiin vaikuttaa UO_2 :n liukenemisnopeuteen.

Uraanin liukoisuutta pelkistävässä olosuhteissa on tutkittu käyttämällä kahta erilaista alfa-dopattua UO_2 :ia, jotka sisälsivät 5 ja 10 % ^{233}U , säteilyttämättömän UO_2 :n (0 % ^{233}U) lisäksi. Kiinteänä faasina olivat säteilyttämätön uraanidioksidi, UO_2 , ja alfa-dopattu UO_2 , johon on lisätty ^{233}U alfa-säteilijää simuloimaan alfa-säteilyn vaikutusta käytetyssä polttoaineessa. Kaikki mitatut liukoisuudet ovat matalampia kuin amorfisen UO_2 :n teoreettinen liukoisuus. UO_2 (am) on kirjallisuudessa esitetty liukoisuutta rajoittavaksi faasiksi näissä olosuhteissa. Voimakkaasti pelkistävässä olosuhteissa saostuu UO_2 :ta, jolla on matalampi liukoisuus. Selvää eroa ei havaittu säteilyttämättömän UO_2 :n ja alfa-dopatun (5 tai 10 % ^{233}U) liukoisuuksien välillä.

Korkeapalamaisen polttoaineen vapautumistutkimukset jatkuivat vuoteen 2015 asti EU:n puiteohjelmassa vuonna 2012 alkaneessa FIRST Nuclides -projektissa. "First Nuclides Fast / Instant Release of Safety Relevant Radionuclides from Spent Nuclear Fuel" oli Euratom-projekti (FP 7), jonka tarkoituksena on saada lisää tietoa loppusijoituksesta korkean palaman UO_2 -polttoaineesta (n. 55 MWd/kgU) vapautuvista nopeista IRF (instant release fraction) -radionuklideista. Kahdella Studsvikissa Ruotsissa varastoituna olevalla OL1:n polttoainesauvalla tehtiin PIE-tutkimus (post-irradiation examination). Fissiokaasujen vapautumista on mitattu lävistysmenetelmällä vuodesta 2010 lähtien.

Posiva osallistuu ydinjätehuoltovelvollisten organisaatioiden kanssa säännöllisesti järjestettävään käytetyn ydinpolttoaineen työpajaan, jossa esitetään geologisessa loppusijoitusympäristössä tehtyjen tutkimuksien, kokeiden ja mallinnojen tulokset pitkäaikaturvallisuuden kannalta. Työpajaan osallistuvat ydinjätehuoltovelvollisten lisäksi myös useita tutkimuslaitoksia ja viranomaisia.

Posiva seuraa vuonna 2013 käynnistynyttä EU:n CAST-tutkimushanketta (Carbon-14 Source Term), jossa selvitetään C-14:n vapautumista jätteestä ja vapautuvan C-14:n olomuotoa (CAST 2015). Hankkeen kautta saadaan lisätietoa em. asioista ja tulosten perusteella voidaan vähentää C-14:n vapautumiseen ja kulkeutumiseen liittyviä epävarmuuksia.

4.7.2 Kapseli

Loppusijoituskapseli koostuu kuparisesta ulkokuoresta ja pallografiittirautaisesta sisäosasta ja se on tärkein moniesteperiaatteen komponentti. Kapselin turvallisuustoimintona on varmistaa käytetyn polttoaineen pitkäaikainen eristäminen ympäristöstä pitämällä se tiiviiseen säiliöön pakattuna ja mahdollisissa häiriö- ja poikkeustapauksissakin rajoittaa radioaktiivisten aineiden leviämistä kapselin ulkopuolelle. Kapselin suunnittelu ja

toimintakyvyn osoittaminen ovat olleet pitkään kehityksessä ja testauksessa, joten edellisellä ohjelmakaudella kehitystyö on keskittynyt yksityiskohtien suunnitteluun ja muuttamien jäljellä olevien avointen asioiden sulkemiseen.

Kapselin suunnittelu ja toimintakyvyn osoittaminen

Kapselin lopullinen rakennesuunnittelu on käynnistymässä. Vuoden 2015 aikana on aloitettu lopullisten, koko kapselia koskevien vaatimusmäärittelyjen ja kapselin laatusuunnitelman tekeminen. Valmistustekniikan pätevöintiä varten kuparikomponenttien vaatimusmäärittelyt ja rakennesuunnitelmat on tehty valmiiksi vuoden 2015 aikana. Muiden kapselikomponenttien, kuten myös kapselin kokoonpanon ja sulkemisen vaatimusmäärittelyt ja rakennesuunnitelmat tullaan tekemään kahden seuraavan ohjelmakauden aikana valmiiksi.

SKB:n kanssa yhteistyössä tehty loppusijoituskapselin Design Analysis -raportti vaatii päivittämistä tietyiltä osilta, joten Posiva osallistuu yhteistyöprojektiin SKB:n kanssa ohjelman päivittämiseksi. Työ aloitettiin YJH-2012-ohjelmakauden aikana ja saadaan valmiiksi seuraavalla kaudella. Vuoden 2015 aikana on kirjoitettu 20 aihepiiriin kuuluvaa raporttia, jotka tulevat varsinaisen Design Analysis -raportin aineistoksi.

Hitsausmenetelmän vaihdosta johtuen Posivan referenssihitsausmenetelmäksi valitulla kitkatappihitsauksella (Friction stir welding, FSW) tehdyille hitseille täytyy tehdä vielä muutamia tutkimuksia ja selvityksiä hitsin toimintakyvyn varmistamiseksi. VTT:llä on tehty vuoden 2015 aikana virumismallinnukset FSW-hitseille modifioimalla olemassa olevaa numeerista mallinnusta. FSW-hitseille täytyy tehdä myös jäännösjännitysmittauksia Deep hole drilling (DHD) -menetelmällä. Vuoden 2015 aikana kokeet on suunniteltu ja näytteet on valmistettu mittauksia varten. Varsinaiset mittaukset ja raportointi jäävät seuraavalle ohjelmakaudelle.

Kapselin lämmönsiirtomallinnukset on päivitetty vuoden 2015 aikana VTT:llä. Mallinuksissa polttoainepuut kuvataan 3D:ssä aikaisemman 2D-mallinnuksen sijaan ja huomioidaan sisäosan ja kapselin päätyjen rakenteet tarkemmin. Analyysi on antanut tulokseksi ensisijaisesti polttoaineen lämpötilat sekä sisäosan korkeimmat lämpötilat, joita tarvitaan valuraudan materiaaliominaisuuksien koestamislaajuutta varten.

Kapselin valurautaisen sisäosan ja sen päälle tulevan teräskannen väliin tarvitaan tiivistete. Vuoden 2015 aikana sisäosan tiivisteratkaisuksi on suunniteltu metallinen tai epäorgaaninen tiivistete. Tiivisteen uudelleen suunnittelu saattaa vaatia pieniltä osin myös sisäosan ja teräskannen uudelleensuunnittelua.

Posiva on jatkanut virumisselvityksiä rikkovilla kokeilla ja analyyseillä. Vuoden 2015 aikana tehdään tarkka suunnitelma tulevista virumiskokeista, joiden tarkoitus on selvittää myös fosforin ja rikin vaikutukset virumiskäyttäytymiseen. Canister design analysis -työn yhteydessä selvitetään kuparikapselin virumismuodonmuutosmekanismit ja tunnistetaan tilanteet, jossa viruminen aiheuttaa särönkasvua kuparissa. Jälkimmäinen edellyttää analyysejä ja lisäkokeita.

Vuonna 2009 aloitetut pitkäaikaiset tutkimukset kuparin korroosiosta puhtaassa vedessä jatkuvat VTT:llä. Vuonna 2015 VTT:llä on aloitettu vastaavat korroosiokokeet kuin mitä SKB on teettänyt Ruotsissa. (Johansson ym. 2015). Lisäksi TTY:llä tehdään pinta-analyttisiä korroosiokokeita vuoden 2015 aikana. Edellä mainituilla kokeilla pyritään selvittämään epäpuhtauksien vaikutusta vedyn muodostumiseen. Lisäksi pitkän ajan kokeessa seurataan, nähdäänkö samanlaisia ilmiöitä kuin mitä Szakálos ym. (2007) raportoivat.

Kuparin sulfidikorroosiomallia eli CSM-mallia kehitetään yhdessä SKB:n kanssa. Mallinnustyötä tehdään ns. Sulfidi-projektin yhteydessä. Mallinnuksen lisäksi kuparin sulfidikorroosiota tutkitaan myös kokeellisesti niin ikään SKB:n kanssa ja työ ajoittuu vuosille 2015–2018. Kuparin korroosiosta korkeissa kloridipitoisuuksissa julkaistaan raportti vuoden 2015 aikana. Tässä työssä on esitelty perustelut TURVA-2012:ssa esitetylle johtopäätökselle, jonka mukaan kuparin korrosio korkeissa kloridipitoisuuksissa ei ole ongelma.

Kapselin sulkemismenetelmän kehitys

Kuparivaipan sulkemismenetelmän valinta tehtiin edellisen ohjelmakauden puolessa välissä elektronisuihkuhitsauksen (EBW) ja kitkatappihitsauksen (FSW) välillä. Valinta tehtiin useita vaikuttavia osatekijöitä arvioiden. Osatekijöiden arvioinnista julkaistiin työraportit (Salonen 2014, Purhonen 2014), joissa esitettiin molempia hitsausmenetelmiä koskevan sulkemismenetelmän tutkimus- ja kehitystyön tulokset. Tulosten perusteella Posiva päätyi vaihtamaan referenssisulkemismenetelmän kitkatappihitsaukseen. Tämän valinnan seurauksena FSW-hitsauksen tutkimista ja kehitystä on jatkettu edellisen ohjelmakauden lopussa, jotta sekä hitsauslaitteiston yksityiskohtainen suunnittelu, että FSW-hitsin pitkäaikaisturvallisuus voitaisiin osoittaa.

FSW-hitsauslaitteiston prosessiohjaus teollistetaan. Tätä varten on kehitetty ja otettu käyttöön hitsin syvyyskontrolli. Hitsauskontrollille on tehty FMEA (failure mode and effect analysis), ja näiden tulosten perusteella on tehty koehitsejä hitsauskontrollin toimivuuden varmistamiseksi.

Hitsauksen kaasusuojaus suunnitellaan uudestaan. Suunniteltu kaasusuojausyksikkö on otettu käyttöön vuonna 2015. Samassa yhteydessä on tehty selvitys hitsirailojen puhautusvaatimuksista ja tarkennettu spesifikaatioita. Kaasuyksikön käyttöönoton jälkeen on tehty hitsauskokeita uudella kaasusuojauskella ja varmistettu saavutettujen hitsien oksidipitoisuudet.

Hitsin lähtötilaa on tutkittu ja hitsausprosessin kehityksessä on parannettu hitsin ominaisuuksia entisestään. Lähtötilalla tarkoitetaan kapselin sulkemishitsin eri ominaisuuksia, kuten mekaanisia ja kemiallisia ominaisuuksia, jäännösännityksiä sekä virumis- ja korroosionkestävyyttä. Nämä tutkimukset on esitelty tarkemmin edellä.

Hitsausmenetelmän vaihtamisen seurauksena kuparikapselin kansi on jouduttu suunnittelemaan uudestaan, sillä FSW-hitsin aloitusrailo sijaitsee eri paikassa kuin EBW-hitsin ja lisäksi hitsaus suoritetaan eri asennossa. FSW-menetelmän myötä hitsattua kantta joudutaan myös koneistamaan EBW-menetelmää enemmän.

Kapselikomponenttien tarkastustekniikka

Loppusijoituskapselin referenssisuunnitelmien mukaisille komponenteille tehdään laadunvarmistus. Kapselikomponentit ja niiden alustava tarkastus on kuvattu raportissa *Inspection of Disposal Canister Components* (Pitkänen 2014) ja hitsin alustava tarkastus on kuvattu raportissa *Inspection of Bottom and Lid Welds for Disposal Canister* (Pitkänen 2010).

Kapselikomponenttien tarkastuksia jatkettiin menneellä ohjelmakaudella tarkastustekniikoiden kehittämiseksi. Ohjelmakauden aikana tarkistettiin useita kupariputkia, kuparikansia ja valurautasisäosia ja näistä saatiin tilastollista tarkastusaineistoa. Vuonna 2013 tutkittiin kupariputkien vikojen havaittavuutta tekemällä ultraäänien vaimennusmittauksia. Työtä jatkettiin vuonna 2014 yhteistyössä saksalaisen tutkimuslaitoksen BAM:in kanssa.

FSW-hitsejä valmistettiin viisi kappaletta vuoden 2013 aikana, ja näille hitseille tehtiin NDT-tarkastukset tarkoitusta varten kehitetyillä tarkastustekniikoilla. Hitseissä havaittiin joitakin lieviä vikanäyttämiä. Hitseille suoritettiin ainetta rikkovat metallografiset tutkimukset vuonna 2014 vikanäyttämien todentamiseksi. Samassa yhteydessä tehtiin myös alustavat kitkatappihitsien tarkastuksen menettelyohjeet, alustavat hyväksymisrajat ja alustavat hyväksymis- ja hylkäysmenettelyt.

Vuonna 2014 valmistettiin neljä kappaletta kitkatappihitsejä, jotka tarkastettiin NDT-tekniikoilla. Hitseistä havaittiin näyttämiä, jotka indikoivat hyväksymisrajat ylittävistä vioista. Hitseille suoritettiin metallografiset tutkimukset Tampereen teknillisellä yliopistolla vuoden 2015 aikana vikanäyttämien todentamiseksi.

Edellisen ohjelmakauden aikana kapselikomponenttien NDT-tarkastuslaitteiden kehitystä on jatkettu ottamalla käyttöön tarkastuksissa tarvittava manipulaattori. Manipulaattori otettiin käyttöön vuonna 2013 ja kehitystyö saatettiin valmiiksi vuoden 2015 aikana.

4.7.3 Puskuri, täyttö ja sulkeminen

Puskuri ympäröi kapselia ja täyttää kapselin ja kallion välisen tilan loppusijoitusreiässä. Puskurin tehtävänä on suojata kapselia haitallisilta hydraulisilta, kemiallisilta ja mikrobiologisilta prosesseilta, jotka voisivat vaarantaa täydellisen eristämisen turvallisuustoiminnon, pitää yllä kapselille suotuisia olosuhteita ja hidastaa haitallisten aineiden kulkeutumista kapselin pinnalle ja radionuklidien kulkeutumista, mikäli kapseli alkaa vuotaa. Puskurimateriaalin tulee olla myös yhteensopiva kapselin, peruskallion ja tunnelitönnön toiminnan kannalta. Puskurin kehitystyö on painottunut puskurin suunnitteluun sekä puskurikomponenttien valmistuksen ja asennuksen kehittämiseen. Puskurin referenssimateriaalina on bentoniittisavi, jonka montmorillonitiipitoisuus on 75–90 %.

Puskuri ja täyttö

Suunniteltu maanalainen täyden mittakaavan järjestelmätesti FISST (kohta 4.7.4) sekä loppusijoitustoiminnan alun lähestyminen on luonut tarpeen tehdä tarkat tekniset suunnitelmat puskuri-, täyttö- ja tulppakomponenttien toteuttamiselle. Tämän työn osana puskurin ja täytön toimintakykyvaatimuksia on käyty lävitse ja muutettu vastaamaan

em. tarpeita yhteistyössä SKB:n kanssa. Vuoden 2015 aikana aloitettiin puskurin teknisen suunnitelman teko. Täytön ja tulpan osalta vuonna 2015 on tehty projektisuunnitelmat teknisten suunnitelmien tekemiseksi. Puskurin ja täytön osalta suunnitteluvaatimukset ja spesifikaatiot on jäädytetty isolta osin menneen ohjelmakauden päätteeksi ja työ saatetaan loppuun kuluvan ohjelma kauden alussa.

ONKALOssa olevaa noin $\frac{1}{3}$ -mittakaavan puskurikoetta on jatkettu saturaatioasteen nostamiseksi niin korkeaksi, että homogenisaatiosta on mahdollista saada havaintoja. Näiden kokeiden mallintamiseksi ja erityisesti mallinnusvalmiuksien edelleen kehittämiseksi jatkettiin mallien kehitystyötä sekä osallistuttiin edelleenkin EBS Task Forcen homogenisaatiotestitapausten mallinnusryhmän toimintaan. Puskurin ja täytön rajapinnan käyttäytymiseen vaikuttavista tekijöistä ja suunnitteluparametreista haettiin lisätietoa numeerisilla herkkyytarkasteluilla. Niissä käytettiin hyväksi Leonin (2012) kehittämää mallinnusmenetelmää. Lisäksi puskuri-kalliorajapinnan toiminnasta saatiin lisätietoa Äspön kalliolaboratorion Prototype Repositoryn purkamisesta, johon Posiva osallistui.

Kemiallisen eroosion tutkimusta pienen mittakaavan kokein jatkettiin keskittyen keskeisesti vaikuttavien voimien löytämiseen. Työ tehtiin pääasiassa osana EU:n BELBaR-projektia (<http://www.belbar.eu/>), joka jatkuu vuoteen 2016 saakka. Tulokset tullaan raportoimaan osana em. projektin loppuraportoinia.

Montmorilloniitin mineralogisesta muuntumisesta tehtyjen johtopäätösten varmistamiseksi aloitetut korkean lämpötilan (270 °C) kokeet raportoitiin ja osallistuttiin bentoniitin yleistä stabiilisuutta koskevan yhteisraportin (Nagra ja SKB) valmisteluun ja julkaisuun (Leupin ym. 2014).

Arviot puskurin mahdollisesta muuttumisesta lämpötilan ja pohjaveden vaikutuksesta perustuvat ensisijaisesti laskennallisiin analyyseihin. Analyysejä täydentämään suunniteltiin tarvittavat laboratoriomittakaavan kokeet.

Mikrobitoimintaan liittyvien ilmiöiden ja mekanismien selvittämiseksi ja niihin liittyvien epävarmuuksien pienentämiseksi aloitettiin kokeellisten tutkimusten suunnittelu sekä mallinnuksen jatkokehitystyö. Tavoitteena on erityisesti tarkentaa kuvaa täytössä ja puskurissa eri ajanjaksoina muodostuvien sulfidien määristä.

Tutkimusta kaasun kulkeutumisesta puskurissa jatkettiin Äspön kalliolaboratorion monivuotisessa, suuren mittakaavan kokeessa, LASGITissa tilastollisesti luotettavamman aineiston saamiseksi. Posiva oli myös mukana monivuotisessa EU:n FORGE-projektissa (<https://www.bgs.ac.uk/forge>), joka loppui vuoden 2013 keväällä (Norris 2013).

Puskurin ja täytön alkuvaiheen vettymisen ja tästä mahdollisesti seuraavaa mekaanisen eroosion tutkimiseksi on suunniteltu ja rakennettu kaksi eri laitteistoa 1/6-mittakaavassa. Toisessa on pelkkä loppusijoitustunneli ja toisessa sekä tunneli että yksi reikä.

Puskurissa ja täytössä saturoitumisen aikana mahdollisesti syntyvien kanavien muodostumista ja kehittymistä tutkivia kokeita on tehty eri savimateriaaleille ja eri virtaamilla sekä veden suolaisuuksilla (Pintado ym. 2013).

Osana täytön suunnittelua ja toimintakyvyn osoittamista Posiva rakentaa täyden mittakaavan loppusijoitustunnelin tulpan ONKALON demonstraatiotunneliin 4. Tulpan suunnittelu, toteutus ja seuranta toteutetaan POPLU-projektissa, joka on osa Euroopan komission 7. tutkimuspuiteohjelman (2007–2013) tukemaa DOPAS-projektia yhteistyössä muiden ydinjätteen loppusijoitusta hoitavien tahojen kanssa. Suunnittelutyöt alkoivat edellisen ohjelmakauden alussa ja varsinaiset tulpan rakennustyöt saadaan valmiiksi vuoden 2015 aikana. Tulpan testaus ja monitorointi tehdään nyt alkavan ohjelmakauden aikana.

Loppusijoitustunneliin vuotavien vesien hallitsemiseksi täytön asennuksen aikana on suunniteltu ja kehitetty ratkaisuja yhdessä SKB:n kanssa.

Loppusijoitustunnelien lattian tasauskerroksen asennusta on testattu sekä maanpinnalla että ONKALOSSA tehdyillä asennuskokeilla. Testeissä osoitettiin lattiantasauskerroksen referenssiratkaisun ja vaihtoehtoisen pellettikerroksen toteutettavuus. Lisäksi mitattiin tasauskerrokselle saavutettava tiheys, tasaisuus ja kantokyky. Vesivuotojen vaikutusta kerroksen käyttäytymiseen testattiin varsinaisen asennuskokeen jälkeen.

Nykyisille täyttömateriaaleille vaihtoehtoisten savimateriaalien tuottajia ja toimittajia on kartoitettu ja eri savimateriaaleja karakterisoitu.

Sulkeminen

Loppusijoitustilojen sulkemisen suunnittelutyö on konseptuaalisessa vaiheessa sisältäen toimintakykyvaatimusten ja suunnitteluvaatimusten päivittämisen, täytön ja tulpan kehittämisen ja testien ja demonstraatioiden hyödyntämisen sulkemisen komponenttien suunnittelussa. Omien testien ja demonstraatioiden lisäksi Posiva osallistuu ja seuraa lukuisia kansainvälisiä kokeita ja demonstraatioita, joista on hyötyä sulkemisen kehitystyölle.

Osana tätä kansainvälistä yhteistyötä Posiva koordinoi DOPAS-projektia (2012–2016), jonka puitteissa Posiva toteuttaa POPLU-demonstraation (kuva 4-5) ja seuraa neljää sulkemiseen ja tulppaukseen liittyvää täyden mittakaavan demonstraatiota. Lisätietoa DOPAS-projektista ja sen puitteissa toteutettavista täyden mittakaavan demonstraatioista on saatavana DOPAS-projektin kotisivuilta (<http://www.posiva.fi/en/dopas>).

Tutkimusreikien sulkemista koskevaan kehitystyöhön liittyen Posiva on päättäneellä ohjelmakaudella irtikairannut tutkimusreikään OL-KR24 vuonna 2005 noin 500 metrin syvyyteen asennetun tutkimusreiän koetulpan. Irtikairaus ja bentoniittitulpan ja kvartsibetonitulpan tulokset raportoidaan Posivan työraportissa (Karvonen ym. 2015).

Posiva on osallistunut kanadalaisen AECL:n Underground Rock Laboratoryn (URL) sulkemisen yhteydessä toteutetun kuilujen sulkemiskokeen (Enhanced Sealing Project) seurantaan ja monitorointiin. (Dixon ym. 2014)



Kuva 4-5. POPLU-tulpan paikka valmiiksi louhittuna vuonna 2014 ONKALOn demonstraatiotunnelissa 4.

4.7.4 Täyden mittakaavan järjestelmätesti FISST

ONKALossa maan alla tehtävän täyden mittakaavan järjestelmätestin FISST:in (Full Scale in-situ Test) projektisuunnitelma on tehty pääpiirteittäin vuoden 2015 aikana. FISST:ille on valittu tilat demonstraatiotunnelista 2 ja loppusijoitusreiät käyttäen hyväksi kallion soveltuvuusluokittelua (Rock Suitability Classification, RSC). Kallioon tulevat instrumentoinnit on suunniteltu isolta osin menneellä ohjelmakaudella, mutta varsinaiset instrumentointityöt tehdään tulevalla ohjelmakaudella. Jo aikaisemmin kerätyt tutkimustulokset ympäristöstä on käyty pääpiirteittäin lävitse FISST:iin valittujen loppusijoitusreikien osalta. Myös loppusijoitusreiän pinnan monitoroinnin ja puskurilohkojen instrumentoinnin suunnittelu on aloitettu vuoden 2015 aikana.

FISST:issä käytettävät kapselikomponentit on suurimmaksi osaksi valmistettu vuosien 2013–2015 aikana. Yhteensä FISST:iin tarvitaan 2–4 kokonaista loppusijoituskapselia. FISST:issä käytettävät kapselit vaativat modifiointia instrumentoinnin vuoksi. Vuoden 2015 aikana aloitettiin FISST:issä käytettävien kapselien yläosan ja kansien suunnittelu. Myös tarvittavien kaapelointien ja yhteyksien, sekä lämmitys- ja ohjaussysteemin suunnittelu on alkanut. Vaadittavat muokkaukset kapselikomponenteille tehdään tulevalla ohjelmakaudella. Täytön instrumentoinnin suunnittelu aloitettiin vuonna 2015.

4.8 Loppusijoituspaikan kuvaus, luokittelu ja monitorointi

Olkiluodon paikkatutkimusten ja loppusijoituspaikan valinnan jälkeen tehtyjen varmentavien tutkimusten tuloksena on pystytty osoittamaan, että Olkiluodon kallioperän olosuhteet ovat geologisesti, kalliomekaanisesti, hydrogeologisesti ja geokemiallisesti suotuisat ja riittävän stabiilit käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen. Olkiluodon kallioperän ominaisuuksien monitieteellistä karakterisointia on jatkettu turvallisuusperustelutyötä varten. Työssä on erityisesti keskitytty tiettyihin lisäselvitystä vaativiin aiheisiin kiven mekaanisiin ominaisuuksiin, deformaatio-piirteisiin sekä pohjaveden ominaisuuksiin liittyen.

Olkiluodon karakterisoinnin painopiste on siirtynyt yleisestä tutkimuksesta ja kuvauksesta yksityiskohtaisempaan tutkimiseen ja pyrkimykseen ymmärtää kallioperän pitkäaikaisturvallisuuden vaikuttavia prosesseja yksityiskohtaisemmin. Esimerkiksi demonstraatiotilojen ympäristöstä laadittu ns. detaljimalli kuvaa alueen kallioperän rakennetta hyvin yksityiskohtaisesti. Kyseistä mallinnusta on tehty pääasiassa kallion soveltuvuusluokittelun (RSC) tarpeisiin. Soveltuvuusluokittelun avulla määritetään tilojen asemoinnissa huomioitavat ns. kriittiset tilavuudet sekä loppusijoitukseen soveltuvat kalliotilavuudet ja paikat loppusijoituspaneelleille, -tunneleille ja -kapseleille vaiheittain suunnittelun ja rakentamisen edetessä.

Loppusijoituspaikan kehityksen seuraamista on jatkettu vuonna 2012 päivitetyn Olkiluodon monitorointiohjelman (OMO) avulla (Posiva 2012d). Kuluneen ohjelmakauden aikana monitorointiohjelman tutkimusalojen – kalliomekaniikka, hydrologia ja hydrogeologia, hydrogeokemia, pintaympäristö ja vieraat aineet – lisäksi on kehitetty teknisten vapautumisesteiden monitoroinnin osa-alue, joka alkavalla ohjelmakaudella tullaan ottamaan osaksi monitorointiohjelmaa.

ONKALO tutkimustilana

Suurin osa ONKALOn laajuudesta valmistui vuoden 2012 lopussa, minkä jälkeen on valmistauduttu ja toteutettu erilaisia tutkimuksia, testauksia ja demonstrointeja eri osissa ONKALOn tunnelistoa. Louhintatöitä ei kuitenkaan ole kokonaisuudessaan lopetettu, vaan tutkimus-, testaus- ja demonstrointitöitä varten on louhittu niille sopivia tiloja, kuten esimerkiksi demonstraatiotunnelit 3 ja 4. ONKALOn käyttäminen tutkimustilana edellyttää suunnitelmallisuutta ja turvallista toimintatapaa. Tästä syystä tutkimustehtäviä varten on valmisteltu suunnitelma työn toteuttamisesta, jossa kuvataan mm. työn perusteet, työtavat ja -menetelmät, vaatimukset tutkimuskohteelle ja työhön liittyvät riskit. Edellytyksenä on ollut myös aloituskokouksen pitäminen, jotta työtä suorittava henkilöstö tietää ja ymmärtää millaisesta paikasta ja tehtävästä on kyse. Vaatimustaso suunnitelmille, työtaidoille ja työturvallisuudelle on noussut vuosien saatossa. Tämä valmistaa myös tutkimuksiin, testeihin ja demonstraatioihin osallistuvia henkilöitä tulevaisuuden haasteisiin mm. luvanvaraisen rakentamisen aloittamiseen ja käyttötoimintaan.

Tutkimustöitä varten ONKALOn ajotunnelin yhteyteen on louhittu viisi tutkimustilaa, joita on käytetty tarkentavien tutkimusten suorituspaikkoina. Kuluneen kauden aikana jokaisessa tutkimustilassa on ollut meneillään, jatkunut tai käynnistynyt tutkimusprojekteja.

Tutkimustilassa 1 aloitettiin vuonna 2011 bentoniittipuskurin toimintaa ja instrumentoinnin asentamista ja pitkäaikaiskestävyyttä selvittävä työ. Seuranta kyseisissä tutkimusrei'issä on ollut käynnissä siitä lähtien. Rei'istä toinen purettiin syksyllä 2013. Instrumentoinnin toimivuudesta kertynyttä tietoa on hyödynnetty mm. DOPAS-hankkeen POPLU-projektissa.

Tutkimustilassa 2 on jatkettu pohjavesiaseman ONK-PVA5 seuranta. Kyseiseen rei'kään on suunniteltu laitteistotestausta, jonka tarkoituksena on selvittää erityyppisten vesikemian mittalaitteiden toimivuutta ja luotettavuutta ONKALOn olosuhteissa. Instrumentoinnin muutokset toteutuvat vuoden 2015 aikana.

Tutkimustilassa 3, joka on ollut sekä louhintahäiriövyöhyke (EDZ) - että kalliomekaanisten tutkimusten toteutuspaikka (Johansson ym. 2012), on jatkettu kallion mekaanisten ominaisuuksien tutkimuksia. Alun perin tila louhittiin kapeampana ja siellä tutkittiin louhintamenetelmän laadun hallintaa, louhinnasta johtuvaa häiriövyöhykettä sekä selvitettiin soveltuvien mittausmenetelmien käytettävyyttä ja luotettavuutta ennen demonstraatiotilojen louhintaa. Tämän jälkeen tilaa on hyödynnetty erilaisten EDZ-tutkimusten työalueena. Tämä johtuu siitä, että alue on varsin perusteellisesti karakterisoitu geologisin, geofysikaalisin ja kalliomekaanisin menetelmin, joten jatkotutkimusten tieto on helpommin yhdistettävissä aikaisempaan. Kuluneella kaudella EDZ-tutkimuksia on toteutettu EDZ09-projektin yhteydessä louhittussa tutkimustilan osassa (Mustonen ym. 2010). Tutkimuksissa selvitettiin häiriövyöhykkeen laajuutta ja sen hydrologisia ominaisuuksia geofysikaalisin ja hydrologisin mittausmenetelmin.

Tutkimustila 4 toteutettiin rakojen hydraulisten ominaisuuksien tutkimustarpeita varten. Kuluneella kaudella tilaan ei ole kairattu uusia rei'kiä. Olemassa olevissa rei'issä on jatkettu heikosti vettäjohtavien rakojen karakterisointia. Ko. tutkimuksen perusteella voidaan ennakoida loppusijoitusrei'an ympärillä tapahtuvia prosesseja.

Tutkimustila 5 louhittiin matriisidiffuusiokoetta (REPRO) varten. Kokeita varten tilaan kairattiin useita kairareikiä, joihin asennetuilla instrumenteilla (tulpilla) eristetään rei'istä osuuksia, joissa merkkiaineita kierrätetään. Ensimmäiset merkkiaineinjektoinnit suoritettiin vuoden 2013 alussa, minkä jälkeen merkkiaineen pidättymistä kairareian seinämiin on seurattu syksyyn 2014 saakka. Vuoden 2015 aikana on valmisteltu REPRO-tutkimusten viimeistä vaihetta, reikien välistä läpidiffuusiokoetta.

Tutkimustilojen lisäksi töitä on tehty koko ONKALOn alueella. Vuosittain uusittava vuotovesikartoitus ja sen karttakuvat on päivitetty. Kuukausittain on toistettu koko ONKALOn käsittävä vuotovesimittaus. ONKALOn louhintojen edetessä on mittauspisteitä lisätty, näistä esimerkkeinä ovat kuiluperät -437 ja -455 -tasoilla. Vuotovesimittauksen tulokset ovat laajalti käytössä, kun arvioidaan louhintojen vaikutusta kallion pohjaveden liikkeisiin ja kemiallisiin muutoksiin. ONKALOn louhintojen aikana on ajo-tunnelin varteen kairattu mm. pohjavesiasemareikiä, joilla seurataan kalliossa olevan veden koostumuksen muutoksia. Vuosittain em. rei'istä otetaan vesi-, kaasu-, mikrobi- ja kolloidinäytteitä, jotta rakentamisesta ennustetut muutokset voidaan todentaa. Kallion liikkeitä ja jännitystilaa mitataan eri kohteissa. Jännitystilamittauksissa on keskitytty uuden irtikairaukseen perustuvan jännitystilamittauslaitteen (LVDT-kenno) hyödyntämiseen. (Hakala ym. 2013). Kallion liikkeitä on havainnoitu vuosittain laajentuvalla

mikroseismisten asemien verkolla ja soveltuviin paikkoihin asennetuilla ekstensometreillä. Työt ovat kiinteä osa Posivan monitorointiohjelmia.

ONKALOSSA on perustutkimusten lisäksi toteutettu erillisiä tutkimuskampanjoita, joiden tarkoituksena on ollut mm. kallion soveltuvuusluokittelun (RSC) demonstraation laajentaminen. Demontraatioalueen itä- ja eteläpuolelle kairattiin useampia reikiä, joissa toistettiin RSC:een edellyttämät tutkimukset ja päivitettiin pienenmittakaavan mallinusta. Samalla alueella toteutettiin latauspotentiaalimittauskampanja, jotta reikä- ja tunnelihavainnot pystytään yhdistämään luotettavammin. Menettely on yksi mahdollisista tutkimustavoista, kun loppusijoitustunneleiden soveltuvuutta selvitetään loppusijoituslaitoksen toteutuksen yhteydessä.

Kairauksia on kuluneen kauden aikana toteutettu tutkimuksen, demonstroinnin tai toteutuksen tarpeiden mukaisesti. Uusiin tiloihin on kairattu pilottireikiä, jotta RSC-menettelyn testaamista varten saadaan lisää aineistoa laajemmalla alueella. Maan alle kairatuista rei'istä lukumääräisesti noin puolet oli kuilujen tiivistämiseen liittyviä reikiä, reikämetreistä injektointitarkoitukseen käytettiin neljä viidesosaa. Viimeiset kuiluinjektointit saatiin päätökseen vuoden 2014 alkupuoliskolla. Injektointireikiä kairattiin kymmeniä sekä kuilujen sisä- että ulkopuolelle (Toropainen, 2014 a, b, c). Kuilujen hyväksyttävä toteuttaminen on edellyttänyt suunnitelmallista ja pitkäjänteistä vuotovesien hallintatyötä.

Posiva suunnitteli ja toteutti vuosina 2010–2012 kaksi ensimmäistä demonstraatiotunnelia. Louhinnat suunniteltiin tulevien loppusijoitustunneleiden ja erillisten demonstraatiotunneleita koskevien vaatimusten mukaisesti ja louhinnoissa pyrittiin osoittamaan tunneleiden vaatimusten mukainen toteuttaminen (Posiva 2013b). Tunneleiden tarkoituksena on toimia tulevan testaustoiminnan alueena (taulukko 4-1). Vuoden 2012 aikana Posivassa käynnistyi DOPAS-hankeeseen liittyvä POPLU-projekti. Sen tarkoituksena on demonstroida loppusijoitustunnelin päätytulpan suunnittelu, toteutus ja monitorointi. Kyseistä tehtävää varten louhittiin vuonna 2013 demonstraatiotunnelit 3 ja 4, tasolle -420. Suunnittelussa ja toteutuksessa noudatettiin edellisten tunneleiden tavoin OL1-2-yksiköiden polttoaineen loppusijoitustunneleiden vaatimuksia, joita täsmennettiin projektin tarpeilla. Tunneleiden louhintaa ei tehty samanaikaisesti, mikä olisi ollut aikataulu- ja kustannustehokkain tapa. Kalliosta johtuvien epävarmuuksien minimoimiseksi päädyttiin ensin louhimaan demonstraatiotunneli 4, jotta tulpan paikaksi soveltuva (RSC-luokitus) tunneliosuus saatiin varmuudella tehtyä suunnitellun tunnelilaajuuden alueelle. Paikan varmistuttua louhittiin demonstraatiotunneli 3, joka lujitettiin koko pituudelta pulttaamalla ja verkolla (poislukien tulpan alueen). Demontraatiotunnelia 3 käytetään instrumentoinnin, tiedonkeräyksen ja paineistusjärjestelmän sijoituspaikkana.

Taulukko 4-1. Testaustoiminnan sijoittuminen demonstraatioalueen eri tunneleihin.

Paikka (demonstraatiotunneli)	Testi, tutkimus tai demonstraatio
Demonstraatiotunneli 1	RSC-menettelyn toteuttaminen vaiheittain. Louhinnan demonstrointi. Koeloppusijoitusreikien porauksen demonstrointi (4 kpl). Puskurin asennuslaitteen testaus betoni- ja bentoniittilohkoilla, pellettitäyttö lohkon ja kallion väliin. Kapselin siirto- ja asennuslaitteentestaus. Loppusijoitusreiän pohjan tasaus. Bentoniitin kosteusuojan testaus.
Demonstraatiotunneli 2	RSC-menettelyn toteuttaminen vaiheittain. Louhinnan demonstrointi. Kolloidisen silikan injektoinnin toteuttaminen. Tulppavarauksen poistettu tunnelin alusta. Lattian rouhinta Koeloppusijoitusreikien porauksen demonstrointi (6 kpl). Asennusvarauksen toteutus (chamfer). Lattian tasauskerroksen asennustestaus. Lohkotäytön demonstrointi. Varautuminen FISST:n toteuttamiseen.
Demonstraatiotunneli 3	RSC-menettelyn toteuttaminen vaiheittain. Louhinnan demonstrointi. POPLUn instrumentointi
Demonstraatiotunneli 4	RSC-menettelyn toteuttaminen vaiheittain. Louhinnan demonstrointi. Loppusijoitustunnelin päätytulpan demonstrointi (POPLU).

Kenttätyöt maanpinnalla

Olkiluodooon on kairattu yhteensä 57 syvää tutkimusreikää yhteispituudeltaan 32 770 metriä. Näistä 27:lle on kairattu upporatun pintaosuuden kattava noin 40 metrinen B-reikä. Lyhyempiä tutkimusreikiä maapeitteen paksuuden ja kallion pintaosien tutkimiseksi on tehty 90 kappaletta yhteispituudeltaan 2 654 metriä.

Kuluneen ohjelmakauden aikana tehty paikankuvaus-, kallioluokittelu- ja monitorointityö ja niiden tilanne on esitelty tutkimusaloittain seuraavissa kappaleissa.

4.8.1 Geologia ja geofysiikka

Turvallisuusperustelua varten tarvitaan kattava kuvaus paikasta, johon geologista loppusijoitusta valmistellaan. Eräänä perustana muiden tieteenalojen työlle tarvitaan tulkinta paikan geologisista ominaisuuksista. Tämä sisältää niin petrologisen kuin deformaatiohistoriankin kuvauksen. Geofysiikan tutkimukset täydentävät geologista tietoa esimerkiksi kalliosirroksia tutkittaessa.

Vuonna 2012 jatkettiin tutkimusalueen itäosassa latauspotentiaalimittauksia. Aineistosta mallinnettiin useita sähköisesti johtavia vyöhykkeitä, joista monet yhtyvät viimeisimmässä geologisessa mallissa esitettyihin hauraisiin vyöhykkeisiin. Tulosten avulla voitiin yhdistää joitakin hauraita vyöhykkeitä toisiinsa ja löydettiin jatkeita jo aiemmin mallinnetuille vyöhykkeille. Aineisto osoittaa myös että useiden hauraiden vyöhykkeiden rakenne on melko monimutkainen ja että monet hauraat vyöhykkeet ovat galvaanisessa yhteydessä toisiinsa. Mittaukset ja tulokset on raportoitu Posivan työraporttina (Ahokas ym. 2014).

Loppuvuodesta 2014 aloitettiin maanpinnalta kairatuissa rei'issä geofysikaaliset täydennysmittaukset. Mittauksissa keskitytään keräämään akustisen kuvauksen aineistoa niistä rei'istä, joista sitä ei ole aiemmin mitattu. Mittausten aikana tehdään myös uusintamittauksia rei'issä, joista olemassa oleva aineisto on huonolaatuista. Mittaukset ja mittausaineiston tuloks käsittely saadaan loppuun vuoden 2015 aikana. Tulosten tulkinta ja jatkokäsittely loppusijoituspaikan mallinnusta varten alkaa aineiston valmistuttua.

Kesällä 2013 suoritettiin seismisen 3D-tunnelitutkimuksen kenttätyöt ONKALON demonstraatioalueella. Mittaukset, aineiston käsittely ja tulokset on raportoitu työraportissa (Enescu ym. 2014). Mittausten tuloksena saatiin esiin suuri määrä heijastajia usealla profiililla. Osa heijastajista on voitu yhdistää tunnettuun geologiseen rakenteeseen. Tuloksia on jo hyödynnetty pienen mittakaavan mallinnuksessa, mutta tulosten mallintaminen on vielä osittain kesken.

Keväällä 2014 tehtiin ONKALON demonstraatioalueella ja lähialueella latauspotentiaalimittauksia useassa kairareissä sekä mittausprofiileilla tunnelin seinämällä. Tuloks käsittely on jo valmistunut ja aineisto on pienen mittakaavan mallinnuksen käytössä. Raportointi on työn alla.

ONKALOSSA on suoritettu runsaasti maatumkauksia erilaisten tutkimusprojektien, kuten EDZ-tutkimusten ja kalliomekaniikan kokeiden, tarpeisiin. Reikägeofysiikan mittauksia on tehty uusissa rei'issä. Reikägeofysiikan mittauksia on tehty myös erilaisiin kokeisiin ja projekteihin liittyen.

Pienen mittakaavan mallinnusta on jatkettu aktiivisesti ONKALON demonstraatiotunneleiden lähialueella ja malli on vähitellen laajentunut demonstraatiotunneleiden itä- ja eteläpuolisille alueille. Mallin päivityksissä on hyödynnetty mm. demonstraatiotunneleista 3 ja 4, niiden pilottirei'istä sekä demonstraatiotunneleiden itä- ja eteläpuolelle kairatuista tutkimus- ja pilottirei'istä saatua uutta tutkimusaineistoa. Mallinnuksessa on käytetty myös alueella vuonna 2013 suoritetusta seismisestä mittauskampanjasta ja 2014 toteutetuista latauspotentiaalimittauksista saatuja aineistoja.

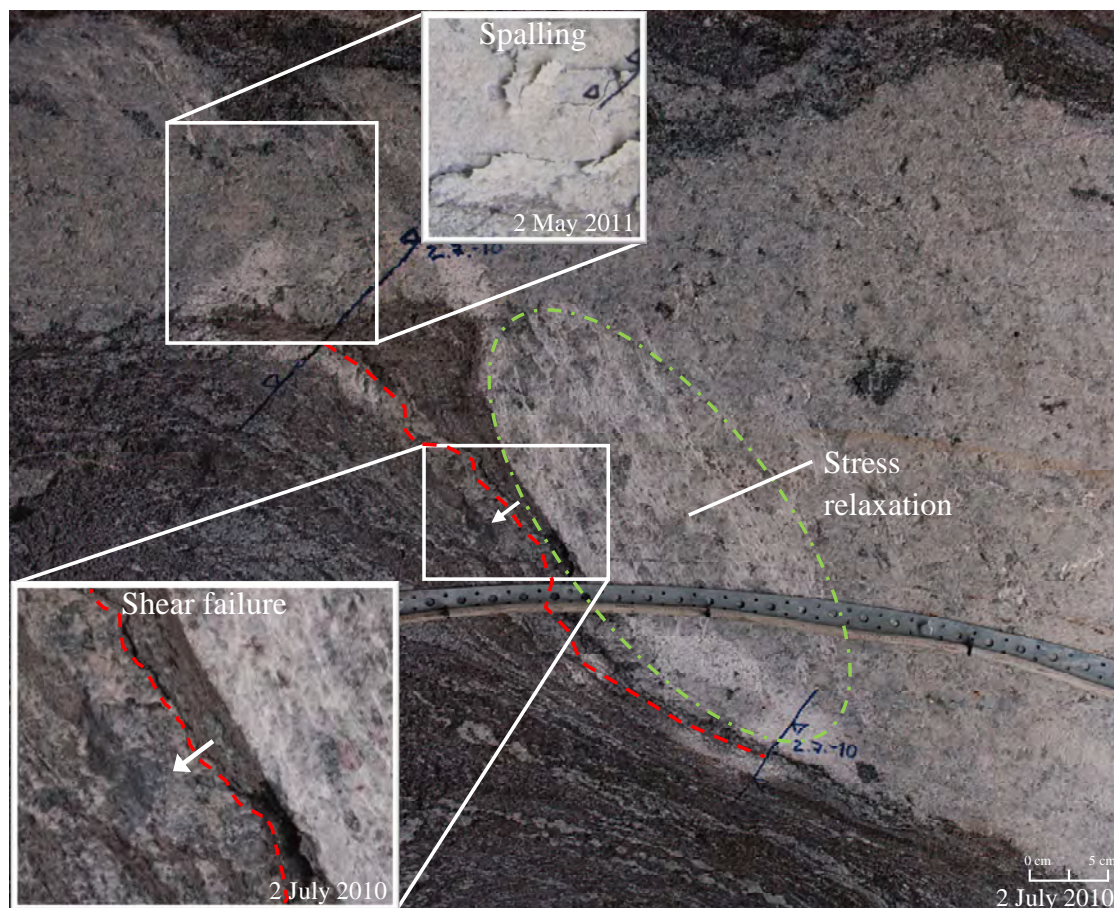
Mallinnus on edelleen keskittynyt kallion soveltuvuusluokittelun kannalta merkittävien hauraiden ja vettä johtavien rakenteiden yksityiskohtaiseen kuvaamiseen, ja mallinnuksen yhteydessä on kehitetty mm. menettelyä, jolla kairareikäaineistoista voidaan tulkita yksittäisiä merkittäviä rakoja. Hauraiden ja hydrogeologisten piirteiden lisäksi duktiilin deformaation piirteiden ja – vähäisemmässä määrin – litologisten piirteiden mallinnus pienessä mittakaavassa on aloitettu, ja tämän mallinnuksen ensimmäiset tulokset tullaan raportoimaan osana geologian malliraportin päivitystä.

Pienen mittakaavan mallin tämänhetkinen versio (v. 10) sisältää yhdeksän yksityiskohtaisesti mallinnettua haurasta deformaatiovyöhykettä, viisi duktiilideformaatiovyöhykettä, 12 merkittävää (laajaa) rakoa ja 18 reikäaineistojen perusteella mallinnettua paikallista, vähäisempää vettä johtavaa rakoa. Pienen mittakaavan mallia on hyödynnetty edelleen paikan mittakaavan mallinnuksessa; pienen mittakaavan mallinnuksessa käytetyt menetelmät ja aineistot sekä malliversio 10 kuvataan *Geology of Olkiluoto* -raportissa (valmisteilla).

4.8.2 Kalliomekaniikka

Kalliomekaaniset tutkimukset ja tulokset ovat tärkeässä roolissa, kun osoitetaan loppusijoituskallion soveltuvuutta ja suunnitellaan maanalaisia tiloja siten, että sekä työnaikaisen että pitkäaikaisturvallisuuden tarpeet tulevat huomioitua. Kalliomassan käyttäytyminen ja kallion rakojen ja siirrostien ominaisuudet on siksi tunnettava ja on pystyttävä ennustamaan kallion käyttäytymistä.

Loppusijoituskallion jännitystilaa ja vaurioitumislujuuden tutkimiseksi toteutettiin POSE-kokeen kolmas vaihe suoritettiin vuonna 2013 ONKALOSSA. Sitä ennen tehtiin kyseiselle vaiheelle ennustemallinnukset P/O (Prediction/Outcome) -työn kehittämiseksi käyttäen sekä rakomekaniikkaan perustuvaa mallinnustapaa (Siren 2015), että kontinuumimallinnusta (Hakala ja Valli 2013). Ennusteista poiketen POSE-kokeissa kuitenkin havaittiin, ettei ONKALON migmatiittinen gneissi vaurioitu hilseilemällä. Tämä havainto on vahvistettu myös tunnelihavainnoin. Hilseilyvaurion sijaan kallion vaurioitumista on havaittu tapahtuvan kivilajirajoilla ja kiven liuskeisuuspintoja pitkin (Johansson ym. 2014, Valli ym. 2014) (Kuva 4-6). Vuonna 2014 toteutettiin mittava laboratoriotestisarja POSE-tutkimustilasta kerätyille näytteille jatkuen 2015 vuoden alkupuolelle. Laboratoriotestitulosten tulosten jälkeen on mahdollista suorittaa lopullinen POSE-kokeen tulosten käsittely ja mallintaminen sekä tehdä kokeen lopulliset johtopäätökset. Alustavien johtopäätösten mukaan kalliossa tapahtuu raonkasvua n. 40 MPa:n jännityksillä, ja suurempi kalliomassan vaurio alkaa n. 90 MPa:n jännityksillä (Siren ym. 2015). POSE-kokeen 3. vaiheen aikana hilseilyä havaittiin vain yksittäisessä pegmatiittista muodostuneessa kivisillassa.



Kuva 4-6. Kallion vaurioitumista POSE-kokeessa: graniittiseen neosomiin syntyneitä hilseilyä (Spalling) ja kivilajirajoilla ja kiven liuskeisuuspinnoja pitkin syntyneitä vaurioitumista (Siren ym. 2015).

Tunneleiden lujituksessa käytettävien betonirakenteiden ja kalliomassan alttiutta loppusijoitusajan aiheuttamalle termiselle pulssille on tutkittu vuosina 2014 ja 2015 valmistellulla ICSE (In situ Concrete Spalling Experiment) -kokeella. Kokeen ennustelaskennat on julkaistu 2014 (Siren ym. 2014). Kokeessa varmennetaan lujituksen ja kalliomassan muodostaman liittorakenteen toimintaa ja kestävyyttä termisen pulssin aikana.

POSE- ja ICSE-kokeiden mallinnuksia (Siren 2011, Siren 2015) varten on kehitetty rakomekaanista mallinnusmenetelmää, jossa pystytään huomioimaan kallion lujuus- ja kimmoanisotropia (Shen ym. 2014). Rakomekaniikkaan pohjautuvalla anisotrooppisella mallinnuksella pystytään mallintamaan kontinuumimenetelmiä realistisemmin vauriomekanismeja vahvasti suuntautuneille materiaaleille, kuten Olkiluodon liuskeiselle kivelle.

Loppusijoituksen aiheuttaman kallion lämmön nousun vaikutuksia kallion jännitystilaan, jännitystilavaurioihin ja näiden edellyttämiä lujitusratkaisuja Olkiluodon kallioolosuhteissa on tutkittu vuonna 2014 (Hakala ym. 2014). Tulosten perusteella suunniteltu kalliolujitus säilyttää toimintakykynsä kasvaneissa jännitysolosuhteissa, mutta lujitusrakenteet vaurioituvat osin. Loppusijoituslaitoksen pitkäaikaisturvallisuus ja toimivuus pystytään kuitenkin takaamaan kaksivaiheisella lujitusstrategialla.

Vuonna 2007 käynnistetty ONKALON kalliomekaaninen mallinnus on kuvaus kalliomekaanisesti merkittävistä ominaisuuksista ja parametreista. Työn tavoitteena on kehittää työkalu, jolla voidaan arvioida kalliolaatua ja kallion ominaisuuksia ONKALON tilojen ja loppusijoitustilojen suunnittelussa. Vuonna 2014 on julkaistu versio 2.3 ONKALON kalliomekaanisesta mallista (Häkkinen ym. 2014) ja versiota 3.0 työstetään vuoden 2015 aikana. Malli koostuu tietokannasta, joka sisältää Olkiluodon kalliomekaanisen lähtöaineiston, sekä lohkomallista, joka sisältää arvion kalliolaadusta pohjautuen käytettyyn lähtöaineistoon. Uusissa versioissa on kehitetty edelleen lohkomallin laskentamenetelmiä keskittymällä tunnistamaan kalliolaadultaan samankaltaisia tilavuuksia, joilla laskentaa rajataan. Kalliomekaniikan mallia (RMM) päivitetään vaiheittain, kun uusia tietoja on käytettävissä. Mallia kehitetään edelleen käytettävyyden ja päivitettävyyden parantamiseksi. Kalliomekaaninen malli on kehitystyön avulla tarkoitus saada hyödylliseksi työkaluksi loppusijoituslaitoksen suunnittelijoiden ja rakentajien käyttöön.

ONKALOssa vuosina 2010–2014 suoritetuista LVDT-mittauksista, muista tunneli- ja koehavainnoista sekä niiden pohjalta tehdystä mallista julkaistaan vuoden 2015 lopussa Posiva-raportti, jossa tiivistetään viimeisin ymmärrys Olkiluodon jännityskentästä yhdeksi jännitystilatulokinnaksi. Kalliomassan kimmoisten ominaisuuksien ymmärtäminen laajassa mittakaavassa on tärkeä tekijä jännitystilatulokinnassa. Mallinnuksessa on pyritty tutkimaan kivimassassa olevien luonnonrakojen määrän ja koon suhdetta ympäröivän kivimassan kimmoiseen käyttäytymiseen DFN-rakoverkkomalliin (Discrete Fracture Network) perustuen.

Vuosien 2014 ja 2015 aikana aloitettiin SKB:n kanssa POST-yhteistyöprojekti ONKALOA lävistävien hauraiden rakenteiden mekaanisten ominaisuuksien parametrisoimiseksi laboratorio- ja in situ -kokein. Projektiin liittyvää työtä on täydennetty Posivan omassa kartoitusdatan käyttöön pohjautuvassa rakenteiden mekaaniseen parametrisointiin pyrkivässä kehitysprojektissa (Simelius 2013).

4.8.3 Hydrogeologia

4.8.3.1 Loppusijoituspaikan hydrogeologinen kuvaus

Loppusijoituspaikan hydrogeologisessa kuvauksessa YJH-2012-ohjelmakausi on keskittynyt erityisesti hydrogeologisen rakennemallin päivitykseen ja sen vaatimiin kenttätutkimuksiin sekä aikaisempien tulosten analysointiin.

Hydraulic Testing Unit (HTU) -mittauksia on tehty valikoiduissa rei'issä noin 300–700 m:n syvyydellä. Poikkivirtausmittauksia on tehty ONKALON lähirei'issä.

Itäisen alueen pumppauskoe toteutettiin YJH-2012-ohjelmassa esitetyn suunnitelman mukaisesti vuosien 2013 ja 2014 vaihteessa. Tutkimuksella laajennettiin hydrogeologista käsitystä Olkiluodon itäiseltä alueella erityisesti laajempien vettäjohtavien rakenteiden jatkuvuuksiin liittyen. Saatuja tuloksia on hyödynnetty erityisesti hydrogeologisen rakennemallin päivitystyössä.

HYDCO (Hydraulic Connectivity) -vuorovaikutuskokeessa on tutkittu vettäjohtavien rakojen kytkeytymistä toisiinsa mahdollisimman hyvin loppusijoitusreikien ympäristöä muistuttavassa kalliotilavuudessa. ONKALON tutkimustilaan 4 on koetta varten kairattu

kaksi tutkimusreikää (ONK-PP262 ja -274), joiden välillä on tehty pienen mittakaavan rakoyhteyksien selvittämiseen tähtääviä tutkimuksia. HYDCO-projektista julkaistaan yhteenvetoraportti vuosien 2015 ja 2016 vaihteessa.

Lisäksi hydrogeologista tietoa on kerätty ONKALosta myös kairareikien virtausmittauksilla. Maanalaisten tilojen louhinnan edetessä tunneliprofiilin sisään porataan noin 20 metrin välein tunnustelureikiä. Rei'issä tehdään erillisten suunnitelmien mukaan vuoto- ja vesimenekki- ja virtausmittauksia sekä vesinäytteenottoja. Manuaalinen virtausmittaus tehdään tunnustelureiässä aina, jos reiän tuotto ylittää 30 ml/min. Kaikkia ONKALossa tehtyjä virtausmittaustuloksia käytetään apuna Olkiluodon kallioperän yksityiskohtaisessa hydrogeologisessa mallinnuksessa.

Demonstraatiotunneliin 2 suunniteltujen koeloppusijoitusreikien pilottirei'issä (ONK-PP379–384) toteutettiin maaliskuussa 2014 vesimenekkimittauskampanja, jonka tavoitteena oli uusien hydraulisten karakterisointi- ja luokittelumenetelmien kehittäminen loppusijoitusreikien hyväksyttämiseksi kallion hydraulisten ominaisuuksien osalta. Työ on kuvattu loppusijoituskonseptin kehitysohjelmassa ja se tehtiin Posiva/SKB-yhteistyönä. Projektin lopputavoitteena on selvittää mahdollisuuksia määrittää uusi kriteeri(/-t), joka kuvaisi paremmin saturoitumisen jälkeisiä virtausmääriä loppusijoituskapselin ympäristössä. Avoimen tunnelin tilassa mitatut vuotomäärät eivät anna riittävän hyvää kuvaa saturoitumisen jälkeisistä olosuhteista. Vesimenekki-kokeiden avulla mitatun transmissiviteetin (vedenjohtokyky) on arvioitu kuvaavan paremmin kallion virtausominaisuuksia kuin vuotovesimäärien, joihin vaikuttavat merkittävästi rakentamisen aiheuttamat häiriöt. Tehtyjen mittausten jälkeen työ on jatkunut vuonna 2015 mallinnusosuudella. DFN-mallinnuksen avulla selvitetään muun muassa vesimenekki-kokeista saatujen tulosten ja sulkemisen jälkeisten virtausmäärien vertailukelpoisuutta.

Pintahydrologian malli

Vuosien 2013–2015 aikana pintahydrologian mallinnuksen tärkeimmät kehitystyöt ja mallin sovellutukset ovat olleet:

- ONKALOn vaikutusten lyhyen (1 v) ja pitkän aikavälin (100 v) ennustejärjestelmän kehittäminen ja suolaisuuden lisääminen ennustejärjestelmään
- mallin maaperäominaisuuksien ja matalan kallioperän ominaisuuksien kalibrointia tarkennettiin saaren itäisellä alueella (mm. vyöhykkeen HZ146 koepumppaus)
- Korvensuon altaan vaikutusten yksityiskohtainen mallintaminen
- suotautumiskokeen II vaiheen mallintaminen, vyöhykkeiden sijainnin tarkentaminen ja reunaehtojen toimittaminen reaktiiviseen kulkeutumismalliin (Amphos21).
- lisättiin pintahydrologian malliin Ensemble Kalman Filter -algoritmi, jota voidaan käyttää sekä parametrien estimoinnissa, että epävarmuuksien arvioinnissa
- suolaisuusmallia kehitettiin niin, että avoimien kairareikien vaikutus suolaisuusmuutoksiin pystytään ottamaan mallissa huomioon
- suolaisuusmallin parametrien kalibrointi HZ20-rakenteiden osalta ja ko. rakenteiden suolaisuusennusteet vuoteen 2120 saakka
- kapselointilaitoksen vaikutusten ennustamista varten malliin lisättiin uusi tihkupintareunaehto, jolla voidaan arvioida kallion injektioinnin vaikutus pohjavedenpinnan käyttäytymiseen kaivannon ja/tai kallioluolan lähiympäristössä

- laskettiin biosfääriobjektien vaaka- ja pystysuuntaiset virtaukset seuraavien 10 000 vuoden aikana radionuklidien kulkeutumisen laskennan lähtötiedoiksi

Pintahydrologian mallinnus on toteutunut pääosin YJH-2012-ohjelmassa esitetyn suunnitelman mukaan. Suunnitelmaan merkityistä kehityshankkeista on vielä kesken osio, jolla on mahdollista tehdä arvio siitä, mistä ONKALOn ajotunnelin ja kuilujen vuotovedet ja vyöhykkeisiin tuleva vesi on peräisin (maakerrokset, Korvensuon allas, merivesi). Tämä osio viimeistellään vuoden 2015 aikana.

Pintahydrologian malli julkaistaan Posiva-raporttina 2015 loppuun mennessä.

Hydrogeologinen rakennemalli

Hydrogeologisen rakennemallin päivitys julkaistaan vuoden 2016 alussa. Lähtökohtana tälle uudelle päivitykselle oli edellisen hydrogeologisen mallien lisäksi geologisen paikkamallin päivitys versioon 3.0, sekä tutkimusalueelta kerätyt uudet hydrogeologiset ja geofysikaaliset kenttähavainnot. Mallipäivityksen erityisenä tavoitteena oli tuottaa luotettavampi hydrogeologinen kuvaus tutkimusalueen itäosasta. Hydrogeologian mallin päivitystä varten myös analysoitiin hydraulisia painevasteita sekä virtausvasteita. Edellisten tausta-aineistojen lisäksi arvioitiin maanpinnalta kairattujen kairareikien OL-KR1-KR57 osalta vedenjohtavuusaineistojen edustavuutta.

Pohjaveden virtausmalli

Pohjaveden virtauksen tutkimuspaikan mittakaavan (~1 km) perustuu konseptuaaliseen malliin kallion hydrogeologisesta rakenteesta. Olennaisesti se koostuu merkittävistä hydrogeologista vyöhykkeistä (mm. HZ19A,C; HZ20A, B). Virtausmallissa näiden vyöhykkeiden havaintojen mukaan tulkittu merkittävyys liittyy niiden suuriin transmissiviteetteihin, jotka edelleen perustuvat ennen muuta Posivan virtausmittarilla (Posiva Flow Log, PFL) mitattuihin *pisteittäisiin* transmissiviteetteihin. Toisaalta tutkimuspaikan mittakaavan hydrogeologista ominaisuuksista saadaan merkittävää tietoa myös eri pumppauskokeista ja ONKALOn aiheuttamista pohjavesivaikutuksesta. On luontevaa edellyttää, että virtausmalli vastaa sekä PFL:n avulla mitattuja transmissiviteetteja että kykenee ennustamaan em. hydrauliset vasteet mahdollisimman hyvin. Koska vuosien mittaan karttunut aineisto on hyvin laaja, sellaisen mallin ominaisuuksien määrittäminen voi käytännössä olla mahdollista vain numeerisin menetelmin. Yksi yleinen menetelmä, joka soveltuu suuren data-aineiston assimilointiin hydrogeologiseen malliin on ns. Ensemble Kalman Filtering (EnKF). Sen perusajatus on tuottaa (iteratiivisesti) tilastollinen joukko mallilla laskettuja tuloksia, joita verrataan mittausdataan ottaen erityisesti huomioon mittausdatan (gaussisesti jakautuneet) virheet. Malliparametrien ja mittausdatan perusteella (laskemalla niiden välinen kovarianssimatriisi) mallin kullekin syöteparametrille (esim. transmissiviteetille) lasketaan uusi arvio.

EnKF-menetelmä ja käytettävissä olevan tietokonekapasiteetin kehitys mahdollistavat aiempaa seikkaperäisemmän mallinnuksen, jolla voidaan ottaa systemaattisesti ja kattavasti huomioon pohjavesivaikutuksia koskevat havainnot. Vuonna 2014 semi-homogeenista ja heterogeenista virtausmalleja kalibroitiin EnKF-menetelmän avulla mm. pumppaushavaintojen perusteella. Näin kalibroituja ominaisuuksia käytetään mm.

ONKALON vuotovesimäärien ennusteisiin. Soveltamalla EnKF-menetelmä painekorkeuksien aikakehitykseen lasketaan ominaisvarastokerroin hydrogeologisille vyöhykkeille ja niiden väliselle harvaan rikkonaiselle kalliolle. Vuonna 2015 otetaan käyttöön uusi virtausmalli, jolloin suoritetaan vastaavat EnKF-kalibroinnit kuin aiemmille malleille ja tarkistetaan hydrogeologisten rakenteiden geometria ja ominaisuudet. Samalla virtausmalliin lisätään pohjaveden suolaisuus, mikä edellyttää virtauksen ja suolan kulkeutumisen kytkettyä ja ajasta riippuvaa mallinnusta.

Kallion rakoverkkomalli (DFN)

Kallion rakoverkkomallin (DFN) päivitys aloitettiin vuonna 2014 kokoamalla edellisen mallin jälkeen maanpinnalta sekä maanpinnan alta kerätty aineisto sekä tulkinat. Tämä tietokanta edustaa viimeisintä tietämystä Olkiluodosta kerätystä rakoaineistosta, joka sisältää mm. hauraan deformaation vyöhykkeet, litologiamallin (v.3.0), lineamenttimallin, transmissiviteettitulkinat, detaljimallin (DSM v. 9), duktiilin mallin (v.3), rakotiedot POTTI-tietokannasta, tunneliprofiilit, rakojaljet 3000 m paalulta tunnelin päähän, kuiluista saadun aineiston sekä päivitettyt hauraat siirrosvyöhykkeet (BFZ). Aineistosta on analysoitu laskennallisilla menetelmillä mm. rakojen suuntaa, rakojen alueellista jakautumista, rakojen kokoa ja muotoa sekä rakojen avonaisuutta, pintoja ja rakotäyhteitä. Tietokanta rakennettiin siten, että aineiston sisältämät virheet, puutteet sekä lisäykset otettiin huomioon. Tietokannan muodostamiseen käytettävistä menetelmistä, aineiston lähteistä ja tuloksista julkaistaan työraportti vuoden 2016 alussa.

Samalla aloitettiin rakoverkkomallinnuksessa käytettävän metodologian kuvaus, joka käsittelee tämänhetkiset menetelmät, Olkiluodon siirroksiin ja rakoiluun liittyvän tiedon perustelun sekä geologisen ja hydrogeologisen rakoverkkomallin integroivan mallin periaatteet. Tämä metodologia tullaan raportoimaan vuonna 2016. Vuonna 2015 aloitettiin ONKALON demonstraatiotila-alueella kuvaava pienen mittakaavan rakoverkkomalli sekä koko Olkiluodon saaren kattava DFN-malli (DFN 3.0). Demonstraatioaluetta kuvaava DFN-malli julkaistaan työraporttina vuoden 2016 alussa. DFN-malli on osa tulevaa loppusijoituspaikan kuvausta.

4.8.3.2 Hydrologinen ja hydrogeologinen monitorointi

Hydrologinen ja hydrogeologinen monitorointi toteutettiin pääosin monitorointiohjelman mukaisesti (Posiva 2012d). Pohjaveden pinnankorkeutta havainnoitiin sekä matalissa pohjavesiputkissa ja kairarei'issä että avoimissa syvissä kairarei'issä manuaalisesti kerran kuukaudessa. Muutamia pinnankorkeuden referenssireikiä sekä suotautumiskoealueella sijaitsevia matalia reikiä on myös seurattu automaattisten pinnankorkeusantureiden avulla. Painekorkeuden seuranta tapahtui monitulpattujen syvien kairareikien automaattisen paineseurantaverkoston (GWMS) avulla.

Vuoden 2015 puolivälissä oli 27 syvää kairareikää monitulpattuna ja liitettynä monitorointiverkoston. Vuonna 2013 toteutettiin laaja tulppauskampanja itäisellä alueella vuosien 2013 ja 2014 vaihteessa tehtyä itäisen alueen pumppauskoetta varten. Saatujen paineseuranta- ja pumppauskoevastetulosten perusteella päädyttiin kesän 2014 aikana tarkistamaan laitteistojen toimintaa ja nostettiin useita tulppalaitteistoja ylös. Ongelmia aiheuttaneet vialliset tulpat löydettiin ja tutkimusdata korjattiin havaintojen perusteella.

Vuoden 2014 alussa kuilut ONK-KU1 ja ONK-KU3 nousuporattiin syvyysväliltä -290...-455. Nousuporausten aiheuttamien, rakennelävistyksiin liittyvien vuotojen vaikutuksia rakenteiden pohjaveden paineeseen seurattiin ja analysoitiin YJH-2012-ohjelmakauden aikana. Kuiluosuuksien tiivistys onnistui hyvin ja vuodot jäivät alle niille asetetun raja-arvon 5 l/min/kuiluosuus. Vuodot aiheuttivat HZ20-rakenteissa nousuporausten jälkeen noin 1–2 m lisääaleneman.

Lisäksi monitoroitiin avoimien reikien virtausolosuhteita ja pohjaveden suolaisuutta (EC) syvissä kairarei'issä sekä vedenjohtavuutta matalissa kairarei'issä ja pohjavesiputkissa. HTU-mittaukset harventuivat monitorointiohjelman päivityksessä (Posiva 2012d) tehtäväksi joka toinen vuosi. Vuoden 2014 ohjelmaan HTU-monitorointimittaukset sisältyivät, mutta ne siirrettiin vuodelle 2015 johtuen laiteongelmista. Poikkivirtausmittauksia tehtiin toistomittauksina monitorointiohjelman puitteissa vuosina 2013–2015 rei'issä OL-KR31, -33, -35 ja -36.

ONKALOSSA monitorointi jatkui YJH-2012-ohjelmakaudella kerran kuukaudessa tehdyillä kokonaisvuotovesimittauksilla. ONKALON kokonaisvuotovesimäärä on vuoden 2015 aikana ollut keskimäärin noin 32 l/min. Vuosittain on tehty myös silmämääräinen vuotovesikartoitus koko tunnelin pituudelta vuotavien rakojen ja vyöhykkeiden paikallistamiseksi ja vuotokohtien mahdollisten muutosten seuraamiseksi. Vuoden 2014 aikana valmistuivat ONKALON vuotovesikartoitusten tulkinta sekä ONKALON ja loppusijoitustilojen vuotovesiennuste vuosille 2014–2125.

Hydrologian ja hydrogeologian monitoroinnin osalta toimenpiderajojen ylityksiä on tapahtunut pinnan- ja painekorkeusseurantaan liittyen. Toimenpiderajojen ylitykset on käsitelty monitorointiohjelmassa (Posiva 2012d) kuvatun mukaisesti ja niitä seurataan toimenpiderajojen ylitysmuistioiden avulla.

Matalista kairarei'istä ja pohjavesiputkista tehdyissä pohjaveden pinnan mittauksissa ei ole havaittavissa merkittäviä laaja-alaisia ONKALON aiheuttamia muutoksia. Syvemällä kallioperässä on painekorkeudessa havaittu voimakkaita ja lyhytaikaisia, mutta palautuvia alenemia, jotka johtuvat normaaleista tapahtumista kentällä. Lyhytaikaiset alenemat häiritsevät pitkäaikaisten alenemien tulkintaa, mutta ONKALON lähirei'issä on havaittu selkeitä pidempiaikaisiakin painekorkeuden alenemia.

Muutama mittausväli on reagoinut voimakkaasti ONKALON läheisyyteen. Näissä mittausväleissä todennäköisesti heikosti vettäjohtavat ja paikalliset yhteydet eivät saa korvaavaa vettä ympäristöstään, mistä syystä painevasteet ovat laskeneet voimakkaasti (> 30 m).

4.8.4 Hydrogeokemia

Pohjavesinäytteenottoja on tehty monitorointi- ja karakterisointiohjelman mukaisesti. Pääpaino on ollut ONKALON aiheuttamien potentiaalisten suolaisuusmuutosten seurannassa sekä karakterisoinnin yhteydessä tehtyjen sulfidihavaintojen jatkomonitoroinnissa. Lisäksi pohjavesinäytteitä on kerätty kaas- ja mikrobianalyysjä varten.

Rakovyöhykkeessä HZ20(A+B) on jatkunut selkeä pohjaveden laimentuminen. Tähän rakenteeseen liittyvät ONKALOn pohjavesinäytteet (vuotavat raot seinissä ja katoissa) on otettu tarkempaan monitorointiin ja rakenteen lävistäviä syviä kairareikiä on monitoroitu tiiviimmin vuoden 2014 aikana. Rakenteen HZ20 laimentumisen mallintaminen aloitettiin vuonna 2014. Mallin ensimmäisen version mukaan laimentuminen pysyy nykyisellä kehityskululla mm. bentoniitin pysyvyyden kannalta suotuisalla tasolla loppusijoitusyvytydellä käyttövaiheen aikana. Mallin kehittämistä jatketaan tulevina vuosina.

ONKALOSSA pohjavesinäytteitä on otettu ohjelman mukaisesti ensisijaisesti pohjavesiasemista, mutta myös mm. pitkistä karakterisointirei'istä. Näytteistä on tehty sekä kemian analyysejä että mikrobiologisia tutkimuksia, ja tulokset ovat vastanneet muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta pohjaveden luonnollista tilaa. Poikkeuksista mainittakoon nouseva sulfaattipitoisuus pystyrakenteessa BFZ045, mikä havaittiin jo vuosina 2011 ja 2012 loppusijoitusyvytydellä olevassa pohjavesiasemassa ONK-PVA9 (PL4366) sekä havaintokohteena olevan vuotavan raon (PL4385) vesinäytteenotoissa. Vuonna 2014 samaan pystyrakenteeseen BFZ045 kairatussa karakterisointirei'ässä ONK-KR16 sulfaattipitoisuus oli myös kohonnut. Muutokset johtuvat ONKALOn aiheuttamasta hydraulisesta gradientista, joka tuo lähempänä pintaa olevaa kokonaissuolapitoisuudeltaan laimeampaa sulfaattipitoista vettä loppusijoitusyvytydelle. Vyöhyke liitetään jatkossa yllämainittuun suolaisuuskehitysmalliin

Laimeamman sulfaattipitoisen veden sekoittumiseen syvemmällä olevan suolaisen (kokonaissuolaisuus yli 10 g/l) pohjaveden kanssa liittyy sulfidin mikrobiologisen muodostusprosessin käynnistyminen. Olkiluodon alueen pohjavedessä on havaittu joitakin korkeita sulfidipitoisuuksia monitorointinäytteenotoissa. Vuonna 2013 havaittiin korkea sulfidipitoisuus mm. kairarei'issä OL-KR13 ja OL-KR46. Molemmat reiät ovat olleet tarkemmassa seurannassa ja pitoisuudet ovat pysyneet korkeina. Pohjaveden sulfaatin pelkistymisen (sulfidin muodostuksen) osalta on saatu päätökseen osittain ONKALOSSA suoritettut SURE-kokeet (Sulphate Reduction Experiment), joilla selvitettiin erityisesti suolaisten pohjavesien kannalta oleellisen metaanin roolia mikrobien energialähteenä niiden pelkistäessä sulfaattia sulfidiksi. Kokeissa kasvatettiin reaktioastioihin SO_4 - tai CH_4 -pitoisia pohjavesiolosuhteita edustavat mikrobikannat, joita ruokittiin potentiaalisilla energialähteillä. Metaanin merkitys SO_4 -pelkistysprosessissa havaittiin vähäiseksi, sen sijaan vetykaasu aktivoi sulfaatinpelkistäjämikrobeja merkittävästi. Koesarjan ensimmäisessä vaiheessa on laskettu myös SO_4 :n pelkistymiselle nopeustekijöitä. Toisen sekä kolmannen vaiheen tulokset ovat raportoitavina ja julkaistaan 2015. Myös rakokalsiittitutkimuksilla on tarkennettu metaanin pitkäaikaista merkitystä mikrobien energialähteenä, mm. sulfaatin pelkistyksessä. Aiemmat SIMS-laitteistolla (Secondary Ion Mass Spectrometry) tehdyt mikroanalyytit rakopinäytteistä osoittivat, että mikrobien SO_4 :sta pelkistämää sulfidia on saostunut pyriittinä. Käytettävä energialähde hapettuu ja esim. metaani muuttuisi karbonaatiksi ja voi edelleen saostua kalsiittina rakopinnoille. Vastaavilla SIMS-mikroanalyyseillä selvitettiin mahdollista metaaniperäisen kalsiitin osuutta rakopinnoilla. Tulosten mukaan kallion yläosassa (< 60 m:n syvyydessä) havaitaan metaaniperäistä kalsiittia, joskin sen osuus on vähäinen. Uusia sulfiditutkimuksia, jotka sisältävät sekä kemian että kaasun- ja mikrobinäytteenottoja, käynnistetään vuoden 2015 aikana, osin yhteistyössä SKB:n kanssa.

Pintaveden suotautumista pohjavedeksi koskevan kenttäkokeen (INEX, Infiltration Experiment) toinen vaihe (INEX-2) aloitettiin kesäkuussa 2014. Kokeen tavoitteena on tutkia kallion puskurikykyä hapanta ja hapellista vajoavaa pintavettä vastaan keskeisen pohjaveden suotautumista ohjaavan HZ19-vyöhykkeen yläosassa. Kokeen ensimmäisen vaiheen aikana 2009–2012 koeolosuhteet pysyivät anaerobisina, joten kenttäkoe ei tuottanut yksityiskohtaista tietoa kallioperän merkityksestä hapen kulutukseen. INEX-2:ssa monitoroitavaan rakosysteemiin (matala kairareikä OL-PP69) syötettiin merkattua (natriumfluoreseeni ja renium-suola) ionivaihdettua vettä, joka oli kyllästetty hapella. Hapen kulutus oli voimakasta ja vaikka merkkiaine havaittiin muutaman tunnin sisällä syötön aloituksesta noin 20 m päässä olevassa pumppauskohteessa (kairareikä OL-KR14), niin happi havaittiin vasta noin kahden kuukauden päästä syötön aloittamisesta. Alustavien tulosten perusteella mikrobeilla on keskeinen rooli hapen kulutuksessa. INEX-2:sta varten tehtiin etukäteen valmistelevia simuloiteja sekä merkkiaineen että hapen kulkeutumisen osalta. Ennusteet vastasivat kokeessa havaittua merkkiaineen läpimenoa, joskin läpimenokonsentraatio tasaantui hieman nopeammin kuin laskelmat ennustivat. Sen sijaan ennusteet aliarvioivat hapen kulutusta, mikä osoittautui kokeessa merkittävästi suuremmaksi kuin simuloinneissa. Tämä on seurausta mallien sisältämistä varsin yksinkertaisista ja rajoitetuista happea kuluttavista prosesseista. Kokeen aikana saatu kemiallinen ja mikrobiologinen informaatio tullaan hyödyntämään simuloitaessa koetuloksia ja määritettäessä kalliopohjavesisysteemin puskurikykyä hapellista pohjavettä vastaan. Koe jatkuu vuoden 2015 aikana pohjaveden palautumisen monitorointina. Merkkiainekokeen tulokset raportoidaan vuoden 2016 aikana.

Syksyllä 2013 aloitettiin vesinäytteenotto hyvin alhaisen vedenjohtavuuden raosta (luokkaa 10^{-13} m²/s) reiästä ONK-PP321 (REPRO-koe, Experiments to investigate Rock Matrix Retention Properties), josta pyritään hankkimaan lisäinformaatiota kiven huokosveden ja rakoveden koostumuseroon liittyvään kysymykseen. Vesinäytteet kerättiin vuosina 2013–2014 ja analysointi tehdään vuoden 2015 aikana. Tammikuussa 2014 aloitettiin näytteenotot alhaisen vedenjohtavuuden raoista myös ONKALOn tutkimustilassa 4 (HYDCO-koe), jossa valittujen rakojen transmissiviteetit vaihtelevat välillä $1 \cdot 10^{-12}$ ja $2 \cdot 10^{-10}$ m²/s. Kairareilista on kerätty muutamia kaasunäytteitä ja vesinäytteenotot jatkuvat edelleen vuonna 2015.

Hydrogeokemiallisen paikkamallin epävarmuuksien vähentämiseksi on rakokalsiittitutkimusten ja isotooppimallinnuksen avulla selvitetty liuenneen sulfidin evoluution lisäksi pohjaveden suolaisuuden alkuperää. Olkiluodon voimakassuolaisen pohjaveden alkuperä on liitetty muinaisten suolaisten evaporiittialtaiden jäännösluosten vajoamiseen kallioperään. Suolaisen pohjaveden lisäksi samaan episodiin on liitetty kalsiiteista tavatut 50–100 °C lämpötilassa muodostuneet hypersuolaiset Ca-Na-Cl-nestesulkeumat rakokalsiiteissa. Muodostumishypoteesi edellyttää samankaltaisten olosuhteiden vallinneen maantieteellisesti laajalla alueella. Tämän vuoksi rakokalsiittinäytetutkimuksia laajennettiin ottamalla näytteitä Syyryn ja Hästholmenin kairausnäytteistä, joista etsittiin hypersuolaisia fluidisulkeumia sekä selvitettiin niiden ja kalsiittien muodostumisolosuhteita.

Hydrogeologiasta, pohjavesikemiasta, matriksihuokosvesistä, mineralogiasta ja kiven rakenteesta tehdyt havainnot on yhdistetty malliksi, joka kattaa hydrogeokemiallista kehitystä kallioperän muodostumisesta lähtien. Mallissa esitetään vaihtoehtoisia

tulkintoja rakopohjaveden ja kiven huokosveden välillä havaitun suolaisuusepätasapainon selitykseksi. Tulokset viittaavat vähintään luokkaa 10^5 – 10^6 vuotta kestäneeseen vuorovaikutukseen suolaisen rakopohjaveden ja huokosveden välillä. Jatkotutkimuksilla pyritään selvittämään, onko suolaisuusero seurausta kemiallisesta epätasapainosta vai valitseeke vesien välillä tasapainotila, jota kontrolloi kiven diffuusio-ominaisuudet.

4.8.5 Pintaympäristön monitorointi

Pintaympäristöä on monitoroitu YJH-2012-ohjelmakaudella voimassa olevan monitorointiohjelman mukaisesti (Posiva 2012d). Poikkeamat ohjelmasta ovat vähäisiä ja koskevat lähinnä yksittäisten töiden aikataulumuutoksia tai yksittäisten näytteenottojen määrää. Ympäristön monitoroinnin tulokset raportoidaan vuosittaisissa työraporteissa (mm. Haapanen 2014, Pere ym. 2015).

Ympäristövaikutusten seurannan osalta päähavainnot osoittavat, että kuluneen ohjelmakauden aikana pintaympäristössä ei ole havaittu Posivan toiminnan aiheuttamia haitallisia muutoksia eikä OMO-ohjelmassa asetettuja toimenpiderajoja ympäristölle ole ylitetty. Havaintojen perusteella Posivan toiminnalla ei ole myöskään ollut haitallisia vaikutuksia Liiklankarin vanhojen metsien suojelualueen tai Natura 2000 -alueen ympäristön tilaan tai luonnonarvoihin.

Posivan toiminnan ympäristövaikutuksiin liittyen on havaittu, että louheen läjitysalueelta ja ONKALO-alueen rakennustöihin liittyvistä, samasta louheesta koostuvista maatyöistä liikenee pintavaluntaan sekä nitraattia että sulfaattia. Pintavesien valuntaa ONKALO-työmaan alueelta mm. vanhojen metsien suojelualueelle on seurattu jatkuvatoimisen mittapatojen avulla (pH, redox, sähkönjohtavuus sekä virtausominaisuudet) ja lisäksi ottamalla 3–4 näytettä kohteesta riippuen vuodessa laboratorioanalyysyjä varten. Olkiluodon monien rakennustöiden aktiviteetit näkyivät märkälasseuman kohonneina $\text{NO}_3\text{-N}$ -arvoina sekä havupuiden neulasten pinnalle kertyneenä alumiinina ja rautana. ONKALON poistovesiojan veden laatua seurattiin näytteenotoin ja manuaalisin mittauksin, toimenpiderajaksi asetettua pH-arvoa 9,5 ei ylitetty. ONKALON rakennustyöt eivät ole vaikuttaneet Posivan seurannassa olevien Olkiluodon yksityisten porakaivoihin.

Osana ympäristön tilan seuranta Posiva on myös valmistautunut ympäristön radioaktiivisuuden seurannan aloittamiseen toimittamalla STUKille ympäristön radioaktiivisuuden perustilaselvityksen suunnitelman vuonna 2014. Perustilaselvityksessä voidaan hyödyntää Olkiluodon voimalaitosten jo toiminnassa olevassa seuranta.

Biosfäärimallinnuksen lähtötiedoiksi kerättiin kuluneella ohjelmakaudella mm. päivitetty vuosittaiset riistatilastot sekä jatkuvasti meneillään olevien karikkeen ja haihdunnan seurannan tuloksia metsien intensiivialoilta (FIP), jotka edustavat kaikkia biosfäärimallissa olevia metsäympäristöjä. Turvallisuusperustelutyöhön liittyvät monitorointiohjelman ulkopuoliset ympäristötutkimukset on kuvattu kohdassa 4.9.3.

4.8.6 Vieraat aineet

Vieraiden aineiden käytön seuranta ja valvonta on osa monitorointiohjelmasta. Vierailta aineilla tarkoitetaan kaikkia ONKALON rakentamisessa käytettyjä materiaaleja ja aineita, jotka eivät kuulu loppusijoitusjärjestelmään, eivätkä luonnolliseen ympäristöön.

Vuosien 2012, 2013 ja 2014 aikana käsiteltiin kaikkiaan 60, 143 ja 58 kappaletta vieraisiin aineisiin liittyvää hakemusta tai aiemman käyttöalueen muutosehdotusta. Vierasmaiden lukumäärä on kasvussa, koska ONKALOSSA tehtävien töiden ja tutkimusten määrä on kasvanut. Vuosien aikana on seurattu ONKALOSSA käytettyjen rakennusmateriaalien määrää. Urakoitsijoiden toimittamien pöytäkirjojen perusteella lasketaan sementin kulutus niin injektioinneissa kuin ruiskubetonoinnissa. Myös räjähdysaineiden, maalien ja rakentamisessa käytettyjen erityyppisten metallipulttien määrää seurataan. Vieraiden aineiden vaikutuksen havaitsemiseksi on monitoroitu sekä luonnon pohjaveden että ONKALOSSA käytetyn prosessiveden koostumusta.

ONKALON louhintatyössä syntyvien ja kallioseiniin jääviä räjähdysainejäämiä tutkittiin vuonna 2014 ottamalla kallioista kiviä näytteitä, jotka murskattiin ja niistä uutettiin vesiliukoiset tyyppeä sisältävät yhdisteet analysoitavaksi. Louheen läjitysalueen lietealtaan mahdollisia öljyjäämiä ja lietteen kaatopaikkakelpoisuutta tutkittiin 2014 ottamalla näytteitä lietealtaan pohjakerroksista.

4.8.7 Teknisten vapautumisesteiden monitoroinnin kehitys vuosina 2013–2015

Posivassa on perustettu ryhmä kehittämään ja suunnittelemaan teknisten vapautumisesteiden monitorointia (EBS-OMO). Ryhmä on tuottanut olemassa olevilla tiedoilla kuvausta siitä, millaista monitorointia käyttötoiminnan aikana voidaan toteuttaa. Kuvauksessa keskitytään myös monitoroinnin toteuttamiseen liittyviin epävarmuuksiin.

Lähtökohtana suunnittelulle on ollut Posivan monitorointiohjelmaa kuvaavassa raportissa (Posiva 2012d, Table 9-1.) esitetyt alustavat teknisten vapautumisesteiden monitoroitavat prosessit ja parametrit (Taulukko 4-2). Näiden prosessien ja parametrien osalta kartoitettiin potentiaalisimmat monitorointimenetelmät ja -tekniikat.

Taulukko 4-2. Potentiaaliset monitoroitavat prosessit ja parametrit teknisten vapautumisesteiden osalta.

Monitoroinnin tavoitteet						Prosessi	Kohteet
1: Pitkäaikaisturvallisuus	2: Laitospaikan karakterisointi ja mallinnus	3: Ympäristövaikutukset	4: Palaute rakentamiseen ja suunnitteluun	5: Teknisten vapautumisesteiden toiminta	6: Ydinlaitoksen säteilyvalvonta		
Kapseli (monitorointi mahdollista mallikapselilla, jossa ei ole käytettyä ydinpoltoainetta)							
				X		Radiogeeninen lämmöntuotto	Kapselin pintalämpötila
				X		Kuparivaipan muodonmuutos	Radiaalinen ja aksiaalinen jännitys
Puskuri ja tunnelitäyte							
				X		Lämmön kulkeutuminen	Lämpötila
				X		Veden otto kalliosta puskuriiin	Puskurin kosteus
				X		Paisuminen	Paisunta- ja huokospaine
				X		Aineen uudelleen jakautuminen	Puskurin liikkuminen ja kohoaminen loppusijoitusreiästä Kapselin siirtyminen
				X		Huokosveden kemialliset muutokset	<i>in situ</i> pH- (ja muut mahdolliset) mittaukset
Sulkemisrakenteet							
				X		Tunnelitulppien, kairareikien tulppien ym. hajoaminen	Tulppien eheys Lämpötila, kosteus, paine

Monitorointimenetelmien kartoituksen jälkeen on alettu laatia valittujen menetelmien testaussuunnitelmaa sekä ensimmäistä versiota käytön aikaisen monitoroinnin kuvauksesta epävarmuuksineen. Testaussuunnitelman edetessä käytön aikaisen monitoroinnin kuvausta päivitetään jatkuvasti, ja lopullinen kuvaus monitoroinnista julkaistaan käyttö-lupahakemuksen jättämisen yhteydessä.

Kehitystyön aikana on pidetty säännöllisin väliajoin yhteyttä SKB:hen. Yhteistyön tavoitteena on ollut hyödyntää kummankin osapuolen vuosien saatossa keräämää tietotaitoa teknisiin vapautumisesteisiin liittyvien prosessien mittaamisesta ja yleisestä ymmärtämisestä.

Teknisten vapautumisesteiden monitorointiin liittyen Posiva on osallistunut myös kesällä 2015 alkaneseen Euroopan komission Horizon2020-ohjelmassa olevaan Modern2020-projektiin. Projektin tavoitteena on kehittää ja demonstroida monitoroinnin strategioita ja teknologiaa.

4.8.8 Soveltuvuusluokittelu

4.8.8.1 Kallion soveltuvuusluokitteludemonstraatiion laajentaminen

Kallion soveltuvuusluokittelun testaamista ja demonstraatiota on jatkettu nyt päättyvällä ohjelmakaudella. Soveltuvuusluokittelua on suoritettu sekä ONKALON demonstraatiotunnelissa 2, missä valittujen koeloppusijoitusreikien paikoille kairattujen pilotti-reikien perusteella suoritettiin paikkojen soveltuvuuden arviointi ennen reikien avarruksen aloittamista, että demonstraatiotunneleissa 3 ja 4, missä suoritettiin kaksi soveltuvuusluokittelua POPLU-projektin tulpan paikan valintaan liittyen. Demonstraatiotunnelin 2 koeloppusijoitusreikien lopullinen soveltuvuusluokittelu on viivästynyt reikien poraamisen viivästymisen vuoksi, mutta tavoitteena on tehdä se vuoden 2015 aikana.

Kallion soveltuvuusluokitteluun liittyviä kairauksia ja tutkimuksia sekä pienen mittakaavan mallinnusta on niin ikään jatkettu ONKALON demonstraatioalueen lähiympäristössä.

4.8.8.2 Kallion soveltuvuusluokittelukriteerien ja -menettelyn arviointi ja kehitys

RSC-pääraportissa (McEwen ym. 2012) julkaistuja kallion soveltuvuus-kriteereitä sekä niiden toimivuutta ja riittävyttä arvioitiin kuluneen ohjelmakauden aikana mm. soveltuvuusluokitteludemonstraatiion yhteydessä, missä kriteereitä on käytetty soveltuvuusluokitteluiden suorittamiseen. Saatujen kokemusten perusteella tunnistetut jatkokehitystarpeet on huomioitu ja ne ovat vaikuttaneet sekä kuluneella ohjelmakaudella suoritettuihin ja tuleviin tutkimuksiin ja kehitystyöhön; esimerkiksi demonstraatiotunnelissa 2 yhteistyössä SKB:n kanssa suoritettua vesimenekikokeen taustalla on pyrkimys kehittää loppusijoitusreiän lähikallion pitkäaikaisia vedenjohtavuusominaisuuksia kuvaava kriteeri nykyisen loppusijoitusreikää koskevan vesivuotorajan rinnalle. Kriteereiden kehitystarpeet ovat vaikuttaneet myös maanjäristysmallinnukseen, sekä puskuri- ja täytökokeiden suunnitteluun. Kallion tavoiteominaisuuksien päivitystyötä on tehty mm. osana Posivan ja SKB:n välistä VAHA-KUPP-yhteistyötä ja työ jatkuu seuraavalla ohjelmakaudella.

RSC-2012-raportissa kuvatus kallion soveltuvuusluokittelumenettelyn (McEwen ym. 2012, luku 7) ja demonstraatioista saatujen kokemusten pohjalta on laadittu menettelyohje, jossa kuvataan luokittelun suorittaminen loppusijoituslaitoksen rakentamisen edetessä. Ohjeen ensimmäinen versio hyväksyttiin ja julkaistiin muistiona vuoden 2014 lopussa, ja ohjetta tullaan täydentämään ja päivittämään sekä vuoden 2015 lopulla että seuraavalla ohjelmakaudella. Soveltuvuusluokittelumenettelyn kehitystyön yhteydessä menettelyä on sovitettu loppusijoituslaitoksen tuotantoprosessiin mm. aloittamalla kelpoistuskäytäntöjen määrittäminen ja aikatauluttamalla 1. rakentamisvaiheen työt.

Osana kallion soveltuvuusluokittelumenettelyn ja -kriteereiden kehitystyötä on myös tarkasteltu ja kehitetty ns. kriittisten tilavuuksien määrittäisperusteita. Nämä tilavuudet, jotka huomioidaan tilojen asemoinnissa, päivitettiin 2015 ja toimitettiin edelleen loppusijoituslaitoksen layoutin päivitystä varten.

4.9 Turvallisuusperustelu ja sitä tukeva tutkimus

Posiva jätti vuonna 2012 käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemuksen. Loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuus on käsitelty lupahakemuksessa ns. turvallisuusperusteluna (Safety Case), jolla kansainvälisesti omaksutun määritelmän mukaisesti tarkoitetaan kaikkea sitä teknis-tieteellistä aineistoa, analyysyjä, havaintoja, kokeita, testejä ja muita todisteita, joilla perustellaan loppusijoituksen turvallisuus ja turvallisuudesta tehtyjen arvioiden luotettavuus. Turvallisuusperustelun pääraportit ja suunniteltu raporttikokonaisuus on esitetty *Safety Case Plan 2008* -raportissa (Posiva 2008) ja tätä suunnitelmaa on edelleen päivitetty STUKilta saatujen kommenttien perusteella.

Vuosina 2012–2014 julkaistiin Safety Case -raporttisalkun pääraportit:

- *Design Basis* -raportti (Posiva 2012b), jossa esitetään KBS-3V-loppusijoitusratkaisun suunnitteluperusteet pitkäaikaisturvallisuuden näkökulmasta perustuen Posivan vaatimustenhallintajärjestelmään
- *Description of the Disposal System* -raportti (Posiva 2012e), jossa kuvataan loppusijoitusjärjestelmä
- *Features, Events and Processes* (FEP) -raportti (Posiva 2012f), jossa esitetään loppusijoitusjärjestelmään vaikuttavat merkitykselliset ilmiöt, tapahtumat ja prosessit sekä niiden vuorovaikutukset
- *Performance Assessment* -raportti (Posiva 2013a), jossa esitetään loppusijoitusjärjestelmän toimintakyky
- *Formulation of Radionuclide Release Scenarios* -raportti (Posiva 2013c), jossa esitetään vapautumisskenaarioiden valinta analyysia ja pintaympäristön turvallisuusarviointia varten
- *Models and Data for the Repository System* -raportti (*Models and Data*, Posiva 2013d), jossa kuvataan maanalaisen loppusijoitusjärjestelmän kehityskulkujen kuvaamiseen ja vapautumisskenaarioiden tarkastelussa käytetyt mallit ja niiden lähtötiedot
- *Biosphere Data Basis* -raportti (Posiva 2014b), jossa esitetään biosfääriarvioinnin lähtötiedot ja yhteenveto käytetyistä malleista
- *Assessment of Radionuclide Release Scenarios for the Repository System* -raportti (Posiva 2012g), jossa esitetään loppusijoituslaitoksen vapautumisskenaarioiden analyysi
- *Biosphere Assessment* -raportti (Posiva 2013e), jossa esitetään säteilyannokset ihmisille ja säteilyaltistukset eläimille ja kasveille
- *Complementary Considerations* -raportti (Posiva 2012h), jossa kuvataan antropogeenisiä ja luonnonanalogioita, yksinkertaisin menetelmin tehtyjä laskelmia sekä loppusijoituspaikan geologista historiaa koskevia havaintoja ja muita tarkasteluja turvallisuusperustelun tueksi
- *Synthesis*-raportti (Posiva 2012i), jossa esitetään yhteenveto Olkiluotoon rakennettavan loppusijoituslaitoksen suunnitteluperusteista, turvallisuusperustelun metodologiasta sekä toimintakykyanalyysin ja turvallisuusanalyysin keskeisimmistä tuloksista.

Tämän lisäksi on julkaistu turvallisuusperustelun raporttisalkun taustaraportit *Biosphere Description* (Posiva 2013f), jossa esitetään biosfääriin kuvaus, sekä Olkiluodon loppu-

sijoituspaike kuvauk *Site Description 2011* (Posiva 2012j). Vuonna 2014 julkaistiin raportti *FEP Screening and Processing* (Posiva 2014c), joka kuvaa eri ilmiöiden, tapahtumien ja prosessien perustelun ja käsittelyn eli mm. sen, miksi kukin FEP joko otetaan huomioon turvallisuusperustelun toimintakyky- tai radionuklidien vapautumisskenaarioissa tai jätetään käsittelemättä.

Lisäksi julkaistiin TURVA-2012:n taustaraportit, joissa kuvataan pohjaveden virtausta kallioperässä (Hartley ym. 2013 ja 2014), sulfidipitoisuuksien ja pohjavesikoostumuksen ajallista käyttäytymistä loppusijoitustiloissa tulevaisuudessa (Wersin ym. 2014c, Trinchero ym. 2014 ja Hellä ym. 2014) sekä radionuklidien liukoisuus-, diffuusio- ja sorptioparametreja lähialueella (Wersin ym. 2014a ja Wersin ym. 2014b) ja kallioperässä (Hakanen ym. 2014).

4.9.1 Ulkoiset olosuhteet

4.9.1.1 Ilmaston kehityskulku

Tulevaisuuden ilmaston kehityskulun määrittely on keskeinen osa turvallisuusperustelutyötä, sillä ilmasto-olosuhteet määrittävät lähtöoletukset ja reunaehdot paikan kehityskululle ja sitä kautta loppusijoitustilan kehitykselle. TURVA-2012-turvallisuusperustelun radionuklidien vapautumisskenaarioiden muodostamisessa (Posiva 2013c) ja todennäköisessä kehityskulussa (Posiva 2013a) oletettu ilmaston kehitys perustuu edellisen jääkausisyklin (Veiksel) jatkuvaan toistumiseen seuraavan miljoonan vuoden aikana. Oletus on yksinkertainen, mutta sitä on käytetty, koska Veiksel tarjoaa aikaisempia glasiaalikausia luotettavammia tiedot ilmasto-olosuhteista jääkausisyklin aikana. Kyseinen ilmastoskenaario perustuu Pimenoffin ym. (2011) malliin, jonka todettiin simuloivan melko onnistuneesti erityisesti edellisen (Veiksel) jääkausisyklin loppuvaiheen ja jonka tuloksia on täydennetty käyttämällä geologista tietoa (ks. Posiva 2013c, liite 1).

Keskeisenä työnä YJH-2012-ohjelman aikana Ilmatieteen laitos teki herkkyystarkastelua ja Pimenoffin ym. (2011) raportissa julkaistuille 120 000 vuoden jakson ilmastoskenaarioille. Ilmaston ja merenpinnan korkeuden kehitystä arvioitiin 10 000 vuoden aikaskaalassa, analysoimalla ilmastosimulaatioita, jotka on tehty MPI/UW (ilmasto-jäätikköhiilenkierto) - ja UVic (ilmasto-hiilenkierto) -malleilla (Pimenoff ym. 2012).

Vuonna 2012 Ilmatieteen laitos toimitti käyttövaiheen osalta muistion seuraavan 130 vuoden sään ääri-ilmiöiden esiintyvyydestä ja meriveden pinnankorkeuden arvioista Olkiluodossa. Sään ääri-ilmiöt ja merenpinnan korkeusarviot päivitettiin vuonna 2014 julkaistujen IPCC:n päästöskenaarioiden perusteella (IPCC 2014).

4.9.1.2 Jäätiköityminen ja jäätikkö

GAP-projektin (Greenland Analogue Project) tutkimukset saatiin päätökseen vuoden 2013 aikana, jonka jälkeen projektissa keskityttiin tulosten tulkintaan ja raportointiin. Projektin tulokset julkaistaan kaksiosaisessa loppuraportissa, joista ensimmäisessä (Harper ym. 2015) esitetään keskeisimmät tulokset ja paneudutaan tulosten tieteelliseen tulkintaan. Loppuraportoinnin toinen osa (Claesson-Liljedahl ym. 2015) keskittyy tulosten tulkintaan pitkäaikaisturvallisuuden ja turvallisuusperustelun näkökulmasta. Tulosten avulla on kehitetty olemassa olevia malleja jäätikön dynamiikan, hydrologian (Jaqu-

et ym. 2010, 2012), pohjaveden virtauksen (Vidstrand 2015) ja kemian sekä jääkausien hydromekaanisten yhteyksien analyysia varten. Näin voidaan määrittää luotettavammin mallintamisessa käytetyt reunaehdot.

YJH-2012-ohjelmakaudella Saimaalla, toisen Salpausselän alueella, Kyläniemessä ja lähialueilla tehtiin alustavia tutkimuksia mm. geologista kartoitusta ja pohjaveden kemiallista selvitystä alueen porakaivoista ja Telkkälän kaivoksen vanhoista malminetsintärei'istä. Alustavien tutkimusten tarkoituksena oli kartoittaa tutkimusalue, jossa voidaan tutkia jääkauden aiheuttamaa hydrologista ääritilannetta Salpausselän reunamuodostumalla, joka syntyi jään reunan ollessa paikallaan noin 700 vuotta. Korkea vedenpinnan taso jäätikössä suhteessa jään etumaastoon on voinut syöttää pitkään runsaasti makeaa, alhaisen kationivahvuuden omaavaa jäätikön sulamisvettä pohjavesikiertoon. Jään sittemmin vetäytyttyä Saimaan järvi on stabiloinut tutkimuskohteen hydrogeologiset olosuhteet ja näin Salpausselkävaiheen pohjavesivaikutukset ovat edelleen havaittavissa. Samanlainen ilmiö voi tulevaisuuden jääkausien aikana tapahtua myös Olkiluodossa, jolloin jäätikön sulamisvesiä voi kulkeutua myös loppusijoitustiloihin ja aiheuttaa mm. bentoniitin glasiaalivesieroosiota. Geologisesta kartoitustyöstä ja pohjavesiselvityksistä julkaistaan Posivan työraportti. Tutkimus jatkuu seuraavan ohjelmakauden aikana ja sitä käsitellään tarkemmin kohdassa 5.5.2.

YJH-2012-ohjelman aikana jäätikön paksuuden mallinnusta tehtiin kahdella eri mallinnusohjelmalla, CLIMBER2-SICOPOLIS- ja GRISLI-ohjelmilla (Thölix ym. 2015, Colleoni ym. 2015). Thölixin ym. (2015) herkkyystarkasteluissa arvioitiin mallinnustulosten perusteella jään maksimipaksuus seuraavan 200 000 vuoden aikana, kun taas Colleoni ym. arvioivat jään maksimipaksuuden Saale-jäätiköitymisen aikana menneisyydessä.

4.9.1.3 Ikirouta

YJH-2012-ohjelmassa ikiroutamallinnukset perustuivat ilmaston tulevan kehityksen mallinnukseen seuraavan glasiaalisyklin aikana (Pimenoff ym. 2011). Tämän ajanjakson aikana esiintyy useita ikiroutavaiheita. Hartikaisen (2013) mukaan seuraavan glasiaalisyklin aikana ikirouta ulottuu Olkiluodossa syvimmillään noin 300 metrin syvyyteen. Mallinnuksessa otettiin huomioon pohjaveden virtaus, suolaisuuden erottuminen ja kulkeutuminen jäätyneen vaikutuksesta sekä pintaolosuhteiden paikalliset ja ajalliset vaihtelut. Ikiroudan kehittymistä ja maaperän jäätymistä sekä talikkien mahdollista esiintymistä vesistöjen alla arvioitiin kaksi- ja kolmiulotteisilla malleilla.

4.9.1.4 Merenpinnan keskimääräiset muutokset, isostaattiset muutokset ja kallioperän jännitystilän muutokset

Ilmaston kehityksen seurauksena merenpinnan taso niin Olkiluodossa kuin muuallakin vaihtelee. Johanssonin ym. (2012) tutkimukseen perustuvan arvion mukaan Olkiluodon rannikolla mitattava keskimääräinen meren pinnan korkeus saattaa enimmillään laskea reilut puoli metriä tai nousta vajaan metrin sadassa vuodessa. Tutkimuksen mukaan todennäköisintä on, että meri säilyy lähestulkoon nykyisellä korkeudellaan tai laskee muutaman kymmenen senttiä. Pidemmässä aikaskaalassa merenpinnan korkeuteen liittyvät epävarmuudet ovat hyvin suuria. Pimenoff ym. (2012) mukaan seuraavien vuosituhansien aikana Itämeren keskimääräinen pinta voi kohota merten lämpölaajenemisen, maa-alueiden jäätiköiden sulamisen ja Pohjois-Atlantin termohaliinisessa kiertoliik-

keessä tapahtuvien muutosten takia 0,3...8 m. Keskimääräisen merenpinnan korkeutta Olkiluodossa on mahdotonta ennustaa tarkasti etenkin, kun käynnissä olevan viime jääkauden jälkeisen maankohoamisen ennustetaan olevan ~8 m seuraavien 1 500 vuoden aikana ja ~36 m seuraavien 10 000 vuoden aikana.

Jäätiköillä ja isostaattisilla muutoksilla on merkittävä vaikutus kallioperän jännitystilaan. Lund & Schmidt (2011) esittävät kuvauksen Veiksel-jäätiköitymissyklin vaikutuksesta Olkiluodon kallioperän jännitystilaan ja edelleen siirrosvyöhykkeiden stabiilisuuteen. Stabiilisuusanalyysija on tarkennettu raporteissa Fälth & Hökmark (2011, 2012) ja Hökmark & Fälth (2014). Edellä mainituissa töissä todettiin huokosvedenpaineen vaikuttavan merkittävästi siirrosten stabiilisuuteen. Siten malliin liittyviä epävarmuuksia voidaan vähentää, mikäli käytettävissä on lisätietoa jäätikön alaisista huokosvesipaineista ja käyttämällä malleja, joissa pohjaveden paineen diffusiviteetti tai poroelastisuus voidaan huomioida. Myös Valli ym. (2011) ovat tarkastelleet jäätikön vaikutusta jännitystilaan osana Olkiluodon in situ -jännitystilan mallinnusta. Päivitettyjen jäätikkömallien vaikutuksia Olkiluodon siirrosvyöhykkeiden stabiilisuuteen tullaan tarvittaessa tarkastelemaan uudelleen, jos päivitettyjen mallien oletetaan vaikuttavan merkittävässä määrin aikaisempien stabiilisuustarkastelujen tuloksiin.

Lisäksi Pässen (2001) semiempiirisen mallin lähtötietoja on tarkistettu maankohoamisen ennusteiden parantamiseksi pintaympäristön (biosfäärin) osalta Vuorelan ym. (2009) työtä jatkaen ja täydentäen (mm. lisäämällä arkeologisia ajoitushavaintoja) sekä siirtymällä tilastolliseen tarkasteluun (Pohjola ym. 2012, Ikonen & Lipping 2011, Pohjola ym. 2014).

4.9.2 Kallioperän pidättymisominaisuudet

Radionuklidien jakaantumistekijä, K_d , on perinteisesti määritetty kivimurskeilla tehdystä sorptiokokeista. Menetelmän ongelmana on tulosten yleistäminen ehjälle kivelle. Sorptiota voidaan arvioida myös numeerisen mallinnuksen avulla. Cesiumin sorptio eri kivilajeihin laskettiin Helsingin yliopiston Radiokemian laboratoriossa (HYRL) kehitetyllä (PHREEQC-ohjelmaan perustuvalla) mallilla (Puukko 2014). Mallin perustana oli biotiitin määrä ja sen kautta sorptiopaikkojen (ioninvaihto) määrät. Cesiumin kokeellisesti määritetty sorptio oli pienempi kuin laskettu arvo. Uusi kokeellinen tekniikka, elektromigraatio, jossa kiveä ei murskata, perustuu aineen kuljettamiseen kiven mikrorakoverkoston sähkövirran avulla. Tämän vuoksi menetelmän avulla saatujen tulosten voidaan katsoa paremmin vastaavan radionuklidien pidättymisominaisuuksia todellisissa kallioperäolosuhteissa. Elektromigraatioon perustuvat sorptiotutkimukset aloitettiin HYRL:ssä vuoden 2014 aikana ja saadaan päätökseen vuonna 2015. Toinen sorptioon vaikuttava kysymys on sen riippuvuus veden ionivahvuudesta. Vuonna 2014 käynnistettiin työ maa-alkalien sorptiosta eri ionivahvuuksissa. Työ saadaan päätökseen vuoden 2015 aikana.

4.9.3 Pintaympäristö (biosfääri)

Pintaympäristön (biosfäärin) kuvaus ja mallinnus ovat olleet osa rakentamislupahakemusta varten laadittua turvallisuusperustelua. Kauden 2013–2015 aikana saatiin valmiiksi biosfäärinanalyysin raportointi pääraporttisalkun mukaisesti rakentamislupahakemusta varten (taulukko 4-3).

Taulukko 4-3. Rakentamislupahakemusta varten laaditun pintaympäristöä käsittelevän biosfääriarvioinnin raporttisalkku, joka sisältyy myös TURVA-2012-raporttisalkkuun (Kuva 5-7).

Sisältö	Raportti	Raporttinro
Biosfäärianalyysin pääraportit		
Tieteellinen perusta: paikan ymmärrys; loppusijotuspaikan pintaympäristön kuvaus, ilmiöt, tapahtumat ja prosessit, konseptuaaliset mallit	Olkiluoto Biosphere Description BSD-2012	POSIVA 2012-06
Skenaarioiden analysointi: biosfääriin synteesi (maaston kehittyminen, geosfääri-biosfääriarajapinta, radionuklidien kulkeutuminen, annosten arviointi)	Biosphere Assessment BSA-2012	POSIVA 2012-10
Biosfäärianalyysin mallien lähtötiedot ja yhteenveto malleista	Data Basis for the Biosphere Assessment BSA-2012	POSIVA 2012-28
Biosfäärianalyysin taustaraportit		
Biosfääriin kehittyminen; mallit ja tulokset	Terrain and ecosystems development modelling	POSIVA 2012-29
Geosfääri-biosfääriarajapinta; mallit ja tulokset	Surface and near-surface hydrological modelling	POSIVA 2012-30
Radionuklidien kulkeutuminen ja ihmisten säteilyaltistusten arviointi; mallit ja tulokset	Radionuclide transport and dose assessment for humans	POSIVA 2012-31
Kasvien ja eläinten säteilyaltistuksen arviointi; mallit ja tulokset	Dose assessment for the plants and animals	POSIVA 2012-32

Pintaympäristön nykytilaa kartoittavia tutkimuksia tehdään ympäristön tilan seurantaan liittyvinä tutkimuksina osana Olkiluodon monitorointiohjelmaa sekä turvallisuusperustelun tarvitsemia kulkeutumismallinnuksen lähtötietoja tuottavina tutkimuksina. Olkiluodon monitorointiohjelmissa toteutettujen tutkimusten tulokset on koottu vuosittain ympäristön monitoroinnin vuosiraportteihin (Aro ym. 2012, 2013, Haapanen 2005–2014, Pere 2015, tekeillä). Monitorointiohjelmaan on lisätty kaksi uutta metsien intensiivitutkimusaluetta (FIP) täydentämään puuttuvien metsäbiotooppien lähtötietoja. Ympäristön monitorointiohjelmaa käsitellään luvuissa 4.8.5 ja 5.4.4.

Monitorointiohjelman ulkopuolella tehtävä tutkimustoiminta ulottuu Olkiluodon ja sen lähialueen ulkopuolelle, referenssialueelle, koska turvallisuusperustelun kannalta kaikkia keskeisiä ekosysteemejä ja niiden maankohoamisen myötä muodostuvia eri kehitysvaiheita ei Olkiluodossa nykyisellään ole. Referenssialueen tutkimuksiin kuuluvat ns. suo- ja järvitutkimukset (Haapanen ym. 2010, 2013, Kangasniemi & Helin 2014, Ojala 2011) sekä maataloustuotteiden tutkimukset (Helin ym. 2011) Satakunnan ja Varsinais-Suomen alueelta. Lähtötietojen hankkiminen, analysointi ja raportointi on edennyt suunnitelmien mukaisesti.

Suo- ja järviympäristöjen tutkimuksia laajennettiin vuonna 2014 Häädetkeitaalle, joka on yksi referenssialueista. Häädetkeitaalla tehtiin kasvien ja turpeen näytteenottoa. Näytteitä kerättiin myös alkuaine- ja kuiva-ainemäärityksiä sekä siirto- ja jakaantumiskertoimien (K_d) määrityksiä varten.

Referenssijärvien osalta vesikasvitutkimukset saatiin suoritettua loppuun Kivi- ja Poosjärvillä ja raportointi aiemmista Koskel- ja Lutanjärvien tutkimuksista saatiin valmiiksi (Kangasniemi & Helin 2014). Tutkimukset aiemmin puuttuneesta jokibio-

toopista aloitettiin Poosjoella, sähkökoekalastuksilla ja planktonnäytteenotoilla. Jokitutkimuksia jatkettiin vuonna 2015 vesikasvinäytteenotolla. Lisäksi vuonna 2013 toteutettiin avomeribiotooppitutkimuskampanja yhteistyössä Suomen ympäristökeskuksen ja Rauman kaupungin kanssa tutkimusalue Muikulla.

Eläin- ja kasvilajeissa keskityttiin biosfäärikuvauksessa (*Biosphere Description 2012*, Posiva 2013f) valittuihin referenssilajeihin, jotka kattavat sekä luonnon ympäristön että ihmisen ravintoverkot. Lähtötietojen keräämistä eri ekosysteemien eläimistä jatkettiin suunnitellusti; vuoden 2013 jälkeen on kerätty eläimiä näytteiksi, mm. heinäsorsasta, jäniksestä, ketusta, minkistä, saukosta ja supikoirasta. Lisäksi suoritettiin tutkimus Olkiluodon merialueella pesivistä merimetsoista (Kangasniemi ym. 2015). Maatalouden osalta jatkettiin satokasvinäytteenotto- ja kastelututkimuksia. Näytteitä kerättiin rehunurmesta, valkokaalista, mansikasta, herneestä, ohrasta, perunasta ja sokerijuurikkaasta.

Kokeellista sorptiotutkimusohjelmaa (Lusa ym. 2009, Virtanen 2011, Söderlund ym. 2011, Söderlund & Lehto 2012, Söderlund ym. 2013) on jatkettu lisätiedon hankkimiseksi suoympäristöstä ja vesistöjen pohjasedimenteistä. Lisäksi jatkettiin maaperätutkimuksia (Lintinen & Kahelin 2003, Lintinen ym. 2003, Lahdenperä ym. 2005, Lahdenperä 2009, 2014a, b) tekemällä kaksi uutta kaivinkonekuoppaa Olkiluodon alueelle, jossa savi on merkitsevä maalaji. Näytteistä määritetään geokemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet sekä in situ -jakaantumiskertoimet.

Referenssibiotooppien seurantaan varten Olkiluodosta kahden vuoden väliajoin tehtävä ilmakuvauksen laajennettiin vuoden 2013 osalta kattamaan myös referenssialueen tutkimuskohteet.

Säteilyaltistusten arvioinnin kannalta merkittävimmät alkuaineet (vastaten radionuklideja) on selvitetty ja ne määritetään jatkossa kaikista biosfääriarviointia varten kerätyistä näytteistä ekosysteemien ainetaseiden laskemista varten. Kirjallisuutta on hyödynnetty lähtöaineistoa koottaessa.

Maasto- ja ekosysteemimallinnusta varten (UNTAMO) on hankittu lisää lähtöaineistoa. Erityisesti maaperämallia on päivitetty laskentamenetelmän ja uusien lähtötietojen osalta. Maasto- ja ekosysteemimallia ja radionuklidien kulkeutumismallia on päivitetty käyttöluupa-arviota varten, sisältäen myös seulontamallin kehittämisen eri loppusijoitusreilistä peräisin olevien mahdollisten päästöjen tarkastelua varten. Mallien kehitys jatkuu YJH-kaudella 2015–2018 (kohta 5.5.3). Kaudella 2012–2015 on laadittu myös yksinkertaistettu todennäköisyyspohjainen biosfäärimalli, jonka avulla on alettu tehdä suuntaa antavia herkkyytstarkasteluja kulkeutumismallille koskien tiettyjä skenaarioita. Maaston kehityksen ja tulevien pintavesien muodostumisen mallinnusta Olkiluodon alueella tulevaisuudessa on jatkettu (Pohjola ym. 2014); mallinnus perustuu aikaisemmin esitettyihin tilastollisiin maasto- ja maannousumalleihin. Pintavesien muodostuminen mallinnusalueella esitetään 10 000 vuoden aikajänteellä 1 000 vuoden välein perustuen turvallisuusanalyysin vaatimuksiin.

Kansainvälisissä yhteistyöhankkeissa (mm. BIOPROTA) on osallistuttu muun muassa hiili-isotoopin C-14 kulkeutumisen mallintamiseen ekosysteemeissä, kasvien ja eläinten

säteilyannosten arvioinnin kehittämiseen ja geosfääri-biosfääri-rajapinnan käsittelyyn. MODARIA-yhteistyöhankkeessa on osallistuttu viiteen työryhmään liittyen radioekologiin lähtöaineistoihin (maaperän ja sedimenttien aineistojen tietokanta), radionuklidien kulkeutumismallinnuksen kehittämiseen lähtien ilmasto- ja luonnonolosuhteiden muutoksista sekä kasvien ja eläinten altistusten arviointiin populaatioiden tasolla.

TURVA-2012-turvallisuusperustelun laatimisen jälkeen biosfääriarvioinnit ovat jatkuneet seuraavaa, käyttöluvapahakemukseen laadittavaa biosfääriarviota varten niin kenttätöiden kuin mallinnuksen kehittämisen osalta. Koska biosfäärianalyysin lähtötietojen hankkiminen, analysointi ja raportointi sekä sitä seuraava mallinnusketju on laaja kokonaisuus, työstä on laadittu työsuunnitelma käyttöluvaa varten tehtävän arvioinnin osalta. Biosfääriraporttisalkkuun on myös lisätty uusi taso, yhteenvetoraportit, joihin tullaan kokoamaan aihepiireittäin käyttöluvapahakemuksen ja aiempien biosfääriarviointien tuottamat lähtöaineistot.

4.9.4 Skenaariot ja niiden analysointi

Loppusijoituslaitoksen käyttöluvapahakemusta varten laadittavan turvallisuusperustelun (TURVA-2020) suunnittelu aloitettiin vuoden 2014 jälkimmäisellä puoliskolla. Suunnitelma valmistuu vuoden 2015 aikana. Sen mukaisesti vuoden 2015 jälkipuolella aloitettiin loppusijoitusjärjestelmän kehityskulkujen, skenaarioiden, kuvausten muodostaminen. Skenaariot muodostetaan systemaattisesti ja laaja-alaisesti ottaen huomioon mm. teknisten vapautumisesteiden valmistuksen, laadunhallinnan, käsittelyn ja asennuksen mahdolliset poikkeamat. Valittujen pitkäaikaisturvallisuuteen vaikuttavien poikkeamataapausten seuraukset arvioidaan mahdollisuuksien mukaan yksinkertaistettujen mallilaskelmien avulla. Laskelmien tulosten avulla voidaan arvioida kuhunkin poikkeamatapaukseen liittyvä riski. Skenaarioissa tarkastellaan myös poikkeamien esiintymistä eri vapautumisesteissä samanaikaisesti. Skenaariot kattavat seulonnassa käsiteltäviksi valitut ilmiöt, prosessit ja tapahtumat (FEP). Kehityskulkujen kuvaukset dokumentoidaan osaksi TURVA-2020-raporttisalkun raporttia *Performance Assessment and Formulation of Scenarios*.

4.10 Vaakasijoitusratkaisu KBS-3H

Posiva ja SKB ovat vuosien ajan tutkineet ja kehittäneet KBS-3V-pystysijoitusratkaisun rinnalla vaihtoehtoista menetelmää, KBS-3H-vaakasijoitusratkaisua.

Posivan ja SKB:n välisen KBS-3H-yhteisprojektin ”Järjestelmäsuunnitteluvaihe” aloitettiin vuonna 2011 ja tämä projektivaihe jatkuu vuoden 2016 loppuun. Projektivaiheen aikana on keskitytty 3H-ratkaisun erityispiirteisiin, ks. Posiva (2012a). Aiemman projektivaiheen ”Täydentävät tutkimukset 2008–2010” (Posiva 2013g) tulokset olivat perustana nykyvaiheen suunnittelussa. Posivan valtioneuvostolle 28.12.2012 jättämän rakentamislupahakemuksen liitteeksi laadittiin 3H-ratkaisua käsittelevä aihekohtainen raportti (Posiva 2012c), jossa edellisen projektivaiheen tuloksena syntyneitä 3H-ratkaisun kuvausta on päivitetty.

KBS-3H-yhteisprojektin ”Järjestelmäsuunnitteluvaiheen” tavoitteena on kehittää KBS-3H-vaihtoehtoa Drainage, Artificial Watering and air Evacuation (DAWE) -suunnitteluratkaisun pohjalta siten, että PSARin laatiminen ja 3V- ja 3H-vaihtoehtojen

vertailu on mahdollista. Itse vertailun tekeminen ei sisälly yhteisprojektin tehtäviin. Vaihtoehtojen vertailuun tulevat sisältymään ympäristöasiat, kustannukset ja turvallisuusasiat (pitkäaikais-, käyttö- ja työturvallisuus).

Yhteisprojekti on jaettu pääprojektiin ja neljään osaprojektiin: *Osakomponenttien suunnittelu, Tuotanto ja käyttö, Toteutettavuuden osoittaminen ja Turvallisuusarvio.*

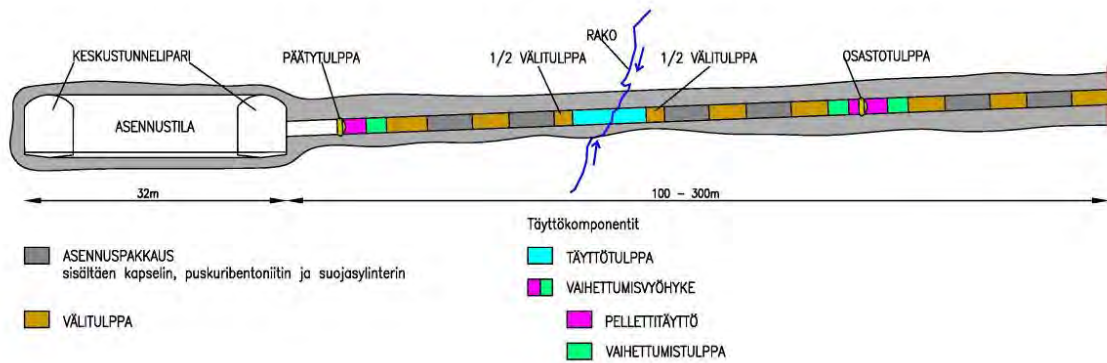
4.10.1 Osakomponenttien suunnittelu

Eri komponenttien, kuten esim. asennuspakkauksen, tulppien (pääty- ja osastotulppa) ja täyttökomponttien suunnitelmia on päivitetty. Tulppien ja asennuspakkauksen osalta aiempia suunnitelmia on päivitetty mm. saatujen asennuskokemusten perusteella. Tulppia ja asennuspakkausta koskevia yksityiskohtaisia suunnitelmia ei toteuteta kuluvan projektivaiheen aikana. Päätytulppaan kohdistuvaa bentoniitin maksimaalista paisuntapainetta koskevat tutkimukset ovat käynnissä, mutta käytössä olevien tulosten perusteella paisuntapaine on merkittävästi pienempi (1,4–5 MPa) kuin aiemmin käytetty 10 MPa. Meneillään oleva vaihettumisvyöhykettä käsittelevä koe (mittakaava 1:10) tuo asiaan lisätietoa. Vaihettumisvyöhykkeellä tarkoitetaan osasto- tai päätytulpan sekä lähimmän välitulpan väliin jäävää tunneliosuutta, joka muodostuu bentoniittilohkosta, ns. vaihettumistulpasta, ja bentoniittipelleleistä sisältävästä osuudesta, ks. kuva 4-7.

Asennuspakkauksen sisällä oleva bentoniitti ja asennuspakkauksen molemmille puolille asennettava bentoniittilohkon, ns. välitulpan, muodostavat yhdessä puskuriksi kutsutun vapautumisesteen. Puskurin paisuntapaineen kehitystä (paineen kasvunopeus ja paineen suuruus) on testattu laboratorio-olosuhteissa suuren mittakaavan Big Bertha (BB) -laboratoriokokeissa, ks. Posiva 2012a. Paineen kehitystä on mitattu keinotekoisien kastelun jälkeen, mutta osassa kokeita (BB4 ja BB5) vettä on lisätty kokeen aikana vastaten märkiä olosuhteita loppusijoitusreissä. Kuivia olosuhteita vastaavissa kokeissa (BB1–BB3) vettä on lisätty ainoastaan DAWE-suunnitteluratkaisun mukaisen keinokastelun yhteydessä. Paisuntapaineen kehityksellä on merkitystä mm. reikäseinämän mahdollisen vaurioitumisen kannalta. Kokeiden päätyttyä bentoniitista otetaan näytteitä, jotta saadaan lisätietoa bentoniitin varhaisesta kehityksestä.

Sijoitusreikien vuotokohtiin sijoitettavien täyttötulppien, jotka on suunniteltu välitulppien tapaan puristetusta bentoniitista, eroosiokestävyyden parantamiseen tähtäävä työ on käynnissä. Taustalla on puskuribentoniitin mahdollinen kemiallinen eroosio laimean veden tunkeutuessa loppusijoitusreikään. Työssä on tavoitteena kehittää täyttötulppalle suunnitteluratkaisu, joka parantaisi sen eroosiokestävyyttä. Ratkaisu perustuu muuhun materiaaliin kuin bentoniittiin.

3H-ratkaisussa loppusijoitusreiän vuotokohdat tiivistetään jälki-injektoimalla ne tarkoitusta varten kehitetyllä ja aiemmassa projektivaiheessa testatulla Mega Packer -laitteella (Posiva 2013g, SKB 2008). Käynnissä olevassa selvityksessä tarkastellaan kuinka suuria vuotoja tällä laitteella voidaan tiivistää loppusijoitusvyöhykkeessä (400–450 m), kun injektointiaineena käytetään kolloidista silikaa. Samassa yhteydessä arvioidaan myös kallioon jäävän silikan määrä yhtenä vierasainemateriaalina.



Kuva 4-7. Periaatekuva KBS-3H-loppusijoitusreistä ja siihen asennustilan kautta asennettavista komponenteista.

4.10.2 Tuotanto ja käyttö

Tuotantolinjaraportteja laaditaan kaikkiaan viisi, joista yksi on yhteenvetoraportti. Neljän varsinaisen tuotantolinjaraportin laatiminen on käynnissä:

- Puskuri ja täyttökomponeentit
- Kalliotilat
- Tulpat (osasto- ja päätytulppa)
- Asennuspakkaus.

Tuotantolinjaraporteissa keskitytään 3H-ratkaisun erityispiirteisiin. Raportit toimivat turvallisuusarvion lähtötietona ja ne laaditaan Olkiluotoon rakennettavaa loppusijoitus tilaa varten. Tästä syystä tuotantolinjaraportit keskittyvät yhteisten suunnitteluratkaisujen ohella Posiva/Olkiluoto-kohtaisiin ratkaisuihin. Mahdolliset organisaatioiden (Posiva/SKB) väliset eroavuudet tuodaan myös esiin tuotantolinjaraporteissa.

3H-spesifisten järjestelmäkuvausten (esim. vastaanottoasema/kokoonpanohalli, loppusijoitusreikä, asennustila jne.) laatiminen on meneillään, kuten myös selvitys loppusijoituksessa tarvittavista laitteista.

4.10.3 Toteutettavuuden osoittaminen

Kuluvan projektivaiheen aikana on käynnistetty täyden mittakaavan testi, Multi Purpose Test (MPT), Äspön kalliolaboratoriossa syvyystasolla -220 m. MPT kuuluu yhtenä osaprojektina kansainväliseen LUCOEX-projektiin (www.lucoex.eu). MPT:n tavoitteena on testata tärkeimpien reikäkomponenttien valmistusta, kuljetusta, asennusta ja valitun DAWE-suunnitteluratkaisun mukaisia tekniikoita, kuten esim. keinokastelua mahdollisten kehityskohteiden tunnistamiseksi. Asennustyöt saatiin valmiiksi vuoden 2013 lopussa, jolloin aloitettiin monitorointivaihe, jonka aikana seurataan komponentteihin asennettujen instrumenttien avulla eri komponenttien käyttäytymistä. MPT-koe puretaan myöhemmin LUCOEX-projektin ja nykyisen yhteisprojektivaiheen jälkeen. Osana LUCOEX-projektia asennuslaite on päivitetty sekä laitteiston että ohjelmiston osalta (SKB 2015).

Yksi keskeisimmistä tunnistetuista haasteista 3H-ratkaisussa on suoran 300 m pitkän pilottireiän poraus/kairaus, mikä mahdollistaa pilottireikää avartamalla tehtävän loppu-

sijoitusreiän (maksimipituus 300 m ja halkaisija n. 1,85 m) toteuttamisen tiukkojen geometrinen vaatimusten mukaisesti. Pilottireiän suoruuteen liittyviä testejä on tehty sekä Äspössä että Olkiluodossa. Äspön kalliolaboratoriossa on kairattu (ohjattu kairaus) ja karakterisoitu kaksi noin 100 metrin pituista reikää. Toinen rei'istä sijaitsee suunnitellun 3H-demonstraatiotunnelin paikalla ja tämä reikä suunnitellaan avarrettavaksi vuoden 2016 aikana täyteen halkaisijakokoon 1,85 m, ks. luku 5.6. Reiän taipuma-/sivusuuntamittauksissa käytetyt mittalaitteet on testattu ja kalibroitu Äspön kalliolaboratorion läheisyyteen maanpinnalle rakennetussa keinotekoisessa 300 metrin pituisessa koereiässä. Tehdyissä kairauksissa on erityisesti huomioitu ja panostettu reiän lähtösuunnan ja -kulman varmistamiseen kehittämällä siihen toimiva menetelmä. Molemmat Äspön kalliolaboratorion reiät täyttivät asetetut suoruuskriteerit ja samaa tekniikkaa käytetään vuonna 2015 ONKALOn loppusijoitustasolla sijaitsevan suoran yhdystunnelin pilottireiän kairaamisessa, ks. kohta 5.6.1.3.

4.10.4 Turvallisuusarvio

Käynnissä olevan SKB-Posiva-yhteistyöprojektin KBS-3H-järjestelmäsuunnittelu- vaiheen 2011–2016 turvallisuusarviotyö painottuu 3V- ja 3H-ratkaisujen eroihin ja päähuomio kohdistuu pitkään loppusijoitusreikään sijoitettaviin komponentteihin ja niiden pitkäaikaiskäyttämiseen. Tarkastelun kohteena ovat erityisesti alustavassa 3H-ratkaisun turvallisuusarviossa (Smith ym. 2007) sekä KBS-3V-ratkaisun turvallisuusarvioissa TURVA-2012 (Posiva 2012i) ja SR-Site (SKB 2011) esitetyt ilmiöt.

Työ tehdään vaiheittain siten, että vuoden 2016 loppuun mennessä tavoitteena on raportoida suunnitteluperusteet, loppusijoitusjärjestelmä, ilmiöt, tapahtumat ja prosessit (FEP), mallit ja lähtötiedot (toimintakykyanalyysin mallit ja lähtötiedot) sekä toimintakykyanalyysi.

Meneillään oleva turvallisuusarvioinnin 1. vaihe tähtää toimintakykyanalyysiin, jossa arvioidaan teknisten vapautumisesteiden (EBS) toimintakykytavoitteiden ja kallion tavoiteominaisuuksien täyttymistä maanalaisen loppusijoitusjärjestelmän odotettavissa olevan kehityskulun aikana. Loppusijoitusjärjestelmän kehityskulun tarkastelussa pääpaino on ilmiöissä, joilla voi olla erilaiset vaikutukset 3H-ratkaisun kuin 3V-ratkaisun toimintakykyyn. Näitä ilmiöitä ovat erityisesti jääkauden jälkeisen maanjäristyksen aiheuttama kalliosierros ja laimean sulamisveden tunkeutumisesta aiheutuva puskurin ja loppusijoitusreiän muiden savikomponenttien kemiallinen eroosio ja siitä mahdollisesti aiheutuva yhteisvikaantumisriski.

Kemiallisen eroosion osalta on käynnistetty laajamittainen kokeelliseen ja mallintamiseen sekä uusien eroosiota kestävien materiaalien selvitystyötä (luku 5.6) ja työtä tullaan pääosin raportoimaan vuoden 2015 aikana. Kalliosierroksen osalta on tehty selvitystyö, jossa on arvioitu FPI (Full Perimeter Intersection) -kriteerien vaikutus 3H-ratkaisun soveltuvuuteen (Pekkarinen 2014). *Design Basis* -raportin KBS-3H-liitteenä esitettyjen tarkastelujen mukaan vastaavanlaiset raot kuin 3V-ratkaisussa ovat myös 3H-ratkaisussa kriittiset. Selvitys osoittaa, että kapselipositoiden määrä, joissa kapselit voivat rikkoutua kalliosierrosten seurauksena, on samaa suuruusluokkaa molemmissa ratkaisussa. Kuitenkin käyttöaste on vaakaratkaisussa pienempi kuin pystyratkaisussa, jos kapselipaikka hylätään havaittaessa tunnelia lävistävä rako (ns. yhden reiän FPI). Lisäksi pystyratkaisussa saadaan tunnelihavaintojen perusteella enemmän tietoa rakojen

jatkuvuudesta ja ominaisuuksista. Kalliosiiirrosta ja sulamisveden tunkeutumista loppusijoitusreikään ja sen jälkeistä kapselin vaurioitumista korroosion seurauksena tarkastellaan loppuvuonna 2015 em. kemiallisen eroosiotarkastelun perusteella.

Toimintakykyanalyysissä tarkastellaan lisäksi mm. loppusijoitusreiän lähialueen kalliomekaanista käyttäytymistä, eli miten rakentaminen ja lämpötila vaikuttavat lähialueella. Työstä on valmistumassa erillinen taustaraportti vuonna 2015. Kapselin lämpötilanalyysin avulla on arvioitu puskurin ja kalliooperän lämpötilan kehittymistä (Ikonen & Raiko 2015). Lisäksi on käynnissä THM-mallinnus, jossa arvioidaan lämpötilan, hydraulisen ja mekaanisen vuorovaikutusten vaikutusta savikomponenttien kehittymiseen loppusijoitusreiässä. Työ raportoidaan vuonna 2016. Toimintakykyanalyysissä arvioidaan myös sulfidivuot lähialueella. Kapselin kriittisyys-analyysi käynnistyi vuonna 2015. Tulokset raportoidaan toimintakykyanalyysiraportissa vuonna 2016.

Edellisen KBS-3H-projektivaiheen aikana (Posiva 2013g) arvioitiin, että titaanilla on muihin tarkasteltuihin metalleihin (Fe, Cu) verrattuna vähiten vaikutusta puskuriin ja sen ominaisuuksiin. Näin ollen titaani valittiin sekä asennuspakkauksen suojaajuuden että tulppien rakennemateriaaliksi. Titaanin ja puskurin välisen vuorovaikutuksen kohteellista tutkimusta on jatkettu ja kokeelliset tulokset raportoidaan vuoden 2015 aikana.

Kokonaisuudessaan KBS-3H-projektin asetettuna tavoitteena on ollut TURVA-2012-turvallisuusperustelua vastaavan raporttisalkun toteuttaminen. Vuoden 2014 ja 2015 aikana tehdyn työn perusteella on päädytty siihen, että turvallisuusarviota koskevan työn sisällön arviointi ja tehtävien tarkennus tehdään toimintakykyanalyysin keskeisten tulosten pohjalta alkuvuonna 2016. Mikäli 3H-ratkaisun pitkäaikaiseen toimintakykyyn ei liity ylitsepääsemättömiä merkittäviä ongelmia, käynnistetään myös vaiheessa 2 tehtävää työtä, jossa ensisijaisena tavoitteena on varmistaa edelleen 3H-ratkaisun toimintakykyä keskeisten ilmiöiden osalta. Tällöin arvioidaan myös raporttisalkun muiden raporttien – skenaarioiden muodostamisraportin, radionuklidien kulkeutumisraportin ja synteesiraportin – mahdollista käynnistämistä, raporttien sisältöä ja tavoiteaikataulua.

4.10.5 Laitossuunnitteluun liittyvät työt

Yhteisprojektin osaprojektien ohella 3H-ratkaisua koskevaa suunnittelutyötä on tehty myös Posivan laitossuunnittelun yhteydessä. Asemointisuunnitelma on laadittu Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten kahdelle ennustetulle polttoainekertymälle, 5 440 tU (OL1-2, LO1-2 ja OL3) ja 9 000 tU (OL1-2, LO1-2, OL3-4).

Lisäksi loppusijoituksen aikataulu on simuloitu myös 3H-ratkaisulle. Simulointityön tuloksena voidaan todeta, että loppusijoitusaikataulu voidaan toteuttaa suunnitellussa aikataulussa 2021–2114 myös 3H-ratkaisun tapauksessa (5 440 tU). Simulaation perusteella 3H-ratkaisussa keskustunneleiden ml. asennustilat täyttäminen on arvioitu kestävän 3 vuotta 3V-ratkaisua kauemmin loppusijoituksen päättymisen jälkeen.

4.11 Käyttötoiminnan suunnittelu

4.11.1 Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttötoiminta

Kapselointilaitoksen käyttötoiminnan suunnittelun perustana on loppusijoituskelpoisen käytetyn ydinpolttoaineen määrä. Loppusijoituskelpoista on välivarastoissa jäähtynyt polttoaine, josta voidaan muodostaa kriteerit täyttäviä loppusijoituskapseleita. Kapselointilaitoksen suunnittelukapasiteetti on 100 kapselia vuodessa. Loppusijoitus-toiminnan alkuvaiheessa loppusijoituskelpoista polttoainetta riittää noin 40 kapselin vuosituotantoon tasaisella loppusijoitustahdilla, kun huomioidaan kapselien lämpöoptimointi eli kaikista kapseleista pyritään tekemään lämpöteholtaan mahdollisimman lähelle mitoitustehoa olevia sekä lämpöteholtaan samanlaisia. Tällöin loppusijoitukseen soveltuvaa kallioperää käytetään optimaalisesti.

Suunniteltu 40 kapselin vuosituotanto mahdollistaa kapselointiprosessin toteuttamisen kampanjamaisesti. Tällöin esimerkiksi yhden kuljetussäiliön sisältö kapseloidaan aina mahdollisimman nopeasti. Valmiiden kapseleiden välivarastoihin maan päällä ja maan alla voidaan valmistaa kapseleita siten, että kaikki yhden sijoitustunnelin kapselit ovat valmiina ennen niiden loppusijoituksen aloittamista. Koska loppusijoitusreiät on porattu hyvissä ajoin ennen loppusijoitusta, tiedetään etukäteen, kuinka paljon loppusijoituskapseleita kyseiseen tunneliin sijoitetaan. Kapselien tuotanto voidaan näin ollen suunnitella tämän tarpeen mukaan. Yhteen loppusijoitustunneliin sijoitetaan vain yhdentyypisiä kapseleita. Koska kuitenkin kaikki kuljetussäiliössä olevat niput pitää saada kapseloitua ennen kuljetussäiliön palautusta KPA-varastolle, välivarastoihin saattaa jäädä yksittäisiä kapseleita odottamaan loppusijoitusta pitkäksikin aikaa, jos kapselimäärä ei mene tasan yhden tunnelin sijoituspaikkojen kanssa.

Kuluneella ohjelmakaudella on kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttöprosesseja mallinnettu ja simuloitu, jotta nykysuunnitelmien mukaista tuotantotehoa voidaan arvioida. Tehtyjen mallinnusten mukaan laitoksessa pystytään tuottamaan suunnitteluperustetta vastaava kapselimäärä ja se pystytään loppusijoittamaan kallioperään vaaditussa ajassa. Simulointituloksia hyödynnetään laitoksen suunnittelussa, jotta havaittuihin prosessin pullonkauloihin kiinnitetään riittävästi huomiota. Merkittävän pullonkaula liittyy täyttömateriaalin logistiikkaan ja asennusnopeuteen.

4.11.2 Kapselien ja savikomponenttien tuotanto

4.11.2.1 Kapselikomponenttien tuotanto

Kapselikomponenttien valmistuksessa on pääpaino ollut pitkäaikaisturvallisuuden kannalta tärkeimpien tuoteominaisuuksien kehittämisessä. Komponenttivalmistajien kanssa on tehty tiivistä yhteistyötä prosessien kehittämiseksi. Jokaisen komponenttityypin valmistus on vaativa metallurginen prosessi, jonka hallinta edellyttää perusteellista prosessitietämystä ja on haastavampaa, kuin standardituotteiden valmistus vastaavilla laitteilla. Komponentit ovat myös varsin massiivisia kooltaan, mikä valmistuksen kannalta asettaa laitteistoille omat erityisvaatimuksensa, sekä rajoittaa saatavilla olevien valmistajien määrää.

Kupariputkien valmistuksessa kehityksen pääpaino on ollut kuumamuokkauksessa syntyvän mikrorakenteen raekoon tasaisuuden hallinnassa. Valmistustekniikka, pistovetomenetelmä, tuottaa putken seinämään hienojakoisen raerakenteen, joka täyttää vaatimukset hyvin. Putken pohjan alueella muokkaus tuottaa valmistusteknisistä syistä johtuen kuitenkin pienemmän muodonmuutoksen, minkä seurauksena pohjan raekoko on isompi kuin putken seinämässä. Laitteisto asettaa rajoitukset käytettävissä olevalle voimalle ja vastaavasti korkeamman muokkauslämpötilan käyttö voi johtaa rakeenkasvuun. Ratkaisua on haettu jakamalla pohjan muokkausta useampaan vaiheeseen ja optimoimalla työkalujen profiilimuotoja mallinnuksen avulla. Vuosina 2013–2015 on valmistettu neljä putkea yhteistyönä SKB:n kanssa.

Kuparikansien valmistuksessa kehityksen pääpaino on ollut uuden kansityypin tuottaminen. Hitsausmenetelmän vaihto elektronihitsauksesta kitkatappihitsaukseen kasvatti kannen kokoa merkittävästi, minkä johdosta kuumataontaprosessia modifioitiin mallintamalla, jotta saatiin koneistusvarojen kannalta optimaalinen geometria. Vastaavasti muutoksia tehtiin myös valuprosessiin isommasta ahiokoosta johtuen. Vuosina 2014–2015 on valmistettu 11 kappaletta käytettäväksi FSW-kokeisiin SKB:llä.

Pallografiittivaluraudasta valmistetun sisäosan valmistuksessa kehityksen pääpaino on ollut materiaaliominaisuuksien hallinnassa ja kehittämisessä BWR-tyyppisen sisäosan valussa. Kehityskohteina ovat olleet teräskasetin muodonmuutosten vähentäminen täyttekniikkaa kehittämällä, teräskasetin ja valuraudan välisen diffuusioliitoksen parantaminen pintakäsittelytekniikkaa kehittämällä sekä sisäosalle tehtävät koneistukset. Kehityskohteena on ollut myös sisäosan valaminen liuoslujitetusta pallografiittivaluraudasta murtositkeysominaisuuksien parantamiseksi. Tämä työ on tehty osana Tekesin rahoittamaa FIMECC BSA -ohjelmaa. Vuosina 2013–2015 on valmistettu viisi sisäosaa.

Kapselin hankintaprojektissa kartoitettiin kapselin hankintaketjun vaihtoehtoja koskien erityisesti kokoonpanoa eli sisäosan asentamista kuparivaipan sisään mutta myös koneistus- ja tarkastusmahdollisuudet huomioitiin. Selvitystyössä arvioitiin yhdeksää suomalaista toimijaa ja kriteereinä olivat mm. kaupallinen kiinnostus hankkeeseen, laite- ja tilavalmiudet, varastointitilat, käytössä olevat laatuvarustukset, yrityksen vakaus sekä sijainti kapselointilaitokseen nähden. Kriteerit pisteytettiin ja toimittajien paremmuus arvioitiin tämän mukaisesti. Hankintaprojekti liittyi SKB:n kanssa tehtyyn yhteistyöprojektiin, jonka yksi osakokonaisuus käsitteli kapselin valmistuksen tuotantosysteemiä, ja jossa selvitettiin resursointi- ja työmääräarvioita, kuljetus- ja asennusratkaisuja sekä logistista kokonaisratkaisua.

4.11.2.2 Savikomponenttien hankinta- ja tuotantoselvitykset

Puskuri- ja täyttökomponeenttien hankintatavoista on tehty alustava selvitys, jossa tarkasteltiin vaihtoehtoisia puskurikomponenttien hankintatapoja. Mahdollisia vaihtoehtoisia hankintavaihtoehtoja ovat valmistus omassa tuotantolaitoksessa, lohkojen ostaminen ulkopuoliselta toimittajalta tai valmistus Posivan ja SKB:n yhteisessä tuotantolaitoksessa Suomessa tai Ruotsissa. Tarkastelussa on ollut mukana myös savi-komponenttien raaka-aineen hankinta.

Edellisellä ohjelmakaudella on laadittu myös puskurikomponenttien tuotantotapaselvitys, jossa on tarkasteltu puskurikomponenttien valmistuskustannuksia, riskejä, saatavuutta, logistiikkaa ja varastointia eri tuotantotavoilla omassa tuotantolaitoksessa ja yhteistyökumppanin laitoksessa. Tuotantolaitoksen rakentaminen ja laitteistojen asentaminen tai olemassa olevan laitoksen käyttövalmius ajoitetaan siten, että laitoksen koekäyttö, tuotannon testaus ja valmistuksen luvitus voidaan tehdä hyvissä ajoin ennen loppusijoitustoiminnan aloittamista.

Puskuri- ja täyttökomponeenttien valmistus eivät ole sidottu toisiinsa, vaan valmistus voi olla erillisissä laitoksissa.

Puskurin ja täytön savikomponentteihin kuuluvat myös savimateriaalista valmistetut pelletit. Pellettien hankinta ulkopuoliselta valmistajalta on potentiaalinen vaihtoehto, sillä pellettien valmistustekniikka tunnetaan ja kaupallisia valmistajia on käytettävissä.

Muiden loppusijoituslaitokseen kuuluvien tilojen kuin loppusijoitustunnelien sulkemiskäyttöön liittyvät täyttökomponeentit valmistetaan nyky suunnitelmien mukaan samoissa tuotantolaitoksissa kuin loppusijoitustunnelien täyttökomponeentit. Niiden tarve alkaa vasta vuosikymmenien kuluttua, joten niiden tuotantolaitoksesta ei tässä vaiheessa tehdä erityisiä suunnitelmia.

4.11.3 Käytetyn polttoaineen kuljetukset

Käytetyn polttoaineen kuljetukset omistajien KPA-varastoilta kapselointilaitokseen ovat Posivan vastuulla. Kuljetuksista on tehty alustavia suunnitelmia ja riskiarvioita aiempina vuosina tarpeen mukaan. Vuoden 2012 lopussa jätetty kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemus sisälsi mm. selvityksen kuljetusreiteistä ja -riskeistä ja tähän osuuteen tullessiin kommentteihin vastattiin aikataulun mukaisesti.

Käytettyä polttoainetta kuljetetaan B-tyypin kuljetussäiliöissä. Vuosien 2013–2015 aikana tehtiin selvitykset kaasu- ja vesitäyteisten kuljetussäiliöiden käyttämisestä Loviisan kuljetuksiin ja Olkiluodon siirtoihin. Selvityksissä otettiin huomioon säiliötyypin vaikutus KPA-varastoihin, kuljetuksiin ja kapselointilaitokseen. Vuoden 2015 alussa Posiva päätti, että Loviisan polttoaine kuljetetaan kapselointilaitokselle kaasutäyteisissä säiliöissä ja Olkiluodon OL1-2-polttoaine siirretään vesitäyteisessä säiliössä. Samassa yhteydessä päätettiin, että OL1-2-polttoaineen siirtoon käytetään TVO:n nykyistä säiliötä, mikäli se todetaan mahdolliseksi. TVO tutkii mahdollisuutta käyttää säiliötä vuoden 2015 aikana.

Loviisan polttoaineelle hankitaan uusi kuljetussäiliö tai -säiliöitä. Vuoden 2014 aikana tavattiin kolme potentiaalista kuljetussäiliöiden toimittajaa. Kaikki toimittajat ovat ulkomaisia. Vuoden 2015 aikana on valmisteltu tarjouspyyntöaineistoa Loviisan polttoaineelle sopivasta säiliöstä.

5 KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUKSEN TUTKIMUS- JA KEHITYSTYÖ 2016–2021

5.1 Lähtökohdat

Säteilyturvakeskus antoi työ- ja elinkeinoministeriölle lausunnon (1/H48111/2012, 1.2.2013) jätehuoltovelvollisten Fortumin ja TVO:n selvityksestä ydinjätehuollon tilanteesta ja suunnitelmista, jotka on esitetty Posivan laatimassa raportissa YJH-2012, Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuollon ohjelma vuosille 2013–2015. STUKin lausunnossa todettiin, että YJH-2012-ohjelmassa esitetty demonstraatiotoiminta on varsin kattavaa, perusteltua ja käytännönläheistä, mutta rakentamisluvanhakijalta puuttuu kokonaisvaltainen demonstraatio-, tutkimus- ja kehitystoiminnot kokoava ohjelma. Posiva selvensi demonstraatiotoimintaa keväällä 2013 toimitetussa vastineessa, mutta STUKin käsityksen mukaan erityisesti aikataulutusta jäi edelleen avoimeksi. STUK edellytti Posivaa toimittamaan STUKille keväällä 2014 demonstraatiotoimintaa koskevan kokonaissuunnitelman aikatauluineen.

Posiva toimitti STUKille huhtikuussa 2014 loppusijoituskonseptin kehitysohjelman (Posiva 2014a), jossa esitellään vaatimuslähtöisesti Posivan näkemyksen mukaan avoinna olevat asiat sekä Posivan suunnitellut tutkimus-, kehitys- tai demonstraatiotoimet, joilla avoimet asiat ratkaistaan. Loppusijoituskonseptin kehitysohjelma kattaa käytetyn polttoaineen, kapselin, puskurin, loppusijoitustunnelin täytön ja tulpan, sulkemisen, kallioperän sekä täyden mittakaavan järjestelmätestin ja yhteistoimintakokeet.

Posiva on kehittänyt kapselin, puskurin ja loppusijoitustunneleiden täyttömateriaalien asentamiseen laitteistot. Laitteiden toimivuutta ja niillä saavutettavaa asennustarkkuutta sekä muita käyttötoiminnan kannalta tärkeitä tekijöitä on testattu sekä tehdasoloissa että aidoissa loppusijoitusolosuhteissa ONKALOSSA demonstraatiotunneleissa. Näitä kokeita kutsutaan laitetason toimintakokeiksi. Kun kaikkien asennuslaitteiden toimivuus on testattu laitteittain, testataan kapselin, puskurin, täyttömateriaalien ja tulpan asennusta sarjana ONKALOSSA tehtävässä täyden mittakaavan järjestelmätestissä (Full-Scale In-Situ System Test, FISST), joka on suunniteltu toteutettavan vuosien 2017–2018 aikana. Nyt on käynnissä testin suunnittelu. Laitetason toimintakokeista saadaan kokemusta laitteiden toimivuudesta, minkä perusteella suunnitellaan varsinaiset, loppusijoitustoimintaan tarvittavat asennuslaitteet.

5.2 Loppusijoituskonseptin kehitysohjelma

Loppusijoituskonseptin kehitysohjelmassa esitellään suunnitellut tutkimus-, kehitys- tai demonstraatiotoimet, joilla konseptiin liittyvät jäljellä olevat avoimet asiat ratkaistaan. Loppusijoituskonseptin kehitysohjelma kattaa käytetyn polttoaineen, kapselin, puskurin, loppusijoitustunnelin täytön ja tulpan, sulkemisen, kallioperän sekä täyden mittakaavan järjestelmätestin ja yhteistoimintakokeet. Näihin liittyvät suunnitelmat on kuvattu seuraavissa kohdissa.

5.2.1 Polttoaine

Seuraavassa on esitetty polttoaineeseen liittyvät kehitysohjelman suunnitelmat tarkemmin vuosille 2016–2018 ja alustava suunnitelma vuosille 2019–2021.

5.2.1.1 Käytetyn ydinpolttoaineen koostumus ja ominaisuudet

Käytetty ydinpolttoaine ja sen ominaisuudet kuvataan järjestelmäkuvauksissa, joita päivitetään sitä mukaa, kun omistajat lisensoivat ja ottavat käyttöön uusia polttoainetyyppejä. Kuvaukset laaditaan laitostyyppikohtaisesti (OL1/OL2, OL3 ja LO1/LO2) niin, että kuhunkin aikaansaaduista järjestelmäkuvauksista liitetään ydinpolttoainetyyppikohtaiset tietosivut. Järjestelmäkuvauksen tarkentaminen jatkuu analyysien, tutkimustietojen ja käyttökokemusten karttumisen myötä koko tarkastelujakson 2016–2021 ajan. Järjestelmäkuvaukset liitetään käyttöluvahakemuksen yhteydessä STUKille toimitettavaan lopulliseen turvallisuusselosteeseen, FSARIin (Final Safety Assessment Report).

Polttoaineen isotooppikoostumuksen tarkka tunteminen on lähtökohta useimmille säteily- ja ydinturvallisuutta (ml. pitkäaikaisturvallisuus ja kriittisyysturvallisuus) koskeville analyyseille. Käyttöluvahakemuksessa esitettävät ydinpolttoainetietoja koskevat analyysit päivitetään moderneilla reaktorifysiikan laskentamenetelmillä vuoden 2016 aikana. Analyyseissä otetaan huomioon ydinpolttoaineen kertymäärviot sekä päivitetty polttoaineen lähtötiedot. Päivitystarve koskee erityisesti epäpuhtauksista aiheutuvaa aktivoitumista sekä polttoaineen rakenneosien aktiivisuusinventaaaria.

Kriittisyysturvallisuuden osoittamiseksi niin käyttötoiminnassa kuin pitkälläkin aikavälillä on tehty kattavat tarkastelut. Konservatiivisten oletusten takia kriittisyys erittäin pitkällä aikavälillä ei ole em. selvitysten perusteella täysin poissuljettavissa, vaikkakin sitä voidaan pitää hyvin epätodennäköisenä. Kapselin pitkäaikaiskehittymisen tarkasteluja tehdään vuosina 2015–2018 ja selvitysten perusteella tarkennetaan sovellettavaa palamavytyksen metodiikkaa, analysoitavia tapauksia ja laskentamalleja. Tavoitteena on tehdä skenaarioiden määrittelyä ja analysointia myös yhteistyössä SKB:n kanssa.

Kriittisyysturvallisuus voidaan määritellä suojautumisena kriittisyysjonnettomuuden seurauksia vastaan. Tässä mielessä on luontevaa tarkastella myös epätodennäköisenä pidettävän kriittisen systeemin seurauksia loppusijoitustilassa sen sulkemisen jälkeen. Toisaalta loppusijoitustilan ilmiöihin liittyy epävarmuuksia ja kapselin ja polttoaineen geometriassa tapahtuvia reaktiivisuuteen vaikuttavia muutoksia ei voida täydellä varmuudella ennustaa erittäin pitkällä aikavälillä. STUK edellyttääkin kriittisyyden seurausten tarkastelua päätöksessään 1/H42252/2015. SKB on tarkastellut kriittisyyden seurauksia loppusijoitustilassa. Selvitysten perusteella kriittisen systeemin vaikutukset ympäröivään tilaan jäävät vähäisiksi (Hedin ym. 2013). Posiva suunnittelee kriittisyyden seurausten tarkastelua vuosina 2015–2017. Loppusijoitustilan kriittisyysturvallisuus ja kriittisyyden seuraukset analysoidaan vuosina 2017–2018.

Palamavytyksen metodiikkaa päivitetään vuosina 2015–2018 muun muassa analysoitavien tapausten sekä tarkasteltavien nuklidien ja aikavälien osalta. Tavoitteena on YVL-ohjeiden ja mahdollisuuksien mukaan kansainvälisten standardien mukainen

raportoitu menettely. Loppusijoitus poikkeaa normaalisti kriittisyysturvallisuuteen liittyvistä sovelluksista ja standardit eivät välttämättä ole sellaisenaan sovellettavissa. Työ liittyy SKB:n kanssa tehtäviin loppusijoitustilan pitkäaikaistarkasteluihin, joissa analysoidaan pysty- ja vaakasijoitusratkaisuja. Vaakaratkaisua tarkastellaan Posivan toteutustapaa koskevien päätösten pohjaksi ja tarvittaessa myös lopullisissa pitkäaikais-turvallisuusanalyseissä.

Loppusijoituksen kriittisyysturvallisuusanalyseissä käytettävät reaktorifysiikka-ohjelmistot ovat laajasti käytössä ja kelpoistettu käynnissä olevien ydinvoimalaitosten reaktori- ja kriittisyysturvallisuusanalyysiin. Loppusijoitussovellus poikkeaa jonkin verran tavallisista sovelluskohteista esimerkiksi materiaalien, tarkasteltavien palamien ja jäähtymisaikojen suhteen. Palamalaskennan ja kriittisyyslaskennan kelpoistamista jatketaan vuosina 2015–2018. Kelpoistaminen voidaan tehdä tarkoitukseen soveltuvaa dataa käyttäen esim. käytetyn polttoaineen ainetta rikkovien tai rikkomattomien mittaustulosten, kriittisyyskokeiden ja reaktorimittausten avulla. Mittaukset on tehtävä omistajien käytetylle polttoaineelle, jonka valmistustiedot ja käyttöhistoria tunnetaan täsmällisesti.

Polttoaineniput tullaan valitsemaan loppusijoitettavaksi U-235-rikastusasteen ja poistopalaman (ns. latauskäyrän vaatimus) perusteella. Latauskäyrät päivitetään skenaarioiden, metodiikan ja ohjelmien kelpoistamisen perusteella arviolta vuosina 2017–2018. Omistajien laitoksilla otetaan käyttöön uusia polttoainetyyppejä, jotka eivät sisälly aiemmin tehtyihin loppusijoituksen kriittisyysturvallisuusanalyysiin. Polttoainetyypin vaikutus reaktiivisuuteen loppusijoitustilassa ei kuitenkaan ole ratkaisevaa alikriittisyyden varmistamisen kannalta. Siksi uusien polttoainetyyppien analysointi voidaan toteuttaa latauskäyrien päivittämisen yhteydessä, arviolta vuosina 2017–2018.

5.2.1.2 Polttoaineen käsittelyyn ja tiedonhallintaan liittyvät kehitystoimet

Loppusijoitettavaan ydinpolttoaineeseen ja sen hallinnointiin liittyvä tietojen keruu ja polttoainetietojärjestelmän vaatimusmäärittely jatkuu. Kehitettävä järjestelmä pitää sisällään kunkin polttoaine-elementin rakenteelliset ja ydintekniset tiedot, analyysien kannalta oleellisen käyttöhistorian sekä ydinjäte- ja ydinmateriaalikirjanpidon edellyttämät inventaaritiedot. Loppusijoituksen vaatimuksien mukaisten polttoainetietojen lisäksi selvitetään mahdollisuutta sisällyttää polttoainetietojärjestelmään myös pitkäaikaisturvallisuusanalyysin tarvitsemat lähtötiedot. Järjestelmään tullaan liittämään myös ydinpolttoaineen käsittely (kuljetukset, mittaukset, kapselointi, välivarastoinnit, loppusijoitus, tarkastukset, todentamiset), kuten myös tarvittavat laskentatyökalut Posivan tarvitsemassa laajuudessa. Polttoainetietojärjestelmän kehitystyö tapahtuu yhteistyössä TVO:n, Fortumin ja Posivan kesken. Järjestelmän tulee olla toteutettu, testattu ja valmis tuotantokäyttöön ennen käyttöluvan hakemista.

Polttoaineen lämmöntuotto-ominaisuudet tulee tuntea sekä polttoaineen käsittelyn, että pitkäaikaisturvallisuuden arvioinnin kannalta. Omistajien kanssa on keskusteltu tarpeesta selvittää reaktorikäytöstä poistettuun polttoaineeseen liittyvien tietojen luotettavuutta ja virheiden vaikutuksia tehtäviin valintoihin. Työ on suunnattu polttoaineen jälkitechon laskennan kokeelliseen varmentamiseen. Työhön liittyen omistajat ja

Posiva tutkivat mahdollisuutta yhteisen ainetta rikkovan isotooppikokeen teettämisestä. Koemittaustulosten avulla voidaan kelpoistaa jälkilämpötehon laskennallinen menetelmä ennen käyttöluvan hakemista.

Ydinmateriaalivalvontaa koskevaan ohjeeseen YVL D.1 sisältyy vaatimus polttoainepippujen eheyden varmistamisesta mittauksin. Nipun eheys ydinmateriaalivalvonnan kannalta tarkoittaa, että kaikki ilmoitettu ydinaine on tallella. Vasta kehitteillä olevaan mittausten menetelmään liittyy epävarmuuksia ja mahdollisesti kapselointiprosessin läpimenoaikaan vaikuttavia riskejä, joten ydinmateriaalivalvonnan vaatimat mittaukset tullaan todennäköisesti tekemään omistajien KPA-varastoilla ennen polttoaineen kuljettamista Posivan kapselointilaitokselle. Posiva osallistuu yhdessä TVO:n ja Fortumin kanssa mittausten menetelmää kehittävään Tekesin rahoittamaan FiDiPro-hankkeeseen.

5.2.1.3 Pitkäaikaisturvallisuuden arviointiin tarvittavat tutkimukset

Käytetyn ydinpolttoaineen pitkäaikaisturvallisuuden arviointiin tarvittavat tutkimukset jatkuvat tulevilla ohjelmakausilla. Luonnonvesien kemian vaikutuksia polttoaineen liukenemiseen on tutkittu vasta vähän EU:n REDUPP-projektin yhteydessä, eikä niiden vaikutusta polttoaineen liukenemiseen tunneta riittävästi. Asian selvittämiseksi suunnitellaan lisäkokeita, jotta epävarmuudet turvallisuusarviossa käytettävissä käytetyn ydinpolttoaineen liukenemisnopeuksissa saataisiin ratkaistuksi. Erityisesti kiinnitetään huomiota siihen, miksi rauta käyttäytyy luonnonvesissä erilailla kuin synteettisissä vesissä.

5.2.2 Kapseli

Loppusijoituskapselin tehtävänä on pitää käytetyn polttoaineen sisältämät radionuklidit sisällään niin kauan, kuin niistä voi olla merkittävää haittaa ihmisille tai muulle elävälle luonnolle. Tämän turvallisuustoiminnon täyttäminen edellyttää kapselilta pitkäaikaista tiiveyttä ja korroosionkestävyyttä sekä mekaanista lujuutta odotettavissa olevissa tulevaisuuden olosuhteissa. Mittojen ja muotojen puolesta loppusijoituskapselin tulee olla sellainen, että siihen tarkoitetut käytetyt polttoaine-elementit ovat helposti sijoitettavissa ottaen myös huomioon polttoaineen käytön aikana tapahtuvat ulkomittojen muutokset. Polttoaineen – mahdollisesti käytön aikana hieman muuttuvine mittoineen ja muotoineen – tulee sopia kapselin sisään ja olla helposti asennettavissa. Kapselin lataaminen polttoaineella tulee olla suunniteltu siten, että sisältö pysyy kaikissa olosuhteissa alikriittisenä ja polttoaineesta syntyvä jälkilämpö pääsee tehokkaasti siirtymään pois. Turvallisuusmielessä kapseli on käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituskonseptin tärkein tekninen vapautumiseste.

5.2.2.1 Kapselien suunnittelu ja toimintakyky

Kapselien suunnittelu

Kapselin suunnittelun oleellisia tehtäviä ovat kapselin ja sen komponenttien vaatimusmäärittelyt ja rakennesuunnitelmat. Näissä määritellään kapselin vaatimukset toimintakyvyn ja toteuttamisen kannalta. Rakennesuunnitelmassa kuvataan kapselin tekniset tiedot noudattaen STUKin ohjetta YVL E.3. Kapselin vaatimusmäärittelyn tarkennukset ja yhtenäistäminen SKB:n kanssa soveltuvin osin on käynnissä ja työ saatetaan loppuun vuoden 2015 aikana. Tämän jälkeen kapselikomponenttien vaatimusmäärittelyä

tarkennetaan tarvittaessa. Seuraavien ohjelmakausien aikana aloitetaan kupari-komponenttien valmistusprosessien eli kuumamuokkauksen pätevänti (luku 5.2.2.2). Tätä ennen hyväksytetään vaatimusmäärittely ja rakennesuunnitelma STUKissa.

Rakennesuunnitelma tulee sisältämään myös komponenttien pätevöinnin dokumentaation ja tarvittaessa suunnitelmaa täydennetään pätevöinnin tulosten perusteella. Kuparikomponenttien osalta vaatimusmäärittely ja rakennesuunnitelma tullaan tekemään seuraavan ohjelmakauden loppuun mennessä valmiiksi päteväntiä varten. Valurautaisen sisäosan vaatimusmäärittely ja rakennesuunnitelma tehdään, kun kuparikomponenttien rakennesuunnitelma on valmis. Tämän jälkeen hyväksytetään valurautaisen sisäosan materiaalin valmistusprosessi (luku 5.2.2.2) ja täydennetään sisäosan rakennesuunnitelma valmistus- ja tarkastustuloksilla. Tarvittaessa tehdään korjaavat toimenpiteet. Rakennesuunnitelman tekoa jatketaan kapselin kokoonpanon osalta, kun sisäosan ja kuparivaipan rakennesuunnitelmat ovat valmiit. Kokoonpano on kuvattu kohdassa 5.2.2.2.

Lopullisen loppusijoituskapselin vaatimusmäärittely ja rakennesuunnitelma laaditaan siten, että se on valmiina ennen kapselin sulkemishitsin päteväntiä. Sulkemishitsin pätevöinnin jälkeen saadaan koostettua lopullinen kapselin rakennesuunnitelma mukaan lukien komponenttien rakennesuunnitelmat sisältäen myös mm. valmistusprosessien (kuumamuokkaus ja hitsaus) pätevänti- ja tarkastusdokumentaatiot.

Kapselien toimintakyky

Kapselin toimintakykytutkimukset liittyvät läheisesti edellä kuvattuun kapselin kehitystyöhön. Etenkin kapselin mekaanisiin ominaisuuksiin ja sen korroosionkestävyyteen liittyvä työ on tärkeää kapselin pitkäaikaisen toimintakyvyn kannalta.

FSW-hitsatun kapselin virumismallinnus aloitetaan vuonna 2015 pohjautuen aikaisempiin virumismallinnuksiin ja kokeisiin. Tulokset ovat saatavilla vuoden 2016 puolella välissä. Työn tarkoituksena on tarkentaa tietämystä kuparikapselin muodonmuutoksesta ottaen huomioon myös ulkoisten kuormitusten ja reunaehtojen erilaiset skenaariot, mm. bentoniitin paisumispaineen nousu ja kapselin kuparivaipan lämpötilan muutokset erilaisissa aikaskaaloissa.

Virumisselvityksissä tullaan selvittämään virumismekanismien, seosaineiden ja epäpuhtauksien (fosfori, rikki) sekä lämpötilan ja kuormitustasojen vaikutusta kuparin virumiseen. Epäpuhtauksien vaikutuksen selvityksessä on ensin kartoitettava mahdolliset tutkimusmenetelmät, sillä epäpuhtauspitoisuudet ovat hyvin alhaisia, niiden analysointi on haastavaa ja tutkimuksesta ei ole juurikaan kokemusta. Koska virumismekanismiin vaikuttaa epäpuhtauksien osalta myös mikrorakenne, tälläkin osa-alueella tullaan tekemään täydentäviä kokeita. Kuormitustasojen ja lämpötilan vaikutusta on tutkittu aikaisemmin sekä Suomessa Posivan toimesta, että Ruotsissa SKB:n toimesta hyvinkin laajasti. Virumisselvityksessä kartoitetaan alussa ne lämpötila ja kuormitustasot, joita täytyy täydentää lisäkokeilla ottaen huomioon myös SKB:n virumiskokeet.

Tutkimuksia kapselin vauriomekanismeista jatketaan seuraavalla ohjelmakaudella erilaisten korroosimuotojen poissulkemiseksi. Szakálosin ym. (2008) hapettomissa ve-

siympäristöissä tekemissä kokeissa on saatu viitteitä siitä, että kupari reagoisi suoraan veden kanssa. Ennen kuin ilmiö voidaan sulkea pois mahdollisten kuparin vauriomekanismien joukosta, tulee kokeiden tulkinnasta saada riittävä yksimielisyys. Tästä aiheesta on käynnissä jatkotutkimuksia useissa laboratorioissa (mm. SKB:n teettämät tutkimukset ja KYT-ohjelmassa meneillään olevat kokeet). Myös Posiva on käynnistänyt vuonna 2009 VTT:llä yhdessä SKB:n kanssa monivuotiset kokeet kuparin korroosiosta hapettomassa vesiympäristössä. Työssä toistetaan Szakálosin ym. (2008) julkaisemia kokeita. Neljästä kokeesta on yksi päätetty ja sen tulokset analysoitu ja raportoitu SKB:n raporttisarjassa (Ollila 2013). Seuraavan ohjelmakauden aikana työssä analysoidaan seuraavat näytteet (kaasufaasin vetypitoisuus, koeveden koostumus, kuparin pinta, Pd-foili). Lisäksi kokeen päättyessä kaikki saadut tulokset raportoidaan siten, että ne ovat käytettävissä TURVA-2020-työssä.

Edellisen lisäksi tehdään täydentäviä kokeita SKB:n tekemille tutkimuksille (Bengtsson ym. 2013). Kokeissa tehdään kuparille korroosikokeita hapettomassa vedessä ja atmosfäärissä. Vuosina 2015–2016 tehtävissä rinnakkaiskoesarjoissa tutkitaan kuparin mahdollisessa korroosiossa syntyvän kaasun muodostumista ja mahdollista kuparin pinnan tilan muuttumista eri kuparimateriaalien tapauksissa. SKB:n jo tekemien kokeiden perusteella näyttäisi siltä, että kupari ei korrodoidu merkittävästi hapettomissa olosuhteissa ja kokeissa havaitut vähäiset vetymäärät ovat peräisin materiaalista itsestään, eikä vety ole syntynyt korroosion kautta. Posivan teettämillä tutkimuksilla haetaan siis varmennusta ja toistettavuutta SKB:n saamiin tuloksiin.

Kuparin vesikorroosiota selvitetään myös tutkimalla pintailmiöitä ja epäpuhtauksien vaikutusta vedyn muodostumiseen pinta-analyttisillä menetelmillä Tampereen teknillisessä yliopistossa vuosina 2015–2016.

Kuparin sulfidikorroosiomallin (CSM) kehitystyötä jatketaan SKB:n kanssa tehtävässä ISP-projektissa (Integrated Sulphide Project, ks. luku 5.2.3.7). Mallia kehitetään, koska TURVA-2012-analyseissa käytetyssä CSM-mallin versiossa on puutteita ja lisäksi on kokeellisesti saatu uutta mekanistista tietoa Cu_2S -filmistä, jota mallissa ei ole otettu huomioon. Lisäksi Ontarion yliopistossa (University of Western Ontario, UWO) tehtävistä kokeista saatavilla tuloksilla pystytään validoimaan CSM-malli. Myös kuparin yhdistetyn potentiaalimallin kehitystyötä jatketaan määrittelemällä erityisesti mallinnuksessa käytettävän katodisen reaktion komponentti tarkemmin. CSM-mallinnuksen täydentämiseksi kuparin sulfidikorroosiosta tehdään simulointeja 1-D-reaktiivisella kulkeutumismallilla. Mallit päivitetään siten, että ne ovat käytettävissä TURVA-2020-työssä.

Posiva on tehnyt räjähdysainejäämien näytteenottokampanjoita ONKALOSSA. Seuraavan ohjelmakauden aikana saatujen tulosten perusteella arvioidaan typpiyhdisteiden vaikutusta kuparin jännityskorroosioon.

SKB:n kanssa tehtävässä ISP-projektissa (luku 5.2.3.7) selvitetään mikrobien määrää bentoniitissa eri olosuhteissa. Bentoniitin mikrobit-selvitystyön perusteella arvioidaan myös kapselin pinnalle päätyvien mikrobien määriä ja luonnetta sekä edelleen niiden vaikutuksia kapselin toimintakykyyn.

5.2.2.2 Kapselikomponenttien tuotanto

Kapselikomponenttien kehitystyö on aiemmin keskittynyt pitkälti materiaaliominaisuuksien kehittämiseen ja hallintaan, mutta lähivuosina komponenttien koervalmistus tulee suurelta osin keskittymään valmistusprosessin teollistamiseen. Tavoitteena on, että vaatimustenmukaisia kupariputkia ja -kansia sekä BWR- ja VVER-sisäosia pystytään valmistamaan toistettavasti. Kaikki komponenttivalmistuksen työvaiheet testataan.

Kuparikomponentteja ja sisäosia valmistetaan Posivan projektin tarpeisiin, kuten täyden mittakaavan järjestelmätestiin (FISST), kapselin käsittelylaitteiden testauksiin, kapselin suunnitteluun liittyviin testauksiin, hitsauslaitteiston testauksiin ja yhteistoimintakokeeseen.

Kaikki kupari- ja sisäosakomponenttien vaatimukset käydään läpi ja varmistetaan, että valituilla valmistustekniikoilla pystytään valmistamaan vaatimukset täyttäviä komponentteja. Puuttuvat kapselin spesifikaatiot ja ohjeet laaditaan ja valmistuspiirustukset viimeistellään. Kupariputken, kuparikannen, BWR- ja VVER-sisäosien valmistusmenetelmistä sekä sisäosan teräskannen valmistuksesta tuotetaan kapselin rakenne-suunnitelmaan tarvittavat tiedot.

Kupari- ja sisäosakomponenttien valmistustekniikoiden ja laaduntarkastusohjelmien toteutettavuus osoitetaan valmistajan ja valmistuksen hyväksynnän yhteydessä tehtävillä menetelmäkokeilla.

Posiva on mukana 5-vuotisessa FIMECC BSA NOCMA -ohjelmassa, jossa suomalaiset valimot, valunkäyttäjät sekä yliopistot ja tutkimuslaitokset tutkivat ja kehittävät uusia valurautalaatujia. Projektissa selvitetään vaihtoehdoisen, toisen sukupolven liuoslujitetun pallografiittivaluraudan soveltuvuutta sisäosan materiaaliksi. Uuden materiaalin soveltuvuutta selvitetään edelleen.

Kuparikapselin ja sisäosan hankintatapaselvitystä jatketaan. Kapselin kokoonpanotyön vaatimukset määritellään ja päätetään kapselien kokoonpanopaikka.

5.2.2.3 Kapselointi

Kapselointiprosessiin sisältyy järjestelmiä, joita ei ole missään vielä kelpoistettu suunniteltuun toimintaansa, koska vastaavaa käytetyn ydinpolttoaineen kapselointilaitosta ei ole aikaisemmin toteutettu. Tärkeimmistä kapselointiprosessin järjestelmistä on valmistettu prototyyppilaitteita, jotta voidaan varmistaa suunnitelmien toimivuus ja lopullisten tuotantojärjestelmien kelpoistusprosessin sujuvuus turvallisuusmerkityksen tai muuta prosessin suuremman epävarmuuden osalta. Tällaisia kapselointilaitoksen järjestelmiä ovat kapselin siirtovaunu, kapselin siirtokehys, kapselin siirtotrucki ja kapselipaletti.

Prototyyppien valmistus ja testaus on käynnistynyt edellisellä ohjelmakaudella ja testausta jatketaan nyt alkavalla ohjelmakaudella ennen lopullisten järjestelmien suunnittelua ja toteutusta. Suunnitelmien toimivuuden varmistamiseksi kehitetään prototyyppien yhteydessä myös lopullisten laitteiden valmistamisen, asennuksen ja

käyttöönoton laadunvarmistusmenettelyjä yhdessä viranomaisten kanssa. Prototyypilaitteille määritettyjä testausohjelmia voidaan myös hyödyntää lopullisten järjestelmien käyttöönottestien määrittelyssä.

Prototyyppien suunnittelu, valmistaminen ja koekäyttö toteutetaan ja dokumentoidaan sitä koskevan turvallisuusluokan mukaisesti, siten kuin kyse olisi lopullisesta järjestelmästä. Lopullisten tuotantojärjestelmien suunnittelu tukeutuu prototyyppien suunnitelmiin ja testaustuloksiin.

Kapselin sulkemistekniikan kehitystyöt

Keväällä 2014 tehdyn hitsausmenetelmän valinnan jälkeen jatketaan kitkatappi-hitsauksen (FSW) kehitystyötä.

Hitsauksen tutkimus- ja kehityshankkeet

Hitsausprosessin hallintaa on kehitetty tähän asti pääasiassa lämpötilakontrollin osalta, jotta pyörivän työkalun tuottama lämpö pystytään pitämään koko hitsauksen ajan vakiona. Vuoden 2015 aikana kehitetään hitsauksen syvyyden hallintaa, jotta hitsaustapah- tumasta saadaan mahdollisimman stabiili ja hitsistä tasalaatuinen juurialueen virheiden osalta. Syvyyden hallinnan kehitystä jatketaan myös vuonna 2016.

Perustuen aikaisempaan kokemukseen EBW-hitseille tehdyistä DHD-jäännösjännitys- mittauksista (Deep Hole Drilling), vastaavat kokeet tullaan tekemään myös FSW- hitseille vuoden 2016 aikana. Tuloksia voidaan verrata SKB:n aikaisemmin suorittamiin HD eli Hole Drilling- ja XRD- eli röntgendiffraktiomittauksille.

Kapselin kuparikannen ja -putken eri valmistusmenetelmillä on havaittu olevan vaikutusta hitsauksen parametreihin. Vuoden 2016 aikana tullaan tutkimaan mm. eri raekoon sekä kemiallisen pitoisuuden vaikutuksia hitsauksen parametreihin.

Aikaisemmissa hitsien materiaalitutkimuksissa hitseissä on havaittu liian suuria oksidi- pitoisuuksia verrattuna Posivan raja-arvoihin. SKB:n hitsausasemassa on testattu useita eri tapoja kaasusuojaukselle ja oksidien määrän pienentämiseksi on tehty useita eri tut- kimuksia lähtövaatimusten asettamiseksi. Vuoden 2015 alussa käyttöön otetulla koko kapselin yläosan kattavalla kaasusuojausyksiköllä sekä muilla kehitystyöillä tullaan aset- tamaan lähtöarvot lopullisen hitsin oksidipitoisuudelle.

Hitsausmenetelmän vaihdosta johtuen hitseille suoritetaan uudet virumis- sekä kor- roosiokokeet vuoden 2016 alusta lähtien ja kokeet tulevat kestämaan vuoteen 2017 asti.

Hitsauksen päteväinti ja hitsausaseman käyttö kapselointilaitoksessa

Posivan kapselointilaitoksessa käytettävän hitsausaseman valmistus aloitetaan vuoden 2018 aikana ja osana valmistusta tullaan tekemään hitsauskokeita aseman toimintojen varmistamiseksi sekä varmistavia tutkimustöitä erityisesti hitsin lähtötilan osalta. Hit- sausaseman tulee pystyä hitsaamaan täysimittainen kapselihitsi asetettujen vaatimusten mukaisesti. Hitsausaseman FAT-kokeiden (Factory Acceptance Test) suunnittelu aloite-

taan vuonna 2018 ja aikataulun mukaisesti valmistetun hitsausaseman FAT-kokeiden suoritus sekä rikkovat kokeet tullaan tekemään vuoden 2019 aikana. Kokeet ovat osa hitsausaseman hyväksyntää valmistajan tiloissa ennen laitteen asennusta kapselointilaitokseen. Kapselointilaitoksessa tehtävien hitsausaseman SAT-kokeiden (Site Acceptance Test) suunnittelu aloitetaan 2018 ja ne tullaan suorittamaan kapselointilaitoksessa hitsausaseman asennuksen jälkeen osana laitteen vastaanottotarkastusta sekä hyväksyntää.

Hitsausmenetelmään ja hitsausoperaattoreihin liittyvien osa-alueiden pätevöinnin suunnittelu aloitettiin 2015 ja saatetaan loppuun tämän ohjelmakauden aikana. Tällä hetkellä koehitsien aikana käytetään alustavia työhohjeita sekä hitsausohjetta, joita tullaan kehittämään sekä laatimaan yleinen laatu- ja pätevöintikäsikirja. Vuoden 2016 aikana hitsausohjetta varten suoritetaan koehitsit ennalta määrätyillä parametri-ikkunan ylä- ja alatasolla ja niille tehdään testaukset määritetyillä rikkovilla kokeilla, jotta pystytään osoittamaan hitsin vaatimusten täytyminen koko ikkunan sisällä. Hitsausoperaattoreiden koulutus sekä pätevöintiin valmistautuminen aloitetaan oikea-aikaisesti hitsausaseman valmistuksen edetessä, jolloin operaattorit ottavat osaa laitteen valmistukseen sekä koulutukseen valmistajan tiloissa ja käyttökoulutus jatkuu asennuksen jälkeen. Pätevöinnit aloitetaan, kun hitsausasema on saatu asennettua kapselointilaitokseen. Pätevöintiä jälkeen työ keskittyy hitsausasemaan ja sen toimintoihin osana kapselointilaitoksen käyttökokeita.

Kapselin tarkastustekniikoiden kehitystyö

Kapselien tarkastuksessa käytettävien ainetta rikkomattomien NDT-menetelmien (Non-destructive testing) kehittäminen voidaan jakaa neljään vaiheeseen:

- NDT-menetelmien kehittäminen,
- vikojen havaittavuustutkimukset,
- vian koon määrittämisen kehittäminen ja luotettavuuden arviointi, sekä
- hyväksymis- ja hylkäämismenettelyjen kehittäminen tarkastettaville komponenteille.

Menetelmien tarkastusten kehittämistä jatketaan niin, että menetelmien kehityksessä painopiste on eri menetelmien tarkastustulosten yhdistämisessä ja sitä seuraavassa hyväksymis- ja hylkäämisprosessin kehittämisessä. Useilla eri NDT-menetelmillä saatujen tarkastustulosten yhdistäminen ja näin saadun yhdistetyn tuloksen luotettavuuden tutkiminen on yksi lähivuosien haasteista loppusijoituskapselin tarkastustekniikoiden kehittämisessä. Luotettavuuden tutkimuksen apuna käytetään metallografista verifiointia eri komponenteista saatujen NDT-mittaustulosten perusteella.

NDT-menetelmien ja -menettelyjen kehittämisen ohella arvioidaan tarkastusten luotettavuutta tilastollisin menetelmin. Tavoitteena on pystyä osoittamaan, että teknisin keinoin havaittavissa olevia vikoja ei kapselissa todennäköisesti ilmene. Tämän ohella tavoitteena on osoittaa, että vikojen havaittavuus on riittävä täyttämään pätevöinnin vaatimukset.

Lisäksi tarkastusmenetelmien "teollistaminen" on keskeinen tehtävä tulevan kolmi-vuotiskauden aikana. Tavoitteena on tehtyjen tutkimusten perusteella käyttää pohjana kehitettyjä NDT-menetelmiä ja optimoida kaikki menetelmät kapselointilaitoksessa

käytettävään lopulliseen muotoon. Samaa kehitystavoitetta sovelletaan myös komponenttien tarkastuksiin.

Tarkastusohjeita optimoidaan ja parannetaan jatkuvasti tekemällä tarkastuksia oikeaa kokoa vastaavilla koetuotantokomponenteilla ja hitseillä. Tavoitteena on täyttää vian havaitsemisen ja koon määrittämisen edellytykset sekä niiden edellyttämä vaatimustaso päteväinnille. Tarkastusten tilastollisia poikkeamia tutkitaan tarkastettavien komponenttien valmistusohjelman tarkastusten aikana, tietoa tarkastusparametrien vaihteluista kerätään ja niiden vaikutukset tarkastuksiin otetaan huomioon tarkastusohjeissa, jotta ne vastaisivat mahdollisimman hyvin todellisuutta.

Suomen päteväntikäytännön ja ENIQ:n (the European Network for Inspection and Qualification) suositusten mukaisessa loppusijoituskapselin tärkeimpien komponenttien päteväinnissä päteväntielin käy tarkastusohjeet läpi. Tämän lisäksi tutkitaan inhimillisten tekijöiden vaikutusta tarkastusohjeisiin ja päätöksentekoon kapselikomponenttien ja loppusijoituskapselin hyväksymisessä ja hylkäämisessä. Inhimillisten tekijöiden vaikutuksen tutkimuksen avulla etsitään tarkastusohjeiden heikkoja kohtia, joita pyritään poistamaan ohjeistusta päivittämällä. Ohjeet kaikille loppusijoituskapselin komponenttien tarkastuksille valmistellaan, kuten myös ohjeet komponenttien vastaanottotarkastuksille.

Päteväntiprosessi sisältää vaativan aineiston koostamisen, kuten päteväntilähtöaineiston luomisen, päteväntisuunnitelman tekemisen, teknisten perusteluiden läpikäynnin eri menetelmille ja ohjeiden viimeistelyn. Aineistoon kuuluvat tarkastuskohteiden kuvaukset, tarkastusten tavoitteiden, etsittävien vikojen, havaitsemistavoitteiden sekä päteväntitason määrittämiset, tekniset perusteluaineistot sekä tarkastusohjeet.

Kapselointilaitokseen suunnitellut tarkastuslaitteistot ja -järjestelmät spesifioidaan kehitettyjen menetelmien antamien tulosten perusteella. Samoin tarjouspyyntöaineistot laaditaan ensimmäisen kolmivuotiskauden aikana. Laitteistojen käyttö ja päteväntitavoitteet asettavat vaatimukset tarkastajien koulutukselle ja kokemuksen keräämiselle tarkastuksista. Laitteistojen toimittajien valinta tulee ajankohtaiseksi ensimmäisellä kolmivuotiskaudella, jolloin määritellään rakentamisen laadunvalvonta ja suoritetaan laitteiden testaus eri olosuhteissa. Lopuksi tarkastusjärjestelmät käyttöönotetaan laitosolosuhteissa tapahtuvassa käyttöönototarkastuksessa, joka suoritetaan laitteistojen asennuksen jälkeen kapselointilaitoksessa.

5.2.2.4 Kapselin käsittely, varastointi ja asennus

Kapselihissi

Tulevalla ohjelmakaudella kapselihissille laaditaan toteutussuunnitelmat edellisellä ohjelmakaudella laaditun konseptisuunnitelman ja vaatimusmäärittelyn perusteella. Tämänhetkinen hissikonsepti perustuu yksittäisvikasietoiseen toteutusratkaisuun, jolloin kuilun pohjalle ei ole tarvetta rakentaa iskunvaimenninta, eikä näin ollen kehitystyötä vaimenninratkaisuun liittyen jatketa.

Kapselin siirtotrukki

Kapselin siirtotrukin testausta jatketaan myös tulevalla ohjelmakaudella ennen lopullisten siirtotrukkien suunnittelua. Prototyypin testauksen tulokset huomioidaan lopullisen asennuslaitteen rakennesuunnitelman laadinnassa. Myös testeissä käytettävästä kapselipaletista saadut kokemukset huomioidaan ja kapselipaletin suunnitelmaa tarpeen mukaan kehitetään lopullista järjestelmää varten.

Kapselin siirto- ja asennuslaite

Kapselin siirto- ja asennuslaitteen prototyypin asennustestit jatkuvat vuosina 2016–2017. Aluksi tehdään arvio laitteen kehitystarpeista siihen mennessä saatujen testitulosten perusteella. Prototyypin testauksen tulokset huomioidaan lopullisen asennuslaitteen rakennesuunnitelman laadinnassa. Kehitettyä asennuslaitetta voidaan hyödyntää myös täyden mittakaavan järjestelmätestin (FISST) kapselien asennuksessa.

Ohjelmakaudella 2016–2018 suunnitellaan ja toteutetaan asennuslaitteen kehityksen toinen vaihe, jossa keskitytään mm. laitteen alustaratkaisun viimeistelyyn sekä suunnitellaan lopullisesti laitteen siirtoratkaisut. Lisäksi huomioidaan ensimmäisen prototyyppivaiheen (kuva 5-1) testeissä havaitut kehityskohteet. Ohjelmakauden tavoitteena on rakentaa viranomaisvaatimukset täyttävä laite, jota voidaan käyttää loppusijoituksessa.

Ohjelmakaudella 2019–2021 rakennetaan asennuslaitteet kaikkia niitä erikokoisia loppusijoituskapselleita varten, joita käsitellään loppusijoituksen alkuvaiheessa.



Kuva 5-1. Kapselin siirto- ja asennuslaitteen vuonna 2014 valmistunut prototyyppi.

5.2.3 Puskuri

Puskurin pitkäaikaisturvallisuutta koskevat suunnitteluperusteet ja -vaatimukset perusteluineen on esitetty Posivan *Design Basis* -raportissa (Posiva 2012b). Raportissa on esitetty ne olosuhteet, tarpeet ja vaatimukset, jotka on otettava huomioon suunniteltaessa bentoniittipuskuria osana KBS-3V-loppusijoituskonseptin mukaisia teknisiä vapautumisesteitä. Posivan VAHA-järjestelmän mukaiset puskurin suunnitteluvaatimukset ja -spesifikaatiot (tasot 3–5) on esitetty *Buffer Design 2012* -raportissa (Juvankoski 2013), joka tullaan päivittämään seuraavan ohjelmakauden aikana. Puskurin vaatimukset tullaan kiinnittämään vuoden 2015 loppuun mennessä sekä puskurin suunnitelma vuonna 2016. Puskurin kehitys tulee keskittymään erityisesti alla mainittuihin aihepiireihin seuraavan ohjelmakauden aikana.

5.2.3.1 Puskurin ja täytön materiaalitutkimukset

Puskuri- ja täyttömateriaalien kemiallisten ominaispiirteiden vaikutus vedenjohtavuuteen ja paisumispaineseen

Montmorilloniitin erityisten materiaaliominaisuuksien (pintavaraukset ja rajoittunut tilavuus levyjen välissä) takia ei paisuntapaineeseen vaikuttavia kemiallisia prosesseja (hydratoituminen ja osmoosi) voida selittää samalla tavalla, kuin kyseisiä ilmiöitä kuvataan vapaassa vedessä. Työn tarkoituksena on selittää montmorilloniitin paisuntapaineeseen vaikuttavat tekijät ja tätä kautta asettaa savimateriaaleille merkitykselliset vaatimukset sekä raja-arvot haitallisille aineille. Näiden avulla voidaan hankittaville savimateriaaleille asettaa tarkat spesifikaatiot. Toinen tämän työn tarkoitus on tunnistaa montmorilloniitista peräisin olevien yhdisteiden koostumus ja stabiilisuus vesiliuoksissa.

Lisäksi tarkoituksena on tunnistaa prosessit, jotka liittyvät veden kulkeutumiseen kompaktoidun montmorilloniitin läpi. Vesi ja siihen liuenneet suolat kulkeutuvat diffuusion avulla myös täyden paisuntapaineen saavuttaneen montmorilloniitin läpi.

Työ valmistuu seuraavan YJH-kauden aikana.

Vaatimusten täyttymiseen vaikuttavat materiaaliominaisuudet ja ympäristötekijät

Työn tarkoituksena on varmistua siitä, että asetetut vaatimukset ovat myös todennettavissa tai ehdottaa muutoksia vaatimuksiin, jotta ne olisivat todennettavissa. Aluksi määritetään mitattavissa olevat materiaaliominaisuudet ja ympäristötekijät, jotka vaikuttavat savien vedellä kyllästymisen nopeuteen, mekaaniseen eroosioon, paisumispaineseen, vedenjohtavuuteen ja mekaanisiin muokkautuvuuteen sekä lujuusominaisuuksiin. Lisäksi ehdotetaan menetelmiä niiden suureiden määrittämiseksi, joihin ei vielä ole mittausmenetelmää. Toisessa vaiheessa kehitetään puuttuvat menetelmät ja/tai otetaan ne käyttöön. Ensimmäinen vaihe on tarkoitus saada valmiiksi vuoden 2016 aikana ja toinen vaihe vuoden 2018 loppuun mennessä.

Karakterisointi

Kaikki Posivan testeihin ja myöhemmin käyttöön tulevat savimateriaalierät karakterisoidaan käyttäen valikoituja analysointimenetelmiä, jotta voidaan varmistua käytettävien materiaalien vaatimustenmukaisuudesta. Posiva käynnisti vuonna 2011 materiaalien karakterisointiprojektin (CharMa), jonka tavoitteena on

- tuottaa referenssitietoa kokeissa käytettävien materiaalien ominaisuuksista,
- parantaa karakterisoinnissa käytettäviä analysointimenetelmiä, ja
- tuottaa menettelytapoja ja menetelmiä käytönaikana tapahtuvalle laadunvalvonnalle.

Näiden analyysien avulla voidaan varmistua jatkossa käytettävien materiaalien vaatimustenmukaisuudesta. Käytettyjä karakterisointimenetelmiä kehitetään myös jatkossa ja mahdollisia vaihtoehtoisia menetelmiä testataan ja sisällytetään karakterisointiprosessiin, mikäli ne katsotaan tarpeelliseksi/hyödylliseksi. Ensimmäinen hyväksytty kuvaus savimateriaalien laadunvalvonnasta valmistuu ennen käyttöluvan hakemista. Koska kyseessä on myös käytön aikana tapahtuvasta toiminnasta, jatkuu menetelmien ja menettelytapojen kehitys koko käytön ajan.

Puskuri- ja täyttömateriaalien valinta

Posiva on esittänyt referenssimateriaalit sekä puskurille että täytölle rakennuslupahakemuksessa Näiden saatavuus tai käytettävyys saattaa jostakin syystä heikentyä ja tähän varautuakseen Posiva on aloittanut muiden soveliaiden savimateriaalien selvittämisen esitetyn materiaalin spesifikaatioiden tarkentamiseksi, materiaalien vaihtamiseksi tai eri materiaalien käyttämiseksi rinnakkain.

Työn tavoitteena on

- kartoittaa muut soveltuvat materiaalit ja
- määrittää menettelytavat, joilla mahdollinen materiaalin vaihtaminen suoritetaan:
 - mittarit, joiden perusteella materiaalin muutos aloitetaan,
 - menettelytavat materiaalin vaihtamiseen, ja
 - aikaväli, joka tarvitaan materiaalin muutokseen.

5.2.3.2 Puskurin kehitys

Puskurin paisuntapaine

Puskurin aiheuttaman suurimman mahdollisen kuorman loppusijoituskapseliin eli suurimman sallitun paisuntapaineen määrittää kapselin mitoitus. Nykyisen tietämyksen mukaan suurinta sallittua paisuntapainetta tulee vielä rajoittaa, jotta päästöesteiden yhteensopivuus varmistetaan. Puskurin paisuntapaineeseen vaikuttavat oleellisesti bentoniittimateriaalin kemiallinen koostumus, montmorilloniittimäärä sekä tiheys, ja lisäksi loppusijoitussyvyydellä liikkuvan ja siten puskuriin vaikuttavan pohjaveden koostumus. Alkavalla YJH-kaudella jatketaan puskurin suunnittelua ja mitoitusta paisuntapaineen osalta tekemällä laskelmia ja mallinnuksia uusien lähtötietojen avulla tavoitteena vaatimustenmukainen puskuri.

Puskurin lämmönjohtavuus

Puskurin suunnittelussa on esitetty lämmönjohtavuudelle vaatimus, jonka mukaisesti puskurin lämpötilan tulee pysyä alle 100 °C. Puskurin lämmönjohtavuuteen liittyvää tutkimustyötä tullaan jatkamaan epävarmuuksien pienentämiseksi. Lämmönjohtavuuteen vaikuttavia materiaaliominaisuuksia ovat tiheys, vesipitoisuus ja huokoisuus, joiden lisäksi lämmön siirtymiseen kapselista kallioon vaikuttaa oleellisesti puskurin alkutila kallion ja kapselin välissä (pelletti-lohko-rako). Lämmönjohtavuuden laskelmissa ja mallinuksissa käytettyjä arvoja tullaan tarkastelemaan erityisesti kuivan loppusijoitusreiän tapauksessa, jossa käytetyn ydinpolttoaineen jälkilämpö vaikuttaa puskurin vesipitoisuuden jakautumiseen. Laskelmia tullaan tekemään uusilla ja useilla lähtöarvoilla, jotka on johdettu materiaali- ja toimintakykytutkimuksista.

Asennussyvennys loppusijoitusreiän yläosassa

Olkiluodon käytetyn ydinpolttoaineen (OL1-3) loppusijoituksessa kuparikapselin asennuksessa tarvittava tila on loppusijoitustunnelin kokoa suurempi, jolloin loppusijoitusreiän yläosaan on tehtävä asennussyvennys, joka tullaan täyttämään puskurimateriaalilla. Asennussyvennyksen suunnitteluperusteina käytetään käytettävän loppusijoituskapselin, kapselin säteilysuojaputken ja puskurin sekä kapselin asennusajoneuvojen mittoja. Asennussyvennyksen suunnittelussa on lisäksi huomioitava sen toteutus eli käytettävissä oleva kalliorakennuksen tekniikka sekä viisteen täytön toteutus ja valmistus. Kehitystyössä huomioidaan asennuslaitteiden ja kallion vaatimukset ja puskurin osalta keskitytään asennussyvennyksen vaatimuksenmukaisen täytön toteutukseen ja valmistukseen. Työ tehdään alkavan YJH-kauden aikana.

Rakennesuunnitelma

Puskurin rakennesuunnitelmassa kuvataan puskuri järjestelmänä sekä osoitetaan sen vaatimustenmukaisuus. Puskurin vaatimusmäärittely koostetaan ja hyväksytetään STU-Kissa ennen rakennesuunnitelman toimittamista. Puskurin rakennesuunnitelman tekeminen aloitetaan tällä ohjelmakaudella ja sen ensimmäisen version tulee valmistua ennen täyden mittakaavan järjestelmätestiä (FISST), jonka asentamisen jälkeen rakennesuunnitelma päivitetään saatujen tietojen/kokemusten perusteella ennen käyttöluvhakemuksen jättämistä.

Laatusuunnitelma

Puskurin laatusuunnitelma esittää yhteenvedon puskurin vaatimusten lähteistä, tuotannon laadunhallinnasta sekä kuvaa menettelyt puskurin vaatimuksenmukaisuuden ja laadun varmistamiseksi. Puskurin tuotanto käsittää puskurimateriaalin hankinnan, puskurikomponenttien valmistuksen, puskurikomponenttien kuljetuksen ja varastoinnin, mahdollisesti tarvittavan kosteusuojauksen ja vedenpoistojärjestelmän asennuksen ja poiston, puskurikomponenttien asennuksen loppusijoitusreikään sekä loppusijoitusreiän yläosan täytön loppusijoitustunnelin pohjan tasalle.

Laatusuunnitelmasta ilmenevät puskurin tuotannon toteutuksen vaatimukset ja vastuut, menetelmät vaatimustenmukaisuuden osoittamiseksi sekä vaatimustenmukaisuuden osoittavat dokumentit ja niiden tallennustapa ja -paikka.

Puskurin laatusuunnitelmaa tullaan kehittämään tämän ohjelmakauden aikana ja ensimmäinen versio tulee olla käytettävissä täyden mittakaavan järjestelmätestiä (FISST) varten.

5.2.3.3 Puskuri-täyttöjärjestelmän alkutilan ja asentamisen jälkeisen vettymisen demonstrointi

Tavoitteena on tuottaa kokeellinen aineisto – *Performance Assessment* -raportissa (Posiva 2013a) esitettyjen numeerisilla simuloinneilla tehtyjen arvioiden validointi – jonka avulla perustellaan

- 1) saavutetaanko tavoiteltu täysin saturoitunut tila *Performance Assessment* -raportissa (Posiva 2013a) ja sen taustaraporteissa esitetyllä tavalla ja
- 2) veden jakautuminen puskurissa ja täytössä osittain vedellä kyllästyneessä tilassa. Tällä perusteella arvioidaan aiemmin esitettyjen ilmiöiden esiintymistä osittain vedellä kyllästyneessä tilassa.

Puskurin ja täytön osajärjestelmä- ja järjestelmäkohtaiset vettymiskokeet

Puskuri- ja täyttökokeiden avulla määritetään puskurin ja tunnelitäytön ominaisuuksia vedellä kyllästymisen edetessä asennuskosteudesta noin 1 MPa paisuntapaineen aikaansaaviin vesipitoisuuksiin. Pellettien ja lattiantasausmateriaalien kokeilla puolestaan pyritään pienentämään puskuri- ja täyttökokeiden koematriiseja sekä helpottamaan näiden kokeiden tulosten tulkintaa. Edelleen, näillä kokeilla pyritään pienentämään jäljempänä kuvattavien pienen mittakaavan järjestelmäkokeiden koematriiseja sekä edesauttamaan näiden kokeiden suunnittelua ja tulosten tulkintaa. Saatujen tulosten perusteella muutetaan tarvittaessa teknisiä ratkaisuja ja/tai kallion soveltuvuusluokittelukriteerejä (RSC).

Pelletit

Työn tavoite on määrittää puskurin ja tunnelitäytön pellettirintamille

- vettymiskuvioiden avulla tavat, joilla pellettirintamat voivat (ääritapauksissa lohkojen ollessa imemättä vettä) levittää kalliosta vuotavaa vettä ja miten nopeasti vuoto-vesien vaikutukset (~ avoimesta rintamasta pursuavat pelletit) nähdään avoimissa rintamissa ja
- minkälaiset vuotokohdat voivat aiheuttaa ainakin vedellä kyllästymisen alkuajan pysyvien kanavien muodostumisen.

Puskuri (lohkot ja pelletit)

Työn tavoite on määrittää

- veden jakautuminen puskurissa sinne tulevan veden virtaaman sekä veden koostumuksen funktiona sekä eri osien vesipitoisuuksiin liittyvät paisuntapaineet ja
- epähomogeenisista vesipitoisuuksista seurauksena olevien tiheyserojen tasaantumisnopeudet ja -erot.

Lisäksi työn tulokseksi saadaan perusteltu kannanotto seuraaviin seikkoihin:

- pitääkö vuotovesien hallitsemiseksi (eli puskurimateriaalin paikoillaan pitämiseksi) kehittää uusia menetelmiä ja
- ovatko nykyiset kallion soveltuvuuskriteerit riittävän yksityiskohtaisesti määriteltyjä (millä tarkkuudella vesivuodot tulee määritellä – alueellisesti kuten nykyään vai vuotokohtakohtaisesti kuten kokeissa).

Tunnelitäyttö (lohkot ja pelletit)

Työn tavoite on määrittää veden jakautuminen ja mahdolliseen kanavoitumiseen liittyvät tekijät täytössä veden virtaaman ja syöttökohdan muodon sekä veden koostumuksen funktiona. Toisena tavoitteena on kvantifioida täyttöratkaisun eroja puskuriin nähden.

Lisäksi työn tulokseksi saadaan vastaavien puskurikokeiden tapaan perusteltu kannanotto seuraaviin seikkoihin:

- pitääkö vuotovesien hallitsemiseksi kehittää uusia menetelmiä ja
- ovatko nykyiset kallion soveltuvuuskriteerit riittävän yksityiskohtaisesti määriteltyjä

Pienen mittakaavan järjestelmäkokeet

Pienen mittakaavan järjestelmäkokeiden tavoite on

- määrittää yllä kuvatuissa töissä puskurin ja täytön rajapinnasta käytettyjen oletusten edustavuus
- varmistua siitä, että puskurin ja tunnelitäytön vettymisen alkuvaiheiden aikaisten ilmiöiden vaikutukset on huomioitu vaatimusten täyttymisen arvioinneissa ja
- päivittää puskurille ja täytölle esitettyjen ilmiöiden skaalautuvuusarviot.

Järjestelmäkokeella tarkoitetaan tässä yhteydessä yhtä puskuria sekä edustavaksi perusteltua osaa loppusijoitustunnelista. Osajärjestelmäkokeet on tehty 1/6-mittakaavassa ja vertailtavuuden säilyttämiseksi järjestelmäkokeita tehdään samassa mittakaavassa.

Seurattavat parametrit ovat

- vettymiskuvioden muoto, kasvunopeus ja niihin liittyvät muut mahdolliset ilmiöt kuten kanavien ja vesisulkeumien syntyminen,
- puskuri-täyttö-rajapinnan siirtyminen,
- järjestelmästä ulos virtaavan veden kiintoainepitoisuus ja
- veden virtaamiseksi järjestelmään tai järjestelmän läpi vaadittava paine.

5.2.3.4 Toimintakykyvaatimusten osoittaminen

Laimeiden vesien savien tiheyttä laskeva vaikutus

Työn tavoite on pienentää *Performance Assessment* -raportissa (Posiva 2013a) käytettyjen oletusten, käytettyjen mallien ja empiiristen tulkintojen mahdollisia epätarkkuuksia ja päivitetyn riskiarvion perusteella selvittää mahdollisten jatkotutkimusten tarve.

Työssä keskitytään laimeiden vesien pääsemiseen loppusijoitustiloihin ja seurausten arviointiin olettaen laimean veden pääsevän loppusijoitustiloihin joka tapauksessa.

Lisäksi tutkitaan laimeiden montmorillonitiittisuspensioiden tai -geelien reologiaa alhaisen kiintoainepitoisuuden geelien mekaanisten ominaisuuksien selvittämiseksi. Reologiaa tutkimalla saadaan myös tietoa geelien rakenteesta ja koostumuksesta, mikä auttaa selvittämään eroosiorintaman syntyä ja etenemistä. Lopuksi voidaan selvittää, ovatko veden virtauksesta syntyvät mekaaniset leikkausvoimat tarpeeksi suuria hajottaakseen geelit.

Puskurin mineraloginen muuntuminen

Näiden töiden tuloksena odotetaan saatavan riittävä varmuus puskurimateriaalin riittävästä mineralogisesta stabiilisuudesta. Tällainen varmuus saavutetaan varmistamalla hallitsevien fysikaalisten ja kemiallisten prosessien riittävän yksityiskohtaisesta kuvamisesta sekä niihin liittyvät mineralogisten muutosten rajat.

Arvioitavia suureita ovat primääri- ja aksessoristen mineraalien määrien muutokset sekä sekundäärimineraalien muodostuminen. Näiden suureiden muuttumista arvioidaan sekä valittujen pohjavesisimulanttien vaikutuksesta että kohonneen lämpötilan johdosta. Työssä tarkastellaan aksessoristen mineraalien liukenemistä ja uudelleen saostumista.

Mallien, joita Idiart ym. (2013) käyttivät primääri- ja aksessoristen mineraalien määrien muuttumisen arvioinnissa, soveltuvuus arvioidaan useita vuosia kestävin pienen mittakaavan laboratoriokokein. Koematriisi sekä koejärjestelyjen yksityiskohdat suunnitellaan käyttämällä samoja malleja sekä ohjelmistoja kuin Idiart ym. (2013). Tässä vaiheessa arvioidaan koematriisiin käsittävän 2–3 eri savimateriaalia, 2–4 koostumukseltaan erilaista vettä sekä 2–3 eri vakiona pidettävää lämpötilaa.

Tiheyserojen tasaantuminen

Asentamisen jäljiltä tiheyseroja on puskurissa lohkojen ja pellettien välillä, kuten myös loppusijoitustunneleiden täytössä sekä puskurin ja täytön välillä. Lisäksi eroosiokanavan kaltaiset paikalliset häiriöt saattavat laskea kiintoainetiheyksiä paikallisesti niin alhaiseksi, etteivät vaatimukset välttämättä täyty.

Tiheyserojen tasaantumisen selvittämistä jatketaan tehtyjen laboratoriomittakaavan homogenisaatiokokeiden yksityiskohtaisemmalla analysoimisella sekä simuloimalla niitä numeerisesti olemassa olevien mallien avulla. Kokeissa tutkitaan saturoituneen bentonitiin paisumista vedellä täytettyihin koloihin. Tämän työn tavoitteena on tehdä mahdollisimman yksinkertaisia ja selviä laboratoriokokeita, joilla varmennetaan hydromekaanisia malleja. Suuremmassa mittakaavassa, sekä ajallisesti että koon puolesta, tiheyserojen tasaantumista on tarkoitus ennustaa näillä malleilla.

Saatujen tulosten perusteella suunnitellaan sovelluskohtaiset kokeet ja numeeriset simuloinnit asentamisen jälkeisten teknisten ratkaisujen savikomponenttien tiheyserojen tasaantumisen perustelemiseksi.

Virtauksen kanavoitumisesta savissa aiheutuva eroosio

Työn tavoitteena on vähentää esitettyssä analyysissä (Sane ym. 2013 sekä Posiva 2013a, luku 5.5.2) käytettyjen oletusten ja parametriarvojen epävarmuuksia siinä määrin, että

kallion soveltuvuusarviossa määritettävät tekijät perustuvat savikomponenttien käyttäytymisestä tehtyihin havaintoihin.

Työssä käsiteltävät aiheet ovat:

- Vapaan paisunnan mallin kehitys kuvaamaan suuria muodonmuutoksia, joita olemassa olevilla malleilla ei toistaiseksi pystytä kuvaamaan. Mallin kyetessä kuvaamaan suuriakin muodonmuutoksia riittävän hyvin, lisätään kuvaukseen eroosiomalli ja se validoidaan.
- Vapaan paisunnan mallien soveltuvuuden arvioimiseksi tehdään tarvittaessa lisäkokeita olemassa olevien lisäksi.
- Kiintoaineen kulkeutumiseen kanavassa liittyvistä rajoitteista tehdään arvio

Puskurin mekaaninen käyttäytyminen kalliosiiroksissa

Työn tavoite on päivittää *Performance Assessment* -raportissa (Posiva 2013a) esitetty arvio puskurin mekaanisesta käyttäytymisestä kalliosiiroksissa.

Tässä työssä tarkennetaan tietoa puskurin mekaanisista ominaisuuksista. Parempi tieto reologisista ominaisuuksista antaa pohjaa kapselille aiheutuvien vaikutusten mallintamiselle kalliosiirotilanteessa. Työtä tehdään yhteistyössä SKB:n kanssa

Muut toimintakykytutkimukset

Sementistä liukenevien aineiden vuorovaikutus puskurin ja täytön kanssa

Tavoitteena on parantaa ymmärrystä sementtipohjaisten aineiden käyttäytymisestä loppusijoitusympäristössä ja arvioida niiden käyttämisestä aiheutuva uhka teknisten päästöesteiden toimintakyvylle.

Työssä keskitytään a) sementtipohjaisten materiaalien rapautumisen kuvaamiseen loppusijoitusympäristön olosuhteissa, b) sementtipohjaisten materiaalien kulkeutumista rakoverkostossa rajoittavien tekijöiden kuvaamiseen sekä c) tehdyn analyysin (Koskinen 2014) päivittämiseen.

Sulfidin muodostuminen ja kulkeutuminen puskurissa ja loppusijoitustunnelin täytössä

Loppusijoitustilojen olosuhteissa sulfidin muodostuminen on mikrobien aikaansaama prosessi, jota ei vielä tunneta riittävällä tarkkuudella luotettavan turvallisuusanalyysin tekemiseen. Tässä työssä selvitetään mikrobien käyttämää energialähdettä sekä aineenvaihduntaprosessia, jotta pystytään vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

- Mikä käynnistää sulfidin tuotannon?
- Kuinka pitkään sulfidituotanto voi olla käynnissä?
- Mikä rajoittaa sulfidipitoisuutta?
- Kuinka korkeita sulfidipitoisuuksia Olkiluodon pohjaveteen, loppusijoitustunnelien täyttöön sekä puskurimateriaaliin on mahdollista muodostua?
- Tarvitaanko täyttö- ja puskurimateriaaleille vaatimuksia sulfidituotannon estämiseksi?
- Mitkä ovat teknisen suunnittelun raja-arvot täytölle ja puskurille (esim. tiheys/minimi lohkotäyttöaste/pellettitäytteen pienin sallittu saturoitu tiheys)?

Työ tehdään pääosin yhteistyössä SKB:n kanssa yhteistyöprojektissa joka päättyy 2018.

5.2.3.5 Puskurin valmistustekniikan kehitys

Puskurilohkojen valmistuksessa on tutkittu isostaattista valmistusmenetelmää. Isostaattinen valmistusmenetelmä tunnetaan suhteellisen hyvin, mutta täyden mittakaavan puskurilohkojen valmistusta on hidastanut alihankkijan tarvitsemien laitteiden toimitusvaikeudet.

Päätös valmistusmenetelmästä isostaattisen ja SKB:n käyttämän yksiaksaalisen valmistusmenetelmän välillä pyritään tekemään yhteistyössä SKB:n kanssa ensimmäisen kolmivuotiskauden alkuun mennessä, jolloin valittua menetelmää tuotantomittakaavaan päästään myös kehittämään yhteistyössä.

Tarkastelujakson jälkimmäisellä puoliskolla tavoitteena on varmistaa puskurilohko-tuotannon toimivuutta tuotantomittakaavassa omassa tai ulkopuolisen toimittajan laitoksessa.

5.2.3.6 Asennustekniikan kehitys

Puskurin asennuslaitteen prototyypin konseptikehitystyötä ja suunnittelua on tehty vuodesta 2011 alkaen osana LUCOEX-projektia, joka kuuluu EU:n 7. puiteohjelmaan. Projektiin osallistuvat Posivan lisäksi SKB, Andra ja Nagra. Kukin osallistuja kehittää projektissa omaa loppusijoitusratkaisuaan. Projektin työt valmistunevat vuoden 2015 aikana.

Kuvassa 5-2 on osana LUCOEX-projektia kehitetty puskurilohkojen asennuslaitteen prototyyppi. Posivan puskurilohkojen asennuslaitteen kehitystyön kohteeksi valittiin vaihtoehto, jossa on erilliset laitteet lohkojen asennukseen ja kuljetukseen. Puskurilohkojen asennustyön käynnistyessä asennuslaite asemoidaan loppusijoitusreiän päälle. Puskurilohkot kuljetetaan suljetussa kuljetuspakkauksessa erillisellä kuljetuslaitteella asennuslaitteelle. Asennuskokeista saatujen kokemusten perusteella puskurilohkot pystytään asentamaan vaaditulla tarkkuudella.



Kuva 5-2. Osana LUCOEX-projektia kehitetty puskurilohkojen asennuslaitteen prototyyppi testaushallissa.

Puskurin asennuslaitteen prototyyppiä on testattu aluksi maan päällä ja laitteen toimivuuden varmistuttua ONKALON demonstraatiotunnelissa (kuvat 5-3 ja 5-4). Testeillä on varmistettu laitteen toimivuudesta sekä saatu käsitys asennustoleranssien riittävytydestä. Myös erilaisia häiriötilanteita ja niistä selviytymistä on testattu.

LUCOEX-projektin tulosten pohjalta siirrytään asennuslaitteiden kehitystyössä ensimmäisen kolmivuotiskauden aikana vaiheeseen, jossa testataan asennusta tuotannollisen toiminnan näkökulmasta suuremmilla asennussarjoilla ja useammilla toistoilla. Testien tarkoitus on kehittää asennustekniikkaa edelleen ja tutkia laitteiden toimintavarmuutta asennettaessa puskurilohkoja suunnitelmien mukaisella tarkkuudella ja nopeudella. Tämä edellyttää tarvittaessa LUCOEX-projektissa rakennettujen asennuslaitteiden muutostöitä ja mahdollisesti uusien laitteiden rakentamista.

Toisella kolmivuotiskaudella valmistetaan lopulliset loppusijoitustoiminnassa käytettävät asennuslaitteet. Aikaisemmissa vaiheissa rakennetut laitteet ja niiden valmistuksesta ja käytöstä saadut kokemukset hyödynnetään tässä työssä.

Tavoitteena on tarkastelujaksolla kehittää asennuksen lisäksi puskurilohkojen kuljetuslogistiikkaa varastosta loppusijoituslaitokseen sekä siellä tapahtuvaa asennusta edeltävää käsittelyprosessia.



Kuva 5-3. Puskurilohkojen asennusta ONKALOn demonstraatiotunnelissa.



Kuva 5-4. LUCOEX-projektissa kehitetty puskurilohkojen kuljetuslaitteen prototyyppi.

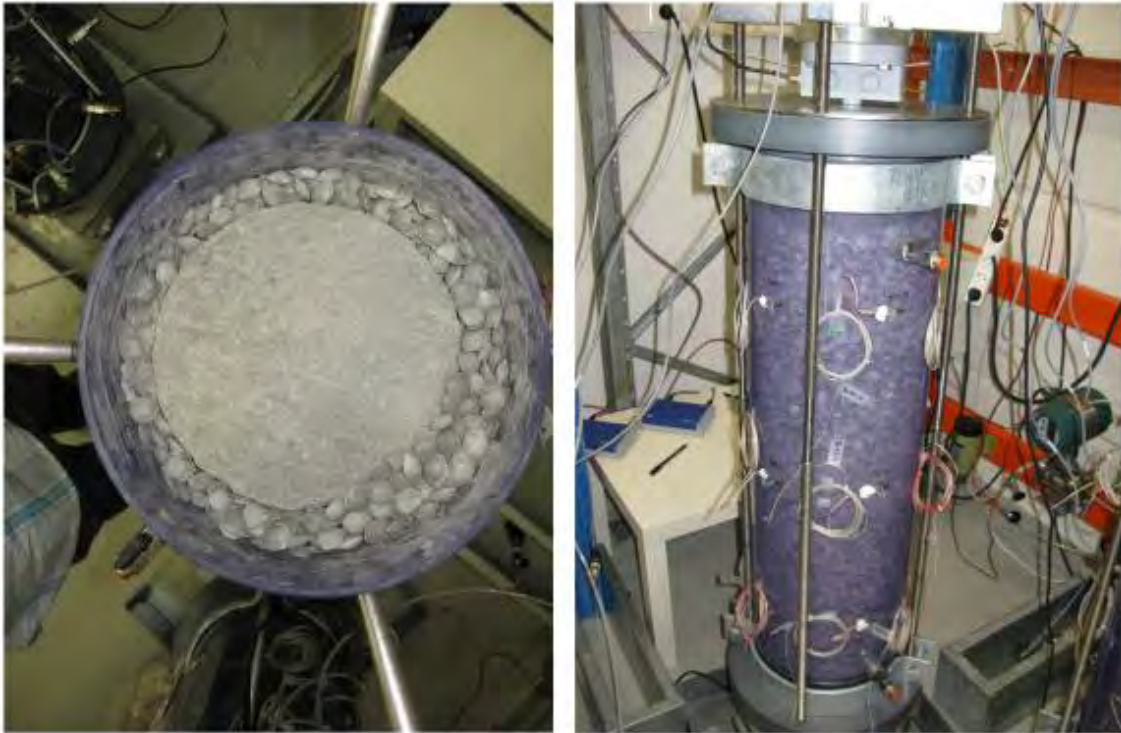
5.2.4 Loppusijoitustunnelin täyttö ja tulppa

Posivan loppusijoitusratkaisussa loppusijoitustunnelit täytetään heikosti vettä johtavalla paisuvahilaisesta savesta puristetuilla lohkoilla ja pelleteillä ja tunneli suljetaan sen suulle tehtävällä betonitulpalla. Täyttötoiminnan aikana tunneliin vuotaa kalliosta vettä, joka tulee ohjata siten, että täyttömateriaali ei paisu liian aikaisessa vaiheessa ennen tunnelin sulkemista. Loppusijoitustilan täytön edellinen tekninen suunnitelma vuodelta 2012 on esitetty suunnitteluraportissa Autio ym. (2012) ja täytön tuotantolinjaraportissa (Keto ym. 2013).

5.2.4.1 Täytön suunnittelu ja toimintakyky

Mekaaninen eroosio

Ns. transparent cell -kokeissa (ks. kuva 5-5) vettä syötetään loppusijoitusreikää simuloivan testirakennelman alapuolelta ja seurataan näytteen kanavoitumista, mahdollista savi- ja karkeampien aksessoristen mineraalien separaatiota ja mitataan eroosiota ajan funktiona ja lopuksi lasketaan kokonaiseroosio. Lisäksi tutkitaan erodoituvan materiaalin mineralogialla ja raekokojakaumaa ja eroosiokanavaan jäänyttä materiaalia. Testin kesto on ollut noin neljä kuukautta. Kokeita on tehty tähän mennessä neljä: vesijohtovedellä, 1 % suolaisuudella ja 10 % suolaisuudella (Posivan määrittämät referenssivedet). Veden virtaama on ollut kaikissa kokeissa 0,1 l/min. Lisäksi yhdessä kokeessa huokostilavuus on täytetty vedellä ja systeemi on sen jälkeen suljettu noin neljäksi kuukaudeksi. Tämän testin tarkoituksena on ollut seurata materiaalin itsekorjautuvuutta ja homogenisuutta. Tehdyt neljä koetta toistetaan kokeiden toistettavuuden testaamiseksi ja kokeita jatketaan vaihtoehtoisella täyttömateriaalilla tai materiaaleilla.



Kuva 5-5. Esimerkkikuva Transparent Cell -testistä (Sane ym. 2013). Testisellin sisähalkaisija on 29,5 cm ja korkeus 80 cm. Pellettireunuksen paksuus on 5 cm ja lohkon halkaisija 17 cm. Vesi syötetään systeemin alaosaan.

Transparent cell -testien lisäksi kootaan testisuunnitelma pellettien vettymisen, veden pidätyskapasiteetin (vesimäärä ja aika jolloin vesi purkautuu ulos systeemistä), kanavoitumisen ja eroosion seuraamiseksi. Testeissä voidaan varioida esimerkiksi pellettitäytön paksuutta ja pellettimateriaalia/pellettityyppiä.

Lisäksi otetaan käyttöön noin 1/6-mittakaavan täyttöttesti, jolla selvitetään vettymistä, kanavoitumista ja eroosiota sekä testimittakaavan vaikutusta prosesseihin (verrattuna pienemmän mittakaavan kokeisiin). Nämä testit tehdään ONKALossa ennen täyden mittakaavan järjestelmätestiä (ks. kohta 5.2.6).

Materiaalin itsekorjautuvaa ominaisuutta kanavoitumisen jälkeen selvitetään pääasiassa transparent cell -testien avulla. Näiden testien lisäksi tehdään tarvittaessa erityyppisiä testejä, joissa itsekorjautuvuusominaisuutta testataan vedenjohtavuuskokeen avulla sulkemalla veden syöttö määräajaksi antaen tiheyseroille mahdollisuuden tasaantua, ja tämän jälkeen arvioimalla vedenjohtavuus avaamalla veden syöttö uudelleen.

Tiheyserojen tasaantuminen

Täytön homogenisaatiotesteissä on kyse tiheyserojen tasaantumisesta sille tasolle, että täytölle asetetut vaatimukset täyttyvät kaikissa täyttökomponenteissa. Puskurimateriaalille on tutkittu materiaalin paisumista eri suuntiin. Täytön ja puskurin termo-hydromekaanista mallintamista varten tarvittavat kokeet toistetaan myös täyttömateriaaleilla.

Kemialliset vaatimukset

Täyttömateriaalien kemiallinen koostumus on tärkeä täytön toimintakyvyn kannalta. Täyttömateriaalien kokonaisuudessa on erittäin suuri, jolloin täyttömateriaalin kemia vaikuttaa puskurin lähialueen (pohjavesi)kemiaan. Täytön vaikutus lähialueen kemiaan analysoidaan kokonaisuutena. Suunnittelussa käytettävät arvot orgaanisen aineksen, rikin, sulfaatin ja sulfidien määrät täyttömateriaalissa ovat alustavia ja ne määritetään tarkemmin. Lisäksi arvioidaan myös muiden mahdollisten kemiallisten komponenttien raja-arvojen asettamista täyttömateriaalille. Vaihtoehtoisten täyttömateriaalien kartoituksessa kemiallinen koostumus tulee olemaan tärkeä valintatekijä.

5.2.4.2 Loppusijoitustunnelin täytön suunnittelu

Täytön suunnittelu koostuu kolmesta osakokonaisuudesta:

1. Täytön tekninen suunnittelu
2. Vuotovesien hallinta asennuksen aikana
3. Täytön järjestelmäkuvaus ja rakennesuunnitelma.

Täytön tekninen suunnittelu

Työn tavoite on tuottaa täytön toiminta- ja suunnitteluvaatimuksista johdetut täyttöratkaisun kvalitatiiviset ja kvantitatiiviset suunnitteluspesifikaatiot, ts. täytön referenssi-suunnitelma. Backfill Design 2012 -raportti (Autio ym. 2012) päivitetään näiden pohjalta tulevan kauden aikana.

Vuotovesien hallinta asennuksen aikana

Osakokonaisuudessa testataan ja kehitetään menetelmät ja ratkaisut vuotovesien hallintaan täytön asennuksen aikana edelleen testattavaksi täydenmittakaavan järjestelmäkokeessa (FISST), sekä käytettäväksi varsinaisessa loppusijoitustoiminnassa vuotovesien hallitsemiseksi loppusijoitustunnelien täytön aikana. Työ tehdään yhteistyössä SKB:n kanssa ja se valmistuu vuoden 2016 aikana.

Täytön järjestelmäkuvaus ja rakennesuunnitelma

Täytölle tuotetaan vastaavat rakennesuunnitelmat vastaavilla menettelyillä kuin puskurille (5.2.3.2).

5.2.4.3 Täyttökomponenttien valmistustekniikan kehitys

Täyteainelohkot valmistetaan yksiaksiaalisella puristusmenetelmällä. Täyttökomponenttien valmistusta on testattu teollisessa mittakaavassa erilaisilla täyttömateriaaleilla. Pienen ja teollisen mittakaavan testien perusteella nykytekniikalla pystytään tuottamaan vesipitoisuudeltaan ja tiheydeltään riittävän tasalaatuisia täyteainelohkoja. Merkittävä tekijä laadukkaiden lohkojen valmistamisessa on käytettävä raaka-aine.

Ensimmäisen kolmivuotiskauden aikana tavoitteena on testata täyttölölköjen valmistusta erilaisilla materiaaleilla ja luoda testausohjelma, jolla vertailu on luotettavasti ja nopeasti toteutettavissa.

Tarkastelujakson jälkimmäisellä puoliskolla tavoitteena on varmistaa täyttölohko-tuotannon toimivuutta tuotantomittakaavassa omassa tai ulkopuolisen toimittajan laitoksessa.

5.2.4.4 Päätetulpan rakennustekniikan kehitys

Käynnissä olevasta POPLU-päätetulppatestistä kerättyjen kokemusten sekä saatujen testitulosten perusteella loppusijoitustunnelin päätetulpan referenssisuunnitelma päivitetään ohjelmakaudella. Referenssisuunnitelman kehityksessä käytetään hyväksi myös SKB:n ja Posivan yhteisestä DOMPLU-testistä (DOME PLUG) saatuja tuloksia. DOMPLU-testissä on toteutettu tuotantolinjaraportissa (Keto ym. 2013) esitetystä kupolinmuotoisesta referenssipäätetulpasta jatkokehitetty versio. Referenssisuunnitelmassa käytetään loppusijoitustunnelin tulpan päivitettyjä vaatimuksia. Näiden perusteella luodaan yksityiskohtainen päätetulppasuunnitelma, joka toteutetaan täyden mittakaavan järjestelmäkokeen yhteydessä (ks. luku 5.2.7).

Yksityiskohtainen päätetulppasuunnitelma sisältää päätetulpan rakenne- ja työsuunnitelmat sekä käytettävän betonireseptin. Tämän lisäksi päätetulpalle luodaan laatusuunnitelma, joka sisältää päätetulpan suunnittelu-arvot, piirustukset, menetelmä-ohjeet ja laadunvalvontasuunnitelmat. Laadunvalvontamenetelmiä noudatetaan ja kehitetään täyden mittakaavan järjestelmätestin (FISST) päätetulpan rakentamisessa. Perustuen FISST-päätetulpan rakentamisesta saatuihin kokemuksiin laaditaan lopullinen laatusuunnitelma liittyvine dokumentteineen, jota noudatetaan maanalaisen yhteistoimintakokeen (ks. luku 7.2) päätetulpan rakentamisessa.

Päätetulpan yksityiskohtaista suunnitelmaa, siihen liittyviä dokumentteja ja betonireseptiä päivitetään tarvittaessa FISST-testin yhteydessä rakennettavasta päätetulpasta saatuihin kokemuksiin perustuen. Tällä päivityksellä valmistaudutaan päätetulpan tuotannon päteväntiimiin sekä maanalaisen yhteistoimintakokeen päätetulpan rakentamiseen. Seuraavan ohjelmakauden aikana loppusijoitustunnelin päätetulpalle tuotetaan lopullinen järjestelmäkuvaus. Lisäksi laaditaan päätetulpan rakennesuunnitelma, jota käytetään päätetulpan päteväinnissä. Seuraavalla ohjelmakaudella toteutetaan myös päätetulpan valmistusmenetelmän ja valmistusorganisaation hyväksyttäminen.

5.2.4.5 Asennustekniikan kehitys

Täyttömateriaalien asennuslaitteen prototyyppi valmistuu vuonna 2015 (kuva 5-6). Laitteen testaukset maanpinnalla suoritetaan vuoden 2016 kuluessa. Ensimmäisessä vaiheessa testejä tehdään Posivan testaushallissa Porissa. Toimivuuden varmistuttua testausta jatketaan ONKALON demonstraatiotunneleissa oikeissa loppusijoitusolosuhteissa. Testeissä varmistetaan täyttölohkojen ja -pellettien käsittelylaitteiden toimivuus.

Ohjelmakaudella 2016–2018 päätetään laitteen jatkokehityksestä ottaen huomioon ensimmäisen prototyyppivaiheen testeissä havaitut kehityskohteet. Ohjelmakauden tavoitteena on rakentaa laite, jota voidaan käyttää loppusijoituksessa.



Kuva 5-6. Täyttömateriaalien asennuslaitteen prototyyppi.

5.2.5 Sulkeminen

Tilojen sulkeminen sisältää kaikki maanalaisen loppusijoituslaitoksen tilat lukuun ottamatta loppusijoitusreikiä ja loppusijoitustunneleita. Tilat suljetaan tarkoitukseen sopivalla täyttömateriaalilla ja tulpilla. Vaatimukset sulkemisen komponenteille vaihtelevat ympäristöolosuhteiden ja ympäröivän kallioiden mukaan. Täytettäviä tiloja ovat mm. keskustunnelit, tekniset tilat, ajoneuvoyhteydet, kuilut ja kaikki ONKALON laajuuteen kuuluvat tilat sekä tutkimusreiät. Suljettujen tilojen tulee myötävaikuttaa geokemiallisten ja hydrogeologisten olosuhteiden pysymiseen suotuisina ja ennakoitavina muille teknisille vapautumisesteille estämällä merkittävien vettäjohtavien reittien muodostumisen näitä tiloja pitkin, ja rajoittaa ja hidastaa haitallisten aineiden vapautumista loppusijoitustiloista sekä rajoittaa veden virtausta loppusijoitustilojen ja maanpinnan välillä. Loppusijoitustilojen sulkeminen aloitetaan referenssisuunnitelman mukaan keskustunnelin sulkemisella, kun siihen liittyvät loppusijoitustunnelit on ensin täytetty ja suljettu. Nykyaikataulun mukaan sulkeminen alkaa aikaisintaan 2050-luvulla ja tarve yksityiskohtaisille suunnitelmille on vasta käyttötoiminnan aikana. Sulkemissuunnitelmien osalta valmistaudutaan tämän ohjelmakauden aikana käyttölupahakemuksessa tarvittavien dokumenttien laadintaan. Sulkemisen tuotantoon kuuluvat raaka-aineiden hankinta, kuljetus ja varastointi, materiaalien käsittely ja valmistaminen, materiaalien kuljettaminen asennuspaikkaan ja asentaminen.

5.2.5.1 Sulkemissuunnitelma ja vaatimusmäärittelyn täyttyminen ja osoittaminen

Sulkemissuunnitelma ja tuotantolinjaraportti on julkaistu 2012 (Dixon ym. 2012 ja Sievänen ym. 2012). Näissä raporteissa esitellyt suunnitelmat päivitetään käyttöluvhakemukseen vaiheittain. Seuraavan ohjelmakauden alkuun mennessä tilojen sulkemiseen liittyvät toimintakyky- ja suunnitteluvaatimukset päivitetään. Kehitystyö jatkuu seuraavalla ohjelmakaudella suunnitteluspesifikaatioiden määrittelyjen ja tarkennusten osalta. Sulkemisen suunnitelman päivityksessä hyödynnetään täytön testien ja demonstraatioiden sekä kansainvälisessä yhteistyössä toteutettujen testien ja demonstraatioiden kokemuksia ja oppeja. Päivitykset kuvataan järjestelmäkuvauksissa, laatusuunnitelmissa ja muissa viranomaisille toimitettavissa dokumenteissa sekä niitä perustelevissa taustadokumenteissa.

Sulkemiseen liittyviä demonstraatioita ei ole suunniteltu tehtäväksi ennen käyttöluvhakemuksen jättämistä. Kokemuksia hankitaan mm. DOPAS-tutkimushankkeesta, jonka puitteissa testataan vuosien 2012–2016 aikana Posiva loppusijoitustunnelitulpan (POPLU, ks. kohdat 4.7.3 ja 5.2.4.4 Päätetulpan rakennustekniikan kehitys) lisäksi erilaisia tulppia täydessä mittakaavassa (mm. Ruotsin Äspössä toteutettava loppusijoitustunnelin tulppa, Ranskassa toteutettava hydraulisen tulpan teollisen mittakaavan demonstraatio, Tšekeissä tulpan komponenttien testejä ja Saksassa kuilutulpan suunnittelua). DOPAS-hankkeesta saadaan tietoa hydraulisten tulppien tarkempaa suunnittelua varten sekä kokemusta matallan pH:n sementin käytöstä ja toiminnasta erityyppisissä tulpissa.

Tutkimusreikien sulkemisen kehitystyö liittyy asentamismenetelmien kehittämiseen ja kansainväliseen yhteistyöhön muiden ydinjätehuolto-organisaatioiden kanssa.

5.2.5.2 Raaka-aineiden hankintaketju

Sulkemisen raaka-aineita ovat bentoniitti tai vaatimusten niin salliessa vähemmän paisuvahilaista mineraalia sisältävä savi, kivimateriaali (sisältää useita materiaaleja ja vaihtoehtoisia materiaaleja, esim. hiekka, sora, kivet, lohkat, diamiktoni, kivimurske), betoni ja betonin lisäaineet. Lisäksi erilaisia asentamiseen liittyviä tukirakenteita (injektointiputkia, läpivientejä, muotteja, yms.) tarvitaan eri komponenttien yhteydessä.

Bentoniitti tai paisuvahilainen savi hankitaan ulkomailta ja sen nykyinen toimitustapa on samankaltainen kuin täytön toimitusmenettely laatuvaatimuksineen ja laadunvarmistuksineen (Keto ym. 2013). Laadunvarmistus koskien alkuperää ja toimitusta liittyy lähtevän materiaalin ominaisuuksiin ja niiden pysymiseen vaatimukset täyttävänä kuljetuksen ajan. Nämä vaatimukset ovat materiaalikohtaisia ja ne kuvataan maanalaisen loppusijoituslaitoksen sulkemisen laatusuunnitelmissa. Maanalaisen loppusijoituslaitoksen sulkemisen laatusuunnitelmat laaditaan ennen käyttöluvhakemuksen jättämistä ja niitä täsmennetään ja päivitetään sulkemisen suunnitelmien edetessä ennen sulkemisen aloittamisen ajankohtaa.

Tällä hetkellä sulkemisen savipitoisten materiaalien laadunvarmistus seuraa täytön laadunvarmistusta. Kivimateriaali hankitaan tämänhetkisen suunnitelman mukaan Suomesta. Mahdollisia toimittajia on lukuisia ja ensisijaisena aikomuksena on selvittää mahdollisuus-

det käyttää ONKALOn louhinnasta kertynyttä kivimateriaalia. Betoni hankitaan hyväksytyltä toimittajalta, ja sen laatuvaatimukset ja laadunvarmistus kuvataan maanalaisen loppusijoituslaitoksen sulkemisen laatusuunnitelmassa seuraavalla ohjelmakaudella.

5.2.5.3 Valmistaminen ja varastointi

Tilojen sulkemisen tuotantovauhtia ei ole vielä määritetty tarkasti, ja valmistus ja varastointikapasiteettia ei ole mitoitettu. Käytännössä keskustunnelien sulkemisessa voidaan hyödyntää samaa valmistustapaa ja varastointia kuin loppusijoitustunnelien täytön valmistamisessa ja varastoinnissa. ONKALOn laajuuteen liittyvien tilojen osalta on täytön valmistus ja varastointi suunniteltava sulkemisen konseptuaalisen suunnittelun yhteydessä huomioiden aikataulut ja materiaalivirrat.

Savimateriaalien välivarastointi kuljetuksen, valmistuksen ja asennuksen välillä toteutetaan täytön tuotantolinjaraportissa (Keto ym. 2013) kuvatun mukaisesti. Välivarastoinnin vaatimukset ja niiden täyttyminen päivitetään ja täsmennetään sulkemisen osalta maanalaisen loppusijoituslaitoksen sulkemisen laatusuunnitelmissa. Tutkimusreikien sulkemiseen käytettävät bentoniitista valmistetut sylinterilohkot voidaan joko tilata valmiina tai puristaa samassa laitoksessa, jossa täytön lohkot tullaan valmistamaan. Tämä täsmennetään ennen tutkimusreikien sulkemisen aloittamisen ajankohtaa.

5.2.5.4 Asennus

Alustavien suunnitelmien mukaan muiden tilojen täyttö asennetaan joko samoin kuin loppusijoitustunnelissa tai paikalleen asennettuna ja tiivistettynä. Betonirakennelmat tehdään normaaleja betonivalun työtapoja käyttäen, huomioiden niille asetetut vaatimukset ja vaatimusten täyttyminen. Asentamisen vaatimuksia ovat materiaalien paikallaan pysyminen ja alkutilan (initial state) saavuttaminen ilman toimintakykyä heikentäviä häiriöitä.

Maanalaisten tilojen rakenteet puretaan ennen sulkemista ja myös työturvallisuuden varmistamiseen liittyy kehitystyötä. Purettavia rakenteita ovat esimerkiksi betonirakenteet, ruiskubetonointi, lattia- ja salaojarakenteet. Purkamismenetelmät kehitetään kallio-tilojen suunnittelun kautta ja työturvalliset sulkemisen komponenttien asennusmenetelmät sulkemisen kehitystyön yhteydessä, esim. työskentely laitteilla, joissa on komusuoja. Asennuslaitteet suunnitellaan ja rakennetaan ennen sulkemisen aloittamista. Loppusijoitustunnelien laitteita ja niiden käyttökokemuksia hyödynnetään mahdollisuuksien mukaan ja osaamista haetaan myös kaivosympäristössä käytettävien laitteiden ja menettelyjen osalta. Alustava suunnitelma laitteiden kehitystyölle laaditaan ennen käyttölupahakemuksen jättämistä.

Tuotannon vaatimukset on kirjattu sulkemisen osalta sulkemisen tuotantolinjaraportin tuotannon selostukseen (Sievänen ym. 2012) ja monilta osin tuotannon vaiheet pohjautuvat suoraan täytön tuotannon kuvaukseen ja laadunvarmistukseen (Keto ym. 2013). Ne täsmentyvät sulkemisen konseptuaalisen suunnittelun aikana tai ne varmennetaan maanalaisen loppusijoituslaitoksen sulkemisen laatusuunnitelmissa. Maanalaisen loppusijoituslaitoksen sulkemisen laatusuunnitelmat laaditaan ennen käyttölupahakemuksen jättämistä ja niitä täydennetään ennen muiden tilojen sulkemista.

5.2.6 Täyden mittakaavan järjestelmätesti FISST

Täyden mittakaavan järjestelmätestin tarkoituksena on asentaa täyden mittakaavan loppusijoituskoe ONKALOn demonstraatiotiloihin (vrt. SKB:n Prototype repository Äspön kalliolaboratoriossa). Koe käsittää 2–4 loppusijoitusreikää ja n. 40 m loppusijoitustunnelia, joihin asennetaan referenssisuunnitelmien mukaiset bentoniittipuskurit, kapselit, tunnelitäyttö sekä päätytulppa.

Koe monitoroidaan soveltuvin osin pyrkien kuitenkin siihen, että koe voitaisiin toteuttaa samalla tavoin kuin loppusijoitus on suunniteltu toteutettavan. Monitoroinnin vaatima instrumentointi (mittauspaikat, mitattavat suureet) suunnitellaan aikaisempien kokemusten ja teoreettisen mallintamisen avulla. Tärkeätä suunnittelussa on huomioida mittalaitteiden rajallinen käyttöikä ja tunnistaa luotettavasti mitattavat ja havainnoitavat asiat. Käytettävät kuparikapselit varustetaan lämmittimillä, joiden teho vastaa loppusijoitettavan polttoaineen lämmöntuottoa.

Kokeen tarkoituksena on osoittaa, että referenssisuunnitelmien mukaiset komponentit pystytään asentamaan peräkkäisenä ketjuna vaatimusten mukaan ja että turvallisuusperustelun lähtötiedoksi määritelty järjestelmän alkutila pystytään saavuttamaan. Kokeen monitoroinnista saatavien tulosten perusteella arvioidaan pienemmässä mittakaavassa tehtyjen testien tulosten vastaavuutta. Kokeessa käytetään komponentteja, jotka tuotetaan niiden valmistus- ja tuotantoketjun kehityshankkeissa. Kokeen myötä kehitetään myös valmiuksia maanalaiseen yhteistoimintakokeeseen ja loppusijoituslaitoksen käyttötoimintaan. Kokeen suunnittelun aikana selvitetään, voidaanko kokeesta saada varmentavaa tietoa teknisten vapautumisesteiden käyttäytymisestä pitkällä aikavälillä monitoroimalla koetta loppusijoitustoiminnan aikana. Teknisten vapautumisesteiden käytönaikaisen monitoroinnin suunnittelu- ja kehitystyötä kuvataan monitorointia koskevassa kohdassa kohdassa 5.4.6.

Koe on alustavasti suunniteltu asennettavaksi vuosina 2017–2018. Kokeen rakentamisen edellytyksenä on referenssisuunnitelmien mukaisten komponenttien valmistettavuus sekä vaatimusten mukaan suoritettavat komponenttikohtaiset asennuskokeet. Kokeen kestolle tehdään suunnitteluvaiheessa arvio, mutta varsinainen päätös kokeen purkamisesta tehdään kuitenkin myöhemmin.

5.3 Kallioperä

Tässä kappaleessa kuvataan vuosille 2016–2021 suunniteltu loppusijoituskallion soveltuvuusluokitteluun ja kuvaukseen liittyvä tutkimus- ja kehitystyö sekä kalliorakentamisen kehitystyö.

5.3.1 Kalliolle asetetut vaatimukset – soveltuvuusluokittelun jatkokehitys

Loppusijoitustilojen tuottamisen yhteydessä tehtävän kallioluokittelun toteuttaminen on ohjeistettu. Ohjeistusta päivitetään vielä vuoden 2015 aikana ja myöhemminkin tarpeen mukaan. Ennen loppusijoitustilojen rakentamisen aloittamista laaditaan suunnitelma luokituksen luotettavuudesta ja tarvittavasta jatkokehityksestä vuonna 2016. RSC-menettely pohjautuu Posivan vaatimustenhallintaan, ja se päivitetään, jos RSC-menettelyyn liittyviä vaatimuksia päivitetään. RSC-menettelyn luotettavuuden arvioin-

nissa käytetään jo aiemmin tehtyä demonstraatiotyötä, jota täydennetään uusista kairauksista ja louhinnoista saatavien tietojen perusteella.

RSC-menettelyyn liittyvät hyväksymismenettelyt viimeistellään kattamaan rakentamisen kaikki vaiheet, mukaan lukien pilottireikätkätkimukset. Tutkimusten ja RSC:n tuotamien lähtötietojen dokumentointi, esittäminen ja hyväksynnät kuvataan viimeistään 2016. Tähän liittyen mm. tarkastuskäytäntöjen kehittämisen vuoksi käydään keskustelua myös STUKin kanssa.

Tulevilla ohjelmakausilla valmistaudutaan RSC-töiden osalta kallioluokituksen kattavuuden ja menettelyn toimivuuden arviointiin rakentamisesta saatujen kokemusten perusteella ja kokemusten huomiointiin käyttöluopahakemuksessa. Vuonna 2017 on suunniteltu tehtäväksi raportti, jossa RSC:n soveltamisesta saadut kokemukset kuvataan ja esitetään tehty kehitystyö ja mahdollisesti päivitetty RSC-menettely.

Yhteistoimintakokeen (ks. kappale 7.2) suunnittelussa ja rakentamisessa sovelletaan RSC-menettelyä. RSC:n avulla asemoidaan tunneli sekä valitaan sijoitusreikien paikat. RSC-menettelyn mukainen soveltuvuusarvio tehdään kaikissa luokittelun mittakaavoissa: keskus- ja loppusijoitustunneleille sekä sijoitusrei'ille.

Vuonna 2015 kairattavan KBS-3H-ratkaisuun liittyvän noin 300 m pitkän, yläkätisen pilottireiän jälkeen louhintojen edettyä ensimmäisen paneelin alueelle kairausohjelmaan tulevat keskustunneleiden pilottireiät (2x300 m) ja loppusijoitustunneleiden pilottireiät (300 m/tunneli), joita tehdään ensivaiheessa toteuttavan tunnelimäärän mukaisesti 3–6 kappaletta. Loppusijoitustunneleihin jokaisen loppusijoitusreiän kohdalle tehdään pystysuora pilottireikä (noin 25 kpl/tunneli, á 8 m).

5.3.2 Loppusijoituspaikan karakterisointi ja mallinnus

Olkiluodon paikankuvaustyön päätavoitteena alkavalla ohjelmakaudella on tuottaa turvallisuusperustelulle (TURVA-2020) ja muille loppukäyttäjille (mm. suunnittelu ja rakentaminen) päivitetty mallikuvaukset jokaiselta paikkatutkimuksen osa-alueelta. Integroitua paikankuvausta tullaan käyttämään myös turvallisuusselosteen (FSAR) laadinnassa. Loppusijoitustiloja rakennettaessa karakterisoinnin ja mallinnuksen tärkeimpänä tehtävänä on tuottaa ajantasainen pienen mittakaavan kuvaus loppusijoitustilojen lähi-kalliosta soveltuvuusluokittelun tarpeisiin.

5.3.2.1 Geologia ja geofysiikka

Loppusijoituspaikan karakterisointi on geologisen kuvauksen osalta yleisesti ottaen jo hyvällä tasolla ja tulevina vuosina keskitytäänkin pääasiassa arvioimaan uutta aineistoa, jota on saatu esimerkiksi kairareikien tutkimusaineistoa täydennettäessä. Lisäksi keskitytään paikkamallin ja pienen mittakaavan mallin yhteensovittamiseen ja yhtenäiseen tiedon- ja versionhallintaan esimerkiksi mallinnettujen deformaatiovyöhykkeiden ja litologisten yksiköiden osalta ja geologisten tulkintojen hyödynnettävyyteen esimerkiksi kallion soveltuvuusluokittelutyössä. Pienen mittakaavan mallinnuksen kautta tarkennetaan myös tietoa pienten rakenteiden esiintymistiheydestä Olkiluodon kallioperässä. Geologiset tutkimukset ja geologinen paikankuvaus tuottaa taustatietoa muille tutkijamaloille. Lisäksi esimerkiksi geo-hydrointegroitu rakoverkkomallinnus edellyttää

mm. geologisen rakotietokannan ja rakennetulkintojen kehittämistä ja ylläpitämistä, kartoitusmenetelmien kehittämistä ja aineiston raportointia. Nykyiseen geologian malliin (versio 3) tehdään tarvittaessa päivitys paikankuvausraporttia 2018 varten.

Vuosina 2013 ja 2014 tehtiin ONKALON demonstraatioalueella seisminen 3D-tunnelitutkimus ja latauspotentiaalimittaukset pienen mittakaavan mallin tarpeisiin (ks. kappale 4.8.1). Mittauksissa saatiin lisää aineistoa rakenteista ja niiden jatkuvuudesta. Uusi aineisto tullaan huomioimaan tulevissa pienen mittakaavan mallin päivityksissä.

Paikankuvaus- ja soveltuvuustyöhön liittyen (esim. Posiva 2012j, McEwen ym. 2012) on arvioitu Olkiluodon malmi- ja muuta luonnonvarapotentiaalia. Nämä arviot päivitetään viimeistään laitoksen käyttöluvahakemuksen yhteydessä ja raportoidaan *Complementary Considerations* -raportissa.

Seismisiä tarkasteluja jatketaan käynnissä olevien tutkimusten yhteydessä: esim. hauraiden rakenteiden parametrisointiin tähtäävä POST-projekti, jonka loppuraportointi on suunniteltu tehtäväksi vuonna 2017, sekä hauraiden rakenteiden kehityksen ja sisäisen rakenteen kuvaamiseen tähtäävä projekti, jonka tulokset julkaistaan vuonna 2016. Lisäksi maanjäristystyötä jatketaan postglasiaalisiirroksiin liittyvän tutkimusprojektin avulla, johon liittyen pyritään luomaan mm. postglasiaalisiirrostietokanta Suomen tunnetuista postglasiaalisiirroksista ja kerätään tietoa postglasiaalisiirrosten rakenteista. Maanjäristyssimulaatioita tullaan ohjelmakauden aikana jatkamaan täydennetyillä ja tarkennetuilla tiedoilla paikan ominaisuuksien suhteen ja tuloksia tarkastellaan mm. päivitettyjen jääkausiskenaarioiden osalta. Todennäköisyyspohjaisten seismisten tarkastelujen käyttökelpoisuutta tullaan myös selvittämään, ja nämä selvitykset otetaan huomioon myös kallion soveltuvuusluokittelun jatkokehityksessä. Tuloksia hyödynnetään myös turvallisuusperustelussa arvioitaessa kapselien vaurioitumista maanjäristysten seurauksena.

Yhtenä geologisen kuvauksen kehityskohteista on deformaatiohistorian ja Olkiluodon kallioperän mekaanisten ominaisuuksien suhteen selvittäminen. Lisäksi hauraiden ja hydrologisten rakenteiden keskinäisten suhteiden kuvausta tullaan tarkentamaan mahdollisuuksien mukaan.

Hauraiden ja duktiilien rakenteiden tutkimusta ja mallinnusta jatketaan ohjelmakaudella ja kuvaa näiden geometrisista suhteista sekä kehityksestä tarkennetaan entisestään, pää tavoitteena tuottaa lisätietoa RSC-menettelylle sekä kalliomekaniikan mallinnuksille.

Uusissa ONKALOOon kairattavissa rei'issä tullaan tekemään vastaavat geofysiikan mittaukset kuin aiemmissa pilottirei'issä. ONKALOSSA on tarkoitus jatkaa latauspotentiaalimittauksia viimeistään sitten, kun ensimmäisen paneelin keskustunneli on louhittu ja loppusijoitustunnelien pilottireiät on kairattu. Tutkimuksen tuloksia on tarkoitus käyttää kallion soveltuvuusluokituksen apuna. Samalla alueella tehdään mahdollisesti myös tunneliseismisiä tutkimuksia.

Keskus- ja loppusijoitustunnelien alueella tullaan suorittamaan matalataajuusmaatutkuksia loppusijoituspaneelialueen kallion ominaisuuksien karakterisoimiseksi. Maatutkukset tehdään mahdollisesti myös loppusijoitusrei'issä.

5.3.2.2 Kalliomekaniikka

Paikankuvaustyö kalliomekaniikan osalta jatkuu alueellisen jännitystilatulkinnan tuottamisella ja kiven lujuutta tutkineen POSE-kokeen loppuraportoinnilla. Nämä raportoidaan Posiva-raportteina alkavan YJH-kauden alkupuolella. Kalliomekaanista mallia päivitetään siten, että tarvittavat tiedot ovat käytössä paikankuvausraportointia varten vuonna 2017.

ONKALossa suoritetuista jännitystilamittauksista (LVDT-menetelmä), muista tunneli- ja koehavainnoista sekä niiden pohjalta tehdystä geologia-jännitysinteraktiomallista julkaistaan vuoden 2015 lopussa Posiva-raportti, jossa tiivistetään viimeisin tulostieto Olkiluodon jännityskentästä yhdeksi jännitystilatulkinnaiksi. Kalliomassan kimmoisten ominaisuuksien ymmärtäminen laajassa mittakaavassa on tärkeä tekijä jännitystilatulkinnaissa. Mallinnuksessa on pyritty tutkimaan kivimassassa olevien luonnonrakojen määrän ja koon suhdetta ympäröivän kivimassan kimmoiseen käyttäytymiseen DFN-rakoverkkomalliin perustuen.

POSE-kokeessa havaittiin, ettei ONKALOn migmatiittinen gneissi vaurioidu hilseilemällä, vaan vaurioitumista on havaittu kivilajirajoilla ja kiven liuskeisuuspintoja pitkin (ks. kohta 4.8.2). Havainto on vahvistettu tunnelihavainnoin. POSE-kokeessa havaittua rakenteen dominoimaa vauriomekanismia pyritään tutkimaan valvotuissa laboratorioolosuhteissa kolmiaksaalikokeilla. Kolmiaksaalikokeiden tarkoituksena on jäljitellä POSE-kokeen 1. ja 2. vaiheissa arvioituja jännitystiloja koeloppusijoitusreiän seinästä laboratoriossa.

POSE-kokeen ja laboratoriotulosten perusteella ONKALOn kiven ominaisuuksista ja käyttäytymisestä julkaistaan uutta tietoa. Yksittäisten tutkimusten lisäksi ONKALOn monitorointiohjelmassa seurataan jatkuvasti kallion pitkäaikaiskäyttäytymistä mm. konvergenssi- ja ekstensometrimittauksin.

ONKALOA lävistävien rakenteiden mekaanisten ominaisuuksien parametrisointia tutkitaan POST-yhteistyöprojektissa laboratorio- ja in situ -kokein, sekä Posivan omassa kartoitusdatan ja rakenteiden parametrisoinnin kehitykseen liittyvässä projektissa. POST-projektin loppuraportointi valmistuu vuonna 2017.

Kiven termiset ominaisuudet asettavat rajoituksia loppusijoitusreikien välisille etäisyyksille ja puskurin toimintakyvylle, ja termisistä ominaisuuksista tarvitaan laboratoriotulosten lisäksi in situ -tietoa. Tätä varten on suunniteltu in situ -lämmönjohtavuuskoe. Kokeen paikaksi on kaavailtu ONKALOn tutkimustilaa 4, jota on aiemmin hyödynnetty HYDCO-tutkimuksen koepaikkana. Kokeella pyritään mittaamaan suuremman tilavuuden lämpöominaisuudet kuin laboratorio- ja TERO-mittauksin on mahdollista. Lisäksi kokeen tavoitteina on tutkia lämpöteknisten ominaisuuksien anisotropiaa in situ -mittakaavassa.

Lämpötilan nousun vaikutusta kiven mekaanisiin ominaisuuksiin tullaan selvittämään laboratorioskokein. Tulevissa maanjäristysmallinnuksissa huomioidaan loppusijoituspaikan termien kehitys.

Kalliomekaniikan töissä keskitytään selvittämään edelleen rakentamisen vaikutuksiin liittyviä kysymyksiä. Louhintavauriovyöhykkeen (EDZ) muodostuminen on rakentamisesta aiheutuvista mekaanisista ominaisuuksista merkittävin, ja sen kokonaiskuva tulee ymmärtää hyvin. Kalliomekaniikka tukee EDZ-tutkimuksia ja pyrkii tutkimaan tekijöitä, joilla louhintavauriovyöhykkeen vaikutusta ja laajuutta pystytään hallitsemaan.

Posiva jatkaa jännitystilamittauksia louhintojen edetessä uusilla alueilla ja pyrkii tunne-likartoituksessa havaittujen rakojen mekaaniseen parametrisointiin. Siten rakojen ja rakenteiden leikkauslujuutta voidaan tarkentaa vastaamaan ONKALossa havaittuja olosuhteita.

Tunneleiden lujituksessa käytettävien betonirakenteiden ja kalliomassan alttiutta loppusijoitusajan aiheuttamalle termiselle pulssille tutkitaan ICSE-kokeella. Myöskään lujituksen vastapaineen vaikutusta kalliomassan vauriomekanismiin ja laajuuteen ei tunneta. Kokeessa pyritään varmentamaan lujituksen ja kalliomassan muodostaman liittorakenteen toiminta ja kestävyys termisen pulssin aikana.

Kallion lujuusominaisuuksia pitkällä aikavälillä tutkitaan yksiaksiaalisin virumiskokein, joiden tuloksilla pyritään varmentamaan in situ -havaintoja kallion aikariippuvasta vaurioitumisesta.

5.3.2.3 Hydrogeologia ja kulkeutuminen

Olkiluodon paikankuvaukseen kuuluva hydrogeologinen malli on keskeinen lähtötieto sekä turvallisuusperusteluun sisältyville toimintakykyarviolle ja radionuklidien kulkeutumismallinnukselle että kallion soveltuvuusluokitukselle. Näiden lisäksi se on keskeinen lähtökohta arvioitaessa kalliorakentamisen pohjavesivaikutusten nykyistä tilaa ja tulevaa kehitystä. Hydrogeologinen malli käsittää kallion rakenteen kuvauksen eri mittakaavoissa. Yksityiskohtaisen mittakaavaan rakoilukuvauksesta (Discrete Fracture Network, DFN) veden virtauksen katsotaan liittyvän kalliorakojen keskinäisten yhteyksien tuottamien (virtaus)kanaviin. Virtauksen jakautumista määrää paitsi rakojen keskinäinen kytkeytyminen myös yksittäisten rakojen virtausominaisuudet. Niiden kytkeytyminen riippuu kalliorakojen tiheydestä, asennoista ja koista. Näistä keskeisistä (geometrisista) ominaispiirteistä saadaan tietoa kairarei'istä, tutkimuskaivannosta, kalliopaljastumilta ja varsinkin viimeisen kymmenen vuoden aikana ONKALOn louhituilta pinoilta. Rakojen virtausominaisuuksia karakterisoi niiden transmissiviteetti, johon liittyvää tietoa saadaan ennen muuta Posivan virtausmittarilla (Posiva Flow Log, PFL) ja hydraulisella testilaitteella (Hydraulic Test Unit, HTU).

Yksityiskohtaista suuremmissa mittakaavoissa veden virtaus keskittyy myös suuremman mittakaavan vyöhykkeisiin, joista merkittävimmät ONKALOn ajoramppia leikkaavat rakenteet ovat HZ19A ja -C sekä HZ20A ja -B. Näistä hydrogeologista vyöhykkeistä on saatu erittäin seikkaperäistä tietoa erityisesti sen vuoksi, että niiden välittämät ONKALOn pohjavesivaikutukset voidaan havaita useissa kairarei'issä, jotka kaummillaan sijaitsevat liki kilometrin päässä ONKALosta.

Hydrogeologian keskeisimmät selvitettävät kysymykset liittyvät rakojen koon ja esiintymistiheyden, transmissiviteetin, PFL-mittausmenetelmän ja lähtötietojen luotettavuuden

sekä eri rakennemallien vyöhykkeiden jatkuvuuden tarkempaan perusteluun. Geologisia ja hydrogeologisia malleja yhtenäistetään, sillä ne ovat olennaisessa roolissa toimintakykyarvion ja kulkeutumismallinnuksen lähtötietoja. Lähtötietojen yhtenäistäminen sekä luotettavuuden parantaminen lisäävät turvallisuusperustelujen luotettavuutta.

Integroidun paikankuvauksen yhteydessä pyritään esittämään selkeä yhteenveto kalliopohjaveden virtausmallista, sen yhteensopivuudesta geologisiin malleihin ja malleissa käytetyistä lähtötiedoista. Loppusijoituspaikan kallioperän hydraulisten ominaisuuksien ja louhinnan aiheuttamien hydrogeologisten häiriöiden karakterisointitekniikoihin sisältyy vielä epävarmuuksia, minkä vuoksi käytettävien mittaustekniikoiden luotettavuutta varmennetaan edelleen. Rakoverkkomallinnustavan luotettavuutta pyritään varmentamaan loppusijoitustilojen rakentamisen aikana vertaamalla loppusijoitustilojen hydrogeologisia mallinnustuloksia toteutetuista tunneleista saataviin tietoihin.

Päivitetty hydrogeologinen deterministinen rakennemalli ja pintahydrologian malli laaditaan ja rakoverkkomallinnus ja siinä käytetyt menetelmät kuvataan ja arvioidaan vuosien 2015 ja 2016 aikana. Integroidun paikankuvauksen tuottamiseksi hydrogeologinen rakennemalli ja hauras deformaatiomalli pyritään yhtenäistämään siten, että hydrogeologiset vyöhykkeet ja siirrosvyöhykkeet vastaisivat paremmin toisiaan.

Paikan geologiset, rakenteelliset, hydrogeologiset, kalliomekaaniset sekä aineen kulkeutumisominaisuudet yhdistävä integroitu rakoverkkomalli on yhtenä perustana muille malleille, turvallisuusperustelulle, loppusijoituslaitoksen asemoinnille ja kallion soveltuvuusluokittelulle. Koko Olkiluotoa kattavaa rakoverkkomallia alettiin menneellä ohjelmakaudella työstää ONKALOn saadun uuden aineiston käyttöönoton, epävarmuuksien hallinnan sekä integroimismenetelmän kehittämisen myötä. Jatkossa uutta menetelmää sovelletaan ensin ONKALOn demonstraatiotilojen ja teknisen alueen osalta yksityiskohtaisessa nk. DADFN-mallissa, joka julkaistaan Posivan työraporttina. Koko loppusijoituspaikkaa kuvaava DFN-malli esitetään Posiva-raporttina alkavan ohjelmakauden alkupuolella. Mallinnuksessa käytettävä metodologia kuvataan erillisessä raportissa.

Maanalaisen rakentamisen aiheuttamia hydrogeologisia ja hydrogeokemiallisia häiriöitä seurataan monitorointiohjelman puitteissa. Vuotovesien hallintaan ja vuotovesien vaikutusten seurantaan liittyvää kokonaisarviointia tehdään myös Posivan vuotovesien arviointiohjelman (WARVI) puitteissa pitkäaikaisturvallisuuskriittisten toimintojen näkökulmasta.

Maanalaisen rakentamisen aiheuttamien hydraulisten häiriöiden monitorointia tukevana toimintana tehdään WARVI-ohjelman ja HydroMTF:n puitteissa mallinnusta ja ennusteita, joiden avulla pystytään arvioimaan tulevia häiriöitä ja seuraamaan lyhyt- ja pitkäaikaisten ennusteiden toteutumista. Mallinnuksessa käytetään työkaluina sekä Olkiluodon pintahydrologian virtausmallia (SHYD) että syvän kalliopohjaveden virtausmallia (EPM / FEFTRA).

Vuosien 2015–2018 aikana tutkitaan mahdollisuudet lisätä pintahydrologian malliin geokemiallinen osamalli, jolla pystyttäisiin arvioimaan ONKALOn vuotojen ja Korvensuon altaan vaikutus kalliopohjavesien kemialliseen käyttäytymiseen rakenteissa.

Vuoden 2016 loppuun mennessä päivitetään numeerisen virtausmallinnuksen avulla kuvaus Olkiluodon olosuhteiden kehityksestä menneisyudessa. Tähän asti alkutila on kiinnitetty tilanteeseen, joka vallitsi noin 8 000 vuotta sitten, jolloin Litorinameren suolapitoisuus oli suurimmillaan. Tulevassa mallipäivityksessä arvioidaan tähän ajanhetkeen liittyvää pohjavesitilannetta uudelleen mm. tarkastelemalla jäätikön sulamisvaiheen merkitystä pohjavesiolosuhteiden kannalta.

Monitorointiohjelman puitteissa kerätään dataa sekä pinnan- ja painekorkeuksista että erilaisin vedenjohtavuus- ja virtausmittauksin. Monitoroinnin osa-alueella keskitytään maanalaisen rakentamisen aiheuttamien muutosten havaitsemiseen. Loppusijoituspaikan kuvaukseen liittyen tehdään tutkimuksia uusissa rei'issä, joita ovat merireikä ja KBS-3H-loppusijoitusratkaisun kehittämiseen liittyvä syvälle kallioon vuonna 2015 kairattu vaaka-asentoinen nk. "pitkä pilottireikä". Lisäksi täydennetään vedenjohtavuusaineistoa mm. HTU-mittauksin. Samoin pumppaus- ja/tai vuorovaikutuskokeita suunnitellaan tarpeen mukaan. Tavoitteena on tarkentaa kokonaiskuvaa sekä laajemmista että paikallisista hydrogeologista rakenteista ja rakenteiden välisen kallion ominaisuuksista erityisesti ensimmäisen paneelin lähialueelta.

ONKALOSSA tehdään hydrogeologisia mittauksia ja tutkimuksia kaikissa kairattavissa pilotti- ja karakterisointirei'issä sekä mahdollisissa uusissa pohjavesiasemissa ensimmäisen paneelin lähialueella.

Alkavalla ohjelmakaudella tarkastellaan tarkemmin vedenjohtavuusominaisuuksien siirtämistä mittakaavasta toiseen. Tällä tarkoitetaan menetelmää, jonka avulla virtausmalli koostetaan hydrogeologisen rakennemallin sekä hydrologisen rakoverkkomallin pohjalta skaalaamalla em. mallien ominaisuuksia suurempaan mittakaavaan. Näin pyritään selvittämään, ennustaako virtausmalli loppusijoituspaikan mittakaavassa liian suuria vedenjohtavuuksia. Vuonna 2015 tehtävä semihomogeenisen virtausmallin päivitys tulee sisältämään hydrogeologisten geometrian ja ominaisuuksien tarkistuksen sekä laskennassa tarvittavien lähtötiedostojen konstruoinnin. Heterogeenisen virtausmallin kehitystyössä kalibroitiparametrina käytetään transmissiviteettijakauman varianssia ja korrelaatiopituutta. Virtausmallien kehitystyö raportoidaan työraporttina alkavan ohjelmakauden alussa.

Tulevalla ohjelmakaudella kallion in situ -pidätysominaisuuksien tutkimukset ONKALOSSA (REPRO) viedään päätökseen. Koeohjelman viimeistä vaihetta, läpidiffuusiokoea (Through Diffusion Experiment, TDE) on valmisteltu vuoden 2015 aikana. Kokeen tavoitteena on tuottaa tietoa Olkiluodon kalliolle tyypillisen suuntautuneisuuden (foliaation) vaikutuksesta radionuklidien kulkeutumiseen. Tieto tästä saadaan tulkitsemalla havaintoja merkkiaineiden kulkeutumisesta sekä likimäärin foliaation suuntaisesti että kohtisuoraan foliaatiotasoa vastaan. Koejärjestelyiden suunnittelemiseksi tehtyjen laskelmien mukaan merkkiaineisiin liittyvien läpitulokäyrien seurannan odotetaan tuottavan riittävästi aikasarja-aineistoa tuloksen koostamiseksi kolmen vuoden sisällä TDE-koevaiheen käynnistämisestä.

5.3.2.4 Hydrogeokemia

Hydrogeokemian merkittävimmät selvitettävät asiat alkavalla ohjelmakaudella liittyvät kysymyksiin kallion huokosvesien ja rakovesien kemiallisista eroista ja suolaisuuskehityksestä: virtaussimuloinnit johtavat huomattavaan pohjaveden laimenemiseen suhteessa hydrogeokemialliseen käsitykseen. Tarkoituksena on myös tarkentaa hydrogeokemian kehityksen kuvausta liittyen etenkin rikin hydrogeokemialliseen kiertoon ja sen käsittelyyn geokemiallisen evoluution mallinuksissa. Sekä suolaisuuden laimeneminen että liuenneen sulfidin muodostuminen ovat teknisten vapautumisesteiden toimintakyvyn kannalta merkittäviä prosesseja, joten niiden luotettava mallinnus on myös keskeistä toimintakymäanalyysissä.

Merkittävin suolaisuuspuskuri maan pinnalta suotautuvaa laimeaa vettä vastaan on hydrogeokemiallisen aineiston perusteella kallion huokostilassa sijaitseva aiempi suolainen vesi. Kallion rakojen huokoisuus on tilavuudeltaan varsin rajallista verrattuna kivimatriksiin kytkeytyneeseen mikrohuokosverkostoon, joten suolaisuuden pitäisi levitä matriksidiffuusion vaikutuksesta raoissa hitaasti virtaavaan veteen. Kallion diffusiviteettia koskevissa tutkimuksissa (mm. matriksihuokosvesi- ja REPRO-tutkimukset) on kuitenkin havaittu ns. anionieksluusiomiö, jonka seurauksena huokostilan negatiivinen pintavarauus pienentää anioneille sallittua huokostilavuutta ja edelleen huokostilavuuden sisältämää suolaisuuskapasiteettia. Tutkimukset ovat kuitenkin keskittyneet tähän mennessä pääasiassa lähes tiiviin, loppusijoitustilan kaltaisen kallion diffusio-ominaisuuksien kartoittamiseen. Aineisto on puutteellinen hydrogeologien vyöhykkeiden (HZ) osalta, joita pitkin suotautuminen maanpinnalta pääasiallisesti tapahtuu. Vyöhykkeiden kivi on muuttunutta, huokoisuus on kiinteään kiveen verrattuna merkittävästi suurempaa ja anioniekskluusion merkitys luultavasti pienempi, mihin viittaa mm. huokosvesitulokset ONK-PH9:stä, joka leikkaa HZ20B-vyöhykkeen (Eichinger ym. 2013, Smellie ym. 2014). Vyöhykkeet muodostavat useita, jopa kymmeniä metrejä paksuja kokonaisuuksia, joten niiden mikrohuokoisuuteen liittyvä suolaisuuspuskurikapasiteetti voi olla huomattava verrattuna huonosti vettäjohtavaan kallioon, josta määritettyjä tuloksia on tähän asti käytetty virtausmallin parametrisoinnissa.

Syvältä kalliosta voi myös nousta suolaista pohjavettä ylöspäin kallion rakosysteemiä pitkin, mikä rajoittaa pohjaveden laimentumista. On kuitenkin epäselvää, tapahtuuko tämä kumpuaminen virtauksen vaikutuksesta vai onko se diffusiivista. Syvältä tapahtuva voimakassuolaisen pohjaveden virtaus edellyttäisi topografiasta johtuvaa suuralueellista hydraulista gradienttia mantereen ja rannikon välillä. Suolaisuuden diffusiviteettiin ja suolaisuuden kohoamiseen liittyvät kysymykset ovat merkittäviä epävarmuustekijöitä Olkiluodon paleohydrogeokemiallista kehitystä kuvaavassa mallissa (Smellie ym. 2014). Olkiluodon pohjaveden virtausmallin kannalta erityisen oleellinen on suolaisuuden postglasiaalinen kehitys nykypäivään, mitä jaksoa käytetään virtausmallin kalibrointiin. Tätä mallia käytetään niin paikkahydrogeologian kuvaamiseen kuin loppusijoitustilojen geokemiallisten olosuhteiden tulevaisuuskehityksen mallintamiseen toimintakymäanalyysissä.

Suolaisuuskysymystä on suunniteltu tutkittavan merireikäprojektissa. Projektista on laadittu esiselvitys, jonka perusteella projektin suunnittelu on käynnistetty. Reikä on

tarkoitus kairata mahdollisimman ulos merelle, jotta saaren topografian muodostama paikallinen virtauskenttä ei ole häirinnyt reiän ympäristön pohjavesiolosuhteita. Näin suuralueellinen hydraulinen painekenttä olisi mitattavissa ilman, että Olkiluodon saaren paikallinen painekenttä sitä häiritsisi. Matriksihuokosvedestä pystytään reiästä kairattavista näytteistä tekemään aiempaa tarkempaa analyysiä kallion hyvin johtavasta yläosasta, jossa maan pinnalta Olkiluodon saaren muotoutumisen jälkeen suotautuva meteorinen vesi ei ole ollut vuorovaikutuksessa huokosveden kanssa. Vettäjohtavien rakojen ympäriltä muutamien metrien etäisyydeltä tutkittavat näytteet edustavat Litorina-kauden alun jälkeen (n. 8 000 vuotta sitten) tapahtunutta suolaisuuskehitystä, joka on keskeinen Olkiluodon virtausmallin kalibroinnin kannalta. Merireikänäytteistä saadaan myös tarkempaa tietoa diffuusio-ominaisuuksista ja anioniekskluusion vaikutusetäisyydestä vettäjohtavien rakojen ympäriltä, millaista aineistoa tarvitaan hydrogeologisen mallin parametrisointiin.

Täydentävää aineistoa hydrogeologisten vyöhykkeiden (HZ) diffusiviteetti- ja anioniekskluusio-ominaisuuksista hankitaan läpιδiffuusio- ja huokoskarakterisointiko-keiden avulla kivinäytteistä, jotka kerätään aiemmin kairattujen reikien näytteistä. Loppusijoitusvyöhykkeiden liuenneiden aineiden matriksidiffuusio-ominaisuuksiin liittyvää informaatiota kerätään rakoprofiilinäytteenoton avulla ONKALOon tehtävästä reiästä, joka lävistää vettäjohtavan rakenteen. Tavoitteena on karakterisoida mikrohuokoisuusjakaumien ja niihin liittyvien diffusiviteettiominaisuuksien vaikutusta aineiden kulkeutumiseen vettäjohtavien rakojen ympärillä, mitä informaatiota tarvitaan erityisesti radionuklidien kulkeutumismallinnuksissa. Lisäksi REPRO-kokeista saatuja tuloksia hyödynnetään loppusijoituskallion diffuusio-ominaisuuksien kuvaamisessa.

Hydrogeokemiallisista vuorovaikutuksista merkittävin tutkimuskohde on rikin kemiallinen kierto pohjavesisysteemissä ja erityisesti sulfaatin pelkistyminen sulfidiksi ja saostuminen vedestä. Monitorointitulosten perusteella turvallisuuden kannalta merkittävien sulfidipitoisuuksien viipymä pohjavedessä olisi loppusijoituksen mittakaavassa verrattain lyhyt, mutta sulfaatin mikrobiologiseen pelkistykseen sulfidiksi, käytettyihin elektronin luovuttajiin (energiälähde) ja sulfidin saostumiseen liittyy merkittäviä tiedollisia puutteita, jotka rajoittivat rikin kierron perusteellisen mallinnuksen TURVA-2012-toimintakäytännön analyysissä.

Mikrobien käyttämä primääri energialähde sulfaatin pelkistyksessä voi käytännössä olla pohjaveteen liuennut vety, metaani ja muut hiilivedyt tai orgaaninen hiili (DOC). Tähänastiset H₂-tulokset ovat epävarmoja johtuen vedyn taipumuksesta vapautua herkästi vedestä näytteen pumppauksen yhteydessä, hiili-isotooppitulokset ja SURE-kokeet eivät tue hiilivetyjen merkittävää hapettumista ja DOC on yleensä vähäinen pohjavedessä. Tämän vuoksi katsotaan tarpeelliseksi selvittää tarkemmin suolaisen pohjaveden ja kallion matriksihuokoisuuden H₂-pitoisuutta. Lisäksi mikrobien metaboliareittien ja niiden tuottamien proteiinien tutkimisella selvitetään myös käytettyä energialähdettä ja tarkennetaan mikrobien välittämää kokonaisprosessia.

Sulfidi on hyvin niukkaliukoinen siirtymäryhmien metallien kanssa. Keskeinen saostaja on rauta, joka on yleinen Olkiluodon kallioperän ja rakojen päämineraaleissa mm. biotiitissa, kordieritissa, granaatissa ja kloriitissa, mutta silikaatteina ne ovat varsin inerttejä ja raudan saatavuus niistä on epäselvää. Sen sijaan rautaoksihydroksideista, jotka

olisivat reaktiivisia, on havaintoja vain aivan maanpinnan läheltä. Rautasulfidisakkaa on kuitenkin havaittu sulfidipitoisten pohjavesinäytteiden ottojen yhteydessä. Lisäksi raudan pelkistäjäbakteerit (IRB), jotka voivat vapauttaa niukkaliukoista ferrirautaa (Fe^{3+}) kahdenarvoisena pohjaveteen, ovat yleisiä pohjaveden mikrobidatan perusteella. Nämä tekijät viittaavat mahdollisuuteen, että rautaa vapautuisi silikaateista ja mikrobeilla olisi rooli tässä prosessissa.

Sekä vety- että rautakysymystä tutkitaan vuoden 2014 lopussa käynnistyneessä Posivan ja SKB:n yhteisprojektissa "Integrated Sulphide Project". ONKALOon kairataan vuonna 2015 loppusijoitusvyydelle reikä, jossa tyypikierron avulla monitoroidaan mahdollisimman kuivassa suljetussa reikäjaksossa kalliomatriksesta vapautuvien kaasujen koostumusta. Rautakysymyksen selvittämiseksi käynnistetään laboratoriooesarja, jossa tutkitaan Olkiluodon spesifisillä rautaa pelkistävillä bakteereilla (IRB) ja silikaattifaaseilla raudan vapautumista liuokseen. Mikäli alustavat kokeet osoittavat prosessin toimivan, koesarjaa jatketaan ONKALOssa samantapaisella koejärjestelyllä, kuin aiemmin tutkittiin sulfaatin pelkistymistä (SURE, Pedersen ym. 2013). Sulfidiprojektissa hyödynnetään myös monitorointiaineistoa näytteenottoaikoista, joissa on havaittu kohonneita sulfidipitoisuuksia. Monitorointi käsittää kemian analyysien ohella isotooppi- ja kaasuanalyysijä, jotka voivat kytkeytyä sulfidituotantoon. Samoihin kohtiin on suunnattu myös mikrobien metaboliareitti- ja proteiinitutkimukset. Mikrobiologisen tutkimuksen kehitystä liittyen loppusijoitusproblematiikkaan seurataan myös EU:n MIND-projektissa (www.mind15.eu).

Merireiän stabiilit hydrogeologiset olosuhteet mahdollistavat sulfiditutkimukset ympäristössä. Tällaiset olosuhteet vastaavat toimintakykyanalyysin mukaisia pääasiallisia pitkäaikaishydrogeokemiallisia olosuhteita, joissa pohjavesityyppien sekoittuminen on hidasta ja luultavimmin diffuusion välittämää. Lisäksi reikää hyödynnetään myös kaasunäytteenotossa, koska kairareian sisäiset paine-erot meren alla eivät ole omiaan häiritsemään kaasutasapainoa ja vapauttamaan liuennettua vetyä.

Merkittävä kehityskohde on reaktiivisen kulkeutumismallinnuksen (geokemia ja virtaus lasketaan kytketyksi) soveltaminen hydrogeokemian kehityksen simulointiin. Pyrkimyksenä on paikkamittakaavan reaktiivinen kulkeutumismallinnus TURVA-2020-turvallisuusperustelun toimintakykyanalyysin tarpeisiin. Mallinnuskonsepti on tarkoitus kalibroida suotautumiskokeen (INEX) ja paikkamallin hydrogekemiallisen mallin avulla. Vuosina 2014–2015 toteutettu INEX-2-koe raportoidaan vuoden 2016 aikana. Kokeen tuloksista laaditaan hydrogekemiallinen malli, joka käsittää happea kuluttavat ja pohjaveden neutraloitumiseen liittyvät puskurireaktiot sekä lasketaan reaktiivisen kulkeutumismallinnuksen avulla kallion puskurikyky happipitoista ja hapanta suotaumista vastaan. Mallinnuslähestymistapaa sovelletaan myös erityisesti rikin kierron simulointiin geosfäärissä, missä testauskohteina käytetään monitorointiaineistoa.

Tutkimuskauden päätavoite on hydrogekemiallisen paikkamallin päivitys. Tehtävä on aloitettu ns. aineistoraportin valmistelulla. Aineistoraportissa arvioidaan ja luokitellaan pohjavesinäytteiden ja niiden analyysitulosten luotettavuus ja edustavuus samaan tapaan kuin Pitkänen ym. (2007) esittää sekä tehdään ensivaiheen tulkinnat aineistosta hydrogekemiallisen mallin tarpeisiin. Pohjavesikemialliset aineistot tuotetaan pääosin monitorointiohjelmassa ja erillisissä koejärjestelyissä, vrt. yllä. Raportti käsittää aineistot

vuoden 2014 loppuun saakka. Hydrogeokemiallinen malli kokoaa nämä tulkinnot ja alamallit, jotka koskevat geomikrobiologiaa, paleohydrogeokemiaa ja suolaisuutta, yhteneväksi konseptiksi hydrogeokemiallisista prosesseista ja kehityksestä Olkiluodossa.

5.3.3 Kalliorakentamisen kehitys

YJH-2012-ohjelmassa kalliotilojen rakentamista kuvattiin lyhyesti tuotantolinjaksi (Posiva 2012a) ja tarkemmin työtä kuvattiin tuotantolinjaraportissa (Posiva 2013b). Posivan tekemä ja tulevaisuudessa tehtäväksi suunniteltu kalliorakentaminen perustuu tällä hetkellä tunnelitilojen osalta poraus-räjätysmenetelmän soveltamiseen sekä injektointin, lujittamisen ja jatkokäytön valmisteluun siten, että turvallinen ja kustannustehokas toiminta on mahdollista. Menetelmää on käytetty laajalti ONKALOSSA, jolloin on pystytty osoittamaan valittujen menetelmien sovellettavuus asetettuihin vaatimuksiin nähden. Kaikilta osin vaatimuksia ei ole pystytty täyttämään ja siksi tarvitaan jatkokehitystä tai vaihtoehtoisten menetelmien testaamista ONKALON olosuhteissa.

5.3.3.1 Tunnustelu ja injektointi

Posiva on osoittanut ja perustellut vaiheittain injektointitöiden kehittymistä sekä tunneleiden että kuilujen osalta. Valitut menettelyt, materiaalit ja suunnitelmat on katsottu olevan riittävät loppusijoituslaitoksen rakentamisen aloittamiseksi. Menetelmissä on havaittu olevan kehitettävää mm. tunnustelureikien suoruuden ja porauksen dokumentoinnin osalla (Hollmén ym. 2013). Injektointinissa käytettävien materiaalien osalta tulee varautua mahdollisiin muutoksiin materiaalin saatavuudessa, esimerkiksi ennakkokoesarjan toteuttamisena, jotta uudet vaihtoehtoiset materiaalit ovat käytettävissä riittävän varhaisessa vaiheessa. Näiltä osin Posiva selvittää mahdollisten lisäselvitysten tarpeellisuuden.

5.3.3.2 Tunneleiden louhinta

Posivan tunnelilouhinta perustuu perinteiseen poraus-räjätysmenetelmään, joka on tyypillisimmin käytetty louhintamenetelmä skandinaavisessa kivessä. Menetelmää on kehitetty koko ONKALON louhinnan ajan ja Posivalla on hyvä käsitys menetelmän ominaisuuksista. Louhintojen yhteydessä on havaittu haasteita (mm. louhintatoleranssi) louhinnalle asetettujen tavoitteiden saavuttamisessa. Tästä johtuen Posivassa selvitetään mm. mekaanisen louhinnan käyttämistä tuotannollisessa toiminnassa. Tämä edellyttää yhden tai useamman erillisen projektin käynnistämistä, jotta vertailukelpoista aineistoa saadaan kerättyä. Projektin käynnistämiseksi on selvitetty eri vaihtoehtoja, joissa on huomioitu sekä poraus-räjätysmenetelmä että mekaaninen louhinta ja niiden variaatiot. Mekaanisen louhinnan toteuttaminen esimerkiksi loppusijoitustunnelissa edesauttaisi louhinnan toteuttamista vaatimusten mukaisesti ja helpottaisi siten muiden loppusijoitusjärjestelmän komponenttien toteutusta. Loppusijoituksessa käytettävät koneet edellyttävät riittävän tasaista pohjaa, jota pelkällä poraus-räjätysmenetelmällä ei kyetä saavuttamaan.

Louhintamenetelmän mahdollinen muuttaminen edellyttää louhinnan häiriövyöhykkeen ominaisuuksien- ja tutkimusmenetelmien uudelleenarviointia sekä tutkimusten uusimista louhintamenetelmätestauksen yhteydessä. Testien tulosten perusteella voidaan arvioi-

da ja verrata louhintamenetelmien pitkäaikaisturvallisuusvaikutuksia, huomioiden mm. louhintahäiriövyöhyke (EDZ) ja vierasainejäämät.

5.3.3.3 Loppusijoitusreikien poraus ja viimeistely

Posiva on tuottanut yhteensä 10 koeloppusijoitusreikää demonstraatiotunneleihin 1 ja 2 kehittämällään porauslaitteella (Sanna). Demonstraatiotunneliin 2 tuotetut kuusi uutta reikää (2014–2015) raportoidaan työraporttina ja tulosten perusteella päätetään jatkotehtävistä. YJH-2012-ohjelmassa esitettiin, että tuotantokoneen suunnittelu- ja toteutustyö aloitetaan vuoteen 2015 mennessä. Ennen tätä uusien reikien poraukset sekä tutkimustulokset saatetaan valmiiksi päätöksenteon tueksi. Jatkosta voidaan päättää aikaisintaan kesällä 2016.

Loppusijoitusreikien porauslaite on suunniteltu siten, että sillä pystytään poraamaan täysikokoinen loppusijoitusreikä, mutta sillä ei voida toteuttaa reiän ylä- ja alapään viimeistelyä vaatimusten mukaiseksi (Posiva 2013b). Loppusijoitusreikien yläosassa on kapselin asentamista varten asennusvaraus (asennussyvennys), joka tulee toteuttaa ennen tai jälkeen reiän porauksen (Juvankoski 2013, Juvankoski ym. 2012). Asennusvaraus tarvitaan OL1-3-reaktoriyksiköiden polttoaineen loppusijoituskapseleiden asennusvaiheessa. Asennusvarauksen toteuttaminen edellyttää vaatimusten ja toteutusmenetelmien selvittämistä ennen toteutusvaihetta. Suunnittelu aloitetaan syksyllä 2015. Varauksen toteuttaminen tullaan osoittamaan demonstraatiotunnelissa 2, jossa koeloppusijoitusreikien poraus on aloitettu suoraan kalliopinnalta.

Loppusijoitusreiän pohjan tasaisuudelle on asetettu vaatimus, että pohjan kallistuma tulee olla alle 1:1750 mm (Juvankoski 2013, Juvankoski ym. 2012). Reikien porauksen jäljiltä pohjassa on 5–10 cm korkoero, joka johtuu porauksessa käytettävän teräpään muodosta ja poraustekniikasta. Reikien poraamiseen suunnitellulla koneella ja käytössä olevalla teräpäällä ei voida saavuttaa kaltevuusvaatimusta. Posiva on teettänyt toteutus suunnitelma pohjan tasauslaitteesta vuonna 2012. Suunnitelma tulee käydä läpi ja varmistaa laitteen tekninen toteutettavuus sekä menetelmän soveltuvuus loppusijoitusreiän pohjan tasaamiseen. Koneen valmistaminen, koekäyttö ja käyttöön hyväksyntä tai vaihtoehtoisen menetelmän löytäminen tulee olla valmista FISST-testin toteuttamiseen mennessä.

5.4 Monitorointiohjelma

Loppusijoituspaikan ja -laitoksen pitkäaikaisen kehityksen seuranta varten on käynnissä Olkiluodon monitorointiohjelma (OMO). Monitorointiohjelman tulokset raportoidaan vuosittain Posivan työraporttisarjassa. Monitoroinnin osa-alueista (kalliomekaniikka, hydrologia ja hydrogeologia, hydrogeokemia, pintaympäristö ja vieraat aineet) tehdään omat raportit, joissa esitetään vuoden aikana tehdyt tutkimukset, ja vertaillaan saatuja tuloksia aiempien vuosien tuloksiin. Vuosiraportoinnin osana suoritetaan myös ohjelman tarkistus, huomioiden uudet monitorointitarpeet ja kerätyt opit käynnissä olevista monitorointiaktiiviteeteista. Poikkeuksena raportoinnin osalta on teknisten vapautumisesteiden monitoroinnin osa-alue, josta ei vielä kehitysvaiheessa ollessaan julkaista vuosiraportteja.

Monitoroinnille on ohjelmassa asetettu kuusi päätavoitetta:

- 1 Osoittaa loppusijoituslaitospaikan kallioperän ominaisuuksien säilyminen pitkäaikaturvallisuuden kannalta edullisina.
- 2 Hankkia tietoa, jota voidaan käyttää erilaisten loppusijoituspaikkaa kuvaavien mallien kehittämiseen sekä testaamiseen ja siten lisätä tietämystä paikan ominaisuuksista ja kehityksestä.
- 3 Tarkkailla hankkeen ympäristövaikutuksia.
- 4 Toimittaa palautetta ja lähtötietoja laitoksen rakentajille ja suunnittelijoille rakentamisen vaikutuksesta kallioperään ja pintaympäristöön.
- 5 Tarkkailla teknisten vapautumisesteiden toimintaa niiden odotetun ja ennustetun käyttäytymisen varmistamiseksi.
- 6 Täyttää ydinlaitoksia koskeva velvoite ympäristön säteilyn ja radioaktiivisten aineiden päästöjen valvonnasta.

Monitorointitoiminta neljän ensimmäisen tavoitteen täyttämiseksi on ollut käynnissä jo vuodesta 2004. Vaatimus teknisten vapautumisesteiden monitoroinnista tulee ajankohitaiseksi vasta loppusijoituslaitoksen käytön alkaessa, mutta teknisten vapautumisesteiden monitoroinnissa mahdollisesti käytettävää tekniikkaa kehitetään ja testataan jo ennen loppusijoituslaitoksen käyttövaihetta. Ympäristön säteilyn ja radioaktiivisten aineiden päästöjen valvonnan osalta on valmiina suunnitelma perustilan kartoittamiseksi. Perustilan kartoitus ja käytön aikaisen säteilyn ja päästöjen valvontaohjelman laadinta suoritetaan käyttöluvahakemukseen mennessä.

Monitorointiohjelma tullaan päivittämään kokonaisuudessaan käyttöluvahakemukseen mennessä.

5.4.1 Kalliomekaniikka

Kalliomekaniikan osa-alueella seurataan louhituissa tiloissa tapahtuvia kallion muodonmuutoksia, jotka johtuvat ympäröivässä kalliomassassa vallitsevasta in situ -jännityskentästä. Kalliomekaniikan seuranta kattaa myös kallion lämpötilan ja sen muutokset, maankohoamisen, kallioperän tektoniset liikkeet ja seismiset ilmiöt. Tarkoituksena on hankkia tietoa Olkiluodon kallioperän vakaudesta ja havaita esimerkiksi mahdollinen kallion rakojen uudelleen aktivoituminen.

Kalliiossa luonnostaan tapahtuvien sekä ihmisen toiminnasta, kuten ONKALON rakentamisesta, johtuvien seismisten tapahtumien havaitsemiseksi Olkiluotoon ja sen lähialueille on perustettu mikroseisminen mittausverkosto. Siihen kuului vuonna 2015 17 asemaa: 12 maanpinnalla (3 Olkiluodon ulkopuolella), yksi kairareiässä (150 m syvyydessä) ja neljä ONKALOSSA (syvyytasoilla -280 m, -293 m, -370 m, -420 m). Vuosina 2016–2018 verkostoa laajennetaan edelleen maanalaisten tilojen rakentamisen myötä, jolloin mahdollisuus havaita louhinnan aiheuttamia mikromaanjärjestyksiä paranee entisestään.

Tutkimustilan 3 lähellä, demonstraatiotunnelin 4 alueella sekä teknisten tilojen alueella ONKALOSSA on käynnissä ekstensometrimittauksia, jotka tulevat jatkumaan myös kaudella 2016–2018, kuten myös tutkimustilassa 3 tehdyt konvergenssimittaukset. ONKALO-tunneliin syvyytasoille -260 m ja -320 m asennettiin vuonna 2015 jatkuva-toimisia ekstensometrejä mittaamaan kallion rikkonaisten rakenteiden mahdollisia liikkeitä – mittaukset tulevat jatkumaan myös kaudella 2016–2018. Louhinnan jälkeisestä

jännitystilän uudelleen jakautumisesta johtuvia kallion muodonmuutoksia monitoroidaan myös jatkossa pääasiassa ekstensometrimittauksilla sekä konvergenssimittauksilla ja mittauksia laajennetaan nykyisestä louhinnan edetessä. Louhinnan jälkeisestä jännitystilän uudelleen jakautumisesta johtuvia kallion muodonmuutoksia monitoroidaan puolestaan ekstensometrimittauksilla, konvergenssimittauksilla sekä kuormituspulteilla. Louhinnan vaikutusta kallioperään monitoroidaan lisäksi säännöllisellä visuaalisella tarkastelulla kaikkialla ONKALOSSA.

Olkiluodon kallioperän suurlohkoliikkeitä ja edellisen jääkauden jälkeistä maankohoamista tutkitaan tarkkailemalla kiinteiden GPS-pilarien keskinäistä sijaintia. Pilariverkosto perustettiin vuonna 1994 ja siihen kuuluu tällä hetkellä 18 asemaa, joista 12 sijaitsee Olkiluodon saarella ja 6 sen lähialueilla. Pilarien sijainnin määrittämiseen käytetään kahta eri menetelmää, GPS-satelliittipaikannusta vaakasuuntaisen ja tarkkavaaitusta pystysuuntaisen liikkeen mittaamiseen. Kuudentoista pilarin GPS-mittaus on automatisoitu ja mittaukset näissä tehdään jatkuvatoimisena. Muiden asemien sijainti määritetään edelleen kaksi kertaa vuodessa erillisellä mittauksella, mutta myös nämä asemat tullaan muuttamaan jatkuvatoimiseksi vuoteen 2018 mennessä. Hankalista mittausolosuhteista johtuen Pyrekarin GPS-aseman siirtoa uuteen paikkaan harkitaan vuosien 2016–2018 aikana. GPS-pilarien tarkkavaaituksia tehdään monitorointiohjelman mukaisesti joka toinen vuosi. Tämän lisäksi kallioperän pystysuuntaista liikettä seurataan vuosittain ONKALON ja Olkiluodon VLJ-luolan alueille perustettujen paikallisten mittauspisteverkkojen ja Olkiluodonsalmen ylittävän linjan vaaituksilla. Koko Olkiluodon saaren korkeusmittaukset sidotaan valtakunnalliseen mittauspisteverkostoon Lapijoen ja Olkiluodon välisen linjan tarkkavaaituksilla neljän vuoden välein, seuraavan kerran vuonna 2019.

Kalliomekaniikan monitorointi jatkuu vuosina 2019–2021 nykyisen ohjelma mukaisesti (Posiva 2012d), kuitenkin niin, että monitorointiverkkoa tullaan laajentamaan loppusijoitustilojen rakentamisen edetessä. Mittausasemien automaatiota ja jatkuvatoimisuutta pyritään lisäämään entisestään.

5.4.2 Hydrologia ja hydrogeologia

Hydrologisella monitoroinnilla hankitaan tietoa pohjaveden pinnankorkeuden ja kallio-pohjaveden paineen muutoksista, pohjaveden virtauksesta, maa- ja kallioperän hydraulisista ominaisuuksista, pohjaveden muodosta ONKALON, pohjaveden suolaisuudesta, Korvensuon altaan vaikutuksesta pohjaveteen ja mahdollisesta pintahydrologian häiriintymisestä loppusijoituslaitoksen rakentamisen vuoksi. Lisäksi monitoroidaan pintaympäristön kannalta tärkeitä hydrologisia tekijöitä, kuten pintavesien virtaamia ja suotautumista pohjavedeksi, merenpinnan korkeutta, sadantaa, lumipeitettä ja routaa.

Pohjaveden monitorointimittaukset tehdään suurelta osin eri syvyisissä kairarei'issä ja pohjaveden havaintoputkissa, joita on Olkiluodossa yhteensä lähes sata. Maaperään upotetuista pohjaveden havaintoputkista ja matalista kairarei'istä (syvyys kymmenien metrien luokkaa) mitataan pohjaveden pinnankorkeus yleensä manuaalisesti kerran kuukaudessa. Muutamissa havaintopisteissä mittaus tehdään automaattisesti joka tunti. Syvän kallio-pohjaveden painetta monitoroidaan satojen metrien syvyisissä rei'issä, jotka on jaettu monitluppalaitteistoilla erikseen tarkkailtaviin väleihin. Kallio-pohjaveden paine kussakin mittausvälissä, joita voi yhdessä reiässä olla enintään kahdeksan, mitataan automaattisesti tunnin välein. Monitoroitaviin tulppaväleihin valitaan sekä hyvin

vettä johtavia, tiedossa olevia vyöhykkeitä että tiiviimmän kallion osuuksia, jotta saadaan enemmän tietoa loppusijoitusolosuhteita vastaavan kallion hydrologiasta ja pystytään saamaan havaintoja myös uusista yhteyksistä louhittaviin tunnelitiloihin.

Pohjaveden virtausta kallioperässä tutkitaan kairareikään laskettavalla Posiva Flow Log -virtauseromittarilla (PFL DIFF) ja poikkivirtausmittarilla (PFL TRANS). Virtausmittauksia tehdään vuosittain keskimäärin noin neljässä avoimessa reiässä oletetulla louhinnan vaikutusalueella sekä silloin, kun jokin tulpattu reikä väliaikaisesti avataan. Virtausmittauksia voidaan tehdä paitsi maanpinnalta, myös ONKALON kairatuissa rei'issä. Joka toinen vuosi tehtävillä HTU-mittauksilla tutkitaan syvästä kairareistä mahdollisia muutoksia kallion vedenjohtavuudessa. Kallioperän pintaosien ja maaperän hydraulisista ominaisuuksista ja niiden muutoksista hankitaan tietoa matalissa rei'issä ja pohjavesiputkissa suoritettavilla SLUG-mittauksilla.

ONKALON vuotavan pohjaveden määrää mitataan mm. ajotunneliin rakennettujen mittapatojen avulla ja tarkkailemalla yksittäisiä vuotavia rakoja ja rakenteita. ONKALON kokonaisvesitaseen määrittämiseksi myös tuuletusilman lämpötilaa ja kosteutta sekä tunnelissa käytetyn prosessiveden määrää seurataan. Tuuletusilman monitorointi on tähän asti perustunut yksittäisiin mittauksiin kerran tai kaksi kuukaudessa, mutta kun pysyvä, pystykuilujen kautta tapahtuva ilmanvaihto otetaan käyttöön, seuranta muuttuu jatkuvaksi ja automaattiseksi ilmanvaihtorakennuksessa tapahtuvaksi seurannaksi. Seurattavat parametrit tulevat olemaan sisään tunneliin ja sieltä ulos pumpattavan ilman määrä, sekä kosteus ja lämpötila sekä tulo- että poistoilman osalta.

Kalliopohjaveden suolaisuutta seurataan PFL-laitteilla tehtävien virtausmittausten yhteydessä mittaamalla pohjaveden sähkönjohtavuutta (EC). Täten ne ovat osa hydrogeologian monitorointiohjelmaan kuuluvia PFL-mittauksia, mutta EC-tulosten seuranta kuuluu vuodesta 2014 alkaen hydrogeokemian osa-alueen ohjelmaan, missä EC-tulokset täydentävät vesinäytteiden laboratorioanalyysistä saatavia tuloksia. Monitorointiohjelmassa (Posiva 2012d) kuvattu prosessi *Evolution of salinity distribution* on siten poistettu hydrologian ja hydrogeologian monitorointiohjelmasta ja sen käsittely on siirretty hydrogeokemian osa-alueen puolelle. PFL-mittausten yhteydessä tullaan edelleen keskittymään siihen, että syvemmältä (loppusijoitusvyvydeltä ja sen alapuolelta) ja heikosti vettä johtavista raoista tehtävät EC-mittaukset ovat painopisteenä.

Paikallisena erityiskysymyksenä monitoroidaan myös keskellä Olkiluotoa, muutaman sadan metrin päässä ONKALON ajotunnelin suulta sijaitsevan, Korvensuon tekoaltaan vaikutusta kalliopohjaveteen. Vedenpinnan korkeus altaassa ja pohjaveden pinta allasta rajaavan padon suotoputkissa mitataan kuukausittain. Suotoputkissa tehdään lisäksi joka toinen vuosi vedenjohtavuusmittaukset.

Maanalaisen rakentamisen aiheuttamien hydraulisten häiriöiden monitorointia tukevana toimintana tehdään Posivan Vuotovesien arviointiohjelman (WARVI) sekä Hydrologisen mallinnustyöryhmän (HydroMTF) puitteissa mallinnusta sekä ennusteita, joiden avulla pystytään arvioimaan tulevia häiriöitä sekä seuraamaan lyhyt- ja pitkäaikaisten vuotovesiennusteiden toteutumista. Mallinnuksessa käytetään työkaluina sekä Olkiluodon pintahydrologian virtausmallia (SHYD) että syvän kalliopohjaveden virtausmallia (EPM / FEFTRA).

5.4.3 Hydrogeokemia

Hydrogeokemiallisella monitoroinnilla pyritään havaitsemaan syvien ja matalien pohjavesien kemiallisten ominaisuuksien muutoksia. Tärkein tutkimusmenetelmä on eri kohteista säännöllisesti otettujen vesinäytteiden laboratorioanalyysit. Näytteitä otetaan matalista ja syvistä kairareitistä erilaisilla pumpuilla ja näytteenottolaitteilla riippuen siitä, onko reikä avoimena vai onko vettäjohtavat rakenteet ja raot eristetty toisistaan monitulppalaitteistolla. Vesinäytteiden laboratorioanalyysien lisäksi joitakin parametreja (happamuus, sähkönjohtavuus, happipitoisuus, hapetus-pelkistyspotentiaali ja lämpötila) voidaan mitata myös jatkuvatoimisella läpivirtauskennolla. ONKALOn saadaan näytteitä mm. pohjavesiasemista, karakterisointireitistä, vuotavista raoista, keräimistä ja mittapadoilta.

Syvän kalliopohjaveden näytteenotto-ohjelma suunnitellaan vuosittain aiempien havaintojen ja odotettavissa olevien muutosten perusteella. Tärkeimpiä monitoroinnin näytteenottojen suunnittelua ohjaavia aiheita ovat 1) syvien pohjavesien laimentuminen ONKALOn aiheuttaman imun (hydraulinen paine-ero) vaikutuksesta, 2) mahdollinen suolaisen veden nouseminen ylöspäin kalliossa sekä 3) kohteet, joissa on havaittu sulfidin muodostusprosessin käynnistyminen.

Lähellä maan pintaa olevan ns. matalan pohjaveden näytteitä otetaan vuosittain kahtena kampanjana keväällä ja syksyllä, jotta vuodenaikavaihtelu voidaan erottaa muista muutoksista. Lisäksi kesällä otetaan tarvittaessa lisänäytteitä. Näytteenottoaikat valitaan vuosittain aiempien tulosten ja muiden havaintojen perusteella. Korvensuon altaasta peräisin olevan veden sekoittumista luonnolliseen pohjaveteen tutkitaan määrittämällä raskaiden vety- ja happi-isotooppien ^2H - ja ^{18}O -osuuksia vesinäytteissä, mikä perustuu näiden tavallista suurempiin suhteisiin Korvensuon altaan vedessä verrattuna luonnolliseen pohjaveteen. Vesinäytteenottojen avulla tuotetaan tietoa myös vieraiden aineiden ja pintaympäristön osa-alueiden monitorointiin.

Koko kalliomassan sähkönjohtavuutta, jonka muutokset voivat aiheutua pohjaveden koostumuksen vaihtelusta, on tähän asti tutkittu myös maanpinnalta vuosittain tehtävällä geofysikaalisella Gefinex SAMPO -luotauksella. Lisääntyvä rakentaminen maanpinnalla saattaa kuitenkin tehdä tämän sähkömagneettisen menetelmän käytön mahdottomaksi, joten sitä ei ole sisällytetty päivitettyyn monitorointiohjelmaan.

5.4.4 Pintaympäristö

Seuraavan ohjelmakauden vuosina 2016–2018 Posiva toteuttaa ympäristön monitorointia Olkiluodossa voimassa olevan monitorointiohjelman mukaisesti (Posiva 2012d). Vuosien 2019–2021 ohjelma tullaan suunnittelemaan tarkemmin käyttöluovavaiheessa julkaistavaan monitorointiohjelmaan. Oletettavasti tuona aikana toiminta jatkuu pääpiirteittäin samankaltaisena, työn painottuessa aiempaa enemmän ympäristövaikutusten seurantaan. Tulevan työn suunnittelussa huomioidaan monitorointiohjelmaa koskeva viranomaispalaute.

Pintaympäristön monitoroinnilla seurataan loppusijoitustoiminnan suorita ympäristövaikutuksia ja niihin liittyviä muuttujia Olkiluodon alueella. Lisäksi pintaympäristön monitorointidataa hyödynnetään hankittaessa tietoa loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuus-

teen vaikuttavista tekijöistä sekä mallinnuksen että rakennustöihin liittyvien pitkäaikais-turvallisuuskriittisten aineiden esiintymisen seurannan kannalta.

Monitoroitaviin rakennustöiden ja erityisesti louhintatöiden ympäristövaikutuksiin kuuluvat melu, pöly, liikenteen kasvu, päästöt prosessivedestä ja louheesta, maaperän ja vesien saastuminen sekä Posivan toiminnan vaikutus kasvillisuuteen, eläimistöön ja esim. kaivovesien laatuun ja määrään Olkiluodossa. Ympäristön tilaa ja Posivan toiminnan mahdollisia vaikutuksia 100 metriä ONKALO-työmaan ja tulevan loppusijoituslaitoksen maanpäällisten osien eteläpuolella sijaitsevalla vanhojen metsien suojelu-alueella sekä Natura 2000 -alueella seurataan osana pintaympäristön monitorointiin kuuluvaa metsien tilan seurantaohjelmaa.

Lisäksi, kuten tähänkin asti, seurataan maankäytön muutoksia Olkiluodossa, koska esimerkiksi rakennusten ja teiden rakentaminen, kasvillisuuden raivaaminen ja maa-alueiden päällystäminen vaikuttavat hydrologiseen tasapainoon ja sitä kautta myös hydrologian ja hydrogeokemian tutkimustulosten tulkintaan. Myös suurimpien ojien veden määrän ja laadun seuranta sekä ilmastoon ja säätilaan liittyvien tietojen kerääminen ja tilastointi kuuluvat ohjelmaan. Osa sää tiedoista saadaan TVO:n sääasemalta, mutta lisäksi Posiva tutkii itse mikrometeorologisia parametreja pintaympäristön tutkimusaloilla, lumipeitteen paksuutta ja vesimäärää, roudan syvyyttä sekä sade- ja pohjavesien isotooppikoostumusta.

Loppusijoituslaitoksen käytön alkaessa siitä tulee ydinlaitos, jota koskee velvollisuus tarkkailla radioaktiivisten aineiden ja säteilyn päästöjä ympäristöön ja selvittää häiriö- tai onnettomuustilanteiden varalta ennalta niiden todennäköiset leviämistavat ja -reitit. Vaikka radioaktiivisuuden tarkkailuvelvoite ei alkavalla ohjelmakaudella vielä varsinaisesti tulekaan voimaan, aloitetaan siihen liittyvät työt ohjelmakaudella määrittämällä ympäristön radiologinen perustila vuosien 2016–2020 aikana. STUK on hyväksynyt Posivan vuonna 2014 laatiman suunnitelman ympäristön radioaktiivisuuden perustilaselvityksen toteuttamisesta. Radioaktiivisuuden seuranta loppusijoituslaitoksen ympäristössä perustilaselvityksen sekä käyttötoiminnan aikana tullaan toteuttamaan osana ympäristön monitorointiohjelmaa, kun taas vastaavasti itse loppusijoituslaitoksen toimintaa ja sen sisältämien radioaktiivisten aineiden pitoisuuksia valvotaan osana itse laitosten käyttöön liittyvää valvontaa. Ympäristön monitoroinnin osuus painottuu tiettyjen merkittävien epästabiilien isotooppien määrien ja kulkeutumisen tutkimukseen Olkiluodon pintaympäristössä. Lisäksi näytteistä analysoidaan näytteiden gamma-aktiiviset nuklidit.

Mittaukset tehdään osittain muun pintaympäristön monitoroinnin yhteydessä otetuista näytteistä. Tutkimus jakautuu vesistöissä, maaympäristössä, ilmakehässä ja ravintoverkoissa esiintyviin radioaktiivisiin aineisiin, ja siinä hyödynnetään Posivan toiminnan vaatiman seurannan lisäksi myös Olkiluodon ydinvoimalaitoksen valmiiksi toiminnassa olevaa ympäristön radioaktiivisuuden seuranta. Pintaympäristön radiologisen perustilan määrittäminen aloitetaan vuonna 2016 ja tehdään vaiheittain niin, että kaikki tarvittavat kohteet on tutkittu ja perustila selvitetty ennen kuin käyttö lupaa haetaan. Osa mittauksista jatkuu perustilan määrittämisen jälkeen säännöllisenä monitorointina mahdollisten muutosten havaitsemiseksi. Käyttölupahakemuksen laatimiseen mennessä määritetään myös perustilaselvityksen pohjalta loppusijoituslaitoksen käyttövaiheen ympäristön radioaktiivisuuden seurantaohjelma.

Loppusijoituksen turvallisuusperustelussa käytettävään mallinnukseen tarvitaan paljon paikallista lähtötietoa lukuisten biosfäärin ilmiöiden kvantitatiivista kuvaamista varten. Biosfäärin ominaisuuksille luonteenomaisen voimakkaan ajallisen ja paikallisen vaihtelun vuoksi lähtötietojen hankkiminen edellyttää pitkien aikasarjojen mittaamista useasta kohteesta. Siksi osa Olkiluodossa mallinnusta varten tehtävästä tutkimuksesta on sisällytetty mukaan monitorointiohjelmaan. Monitorointiohjelman puitteissa tehtävät biosfääriyöt on kuvattu vuonna 2012 julkaistussa ohjelmassa (Posiva 2012d, kohta 7.2.2). Biosfäärimallinnus ja monitorointiohjelman ulkopuoliset ympäristötutkimukset on käsitelty tämän ohjelman kohdissa 4.9.3. ja 5.5.3.

Pitkäaikaisturvallisuuteen liittyvistä pintaympäristön monitoroinnin kohteista maankohoamista käsitellään ympäristön lisäksi myös kalliomekaniikan osa-alueella ja pintaveden suotautumista pohjavedeksi hydrologian ja hydrogeokemian osa-alueilla.

Eräänä pintaympäristön tutkimuskohteena seurataan myös pintaympäristön ja kalliopohjaveden välistä vuorovaikutusta, jolla on merkitystä pohjaveden kemiallisten ominaisuuksien kehittymiselle ja siten loppusijoituslaitoksen odotettavissa olevalle pitkäaikaiselle kehityskululle. Maaperään suotautuvaa vettä tutkitaan keräämällä vesinäytteitä lysimetreillä, jotka on sijoitettu erityyppisille ympäristön seuranta-aloille.

5.4.5 Vieraat aineet

Loppusijoitusjärjestelmään kuulumattomat aineet voivat olla haitallisia pitkäaikaisturvallisuuden tai ympäristön kannalta päätyessään joko maanalaisiin loppusijoitustiloihin tai pintaympäristöön. Näiden haittojen arvioimista ja minimoimista varten monitorointiohjelmassa on vieraiden aineiden osa-alue, jonka vastuulla on valvoa, säännellä ja raportoida kaikkea vieraiden aineiden käyttöä loppusijoituslaitoksen rakentamisessa.

Rakentamisessa ja muussa toiminnassa käytettävistä vieraista materiaaleista ylläpidetään materiaalikäsikirjaa, joka sisältää kaikki ONKALOSSA käytettäviksi hyväksytyt aineet. Vieraiden aineiden luvittamista kehitetään niin, että materiaalien käytössä otetaan huomioon myös ympäristö sekä työ- ja paloturvallisuus. Vieraiden aineiden vaikutuksen havaitsemiseksi monitoroidaan sekä luonnon pohjaveden, että ONKALOSSA käytetyn prosessiveden koostumusta. Pohjaveden monitorointi on osa hydrogeokemian ohjelmaa. Prosessivedestä, joka on käytön jälkeen pumpattu maanpinnalle, otetaan säännöllisesti näytteitä sekä saostusaltaasta, että mereen johtavasta poisto-ohjasta. Sementtien ja injektointiaineiden vaikutus havaitaan tyypillisesti kohonneena emäksisyytenä ja liuenneena kiintoaineena, ja louhinnassa käytettyjen räjähdysaineiden vaikutukset typen oksidien pitoisuuksien kasvuna.

5.4.6 Tekniset vapautumisesteet

Teknisten vapautumisesteiden käytönaikaisen monitorointiohjelman suunnittelua ja kehittämistä tullaan jatkamaan loppusijoituslaitoksen käyttölupahakemusvaiheeseen asti.

Monitorointimenetelmiä voidaan kehittää ja testata ONKALOOon suunniteltujen teknisten vapautumisesteiden testeissä. Tavoitteena on kehittää menetelmät, joilla voidaan seurata teknisten vapautumisesteiden kehitystä loppusijoitustilojen olosuhteissa vuosien tai jopa vuosikymmenten ajan. Näin saadaan kokeellista tietoa, joka hyödyttää loppusi-

joituksen pitkäaikaisturvallisuuden arviointia analyttisten mallien ja numeeristen simulaatioiden avulla.

Käyttötoiminnanaikainen monitorointi tulee toteuttaa mahdollisimman hyvin todellisia loppusijoitusolosuhteita vastaavissa kohteissa. Monitorointijärjestelmän aiheuttamat häiriöt monitoroitavan kohteen käyttäytymiseen tulee minimoida. Samoin tarvitsee suunnitelmissa huomioida, ettei monitorointijärjestelmä saa haitata testin muiden tavoitteiden toteutumista. Esimerkiksi monitorointiin tarvittavat kaapeloinnit saattavat estää monitoroitavan testikonaisuuden toteuttamista asennustestien yhteydessä.

Monitoroinnin suurimpia teknisiä haasteita ovat antureiden kestävyys ja vakaus mitattaessa pieniä muutoksia hyvin pitkien mittausjaksojen aikana sekä tiedonsiirron ja virransyötön vaatimien johdotusten ja läpivientien toteuttaminen niin, etteivät ne häiritse tarkkailtavan järjestelmän kehitystä. Teknisiä mahdollisuuksia langattomaan tiedonsiirtoon selvitetään, samoin kuin sellaisten menetelmien soveltuvuutta, joissa ei tarvittaisi monitoroitavaan kohteeseen upotettavia antureita. Tällä hetkellä lähtökohtana ovat kuitenkin perinteiset johtimia vaativat tekniikat.

Yleisesti monitoroinnin periaatteena on, ettei monitorointi saa heikentää vapautumisesteiden toimintakykyä. Tämä rajoittaa jo suuresti mahdollisuuksia monitoroinnin toteuttamiseksi; etenkin oikeissa loppusijoitustiloissa.

Teknisten vapautumisesteiden monitoroinnin keston on ajateltu olevan maksimissaan noin 100 vuoden luokkaa (käytön aloituksesta sulkemiseen). Tämä aika on tekniseltä näkökannalta katsoen erittäin haasteellinen, sillä 100 vuotta on teknisille mittalaitteille erittäin pitkä aika. Toisaalta 100 vuotta on varsin lyhyt aika tuhansiksi vuosiksi toimimaan suunnitellun loppusijoituskonseptin kannalta. Tämä monitorointiajan rajallisuus on huomioitava asetettaessa odotuksia teknisten vapautumisesteiden monitoroinnille.

Yhtenä tärkeänä lähtökohtana teknisten vapautumisesteiden monitoroinnin kehittämiseksi on ollut Posivan monitorointiohjelman kuvaavassa raportissa (Posiva 2012d, Table 9-1) esitetyt EBS:n monitoroitavat prosessit ja parametrit. Näiden prosessien ja parametrien osalta on kartoitettu potentiaalisimmat monitorointimenetelmät ja -tekniikat. Monitorointimenetelmät tulee tarvittaessa testata loppusijoitustilojen haastavissa olosuhteissa ennen lopullista valintaa osaksi loppusijoitustilojen käytön aikaista monitorointiohjelmaa. Näiden testatarpeiden osalta tullaan laatimaan testaussuunnitelma.

Käytön aikaisesta teknisten vapautumisesteiden ohjelmasta tullaan laatimaan ensimmäinen versio vuoden 2016 alussa. Ensimmäiseen versioon tulee jäämään vielä epävarmuuksia esimerkiksi toteutettavuuden osalta. Näitä epävarmuuksia vähennetään monitorointimenetelmien testausten myötä. Käytön aikaisen monitoroinnin kuvausta päivitetään jatkuvasti testausten edetessä, ja lopullinen kuvaus monitoroinnista julkaistaan käyttöluvahakemuksen jättämisen yhteydessä. Ohjelman suunnittelussa tullaan käyttämään myös Euroopan komission Horizon 2020 -ohjelmassa olevan Modern 2020 -projektin tuloksia.

5.5 TURVA-2020-turvallisuusperustelu ja sitä tukeva tutkimus

Tulevan kolmivuotisjakson alkuun mennessä viimeistellään turvallisuusperustelun TURVA-2020 rakenteen ja sisällön suunnitelma (Safety Case Plan 2015). Turvallisuusperustelu TURVA-2020 laaditaan käyttöluvahakemusta varten. Turvallisuusperustelu esitetään raporttisalkkuna, jonka raportit julkaistaan viimeistään käyttöluvahakemuksen jättämisen yhteydessä. Useimmat raportit laaditaan valmiiksi jo aiemmin, jotta muiden raporttien laadinnassa tarvittavat lähtötiedot ovat ajoissa käytettävissä. Suunnitelmassa otetaan huomioon STUK:n päätöksessään 1/H42252/2015 esittämät vaatimukset, Posivan suunnittelu-, testaus- ja demonstraatiotyöt, rakentamisen kehitystyö, sekä teknisten vapautumisesteiden pitkäaikaiskäyttäytymisestä saatava uusi tieto että paikan ominaisuuksista ja soveltuvuudesta saatavat yksityiskohtaisemmat tiedot.

5.5.1 TURVA-2020-raporttien salkku

TURVA-2020-raporttien salkku (kuva 5-7) koostuu seuraavista pääraporteista:

- *Design Basis*: Vapautumisteiden turvallisuustoimintojen (safety functions) ja pitkäaikaisturvallisuuden kannalta olennaisten toimintakykytavoitteiden (performance targets) päivittäminen ja niiden perustelu. Tähän liittyen tarkennetaan suunnitteluvaatimusten ja toimintakykytavoitteiden väliset yhteydet.
- *Description of the Disposal System*: Loppusijoitusjärjestelmän, johon kuuluu pintaympäristö, kallioperä, kapselointilaitoksen matala- ja keskiaktiivisen jätteen (LILW) loppusijoitustilan, käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilan ja sulkemisen, alkutilan kuvaus. Raportti sisältää myös turvallisuusperustelussa huomioitavien mahdollisten laatuerojen (mm. valmistus- ja asennusvirheet) kuvauksen.
- *Features, Events and Processes (FEP)*: Ilmiöiden, tapahtumien ja prosessien kuvaus ja sellaisten FEP:ien tunnistaminen, joiden katsotaan vaikuttavan pitkäaikais-turvallisuuteen.
- *Performance Assessment and Formulation of Scenarios (PAFOS)*: Turvallisuuden arvioinnissa käytettävän metodologian kuvaus ottaen huomioon STUKin päätöksessään 1/H42252/2015 esittämät vaatimukset. Tässä keskeisenä osatehtävänä on loppusijoitusjärjestelmän kehityskulkujen eli skenaarioiden muodostamisen metodologia. Keskeisinä kehityskohteina ovat useamman kuin yhden vapautumisesteen heikkenemisen seurausten tarkastelu sekä LILW-loppusijoitustilan vaikutusten huomioiminen. Toimintakykyanalyyseissä hyödynnetään sekä ONKALON pitkäaikaisten kokeiden että loppusijoituspaikan kuvauksen (*Olkiluoto Site Description*) tuloksia. Lisätietoa erityisesti teknisten vapautumisesteiden alkutilasta saadaan loppusijoitusjärjestelmän kehitysohjelman tuloksena (ks. luku 5.2). Lisätietoa käytetään turvallisuusperustelussa tarvittavien lähtötietojen ja mallien määrittelyyn sekä mallien testaamiseen.
- *Analysis of Radionuclide Release Scenarios and Radiological Consequences (AOS)*: Radionuklidien vapautumisskenaarioiden analysointi. Analyysiin kuuluu sekä radionuklidien vapautuminen käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilasta sekä samaan yhteyteen tulevasta LILW-loppusijoitustilasta, kulkeutuminen kallioperässä ja biosfäärissä sekä kallioperästä pintaympäristöön vapautuvien radioaktiivisten aineiden päästöjen arviointi, niistä ihmisille aiheutuvien säteilyannosten arviointi sekä muiden eliöiden säteilyaltistus.

- *Models and Data for the Repository System*: TURVA-2012:n tapaan käyttöluvavaiheen turvallisuusperustelussa käytetyt maanalaista loppusijoitusjärjestelmää koskevat lähtötiedot ja mallit esitetään *Models and Data* -raportissa. Raportissa tarkastellaan myös mallien ja lähtötietojen luotettavuutta. Lähtötietoaineiston laatua ja käyttöä malleissa hallitaan kehitettävällä tietokannalla, *Safety Assessment Database*. Tällä pyritään ennen kaikkea vähentämään virheellisten lähtötietojen käyttöä ja lähtötietojen ristiriitaisuuksia eri mallinuvvaiheiden välillä.
- *Biosphere Assessment Data Basis*: Aineiston laajuuden vuoksi biosfääriarvion lähtötiedot esitetään erillisessä raportissa.
- *Complementary Considerations*: Tässä raportissa esitetään pääosin kvalitatiivista aineistoa, joka täydentää turvallisuusperustelua. Tällaista aineistoa ovat mm. luonnonanalogiat.
- *Synthesis*: Raportti esittelee turvallisuusperustelun metodologian sekä yhteenvedon päätuloksista ja johtopäätöksistä. Raportti esittää myös arvion loppusijoitusjärjestelmän pitkäaikaisturvallisuusarvion luotettavuudesta.

TURVA-2020-raporttisalkkuun on lisätty uusi keskeinen taustaraportti, *LILW Repository Assessment*. Suunnitelman mukaan kaikki pääraportit julkaistaan samaan aikaan lopullisen turvallisuusperustelun kanssa vuoden 2020 loppuun mennessä. Mallinnuksen ja muiden turvallisuusperustelun osien sisältö ja aikataulu esitetään vuonna 2015 laadittavassa turvallisuusperustelun suunnitelmassa (Safety Case Plan 2015). Kaikki raportit julkaistaan englanninkielisinä.

TURVA-2020	
Synthesis	
Metodologian kuvaus, yhteenveto turvallisuutta koskevista erilaisista perusteluista, luotettavuuden toteaminen sekä pitkäaikaisturvallisuusvaatimusten täyttymisen arviointi	
Site Description	Biosphere Description
Loppusijoituskallion nykytilan ja menneen kehityskulun kuvaus	Pintaympäristön nykytilan ja kehityskulun kuvaus
Design Basis	
Turvallisuustoiminnot, toimintakykytavoitteet ja suunnitteluvaatimukset, niiden perusteet ja niiden välinen yhteys	
System Descriptions	
Teknisen vapautumisesteiden ja kalliotilojen suunnitelmat ja järjestelmäkuvaukset	
Description of the Disposal System	
Yhteenveto maanalaisen loppusijoitusjärjestelmän alkutilasta ja pintaympäristön nykytilasta	
Features, Events and Processes	
Loppusijoitusjärjestelmään vaikuttavien ilmiöiden, tapahtumien ja prosessien kuvaus	
LILW Repository Assessment	
LILW-loppusijoitustilan toimintakyvyn arviointi ja vuorovaikutukset käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilan kanssa	
Performance Assessment and Formulation of Scenarios (PAFOS)	
Toimintakykytavoitteiden täyttymisen arviointi ilmaston eri kehityskulut huomioiden. Skenaarioiden muodostaminen tunnistettujen epävarmuuksien/poikkeamien perusteella	
Models and Data for the Repository System	Biosphere Assessment Data Basis
Maanalaisen loppusijoitusjärjestelmän toimintakykyana- ja kulkeutumislaskennan mallit ja lähtötiedot	Biosfäärianalyysissä käytetyt lähtötiedot ja yhteenveto malleista
Radionuclide Release and Transport Modelling in the Repository System	Radionuclide Transport Modelling in the Biosphere and Dose Assessment
Mallit ja laskentatapausten tulokset, mukaan lukien herkkyytapaukset	Mallit ja laskentatapausten tulokset, mukaan lukien herkkyytapaukset
Analysis of Radionuclide Release Scenarios and Radiological Consequences	
Yhteenveto radionuklidien vapautumisen ja kulkeutumisen mallintamisen päätuloksista ja säteilyannosten arvioinnista	
Complementary Considerations	
Täydentävät todisteet, mm. luonnon- ja antropogeeniset analogiat	
	Pääraportit
	Keskeisimmät taustaraportit

Kuva 5-7. Turvallisuusperustelun TURVA-2020 raporttisalkku.

Turvallisuusperustelun tehtävät 2016–2018

Tulevalla kolmivuotisjaksolla keskeisiä tehtäviä turvallisuusperustelun osalta ovat

- skenaarioiden muodostamiseen käytettävän metodologian kehittäminen,
- loppusijoitusjärjestelmän kehityskulkujen kuvaaminen ja skenaarioiden muodostaminen,
- aktivisuuspäästöjen ja säteilyvannosten arvioinnin aloittaminen,
- kapselointilaitoksen matala- ja keskiaktiivisen jätteen (LILW) loppusijoitustilan turvallisuusarviointi ja integrointi muuhun turvallisuusperusteluun (kohta 5.5.3), ja
- turvallisuusperustelun laadunhallinnan kehittäminen, sisältäen lähtötietojen luotettavuuden varmistamisen (kohta 5.5.5).

Turvallisuusperustelussa käytettäviä mallinnusmenetelmiä ja mallien lähtötietojen yhteensopivuutta kehitetään tulevina vuosina mm. seuraavien osa-alueiden osalta:

- maanalaisen loppusijoitusjärjestelmän ja pintaympäristön mallinnuksen integroinnin kehittäminen
- pohjaveden virtausmallinnuksen ja teknisten vapautumisesteiden toimintakyvyn mallintamisen (esim. puskurin eroosio/kapselin korroosio) selkeämpi kytkeminen toisiinsa
- jäätiköitymisen aikaisten pohjaveden virtausolosuhteiden ja niihin liittyvän pohjavesikemian mallintaminen
- todennäköisyyspohjaisen lähestymistavan hyödyntäminen kulkeutumislaskennan ja toimintakykyanalyysin lähtötietojen, joihin liittyy aleatorisia epävarmuuksia, määrittelyssä.

5.5.2 Ulkoiset olosuhteet

Ilmaston kehityskulku

Tulevaan ilmastoon vaikuttavia keskeisiä tekijöitä ovat ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuus sekä pidemmällä aikajaksolla maan kiertoradan ja pyörimisakselin keskinäiset muutokset, jotka vaikuttavat auringon säteilemän energian määrään (insolaatioon). Auringon säteilyenergian määrän tuleva kehitys voidaan laskea suhteellisen tarkasti, koska siihen vaikuttavat tekijät ja niiden (jaksollinen) aikakehitys tunnetaan hyvin.

Seuraavan ohjelmakauden aikana ilmaston kehitystä kuvaavat kehityskulut muodostetaan ottamalla huomioon luonnolliset tekijät, ihmiskunnan vaikutukset kasvihuonekaasujen määrään sekä STUKin päätöksessään 1/H42252/2015 esittämät vaatimukset ja kommentit aikaisemmista ilmastoskenaarioista. Ilmaston kehitys on olennainen lähtökohta arvioitaessa loppusijoituspaikan olosuhteiden kehitystä kauaksi tulevaisuuteen.

Tulevaisuuden ilmaston kehityksen aikana esiintyy kolme vaihetta, joiden esiintymisessä ja vaiheiden kestossa huomioidaan eri vaihtoehtoja:

- Lauhkea ilmasto
 - globaalinen ilmaston lämpeneminen
 - globaalinen, pitkittynyt ilmaston lämpeneminen
- Periglasiainen ilmasto
 - aikainen periglasiainen ilmasto
 - pidempi ikiroutavaihe

- Glasiaalivaiheita sisältävä ilmasto
 - IPCC:n (2014) skenaarioiden mukainen tulevaisuusmallinnus
 - Veiksel-glasiaalikauden toistuminen
 - paksun jään muodostuminen

Ilmaston kehitystä arvioitaessa ja mallinnettaessa kehityskulut määritellään niin, että ne kattavat loppusijoitusratkaisun toimintakyvyn kannalta tärkeät vaihtoehdot. Ilmaston kehityskulut toimivat myös lähtötietoina eri tutkimusalojen mallinuksissa kuten esimerkiksi biosfääri-, ikirouta-, kalliopohjaveden virtausmallinnuksessa sekä pinta-hydrologian, kalliomekaniikan ja pohjaveden kemiallisessa mallinnuksessa.

Jäätiköityminen ja jäätikkö

GAP-projekti (Greenland Analogue Project) on saatu päätökseen ja raportoitu. Projektin aikana kairattujen syvien kairareikien vesinäytteenottoja jatketaan kuitenkin seuraavan ohjelmakauden aikana, sillä käyttöluvahakemuksen turvallisuusperustelua täydentämään on tarpeen saada jäätikön reunan läheisien pohjavesien pitkän ajan tulosseurantaa.

Nyt alkavalla ohjelmakaudella aloitetaan Saimaalla, toisen Salpausselän alueella, Kyläniemessä nk. Saimaa-projekti. Projektissa selvitetään jäätikön sulamisveden tunkeutumista pohjavesikiertoon alueella, jonka tiedetään olleen hydrologisesti aktiivinen (reuna- ja moreenimuodostumat, drumliinit, delta-alueet, paksut sedimentit) viime glasiaalikauden vetäytymisvaiheessa. Projektin tuloksia voidaan käyttää ääriolosuhteiden analogiana Olkiluodolle. Tuloksia voidaan hyödyntää turvallisuusperustelussa, sillä ne antavat lisätietoa kalliopohjaveden kehityksestä, etenkin jäätikön sulaveden tunkeutumisesta pitkään – jopa 700 vuotta – paikallaan pysyneen jäätikön reunan lähellä. Alueen mannerjäätikön käyttäytymishistoria on hyvin selvillä, mikä helpottaa tulosten tulkintaa ja lisää analogian luotettavuutta.

Tämän ohjelmakauden aikana myös jäätikön paksuuden mallinnusta Saale-jäätiköitymisen aikana tarkennetaan entisestään ja varmistetaan jäätikön maksimipaksuudesta käytetyt oletukset kapselin suunnitteluperusteissa. Lisäksi mallinnetaan Veiksel-glasiaalikauden aikajaksoja korkea resoluution Elmer/Ice-simulaatioilla, joiden tarkoituksena on lisätä luotettavuutta jäätikön muotoon, paksuuteen ja lämpötilaan sekä jäätikön aiheuttamiin kallioperän siirtymiin Olkiluodossa.

Ikirouta

YJH-2012-ohjelmakaudella skenaariomallinnusten ikirouta-arviot perustuivat ilmastomallin tuottamaan tietoon maanpinnan ja jään rajapinnasta. Osoittautui kuitenkin, että tämä ilmastomallin ”sivutuotteena” tuottama maanpinnan lämpötila on epärealistinen. Vaikka itse ilmastomallin kannalta sillä ei ole suurta merkitystä, tieto maanpinnan lämpötilasta on olennainen luotettavan ikiroutamallinnuksen kannalta.

Tämän vuoksi ikiroutamallinnusta tarkennetaan tällä ohjelmakaudella liittämällä siihen tarkempi käsittely jääkerroksen vaikutuksesta lämmönsiirtoon ottamalla huomioon myös jään virtauksen aiheuttama lämmön advektio ja jään sisäisestä kitkasta aiheutuva lämpöenergia. Käytännössä tämä suoritetaan yhdistämällä ikiroutamalli Elmer/Ice-

mallinnusohjelmaan. Tarkennukset lisäävät ikeroutamallinnuksen luotettavuutta. Mallinnustuloksia, kuten ikeroudan arvioitu syvyys, hyödynnetään käyttöluvahakemuksen turvallisuusperustelussa.

5.5.3 Loppusijoitusjärjestelmän kehityskulut

Seuraavan ohjelmakauden aikana laaditaan käyttöluvahakemusta tukevan turvallisuusperustelun toimintakykyanalyysi ja muodostetaan loppusijoituslaitoksen kehityskulkua kuvaavat skenaariot. Turvallisuusperustelun toimintakykyanalyysissa ja skenaarioiden muodostamisessa huomioidaan STUKin päätöksessään 1/H42252/2015 esittämät vaatimukset koskien loppusijoitusjärjestelmän toimintakykyä ja toimintakykytavoitteiden toteutumista, LILW-loppusijoitustilaa, skenaarioiden muodostamista ja niiden analyysiä sekä turvallisuusperustelun raportointia.

5.5.3.1 Skenaarioiden muodostaminen

Käyttöluvahakemusta varten laadittavassa TURVA-2020-turvallisuusperustelussa yhdistetään TURVA-2012-turvallisuusperustelun *Performance Assessment* - ja *Formulation of Scenarios* -raportit yhdeksi *Performance Assessment and Formulation of Scenarios* -raportiksi (PAFOS-raportti). PAFOS-raportissa esitetään:

- toimintakykyanalyysin ja skenaarioiden muodostamisen metodologia,
- lyhyt yhteenveto loppusijoitusjärjestelmän alkutilasta huomioiden myös mahdolliset vapautumisesteiden laatueroamat perustuen *Description of the Disposal System* -raporttiin,
- yhteenveto toimintakykyanalyysissä käsiteltävistä vaihtoehtoisista ilmaston kehityskuluista,
- yhteenveto pintaympäristön ja LILW-loppusijoitustilan kehityskuluista,
- loppusijoitusjärjestelmään kuuluvien kallioperän ja teknisten vapautumisesteiden kehityskulku vaihtoehtoisten ilmaston kehityskulkujen mukaisissa olosuhteissa; kehityskulun kuvauksessa huomioidaan käytetyn ydinpolttoaineen tuottama jälkilämpö, pintaympäristön kehityskulun sekä LILW-loppusijoitustilan (ks. myös kohta 5.5.3.8) vaikutukset käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilaan,
- tilanteet, joissa toimintakykyvaatimukset eivät täyty, sekä näiden tilanteiden vaikutukset muiden vapautumisesteiden toimintakykyyn ja radionuklidien vapautumiseen,
- skenaarioiden muodostaminen ja niiden kuvaukset.

Skenaarioiden muodostamisen metodologia ohjaa koko PAFOS-raportin laadintaa. Skenaariometodologia tullaan päivittämään. Skenaarioiden muodostamisen perustana ovat ohjeen YVL D.5 vaatimukset ja STUKin turvallisuusperustelua koskevassa päätöksessään esittämät vaatimukset. Aiempaa systemaattisemmin käsitellään etenkin ilmiöiden, tapahtumien ja prosessien sekä alkutilaan ja kehityskulkuun liittyvien epävarmuuksien vaikutusta loppusijoitusjärjestelmän toimintaan ja vapautumisesteiden toimintakykyyn ja johdetaan skenaariot toimintakykyanalyysin tuloksista. Lisäksi arvioidaan mahdollisuutta määrittää tiettyihin skenaarioihin johtavien tapahtumien todennäköisyyksiä. PAFOS-raportissa esitetyt skenaariot, joihin liittyy radionuklidien vapautumista, toimivat lähtötietoina radionuklidien kulkeutumisen ja säteilyvaikutusten arvioinnille, joka esitetään *Analysis of Radionuclide Release Scenarios and Radiological Consequences* -raportissa.

Loppusijoitusjärjestelmän kehityskulkujen, toimintakykyanalyysin ja skenaarioiden muodostamista varten tarvitaan tietoa teknisten vapautumisesteiden alkutilasta, mahdollisista poikkeamista suunnitellun mukaisesta alkutilasta sekä vapautumisesteiden toimintakyvystä loppusijoitusjärjestelmän kehityskulun aikana odotettavissa olevissa tai mahdollisesti esiintyvissä olosuhteissa. Tätä tutkimustietoa voidaan hankkia osin kokeellisesti, mutta huomattava osa pitkiä aikajaksoja koskevista arvioista perustuu kuitenkin mallinnukseen. Toimintakykyanalyysin ja skenaarioiden muodostamisen kannalta keskeiset tutkimuskohteet liittyvät käytetyn ydinpolttoaineen kriittisyyteen, kapselin eheyteen alkutilassa, kapselin korroosioon ja mekaaniseen kestävyyskykyyn, loppusijoitustunnelien sulkemisen jälkeisen kehityskulun vaihteluun ja sen vaikutukseen puskurin ja täytön pitkäaikaiseen toimintakykyyn sekä laimeiden vesien ja rakentamisen aiheuttamien häiriöiden vaikutukseen puskurin ja täytön toimintakykyyn.

5.5.3.2 Pintaympäristö (biosfääri)

Kaudella 2016–2018 pintaympäristön (biosfäärin) osalta pääpaino on turvallisuusperustelun edellyttämällä mallinnuksella ja raportoinnilla. Pintaympäristön mallinnusta kehitetään huomioden STUKin päätöksessään 1/H42252/2015 esittämät vaatimukset. Turvallisuusperustelun skenaarioiden yhtenäistämistä varten aiemmin erilliset pintaympäristön skenaariot integroidaan muihin turvallisuusperustelun skenaarioihin. Siten laaditut skenaariot kattavat koko loppusijoitusjärjestelmän kapselista pintaympäristöön asti. Epätodennäköisiä tapahtumakulkuja analysoidessa käytetään yksinkertaistettuja mallinnusmenetelmiä. Biosfäärimallinnuksessa otetaan käytetyn ydinpolttoaineen lisäksi huomioon myös Posivan kapselointilaitoksen tuottama matala- ja keskiaktiivinen jäte, mikä tullaan sijoittamaan loppusijoituslaitokseen kuuluvaan, erilliseen loppusijoitustilaan.

Biosfäärimallinnukseen tarvittavaa lähtötietoaineistoa on paljon, aineistosta suurin osa on kerätty aiemmilla YJH-kausilla. Tulevalla kaudella 2016–2018 viimeistellään Olkiluodossa ja sitä ympäröivällä referenssialueella näytteenotokampanjat, joilla täydennetään aineistoja aiemmin puuttuneiden lähtötietojen osalta. Lisäksi valmistuvat aiemmilla kausilla kerättyjen näytteiden analyysit. Erillisten näytekampanjoiden lisäksi Olkiluodon monitorointiohjelma (Posiva 2012d) tuottaa merkittävän osan lähtötiedoista, mm. malleissa tarvittavien metsäympäristön aineistojen ja paikallisten sääolosuhteiden osalta. Alkavan kauden loppuun mennessä on kaikista biosfäärimallin ekosysteemeistä ja niiden eri osa-alueista (vesiympäristöt, suot, metsät, maataloustuotteet, kasvillisuus, eläimistö ja maaperä) käytettävissä paikkakohtaista lähtöaineistoa, joihin perustuen laaditaan käyttölupahakemuksen biosfääriarviointi. Nämä lähtötiedot esitetään biosfäärin lähtötietoraportissa perustuen aihealuekohtaisiin yhteenvetoraportteihin.

Biosfääriarviointia varten tehdään eri lähtöaineistoista ekosysteemien ainevirtoja ja -pitoisuuksia kuvaavia ainekiertomalleja. Mallinnus toteutetaan kulkeutumislaskentaan soveltuvalla ohjelmistolla ja sen tuloksia käytetään suoraan lähtötietoina radionuklidien kulkeutumismallinnuksessa.

Maasto- ja ekosysteemimallinnustyökalu UNTAMOA, pintahydrologian mallia ja radionuklidien kulkeutumismallinnusohjelmistoa kehitetään tunnistettujen tarpeiden ja STUKin palautteen mukaisesti siten, että biosfäärimallissa käytettyä objektien rajausta

optimoidaan laskennallisesti tehokkaammalle ja automatisoitavalle tasolle, jolloin pystytään laskemaan useampia eri laskentatapauksia kuin aiemmassa biosfäärityössä.

Mallien kehitystyössä kiinnitetään huomiota myös mallin osien välisten rajapintojen toimivuuteen yhtenäistetyn tietokanta-lähestymistavan avulla, jotta automatisoitu mallinnus on mahdollista tehdä. Biosfäärimallikonaisuutta kehitetään kohti IAEA:n referenssibiosfääri-lähestymistapaa (EMRAS II, MODARIA) muun muassa sisällytettävien prosessien osalta. Hiilen isotoopin C-14 mallinnusta kehitetään Posivassa tunnistettujen tarpeiden pohjalta luonnon kulkeutumisprosesseja paremmin huomioivaksi, koska C-14 on säteilyannoksiin eniten vaikuttava nuklidi. Mallin optimoinnin ja automatisoinnin myötä myös läpinäkyvyys, jäljitettävyyys ja toistettavuus paranevat vastaten STUKin antamaan palautteeseen.

Yksi merkittävimmistä epävarmuutta aiheuttavista tekijöistä biosfäärimallissa on ollut purkautumiskohdat. Purkautumiskohtien säteilyaltistusvaikutusten arvioimiseksi kehitetään kaudelle 2016–2018 käyttöön seulontamalli, jolla pystytään tarkastelemaan kaikkien mahdollisten kapselipaikkojen annosvaikutuksia, huomioiden myös pintaympäristössä annokseen vaikuttavat kulkeutumis- ja vuorovaikutustekijät. Lisäksi tehdään, STUKin palautteen mukaisesti, erikseen valittaville laskentatapauksille todennäköisyyspohjaisia tarkasteluja säteilyaltistuksiin vaikuttavien tekijöiden osalta.

Posiva osallistuu kansainväliseen yhteistyöhön (mm. BIOPROTA, IAEA MODARIA ja sen jatkotyöryhmä) esim. C-14-isotoopin kulkeutumismallin ja kasvien ja eläinten säteilyaltistusarvioinnin kehitystyön osalta.

Seuraavalla YJH-kaudella 2019–2021 pääpaino biosfääritöissä on käyttölupahakemusta varten tarvittavan biosfääriarvioinnin mallinnustyössä, säteilyaltistusarvioinnin toteuttamisessa ja raportoinnissa.

5.5.3.3 Käytetty ydinpolttoaine

Käytetyn ydinpolttoaineen hyväksymiskriteerien määrittelytyö on käynnissä perustuen oletuksiin, joita on käytetty radionuklidien vapautumisskenaarioiden analysoinnissa. Työ tehdään osittain yhteistyössä SKB:n kanssa.

Käytetyn ydinpolttoaineen (ja kapselin) pitkäaikaista kriittisyysturvallisuutta kuvataan PAFOS-raportissa. Radionuklidien vapautuminen kuvataan raportissa *Analysis of Radionuclide Release Scenarios and Radiological Consequences* (AOS), ks myös kohta 5.2.1.1. Viimeksi mainittu perustuu kansainvälisistä projekteista saatuihin lähtötietoihin; jotka on mainittu kohdassa 5.5.6. Vuonna 2016 tehdään uusia radionuklidien inventaarilaskelmia ja niiden tuloksia käytetään lähdetestin määrittelyssä AOS-raporttia varten.

5.5.3.4 Kapseli

Kapselin sulkemismenetelmä on vaihdettu kitkatappihitsaukseksi TURVA-2012-turvallisuusperustelun jälkeen, minkä vuoksi tiettyjä analyysejä joudutaan päivittämään. Turvallisuusperustelun kannalta merkittäviä tutkimuksia, jotka tuottavat lähtötietoa toimintakykyanalyysejä varten, on kuvattu tarkemmin kohdassa 5.2.2.

5.5.3.5 Puskuri ja täyttö

Turvallisuusperustelun kannalta merkittäviä tutkimuksia, jotka tuottavat lähtötietoa toimintakykyanalyysejä varten, on kuvattu tarkemmin kohdissa 5.2.3 ja 5.2.4.

Tämän lisäksi turvallisuusperustelua varten määritetään tarvittaessa puskurin ja täytönhuokosvesien koostumus loppusijoitustilan vaihtoehtoisten kehityskulkujen aikana, mikäli kehityskulkujen aikana esiintyy vesiä tai puskurin ja täytön koostumus poikkeaa TURVA-2012-turvallisuusperustelussa (Wersin ym. 2014a, b) käytettyjen pohjavesien tai savikomponenttien koostumuksista.

5.5.3.6 Sulkeminen

Loppusijoitustilojen sulkeminen tapahtuu vasta useiden kymmenien vuosien kuluttua ja sen vuoksi sulkemisesta on toistaiseksi vain alustavia suunnitelmia. Turvallisuusperustelun laatimista varten tarvitaan kuitenkin vähintään sulkemisen konseptuaalinen suunnitelma sekä alustavat arviot sen toimintakyvystä ja mahdollisista pitkäaikaisturvallisuuteen vaikuttavista poikkeamista sulkemisen alkutilassa. Kohdassa 5.2.5 kuvatut tutkimukset koskien sulkemisen konseptuaalista suunnittelua ja sulkemisessa käytettäviä materiaaleja ja niiden eroosion kestävyttä, painumista ja lajittumista tuottavat tarvittavaa tietoa, lisäksi voidaan hyödyntää loppusijoitustunnelin täyttöä koskevaa tietoa. Sulkemisen suunnitelma ja alkutila esitetään *Description of the Disposal System* -raportissa.

5.5.3.7 Kallioperä

Toimintakykyanalyyseihin ja skenaarioiden muodostamisen kannalta keskeisimmät kallioperää koskevat tutkimus- ja mallinnushankkeet liittyvät

- pohjaveden virtauksen ja pohjavesikemian olosuhteiden kehityskulun kuvausten integrointiin, tavoitteena lisätä pitkäaikaista kehityskulkua koskevien mallien luotettavuutta koskien erityisesti suotautuvan pintaveden reaktioita, suolaisuuden ja pohjaveden sulfidipitoisuuden kehittymistä,
- kalliosiirosten esiintymiseen loppusijoitustilojen lähialueella,
- kallion soveltuvuusluokittelun vaikutukseen loppusijoitustiloja ympäröivän kallion edullisten ominaisuuksien säilymiseen pitkällä aikavälillä,
- rakentamisen ja käytön vaikutusten arviointiin, ja
- kulkeutumisprosessien ymmärryksen täydentämiseen.

Luvussa 5.3 on käsitelty loppusijoituspaikan karakterisointiin ja mallinnukseen, soveltuvuusluokitteluun sekä kalliorakentamiseen liittyviä tutkimuksia. Näiden tutkimusten tuloksia tarvitaan määrittäessä kalliotilojen alkutilaa. Ne tuottavat lisää

ymmärrystä ja malleja, joita tarvitaan kallioperän pitkäaikaiskehityksen mallinnuksessa. Näistä uusista tuloksista merkittävimpiä ovat päivitetty geologinen malli, geologian ja hydrogeologian tietoja yhdistävä rakoverkkomalli, POST-projektista saatavat tiedot rakojen kalliomekaanisista ominaisuuksista, POSE-kokeen antamat tiedot kallion lujuudesta ja vaurioitumisesta louhinnan ja kohonneen lämpötilan johdosta, kallion in situ -lämmönjohtavuusominaisuudet, INEX-kokeen antamat tiedot kallion kemiallisesta ja mikrobiologisesta redox- ja pH-puskurikyvystä sekä sulfaattia pelkistävien mikrobien energialähteistä, pohjaveden kaasupitoisuudesta ja sulfidin viipymäajoista. Suunnitteilla oleva ns. merireikä antaa tietoa suolaisen pohjaveden vaikutuksesta meteorisen veden suotautumiseen. Edelleen kallion soveltuvuusluokittelussa (RSC) käytettävien menettelyjen kehittyminen sekä kalliorakentamismenetelmien kehittäminen ja testaus antavat uutta tietoa loppusijoitustiloja ja -reikiä ympäröivän kallion ominaisuuksista.

Pohjaveden virtausmallinnus ja hydrogeokemian mallinnusmenetelmät ovat kuluneen ohjelmakauden aikana kehittyneet. Uudet mallinnusmenetelmät, joissa virtausmallinnuksen tuloksia voidaan entistä paremmin yhdistää reaktiiviseen kulkeutumismallinnukseen, antavat paremmat edellytykset pohjavesikemian evoluution kuvaukseen. Edelleen on kehitetty hydromekaanisten vuorovaikutusten huomioivia malleja, joiden avulla voidaan käsitellä rakojen virtausominaisuuksien muutoksia jännitystilän muuttuessa. Näitä malleja käytetään arvioitaessa pohjaveden virtausta ja pohjavesikemian kehittymistä loppusijoitustilojen sulkemisen jälkeen vaihtelevien ilmaston kehityskulkujen aikana. Malleissa tullaan kiinnittämään erityistä huomiota – ja tarpeen mukaan testaamaan vaihtoehtoisia konseptualisointeja – prosesseihin, joihin liittyy edelleen epävarmuuksia, koskien mm. rakovesien ja huokosvesien vuorovaikutusta, sulfaatin pelkistymiseen tarvittavia energialähteitä ja reaktioita raudan kanssa. Virtausmalleissa huomioidaan myös tilojen rakentamisesta ja käytöstä aiheutuvat häiriöt perustuen POSE-kokeesta ja EDZ-tutkimuksista saatavaan tietoon, POST-projektin tuloksiin ja niitä täydentävään kalliomekaaniseen mallintamiseen.

Kalliosirrosten vaikutusta kapselien toimintakykyyn vähennetään ensisijaisesti loppusijoitustilojen ja erityisesti loppusijoitusreikien sijoittamisella niin, etteivät suuret deformaatiovyöhykkeet tai raot leikkaa loppusijoitusreikiä. Maanjäristyssimulaatioita tullaan jatkamaan täydennetyillä ja tarkennetuilla tiedoilla paikan ominaisuuksista ja huomioiden päivitetty ilmastoskenaariot. Todennäköisyyspohjaisten seismisten tarkastelujen käyttökelpoisuutta tarkastellaan myös ohjelmakauden aikana. Maanjäristysten esiintymisestä jääkausien vetäytymisvaiheessa kerätään lisätietoa (ks. kohta 5.3.2.1), mutta myös muiden kuin jääkausiin liittyvien maanjäristysten käsittelyä kehitetään.

Rakentamisen ja loppusijoitustilojen käytön vaikutuksista loppusijoitusjärjestelmän toimintaan tehdään edellä kuvatun lisäksi myös seuraavia tarkasteluja. Edelliseen turvallisuusperusteluun (TURVA-2012) verrattuna käytetystä ydinpolttoaineesta johtuvan kohonneen lämpötilan vaikutusta vaurioiden muodostumiseen tilojen ympärille ja edelleen virtauksiin ja pohjavesikemiaan huomioidaan aiempaa kattavammin. Lisäksi tarkastellaan vieraiden aineiden, kuten sementin, orgaanisten aineiden ja typpiyhdisteiden liukenemista, kulkeutumista ja vaikutuksia vapautumisesteiden toimintaan. Rakentaminen aiheuttaa pohjavesien sekoittumista ja siten muutoksia pohjaveden koostumukseen, kuten mahdollisesti korkeita suola- ja sulfidi-

pitoisuuksia. Näiden häiriöiden kestoja ja vaikutusta teknisten vapautumisesteiden toimintakykyyn tullaan myös tarkastelemaan.

Kulkeutumistutkimusten avulla täydennetään ymmärrystä kulkeutumisen prosesseista seuraavien selvitysten avulla:

- Strontiumin K_d -määritykset elektromigraatiota hyväksi käyttäen
- Kiven mikrorakennekuvauksen ja PMMA- (polymetyylimetakrylaatti-) menetelmän liittäminen elektromigraatiokokokeiden tulkintaan
- Eri nuklidien sijaintien kuvaus kivipinnoilla
- Juonigneissin ja pegmatiitin mineraalikohtaisten sorptiokertoimien määritykset.

5.5.3.8 Kapselointilaitoksen matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustila

Kapselointilaitoksen matala- ja keskiaktiivisen jätteen (LILW) loppusijoitustilan pitkäaikaista toimintakykyä arvioidaan *LILW Repository Assessment* -raportissa, joka on turvallisuusperustelun uusi taustaraportti. LILW-loppusijoitustilan arviointityö saadaan päätökseen vuonna 2016.

LILW Repository Assessment -raporttiin sisältyy:

- LILW-loppusijoitustilan kuvaus ja alkutila (mukaan lukien mahdolliset poikkeamat)
- LILW-loppusijoitustilaan vaikuttavat FEPit
- LILW-loppusijoitustilan toimintakyvyn (ts. toimintakykytavoitteiden täyttymisen) arviointi
- LILW-loppusijoitustilan ja käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilan välisten vuorovaikutusten tunnistaminen
- LILW-loppusijoitustilan kehityskulkujen määrittely.

LILW-loppusijoitustilan ja käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilan väliset vuorovaikutukset kuvataan *LILW Repository Assessment* -raportissa. Siinä myös analysoidaan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilan vaikutukset LILW-loppusijoitustilaan. Sen sijaan LILW-loppusijoitustilan vaikutukset käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilan kehitykseen ja toimintakykyyn käsitellään tarkemmin PAFOS-raportissa. Radioaktiivisten aineiden päästöt LILW-loppusijoitustilasta analysoidaan *Analysis of Radionuclide Release Scenarios and Radiological Consequences* -raportissa (ks. kohta 5.5.4).

Vuonna 2015 on aloitettu LILW-loppusijoitustilan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilaan mahdollisesti aiheuttamien kemiallisten häiriöiden arviointityö. Työn tavoitteena on arvioida häiriöitä kvantitatiivisesti hyödyntäen reaktiivista kulkeutumismallinnusta.

5.5.4 Aktiivisuuspäästöjen ja säteilyaltistusten arviointi

Joihinkin PAFOS-raportissa muodostettaviin skenaarioihin liittyy radioaktiivisten aineiden vapautuminen yhdestä tai useammasta kapselista. Radionuklidien kulkeutuminen loppusijoitustiloista kallioperän kautta biosfääriin, aktiivisuuspäästöt biosfääriin ja säteilyaltistukset ihmisille ja muille eliöille käsitellään *Analysis of Radionuclide Release Scenarios and Radiological Consequences* -raportissa, jonka valmistelu aloitetaan tulealla kolmivuotiskaudella ja saatetaan loppuun vuoden 2019 aikana. Kuten edellä on

kerrottu, turvallisuusperustelussa TURVA-2020 tullaan käsittelemään myös LILW-loppusijoitustilan aiheuttamat päästöt ja niiden aiheuttamat säteilyaltistukset ihmisille ja muille eliöille.

Kuten aiemminkin, geosfäärin osalta radionuklidien kulkeutumisen kuvaus tulee perustumaan hydrogeologiseen rakoverkkomalliin. Se edustaa yksityiskohtaisessa mittakaavassa veden virtauksen jakautumista kiteisessä kalliiossa mahdollisimman realistisesti. TURVA-2020:n hydrogeologian kuvaus tulee täydentämään rakoverkkopohjaista mallinnusta ottamalla huomioon pohjaveden suolapitoisuuden vaihtelut. Aikaisemmin se ei ole ollut mallinnusteknisesti mahdollista.

Kulkeutumismallinnus sinänsä yhdistää suuren määrän vuosien mittaan koottua tietoa Olkiluodon hydrogeokemiasta, tyypillisistä kivilajeista, kalliorakojen mineralogiasta, sekä kivimatriisin sorptio-ominaisuuksista erilaisissa vesikemian olosuhteissa. Joidenkin radionuklidien pidäytyminen voi muuttua huomattavasti vesikemian muuttuessa. Tämän johdosta sellaisten nuklidien kulkeutumista tullaan arvioimaan dynaamisesti muuttuvissa vesikemian olosuhteissa. Tähän tähtäävää ns. smart K_d -mallinnustekniikkaa on kehitetty yhteistyössä SKB:n kanssa.

Analysis of Radionuclide Release Scenarios and Radiological Consequences -raportin päätulokset tulevat olemaan säteilyaltistusten ja kallioperän aktiivisuusvirtojen arviointi sekä niiden vertailu viranomaisen asettamiin raja-arvoihin. Lisäksi analyysiin sisältyy joukko muita täydentäviä indikaattoreita. Kuten edellisessä turvallisuusperustelussa TURVA-2012, epävarmuuksien vaikutusta systeemin toimintakyvyn ja turvallisuuden kannalta tullaan tarkastelemaan sekä deterministisin että todennäköisyyspohjaisiin lähestymistavoin ja edellä mainittuja lähestymistapoja yhdistelemällä. STUKin päätöksen 1/H42252/2015 mukaisesti käyttöluvavaiheen turvallisuusperustelun tulee sisältää perusteellisempia herkkyytarkasteluja ja useamman viallisen kapselin tapauksen läpinäkyvämpi käsittely. Herkkyy- ja epävarmuusanalyysien avulla tunnistetaan parametrit, joihin liittyvät epävarmuudet ovat keskeisimpiä lopputulosten kannalta. Lisäksi *Analysis of Radionuclide Release Scenarios and Radiological Consequences* -raportissa tarkastellaan myös eri vapautumisesteiden merkitystä.

5.5.5 Turvallisuusperustelun laadunhallinnan kehittäminen

Posivan johtamisjärjestelmässä on kiinnitetty erityistä huomiota turvallisuusperustelun tuottamiseen tähtäävien toimintojen hallintaan. Tällä varmistetaan käytettävien lähtötietojen, oletusten, mallinnusten ja laskelmien jäljitettävyyden ja läpinäkyvyyden. TURVA-2020-raporttien laatuvaatimuksia on tiukennettu aikaisemmasta, etenkin PAFOS- ja AOS-raportteihin liittyvien tehtävien osalta, koska kyseiset raportit vaikuttavat suoraan pitkäaikaisturvallisuusvaatimusten täyttymistä koskeviin johtopäätöksiin.

Posivan yleiset laatuohjeet turvallisuusperustelulle on esitetty *Safety Case Plan 2008* -raportissa (Posiva 2008). Edellisestä turvallisuusperustelusta (TURVA-2012) saadun kokemuksen perusteella laadunhallintaa suunnitellaan kehitettävän seuraavilla tavoilla:

Datanhallinta:

- TURVA-2020-turvallisuusperustelua varten datanhallintaa parannetaan, jotta turvallisuusperustelun eri osissa käytetään yhtenäisiä lähtötietoja, lähtötietojen dokumentoidaan selkeämmin sekä vähennetään muita, mm. aikatauluun liittyviä riskjä.
- Datanhallinnan kehittämisen pääkohdat ovat:
- keskitetyn tietokannan (Safety Assessment Database, SAdb) perustaminen ja käyttö toimintakykyanalyysiä ja skenaarioiden analysointia varten
- mallinnusprosessia kuvaavien vuokaavioiden laatiminen eri mallien lähtötietojen ja tulosten sekä niiden välisten riippuvuuksien esittämiseksi
- lähtötietojen ja -oletusten laaduntarkastus- ja hyväksymismenettelyjen parantaminen
- lähtötietojen jäädyttäminen turvallisuusperustelua varten ja muutostenhallintaprosessin käyttöönotto.

Mallinnus ja konseptualisointi TURVA-2020-projektissa:

- Konseptuaalisten menetelmien, matemaattisten mallien ja parametrien rajoitukset ja epävarmuudet kuvataan selkeästi ja lisäksi käsitellään mahdollisia vaihtoehtoisia malleja, perustellen miksi nykyiset mallit soveltuvat meneillään olevaan työhön, ovat laajasti hyväksytyjä ja kehitettyjä, ne on hyväksytyt käytettäväksi turvallisuusperustelussa ja dokumentoitu sovitun prosessin mukaisesti.

TURVA-2020-projektin sisäinen auditointi:

- Sisäisiä auditointeja pidetään säännöllisesti. Auditointien sisältö valitaan kulloinkin meneillään olevan työn perusteella.

Raporttien tuottaminen ja toimitus:

- Kuten TURVA-2012:ssa, kaikki pääraportit tarkastetaan sisäisen ja ulkoisen tarkastusmenettelyn kautta. Kirjoitustyön alkaessa pääraporttien sisällysluettelot esitetään STUKille palautteen saamiseksi. Päätulokset ja havainnot esitetään STUKille palautteen saamiseksi sitä mukaa, kun tehtävät saadaan päätökseen. Raporteissa viitataan vain julkaistuihin materiaaliin (tai Posivan hyväksymiin raportteihin). Tulosten ja keskeisten johtopäätösten esittämisessä noudatetaan hierarkkista ja modulaarista lähestymistapaa päällekkäisyyksien ja ristiriitaisuuksien minimoiseksi. Kaikki pääraportit ja taustaraportit toimitetaan STUKille käyttölupahakemuksen jättämisen mennessä.

Projektinhallinta:

- Jokaista pääraporttia varten laaditaan projektisuunnitelma, jossa kuvataan raportin tavoitteet ja tarvittavat lähtötiedot sekä yksityiskohtainen aikataulu. Projektisuunnitelmia käytetään sisäisen kommunikoinnin apuna ja niissä mainitaan muista projekteista tarvittavat lähtötiedot projektiaikataulujen yhteensovittamiseksi. Päätöksentekoprosessin jäljitettävyyttä ja läpinäkyvyyttä lisätään, jotta myöhemmin olisi helpompaa jäljittää tehdyt päätökset ja niiden perustelut sekä mahdolliset erimielisyydet.
- Uutta mallinnustyötä tilattaessa mallit ja ehdotetut lähtötiedot tarkastetaan ja hyväksytään; konseptuaalisen mallin tuottamisen lisäksi laaditaan kuvaus keskeisimmistä oletuksista ja epävarmuuksista.
- Riskienhallintaa parannetaan, esimerkiksi yksityiskohtaista, jatkuvasti päivitettävää riskitaulukkoa soveltamalla.

5.5.6 Sisäinen ja ulkoinen yhteistyö

Seuraavalla tutkimuskaudella kiinnitetään erityistä huomiota sisäiseen yhteistyöhön TURVA-2020-projektin sekä Posivan Turvallisuus-, Projekti- ja Kehitys-yksiköiden välillä. Yhteistyötä tarvitaan etenkin vaatimusten kehitystyössä sekä alkutilan saavuttamisen osoittamisessa. Posiva ja SKB päivittävät parhaillaan yhteistyössä pitkäaikaisturvallisuusvaatimuksia. Päivitystyössä kiinnitetään huomioita vaatimusten yhdenmukaisuuteen sekä niiden todentamiseen. Päivitystyö tuottaa lähtötietoa *Design Basis* -raportille. Alkutilan saavuttamiseen liittyen pitkäaikaisturvallisuuden arvioijat tekevät yhteistyötä suunnittelun ja tuotannon asiantuntijoiden kanssa valmistuksen, rakentamisen ja asennuksen aikaisten laatuerojen määrittämiseksi.

TURVA-2020-projektiryhmän jäsenet osallistuvat useisiin kansainvälisiin yhteistyöprojekteihin verkostoitukseen muiden ydinjätehuolto- tai tutkimusorganisaatioiden kanssa, jakeakseen tietoa parhaista menettelytavoista ja seuratakseen muiden maiden turvallisuusperustelun edistymistä. TURVA-2020-projektiryhmän jäseniä osallistuu mm. seuraaviin kansainvälisiin yhteistyöhankkeisiin ja -ohjelmiin:

- OECD/NEA:n Integration Group for the Safety Case (IGSC), pitkäaikaisin eri jätehuolto-ohjelmien turvallisuusperusteluryhmien sekä turvallisuusviranomaisten välinen yhteistyöryhmä. IGSC:n alaisuudessa toimii useita työryhmiä, jotka liittyvät suoraan TURVA-2020:een, aiheinaan mm. FEP-luettelot, skenaarioiden kehittäminen, tiedonhallinta sekä geologisia loppusijoituslaitoksia koskevat tietokannat.
- EURATOMin kansainväliset projektit, joihin Posiva osallistuu loppukäyttäjärhymänä (esim. MIND, CEBAMA).
- EURATOMin Implementation of Geologic Disposal Technological Platform (IGD-TP); ydinjäteyhtiöille, tutkimuslaitoksille sekä muille sidosryhmille tarkoitettu yhteistyöelin, joka käsittelee sulkemisen jälkeisen turvallisuusperustelun kehittämisen metodologiaa huomioiden radioaktiivisten jätteiden geologista loppusijoitusta koskevan Euroopan komission direktiivin 2011/7.
- IAEA:n radioaktiivisen jätteen geologista loppusijoitusta koskeva toiminta, kuten GEOSAF, BIOPROTA ja MODARIA.

5.6 Vaakasijoitusratkaisu KBS-3H

5.6.1 Tutkimus- ja kehitystyö vuosille 2016–2018

Posivan ja SKB:n yhteisprojektin KBS-3H järjestelmäsuunnitteluvaihe päättyy vuoden 2016 lopussa. Yhteisprojektin jälkeen 3H-ratkaisun tutkimus- ja kehitystyö perustuu suurelta osin projektin tuloksiin pitkäaikaisturvallisuuden osalta. Savikomponenttien kemiallinen eroosio on tunnistettu nykyisen projektivaiheen aikana kriittisimmäksi kysymykseksi 3H-ratkaisun pitkäaikaisturvallisuuden kannalta, koska sen arvioidaan vaikuttavan haitallisemmin 3H- kuin 3V-ratkaisuun ensin mainitun geometriasta johtuen.

SKB ja Posiva päättävät vuoden 2016 vuoden alkupuolella siihen mennessä saadun tutkimusaineiston perusteella 3H-ratkaisun jatkosta, mm. mahdollisista jatkossa tehtävistä tutkimus- ja kehitystyöistä. Vuoden 2016 jälkeiselle ajanjaksolle 3H-konseptista ei ole vielä olemassa suunnitelmia, minkä johdosta tässä kohdassa keskitytään vuoden 2016 aikana tehtäväksi suunniteltuihin tutkimustoimenpiteisiin ja raportointiin.

5.6.1.1 Osakomponenttien suunnittelu

Keskeneräisten laboratoriokokeiden, kuten esim. vaihettumisvyöhykkeen käyttäytymistä tutkivan kokeen (mittakaava 1:10) ja BB5-kokeen purkamiset näytteenottoineen ja raportointeineen saatetaan päätökseen. BB5-koe on osa BB (Big Bertha) -koesarjaa, jossa puskuribentoniitin paisuntapaineen kehitystä (paineen kasvunopeus ja paineen suuruus) testataan laboratoriokokeessa, jossa tutkittava puskuribentoniittityyppi (asennuspakkauksen sisältämä bentoniitti tai välitulppa) asennetaan teräksiseen ”vaaka-reikään” ja paineen kehitystä mitataan keinotekoisien kastelun jälkeen tai myös kokeen aikana lisätyn veden seurauksena (ks. Posiva 2012a). BB5-kokeessa testataan asennuspakkauksen sisältämän puskuribentoniitin käyttäytymistä ja paisumista reiätetyn suo-jasynterinin sisällä ns. märissä olosuhteissa, jotka saadaan aikaan lisäämällä vettä kokeen aikana. Tavoitteena on täysin saturoitunut bentoniitti.

Aiemmin tehtyjen mallintamistöiden ja 3V-projektissa tehtyjen laboratoriokokeiden (SKB 2014) seurauksena yhdeksi tärkeäksi tutkimuskohteeksi on noussut molemmissa ratkaisuvaihtoehdoissa (3V/3H) loppusijoituskapselin lämmön vaikutus sitä ympäröivään puskuribentoniittiin. Kohonneen lämpötilan aiheuttama bentoniittilohkon kuivuminen ja rakoilu heikentävät puskuribentoniitin lämmönjohtokykyä. Harkittavana on mahdollinen suuren mittakaavan koe, johon liittyisi lämmitin. 3H-ratkaisun kohdalla kokeessa käytettäisiin asennuspakkauksen sisällä olevaa puskuribentoniittia.

5.6.1.2 Tuotanto ja käyttö

Vaakasijoitusratkaisun erityispiirteitä kuvaavien tuotantolinjaraporttien (ks. kohta 4.10.3) ohella laaditaan vuoden 2016 kuluessa yhteenvetoraportti 3H-ratkaisun tuotantolinjaraporteista. Raportissa esitetään myös muiden yhteisten (3V/3H) tuotantolinjaraporttien osalta mahdolliset eroavuudet (esim. kapseli).

Edellisessä projektivaiheessa ”KBS-3H Tarkentavat tutkimukset 2008–2010” tehtiin työturvallisuus- ja käyttöturvallisuusselvitykset (Posiva 2013g), jotka perustuivat ”mitä jos” -analyysiin. Työtä jatketaan ja siinä keskitytään 3H:lle ominaisiin työvaiheisiin: loppusijoitusreiän toteutukseen, vastaanottoaseman toimintaan ja komponenttien asentamiseen loppusijoitusreikään. Työturvallisuusselvityksessä tuodaan esiin myös mahdolliset eroavaisuudet työturvallisuuslainsäädännössä Ruotsissa ja Suomessa sekä mahdolliset organisatoriset erot SKB:n ja Posivan välillä.

3H-ratkaisun kustannukset päivitetään kustannusvertailun tekemiseksi 3V-ratkaisun kanssa.

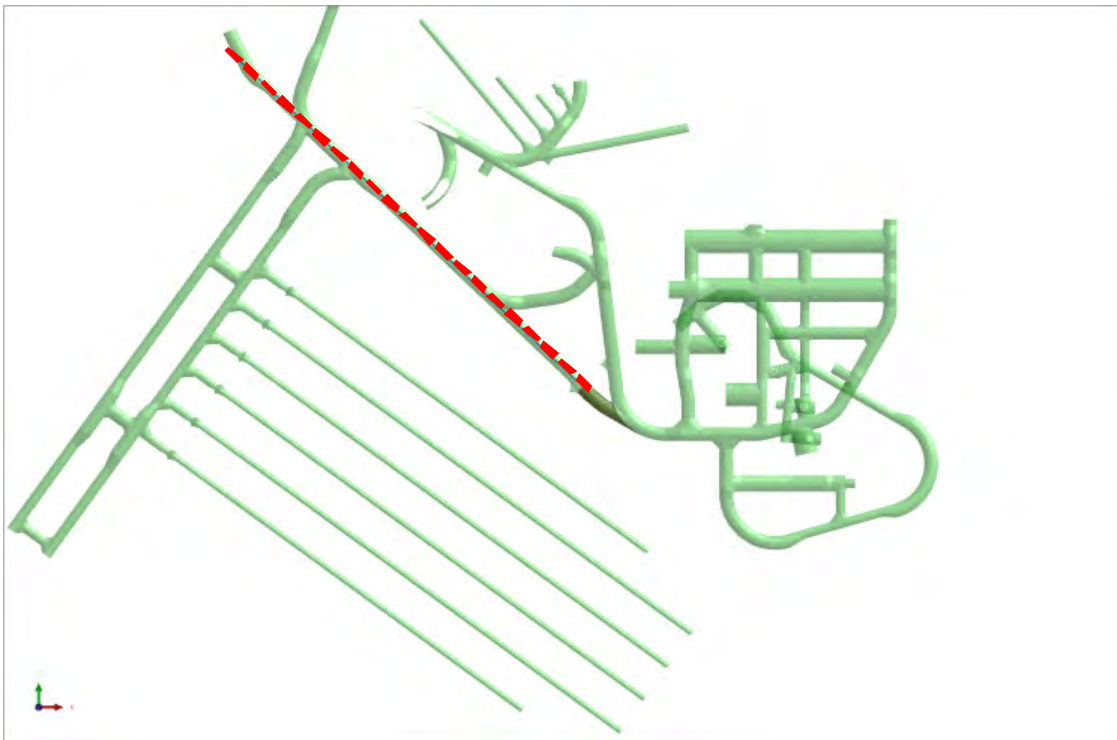
5.6.1.3 Toteutettavuuden osoittaminen

Täysimittakaavaisen (Multi Purpose Test, MPT) -kokeen monitorointivaihe jatkuu toistaiseksi. MPT-kokeen purkamisvaihe on irrotettu EU:n yhteisestä LUCOEX-projektista, jonka puitteissa MPT-koe asennettiin ja koetta jatketaan LUCOEX-projektin sekä Posivan ja SKB:n nykyisen 3H-projektivaiheen jälkeen toistaiseksi. MPT-kokeen purkaminen toteutetaan projektivaiheen jälkeen erikseen laadittavan suunnitelman pohjalta, jossa purkukriteerit esitetään. Purkuvaiheen yhteydessä toteutetaan näytteenotto analyysiin suunnitelmien mukaisesti. Analyysi- ja monitorointitulosten perusteella selvitetään

asennettujen komponenttien (asennuspakkaus ja sen molemmilla puolilla olevat välitulpat, vaihettumisvyöhyke ja osastotulppa) käyttäytymistä.

Vuonna 2016 noin 100 metrin pituinen aiemmin kairattu pilottireikä avarretaan täyteen reikähalkaisijakokoon 1,85 m Äspön kalliolaboratoriossa -410 metrin syvyystasolla, mikä vastaa loppusijoitusyvyttä. Avarrettu vaakareikä karakterisoidaan ja jälkiinjektoidaan Mega-Packer-laitteella kolloidista silikaa käyttäen.

Olkiluodossa toteutetaan vuoden 2015 aikana noin 300 metrin pituisen yhdystunnelin pilottireiän kairaus ONKALON tutkimustilasta ajoneuvoyhteydestä 16 (tasolla -437 m) aiemmin Äspössä kairattujen kahden lyhyemmän pilottireiän kairamisesta saatujen kokemusten perusteella, ks. kuva 5-9. Riittävän suorien 300 m pituisten pilottireiän kairaus ja kairauksen toteutettavuuden osoittaminen on ollut yksi projektin keskeisistä tavoitteista. Taipuma- ja sivusuuntamittauslaitteiden antamia tuloksia tullaan myöhemmin vertaamaan yhdystunnelin louhinnan aikana geodeettisesti mitattuihin pilottireiän koordinaattitietoihin kunkin räjäytyskatkon jälkeen.



Kuva 5-9. Suoran, noin 300 m pitkän pilottireiän/yhdystunnelin sijainti ONKALON syvyystasolla -437 m (kuvassa punaisella katkoviivalla).

5.6.1.4 KBS-3H-turvallisuusarviointi

Vaiheittain etenevän turvallisuusarvioinnin ensimmäinen tavoite on toimintakyky-analyysi, jossa arvioidaan miten 3H-ratkaisun loppusijoitusreiän komponenteille asetetut turvallisuustoiminnot, toimintakykytavoitteet ja kallioperälle asetetut tavoiteominaisuudet täyttyvät huomioden odotettavissa oleva kehityskulku sekä alkutilaan ja kehityskulkuun liittyvät epävarmuudet. Lähtökohtana ovat loppusijoituspaikan kuvaus (Posiva 2012j) sekä tekeillä olevat raportit KBS-3H:n suunnitteluperusteista (*Design*

Basis – KBS-3H), KBS-3H-loppusijoitusjärjestelmän kuvaus (*Description of the Disposal System – KBS-3H*) ja kuvaus KBS-3H-loppusijoitusjärjestelmään vaikuttavista ilmiöistä, tapahtumista ja prosesseista (*Features, Events and Processes – KBS-3H*) sekä yhteenveto KBS-3H:n toimintakykyanalyyseissä käytettävistä malleista ja lähtötiedoista (*Models and Data – KBS-3H*).

Design Basis – KBS-3H -raportti nojautuu pitkälti olemassa oleviin vaatimuksiin, ja siinä tuodaan myös esille mahdolliset KUPP-VAHA-työn aiheuttamat päivitykset, sekä KBS-3V-turvallisuustoimintoihin ja toimintakykytavoitteisiin useimpien vapautumisesteiden osalta. KBS-3H-ratkaisun komponentit ja niille asetetut vaatimukset muodostavat raportin pääsisällön. Kallion tavoiteominaisuudet ja niistä johdetut kallion soveltuvuus-kriteerit (RSC) 3H-ratkaisulle nojautuvat pitkälti jo olemassa oleviin KBS-3V:n tavoiteominaisuuksiin ja soveltuvuus-kriteereihin. KBS-3H-ratkaisun soveltuvuus-kriteereissä huomioidaan ratkaisun vaikutukset erityisesti ns. pitkärajoitukseen, tutkimusmenetelmiin sekä vuotokriteereihin, jotka vaikuttavat reikäkomponenttien paikkoihin. Edellä mainitut kohdat raportoidaan *Design Basis – KBS-3H* -raportissa, joka valmistuu vuonna 2016.

Myös muut edellä mainitut KBS-3H-raportit nojautuvat pitkälti olemassa oleviin vastaaviin TURVA-2012-raportteihin. KBS-3H-ratkaisun erityispiirteet ja loppusijoitusreiän komponentit ovat raporttien pääkohteena. Lisäksi KBS-3H-vaihtoehdolle laadittavat tuotantolinjaraportit toimivat lähtökohtana turvallisuusarvion alkutilan määrittelyssä.

Toimintakykyanalyyseissä tarkastellaan, miten kemiallinen eroosio vaikuttaa loppusijoitusreiän savikomponentteihin ja erityisesti puskurin toimintakykyyn ja edelleen kapselin toimintakykyyn. Erityisesti arvioidaan, onko mahdollista, että eroosion vaikutus kohdistuu useampaan kapselipaikkaan pitkässä loppusijoitusreiässä. Prosessin selvittämiseksi tehdään kokeellista tutkimusta, mallintamista ja selvitystä uuden eroosiota kestävästä materiaalin löytämiseksi.

Lisäksi tarkastellaan myös luonnonanalogioita ja bentoniitin huokosveden ja bentoniitin muutoksen vaikutusta eroosiokäyttäytymiseen (bentoniitin muutos Na->Ca-muotoon).

Kokonaisuudessaan meneillään olevan projektivaiheen keskeisenä tavoitteena on saavuttaa riittävä tietotaso, jotta voidaan arvioida 3H-ratkaisun turvallisuus suhteessa 3V-ratkaisuun.

Arviointi KBS-3V:n ja KBS-3H:n turvallisuus- ja muiden ominaisuuksien välillä tehdään vuoden 2016 aikana. Sen perusteella on mahdollista päättää joko turvallisuusperustelutyön jatkamisesta 3V-ratkaisun pohjalta tai sen uudelleensuuntaamisesta 3H-ratkaisuun.

5.6.2 Suunnitelmat aikavälille 2019–2021

Mikäli 3H-ratkaisun kehitystä jatketaan, on tehtävä suunnitelma sen viemiseksi sekä teknisesti että pitkäaikaisturvallisuuden kannalta riittävälle tasolle, joka täyttää FSAR:n vaatimukset.

Käyttöönotto-organisaatio ja ohjeistus tullaan laatimaan rakennesuunnitelmissa ja soveltuvuusarvioissa esitettyjen käyttöönottosuunnitelmien mukaisesti siten, että ne integroidaan Posivan laatimaan käyttöönotto-ohjelmaan ja käyttöönottokäsikirjaan.

5.7 Kapselointilaitoksen ydinjätehuolto

Kapselointilaitokselle on suunniteltu oma nestemäisten aktiivisten jätteiden kuivausjärjestelmä, jolla laitoksella syntyvät aktiivisuutta sisältävät nesteet, kuten pesuvedet voidaan kiinteyttää ja pakata jätepakkauksiin. Jätepakkaukset kuljetetaan kapselihissillä loppusijoituslaitoksen matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilaan. Myös muut kiinteät kontaminoituneet jätteet käsitellään ja pakataan kapselointilaitoksella ja kuljetetaan kapselihissillä loppusijoitustilaan.

Vaihtoehtoisena ratkaisuna kapselointilaitoksen omalle käsittelyjärjestelmälle on rakentamislupahakemusaineistossa esitetty nestemäisten jätteiden kuljettamista tähän tarkoitukseen valmistetulla kuljetussäiliöillä OL3-laitosyksikön jätteiden kiinteytysjärjestelmään.

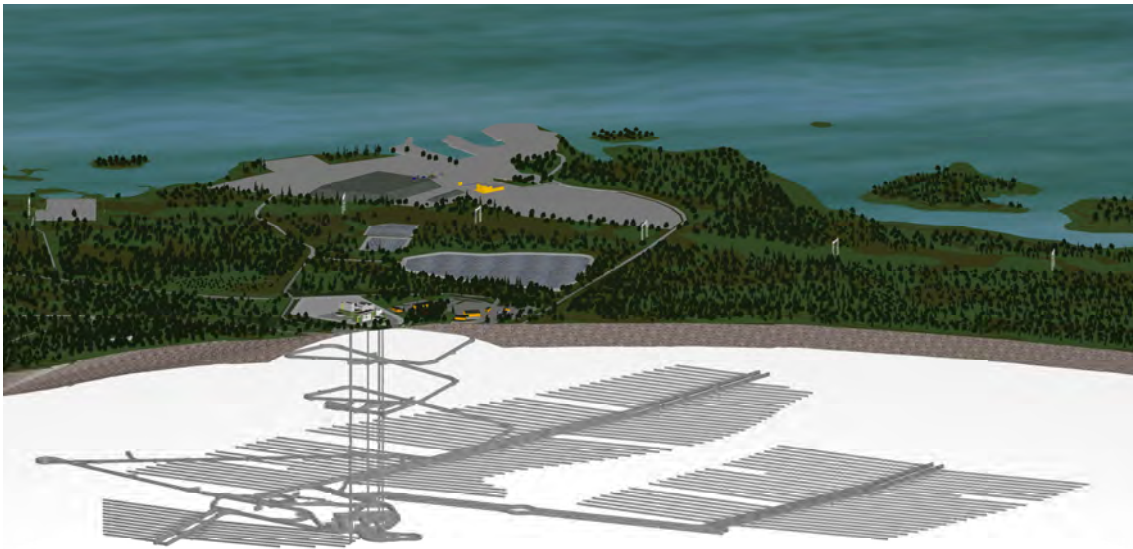
Tulevalla ohjelmakaudella tehdään päätös nestemäisten jätteiden käsittelytavastaja suunnitellaan ja toteutetaan se. Mikäli päädytään hyödyntämään OL3-laitosyksikön järjestelmää, tulee jätteiden kuljetusta varten suunnitella ja hankkia tarvittava säiliö ja siirtokalusto. Tällaisia säiliötä on maailmalla käytössä vastaavaan tarkoitukseen. Lisäksi on laadittava ja hyväksyttävä tarvittava luvitusaineisto OL3-laitosyksikön kiinteytysjärjestelmän käyttötarkoituksen laajentamisesta myös kapselointilaitoksen aktiivisia nesteitä varten.

6 KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN KAPSELOINTI- JA LOPPUSIJOTUSLAITOKSEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS 2016–2021

6.1 Lähtökohdat

Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitokset (kuva 6-1) toteutetaan projektina, jota yleisesti kutsutaan laitosprojektiksi. Projektin tavoitteena on toteuttaa hyväksytyn aikataulun ja budjetin puitteissa loppusijoituksen vaatimat rakennukset, tilat, laitteet ja rakenteet niin, että ne täyttävät niille asetetut vaatimukset laadun, turvallisuuden ja teknisten suoritusarvojen osalta. Suomen lainsäädännön, viranomaisten, Posivan ja sen omistajien asettamat tavoitteet kohdistuvat erityisesti laitoksen ydinturvallisuuteen, säteilyturvallisuuteen, pitkäaikaisturvallisuuteen, käytettävyyteen, kustannustehokkuuteen ja suorituskykyyn.

Laitosprojekti käsittää kaikkien projektiin kuuluvien rakenteiden, laitteiden ja järjestelmien toteutuksen suunnittelun, toteutuksen ja käyttöönoton siihen saakka, että laitoskokonaisuus voidaan luovuttaa käyttöorganisaatiolle. Ydinlaitosten käyttöönottoon katsotaan kuuluvaksi sekä yhteistoimintakokeet, jolloin tehdään kaikki loppusijoitusprosessin toimenpiteet ilman polttoainetta, että käyttöluvan saamisen jälkeen tehtävät ensimmäisten kapseloiden loppusijoitukset. Merkittäviä osakokonaisuuksia ovat mm. kapselointi- ja loppusijoituslaitos, joiden lisäksi toteutetaan mahdollisesti puskuri- ja täyttökäytännön tuotantolaitos sekä täyttö - ja asennustoimintaan liittyvät laitteet. Linjaorganisaation puitteissa tehdään tämän lisäksi paljon muuta loppusijoitushankkeeseen liittyvää kehitys- ja tutkimustyötä.



Kuva 6-1. Olkiluodon kapselointilaitos ja loppusijoituslaitos, havainnekuva.

6.2 Kaavoitus ja aluetyöt

6.2.1 Kaavoituksen tilanne ja suunnitelmat

Posiva toimii yhdessä TVO:n kanssa Eurajoen Olkiluodossa. TVO omistaa suuren osan Olkiluodon saaresta. Posiva on vuokrannut kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle tarvitsemansa maa-alueen TVO:lta. Olkiluodossa on laitosalueiden lisäksi mm. satama, Natura-alue, loma-asuntoja ja muutama pysyvä asunto.

Kaavoituksen tärkeimpänä tavoitteena on ylläpitää maankäytöllisiä edellytyksiä Suomen suurimmalla energiantuotantoalueella ja varata alueet käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen toteutumiselle siten, että Suomen lainsäädännön ja toiminnan turvallisuudelle asettamat vaatimukset täyttyvät. Vuonna 2010 lainvoimaiseksi tullut Olkiluodon osayleiskaava ja vuonna 2011 lainvoimaiseksi tullut loppusijoitusalueen asemakaava vastaavat Posivan tämänhetkisiä tarpeita.

Vuoden 2014 aikana käynnistetyin kaavoitusprosessin seuraavan vaiheen valmistelut ovat edenneet siten, että loppusijoituspaneelin eteläinen alue olisi mahdollista maankäytön osalta toteuttaa laitossuunnitelmassa suunnitellussa laajuudessa ja optimaalisessa järjestyksessä. Jatkokaavoitusta tulee jatkaa tulevan YJH-ohjelmakauden aikana tarkoituksena valmistautua loppusijoituslaitoksen mahdolliseen laajentamiseen, jotta pystytään turvaamaan omistajien loppusijoitustarpeisiin tarvittavien tilojen laajuus kallioperän olosuhteiden kannalta tarkoituksenmukaisella tavalla.

6.2.2 Aluetyöt ja alueelle toteutettavat rakennukset

Posivan hallinnoimalla alueella olevan Onkalotien ja Liiklantien uuden tielinjauksen toteutussuunnitelmat viimeisteltiin vuoden 2014 aikana. Tielinjauksen jatkosuunnittelun osalta valmisteltiin toteutussuunnittelua kattamaan tulevan kapselointilaitoksen piha-alueen ympäri kulkevaa osuutta.

Aluesuunnittelussa valmistaudutaan loppusijoitustoiminnan kannalta välttämättömien järjestelmien, kuten alueen palovesilinjaston, varasto- ja konesuojarakennusten asemointiin ja liikennejärjestelyjen suunnitteluun.

Aluetöiden tämänhetkinen tilanne ja aluetöiden jaottelu perustuen toiminnalliseen näkökulmaan on esitetty kohdassa 4.5.2. Rakennuskohtaiset suunnitelmat loppuilla rakennuksille tullaan laatimaan pääosin vuosien 2016–2018 aikana, minkä jälkeen aluetyöt rakennetaan siihen laajuuteen, kuin loppusijoitustoiminnan aloittaminen vähintään edellyttää. Kuvassa 6-2 on esitetty havainnekuva kapselointilaitosalueesta.



Kuva 6-2. Havainnekuva kapselointilaitosalueesta. Rakennukset vasemmalta oikealle: kapselointilaitos, ilmanvaihtorakennus, nostinlaiterakennus, tutkimushalli (takana) ja projektitoimisto.

6.3 Kapselointilaitos

6.3.1 Toteutussuunnittelu

Kapselointilaitoksen toteutussuunnittelun nykytila on kuvattu kohdassa 4.6.1. Toteutussuunnitteluvaihe kapselointilaitoksen osalta jatkuu vuoden 2017 lopulle, minkä jälkeen on mahdollista aloittaa järjestelmien ja laitteiden valmistus ja kapselointilaitoksen rakentaminen. Toteutussuunnittelun tuloksena syntyvät päivitettyt järjestelmäkuvaukset, valmistuvat laite- ja rakennekohtaiset rakennesuunnitelmat sekä sähkö- ja automaatio-laitteiden alustavat soveltuvuusarviot. Ne hyväksytetään turvallisuusluokituksensa mukaisesti joko viranomaisella tai Posivan organisaatiossa ennen ko. laitteen tai rakenteen valmistusvaiheen käynnistämistä.

6.3.2 Toteutus

Kapselointilaitoksen toteutusvaiheeseen kuuluu rakentaminen, järjestelmien ja laitteiden valmistus ja asennus sekä käyttöönotto, joka sisältää loppusijoituslaitoskokonaisuuden koekäyttövaiheet. Toteutusvaihe alkaa aikaisintaan toteutussuunnitteluvaiheessa laadittujen rakennesuunnitelmien ja soveltuvuusarvioiden hyväksymisen jälkeen. Tämän hetken arvio valmistusvaiheen alkamiselle on 2018, rakennusvaiheelle 2019 ja asennusvaiheelle 2020.

Kapselointilaitoksen rakentaminen toteutetaan useampana urakkana. Mahdollinen pääurakoitsija tullaan päättämään toteutussuunnitteluvaiheen jälkeen tapahtuvien tarjouskyselyjen perusteella. Pääperiaatteena voidaan pitää, että Posiva ei lähtökoh-

taisesti valmista, asenna tai rakenna itse, vaan toimii näiden vaiheiden tilaajana, rakennuttajana ja valvojana.

Käyttöönottoon liittyvissä koekäytöissä Posivan organisaatiolla tulee olemaan merkittävä rooli. Käyttöönotto-organisaatio ja ohjeistus tullaan laatimaan rakennesuunnitelmissa ja soveltuvuusarvioissa esitettyjen käyttöönottosuunnitelmien mukaisesti siten, että ne integroidaan Posivan laatimaan käyttöönotto-ohjelmaan ja käyttöönottokäsikirjaan.

Kapselointilaitoksen pohjan maanrakennus- ja louhintavaihe aloitetaan aikaisintaan vuonna 2016. Kapselointilaitoksen varsinaisen rakentamisen on arvioitu alkavan vuonna 2019. Rakentaminen tehdään perustuen hyväksytyihin rakennussuunnitelmiin ja menettelytapaohjeisiin. Rakentamisen toteutus tilataan toimittajilta, joilla on kokemusta ja osaamista rakentamisen toteutuksesta. Rakennus- ja työmaavalvontaa varten tullaan projektin ohjeistoa ja toteutusorganisaatiota täydentämään vuoden 2017 aikana.

Järjestelmien asennusten on arvioitu alkavan noin vuosi rakennusteknisten töiden alkamisen jälkeen alkuvuodesta 2020. Asennusten toteutus tilataan toimittajilta ja laitevalmistajilta, joilla on kokemusta ja osaamista asentamisen toteutuksesta. Asennusvalvontaa varten tullaan Posivan ohjeistoa ja toteutusorganisaatiota täydentämään vuoden 2019 aikana.

6.4 Loppusijoituslaitos

6.4.1 ONKALOn suunnittelu ja toteutus

ONKALOn suunnittelu ja toteutus etenee rinnakkain maanalaisen loppusijoituslaitoksen kanssa, kuten kohdassa 4.5.1 kerrottiin.

Vuosina 2015–2017 on suunniteltu louhittavan loput ONKALOn laajuuteen liittyvät tilat, eli ajoneuvoyhteydet 16 ja 17 sekä toinen pysäköintihalli. ONKALOn laajuuteen kuuluu myös siihen liittyvien taloteknisten järjestelmien jatkosuunnittelu siten, että ne toimivat saumattomasti osana tulevaa loppusijoituslaitosta. Talo- ja rakennusteknisten töiden rakentaminen ajoittuu pääosin vuosille 2019–2022 eli loppusijoituslaitoksen louhintaurakoiden jälkeiseen aikaan. Poikkeuksena tähän on erityisen laajat rakentamiskokonaisuudet, joiden rakentaminen vaiheistetaan osittain tehtäväksi yhtä aikaa louhintojen kanssa. Tällaisia kohteita ovat ONKALossa henkilökuiluun ja loppusijoituslaitoksessa kapselikuiluun liittyvät työt, joiden perussuunnittelu on tehtävä vuosien 2015–2016 aikana.

6.4.2 Loppusijoituslaitoksen suunnittelu ja toteutus

Loppusijoituslaitosprojektin tavoitteena on osana laitosprojektia toteuttaa maanalainen loppusijoituslaitos kustannustehokkaasti ja aikataulun mukaisesti niin, että loppusijoitustoiminta voidaan aloittaa suunnitellusti. Loppusijoituslaitos suunnitellaan ja toteutetaan turvallisesti ja vaatimukset täyttäväksi.

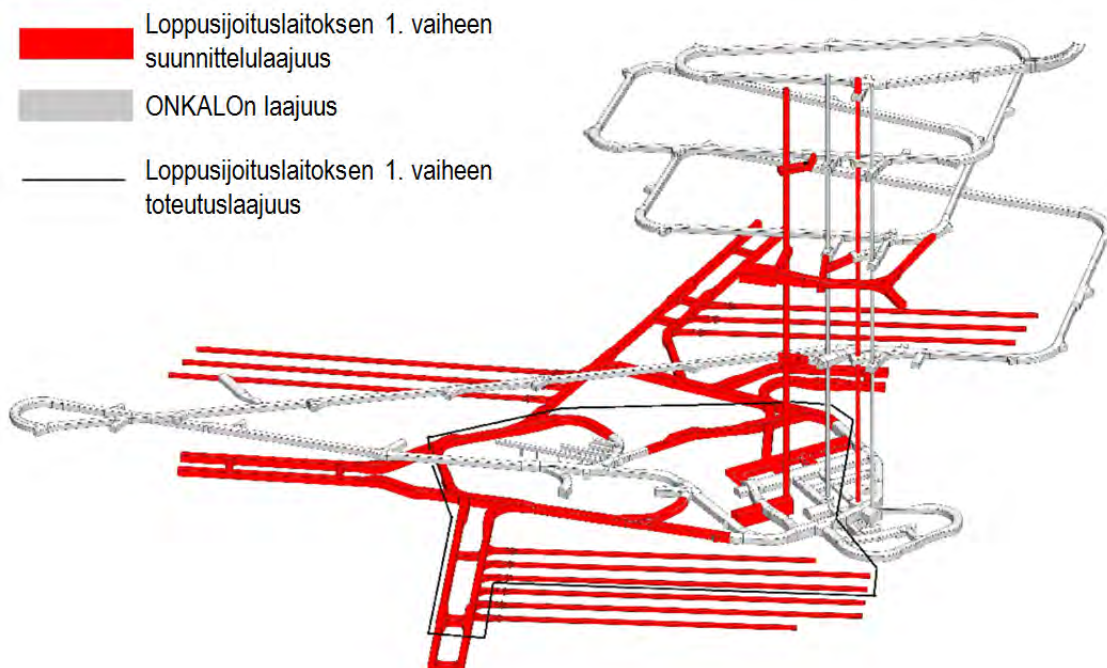
Projektin toteutuksessa korostetaan työskentelyä korkean turvallisuuskulttuurin periaatteiden mukaisesti. Erityisesti pitkäaikaisturvallisuusvaatimusten hyvällä hallinnalla varmistetaan, että loppusijoitus ei tule aiheuttamaan vaaraa tai haittaa ympäristölle.

Tämän vuoksi tulee turvata luonnollisen vapautumisesteen (kallioperä ja pohjavesi) toimintakyvyn säilyminen.

Aikataulutavoitteet määräytyvät koko laitosprojektin aikataulun mukaisesti. Ajallisena tavoitteena on luoda toteutuksen aloitusvalmius mahdollisimman pian rakentamisluvan saamisen jälkeen sekä saavuttaa valmius käyttölupahakemuksen jättämiseen noin 2020. Käyttötoiminnan aloituksen edellyttämät loppusijoitustunnelit louhitaan arvion mukaan käyttölupahakemuksen jättämisen jälkeen.

Loppusijoituslaitoksen suunnittelu ja rakentaminen on sovitettu ajallisesti yhteen kapselointilaitoksen peruskuopan ja rakennuksen rakentamisen kanssa. Kapselikuilun tekeminen aloitetaan välittömästi kapselointilaitoksen pohjan louhintatöiden jälkeen.

Projektin laajuuteen kuuluvat maanalaiset tilat (ml. matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustila) ja sinne tulevat laitteet ja järjestelmät. Rajapintana kapselointilaitokseen on kapselikuilu, jonka kautta kapselit siirretään loppusijoituslaitokseen. Kuiluun tuleva hissi kuuluu kapselointilaitosprojektiin, mutta hissikuilu tiivistyksineen, rakenteineen yms. kuuluu loppusijoituslaitosprojektiin. Kuva 6-3 esittää projektin laajuutta.



Kuva 6-3. Loppusijoituslaitosprojektin laajuus. Harmaalla on esitetty laitokseen liitettävän ONKALON louhitut tilat, punaisella loppusijoituslaitoksen suunnittelulaajuus ja mustalla rajattu varsinainen uusi louhintalaajuus.

Projektin yleisaikataulun mukaisesti vuoden 2016 pääpaino on suunnittelun eteenpäin viemisellä. Tällä tavoitteellaan valmiutta aloittaa toteutusvaihe projektissa, eli siirtyminen suunnittelusta valmistukseen/rakentamiseen. Edellytykset tavoitteen saavuttamiselle ovat mm. hyväksytyjen vaatimusmäärittelyjen mukaisesti tehdyt hyväksytyt suunni-

telmat. Ensimmäiset varsinaiset toteutussuunnitelmat ovat loppusijoituslaitosprojektissa kallioteknisiä suunnitelmia kapselikuiluun liittyen. ONKALOn laajuuteen kuuluvat louhintatyöt on tarkoitus louhia ennen laitosprojektin maanalaisten töiden aloittamista.

Vuosien 2017 ja 2018 aikana jatketaan suunnittelua loppusijoituslaitosprojektiin kuuluvien louhintatöiden jo ollessa käynnissä. Suunnittelun pääpaino siirtyy näinä vuosina kalliotöistä rakennus- ja taloteknisten järjestelmien toteutussuunnitteluun.

Noin vuonna 2019 projektin louhintatöiden (lukuunottamatta loppusijoitustunneleita) päättyessä aloitetaan loppusijoituslaitoksen rakennus- ja talotekniset työt. Rinnan rakennustöiden kanssa louhitaan ensimmäisiä varsinaisia loppusijoitustunneleita.

7 KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN KAPSELOINTI- JA LOPPUSIJOITUSLAITOKSEN KÄYTTÖÖNOTON JA KÄYTÖN SUUNNITTELU 2016–2021

7.1 Koekäytöt, asennustestaukset ja yhteistoimintakokeet

Ennen käytön aloitusta ydinlaitoksissa tehdään koekäyttöjä ja yhteistoimintakokeita. Koekäytössä laitoksen järjestelmien ja laitteiden toiminta testataan ja varmistetaan järjestelmäkohtaisissa testeissä. Yhteistoimintakokeessa testataan ja varmennetaan laitteiden, järjestelmien ja toimintatapojen keskinäinen toimivuus.

7.1.1 Kapselointilaitos

Kapselointilaitoksen käyttöönottoa ja koekäyttöä varten on rakentamislupahakemuksen yhteydessä laadittu alustava käyttöönottosuunnitelma, jossa esitetään käyttöönoton vaiheet, organisointi ja toimintatavat yleisellä tasolla. Suunnitelmaa tarkennetaan ja pidetään yllä suunnittelun ja rakentamisen edetessä.

Kapselointilaitoksen koekäytön ja käyttöönoton menettelytavat ja yhteistoiminta eri osapuolien välillä kuvataan Posivan *Käyttöönottokäsikirjassa*, joka laaditaan hyvissä ajoin ennen käyttöönottovaiheen alkamista. Koekäyttöä ja käyttöönottoa varten tullaan laatimaan yleiskoeohjelma, koeohjelmat järjestelmille sekä täydentäviä, yksityiskohtaisia koeohjeita erityislaitteille ja erityistoimenpiteitä vaativille kokeille.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttöönoton tavoitteena on osoittaa ohjeiden YVL A.4 ja A.5 mukaisesti, että laitoksen järjestelmät, rakenteet ja laitteet sekä niiden avulla toteutettavat toiminnot vastaavat suunnitteluvaatimuksia ja että luvanhaltijan organisaation rakenne, toiminnot ja tehtävät sekä tarvittavien henkilöiden määrä ja pätevyys ovat riittävät ydinlaitoksen turvallisen käytön aloittamiseksi. Käyttöönoton ja koekäyttöjen aikana validoidaan käyttöä, kunnossapitoa ja määräaikaikokeita varten laadittu ohjeisto sekä osoitetaan, että ohjeistossa esitetyt menettelyt ovat mahdollisia ja että ohjeisto on turvallisuuden ja käytettävyyden kannalta riittävä.

Koekäyttöä suoritetaan alkuvaiheessa järjestelmä- ja laitekohtaisesti ensin hyväksytyissä rakennesuunnitelmissa esitettyjen menettelyjen mukaisesti tehdastesteissä (FAT) ja laitokselle asentamisen jälkeen laitoksella (SAT). Järjestelmäkohtaisen koekäytön jälkeen suoritetaan kapselointilaitoksen yhteistoimintakokeita, joilla järjestelmien keskinäinen toiminta ja laitoksen ohjausjärjestelmän toimivuus varmennetaan.

Kapselointilaitoksen ei-ydintekninen yhteistoimintakoe ilman käytettyä ydinpolttoainetta voidaan suorittaa tämänhetkisen aikataulun mukaan vuonna 2023. Polttoaineen käsittely tehdään oikeiden polttoaine-elementtien dimensioiden mukaisilla mallielementeillä. Kapseleiden käsittelytoimenpiteet tehdään oikeilla kapseleilla mutta ilman käytettyä polttoainetta. Muilta osin koko kapselointi- ja loppusijoitusprosessi viedään läpi kokonaisuudessaan.

Ydintekninen koekäyttö pitää sisällään myös ensimmäisten käytettyä polttoainetta sisältävien kapseleiden loppusijoituksen. Ydintekninen koekäyttö käytetyllä ydinpoltto-

aineella voidaan aloittaa vuonna 2023, kun käyttöluva on saatu STUKista. Tämän edellytyksenä on järjestelmäkokeiden, yhteistoimintakokeiden ja ei-ydinteknisen koekäytön onnistunut suoritus ja niitä koskevien tulosraporttien hyväksyminen STUKissa.

7.1.2 Loppusijoituslaitos

Posiva on kuvannut maanalaista yhteistoimintakoetta pääpiirteissään edellisessä ydinjätehuollon ohjelmassa (Posiva 2012a) sekä vuoden 2013 lopulla rakentamislupahakemuksen liitteenä STUKille toimittamassaan alustavassa käyttöönotto-suunnitelmassa. Käyttöönotto toteutetaan vaiheittain huomioiden luvitukseen liittyvät vaiheet:

1. Laite- ja rakennetason käyttöönotto ja niihin liittyvät toimintakokeet 2016 (esim. LUCOEX (luku 5.2.3.5) ja POPLU (luku 4.7.3))
2. Järjestelmien koekäytöt 2018 (esim. FISST (luku 5.2.6))
3. Laitosten koekäyttö sisältäen ns. yhteistoimintakokeet 2023
4. Ydintekninen koekäyttö (ei käsitellä tässä yhteydessä)

Meneillään olevassa ensimmäisessä vaiheessa suoritetaan teknisten vapautumisesteiden asennuslaitteiden toiminnallisia testejä (FAT ja SAT) laitteiden valmistuksen yhteydessä. ONKALO-alueella testaustoiminta on aloitettu maan pinnalle rakennetussa testaushallissa, missä laitteiden toiminta varmistetaan ennen ONKALOon siirtymistä. Demonstraatioiden tarkoitus on osoittaa laitteiden toiminta ja teknisten vapautumisesteiden vaatimustenmukainen asentaminen. Tähän vaiheeseen kuuluvat myös ns. osatestaukset, mm. loppusijoitustunneleiden ja -reikien vaatimusten mukainen toteuttaminen, tunnelin täyttäminen ja loppusijoitustunnelin päätytulpan rakentamisen osoittavat demonstraatiot. Tämän vaiheen aikana tarkennetaan ja laajennetaan alueellisesti RSC-menettelyä. Komponenttikohtaiset kokeet eivät edellytä jatkoyhteyttä seuraavaan vaiheeseen. Toista laaditaan erilliset suunnitelmat. Yksittäisten testien, demonstraatioiden ja kokeiden hyväksyty suorittaminen on edellytyksenä seuraavan vaiheen aloittamiselle.

Teknisten vapautumisesteiden toimivuutta testataan täyden mittakaavan asennustesteillä mm. tulppatestillä, jotka tulee suorittaa onnistuneesti ennen yhteistoimintakokeeseen siirtymistä. Näin tehdään mm. loppusijoitustunnelin päätytulpan toimintaa jäljittelevässä POPLU-projektissa, jossa tulpan taakse pyritään keinotekoisesti luomaan pohjaveden painetta ko. syvyydellä jäljittelevät olosuhteet. Työ on parhaillaan käynnissä.

Toisessa vaiheessa loppusijoituslaitoksen osalta komponentti- ja järjestelmäkohtaisilla kokeilla tarkoitetaan myös laitokseen sijoitettujen kiinteiden järjestelmien kuten ilmastointi, palovarointi yms. testejä ja kokeita, joilla varmistetaan järjestelmien toimivuus. Tässä vaiheessa testataan myös eri järjestelmien yhteentoimivuutta täyden mittakaavan järjestelmätestillä (ks. kohta 5.2.6).

Kolmannessa vaiheessa aloitetaan koekäyttö. Tähän vaiheeseen siirtyminen edellyttää edellisten vaiheiden suunnitelmallista toteutumista ja dokumentointia. Koekäytössä käytetään luvitettuja ja hyväksytyjä koneita, laitteita, materiaaleja ja työmenetelmiä. Maanalainen yhteistoimintakoe on osa koekäyttöä, joka keskittyy KBS-3V-konseptin käyttötoiminnan osoittamiseen siinä järjestyksessä, kun työt on edellytetty toteutettavan.

Yhteistoimintakoe tehdään ennen käyttöluvahakemusta lopullisilla laitteilla ja todellisissa olosuhteissa ilman käytettyä ydinpolttoainetta. Koekäytöstä vastaa Posivan ydinlaitosten rakentamisesta vastaava projektiorganisaatio. Yhteistoimintakokeen toteutuksen yhteydessä huomioidaan tulevan käyttöorganisaation kouluttaminen kohteisiin.

Maanalainen yhteistoimintakokeen rajapinta kapselointilaitokseen on kapselin kuljettamisessa maanalaisesta välivarastosta eteenpäin, kohti loppusijoitustunnelia. Maanalainen yhteistoimintakoe käsittää seuraavat vaiheet:

1. Kokeen ja vaatimusten määrittelyssä lähtötietoina käytetään Posivan määrittelemiä vaatimuksia loppusijoitustoiminnalle (*Buffer Production Line 2012*, Juvankoski ym. 2012; *Underground Openings Production Line 2012*, Posiva 2013b). Näiden lisäksi määritellään erikseen mm. tunnelin pituus ja tarvittavien loppusijoitusreikien määrä.
2. Kokeen paikan valinnassa käytetään tehtävään kehitettyä soveltuvuusarviointimenettelyä (McEwen ym. 2012) ja suunnittelu toteutetaan Posivan käytäntöjen mukaisesti. Viranomaishyväksyntäkäytännöt tulevat noudattamaan loppusijoitustoimintaa vastaavia toimia.
3. Tarvittavien louhinta- ja poraustöiden toteuttaminen, koepaikan varustelu sekä käytettävien laitteiden ja materiaalien hankinta (sisältäen loppusijoitusjärjestelmän savikomponentit). Huomioiden viranomaistoiminta, kuten loppusijoitusvaiheessa.
4. Puskurilohkojen asentaminen, kapselin kuljettaminen ja asentaminen maanalaisesta välivarastosta loppusijoitusreikään sekä tunnelin täyttäminen ja sulkeminen. Huomioiden viranomaistoiminta, kuten loppusijoitusvaiheessa.

Kokeen purkamisesta päätetään myöhemmin.

Posiva laatii vuosien 2017–2018 aikana esisuunnitelman maanalaisen yhteistoimintakokeen toteuttamisesta, jossa kuvataan seikkaperäisesti eri vaiheet (loppusijoitusprosessi), siihen liittyvien järjestelmien toimiminen ja koko työn yhteys luvitus- ja viranomaistoimintaan. Maanalainen yhteistoimintakoe valmistellaan, suunnitellaan ja toteutetaan kuten loppusijoitustunnelit tulevaisuudessa. Vaatimukset täyttävä ja hyväksyttävästi suoritettu yhteistoimintakoe on edellytys seuraavaan vaiheeseen (ydintekninen koekäyttö) siirtymiseen.

7.2 Käyttötoiminnan suunnittelu

Tulevan ohjelmakauden aikana aiemmin laadittuja kapselointi- ja loppusijoitusprosessien kuvauksia ylläpidetään ja päivitetään järjestelmien toteutussuunnitelmien mukaisesti. Yksityiskohtaisia kuvauksia käytetään käytössä tarvittavan henkilömäärän arviointiin. Myös tulevaa käyttöhenkilöstön koulutusta aletaan valmistella. Prosessien analysoinnilla voidaan myös selvittää, mitä työvaiheita voidaan tehdä samojen henkilöiden toimesta. Tarkempaa tietoa prosessin vaiheajoista saadaan, kun prototyyppejä ja myöhemmin lopullisia järjestelmiä testataan ja koekäytetään.

Osana käyttötoiminnan suunnittelua laaditaan alustava laitoksen käyttösuunnitelma, jossa mm. esitetään, millä polttoainetyypillä loppusijoitus aloitetaan. Käyttösuunnitelmaa hyödynnetään myös polttoainekuljetusten valmistelussa.

Tuotantoon valmistaudutaan perustamalla tuotantoon valmistautumisprojekti, jossa selvitetään kaikkien käyttövaiheessa tarvittavien toimintojen tilanne ja laadintaan suunnitelma niiden saattamiseksi käytön edellyttämään valmiuteen. Selvityksessä tuodaan esille mahdollisuudet hyödyntää TVO:n olemassa olevia käytön tukitoimintoja myös Posivan laitosten käytössä.

7.3 Kapselien ja savikomponenttien hankinnat

Loppusijoituskapselin, puskurin ja täyttöratkaisun komponentit voidaan joko ostaa ulkoa solmimalla tätä varten toimitussopimuksia toimittajien kanssa tai tuottaa itse, mahdollisesti jonkin kumppanin kanssa. Vuosien 2013–2015 aikana on tehty soveltuvuus selvitykset eri vaihtoehdoista. Ohjelmakaudella 2016–2018 aloitetaan näiden hankintojen tarkempi suunnittelu päätetyillä hankintatapavaihtoehdoilla. Tavoitteena on kehittää, suunnitella ja toteuttaa tarvittavat menettelyt sekä tuotantotavat EBS-komponenttien vaatimustenmukaiseen valmistukseen siten, että kelpoistetuilla menetelmillä valmistettuja komponentteja saadaan tuotettua aluksi yhteistoimintakokeita varten ja myöhemmin käyttövaiheen tuotantoa varten.

7.3.1 Kapselikomponenttien ja kapselien hankinta

Kapseleiden hankinnasta on tehty kustannus- ja riskinhallintaselvitys yhdessä SKB:n kanssa. Sen perusteella taloudellisesti edullisin vaihtoehto olisi perustaa yhteinen laitos. Seuraavalla ohjelmakaudella 2016–2018 tutkitaan, voiko Posiva tukeutua yhteiseen laitokseen heti Posivan käyttötoiminnan alusta alkaen. Edellisen ohjelmakauden aikana päivitetyn kapselin hankintatapaselvityksen (kohta 4.11.2) perusteella on selvitetty mahdolliset muut kapselitoimittajat. Posivan kapselien hankintatapa päätetään siten, että tarvittavat valmistelut ehditään saada valmiiksi yhteistoimintakokeen tuotantoa varten kapseleiden tuottamiseen valittavasta ratkaisusta riippumatta.

Säteilyturvakeskuksen ohjeen YVL D.5 kohdan 605 mukaan *"Luvanhaltijan on valvottava loppusijoitusjärjestelmän komponenttien valmistusta. Jos komponentin turvallisuusluokka on vähintään 3, luvanhaltijan on pätevoidettävä komponentin valmistuksessa käytettävät ohjeet ja menetelmät."*

Loppusijoituskapselin turvallisuusluokaksi on määritelty 2. Kapselikomponenttien valmistusmenetelmät pätevoidään toimittajan koevalmistusten yhteydessä. Pätevöintiä varten laaditaan kunkin kapselikomponentin valmistusprosessin kuvaus, määritetään prosessin lopputuotteen ominaisuuksien kannalta merkittävät suureet, kuvataan näiden suureiden valvontamenetelmät, komponenttien tunnistus- ja dokumentointimenettely sekä valmistajan laatujärjestelmä.

Kapselin hankintojen, valmistuksen valvonnan sekä päteväinnin alustavia valmisteluja varten on laadittu kuvaus kapselin tuotantoketjusta eli nk. tuotantolinjaraportti (Raiko ym. 2012), jossa on alustavasti kuvattu kapselin valmistukseen liittyvä organisaatio, valvontamenettelyt, komponenttien spesifikaatiot ja piirustukset. Ohjeita ja menet-

telykuvauksia täydennetään kehitystyön edetessä siten, että kapselin valmistuksen laaduntarkastusohjelma on valmiina edellä kuvatun valmistusmenetelmien pätevöintiä varten.

Kapselikomponenttien valmistuksen pätevöintiä varten on tehty selvitystyö liittyen turvallisuusluokitukseen, rakennesuunnitelmaan, valmistajien hyväksyntään ja valmistusmenetelmien pätevöintiin. Turvallisuusluokan perusteella määräytyvät laadunhallintamenettelyt laajennetaan koskemaan kapselikomponenttien valmistusketjun kaikkia toimittajia. Tämä laajennus selkeyttää tarvittavia toimenpiteitä ja vastuita, kun toimintaa voidaan suunnitella määritellyn turvallisuusluokan perusteella. Kapselin järjestelmäkohtainen rakennesuunnitelma jaetaan erillisiksi rakennesuunnitelmiksi, joissa jako perustuu kapselin merkittävien komponenttien valmistusketjuihin ja niissä muodostuville kokonaisuuksille. Valmistajat jaetaan materiaalivalmistajiin (raaka-aineiden valmistus), erikoisprosesseja käyttäviin valmistajiin (kuten kuumamuokkaus) ja muihin valmistajiin (esim. koneistus). Valmistuksen pätevöinti keskittyy niihin valmistusvaiheisiin, joissa käytetään erikoisprosesseja, ja valmistajalla pitää olla viranomaisen erillishyväksyntä ennen menetelmäpätevöintiä.

Seuraavalla ohjelmakaudella kapselikomponentteja valmistetaan koesarjoissa, joiden tavoitteena on pätevoidä valmistusmenetelmät laadittujen pätevöintisuunnitelmien mukaisesti. Työ jatkuu jälkimmäisellä kolmivuotiskaudella, jolloin kapselikomponentteja valmistetaan kapselointilaitoksen yhteistoimintakokeeseen.

7.3.2 Savimateriaalien ja -komponenttien hankinta- ja tuotantaselvitykset

Puskuri- ja täyttölöhkoja hankintaa ja niiden valmistusta ulkopuolisen valmistajan toimesta testataan ensimmäisen kolmivuotiskauden aikana. Saatujen kokemusten perusteella tehdään valinta savikomponenttien hankinnasta, valmistetaanko savikomponentit omassa laitoksessa, vai hankitaanko ne ulkopuoliselta toimittajalta. Valittaessa valmistus omassa laitoksessa, aloitetaan laitoksen suunnittelu ja rakentaminen ensimmäisen kolmivuotiskauden loppupuolella.

Toisen kolmivuotiskauden aikana käynnistetään koevalmistus ja luvitus. Tuotantolaitoksen rakentaminen ja laitteistojen asentaminen tai olemassa olevan laitoksen käyttövalmius ajoitetaan siten, että laitoksen koekäyttö, tuotannon testaus ja valmistuksen luvitus voidaan tehdä hyvissä ajoin ennen loppusijoitustoiminnan aloittamista.

Lopulliset materiaalispesifikaatiot määritetään ohjelmakauden aikana siten, että puskurin ja täyttöratkaisun ensimmäiset raaka-ainetoimittajat voidaan valita. Lopullisen spesifikaation täyttäviä raaka-aineita tarvitaan maanalaista yhteistoimintakoetta varten.

Puskuri on luokiteltu kuuluvaksi turvallisuusluokkaan 3, joten sen valmistusmenetelmä tulee pätevoidä. Pätevöinti toteutetaan koevalmistuksen yhteydessä. Pätevöinti noudattelee samaa kaavaa ja aikataulua kuin kapselikomponenttien valmistusmenetelmien pätevöinti. Pätevöintiä varten laaditaan valmistusprosessin kuvaus, määritetään prosessin lopputuotteen ominaisuuksien kannalta merkittävät suureet, kuvataan näiden suureiden valvontamenetelmät, materiaalin tunnistus- ja dokumentointimenettely sekä valmistajan laatujärjestelmä.

Loppusijoitustunnelien täytön turvallisuusluokaksi on määritelty niin ikään 3. Vaikka täyttölötköjen valmistusmenetelmä olisi eri kuin puskurilötköjen, kannattaa niiden valmistustavan selvitykset tehdä samanaikaisesti.

7.4 Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetukset

Käytetty polttoaine tullaan kuljettamaan voimalaitosten KPA-varastoilta Posivan kapselointilaitokseen kapseloitavaksi. Kuljetukset alkavat loppusijoitustoiminnan alkaessa.

7.4.1 Kuljetussäiliöt

Käytettyä polttoainetta kuljetetaan KPA-varastoilta kapselointilaitokseen siihen tarkoitetuissa B-tyypin kuljetussäiliöissä.

Loviisan polttoaineen kuljetussäiliö

Loviisan polttoaineelle hankitaan kuljetuksia varten yksi tai useampia kaasutäytteisiä kuljetussäiliöitä. Säiliöiden määrä riippuu valittavasta kuljetusmuodosta (maantie-, rautatie- tai merikuljetus). Esimerkiksi maanteitse on arvioitu kannattavaksi kuljettaa 1–2 säiliötä, meritse taas 3–4 säiliötä kerrallaan.

Uuden kuljetussäiliön hankinta kestää 5–7 vuotta. Jotta Loviisan säiliö olisi testattu ja käytössä ensimmäiseen Loviisan käytetyn ydinpolttoaineen kuljetukseen mennessä, säiliön hankinnan pitää edetä seuraavasti: Vuosien 2015–2016 aikana käydyn tarjouspyyntöprosessin jälkeen valitaan säiliön toimittaja vuonna 2016. Kaudelle 2016–2018 ajoittuu säiliön suunnittelua ja luvitusta. Loviisan polttoaineille sopivia säiliötyyppejä on valmistajilla jo valmiina, mutta joitain muutoksia säiliöihin pitää mahdollisesti tehdä. Säiliöiden ja kuljetukseen tarvittavien lisävarusteiden (esim. iskunvaimentimet, kuljetusalusta) valmistus ja valmistuksen tarkastukset ajoittuvat kaudelle 2019–2021 ja jatkuvat vielä sen jälkeenkin. Koulutukset, järjestelmien asennukset ja testaus ajoittuvat hankintaprosessin loppupuolelle.

Olkiluodon polttoaineiden siirtosäiliöt

OL1-2-polttoaineen siirroissa käytetään mahdollisuuksien mukaan TVO:n nykyistä kuljetussäiliötä. Mikäli on välttämätöntä hankkia uusi kaasu- tai vesitäytteinen säiliö OL1-2-polttoaineelle, hankintaprosessi etenee kuten Loviisan säiliön hankinta. OL1-2-polttoaineen siirtoja varten tarvitaan yksi säiliö.

Mikäli TVO:n nykyinen kuljetussäiliö todetaan käyttökelpoiseksi Posivan siirtoihin, tärkeimmät vaiheet tulevat olemaan säiliön hyväksyttäminen Posivan käyttöön, tarvittavat koulutukset sekä säiliön koekäyttö. Säiliön koekäyttöä ilman polttoainetta tullaan tekemään vuosien 2022–2023 aikana käyttöluupahakemuksen jättämisen jälkeen.

Tulevaisuudessa Posiva tarvitsee säiliön myös OL3-polttoaineen siirtoja varten. Tulevien vuosien aikana tullaan seuraamaan ja mahdollisuuksien mukaan osallistumaan TVO:n OL3-säiliön hankintaan siten, että saman säiliön käyttö olisi tulevaisuudessa mahdollista myös Posivan toiminnassa.

7.4.2 Kuljetusten suunnittelu

Loviisan voimalaitosten käytetyn polttoaineen kuljetukset

Loviisan polttoaine kuljetetaan Olkiluodon kapselointilaitokselle joko maanteitse, rautateitse tai meritse. Kuljetukset voivat tapahtua myös yhdistelemällä eri kuljetusmuotoja.

Posivan tavoitteena on valita Loviisan polttoaineen kuljetusmuoto vuonna 2017. Ennen kuljetusmuodon valintaa tehdään selvitys kuljetusmuodoista, -reiteistä, kuljetuksissa tarvittavasta kalustosta ja sen hankinnasta sekä kustannusarviot. Samaan aikaan päivitetään kuljetusten riskiarviot, eli kuljetusten ympäristövaikutukset sekä mahdolliset onnettomuustilanteet ja -riskit. Edellä mainitut selvitykset toimivat lähtötietona kuljetusmuodon valinnassa.

Loviisasta saapuvien KPA-kuljetusten tarvitsema tila ja esim. käytettävien reittien kunto Olkiluodossa otetaan huomioon aluesuunnittelussa.

Vuosina 2019–2021 käydään vielä läpi reitit, kuljetuskalusto, kustannukset ja turvajärjestelyt ennen kuljetusten aloittamista. Lisäksi kartoitetaan tarve hankkia kuljetuksissa tarvittavia muita järjestelmiä, mm. viestintäjärjestelmät, säteilymittausjärjestelmät (annosnopeusmittarit) jne.

Olkiluodon voimalaitosten käytetyn polttoaineen siirrot

Olkiluodon voimalaitosten käytetty polttoaine siirretään KPA-varastosta maanteitse noin 2 kilometrin päässä sijaitsevaan kapselointilaitokseen. Vuoden 2017 loppuun mennessä käydään läpi voimalaitosalueelta kapselointilaitokseen vievät tieosuudet, niiden kunto ja käyttömahdollisuudet. Vuonna 2020 arvioidaan reittien kunto tarkemmin ja tarvittaessa suunnitellaan ja aloitetaan teiden parannukset. Reittien arvioinnin yhteydessä tarkastellaan myös Olkiluodon sisäisten siirtojen riskit.

Vuosien 2019–2021 aikana tarkastellaan siirtoihin tarvittavan kuljetusajoneuvon ja siihen kiinnitettävän lavetin tarvetta. Siirtoihin voidaan käyttää TVO:n ajoneuvoa ja lavettia, erityisesti mikäli käytetään TVO:n nykyistä säiliötä.

7.4.3 Kuljetusten luvittaminen (säiliöt, järjestelyt, suunnitelmat)

Vaatimukset B-tyyppin kuljetussäiliölle on esitetty IAEA:n ohjeissa ja VAK-lainsäädännössä. STUK hyväksyy käytetyn polttoaineen kuljetuksiin käytettävän säiliön rakennetyypin ohjeen YVL D.2 mukaisesti. Tavoitteena on hyväksyttävä Loviisan polttoaineelle hankittava säiliö esim. valmistusmaan viranomaisella, jolloin YVL-ohjeen mukaisesti säiliöön liittyvä luvitusaineisto pitää toimittaa STUKiin hyväksyttäväksi viimeistään kolme kuukautta ennen säiliön käyttöönottoa. Tavoitteena kuitenkin on jättää aineisto ja hakemus säiliön hyväksymisestä Posivan käyttöön STUKiin jo aiemmin noin vuotta ennen säiliön käyttöä.

Käytetyn polttoaineen kuljetuksiin tarvitaan ydinenergia-asetuksen 56–60 §:n ja YVL D.2 -ohjeen mukaisesti erillinen lupa. Kuljetuslupahakemus pitää YVL-ohjeen mukaan

toimittaa STUKille kolme kuukautta ennen aiottua kuljetusta. Kuljetuslupahakemuksen yhteydessä toimitetaan myös YVL-ohjeen mukaiset kuljetus-, valmius- ja turvasuunnitelmat. Tavoitteena on toimittaa ensimmäinen kuljetuslupahakemus sekä yllämainitut suunnitelmat noin vuotta ennen ensimmäistä aiottua kuljetusta. Kuljetuslupahakemukseen ja yllämainittuihin suunnitelmiin liittyvät selvitykset ja valmistelu on tarkoitus tehdä vuosien 2021–2022 aikana. Ennen kuljetusten aloitusta järjestetään myös koulutusta kuljetuksiin liittyville henkilöille sekä tarvittaessa viranomaisille.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttöluupahakemuksen yhteydessä pitää STUKille toimittaa selvitys kuljetusjärjestelyistä ja kuljetusten turvajärjestelyistä. Vuosina 2020–2021 tehtävät selvitykset sekä Loviisan kuljetuksiin että Olkiluodon siirtoihin liittyen toimivat pohjana ko. kuljetusjärjestely- ja turvaselvityksille.

8 KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN KAPSELOINTI- JA LOPPUSIJOITUSLAITOKSEN KÄYTTÖLUPA

8.1 Käyttölupahakemuksen jättämiseen valmistautuminen

Posivan valmistautuminen käyttölupahakemuksen jättämiseen alkaa heti rakentamisluvan myöntämisen jälkeen. Säteilyturvakeskuksen hyväksyessä rakentamislupahakemuksen yhteydessä Säteilyturvakeskukselle toimitetun aineiston ml. alustavan turvallisuusselosteen ja turvallisuusperustelun, esitti se useita vaatimuksia kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamisen ajalle ja täytettäväksi käyttölupahakemuksen jättämiseen mennessä. Posiva on tunnistanut tämän lisäksi itse kehityskohteita ja kuvannut näitä loppusijoituskonseptin kehitysohjelmassa ja luvitusuunnitelmassa. Posiva on päättänyt projektoida käyttölupahakemukseen ja loppusijoitusmenetelmän kehitykseen tarvittavat työt siten, että käyttölupahakemus jätetään vuonna 2020 ja käyttöönottovalmius saavutetaan vuonna 2023. Tätä ennen käyttölupaprojektin tehtävänä on huolehtia, että käyttölupahakemus ja siihen liittyvä aineisto laaditaan ajallaan ja laadullisesti hyvin. Käyttölupahakemuksen ja -aineiston alustava sisältö on kuvattu luvussa 8.2.

8.1.1 Käyttölupaprojekti, -organisaatio ja aikataulu

Posivan aloittaa valmistautumisen käyttölupahakemuksen jättämiseen tunnistamalla vuosien 2015 ja 2016 aikana edellytykset toteutusvaiheeseen siirtymiselle (kohta 4.4) ja loppusijoituskonseptin toteutettavuudelle (luku 5). Käyttölupaprojekti suunnitellaan ja käynnistetään vuoden 2015 aikana. Projekti jaetaan osaprojekteiksi ja määritellään Posivan johtamisjärjestelmässä kuvatuin projektihallintamenettelyin. Käyttölupaprojektia hallinnoi Posivan turvallisuusyksikkö. Posivan sisäiset vaatimukset tullaan kuvaamaan projektisuunnitelmassa, jossa esitetään projektin mm. tavoitteet, aikataulu, riskit, kustannukset, viestintä ja organisointi. Posiva käyttää käyttölupahakemuksaineiston laatimisessa omaa henkilöstöään ja alihankkijoita sekä omistajiensa osaamista.

8.1.2 Laajuus ja vaatimukset käyttölupaprojektille

Posivan käyttölupahakemukseen valmistautumista ohjaa ydinenergia-alan säännöstö ja erityisesti YLV-ohjeessa A.1 esitetään vaatimukset käyttölupa-aineiston sisällölle ja sen laatimiselle. STUK esitti myös rakentamislupa-aineistojen hyväksymisen yhteydessä lisävaatimuksia rakentamisen ajalle ja käyttölupaan liitettävälle aineistolle. Alustavaa turvallisuusselostetta tullaan ylläpitämään ohjeistetuin menettelyin siten, että siitä laaditaan lopullinen turvallisuusseloste käyttölupahakemusta varten. Käyttölupaprojektin laajuuteen kuuluu myös lopullisen turvallisuusselosteen ylläpito ja lisäselvitysten tuottaminen siihen asti, että käyttölupa on myönnetty. Tämän jälkeen lopullista turvallisuusselostetta ylläpidetään jatkuvasti vastaamaan ydinlaitoksen tilaa. Posivalla on myös järjestetty Posivan toimialaan liittyvien lakien ja säädösten seuranta, jolla varmistetaan, että kaikki vaatimukset ja tarvittavat luvat on tunnistettu ja hankittu ennen käyttölupahakemuksen jättämistä.

8.2 Käyttölupahakemuksen sisältö

8.2.1 Valmius käyttölupahakemuksen jättämiseen

Valmius käyttölupahakemuksen jättämiseen on saavutettu, kun ydinlaitos on rakennettu, luvitettu ja kelpoistettu siten, että laitoksen järjestelmät, rakenteet ja laitteet sekä toiminta voidaan kuvata käyttölupa-aineistossa ns. "as-built" -aineistona ja laitoksen turvallinen käyttö voidaan osoittaa turvallisuusanalyysien. Ydinlaitoksen käyttölupaa haetaan valtioneuvostolta. Luvan hakemista ja käsittelyä säätelevät ydinenergialaki ja ydinenergia-asetus. Lupa ydinlaitoksen käyttöön voidaan myöntää, kun ydinenergialain 20 §:n (11.12.1987/990) vaatimukset on täytetty. Ydinlaitoksen käyttöönoton saa aloittaa, kun STUK on todennut käyttölupa-aineiston ja muiden asiakirjojen osalta, että turvallisuuteen vaikuttavat tekijät ja turvallisuutta koskevat määräykset on otettu riittävästi huomioon.

8.2.2 Käyttölupahakemukseen tarvittavat selvitykset

Käyttölupahakemuksen sisältö on määritelty ydinenergia-asetuksen 33 ja 34 §:ssä ja edellytykset käyttöluvan myöntämiselle ydinenergialain 20 §:ssä. Taulukossa 8-1 on kuvattu Posivan käyttölupahakemuksen alustava rakenne.

Taulukko 8-1. Posivan käyttölupahakemuksen alustava rakenne.

<i>Valtioneuvostolle toimitettava käyttölupahakemus (Ydinenergia-asetus 33, §, edellytykset YEL 20 §)</i>	
1	hakija
2	ydinlaitoksen sijaintipaikka
3	ydinlaitoksen käyttötarkoitus
4	ydinlaitoksen laatu ja laajuus
5	ydinlaitoksen rakentamislupa
<i>Hakemuksen liitteet (Ydinenergia-asetus 24, 34 §)</i>	
1	kaupparekisteriote
2	jäljennös yhtiöjärjestyksestä
3	sijaintipaikka
4	ydinaineet ja -jätteet
5	turvallisuus-tekniset toimintaperiaatteet
6	turvallisuusperiaatteet sekä arvio toteutumisesta
7	ydinlaitoksen ympäristörasituksen rajoittaminen
8	ydinlaitoksen käyttöorganisaatio ja asiantuntemus
9	ydinjätehuolto
10	rahoitus sekä ydinlaitoksen tuotannollinen suunnitelma
11	tilinpäätösasiakirjat
12	selvitys rakentamisluvan ehtojen on noudattamisesta
13	muu viranomaisen tarpeelliseksi katsoma selvitys

Säteilyturvakeskukselle toimitettavalla käyttölupahakemusaineistolla osoitetaan ydinlaitoksen turvallinen käyttö. Posivan käyttölupa-aineisto perustuu rakentamislupahakemuksen yhteydessä toimitettuun aineistoon ja ydinenergia-asetuksessa sekä YVL-ohjeissa toimitettavaksi määriteltyihin asiakirjoihin ja selvityksiin. Taulukossa 8-2 on

kuvattu alustavasti Posivan käyttöluupa-aineistoon liitettävät selvitykset. Tämän lisäksi toimitetaan ydinjätelaitosten rakentamisen aikana, ennen käyttöluupahakemuksen jättämistä STUKille tiedoksi, tarkastettavaksi tai hyväksyttäväksi kappaleessa 8.2 esitettyä aineistoa ja myös yhteenveto laitoksen ohjeistosta.

Taulukko 8-2. Posivan käyttöluupa-aineistoon liitettävät selvitykset.

STUKille toimitettavat käyttöluupaan liittyvät selvitykset (ydinenergia-asetus 34, 36 §)	
1	lopullinen turvallisuusseloste, yleinen osa, järjestelmäosa ja aihekohtaiset raportit
2	todennäköisyysperusteinen riskianalyysi ja sen peer review
3	luokitusasiakirja
4	käytön laadunhallintaohjelma
5	turvallisuustekniset käyttöehdot
6	määräaikaistarkastusten yhteenveto-ohjelma
7	suunnitelmat turva- ja valmiusjärjestelyiksi
8	selvitys ydinaseiden leviämisen estämiseksi tarpeellisen valvonnan järjestämisestä
9	ydinlaitoksen johtosääntö
10	selvitys ympäristön säteilyn perustilasta ja ydinlaitoksen ympäristön säteilyvalvontaa koskeva ohjelma
11	selvitys turvallisuusvaatimusten täyttymisestä
12	ikäntymisen hallintaohjelma
13	turvallisuusperustelu

Posiva on lisäksi tunnistanut osana käyttöluupaprojektiin valmistautumistaan STUK:lle toimitettavaksi rakentamisen aikana ja käyttöluupahakemuksen yhteydessä YVL-ohjeiden edellyttämiä lukuisia selvityksiä mm. organisaatiosta, kuljetusten järjestelyistä, ydinvastuujärjestelyistä, tietoturvallisuudesta, laitospaikan ominaisuuksista, paloturvallisuudesta, säteilyturvallisuudesta, käyttökokemustoiminnasta, polttoainetietojen hallinnasta, koekäyttöohjelmasta ja käytöstäpoistosta.

8.3 Järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden kelpoistaminen ja hyväksyttäminen ennen käyttöluuvan jättämistä

Posivan ydinlaitoskokonaisuuden luvitus sekä järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden kelpoistaminen on kuvattu asiakirjoissa Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen luvitussuunnitelma ja kelpoistussuunnitelma.

Kelpoistusprosessilla osoitetaan tietyn vaiheen lopputuotteen kyky täyttää määritellyt vaatimukset (vastaa ISO 9000n pätevyuden osoittamista). Sillä osoitetaan, että tietyn vaiheen lopputuote on käyttötarkoitukseensa sopiva ja täyttää kaikissa suhteissa sille asetetut vaatimukset. Kelpoistuksella varmistetaan suunnitteluperusteiden oikeellisuus sekä suunnittelun ja toteutuksen riittävyys ja vaatimustenmukaisuus.

Kelpoistaminen sisältää käytännössä järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden vaatimusten oikeellisuuden ja riittävyyden arvioinnin, suunnittelun katselmuksat ja tuotteen tarkastukset sekä suunnitelmia että alkuperäistä käyttötarkoitusta vasten. Kelpoistamisella todetaan, että on syntynyt asetettujen vaatimusten mukainen hyväksytty tuote.

Tekninen kelpoistaminen voidaan jakaa seuraaviin osa-alueisiin:

- Mekaaniset ja prosessitekniset järjestelmät
- Sähkö- ja automaatiojärjestelmät
- Rakennustekniset järjestelmät
- Kalliorakentaminen (loppusijoituslaitosprojekti)
- Tekniset vapautumisestteet

Kaikilla osa-alueilla noudatetaan YVL B.1 (ydinvoimalaitoksen turvallisuussuunnittelu) vaatimuksia ja sen lisäksi kutakin osa-aluetta koskevat tietyt spesifiset YVL-ohjeet.

Kallion soveltuvuutta arvioidaan loppusijoituslaitoksen suunnittelun ja rakentamisen eri vaiheissa, alkaen koko maanalaisen loppusijoituslaitoksen asemoinnista ja edeten loppusijoituspaneelien ja loppusijoitustunneleiden yksityiskohtaisen suunnittelun ja rakentamisen kautta loppusijoitusreikien asemointiin ja rakentamiseen. Soveltuvuusluokittelu (RSC) on osa kalliorakentamisen kelpoistamista, jonka suorittaminen vaatii iteratiivisen luonteensa takia yhteensovittamista tutkimus-, mallinnus- ja suunnitteluaktiiviteettien sekä rakentamisen kanssa.

Kelpoistettavia teknisiä vapautumisestteitä ovat kuparikapseli, bentoniittipuskuri sekä erilaiset loppusijoitustunnelien täyttö- ja sulkemisratkaisut.

Järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden suunnittelun ja toteutuksen laadunvarmistusvaiheiden yhteydessä tuotettua aineistoa hyödynnetään kelpoistuksessa projektin eri vaiheissa. Varsinainen tekninen kelpoistaminen toteutetaan järjestelmätason järjestelmäkuvausten, vaatimusmäärittelyjen sekä laitetason rakennesuunnitelmien tai niitä vastaavien dokumenttien avulla. Rakennesuunnitelmat sisältävät teknisiä selvityksiä ja perusteluja kuten mitoitus- ja rakenneteknisiä asiakirjoja ja analyysejä sekä tarkastussuunnitelmat. Rakennesuunnitelman tai vastaavan dokumentaation sisältö kuvataan tarkemmin Posivan järjestelmä- tai suunnittelualakohtaisissa laatusuunnitelmissa.

Turvallisuusluokiteltujen järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden valmistajat ja valmistusprosessi tullaan hyväksyttämään kuten asianomaiset YVL-ohjeet edellyttävät. Valmiin lopputuotteen hyväksyminen valmistuksen, asennuksen, rakentamisen ja käyttöönoton jälkeen suoritetaan rakennesuunnitelman mukaisena. Turvallisuusluokkaan 3 (TL3) ja turvallisuusluokkaan 2 (TL2) kuuluvien järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden kelpoistaminen käyttötarkoitukseensa ml. ympäristökelpoisuus on osoitettava viranomaiselle (STUK). Posivan tulee luvanhaltijana lisäksi esittää viranomaiselle perusteltu johtopäätös kelpoistuksen tulosten hyväksyttävyydestä eli perusteluyhteenvedo.

Rakennesuunnitelmia ja soveltuvuusarvioita koskevat vaatimukset on esitetty laitetyyppikohtaisesti STUKin YVL-ohjeistossa. Rakennesuunnitelmat ja soveltuvuusarviot käsitellään YVL-ohjeistossa kuvatuin menettelyin. Ensimmäisten rakennesuunnitelmien ja alustavien soveltuvuusarvioiden toimittaminen STUKille on aikataulutettu tapahtuvan loppuvuonna 2015.

Kelpoistusprosessin myötä tuotettava, katselmoitava ja hyväksyttävä dokumentaatio päivittyy vaiheittain Kapselointi- ja Loppusijoituslaitosprojektien edetessä toteutus suunnittelusta valmistus- ja rakentamisvaiheiden kautta asennukseen ja käyttöönottoon.

9 VIITTEET

Ahokas, T., Paananen, M., Paulamäki, S., Tiensuu, K. & Korhonen, K. 2014. Mise-à-la-masse survey 2012–2013 in Olkiluoto and modelling of the data. Working report 2014-29. Posiva Oy, Eurajoki. 179 p.

Aro, L., Hökkä, H., Lindroos, A-J. & Rautio, P. 2013. Results of Forest Monitoring on Olkiluoto Island in 2012. Working report 2013-56. Posiva Oy, Eurajoki. 158 p.

Aro, L., Hökkä, H., Lindroos, A-J., Rautio, P., Salemaa, M., Helmisaari, H-S. & Leppälammil-Kujansuu, J. 2012. Results of Forest Monitoring on Olkiluoto Island in 2011. Working report 2012-87. Posiva Oy, Eurajoki. 108 p.

Autio, J., Hassan, Md. M., Karttunen, P. & Keto, P. 2013. Backfill Design 2012. POSIVA 2012-15. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-196-4.

Bengtsson, A., Chukharkina, A., Eriksson, L., Hallbeck, B., Hallbeck, L., Johansson, J., Johansson, L. & Pedersen, K. 2013. Development of a method for the study of H₂ gas emission in sealed compartments containing canister copper immersed in O₂-free water. SKB TR-13-13. Svensk Kärnbränslehantering AB.

CAST 2015. CARbon-14 Source Term. An Euratom Research project. <http://www.projectcast.eu/>. Viitattu 25.3.2015.

Claesson-Liljedahl, L., Lehtinen, A., Harper, J., Näslund, J.-O., Selroos, J.-O., Pitkänen, P., Puigdomenech, I., Hobbs, M., Follin, S., Hirschorn, S., Jansson, P., Järvinen, H., Kennell, L., Marcos, N., Ruskeeniemi, T., Tullborg, E.-L. & Vidstrand, P. 2015. GAP Final Report. Report POSIVA 2015 (valmisteilla). Posiva Oy, Eurajoki.

Colleoni, F., Wekerle, C., Quiquet, A. & Masina, S. 2015. Estimate of maximum ice sheet thicknesses in Olkiluoto, Finland. Working report 2015 (valmisteilla). Posiva Oy, Eurajoki.

Dixon, D. A., Priyanto, D. G., Martino, J. B., De Combarieu, M., Johansson, R., Korkeakoski, P. & Villagran, J. 2014. Enhanced Sealing Project (ESP): evolution of a full-sized bentonite and concrete shaft seal. Geological Society London Special Publications (Impact Factor: 2.58). 09/2014; 400(1):63-70. DOI: 10.1144/SP400.33

Dixon, D., Hansen, J., Korkiala-Tanttu, L., Karvonen, T.H., Marcos, N. & Sievänen, U. 2012. Underground disposal facility closure design 2012. Working report 2012-09. Posiva Oy, Eurajoki.

Eichinger, F., Hämmerli, J., Waber, H. N., Diamond, L.W. & Smellie, J.A.T. 2013. Chemistry and dissolved gases of matrix pore water and fluid inclusions in Olkiluoto bedrock from drillhole ONK-PH9. Working report 2011-63, Posiva Oy, Eurajoki. 168 p.

Enescu, N., Cosma, C. & Crawford, J. 2014. ONKALO 3D Tunnel Seismic Investigations, Olkiluoto 2013. Working report 2014-49. Posiva Oy, Eurajoki. 66 p.

Eurajoki, T. 2006. Loviisa Low and Intermediate Level Waste Repository, Safety Case. Report LOKIT-5243. Fortum Nuclear Services Oy.

Eurajoki, T. 2008. Loviisa NPP Safety Case for the Final Disposal of the Decommissioning Waste. Report TJATE-G12-114. Fortum Nuclear Services Oy.

Eurajoki, T. 2013. Loviisan matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustila; määrääikainen turvallisuusarvio. LO1-K49-00247. Fortum Power and Heat Oy.

Ferreira, M., Koskinen, P. & Vehmas, T. 2015. Durability of concrete barriers in underground nuclear waste repository conditions - Final Report of BetKYT2014. VTT-R-05746-14. Helmikuu 2015.

Fälth, B. & Hökmark, H. 2011. Modelling end-glacial earthquakes at Olkiluoto. Working report 2011-13. Posiva Oy, Eurajoki.

Fälth, B. & Hökmark, H. 2012. Modelling endglacial earthquakes at Olkiluoto. Expansion of the 2010 study. Working report 2012-08. Posiva Oy, Eurajoki.

Haapanen, A. (ed.) 2009. Results of monitoring at Olkiluoto in 2008. Environment. Working report 2009-45. Posiva Oy, Eurajoki. 272 p.

Haapanen, A. (ed.) 2010. Results of monitoring at Olkiluoto in 2009. Environment. Working report 2010-45. Posiva Oy, Eurajoki. 146 p.

Haapanen, A. (ed.) 2011. Results of monitoring at Olkiluoto in 2010. Environment. Working report 2011-45. Posiva Oy, Eurajoki. 154 p.

Haapanen, A. (ed.) 2012. Results of monitoring at Olkiluoto in 2011. Environment. Working report 2012-45. Posiva Oy, Eurajoki. 146 p.

Haapanen, A. (ed.) 2014. Results of monitoring at Olkiluoto in 2012. Environment. Working report 2013-45. Posiva Oy, Eurajoki. 180 p.

Haapanen, R. (ed.) 2005. Results of monitoring at Olkiluoto in 2004. Environment. Working report 2005-31. Posiva Oy, Eurajoki. 127 p.

Haapanen, R. (ed.) 2006. Results of monitoring at Olkiluoto in 2005. Environment. Working report 2006-68. Posiva Oy, Eurajoki. 99 p.

Haapanen, R. (ed.) 2007. Results of monitoring at Olkiluoto in 2006. Environment. Working report 2007-52. Posiva Oy, Eurajoki. 111 p.

Haapanen, R. (ed.) 2008. Results of monitoring at Olkiluoto in 2007. Environment. Working report 2008-25. Posiva Oy, Eurajoki. 111 p.

Haapanen, R., Aro, L., Helin, J., Ikonen, A.T.K. & Lahdenperä, A-M. 2013. Studies on Reference Mires: 1. Lastensuo and Pesänsuo in 2010–2011. Working report 2012-102. Posiva Oy, Eurajoki. 83 p.

- Haapanen, R., Aro, L., Kirkkala, T., Koivunen, S. & Lahdenperä, A-M. 2010. Potential Reference Mires and Lakes for Biosphere Assessment of Olkiluoto Site. Working report 2010-67. Posiva Oy, Eurajoki. 218 p.
- Haavisto, T. & Puukka, T. 2013. VLJ-luolan pohjavesikemian analyysitulosten yhteen-veto vuosilta 1989–2011. Työraportti VLJ-1/13, Maaliskuu 2013.
- Haavisto, T. 2014. Synthesis of Final Disposal Related Nuclides. Working report 2014-15. Posiva Oy, Eurajoki.
- Hagros, A., Öhberg, A. & Johansson, E. 2005. Olkiluodon VLJ-luolan kallioperän tut-kimus- ja seurantaohjelma 2006–2017. Työraportti VLJ-10/05, Joulukuu 2005.
- Hakala, M. & Valli, J. 2013. ONKALO POSE experiment – Phase 3: 3DEC prediction. Working report 2012-58. Posiva Oy, Eurajoki.
- Hakala, M., Siren, T., Kemppainen, K., Christiansson, R. & Martin, D. 2013. In situ Stress Measurement with the New LVDT-Cell – Method Description and Verification. POSIVA 2012-43. Posiva Oy, Eurajoki. 182 p.
- Hakala, M., Ström, J., Nuijten, G., Uotinen, L., Siren, T. & Suikkanen, J. 2014. Ther-mally Induced Rock Stress Increment and Rock Reinforcement Response. Working report 2014-32. Posiva Oy, Eurajoki.
- Hakanen, M., Ervanne, H. & Puukko, E. 2014. Safety case for the disposal of spent nu-clear fuel at Olkiluoto: Radionuclide migration parameters for the Geosphere. POSIVA 2012-41. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-221-3.
- Harper, J., Hubbard, A., Ruskeeniemi, T., Claesson-Liljedahl, L., Lehtinen, A., Bougamont, M., Brown, J., Dirkson, A., Dow, C., Doyle, S., Drake, H., Engström, J., Fitzpatrick, A., Follin, S., Frape, S., Graly, J., Hansson, K., Harrington, J., Henkemans, E., Humphrey, N., Jansson, P., Johnson, J., Jones, G., Kinnbom, P., Klint, K. E., Liimatainen, J., Lindbäck, K., Meierbachtol, T., Pere, T., Pettersson, R., Tullborg, E.-L. & van As D. 2015. GAP Data, processes and conceptual understanding, Working report 2015 (valmisteilla). Posiva Oy, Eurajoki.
- Hartikainen, J. 2013. Simulations of permafrost evolution at Olkiluoto. Working report 2012-34. Posiva Oy, Eurajoki.
- Hartley, L., Hoek, J., Swan, D., Appleyard, P., Baxter, S., Roberts, D. & Simpson, T. 2013. Hydrogeological modelling for assessment of radionuclide release scenarios for the repository system 2012. Working report 2012-42. Posiva Oy, Eurajoki. 318 p.
- Hartley, L., Hoek, J., Swan, D., Baxter, S. & Woollard, H. 2014. Hydrogeological dis-crete fracture modelling to support Rock Suitability Classification. Working report 2012-48. Posiva Oy, Eurajoki. 246 p.
- Hedin, A., Zetterström Evins, L. & Spahiu, K. 2013. What if criticality in the final re-pository? Memo 1417199, 27.11.2013. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. (SKB).

Helin, J., Ikonen, A.T.K. & Salo, T. 2011. Crops and garden products near Olkiluoto repository site. *Radioprotection* 46(6):S35-S41.

Hellä, P., Pitkänen, P., Löfman, J., Partamies, Wersin, P., & Vuorinen, U. 2014. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Definition of Reference and Bounding Groundwaters, Buffer and Backfill Porewaters. POSIVA 2014-04. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-242-8.

Hollmén, K., Sievänen, U., Funehag, J., Granberg, N., Lyytinen, T., Syrjänen, P. & Säippä, J. 2013. Colloidal Silica-grouting in Demonstration Tunnel 2 in ONKALO. Working report 2012-84. Posiva Oy, Eurajoki. 166 p.

Häkkinen, T., Merjama, S. & Mönkkönen, H. 2014. ONKALO Rock Mechanics Model (RMM) Version 2.3. Working report 2014-33. Posiva Oy, Eurajoki.

Hökmark, H & Fälth, B. 2014. Approach to Assessing the Stability of Olkiluoto Deformation Zones During a Glacial Cycle. Working report 2013-37. Posiva Oy, Eurajoki.

Idiart, A., Maia, F. & David Arcos, D. 2013. Geochemical Evaluation of the Near-Field for Future HLW Repository at Olkiluoto. POSIVA 2013-05. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-237-4.

Ikonen, A.T.K. & Lipping, T. (eds.) 2011. Proceedings of a seminar on sea level displacement and bedrock uplift, 10-11 June 2010, Pori, Finland. Working report 2011-07. Posiva Oy, Eurajoki. 134 s.

Ikonen, K. & Raiko, H. 2015, Thermal analyses of a KBS-3H repository (valmisteilla).

IPCC, 2014: Summary for Policymakers, In: *Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jaquet, O., Namah, R. & Jansson, P. 2010. Groundwater flow modelling under ice sheet conditions. Scoping calculations. SKB R-10-46. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Jaquet, O., Namah, R., Siegel, P. & Jansson, P. 2012. Groundwater flow modelling under ice sheet condition in Greenland (phase II). SKB R-12-14. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Johansson, E. 2014. VLJ-luolan kallioperän kalliomekaaninen monitorointi vuonna 2013. TVO työraportti VLJ-1/14.

Johansson, E. 2015. VLJ-luolan kallioperän kalliomekaaninen monitorointi vuonna 2014. TVIO työraportti VLJ-Y/15.

- Johansson, E., Siren, T., Hakala, M. & Kantia, P. 2012. ONKALO POSE Experiment - Phase 1&2: Execution and Monitoring. Working report 2012-60. Posiva Oy, Eurajoki. 130 p. + app.
- Johansson, J., Blom, A., Chukharkina, A. & Pedersen, K. 2015. Study of H₂ gas emission in sealed compartments containing copper immersed in O₂-free water. SKB TR-15-03. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Juvankoski, M. 2013. Buffer Design 2012. POSIVA 2012-14. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-195-7.
- Juvankoski, M., Jalonen, T. & Ikonen, K. 2012. Buffer Production Line 2012 - Design, Production and Initial State of the Buffer. POSIVA 2012-17. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-198-8.
- Kangasniemi, Ikonen, A.T.K. & Salmi, J.A. 2015. Element Composition and Concentration Ratios in Puskakari Colony of Great Cormorants, near Olkiluoto. Working report 2015-07. Posiva Oy, Eurajoki. 68 p.
- Kangasniemi, V. & Helin, J. 2014. Studies on the aquatic Environment at Olkiluoto and Reference Area: 1. Olkiluoto, Reference Lakes and Eurajoki and Lapijoki Rivers in 2009–2010. Working report 2013-65. Posiva Oy, Eurajoki. 184 p.
- Kari, O-P. 2015. Long-term aging of concrete structures in Finnish rock caverns as application facilities for low- and intermediate- level nuclear waste. Aalto University publication series DOCTORAL DISSERTATIONS, 9/2015. ISBN: 978-952-60-6052-1 (electronic) 978-952-60-6051-4 (printed).
- Karvonen, T.H., Kumpulainen, S. & Paukku, E. 2015. Retrieval and Performance Evaluation of OL-KR24 Borehole Closure Materials. Working report 2015-34. Posiva Oy, Eurajoki (valmisteilla).
- Keto, P. (ed.), Hassan, M., Karttunen, P., Kiviranta, L., Kumpulainen, S., Korkiala-Tanttu, L., Koskinen, V., Jalonen, T., Koho, P. & Sievänen, U. 2013. Backfill production line 2012 - Design, production and initial state of the deposition tunnel backfill and plug. POSIVA 2012-18. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-199-5.
- Koskinen, K. 2014. Effects of Cementitious Leachates on the EBS. POSIVA 2013-04. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-236-7.
- Lahdenperä, A-M. 2009. Summary of the overburden studies of the soil pits OL-KK14, OL-KK15, OL-KK16, OL-KK17, OL-KK18 and OL-KK19 at Olkiluoto, 2008. Working report 2009-109. Posiva Oy, Eurajoki. 92 p.
- Lahdenperä, A-M. 2014a. Geochemical and Physical Properties, Distribution Coefficients of Soils and Sediments at the Olkiluoto Island and in the Reference Area in 2010–2011. Working report 2013-66. Posiva Oy, Eurajoki.

- Lahdenperä, A-M. 2014b. Comparison of Different Extractions of the Soil Samples OL-FEH914254, OL-FEH917258 and OL-FIP10, Olkiluoto, SW Finland. Working report 2013-67. Posiva Oy, Eurajoki. 64 p.
- Lahdenperä, A-M., Palmén, J. & Hellä, P. 2005. Summary of overburden studies at Olkiluoto with an emphasis on geosphere-biosphere interface. Working report 2005-11. Posiva Oy, Eurajoki. 85 p.
- Lehtonen, A. 2014. VLJ-luolan hydrologinen monitorointi vuonna 2013. TVO työraportti VLJ-2/14.
- Lehtonen, A. 2015. VLJ-luolan hydrologinen monitorointi vuonna 2014. TVO työraportti VLJ-X/15.
- Leoni, M. 2012. 2D and 3D finite element analysis on buffer-backfill interaction. POSIVA 2012-25. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-206-0.
- Leupin, O. (ed), Birgersson, M., Karnland, O., Korkeakoski, P., Sellin, P., Mäder, U. & Wersin, P. 2014. Montmorillonite Stability Under Near-field Conditions. Nagra Technical Report NTB 14-12. Nagra, Wettingen.
- Lintinen, P. & Kahelin, H. 2003. Soil sample analyses of Olkiluoto 2003. Working report 2003-38. Posiva Oy, Eurajoki. 29 p.
- Lintinen, P., Kahelin, H., Lindqvist, K. & Kaija, J. 2003. Soil sample analyses of Olkiluoto. Working report 2003-01. Posiva Oy, Eurajoki. 123 p.
- Lund, B. & Schmidt, P. 2011. Stress evolution and fault stability at Olkiluoto during the Weichselian glaciations. Working report 2011-14. Posiva Oy, Eurajoki.
- Lusa, M., Ämmälä, K., Hakanen, M., Lehto, J. & Lahdenperä, A-M. 2009. Chemical and geotechnical analyses of soil samples from Olkiluoto for studies on sorption in soils. Working report 2009-33. Posiva Oy, Eurajoki. 151 p.
- McEwen, T. (ed.), Aro, S., Kosunen, P., Mattila, J., Pere, T. Käpyaho, A. & Hellä, P. 2012. Rock Suitability Classification - RSC 2012. POSIVA 2012-24. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-205-3.
- Mustonen, S., Norokallio, J., Mellanen, S., Lehtimäki, T. & Heikkinen, E. 2010. EDZ09 Project and Related EDZ studies in ONKALO 2008–2010. Working report 2010-27. Posiva Oy, Eurajoki. 420 p.
- Norris, S. (ed). 2013. Synthesis Report: Updated Treatment of Gas Generation and Migration in the Safety Case1 FORGE Report D31.5R. 116+ixpp.
- Nummi, O. 2014. Loviisan luolan turvallisuusperustelu 2018. Projektisuunnitelma. LO1-T3552-00001. Fortum Power and Heat Oy.
- Ojala, A.E.K. 2011. Sedimenttistratigrafia ja sedimentaatioympäristön muutokset Itämerestä kuroutuneissa järvissä Satakunnassa (in Finnish with an English abstract: Se-

diment lithostratigraphy and past changes in sedimentary environment in isolated lakes in Satakunta region. Working report 2011-87. Posiva Oy, Eurajoki. 64 p.

Ollila, K. 2013. Copper corrosion experiments under anoxic conditions. SKB R-13-34. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Pedersen, K., Arlinger, J., Bengtsson, A., Edlund, J., Eriksson, L., Hallbeck, L., Johansson, J., Pääjärvi, A. & Rabe, L. 2013. Sulphate reduction experiment SURE-1. Working report 2013-57. Posiva Oy, Eurajoki. 48 p.

Pekkarinen, M., 2014. The effect of the FPI-Rule on the Suitability of the KBS-3H Concept. Working report 2014-63. Posiva Oy, Eurajoki.

Pere, T. (ed.), Aro, L. & Tuohimaa, M. 2015. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2013 - Environment. Working report 2014-45. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla).

Pimenoff, N., Venäläinen, A. & Järvinen, H. 2011. Climate scenarios for Olkiluoto on a Time-Scale of 120,000 Years. POSIVA 2011-4. Posiva Oy, Eurajoki.

Pimenoff, N., Venäläinen, A. & Järvinen, H. 2012. Climate and Sea Level Scenarios for Olkiluoto for the next 10,000. POSIVA 2012-26. Posiva Oy, Eurajoki.

Pintado, X., Adesola, F. & Turtiainen, M. 2013. Down-scaled Buffer Tests. Working report 2012-100. Posiva Oy, Eurajoki.

Pitkänen, J. 2010. Inspection of bottom and lid welds of disposal canister. POSIVA 2010-04. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-175-9.

Pitkänen, J. 2014. Inspection of Disposal Canister Components. POSIVA 2012-35. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-216-9.

Pitkänen, P., Ahokas, H., Ylä-Mella, M., Partamies, S., Snellman, M. & Hellä, P. (ed.) 2007. Quality Review of Hydrochemical Baseline Data from the Olkiluoto Site. POSIVA 2007-05. Posiva Oy, Eurajoki. 134 p.

Pohjola, J., Turunen, J. & Lipping, T. 2012. Statistical Estimation of Land Uplift Model Parameters Based on Archaeological and Geological Shore Level Displacement Data. Working report 2012-86. Posiva Oy, Eurajoki.

Pohjola, J., Turunen, J., Lipping, T. & Ikonen, A.T.K. 2014. The Estimation of Future Surface Water Bodies at Olkiluoto Area based on Statistical Terrain and Land Uplift Models. Working report 2014-11. Posiva Oy, Eurajoki. 44 p.

Posiva 2003. TKS-2003, Nuclear Waste Management of the Olkiluoto and Loviisa Power Plants: Programme for Research, Development and Technical Design for 2004-2006. Posiva Oy, Eurajoki.

Posiva 2006. TKS-2006, TKS-2006 Nuclear Waste Management of the Olkiluoto and Loviisa Power Plants: Programme for Research, Development and Technical Design for 2007-2009. Posiva Oy, Eurajoki.

Posiva 2008. Safety Case Plan 2008. POSIVA 2008-05. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-165-0

Posiva 2009. TKS-2009, Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuolto: Selvitys suunnitelluista toimenpiteistä ja niiden valmistelusta vuosina 2009–2012. Posiva Oy, Eurajoki.

Posiva 2012a. YJH-2012, Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuollon ohjelma vuosille 2012–2015. Posiva Oy, Eurajoki.

Posiva 2012b. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Design Basis 2012. POSIVA 2012-03. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-184-1.

Posiva 2012c. Description of KBS-3H Design Variant. POSIVA 2012-50. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-232-9.

Posiva 2012d. Monitoring at Olkiluoto – a Programme for the Period Before Repository Operation. POSIVA 2012-01. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-182-7.

Posiva 2012e. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Description of the Disposal System 2012. POSIVA 2012-05. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-186-5.

Posiva 2012f. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Features, Events and Processes 2012. POSIVA 2012-07. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-188-9

Posiva 2012g. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Assessment of Radionuclide Release Scenarios for the Repository System 2012. POSIVA 2012-09. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-190-2.

Posiva 2012h. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Complementary Considerations 2012. POSIVA 2012-11. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-192-6.

Posiva 2012i. Safety case for the disposal of spent nuclear fuel at Olkiluoto – Synthesis 2012. POSIVA 2012-12. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-193-3.

Posiva 2012j. Olkiluoto Site Description 2011. POSIVA 2011-02. Posiva Oy Eurajoki. ISBN 978-951-652-179-7.

Posiva 2013a. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Performance Assessment 2012. POSIVA 2012-04. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-185-8.

Posiva 2013b. Underground Openings Production Line 2012 – Design, Production and Initial State of the Underground Openings. POSIVA 2012-22. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-203-9.

Posiva 2013c. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Formulation of Radionuclide Release Scenarios 2012. POSIVA 2012-08. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-187-2.

Posiva 2013d. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Models and Data for the Repository System 2012, Parts 1&2. POSIVA 2013-01. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-233-6.

Posiva 2013e. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Biosphere Assessment 2012. POSIVA 2012-10. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-191-9.

Posiva 2013f. Olkiluoto Biosphere Description 2012. POSIVA 2012-06. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-187-2.

Posiva 2013g, KBS-3H Complementary studies 2008–2010. POSIVA 2013-03. Posiva Oy, Eurajoki. 322 p. ISBN 978-951-652-235-0.

Posiva 2014a. Loppusijoituskonseptin kehitysohjelma. Toimintasuunnitelma POS-018285, julkaistu 29.4.2014. Posiva Oy, Eurajoki. 120 s.

Posiva 2014b. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Data Basis for the Biosphere Assessment BSA-2012. POSIVA 2012-28. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-209-1.

Posiva 2014c. Safety case for the disposal of spent nuclear fuel at Olkiluoto – FEP Screening and Processing. POSIVA 2014-03. Posiva Oy, Eurajoki. 148 p. ISBN 978-951-652-241-1.

Posiva 2015. Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuolto - Yhteenveto vuoden 2014 toiminnasta.

Purhonen, T. 2014. State of the Art of the Welding Method for Sealing Spent Nuclear Fuel Canister Made of Copper Part 1 - FSW. Working report 2014-22. Posiva Oy, Eurajoki.

Puukko, E. 2014 Sorption of Cesium on Intact Rock. Working report 2014-13. Posiva Oy, Eurajoki.

Pässe, T. 2001. An empirical model of glacio-isostatic movements and shore-level displacement in Fennoscandia. SKB R-01-41.

Raiko, H. (ed.), Jalonen, T., Nolvi, L., Pastina, B., Pitkänen, J. & Salonen, T. 2012. Canister Production Line 2012 – Design, production and initial state of the canister. POSIVA 2012-16. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-197-1.

Ranta-aho, A. 2014. Criticality safety calculations of the encapsulation plant. TVO Memorandum, 157647. 22.4.2014.

Roth, O. 2015. A Study of Instant Release Fractions and Matrix Dissolution Rate of two Fuels Irradiated in Olkiluoto. Working report 2015-19. Posiva Oy, Eurajoki.

Salonen, T. 2014. State of the Art of the Welding Method for Sealing Spent Nuclear Fuel Canister Made of Copper Part 2 - EBW. Working report 2014-21. Posiva Oy, Eurajoki.

Sane, P. (ed.), Laurila, T., Olin, M. & Koskinen, K. 2013. Current Status of Mechanical Erosion Studies of Bentonite Buffer. POSIVA 2012-45. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-227-5.

Sauramo, J. 2013. Kaasun kehittyminen matala-aktiivisen voimalaitosjätteen loppusijoituksessa. Diplomityö. TVO.

Shen, B., Siren, T. & Rinne, M. 2014. Modelling Fracture Propagation in Anisotropic Rock Mass. Rock Mechanics and Rock Engineering. Springer, Vienna.

Sievänen, U., Karvonen, T.H., Dixon, D., Hansen, J. & Jalonen, T. 2012. Closure production line 2012 – Design, production and initial state of the underground disposal facility closure. POSIVA 2012-19. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-200-8.

Simelius, C. 2013. Geometrical and Mechanical Properties of the Fractures and Brittle Deformation Zones, 4390–4990 m Tunnel Chainage and the Technical Rooms. Working report 2013-32. Posiva Oy, Eurajoki.

Siren, T. 2011. Fracture Mechanics Prediction for Posiva's Olkiluoto Spalling Experiment (POSE). Working report 2011-23. Posiva Oy, Eurajoki.

Siren, T. 2015. ONKALO POSE experiment - Phase 3: FRACOD2D prediction. Working report 2012-59. Posiva Oy, Eurajoki.

Siren, T., Hakala, Valli, J., M., Kantia, P., Hudson, J. & Johansson, E. 2015. In situ strength and failure mechanisms of migmatitic gneiss and pegmatitic granite at the nuclear waste disposal site in Olkiluoto, Western Finland. Submitted to International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.

Siren, T., Uotinen, L., Rinne, M. & Shen, B. 2014. Fracture Mechanics Modelling of an In Situ Concrete Spalling Experiment. Rock Mechanics and Rock Engineering. Springer, Vienna.

SKB 2008. SKB R-08-42 KBS-3H post-grouting, Mega-Packer test at -220 m level at Äspö HRL. Stockholm, Sweden: Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. (SKB). Report R-08-42. 67 p. ISSN 1402-3091.

SKB 2011. Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark - Main report of the SR-Site project. Stockholm, Sweden: Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. (SKB). Technical Report TR-11-01. 893 p. ISSN 1404-0344.

SKB 2014. Tests and simulations of THM processes relevant for the buffer installation. Stockholm, Sweden: Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. (SKB). Report P-14-22. 89 p. ISSN 1651-4416.

SKB 2015. Upgrading the deposition machine for the Multi Purpose Test. Stockholm, Sweden: Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. (SKB). Report P-14-08. 57 p. ISSN 1651-4416

Smellie, J.A.T (ed.), Pitkänen, P., Koskinen, L., Aaltonen, I., Eichinger, F., Waber, N., Sahlstedt, E., Siitari-Kauppi, M., Karhu, J., Löfman, J. & Poteri, A. 2014. Evolution of the Olkiluoto site: Palaeohydrogeochemical Considerations. Working report 2014-27. Posiva Oy, Eurajoki. 220 p.

Smith, P., Neall, F., Snellman, M., Pastina, B., Nordman, H., Johnson, L. & Hjerpe, T. 2007. Safety assessment for a KBS-3H spent nuclear fuel repository at Olkiluoto – Summary report. POSIVA 2007-06 and SKB R-08-39. Posiva Oy, Eurajoki and Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co (SKB), Stockholm.

Sorjonen J. 2013. Käytetyn polttoaineen varastointistrategia 2013–2040. LO1-K917-00017. Fortum Power and Heat Oy, Espoo.

Sorjonen J. 2015. Selvitys vuotavan polttoaineen käsittelystä. MFD6YX73XV52-3-1636, 21.1.2015. Fortum Power and Heat Oy, Espoo.

Suolonen, V. & Rossi, J. 2012. Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusten riskienhallinta. Työraportti 2012-67. Posiva Oy, Eurajoki.

Szakálos, P., Hultquist, G. & Wikmark, G. 2007. Corrosion of copper by water. Electrochemical and Solid-State Letters. Vol. 10, no. 11, p. C63-C67. ISSN 10990062.

Söderlund, M. & Lehto, J. 2012. Sorption of Molybdenum, Niobium and Selenium in Soils. Working report 2012-38. Posiva Oy, Eurajoki. 98 p.

Söderlund, M., Lusa, M., Lehto, J., Hakanen, M. & Lahdenperä, A-M. 2011. Sorption of Iodine, Chlorine, Technetium and Cesium in soil. Working report 2011-04. Posiva Oy, Eurajoki. 130 p.

Söderlund, M., Lusa, M., Virtanen, S., Välimaa, I., Hakanen, M., Lehto, J. & Lahdenperä, A-M. 2013. Distribution coefficients of Caesium, Chlorine, Iodine, Niobium, Selenium and Technetium on Olkiluoto Soils. Working report 2013-68. Posiva Oy, Eurajoki. 150 p.

Thölix, L., Korhonen, N., Venäläinen, A. & Korhonen, H. 2015. Sensitivity tests and glaciation scenarios of the future with CLIMBER-2–SICOPOLIS model system. Working report 2015-XX. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla).

Toropainen, V. 2014a. Injektointi- ja kontrollireikien kairaus ja vesimenekkimittaus ONKALOn poistoilmakuilulla 2010–2011. Working report 2014-61. Posiva Oy, Eurajoki. 96 p.

- Toropainen, V. 2014b. Injektointi- ja kontrollireikien kairaus ja vesimenekkimittaus ONKALON tuloilmakuilulla 2010–2013. Working report 2014-62. Posiva Oy, Eurajoki. 170 p.
- Toropainen, V. 2014c. Injektointi- ja kontrollireikien kairaus ja vesimenekkimittaus ONKALON henkilökuilulla 2010–2014. Working report 2014-71. Posiva Oy, Eurajoki. 124 p.
- Trincherro, P., Román-Ross, G., Maia, F. & Molinero, J. 2014. Posiva Safety Case Hydrogeochemical Evolution of the Olkiluoto Site. Working report 2014-09. Posiva Oy, Eurajoki.
- Valli, J., Hakala, M., Wanne, T., Kantia, P. & Siren, T. 2014. ONKALO POSE experiment – Phase 3: Execution and monitoring. Working report 2013-41. Posiva Oy, Eurajoki.
- Valli, J., Kuula, H. & Hakala, M. 2011. Modelling of the in situ Stress State at Olkiluoto. Working report 2011-34. Posiva Oy, Eurajoki.
- Wersin, P., Alt-Epping, P., Pitkänen, P., Román-Ross, G., Trincherro, P., Molinero, J., Smith, P., Snellman, M., Filby, A. & Kiczka, M. 2014c. Sulphide fluxes and concentrations in the spent nuclear fuel repository at Olkiluoto. POSIVA 2014-01. Posiva Oy, Eurajoki. 238 p. ISBN 978-951-652-239-8.
- Wersin, P., Kiczka, M. & Rosch, D. 2014a. Safety case for the disposal of spent nuclear fuel at Olkiluoto: Radionuclide solubility limits and migration parameters for the canister and buffer. POSIVA 2012-39. Posiva Oy, Eurajoki. 226 p. ISBN 978-951-652-219-0.
- Wersin, P., Kiczka, M., Rosch, D., Ochs, M. & Trudel, D. 2014b. Safety case for the disposal of spent nuclear fuel at Olkiluoto: Radionuclide solubility limits and migration parameters for the backfill. POSIVA 2012-40. Posiva Oy, Eurajoki. 166 p. ISBN 978-951-652-220-6.
- Vidstrand, P. 2015. Concept testing and site-scale groundwater flow modelling of the ice sheet marginal area of the Kangerlussuaq region, Western Greenland. SKB R-15-01. Svensk Kärnbränslehantering AB. (valmisteilla)
- Virtanen, S. 2011. Luonnon radionuklidien fraktiointi vaiheittaisten uuttojen avulla maaperä- ja sedimentinäytteistä (In Finnish with an English abstract: Fractination of natural radionuclides from soil and sediment samples with sequential extractions). Working report 2011-55. Posiva Oy, Eurajoki. 98 p.
- Vuorela, A., Penttinen, T. & Lahdenperä, A-M. 2009. Review of Bothnian Sea Shore-Level Displacement Data and Use of a GIS Tool to Estimate Isostatic Uplift. Working report 2009-17. Posiva Oy, Eurajoki.