



YJH-2012

Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuollon ohjelma vuosille 2013—2015

Posiva Oy

Syyskuu 2012

YJH-2012

Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuollon ohjelma vuosille 2013–2015

Posiva Oy

Syyskuu 2012

Base maps: ©National Land Survey, permission 41/MML/12

YHTEENVETO

Raportin tausta ja tarkoitus

Suomen ydinjätehuoltoa ohjaavat vuonna 1988 voimaan astuneet ydinenergialaki (YEL 990/1987) ja ydinenergia-asetus (YEA 161/1988), joissa määritellään muun muassa ydinenergian tuottajan velvollisuudet, ydinjätehuollon toteuttaminen, lupakäsittelyt ja valvontaoikeudet. Vuonna 1994 ydinenergialakia muutettiin niin, että kaikki Suomessa syntyvä ydinjäte on loppusijoitettava Suomeen.

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. Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM; aiemmin kauppa- ja teollisuusministeriö, KTM) päättää lain mukaan periaatteista, joita ydinjätehuollossa on noudatettava. Lain mukaan ydinjätehuoltovelvollisten tulee myös 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 voimaan astuneen ydinenergialain muutoksen jälkeen selvitys annetaan kolmen vuoden välein ja sen tulee kuvata yksityiskohtaisesti seuraavan kolmivuotiskauden toimenpiteet ja pääpiirteittäin myös tätä seuraavien kolmen vuoden suunnitelmat. YJH-2012 on ydinenergia-asetuksen 74 §:n tarkoittama kokonaissuunnitelma.

Vuosittaisten ydinjätehuoltoa koskevien selvitysten lisäksi ydinjätehuoltovelvolliset ovat jo vuodesta 2003 lähtien laatineet kolmivuotissuunnitelmia Olkiluodon ja Loviisan ydinjätehuololle. Tehdyt selvitykset (TKS-2003, TKS-2006 ja TKS-2009) ovat käsittäneet paitsi suunnitelmat tulevasta tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyöstä (TKS-työ), myös arvion ydinjätehuollon tilanteesta erityisesti käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusvalmistelujen osalta. Nyt laadittu selvitys, ydinjätehuolto-ohjelma YJH-2012, noudattelee pitkälti samoja suuntaviivoja kuin edeltäjänsä.

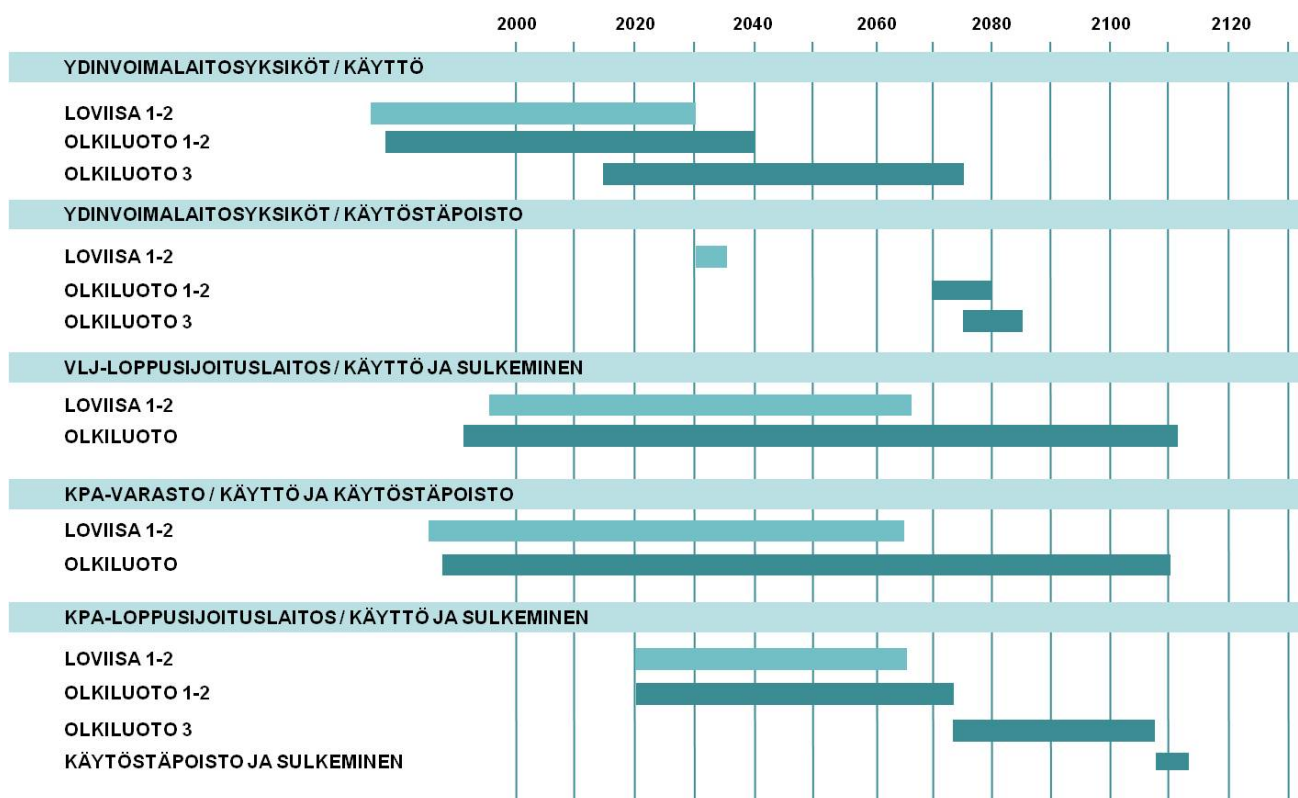
TVO ja Fortum huolehtivat itse omien voimalaitostensa voimalaitosjätteen varastoinnista, käsittelystä ja loppusijoituksesta voimalaitospaikoillaan. Kummallakin laitospaikalla on jo käytössä oleva loppusijoituslaitos, johon sijoitetaan käytön aikana syntyvä voimalaitosjäte. Samojen laitosten yhteyteen on tarkoitus loppusijoittaa aikanaan voimalaitosten käytöstäpoiston yhteydessä syntyvä jäte. Käytetyn ydinpolttoaineen huollon järjestämiseksi TVO ja Fortum perustivat vuonna 1995 Posiva Oy:n (Posiva), jonka tehtävänä on huolehtia omistajiensa käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta.

Käytetyn polttoaineen loppusijoituksen aikataulu on määrätty KTM:n päätöksessä 9/815/2003. Päätöksen mukaan ydinjätehuoltovelvollisten tulee joko erikseen, yhdessä tai Posivan välityksellä varautua esittämään vuoden 2012 loppuun mennessä ydinenergia-asetuksen mukaiset käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen rakentamislupaa varten tarvittavat selvitykset ja suunnitelmat. Niistä tulee ilmetä, että loppusijoituslaitoksen toiminta mahdollista aloittaa noin vuonna 2020.

Voimalaitosjätteen käsittely ja loppusijoitus noudattavat jo vakiintuneita linjoja, eikä edessä olevalla kolmivuotiskaudella ole nähtävissä merkittäviä uusia tutkimustarpeita eikä muutoksia nykyisiin käytäntöihin. Voimalaitosten käytöstäpoistosta on jätettävä erillisiä selvityksiä määrävälein ja niihin tarvittava tutkimus- ja kehitystyö raportoidaan erikseen. TVO ja Fortum jättivät ajan tasalle saatetut käytöstäpoistosuunnitelmansa viranomaiselle vuoden 2008 joulukuussa. Molempien voimalaitosten voimalaitosjätteen loppusijoituksen turvallisuusperustelut päivitettiin viimeksi vuonna 2006.

Suurin osa seuraavan kolmivuotiskauden tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyöstä suuntautuu käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen. YJH-2012-ohjelman päätavoitteena on esittää, miten vuosien 2013–2015 tehtävällä työllä saatetaan rakentamislupahakemusvaiheen suunnitelmat sellaiseen valmiuteen, että hankkeen toteuttaminen on mahdollista aloittaa. Ohjelmakauden loppupuolella on tarkoitus valmistautua yhteistoimintakokeisiin. Niiden avulla osoitetaan, että käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittaminen KBS-3-menetelmällä Olkiluodossa on mahdollista.

Ohjelmassa käsiteltävä työ käsittää Olkiluodon loppusijoituspaikan varmentavien tutkimusten loppuunsaattamisen, tarvittavien laitosten suunnittelun ja käytettävän loppusijoitustekniikan kehittämisen loppusijoitustoiminnan edellyttämälle tasolle sekä edessä olevaan käyttölupahakemukseen liitettävän pitkäaikaisturvallisuutta koskevan turvallisuusperustelun tuottamisen. Loppusijoituksen perussuunnitelman mukaisen työn ohessa selvitetään Ruotsin SKB:n kanssa yhteistyössä vaihtoehtoisen ns. vaakasijoitusratkaisun (KBS-3H) toteutettavuutta ja pitkäaikaisturvallisuutta. Ohjelmassa esitettyjen töiden ajoittumisen ja osin sisällönkin kannalta on ratkaisevaa, miten vuoden 2012 aikana jätettävän rakentamislupahakemuksen käsittely etenee viranomaispalautteineen ja milloin rakentamislupa myönnetään.



Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuollon kokonaisaikataulu.

Olkiluodon varmentavat paikkatutkimukset

Loppusijoituspaikan karakterisointi ja mallinnus

Syksyllä 2012 ilmestynyt Olkiluodon paikankuvausraportti (*Site Description*) on yhteenveto varmentavista tutkimuksista, joilla osoitetaan Olkiluodon soveltuvuus loppusijoituspaikaksi. Pari kymmentä vuotta jatkuneissa tutkimuksissa ei ole ilmennyt merkkejä seikoista, jotka voisivat kyseenalaistaa soveltuvuuden. Eräistä Olkiluodon piirteistä tehdään kuitenkin vielä tarkentavia lisätutkimuksia tulevan kolmevuotiskauden aikana.

Loppusijoituspaikan kallioperän karakterisoinnin ja mallinnuksen päätavoitteena on tuottaa vuoden 2016 loppuun mennessä ajan tasalle saatettu paikankuvausraportti (Olkiluoto Site Description 2016). Sitä käytetään turvallisuusarvioinnin päivityksessä sekä laitossuunnitelmien laatimiseen. Ohjelmakauden aikana tutkimukset keskittyvät aikaisemman paikkaraportoinnin yhteydessä havaittujen avoimien asioiden selvittämiseen ja puutteiden täydentämiseen, kuten esimerkiksi loppusijoitusalueen itäosan rakennemallien luotettavuuden parantamiseen, jännitystilan seikkaperäisempään ymmärtämiseen loppusijoitussyvyydellä, hydrogeokemiallisten prosessien kuvaamiseen sekä kallioperän kivilajien matriksiominaisuuksien määrittämiseen.

Alkavan ohjelmakauden aikana nykyistä pintahydrologian mallia ylläpidetään ja kehitetään, jotta mallin sovellettavuutta eri laskentatapauksiin voidaan lisätä. Geologian mallin tarkistuksessa käytetään tutkimusalueen itäosan geologian ja geofysiikan tutkimustietoja, ONKALON kartoitusaineistoja sekä muun muassa uutta lineamenttitulkintaa. Kalliomekaanista mallia tarkistetaan vaiheittain uuden tiedon karttuessa ja sitä kehitetään käytettävyyden parantamiseksi. Malli on tarkoitus ottaa jatkossa toteuttamisen työkaluksi loppusijoituslaitoksen suunnittelijoiden ja rakentajien käyttöön. Hydrogeologiset tutkimukset keskittyvät ohjelmakaudella erityisesti suunnittelualueen itäosan hydrogeologisten ominaisuuksien selvittämiseen sekä ONKALON pohjavesivaikutusten arviointiin. Hydrogeologisen rakennemallin saattaminen vastaamaan kertynyttä tietoa valmistuu vuoden 2014 aikana. Hydrogeokemian tutkimusten teemat kytkeytyvät pohjavesisysteemin kemialliseen kokonaispuskurikapasiteettiin, sulfidin kiertoon sekä suolaisuuden jakaumaan ja palaeohydrogeologiseen kehitykseen. Radionuklidien kulkeutumisominaisuuksien konseptia tarkistetaan uuden geologisen kartoitusaineiston ja laboratoriotutkimusten perusteella. ONKALON tutkimustilassa 5 tehtävä matriisidiffuusiokoe REPRO viedään päätökseen tulevalla ohjelmakaudella. Kokeen tavoitteena on tuottaa kulkeutumismallinnuksen käyttöön paikkakohtaista tietoa kallion pidättymiskyvystä loppusijoitussyvyydellä.

Kallion soveltuvuusluokittelu RSC

Kallion soveltuvuusluokitteludemonstraation työt jatkuvat ohjelmakauden alussa ONKALOSSA. Vuonna 2013 tehdään loput suunnitelluista kairareikästudiumuksista ja viimeistellään soveltuvuusluokittelumenettely (RSC). Aiemmin laadittu pienen mittakaavan malli laajennetaan kattamaan ONKALON demonstraatioalueet, tekniset tilat ja suunnitellun ensimmäisen loppusijoituspaneelin alue kokonaisuudessaan. Töiden

edetessä luokittelukriteerien toimivuutta arvioidaan ja tarvittaessa tarkennetaan. Ohjelmakauden kuluessa laaditaan soveltuvuusluokittelumenetelmää kuvaava käsikirja. Maanalaisten järjestelmien yhteistoimintakokeeseen tähtäävät RSC-työt aloitetaan alkavalla ohjelmakaudella. Ensimmäisen loppusijoituspaneelin työtä aloitettaessa tutkimukset rytmitetään rakentamisen kanssa luokittelumenettelyn mukaisesti. Ennen käyttöluupahakemuksen jättämistä on suunniteltu julkaistavaksi Posiva-raportti, joka sisältää kattavasti RSC:n soveltamisesta saadut kokemukset, tehdyn kehitystyön ja mahdollisesti tarkistettun luokittelumenettelyn.

Teknisten vapautumisesteiden suunnittelu

Teknisten vapautumisesteiden kehitystyö jakautuu kapseli- ja savilinjoihin koordinoitaviin tehtäviin. Kapselilinjaan kuuluvat kapselin suunnittelu-, valmistustekniikan kehitys-, sulkemistekniikan kehitys- sekä tarkastustekniikoiden kehitystehtävät. Savilinjassa koordinoitaan puskurin, loppusijoitustunnelien täytön ja päätytulpan sekä tilojen sulkemiskäytösten suunnittelu- ja kehitystehtäviä.

Loppusijoituskapseli muodostuu kuparisesta ulkokuoresta ja valurautaisesta sisäosasta, jonka sisälle käytetyt ydinpolttoaineputket sijoitetaan. Kapselin suunnitteluanalyysiä on tehty kapselia rasittavien kuormitusten ja kapselin kestävyys-, kapselikomponenttien materiaalityyppien ja jäännösjännitysten enimmäissallittavuuden sekä kriittisyysturvallisuuteen liittyvien kysymysten ratkaisemiseksi. Kapselien suunnittelun yhteenveto on esitetty suunnitelmaraportissa (Raiko 2012) ja kapselin koko tuotantolinjan raportissa *Canister Production Line report*. Kapselin suunnittelussa, toimintakyvyn osoittamisessa ja tuotantolinjan määrittelyssä on edelleen muutama aihepiiri, joissa selvitystyötä jatketaan ohjelmakaudella. Näistä keskeisimmät ovat

- kapselin kalliosiirosanalyysin uusiminen aikaisemman deterministisen menetelmän lisäksi todennäköisyyspohjaisena (PRA) analyysinä, jolloin saadaan realistisempi kuva riskitasosta ja vaadittavista materiaalin sitkeys- ja eheyskriteereistä,
- hyväksymiskriteerien laatiminen kapselikomponenttien ja suljetun kapselin niille ominaisuuksille, jotka ovat tärkeitä loppusijoituksen turvallisuuden kannalta,
- laadunvalvontaohjelmien laatiminen kapselikomponenttien valmistukselle, sulkemiselle ja käsittelylle, sekä
- kapselin sisäkannen tiivistämisratkaisun suunnittelu sekä palamahyvityksen käytön perustelu uusien polttoaineiden kriittisyysturvallisuuden osoittamiseksi kapselissa myös pitkällä aikavälillä.

Kapselikomponenteille ja sulkemishitsille on suunnitteluaineistossa esitetty alustavat hyväksymiskriteerit. Ennen käyttövaiheeseen siirtymistä esitetään hyväksyttäväksi kapselirakenteiden ennakkotarkastusaineistot, joissa oleellisena osana on rakennesuunnitelma, jossa esitetään kaikille osille ja valmistusvaiheille hyväksymiskriteerit. Laadunvalvontaohjelman tarkastuksissa käytetään näitä kriteereitä rakenteen hyväksyttävyyden mittana. Alustavat hyväksymiskriteerit esitetään rakennesuunnitelmassa perusteltuina ja systemaattisina kokonaisuuksina. Kolmas rakennesuunnitelmavaiheessa tarvittava dokumentaatio on valmistuspiirustukset, jotka tuotetaan nykyisten alustavien piirustusten sekä mita- ja toleranssitietojen perusteella. Kapselikomponenttien valmistuskokeita jatketaan jäljellä olevien kehityskohteiden

osalta valmistustekniikan päteväntekijien valmistautumiseksi ja osaamisen ylläpitämiseksi.

Kuparivaipan sulkemismenetelmän valinta tehdään ensimmäisen kolmivuotiskauden alkupuolella elektronisuihkuhitsauksen (EBW) ja kitkatappihitsauksen (FSW) välillä. Hitsausprosessin kehitystyötä jatketaan valitulla menetelmällä tavoitteena sen liittäminen kapselointilaitoksen järjestelmäksi. Menetelmän valinnan jälkeen laaditaan yleispiirteinen hitsauksen päteväntekijäsuunnitelma. Hitsauslaitteistosta laaditaan rakennesuunnitelma.

Kapselikomponenttien ja hitsin tarkastusmenetelmiä kehitetään edelleen tavoitteena niiden tuleva käyttö kapselointilaitoksessa sekä kapselien valmistuksessa. Keskeisiä kehityskohteita ovat vian koon määrittäminen ja luotettavuus, eri menetelmien tarkastustulosten yhdistäminen ja sitä seuraavan hyväksymis- ja hylkäämisprosessin kehittäminen. Kapselikomponenttien tarkastusten päteväntekijäsuunnitelmaan liittyviä osa-alueita (tekniset perustelut, vialuettelo, mahdollisten valmistuksessa syntyvien vikatyypien arviointi) ja hyväksymiskriteerejä kehitetään edelleen tähdäten tarkastusmenetelmien päteväntekijäsuunnitelmaan ensimmäisen kolmivuotiskauden aikana.

Puskurin kehitystyö on painottunut toteutettavan ratkaisun yksityiskohtaiseen suunnitteluun ja puskurilohkojen valmistus- ja asennustekniikoiden kehitykseen ja testaukseen. Luvussa 4.5.2 kuvatus puskurin yksityiskohtaisen suunnittelun (Juvankoski 2012) myötä puskurilohkojen vesipitoisuutta on kasvatettu ja niiden asennustilavuuspainot on muutettu lohkokäyttökohteiksi, kapselin alla olevan bentoniittilohkon korkeutta on pienennetty, bentoniittilohkojen korkeuksia on muutettu tasakorkeista lohkoista kapselikohtaisiin korkeuksiin ja kapselin yläpuolelle asennettavien lohkojen yhteiskorkeutta on kasvatettu. Puskuriratkaisuun sisältyy lisäksi loppusijoitusreiän pohjalle asennettava kuparilevy ja asennuksen aikainen puskurin kosteussuojaus. Bentonittilohkojen ja kallion välistä rakoa on kasvatettu, jotta kosteussuojauksen käyttäminen on mahdollista. Näiden lisäksi puskurimateriaalin montmorillonittipitoisuudelle on asetettu yläraja.

Puskurisuunnitelma tarkistetaan tulevan ohjelmakauden aikana mallinnusten ja toimintakykyyn liittyvien tutkimusten, suunnittelu- ja kehitystyön, laboratoriomittakaavassa tehtävien testien ja täydessä mittakaavassa ONKALOssa tehtävän puskuridemonstraation tulosten perusteella. Suunnittelu- ja kehitystyön tavoitteena ensimmäisellä kolmivuotiskaudella on puskurin rakennesuunnitelmaan tarvittavan aineiston tuottaminen.

ONKALOon louhittuun demonstraatiotunneliin asennetaan referenssisuunnitelman (Juvankoski 2012) mukainen täyden mittakaavan puskuridemonstraatio. Täyden mittakaavan puskuridemonstraation tarkoituksena on osoittaa referenssisuunnitelman toteutettavuus sekä seurata puskurin alkuvaiheen käyttäytymistä. Puskuridemonstraatiossa testataan mm. suunniteltua ja valmistettua kosteussuojauksia. Puskurin asennukset tehdään pääosin puskurin asennukseen LUCOEX-projektin puitteissa valmistettavalla prototyyppiasennusajoneuvolla.

Puskurin valmistustekniikan kehityksessä siirrytään täyden mittakaavan puskurilohkojen valmistuksen testaukseen isostaattisella puristusmenetelmällä. Puskurilohkojen sarjavalmistusta testataan valmistamalla lohkoja mm. puskuridemonstraation tarpeisiin. Tavoitteena on selvittää eri tekijöiden vaikutusta puristettujen lohkojen ominaisuuksiin ja varmistua siitä, että käytettävällä puristustekniikalla pystytään valmistamaan vaatimukset täyttäviä lohkoja. Valmistustestien yhteydessä laaditaan ja kehitetään soveltuvia tarkastus- ja hyväksymiskriteerejä lohkovalmistukseen. Myös puskuripellettien valmistukseen määritetään sopivin vaihtoehto. Puskurilohkojen valmistuksen yhteydessä ensimmäisellä kolmivuotiskaudella saadaan kokemuksia laajemmassa mittakaavassa materiaalihankinnasta, puskurin valmistuksesta ja varastoinnista. Näiden perusteella voidaan arvioida tähän mennessä laadittuja laadunvarmistussuunnitelmia ja tehdä niihin tarvittavia muutoksia.

Nykyisen perussuunnitelman mukainen loppusijoitustunnelien täyttö muodostuu loppusijoitustunnelin lattian tasausmateriaalista, Friedland-savesta puristetuista lohkoista sekä lohkojen ja kallion väliin jäävän tilan täyttävistä pelleteistä. Täyttösuunnitelman ratkaistaviin asioihin ensimmäisellä kolmivuotiskaudella kuuluu täytön pääkomponenttien materiaalien valinnat. Lattian tasauskerroksen tarve ja kerrosvahvuus arvioidaan ottaen huomioon vaatimukset, mutta myös louhinnassa ja kallionpinnan jälkityöstössä saavutettava louhitun kalliopinnan tasaisuus. Täyttötoiminnanaikaisten vuotovesien hallintaan etsitään ratkaisuja siten, että täyttötoiminta voidaan suorittaa tunneleihin mahdollisesti tulevista vuotovesistä huolimatta.

Täyttölohkoille ja pelleteille kehitetään ja testataan valmistusmenetelmät, jotka tuottavat niille riittävän tiheyden ja mittatarkkuuden. Lohkoja ja pellettejä tuotetaan ONKALOSSA tehtäviä testejä varten ja samalla kehitetään ja optimoidaan valmistus- ja laaduntarkastusprosesseja. Pidemmällä aikavälillä valmistaudutaan valmistukseen teollisessa mittakaavassa.

Ohjelmakauden aikana tehdään täyttökomponenttien testejä ONKALON demonstraatiotunneleissa. Testit ovat ensimmäisessä vaiheessa yksittäisten komponenttien vaatimustenmukaiseen toteutukseen ja asennukseen liittyviä testejä. Komponenttikohtaisia testejä tehdään kaikille täytön komponenteille; lattian tasauskerrokselle, lohko- ja pellettitäytölle sekä myös loppusijoitustunnelin päätytulpalle. Näiden jälkeen tehdään täyden mittakaavan täyttötesti, jossa suoritetaan kaikkien täyttökomponenttien asennus yhdessä sekä päätytulpan rakentaminen.

Loppusijoitustunnelin päätytulpan yksityiskohtainen suunnittelu, mukaan lukien betonireseptin kehitys, toteutetaan ensimmäisellä kolmivuotiskaudella. Suunnittelun tuloksena tulpasta voidaan esittää yksityiskohtaiset piirustukset sekä rakenne- ja työsuunnitelmat. Loppusijoitustunnelin päätytulppa toteutetaan ONKALOSSA täyden mittakaavan komponenttikohtaisena testinä. Sen tarkoituksena on testata päätytulpan paikan louhintaa, päätytulpan rakennettavuutta, työ- ja laadunvalvontamenetelmiä, seurata päätytulpan betoniosan kovettumista ja kutistumista, testata päätytulpan betoniosan mekaanista lujuutta ja päätytulpan vesitiiveyttä. Testin kokemusten perusteella yksityiskohtainen tulppasuunnitelma päivitetään ja suunnitelmaan tehdyt

muutokset arvioidaan päätytulpan jatkokehityksen aikana. Päivitetyn suunnitelman mukainen päätytulppa rakennetaan ONKALOon täyden mittakaavan täyttötestin yhteydessä.

Täytön asennuslaitteiden prototyypit suunnitellaan ja valmistetaan ensimmäisellä kolmivuotiskaudella. Asennuslaitteiden prototyypeistä saadaan kokemusta komponenttikohaisten testien yhteydessä ja kehitystarpeet huomioidaan käyttötoimintaa varten hankittavien asennuslaitteiden suunnittelussa jälkimmäisellä kolmivuotiskaudella.

Ohjelmakauden aikana tehdään selvitys puskuri- ja täyttökomponeenttien mahdollisista hankintamenettelyistä, valmistajista ja valmistuspaikoista. Täyttömateriaalina käytetyn Friedland-saven rinnalle arvioidaan toimitusvarmuussyistä vaihtoehtoja (tai vaihtoehtoisia materiaaleja), jotka täyttävät yhtä lailla täytölle asetetut vaatimukset koskien materiaalin mineralogista ja kemiallista koostumusta ja laatua.

Osa loppusijoituspaneeleista suljetaan jo käyttövaiheen aikana, ja varsinaisen käyttövaiheen jälkeen kaikki tilat suljetaan erilaisin sulkurakentein virtausreittien muodostumisen ja tahattoman tunkeutumisen estämiseksi loppusijoitustiloihin. Loppusijoitustilojen sulkemiselle on asetettu vaatimukset ja niiden pohjalta on esitetty vaatimukset täyttävä sulkemisratkaisu. Viime vuosina on käynnistynyt tai on parhaillaan käynnistymässä kansainvälisiä täyden mittakaavan testejä ja demonstraatioita liittyen loppusijoitustilojen, tunnelien ja kuilujen tulppaamiseen ja sulkemiseen, joihin Posiva osallistuu. Sulkemissuunnitelmien osalta valmistaudutaan alkavalla ohjelmakaudella käyttölujarahakemuksessa tarvittavien dokumenttien laadintaan.

Loppusijoituskapselin, puskurin ja täyttöratkaisun komponentit voidaan vaihtoehtoisesti ostaa ulkoa solmimalla sitä varten toimitussopimuksia toimittajien kanssa tai tuottaa ne itse, mahdollisesti jonkin kumppanin kanssa. Alkavalla ohjelmakaudella aloitetaan näiden hankintojen suunnittelu ja tavoitteena on tehdä asiaa koskevat ratkaisut lähivuosina sekä kehittää tarvittavat menettelyt sekä tuotantotavat.

Käytetyn polttoaineen 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, analyysyjä, havaintoja, kokeita, testejä ja muita todisteita, joilla perustellaan loppusijoituksen turvallisuus ja turvallisuudesta tehtyjen arvioiden luotettavuus. Yhteenveto turvallisuusperustelusta liitetään myös alustavaan turvallisuusselosteeseen (PSAR).

Vuonna 2008 laaditun ja edelleen sen jälkeen mm. esiluvitusaineistosta saadun viranomaispalautteen perusteella päivitetyn suunnitelman mukaan turvallisuusperustelu käsittää useita raportteja, joista tärkeimmissä esitetään:

- loppusijoitusjärjestelmän kuvaus,
- loppusijoitukseen vaikuttavien prosessien kuvaus,
- toimintakykyanalyysit,

- turvallisuusanalyysissä tarkasteltavien skenaarioiden määrittely,
- mallien ja lähtötietojen kuvaus,
- skenaarioanalyysit (arviot loppusijoituksen vaikutuksista),
- täydentävät turvallisuutta tukevat tarkastelut, ja
- turvallisuusperustelun yhteenvedo.

Menneen ohjelmakauden aikana turvallisuusperustelun keskeisin työ on ollut edellä mainittujen raporttien koostaminen. Lisäksi on keskitytty pääraportteja tukevien taustaraporttien tekoon, joissa käsitellään yksityiskohtaisesti mm. loppusijoituspaikan ja teknisen loppusijoitusjärjestelmän ominaisuuksia sekä loppusijoitukseen vaikuttavien ulkoisten seikkojen, erityisesti ilmasto-olojen kehitystä tulevaisuudessa.

Turvallisuusperustelun yhtenä lähtökohtana ovat loppusijoitusjärjestelmälle määritellyt toimintakykytavoitteet ja tavoiteominaisuudet. Teknisten päästöesteen alustavat toimintakykytavoitteet on määritetty lähtien loppusijoitusympäristön odotettavissa olevasta todennäköisestä kehityskulusta siten, että tavoitteiden toteutuessa loppusijoituksen turvallisuusvaatimukset mahdollisista yksittäisistä poikkeamista huolimatta täyttyvät suurella varmuudella. Loppusijoitustiloja ympäröivälle lähikalliolle on puolestaan määritetty alustavat tavoiteominaisuudet, jotka toimivat perustana RSC-kriteereille, joita sovelletaan loppusijoitustunnelien ja -reikien paikkojen valintaan.

Keskeisiksi tehtäviksi rakentamislupahakemuksen jättämisen jälkeen on asetettu sellaisten puutteiden ja epävarmuuksien poistaminen, jotka voisivat merkittäväällä tavalla kyseenalaistaa pitkäaikaisturvallisuusarvioiden luotettavuuden. Keskeinen tehtävä ja tavoite alkavalle kolmivuotiskaudelle on vapautumisesteen (käytetty polttoaine, sekä loppusijoitusjärjestelmän komponentit ja niiden väliset rajapinnat) toimintakykyyn liittyvien epävarmuuksien vähentäminen ja avoimena olevien asioiden ratkaiseminen. Erityisen huomion kohteena ovat:

- bentoniittimineraalien (montmorilloniitti) muuntumisprosessit, mm. korkean pH:n veden ja puskurin välinen vuorovaikutus (sementin vaikutus), montmorilloniitin muuntuminen ja sementoituminen,
- virtauskanavien muodostuminen ja eroosio (sekä mekaaninen että kemiallinen eroosio) savimateriaaleissa,
- bentoniitin ominaisuudet kalliosiiroksessa,
- mikrobien toiminta puskuribentoniitissa,
- sulkemissuunnitelman kehittäminen ml. materiaalit ja niiden toimintakyky,
- kapselimateriaalin viruminen ja virumismekanismi,
- kuparin korroosio vedessä,
- elektronisuihkuhitsaukseen jäävät jäännösjännitykset, ja
- korkeapalamisen polttoaineen liukoisuus.

Muita merkittäviä tarkastelukohteita tulevat olemaan:

- Pohjaveden kemiallinen koostumus sekä virtaus; koostumuksen kehittyminen yleensä, kolloidit, suolaisuus, sulfiditason varmentaminen,
- kalliomekaaninen kuormitus; erityisesti kalliosiirosten vaikutus, ja
- EDZ:n vaikutus pohjavesivirtaukseen.

Lisäksi vuonna 2013 koostetaan TURVA-2012-portfolion raportti *Models and Data for the Repository System*.

Posiva on myös hankkimassa lisätietoa turvallisuuden arvioinnissa tarvittavia skenaariomäärittelyjä varten. Alkavalla ohjelmakaudella saadaan päätökseen mm. kansainvälinen Grönlannin analogiprojekti (GAP), jonka avulla pyritään saamaan kokonaisvaltainen ja realistinen näkemys siitä, miten jääpeite ja ikirouta saattavat vaikuttaa käytetyn ydinpolttoaineen geologiseen loppusijoitukseen. Alkavalla ohjelmakaudella kehitetään myös ilmastoskenaarioita entistä realistisempaan muotoon.

Vaakasijoitusratkaisu KBS-3H

KBS-3H-ratkaisua on kehitetty TKS-2009-kaudella yhteistyössä SKB:n kanssa. Täydentävien tutkimusten aikana on mm. valittu suunnitteluratkaisuksi ns. DAWE-vaihtoehto. 3H-tunnelin tulppaukseen ja täyttöön liittyviä yksityiskohtia, kuten tulpan ja asennuspakkauksen materiaalit, on päätetty.

KBS-3H-ratkaisun osalta tutkimus- ja kehitystyötä viedään eteenpäin seuraavien kolmen vuoden aikana siten, että 3V/3H-vaihtoehtojen vertailu ja tarvittaessa PSARin laatiminen on mahdollista. Suunnitelmaratkaisujen vertailuun sisältyvät myös ympäristöasiat, kustannukset ja turvallisuusasiat (pitkäaikais-, käyttö- ja työturvallisuus). Työssä keskitytään 3H-ratkaisun erityispiirteisiin ja se toteutetaan pääasiassa SKB:n ja Posivan yhteisprojektina.

Vaakasijoitusratkaisulle tehtyjen suunnitelmien mukainen toiminta varmistetaan ja demonstroidaan täyden mittakaavan testissä (Multi Purpose Test, MPT) Äspön kalliolaboratoriossa. MPT:ssä testataan tärkeimpien komponenttien valmistus, kuljetus, asennus ja valitun DAWE-suunnitteluratkaisun mukaiset tekniikat. Pilottireiän suoruuteen liittyviä testejä tehdään joko Äspössä ja/tai Olkiluodossa. Pilottireikätestausten jälkeen Äspön kalliolaboratorioon on suunnitteilla KBS-3H:lle oma "demotunneli".

Puskuribentoniitin (asennuspakkauksen sisältämä bentoniitti ja välitulppa) paisuntaominaisuuksien lisäksi tutkitaan myös muita edellisessä projektivaiheessa tunnistettuja tutkimuskohteita. Puskuri- ja täyttökomponenttien sekä muiden komponenttien suunnitelmat (asennuspakkaus ja tulpat) tarkennetaan yksityiskohtaisemmiksi vuosien 2013–2015 aikana. Loppusijoituslaitoksen asemointi päivitetään ajantasaisimman geologisen mallin ja muun tiedon perusteella. Lisäksi suunnitellaan 3H-ratkaisun käyttövaiheen tekniikkaa ja tarvittavien tilojen vaiheittaista rakentamista Olkiluodon kallioperään. Vuosien 2013–2015 aikana laaditaan järjestelmäkuvaukset ja raportti laitospuvauksesta.

Vaakasijoitusratkaisun pitkäaikaisturvallisuustutkimukset tehdään seuraavina vuosina vaiheittain. Alustavassa KBS-3H-turvallisuusanalyysissä vuonna 2008 identifioidut keskeisimmät selvitystarpeet analysoidaan ensin. Selvitystarpeet liittyvät erityisesti 3H-ratkaisun osalta tapauksiin, jotka liittyvät usean kapselin rikkoutumiseen aiheutuen jääkauden jälkeisen laimean glasiaaliveden aiheuttamasta bentoniitin eroosiosta ja siitä koituvasta kapselin korroosiosta sekä kalliosirroksen aiheuttamasta kapselin

rikkoutumisesta. Analyysitulosten arvioimisen jälkeen tehdään tarkempi suunnitelma KBS-3H-turvallisuusarviotyölle. 3H-ratkaisun turvallisuusarvioinnin tavoitteena on saavuttaa riittävä tietotaso, jonka avulla voidaan arvioida onko vaakasijoitusratkaisu vähintään yhtä turvallinen kuin pystysijoitusratkaisu. KBS-3H:n Olkiluoto-kohtainen turvallisuusperustelu kootaan ns. raporttisalkkuun KBS-3V-turvallisuusperustelun tavoin.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen suunnittelu ja toteutus

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen suunnittelu ja toteutus ovat edenneet sekä kapselointilaitoksen että loppusijoituslaitoksen osalta. Kapselointilaitoksen ja sen järjestelmien suunnitelmia on päivitetty rakentamislupavaiheeseen. Loppusijoituslaitoksen ja siihen liittyvien muiden tilojen ja apurakennusten suunnitelmat on myös päivitetty.

Laitosten suunnittelussa siirrytään alkavalla ohjelmakaudella toteutussuunnitteluvaiheeseen. Toteutussuunnittelun rinnalla tehdään samalla kehitystyötä liittyen kapselointi- ja loppusijoitusprosessin erikoisjärjestelmiin. Tällaisia järjestelmiä ovat kapselointilaitoksessa mm. polttoaineen siirtokone, kapselin siirtovaunu sekä kapselin siirtotrukki, joista on suunniteltu tehtävän prototyypilaitteita niiden suunnitelmien toiminnan varmistamiseksi.

Loppusijoituslaitoksen järjestelmistä kehitystyö keskittyy EBS-komponenttien asennustekniikkaan. Kapselin, puskurin ja tunnelin täyteaineen asennuslaitteista valmistetaan prototyypit, joilla voidaan varmistua suunnitelmien toimivuudesta sekä mm. asennustoleranssien saavutettavuudesta.

Laitosten toteutussuunnittelu tähtää siihen, että rakennustyöt voidaan aloittaa mahdollisimman pian rakennusluvan myöntämisen jälkeen. Tämä edellyttää, että yksityiskohtaisia suunnitteluaineistoja laaditaan hakemuksen käsittelyn aikana, jotta rakennesuunnitelmat saadaan viranomaiskäsittelyyn toteutuksen edellyttämässä tahdissa.

Maan päällä on käynnistymässä nostinlaiterakennuksen toteutus. Rakennus palvelee alkuvaiheessa ONKALOn tutkimustilakäyttöä ja myöhemmin se varustellaan ydinlaitoskäyttöä varten. Ydinlaitosten toteutusta aletaan valmistella hyvissä ajoin ennen rakentamisluvan saantia. Kapselointilaitoksen valmistelevia töitä ovat mm. työmaa-alueen perustaminen tieyhteyksineen sekä laitoksen pohjan louhinta. Tässä ohjelmassa esitetyt näkemykset toteutusaikataulusta perustuvat oletukseen, että rakentamisluvan käsittelyyn kuluisi aikaa noin kaksi vuotta ja varsinainen toteutus pääsisi alkamaan vuonna 2015.

Loppusijoituslaitoksen maanalaisen osan toteutus alkaa rakentamisluvan myöntämisen ja muiden tarvittavien hyväksyntöjen jälkeen louhimalla keskustunneliyhteyksiä ensimmäisten loppusijoitustunnelien alueelle. Samaan aikaan käynnistetään myös tarvittavien kuilujen toteutus. Toteutusvaihe kuvataan yksityiskohtaisemmin vuonna 2015 laadittavassa YJH-ohjelmassa.

Toiminnan kehittäminen

Posiva on sitoutunut kaikessa toiminnassaan korkean turvallisuuskulttuurin tinkimättömään noudattamiseen ja turvallisuuden huomioimiseen siten, että turvallisuus saa kaikessa toiminnassa aina etusijan mm. ennen taloudellisia seikkoja. Tulevina vuosina painopisteenä on menettelytapojen kehittäminen turvallisuusasioiden järjestelmällisen käsittelyn edistämiseksi. Esimerkkejä kehitettävistä asioista ovat mm. turvallisuuden kehittämisohjelman laatiminen laitoskokonaisuuden rakentamista ja käyttötoimintaa varten, turvallisuusteknisten käyttöehtojen kehittäminen käyttötoimintaa sekä käyttötoiminnan ja rakentamisen yhteensovittamista varten, ja työkalun kehittäminen turvallisuuskulttuurin arviointia varten.

Laadunhallinnan osalta keskeisiä tehtäviä ovat rakentamisen laadunhallintaa koskevien menettelytapojen täsmentäminen ja kytkeminen osaksi Posivan toimintajärjestelmää, järjestelmien ja laitteiden kelpoistusmenettelyjen kehittäminen, turva- ja valmiusjärjestelyt sekä ydinmateriaalivalvonta, turva- ja valmiusjärjestelyihin liittyvien järjestelmien yksityiskohtainen suunnittelu, organisointi ja toteuttaminen osana rakennettavaa laitoskokonaisuutta ja TVO:n olemassa olevaa infrastruktuuria hyödyntäen, loppusijoituslaitoksen rakentamisen ajalle sovittujen turvajärjestelyjen toteuttaminen, ja ydinmateriaalivalvonnan kehittäminen rakentamislupahakemuksen yhteydessä STUKille toimitettavan suunnitelman mukaisesti

Ydin- ja säteilyturvallisuuden osalta alkavalla ohjelmakaudella keskitytään säteilymittausjärjestelmien yksityiskohtaiseen suunnitteluun sekä päästöjen valvontaan ja säteilysuojeluun liittyvien menettelytapojen kehittämiseen, käytettyä polttoainetta koskevan tiedonhallinnan kehittämiseen jäte- ja ydinmateriaalikirjanpidon, turvallisuusanalyysien ja käyttötoiminnan tarpeisiin, käytetyn ydinpolttoaineen kriittisyysturvallisuutta koskevien selvitysten jatkamiseen yhteistyössä voimayhtiöiden, VTT:n ja viranomaisten kanssa, ja käytetyn ydinpolttoaineen ominaisuuksia selvittävään kansainväliseen yhteistyöhön osallistumiseen.

Ydinmateriaalivalvontakäsikirjaa kehitetään ohjeistamaan kansainvälisen valvonnan edellyttämät ilmoitukset, kirjanpito, raportointi ja muut valvontavelvoitteet. Käsikirja hyväksytetään STUKilla.

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 käytöstäpoistosuunnitelman päivitys jätetään ministeriölle vuoden 2012 loppuun mennessä. Loviisan VLJ-luolan määräaikainen turvallisuusarvio tehdään vuoden 2013 loppuun mennessä.

Loviisan VLJ-luolassa jatketaan huoltojätteen välivarastointitilan (HJT3) käyttöönottoa. Laajennuksella lisätään huoltojätetynnyrien välivarastointi- ja lajittelumahdollisuuksia.

HJT3:n luvitus jätetynnyrien välivarastointikäyttöön on käynnissä. Loviisan VLJ-luolan olosuhteissa tapahtuvia muutoksia valvotaan seurantatutkimuksin. Seuranta sisältää lämpötilan ja kosteuden lisäksi pohjavedessä havaittavat muutokset (vuotovesimäärät, pohjavesikemia ja makean ja suolaisen pohjaveden rajapinta) ja kalliomekaaniset mittaukset (kallion liikunnat ja rapautuminen). Luolan kuntoa seurataan myös visuaalisesti. Nestemäisten jätteiden kiinteytyslaitoksen koekäyttö jatkuu edelleen. Kiinteytetyn jätteen tilan täyttövalumenetelmiä testataan ennen jätteen loppusijoittamisen aloittamista.

Olkiluodon voimalaitos

TVO:ssa käyvien ydinvoimalaitosyksiköiden, OL1 ja OL2, jätehuolto ja niiden matala- ja keskiaktiivisen käyttöjätteen loppusijoituspaikan, VLJ-luolan, käyttö Olkiluodossa on edennyt suunnitelmien ja mukaan ja käyttöluopaehtojen mukaiset selvitykset ja turvallisuusperustelun päivitykset on tehty. Myös laitosyksiköiden käytöstäpoistosuunnitelmat on päivitetty ajallaan ja ne tarkentuvat laitosten käyttöiän loppua kohden. Olkiluodossa sijaitsevan käytetyn polttoaineen välivaraston, KPA-varaston, laajennus on meneillään, OL1:n ja OL2:n tarpeet ovat tässä toistaiseksi ensisijaisia, mutta myös OL3 on huomioitu laajennuksessa.

Keskeiset tutkimusohjelmat liittyvät VLJ-luolan stabiilisuuden seurantaan ja VLJ-luolan pitkäaikaisen käytön sekä sulkemisen jälkeisen tilan ennustamiseen. VLJ-luolan seurantaa jatketaan suunnitellusti ja siitä raportoidaan vuosittain. Käyttöjätteen loppusijoitukseen liittyvät tutkimusohjelmat ovat käynnissä pääsääntöisesti VLJ-luolassa ja niistä merkittävimmät ovat: kaasunkehityskoe, betonien pitkäaikaiskestävyyden tutkimus ja purkujättemetallien pitkäaikaiskäyttämisen tutkimus. Tutkimusohjelmien rinnakkaiskokeita tekee VTT ja analysointi- sekä mallinnustyöhön osallistuvat useat asiantuntijatahot. Lisäksi tehdään selvityksiä käytöstäpoistosuunnitelmien tarkentamiseksi ja seurataan jätteen käsittelytekniikoiden kehittymistä. Metalliromun uudelleensulattamisesta on saatu hyviä kokemuksia käyttöjätteen määrän pienentämisessä ja kokemuksia voidaan hyödyntää myös käytöstäpoiston suunnittelussa.

Tuleviin tutkimus- ja kehitystarpeisiin vaikuttavat uudet laitoshankkeet, OL3 ja OL4. Aikataulujen mukaan OL3:lle haetaan käyttö lupaa ja se tulee ydinjätevelvollisuuden piiriin ohjelmakaudella 2013–2018 ja siten sillä on vaikutusta sekä voimalaitosjätteiden varastointiin että loppusijoitus- ja käytöstäpoistosuunnitelmiin. OL4-laitosyksikkö hankkeen eteneminen ei toistaiseksi vaikuta suunnitelmiin ja tutkimustarpeisiin. Laitosyksikön valinta ja rakentamisluvan hakeminen osuvat kuitenkin suunnitelmakaudelle, jolloin myös ensimmäiset jätehuoltoon ja käytöstäpoistoon liittyvät suunnitelmat tulevat laadittaviksi.

SISÄLLYSLUETTELO

YHTEENVETO

1	JOHDANTO	9
1.1	Ydinjätehuollon vastuut	9
1.2	Lait, asetukset ja muut määräykset	9
1.3	Ydinenergia-asetuksen mukaiset selvitykset ja raportointivelvollisuus	11
1.4	YJH-2012-ohjelman yleiset tavoitteet	12
2	LOVIISAN VOIMALAITOKSEN YDINJÄTEHUOLLON KOKONAISUUNNITELMA PÄÄPIIRTEITTÄIN	17
2.1	Loviisan voimalaitoksen ydinjätehuoltotoimenpiteiden kokonaisaikataulu	17
2.2	Käytetyn polttoaineen käsittely ja varastointi	18
2.3	Voimalaitosjätteen käsittely, varastointi ja loppusijoitus	19
2.4	Käytöstäpoistosuunnittelu	19
3	OLKILUODON VOIMALAITOKSEN YDINJÄTEHUOLLON KOKONAISUUNNITELMA PÄÄPIIRTEITTÄIN	21
3.1	Olkiluodon voimalaitoksen ydinjätehuoltotoimenpiteiden kokonaisaikataulu	21
3.2	Käytetyn polttoaineen käsittely ja varastointi	22
3.3	Voimalaitosjätteen käsittely, varastointi ja loppusijoitus	22
3.4	Käytöstäpoistosuunnittelu	23
4	KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUSVALMISTELUJEN TILANNE	25
4.1	Lähtökohdat	26
4.1.1	Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen luvituksen tilanne	26
4.1.1.1	Ympäristövaikutusten arviointi ja periaatepäätös	27
4.1.1.2	Alustava rakentamislupahakemus	28
4.1.2	ONKALON rakentaminen ja tutkimukselliset tarpeet	28
4.1.3	Hankkeen kokonaisaikataulu ja sen toteutumisen kannalta kriittiset osa-alueet ja omistajien tarpeet	28
4.1.4	Loppusijoitettavat polttoainetyypit ja muut jätteet	29
4.1.4.1	BWR-polttoaine	30
4.1.4.2	VVER-440-polttoaine	31
4.1.4.3	EPR-polttoaine	31
4.1.4.4	Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttö- ja käytöstäpoistojätteet	32
4.1.5	Vaihtoehtoiset toteutustavat ja niiden valmistelu	32
4.1.6	Rakentamislupahakemus ja sen jälkeen tapahtuva kehittäminen	32

4.1.7	Viranomaispalautteet	33
4.1.7.1	TEM:n lausunto 30.12.2010	34
4.1.7.2	STUKin lausunto TKS-2009-ohjelmasta.....	34
4.1.7.3	STUKin lausunto alustavasta hakemusaineistosta ja alustava turvallisuusarvio.....	37
4.2	Loppusijoituspaikan soveltuvuus.....	45
4.2.1	Maanalainen tutkimustila ONKALO.....	45
4.2.2	Loppusijoituspaikan ominaisuudet	47
4.2.2.1	Yhteenvedo kenttätutkimuksista vuosina 2010–2012	48
4.2.2.2	Tulkinta ja mallinnus.....	57
4.2.2.3	Olkiluodon paikan kuvaukseen liittyvät epävarmuudet.....	76
4.2.3	Loppusijoituskallion soveltuvuusluokittelu.....	77
4.2.3.1	Soveltuvuusluokittelukriteerien kehitystyö.....	77
4.2.3.2	Soveltuvuusluokittelumenetelmän testaus ONKALOSSA.....	78
4.2.3.3	Soveltuvuusluokittelumenetelmä.....	81
4.2.3.4	RSC-demonstraatio.....	86
4.2.4	Olkiluodon monitorointiohjelma	87
4.2.4.1	Kalliomekaniikka.....	88
4.2.4.2	Hydrologia	90
4.2.4.3	Hydrogeokemia	94
4.2.4.4	Pintaympäristö.....	95
4.2.4.5	Vieraat aineet	95
4.3	Kalliotilojen rakentamisen kehittäminen	96
4.3.1	Kalliotilojen suunnittelu	96
4.3.2	Kallion tiivistys.....	98
4.3.3	Louhinta	99
4.3.4	Demonstraatiotunnelit	100
4.3.5	Loppusijoitusreikien poraaminen.....	101
4.3.6	Kalliolujitukset	103
4.4	Tarvittavien ydinlaitosten suunnittelu	104
4.4.1	Laitoskokonaisuus	104
4.4.2	Kapselointilaitoksen suunnittelu	105
4.4.3	Loppusijoituslaitoksen suunnittelu.....	107
4.4.3.1	Loppusijoitustilat.....	108
4.4.3.2	Muut maanalaiset tilat	110
4.4.3.3	Loppusijoituslaitoksen maanpäälliset laitososat.....	111
4.4.4	Asennus- ja siirtotekniikat	112
4.4.4.1	Kapselihissi	112

4.4.4.2	Puskurin asennuslaite	112
4.4.4.3	Kapselin siirto- ja asennuslaite	113
4.4.5	Kapselointilaitoksen ydinjätehuolto	114
4.4.5.1	Tekniset ratkaisut	114
4.4.5.2	Pitkäaikaisturvallisuus	116
4.5	Teknisten vapautumisesteiden tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyö	116
4.5.1	Loppusijoituskapseli ja sen tuotantolinja	116
4.5.2	Puskuri ja sen tuotantolinja	121
4.5.3	Loppusijoitustunnelien täyttö ja sen tuotantolinja	128
4.5.4	Loppusijoitustilojen sulkeminen	132
4.6	Turvallisuusperustelu	135
4.6.1	Turvallisuusperustelun lähtökohdat ja metodologia	135
4.6.2	Turvallisuuskonsepti, toimintakykytavoitteet ja tavoiteominaisuudet	138
4.6.3	Ulkoiset olosuhteet	140
4.6.4	Loppusijoitusjärjestelmän kehityskulku	143
4.6.4.1	Kapseli	144
4.6.4.2	Puskuri, täyttö ja sulkeminen	149
4.6.4.3	Kallioperä	155
4.6.5	Pintaympäristö (biosfääri)	162
4.6.6	Radionuklidien vapautumiseen johtavat skenaariot	166
4.6.7	Seuraavalla YJH-kaudella täsmennettävät asiat	167
4.7	Vaakasijoitusratkaisu KBS-3H	168
4.7.1	KBS-3H-ratkaisua koskevat erityispiirteet	169
4.7.2	Valitun DAWE-referenssiratkaisun kuvaus	169
4.8	Ydinmateriaalivalvonta	172
4.8.1	Kansallinen ja kansainvälinen valvonta	172
4.8.2	ONKALOn ydinsulkuvalvonta	173
4.8.3	Ydinsulkuvalvonnan organisaatio	173
4.9	Luvitus	174
5	KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUKSEN TUTKIMUS- JA KEHITYSTYÖ 2013–2018	177
5.1	Lähtökohdat	177
5.2	Ydinpolttoaineen ominaisuudet, tietojen hallinnointi ja pitkäaikaisturvallisuus tutkimukset	180
5.2.1	Ydinpolttoaineen ominaisuudet	180
5.2.2	Ydinpolttoainetietojen hallinnointi	181
5.2.3	Käytetyn ydinpolttoaineen pitkäaikaisturvallisuustutkimukset	181
5.3	Loppusijoituspaikan ominaisuudet	183

5.3.1	Loppusijoituspaikan karakterisointi ja mallinnus	183
5.3.1.1	Pintahydrologia.....	184
5.3.1.2	Geologia	185
5.3.1.3	Geofysiikka.....	186
5.3.1.4	Kalliomekaniikka.....	187
5.3.1.5	Hydrogeologia	188
5.3.1.6	Hydrogeokemia	191
5.3.1.7	Kulkeutumisominaisuudet ja -mallinnus	197
5.3.1.8	Kalliotilojen suunnittelun tarvitsemat tutkimukset	198
5.3.2	Kallion soveltuvuusluokittelu	198
5.3.2.1	Kallioluokitteludemonstraation laajentaminen	198
5.3.2.2	Kallioluokittelukriteerien toimivuuden arviointi ja jatkokehitys	199
5.3.2.3	Yhteistoimintakokeen RSC-työt.....	199
5.3.2.4	Ensimmäinen loppusijoituspaneeli	199
5.4	Teknisten vapautumisesteiden tutkimus, kehitys ja testaus.....	200
5.4.1	Loppusijoitusjärjestelmän kehittäminen ja testaus	200
5.4.1.1	Loppusijoituskapseli	200
5.4.1.2	Puskuri	208
5.4.1.3	Loppusijoitustunnelien täyttö ja päätytulppa.....	212
5.4.1.4	Loppusijoitustilojen sulkeminen.....	215
5.4.2	Loppusijoitusjärjestelmän toimintakyky	216
5.4.2.1	Loppusijoituskapseli	216
5.4.2.2	Puskuri ja täyttö.....	217
5.4.2.3	Sulkeminen.....	227
5.4.2.4	Kansainväliset suuren mittakaavan kokeet	227
5.4.2.5	Materiaalien valinta ja vaihtoehtoiset materiaalit.....	227
5.4.2.6	Loppusijoitusjärjestelmän osatestaukset.....	227
5.5	Monitorointiohjelma	229
5.5.1	Kalliomekaniikka	229
5.5.2	Hydrologia	230
5.5.3	Hydrogeokemia	232
5.5.4	Pintaympäristö	232
5.5.5	Vieraat aineet.....	234
5.5.6	Tekniset vapautumisestteet	234
5.6	Turvallisuusperustelu	236
5.6.1	Yleistä	236
5.6.2	Ulkoiset olosuhteet.....	238
5.6.3	Kallioperä	239

5.6.4	Pintaympäristö (biosfääri)	246
5.6.5	Skenaariot ja niiden analysointi.....	247
5.7	Kapselointilaitoksen ydinjätehuolto	248
5.7.1	Tekniset ratkaisut.....	248
5.7.2	Pitkäaikaisturvallisuus	248
5.8	KBS-3H	248
5.8.1	Meneillään oleva tutkimus- ja kehitystyö vuosille 2013–2015.....	248
5.8.1.1	Täyden mittakaavan demonstraatiot	249
5.8.1.2	Puskuribentoniitin tutkimukset ja suunnittelu ml. täyttökomentit	253
5.8.1.3	Muut komponentit.....	256
5.8.1.4	Laitossuunnitteluun liittyvät työt.....	256
5.8.1.5	KBS-3H-tuotantolinjaraportit.....	256
5.8.1.6	Työ- ja käyttöturvallisuus.....	256
5.8.1.7	Pitkäaikaisturvallisuus vuosina 2013–2015.....	256
5.8.2	Suunnitelmat aikavälille 2016–2018	260
6	KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUKSEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS 2013–2018	261
6.1	Lähtökohdat	261
6.2	Kaavoitus ja aluetyöt.....	264
6.2.1	Kaavoituksen tilanne	264
6.2.2	Aluetyöt ja alueelle toteutettavat rakennukset.....	267
6.2.3	Aluetöiden aikataulu.....	269
6.3	Kapselointilaitos	275
6.3.1	Laitossuunnittelu	275
6.3.1.1	Järjestelmäsuunnittelu ja prototyyppijärjestelmät.....	275
6.3.1.2	Järjestelmien luvitus	276
6.3.1.3	Käyttötoiminnan suunnittelu	277
6.3.2	Toteutussuunnittelu.....	277
6.3.3	Toteutus	280
6.3.3.1	Toteutustapa	280
6.3.3.2	Rakennustekniset työt.....	281
6.3.3.3	Asennustyöt.....	281
6.3.4	Koekäyttö ja yhteistoimintakokeet.....	281
6.4	Loppusijoituslaitos.....	282
6.4.1	Laitossuunnittelu	282
6.4.2	Maanpäällisen laitoksen suunnittelu ja toteutus.....	282
6.4.3	ONKALOn ja maanalaisen laitoksen suunnittelu ja toteutus.....	283

6.4.3.1	ONKALOn toteutuslaajuus	283
6.4.3.2	ONKALOn ja maanalaisen laitoksen toteutussuunnittelu	284
6.4.3.3	Toteutus	287
6.4.4	Rakennusmenetelmien kehittäminen	287
6.4.4.1	EDZ-tutkimukset	288
6.4.4.2	Rakentamismenetelmät	288
6.4.4.3	Rakentamisen laitekehitys	289
6.4.5	Asennus- ja siirtotekniikat	290
6.4.5.1	Kapselihiisi	290
6.4.5.2	Kapselin siirto- ja asennuslaite	290
6.4.5.3	Puskurin asennuslaite	291
6.4.5.4	Täytön asennuslaite	291
6.5	Maanalainen yhteistoimintakoe	291
6.5.1	Alueen valinta	293
6.5.2	Kalliotilan suunnittelu ja rakentaminen	294
6.5.3	Hankinnat ja komponenttien valmistaminen	294
6.5.4	Yhteistoimintakoe	294
6.6	Kapselien ja savikomponenttien hankinnat	294
6.6.1	Kapselikomponenttien ja kapselien hankinta	294
6.6.2	Savimateriaalien ja -komponenttien hankinta	295
6.7	Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetukset	296
6.7.1	Kuljetussäiliöt	297
6.7.2	Kuljetusten suunnittelu	297
6.8	Toiminnan kehittäminen	298
6.8.1	Turvallisuuskulttuurin ja johtamisjärjestelmän kehittäminen	298
6.8.2	Rakentamisen laatu	299
6.8.3	Ympäristö ja työturvallisuus	302
6.8.4	Ydin- ja säteilyturvallisuus	302
6.8.5	Turvajärjestelyt	303
6.8.5.1	Turvajärjestelyjen perusteet	303
6.8.5.2	Rakentamislupahakemuksen käsittelyaika 2013–2014	304
6.8.5.3	Rakentamisvaihe 2015–2018	305
6.8.5.4	Toimintaan liittyvien riskien tarkastelu	305
6.8.5.5	Käytetyn polttoaineen kuljetusten turvallisuus	306
6.8.6	Valmiusjärjestelyt	306
6.8.7	Ydinmateriaalivalvonta	308
6.8.7.1	Viranomaisvaatimukset	308
6.8.7.2	Posivan suunnitelmat	309

6.8.7.3	Rakentamisluvan käsittelyvaihe	310
6.8.7.4	Käyttölupaa edeltävä vaihe	311
6.9	Lupien hakeminen.....	311
7	LOVIISAN VOIMALAITOKSEN JÄTEHUOLLON TUTKIMUS- JA KEHITYSTOIMENPITEET 2013–2018	315
7.1	Käytetyn polttoaineen käsittely ja varastointi	315
7.2	Voimalaitosjätteen käsittely, varastointi ja loppusijoitus	316
7.3	Käytöstäpoisto.....	319
8	OLKILUODON VOIMALAITOKSEN JÄTEHUOLLON TUTKIMUS- JA KEHITYSTOIMENPITEET 2013–2018	321
8.1	Käytetyn polttoaineen käsittely ja varastointi	321
8.2	Voimalaitosjätteen käsittely, varastointi ja loppusijoitus	322
8.3	Käytöstäpoisto.....	329
9	VIITTEET	333

1 JOHDANTO

1.1 Ydinjätehuollon vastuut

Ydinjätteen tuottaja on ydinenergiain mukaisesti vastuussa kaikista ydinjätehuoltotoimenpiteistä ja niiden kustannuksista. Ydinjätehuoltovelvolliset Teollisuuden Voima Oyj (TVO) ja Fortum Power and Heat Oy (Fortum) huolehtivat itse omien voimalaitostensa voimalaitosjätteen varastoinnista, käsittelystä ja loppusijoituksesta voimalaitospaikoillaan. Kummallakin laitospaikalla on käytössä oleva loppusijoituslaitos, johon sijoitetaan käytön aikana syntyvä voimalaitosjäte. Samojen laitosten yhteyteen on tarkoitus loppusijoittaa aikanaan voimalaitosten käytöstäpoiston yhteydessä syntyvä jäte. Molemmat jätehuoltovelvolliset huolehtivat itse myös käytetyn polttoaineen välivarastoinnista.

Käytetyn ydinpolttoaineen välivarastoinnin jälkeisiä toimenpiteitä varten TVO ja Fortum perustivat vuonna 1995 Posiva Oy:n (Posiva), jonka tehtävänä on huolehtia omistajiensa Suomessa toimivien ja Suomeen rakennettavien ydinvoimalaitosten käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta. Ensivaiheessa yhtiö huolehtii tähän tähtäävästä tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyöstä sekä myöhemmin loppusijoituslaitoksen rakentamisesta ja käytöstä aina loppusijoituslaitoksen sulkemiseen asti. Posiva huolehtii myös hoitamiensa tehtävien viranomaisyhteyksistä sekä hankkii rakentamilleen ja käyttämilleen laitoksille tarvittavat luvat. Posivan perustaminen ei vaikuttanut ydinjätehuollon vastuisiin, vaan TVO ja Fortum vastaavat edelleen tuottamastaan käytetystä polttoaineesta.

Työ- ja elinkeinoministeriö (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.

1.2 Lait, asetukset ja muut määräykset

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

Ydinenergiaa koskevaa lainsäädäntöä uudistettiin vuonna 2008. Eduskunta hyväksyi 7.5.2008 hallituksen esityksen laiksi ydinenergiain muuttamisesta (HE 117/2007) ja uudistettu laki tuli voimaan 1.6.2008. Lainsäädäntöuudistuksessa osa ydinenergia-alaa

koskevista valtioneuvoston päätöksistä muutettiin valtioneuvoston asetuksiksi. Asetukset astuivat voimaan 1.12.2008. Uudet asetukset ovat 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).

Valtioneuvosto antaa ydinjätehuoltoa koskevat yleiset turvallisuusmääräykset. Ydinjätteiden käsittelyä ja varastointia koskevat turvallisuusmääräykset sisältyvät ydinvoimalaitosten turvallisuutta koskevaan asetukseen 27.11.2008/733. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitosta koskevia määräyksiä annetaan valtioneuvoston asetuksessa (27.11.2008/736) ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudesta.

Säteilyturvakeskuksen (STUK) YVL-ohjeiston uudistus uuden lainsäädännön mukaiseksi on käynnissä. Uudet YVL-ohjeet saattavat ohjeiston ajan tasalle ja samalla erillisten ohjeiden määrä vähenee. Ydinmateriaaleja ja -jätteitä käsittelevät ohjeet kuuluvat luonnoston mukaan YVL-D-sarjaan, johon tulee viisi ydinjätteitä koskevaa ohjetta. Ohje D.1 käsittelee ydinsulkuvalvontaa, D.2 ydinaineiden ja -jätteiden kuljetusta, D.3 käytetyn ydinpolttoaineen käsittelyä, varastointia ja kapselointia, D.4 matala- ja keskiaktiivisten ydinjätteiden huoltoa ja ydinlaitoksen käytöstäpoistoa ja D.5 ydinjätteiden loppusijoitusta. YJH-2012-raportin laatimisessa on käytetty näiden ohjeiden viimeisimpiä luonnoksia. STUK on Posivalle lähettämässään kirjeessä ilmoittanut, että yhtiö voi käyttää luonnostasolle (L4) saatettuja ohjelunnoksia suunnittelussa ja rakentamislupahakemuksen laadinnassa.

Käytetyn polttoaineen loppusijoituksen aikataulu on määrätty KTM:n päätöksessä 9/815/2003. Päätöksen mukaan ydinjätehuoltovelvollisten Teollisuuden Voima Oy:n ja Fortum Power and Heat Oy:n tulee joko erikseen, yhdessä tai Posiva Oy:n välityksellä varautua esittämään vuoden 2012 loppuun mennessä ydinenergia-asetuksen 32 §:n mukaiset käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitosta koskevat rakentamislupaa varten tarvittavat selvitykset ja suunnitelmat, joiden perusteella loppusijoituslaitos voidaan rakentaa siten, että loppusijoitus on mahdollista aloittaa noin vuonna 2020. Tähän liittyen esitettiin mainitussa päätöksessä vaatimus, että ydinjätehuoltovelvollisten tuli esittää viimeistään vuonna 2009 ydinenergia-asetuksen 32 §:ssä luetellut rakentamislupaa varten tarvittavat selvitykset siten, että niistä käy ilmi se, miltä osin rakentamisluvan edellyttämä asiakirja-aineisto on puutteellinen sekä se, millä tavalla ja missä aikataulussa aineisto on tarkoitus täydentää. Vaatimuksen mukainen ns. esiluvitusaineisto toimitettiin TEM:lle syyskuussa 2009. TEM järjesti tälle aineistolle laajan viranomaisarvioinnin, josta saatu palaute on otettu huomioon tämän YJH-2012-ohjelman laadinnassa. Asiaa on käsitelty tarkemmin tämän ohjelman luvussa 4.1.7.

Kirjeissään TEM/2963/08.05.01/2009 ja TEM/2967/08.05.01/2009 TEM velvoittaa ydinjätehuoltovelvolliset huolehtimaan tulevissa kolmivuotisraporteissa, että käytetyn polttoaineen huollon ohella myös muiden ydinjätteiden huollon kuvaus vastaa ydinenergia-asetuksessa 74 §:ssä esitettyjä vaatimuksia. TEM edellyttää myös, että raportoinnista on selvästi käytävä ilmi, miten lausunnoissa esitetty huomautukset on otettu huomioon tehdyssä työssä.

YJH-2012-ohjelman laatimisessa on aiempien päätösten ohella otettu huomioon seuraavat ydinjätehuoltovelvollisia ja Posivaa koskevat päätökset sekä viranomaislausunnot ja -kirjeet:

- Valtioneuvoston periaatepäätös (6.5.2010) koskien TVO:n hakemusta ydinvoimalaitosyksikön (OL4) rakentamiseksi Olkiluotoon,
- Valtioneuvoston periaatepäätös (6.5.2010) koskien Posivan hakemusta käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen rakentamisesta laajennettuna,
- TEM:n lausunnot "Ydinjätehuoltoa koskevat selvitykset vuosille 2010–2015" (TEM/2963/08.05.01/2009, TEM/2967/08.05.01/2009),
- TEM:n lausunto "Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitushanke - alustavat selvitykset ja suunnitelmat liittyen tulevan rakentamislupahakemuksen valmisteluun" (TEM/2950/08.05.01/2009, TEM/2961/08.05.01/2009, TEM/2966/08.05.01/2009),
- STUKin kirje 5/H48112/2009 "Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuollon tutkimus- ja kehitystyön sekä teknisen suunnittelun ohjelma 2010–2012" liitteineen Y811/123,
- STUKin kirje 2/H42212/2011 "Säteilyturvakeskuksen turvallisuusarvio Posiva Oy:n alustavasta rakentamislupahakemusaineistosta" sekä
- Fortumin ja TVO:n saamat päätökset, viranomaislausunnot ja -kirjeet.

1.3 Ydinenergia-asetuksen mukaiset selvitykset ja raportointivelvollisuus

Ydinenergia-asetuksen 74 §:ssä säädetään ydinjätehuoltovelvollisten ydinjätehuoltotoimenpiteistä vaadittavista selvityksistä ja raportointivelvollisuudesta. Asetuksen mukainen voimayhtiöiden ydinjätehuoltoselvitys (YJH-selvitys) tulee jättää työ- ja elinkeinoministeriölle kolmen vuoden välein syyskuun lopussa. Asetuksen 77 §:n mukaan ydinjätehuoltovelvollisten tulee 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 järjestämisestä koskevista sopimuksista tai muista järjestelyistä; sekä
3. Muu viranomaisen tarpeelliseksi katsoma selvitys.

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

Asetuksen mukainen kolmivuotisohjelma on aiemmin ollut nimeltään TKS-ohjelma. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusohjelman edetessä rakentamislupavaiheeseen ja loppusijoitukseen tähtäävän työn muuttuessa tutkimus- ja kehitystyöstä toteutuspainotteiseksi, on katsottu aiheelliseksi muuttaa asiakirjan nimi ydinjätehuollon ohjelmaksi ja siksi tämän asiakirjan nimi on YJH-2012-ohjelma. Ohjelma kattaa asetuksen mukaisesti vuodet 2013–2018. Painopiste ohjelmassa on vuosien 2013–2015 toimenpiteiden kuvauksessa. Vuosien 2016–2018 toimenpiteistä esitetään alustavat suunnitelmat, joita tarkennetaan vuonna 2015 jätettävässä YJH-ohjelmassa.

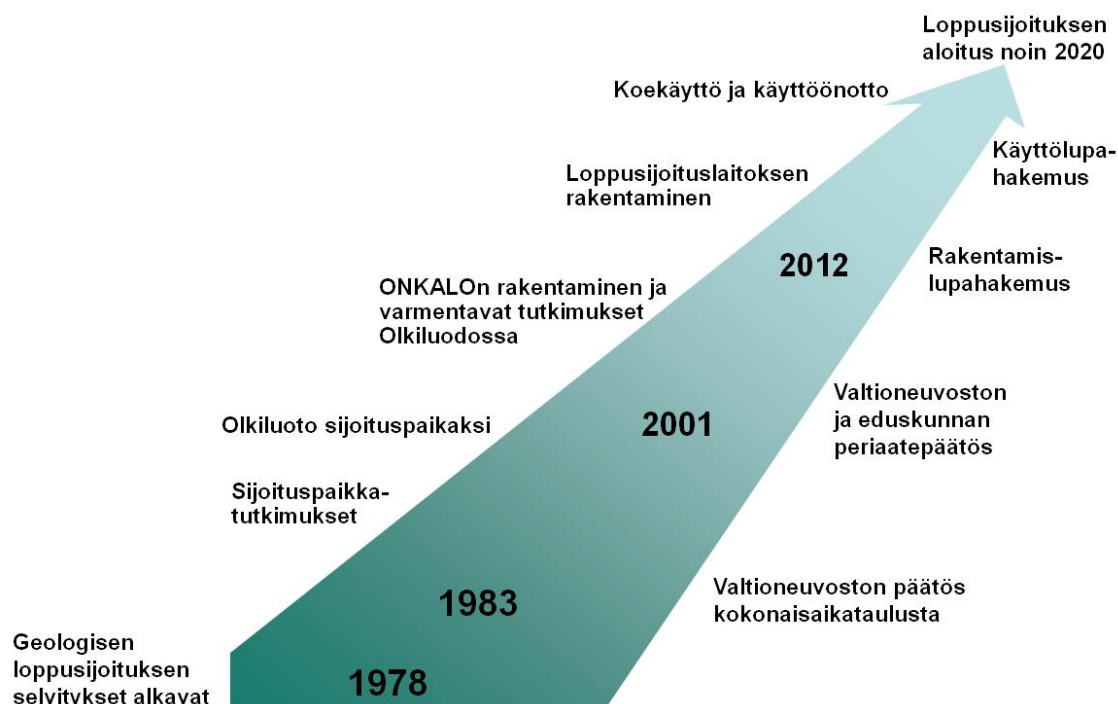
Ohjelman luvussa 1 on käsitelty ydinjätehuollon vastuut, siihen liittyvä lainsäädäntö ja raportointivelvollisuus. Tämän jälkeen kuvataan luvuissa 2–3 Loviisan ja Olkiluodon voimalaitosten ydinjätehuollon tämänhetkiset kokonaissuunnitelmat. Luvussa 4 arvioidaan TKS-2009-ohjelman tavoitteiden toteutumista ja esitetään tämänhetkinen suunnittelutilanne sekä ONKALON rakentamisen eteneminen. Luvuissa 5–6 tarkastellaan rakentamislupahakemusvaiheen jälkeisiä tavoitteita käyttölupahakemusvaiheeseen etenemiseksi. Luvussa 5 kuvataan tähän liittyvää tutkimus- ja kehitystyötä. Luvussa 6 kuvataan rakentamislupavaiheen jälkeistä toteuttamista mukaan luettuna ydinlaitosten rakentaminen. Voimalaitosjätteen huoltoa ja käytöstäpoistoa käsitellään ohjelman luvuissa 7–8.

1.4 YJH-2012-ohjelman yleiset tavoitteet

Voimalaitos- ja käytöstäpoistojätteitä koskevia jätehuoltotoimenpiteitä jatketaan ohjelmakaudella 2013–2018 Loviisan ja Olkiluodon ydinjätelaitoksissa vakiintuneiden menettelyjen mukaisesti. Käynnissä olevat pitkäkestoiset kokeet myös jatkuvat. Alkavalle kaudelle sijoittuu myös mm. Loviisan loppusijoituslaitoksen määräaikaisten turvallisuusarvio ja kiinteytyslaitoksen käyttöönotto vuonna 2013 sekä käytöstäpoistosuunnitelman päivitys vuonna 2018. TVO:n seuraava käyvien laitosten käytöstäpoistosuunnitelma laaditaan viimeistään vuonna 2020 ja se sisältää Olkiluoto 1 (OL1) -, Olkiluoto 2 (OL2) - ja Olkiluoto 3 (OL3) -yksiköitä koskevat suunnitelmat. Oletettavasti tämä yhdistetty suunnitelma laaditaan jo aiemmin, koska OL3:n ensimmäinen käytöstäpoistosuunnitelma jätetään OL3:n käyttöluvan jättämisen yhteydessä ja se on päivitettävä kuuden vuoden kuluttua jättämisestä.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitushankkeen valmistelua koskeva kokonaisuika- ja aikataulu on esitetty kuvassa 1-1. Loppusijoitukseen tähtäävä työ aloitettiin TVO:n toimesta osana sen käyttölupaehdoissa 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.

Käytetyn polttoaineen loppusijoitusta koskevassa työssä ollaan siirtymässä vuosina 2013–2018 hankkeen toteuttamiseen. Ohjelmakauden aikana viranomaiset käsittelevät Posivan jättämän rakentamislupahakemuksen ja hankkeen aikataulu tarkentuu tämän käsittelyvaiheen jälkeen. Tämän ohjelman lähtökohtana tavoitteiden asettamisessa on käytetyn polttoaineen loppusijoituksen tämänhetkinen aikataulu, joka tähtää loppusijoitustoiminnan aloittamiseen noin vuonna 2020.



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

Posivan tavoitteena on, että vuonna 2012 jätettävän hakemuksen perusteella yhtiölle myönnetään rakentamislupa ja että se muuttuu ohjelmakauden aikana ydinlaitosluvanhaltijaksi. Tämän seurauksena vuosina 2013–2015 tehtävän työn päämääränä on saattaa rakentamislupahakemusvaiheen suunnitelmat sellaiseen valmiuteen, että hankkeen kaikenlainen toteuttaminen on mahdollista aloittaa. Tämän myötä seuraava päätavoite on käyttölupahakemusvalmiuden saavuttaminen. Sen saavuttamiseksi Posivan toiminta suuntautuu enenevässä määrin loppusijoituksen toteuttamiseen, mikä heijastuu alkavan ohjelmakauden aikana tapahtuvan suunnittelu- ja tutkimustyön painopisteisiin. Käyttöluvan saamiseksi tulee tarvittavien ydinlaitosten olla rakennettuja toimintavalmiuteen. Sama vaatimus toimintavalmiudesta koskee myös muita loppusijoitustoiminnan aloittamiseen tarvittavia tuotantotoimintoja.

Käyttölupahakemusvalmiuden saavuttamisen kannalta on olennaista, että

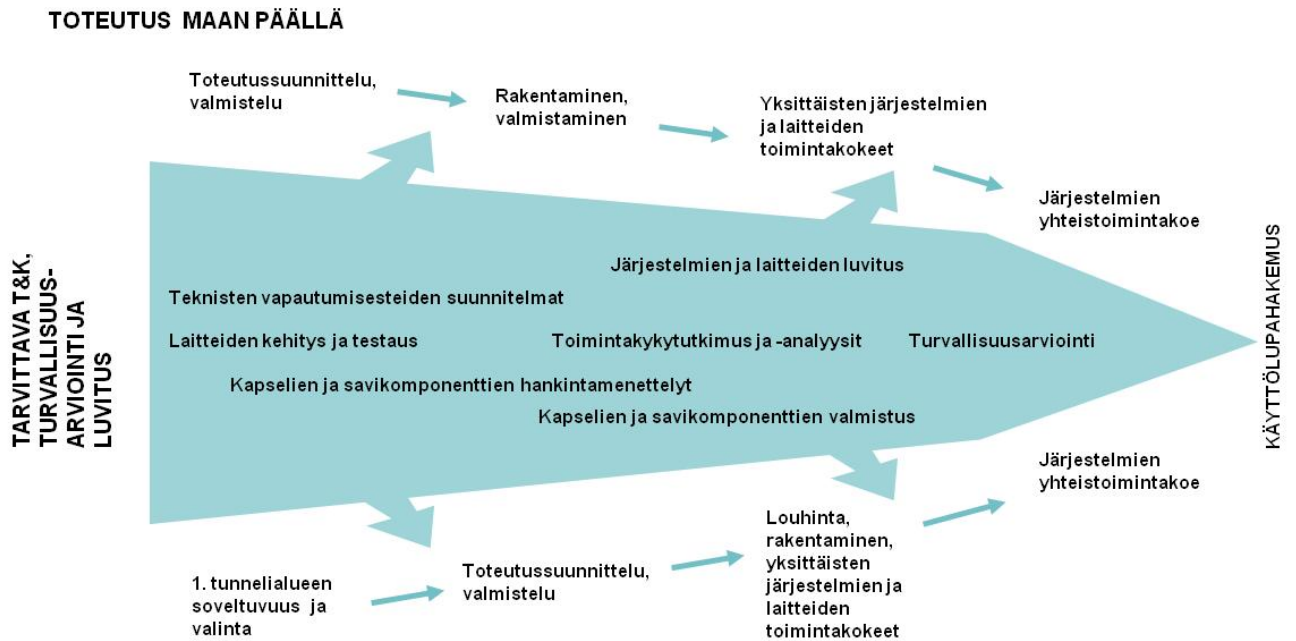
- vaatimukset täyttävän loppusijoitusjärjestelmän toteutettavuus on analyysin ja testein osoitettu,
- käyttöluvan saannin takaava turvallisuusperustelu on laadittu,
- laitokset ja laitteet on suunniteltu ja rakennettu riittävän pitkälle koekäyttöä varten,
- Posivan organisaatio täyttää loppusijoitustoiminnan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

Tällaisen tavoitetilan saavuttamista ilmentävät seuraavat tehtäväkokonaisuudet:

- Laitosrakentaminen, jonka tulee olla edennyt riittävän pitkälle, jotta lupahakemuksen jättäminen on mahdollista, sekä
- T&K-tehtävien valmistuminen siten, että toimintakokeiden avulla voidaan osoittaa KBS-3-ratkaisun toteutettavuus sekä pitkäaikaisen turvallisuuden kannalta keskeisen alkutilan saavuttaminen.

Tutkimus- ja kehitystyön kannalta merkittävän tavoitteen muodostaa rakentamislupahakemuksen yhteydessä esiin mahdollisesti nousevien – ja erityisesti pitkäaikaiseen turvallisuuteen kohdistuvien – epävarmuuksien poissulkeminen tai saattaminen sellaiselle tasolle, että ne voidaan sulkea pois käyttölupahakemukseen liitettävissä suunnitelmissa 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.

Kuvassa 1-2 on esitetty kaavamaisesti tavoiteasetanta alkavalle ohjelmakaudelle. Tavoitteena oleva käyttölupahakemusvalmius saavutetaan ydinlaitosten toteuttamisella maan päällä ja alla sekä niihin liittyvällä tutkimus- ja kehitystyöllä. T&K-työ tuottaa tuloksia toteutuksen käyttöön ja palvelee KBS-3-järjestelmän toimintakyvyn sekä turvallisuuden arviointia. Tavoitteen saavuttamisen kannalta olennaisen osan tiedonhankinnasta muodostaa testaus- ja kehitystyö ONKALOon rakennetuissa demonstraatiotunneleissa. Käyttölupahakemusvalmius saavutetaan, kun sekä maanpäällisessä kapselointilaitoksessa että maanalaisessa loppusijoituslaitoksessa on menestyksellisesti suoritettu yhteistoimintakokeet ja niiden avulla osoitettu loppusijoittamisen aloittaminen mahdolliseksi. Yhteistoimintakokeet sisältyvät säädösten edellyttämään ydinlaitoksen koekäyttöön.



TOTEUTUS MAAN ALLA

Kuva 1-2. Keskeiset tehtäväkokonaisuudet sekä vaiheet tavoitteeksi asetetun käyttö lupahakemusvalmiuden saavuttamiseksi siten, että loppusijoituksen aloittaminen olisi mahdollista noin vuonna 2020. Tarvittava tutkimus- ja kehitystyö palvelee sekä toteutusta että käyttö lupahakemukseen liitettävää lopullista turvallisuusselostetta. Toteutuksen aikana huolehditaan järjestelmien ja laitteiden erillisluvituksesta samoin kuin kehitetään hankinta- ja valmistustavat teknisten vapautumisesteiden komponenteille.

Vuoden 2000 periaatepäätöksen mahdollistamana on Olkiluotoon louhittu maanalainen tutkimustila ONKALO. Nämä tilat 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 ja siihen liittyvää kaikenlaista toteutusta samalla tavoin kuin ydinlaitosta. Kuvassa 1-2 esitettyjen tehtäväkokonaisuuksien suorittamisessa ONKALOLLA on keskeinen rooli. Maanalaisen loppusijoituslaitoksen käyttöön tähtäävä kehitystyö on suunniteltu tehtäväksi valtaosin ONKALON mahdollistamissa tunnelitiloissa loppusijoitusta vastaavissa olosuhteissa.

2 LOVIISAN VOIMALAITOKSEN YDINJÄTEHUOLLON KOKONAISUUNNITELMA PÄÄPIIRTEITTÄIN

Loviisan voimalaitos koostuu kahdesta käyvästä voimalaitosyksiköstä, Loviisa 1 (LO1) ja Loviisa 2 (LO2). Lisäksi voimalaitosalueella on käytetyn polttoaineen varasto (KPA-varasto) sekä voimalaitosjätteen loppusijoitustila (VLJ-luola). Valtioneuvosto on myöntänyt Fortum Power and Heat Oy:lle luvan käyttää Loviisan voimalaitoksen 1 500 MW:n nimellislämpötehoista ensimmäistä ydinvoimalaitosyksikköä (LO1) vuoden 2027 loppuun ja toista ydinvoimalaitosyksikköä (LO2) vuoden 2030 loppuun asti. Valtioneuvosto on lisäksi myöntänyt luvan käyttää laitosyksikköihin kuuluvia ydinpolttoaine- ja ydinjätehuollon kannalta tarpeellisia rakennuksia ja varastoja tarvittavine laajennuksineen vuoden 2030 loppuun asti. Ydinvoimalaitoksen käytöstä syntyvät matala- ja keskiaktiiviset voimalaitosjätteet yhtiö loppusijoittaa voimalaitospaikalle rakennettuun loppusijoituslaitokseen, jonka käyttö lupa on voimassa vuoden 2055 loppuun.

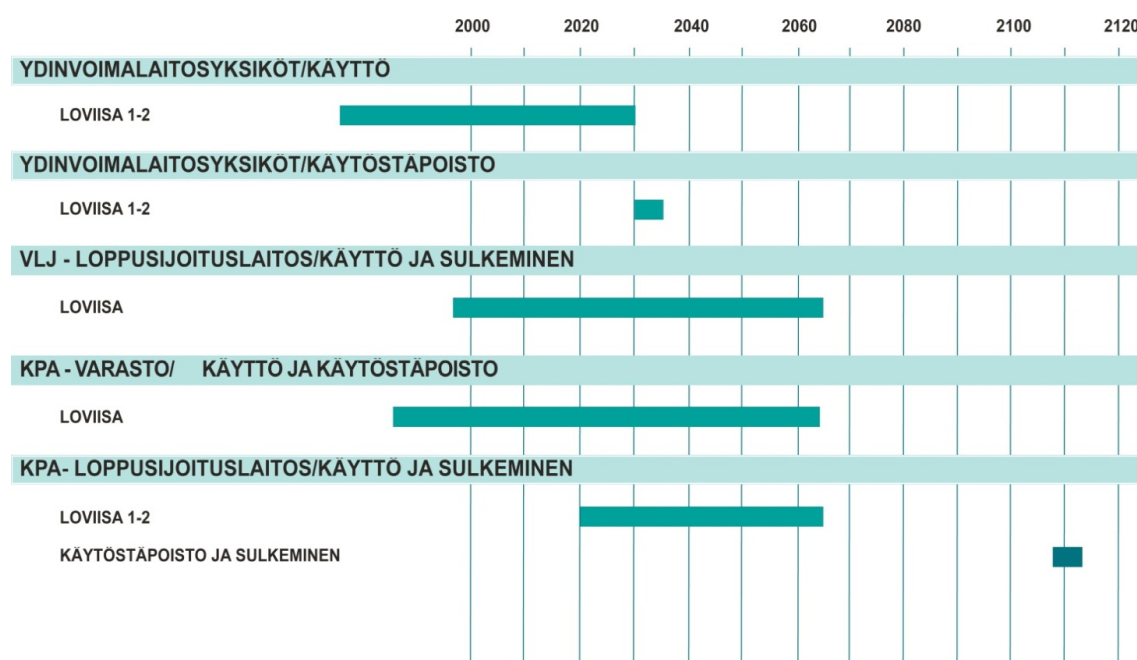
2.1 Loviisan voimalaitoksen ydinjätehuoltotoimenpiteiden kokonaisuakataulu

Loviisan ensimmäinen voimalaitosyksikkö LO1 aloitti kaupallisen sähköntuotannon vuonna 1977 ja toinen yksikkö LO2 vuonna 1981. Laitosten käytön aikana syntyviä radioaktiivisia voimalaitosjätteitä välivarastoitiin laitosalueella varastoissa ja tankeissa, kunnes Loviisan loppusijoituslaitos valmistui vuonna 1997. Loppusijoituslaitokseen louhittiin aluksi kulkuyhteydet maanpinnalta, kaksi huoltojätetilaa (HJT1 ja HJT2) sekä tila myöhemmin rakennettavalle kiinteitetyn keskiaktiivisen jätteen tilalle (KJT). KJT rakennettiin valmiiksi vuonna 2008. Huoltojätteiden sijoitus tiloihin HJT1 ja HJT2 alkoi heti luolan käyttöönoton jälkeen. KJT ei vielä tällä hetkellä ole loppusijoituskäytössä. Se otetaan käyttöön, kun Loviisan nestemäisten jätteiden kiinteytyslaitoksen koekäyttö saadaan hyväksytysti suoritetuksi.

Loviisan voimalaitoksen toiminnan alkuaikoina käytetty ydinpolttoaine palautettiin lyhyen välivarastointiajan jälkeen Neuvostoliittoon ja myöhemmin Venäjälle. Ydinenergialakia muutettiin vuonna 1994 siten, että ydinjätteiden maastavienti ja maahantuonti kiellettiin. Muutos johti TVO:n ja Imatran Voiman, nykyisen Fortumin, yhteistyöhön käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksessa ja Posivan perustamiseen vuonna 1995. Viimeinen erä käytettyä ydinpolttoainetta kuljetettiin Loviisasta Venäjälle vuonna 1996. Tämän jälkeen käytettyä ydinpolttoainetta on varastoitu Loviisan voimalaitosalueella sijaitsevassa KPA-varastossa. Loviisan KPA-varasto on vesijäähdytteinen allasvarasto, jossa on 11 allasta. Varastoa laajennettiin vuosina 1997–2000, jotta varastointikapasiteetti riittäisi loppusijoituksen aloittamiseen asti, eli noin vuoteen 2020. Varastolla on myös otettu käyttöön ns. tiheitä telineitä, jotka mahdollistavat suurempien polttoainemäärien varastoimisen altaissa.

Vuosina 2011–2012 Loviisan loppusijoitustilaa on laajennettu rakentamalla huoltojätteiden välivarastointi- ja käsittelytila HJT3 ja rakentamalla valmiiksi kuvaan 2-2 oranssilla merkitty yhdystunneli, joka mahdollistaa ajoneuvojen helpomman liikuttelun loppusijoitustilassa. HJT3 on tarkoitus myöhemmin luvittaa huolto- ja käytöstäpoistojätteen loppusijoitustilaksi.

Loviisan voimalaitosyksiköiden käyttöluvat ovat tällä hetkellä voimassa LO1:n osalta vuoteen 2027 ja LO2:n osalta vuoteen 2030. Laitoksen käytöstäpoistoon johtavat suunnittelutyöt käynnistetään hyvissä ajoin ennen niiden käyttöiän päättymistä, jotta laitosyksiköiden purku voidaan aloittaa välittömästi käyttöiän päättyessä. Laitoksen käytöstäpoiston ensimmäinen vaihe valmistuu tämän hetken suunnitelmien mukaan noin vuonna 2035. Osia laitosyksiköiden järjestelmistä, kuten nestemäisten jätteiden käsittelyjärjestelmiä, ei pureta tässä vaiheessa, sillä niitä tarvitaan edelleen KPA-varaston itsenäisen käytön aikana. Loviisan polttoaine on saatu loppusijoitetuksi noin vuonna 2065, minkä jälkeen suoritetaan KPA-varaston käytöstäpoisto ja puretaan sen käyttämät järjestelmät. Kertyneet jätteet sijoitetaan Loviisan matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustiloihin ja tilat suljetaan noin vuonna 2068. Loviisan voimalaitoksen suunnitellun käytön sekä ydinjätehuoltotoimenpiteiden ajoittuminen on esitetty kuvassa 2-1.



Kuva 2-1. Loviisan voimalaitoksen ydinjätehuollon kokonaisaikataulu.

2.2 Käytetyn polttoaineen käsittely ja varastointi

Loviisan kahden ydinvoimalaitosyksikön (LO1 ja LO2) käytettyä polttoainetta varastoidaan voimalaitosyksiköillä ja KPA-varastossa. Loviisan käytetyn polttoaineen varastoaltaiden määrää on viimeksi lisätty vuonna 2000. Nykyiset altaat on päätetty varustaa osin tiheillä telineillä. Näin saadaan lisäkapasiteettia vuoteen 2020 saakka, jolloin käytetyn polttoaineen kuljetukset loppusijoitusta varten Olkiluotoon on määrä aloittaa. Jos kaikki altaat varustetaan tiheillä telineillä, varastokapasiteettia on noin vuoteen 2030 asti.

Vuonna 2007 Loviisan käytetyn polttoaineen varastoon hankittiin kaksi uutta tiheää telinettä, samoin vuosina 2009 ja 2011. Vuoden 2011 lopussa Loviisan voimalaitoksella oli varastoituna yhteensä 4 339 käytettyä polttoaineenippua, mikä vastaa noin 522 tonnia tuoretta uraania. Polttoainenipuista oli LO1:llä 360 kpl ja LO2:lla 293 kpl. Käytetyn

polttoaineen varastoissa 1 ja 2 oli 480 ja 3206 nippua vastaavasti. Lisäksi LO1:n reaktorissa oli 313 ja LO2:n reaktorissa samoin 313 nippua käytössä.

2.3 Voimalaitosjätteen käsittely, varastointi ja loppusijoitus

Loviisan voimalaitoksen matala- ja keskiaktiivinen voimalaitosjäte käsitellään, varastoidaan ja loppusijoitetaan laitospaikalla (kuva 2-2). Käytetyt ioninvaihtohartsit ja haihdutusjätteet varastoidaan nestemäisten jätteiden varaston säiliöissä. Haihdutusjätteestä erotetaan cesiumia kampanjoittain nestemäisen jätteen määrän vähentämiseksi. Betonointiin perustuva nestemäisten jätteiden kiinteytyslaitos valmistui vuonna 2007 ja on tällä hetkellä koekäytössä.

Voimalaitoksen huolto- ja korjaustöissä syntyvä kuiva huoltojäte pakataan 200 litran terästynnyreihin. Puristuva jäte prässätään tynnyreihin jätepuristimella, jolloin yhteen tynnyriin saadaan mahtumaan noin viisi kertaa enemmän jätettä kuin ilman tiivistystä.

Valvonnasta vapautettuja huoltojätteitä toimitetaan kaatopaikalle ja Ekokem Oy:lle. Valvonta-alueella syntynyttä metallijätettä vapautetaan kampanjanomaisesti valvonnasta tilanteen mukaan sopivissa jäte-erissä. Radioaktiivisia metallijätteitä välivarastoidaan valvonta-alueen varastotilojen lisäksi erikseen luvitetussa kontissa laitosalueella sijaitsevassa hallissa, joka on varattu valvonnasta vapautettavien huoltojätetynnyrien varastopaikaksi. Nämä metallijätteet loppusijoitetaan aikanaan VLJ-luolaan.

2.4 Käytöstäpoistosuunnittelu

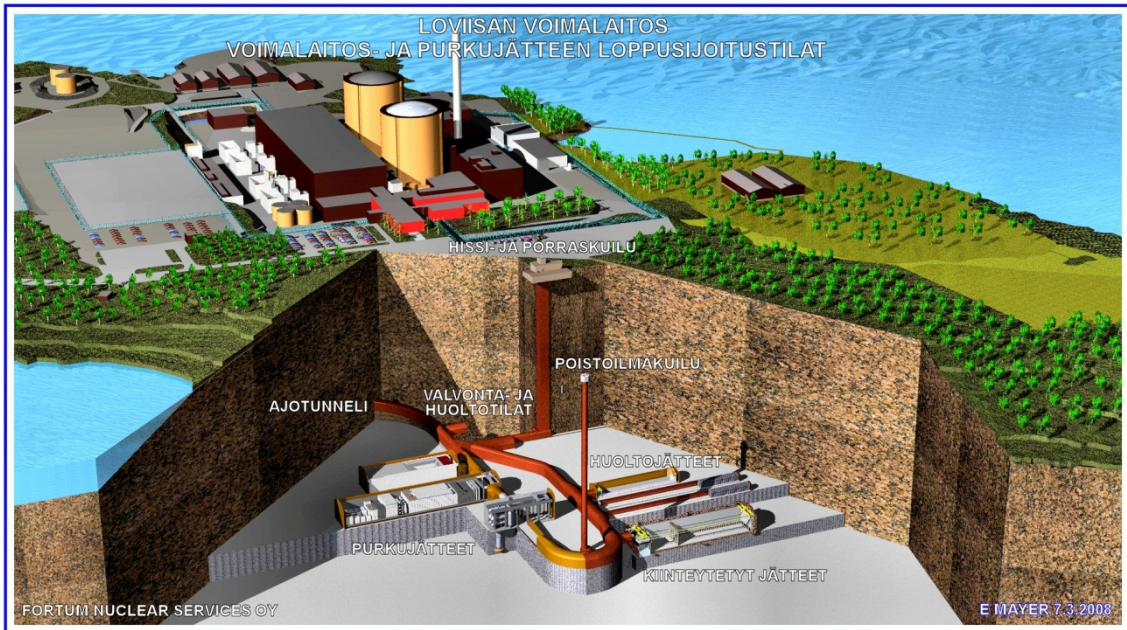
Loviisan voimalaitoksen viimeisin käytöstäpoistosuunnitelma toimitettiin työ- ja elinkeinoministeriölle joulukuussa 2008 (Kallonen ym. 2008). Loviisan voimalaitoksen käytöstäpoistosuunnittelun lähtökohtana on välitön purku laitossyksiköiden 50 vuoden käyttöiän jälkeen.

Loviisan voimalaitoksen käytöstäpoistosuunnitelmaan sisältyvät mm. aktiivisuusinventari, suunnitelma purkutoimenpiteistä, säteilyannosarviot, loppusijoitettavien komponenttien ja pakkausten määrät, työmäärä- ja kustannusarviot sekä jätteen loppusijoituksen turvallisuusperustelu. Suunnitelmat perustuvat nykyisiin käytössä oleviin purku-, käsittely- ja kuljetustekniikoihin. Käytöstäpoistosuunnitelman lähtökohtana on purkaa välittömästi käytön päättymisen jälkeen ne radioaktiiviset osat, joita ei tarvita muun Hästholmenille jäävän ydinteknisen toiminnan (käytetyn polttoaineen varastointi, märkien jätteiden kiinteytys sekä matala- ja keskiaktiivisten jätteiden loppusijoitus) jatkamiseksi.

Seuraava käytöstäpoistosuunnitelman päivitys tehdään vuonna 2012. Sen jälkeen käytöstäpoistosuunnitelmaa päivitetään viranomaisvaatimusten mukaisesti kuuden vuoden välein. Päivityksissä seurataan tekniikan kehittymistä sekä tarkennetaan suunnitelmaa kohti lopullista, toteutettavaa käytöstäpoistosuunnitelmaa.

Loviisan voimalaitoksen käytön jatkamisesta yli 50 vuoden käyttöiän ei ole toistaiseksi tehty päätöksiä. Nykyisen suunnitelman mukaan laitos on tarkoitus purkaa välittömästi.

Lopullinen päätös siitä, puretaanko laitos välittömästi vai viivästetysti, tehdään vasta laitoksen käytön päättyessä ennen käytöstäpoiston alkamista.



Kuva 2-2. Loviisan voimalaitoksen loppusijoituslaitos ja sen laajennukset (Kallonen ym. 2008).

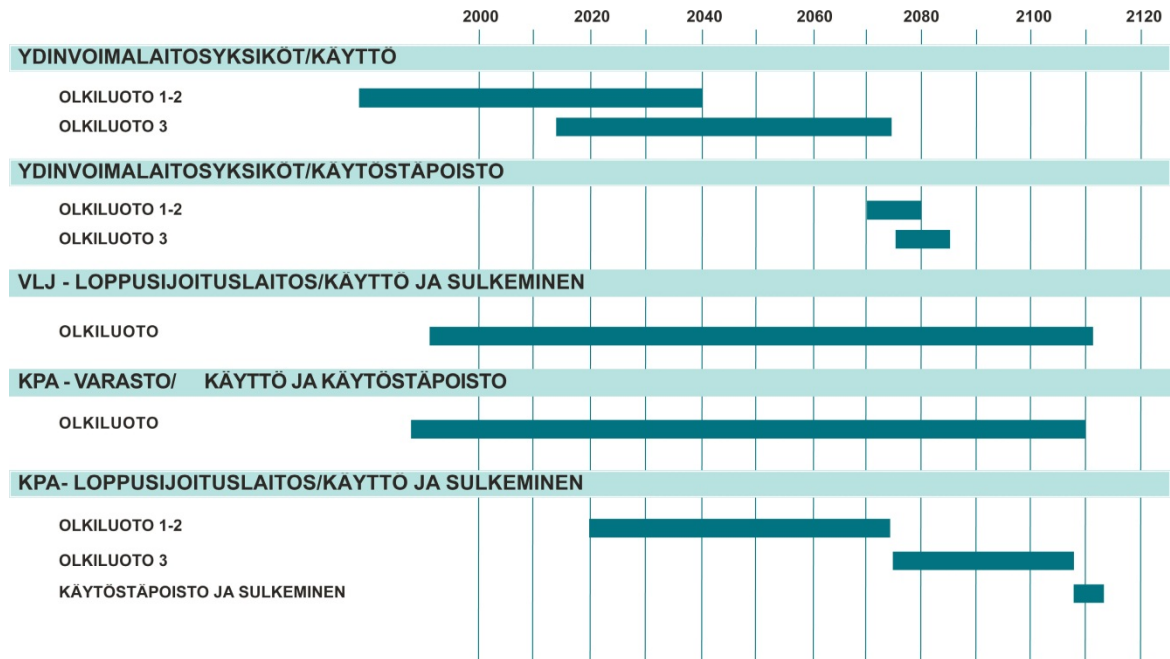
3 OLKILUODON VOIMALAITOKSEN YDINJÄTEHUOLLON KOKONAISUUNNITELMA PÄÄPIIRTEITTÄIN

3.1 Olkiluodon voimalaitoksen ydinjätehuoltotoimenpiteiden kokonaisaikataulu

Olkiluodon ensimmäinen voimalaitosyksikkö OL1 käynnistettiin vuonna 1978 ja toinen yksikkö OL2 vuonna 1980. Laitosten käyttöluvut ovat voimassa vuoteen 2018 asti. OL1 ja OL2 -laitosten käyttöluvuissa on mukana laitosalueella sijaitsevat jätteiden varastotilat keskiaktiivisille jätteille (KAJ) ja matala-aktiivisille jätteille (MAJ) sekä polttoaineen välivarasto (KPA-varasto). Uuden OL3-laitosyksikön tulevaa käyttöönottoa varten jätettävään käyttöluvahakemukseen on valmisteltu kuvaus jätehuollon toimenpiteistä sekä jätteiden loppusijoituksesta laitosyksikön osalta.

Olkiluodon voimalaitosjätteiden loppusijoitustila (VLJ-luola) otettiin käyttöön vuonna 1992. VLJ-luolan käyttö lupa on voimassa vuoden 2051 loppuun saakka. Lupa on saatu valtioneuvoston 9.4.2002 antamalla päätöksellä. TEM on hyväksynyt lupaehdoissa määritellyn selvityksen VLJ-luolan turvallisuudesta ja käyttökokemuksista sekä voimalaitosjätteiden uusista pakkaus- ja loppusijoitustekniikoista 26.3.2008 antamassaan lausunnossa. VLJ-luolan laajentamisen esisuunnitelma on tehty vuonna 2008 (Nykyri ym. 2008) vastaamaan käyttöiän nostoa 40 vuodesta 60 vuoteen OL1 ja OL2 -laitosyksiköiden osalta sekä OL3:n käyttö- ja käytöstäpoistojätteiden loppusijoitussuunnitelman toteuttamiseksi. Periaatepäätöksen saaneen neljännen reaktoriyksikön, OL4:n, aiheuttamat tarpeet on myös päätetty ottaa huomioon tulevassa loppusijoitustilojen laajennussuunnitelmassa.

Olkiluodon ydinvoimalaitoksen vuonna 2008 päivitetystä käytöstäpoistosuunnitelmassa (TVO 2008) osoitetaan, että käytöstäpoiston turvallinen toteutus on mahdollista. Suunnitelma ottaa huomioon OL1 ja OL2 -laitosyksiköiden käyttöiän pidentämisen 60 vuoteen. Suunnitelma huomioi osittain myös OL3-laitoksen käytöstäpoiston ja OL4-laitosyksikön tulevat suunnitelmat. Olkiluodon voimalaitoksen suunnitellun käytön sekä ydinjätehuoltotoimenpiteiden ajoittuminen on esitetty kuvassa 3-1.



Kuva 3-1. Olkiluodon voimalaitoksen ydinjätehuollon kokonaisaikataulu.

3.2 Käytetyn polttoaineen käsittely ja varastointi

Olkiluodon ydinvoimalaitoksen kahden käynnissä olevan laitosesikön (OL1 ja OL2) käytettyä polttoainetta varastoidaan voimalaitosesiköillä ja voimalaitosalueella olevassa KPA-varastossa. KPA-varastoon mahtuu laitosesiköiden noin 30 vuoden toiminnasta kertyvä polttoainemäärä. Vuoden 2011 lopulla KPA-varastossa oli varastointikapasiteettia 7 146 positiota. Varaston laajennuksen rakennustyöt ovat käynnissä ja se otetaan käyttöön vuonna 2014.

Vuoden 2011 lopussa käytettyä polttoainetta oli varastoituna yhteensä 7 670 nippua, jotka sisältävät noin 1 290 tonnia uraania. Varastoiduista nipuista 6 556 oli KPA-varastossa, 570 OL1:n vesialtaissa ja 544 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.

3.3 Voimalaitosjätteen käsittely, varastointi ja loppusijoitus

Olkiluodon voimalaitoksella voimalaitosjätteistä pääosa pakataan heti käsittelyä, varastointia ja loppusijoitusta varten. OL1 ja OL2 -laitosesiköiden prosessivesien puhdistukseen käytetyt keskiaktiiviset ioninvaihtohartsit kiinteitetään bitumiin ja seos valetaan terästynnyreihin. OL3-laitoksella jäte tullaan kuivattamaan terästynnyreihin. Kokoonpuristuva matala-aktiivinen jäte tiivistetään terästynnyreihin hydraulisella puristimella ja kokoonpuristumaton pakataan sellaisenaan teräs- ja betonilaatikoihin sekä terästynnyreihin. Kokoonpuristuvaa jätettä sisältävät tynnyrit puristetaan kasaan siten, että tynnyreiden lopullinen korkeus on noin puolet alkuperäisestä korkeudesta halkaisijan pysyessä muuttumattomana. Myös metalliromua voidaan muokata tiiviimpään muotoon ennen pakkaamista. Metallisilppurilla pilkotulla romulla voidaan

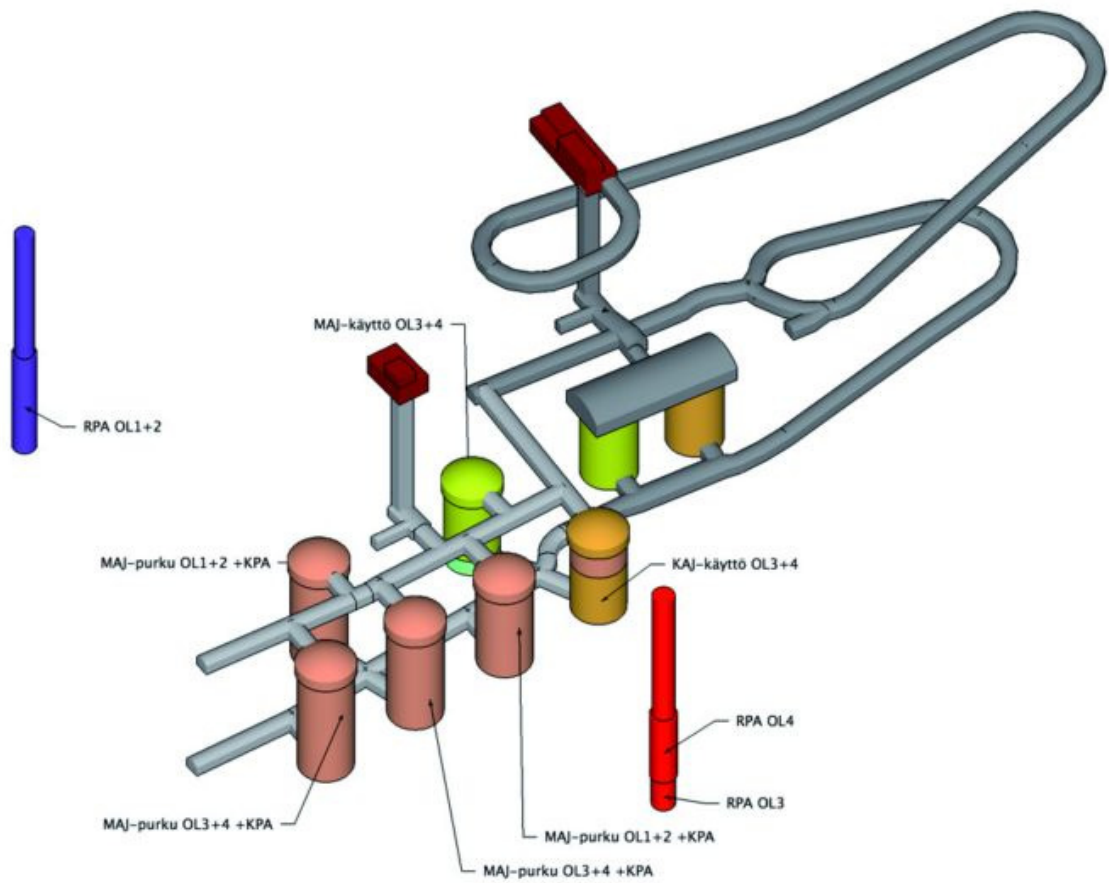
täyttää luolaan menevien betonilaatikoiden tyhjää tilaa ja näin metallijätteen pakkausaste tehostuu. Sekalaiset nestemäiset jätteet ja lietteet kiinteytetään sekoittamalla jätettä ja sideainetta toisiinsa tynnyrissä, joka jää kiinteytystuotteen pakkaukseksi. Nesteiden ja lietteiden tilavuus minimoidaan mahdollisuuksien mukaan ennen kiinteyttämistä haihduttamalla.

Voimalaitosjätteitä varastoidaan väliaikaisesti voimalaitosyksiköiden jäterakennusten varastoissa ja polttoainealtaissa, keskiaktiivisen ja matala-aktiivisen jätteen välivarastoissa (KAJ- ja MAJ-varastot) sekä vähäisissä määrin myös KPA-varastossa Olkiluodon voimalaitosalueella. Voimalaitosjätteiden loppusijoitusluolan (VLJ-luola, kuva 3-2) nykyisiin jätesiiloihin loppusijoitetaan OL1 ja OL2 -laitosten käytön aikana kertyvät matala- ja keskiaktiiviset jätteet. Hyvin matala-aktiiviset jätteet vapautetaan valvonnasta ja viedään Olkiluodon voimalaitosalueella sijaitsevalle kaatopaikalle tai luovutetaan muualle esimerkiksi käsiteltäviksi uusiokäyttöä varten.

3.4 Käytöstäpoistosuunnittelu

Olkiluodon voimalaitoksen viimeisin käytöstäpoistosuunnitelma jätettiin työ- ja elinkeinoministeriölle joulukuussa 2008 (TVO 2008). Olkiluodon käytöstäpoistosuunnittelussa lähtökohtana on laitosyksiköiden OL1 ja OL2 viivästetty purku 60 vuoden käyttöänsä jälkeen. Laitosyksiköille OL3 ja OL4 on alustavasti lähtökohtana välitön käytöstäpoisto, jolloin kaikki neljä laitosyksikköä voitaisiin purkaa samoihin aikoihin. Purkutyöt on tarkoitus aloittaa 2070-luvulla. Käytöstäpoistosuunnitelmassa laadittiin suunnitelma tarvittaville loppusijoitustilan laajennuksille, huomioiden myös laitosyksiköt OL3 ja OL4 sekä arvioitiin käytöstäpoistojätteen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuutta, huomioiden OL3-laitosyksikön käytöstäpoistojätteen konservatiivisesti arvioitu määrä ja radioaktiivisuus. Käytöstäpoistokustannusten osalta tarkasteltiin toistaiseksi vain laitosyksiköiden OL1 ja OL2 kustannuksia.

Jatkossa selvitetään Posivan kanssa vaihtoehtoa, jossa KPA-varaston käytöstäpoistojätteet sijoitettaisiin samaan yhteyteen Posivan ydinjätelaitosten käyttöjätteiden kanssa. Tässä vaihtoehdossa VLJ-luolan sulkeminen tehtäisiin useita vuosikymmeniä kuvassa 3-1 esitettyä aikaisemmin OL3 ja OL4 -laitosten käytöstäpoistojätteiden loppusijoittamisen jälkeen.

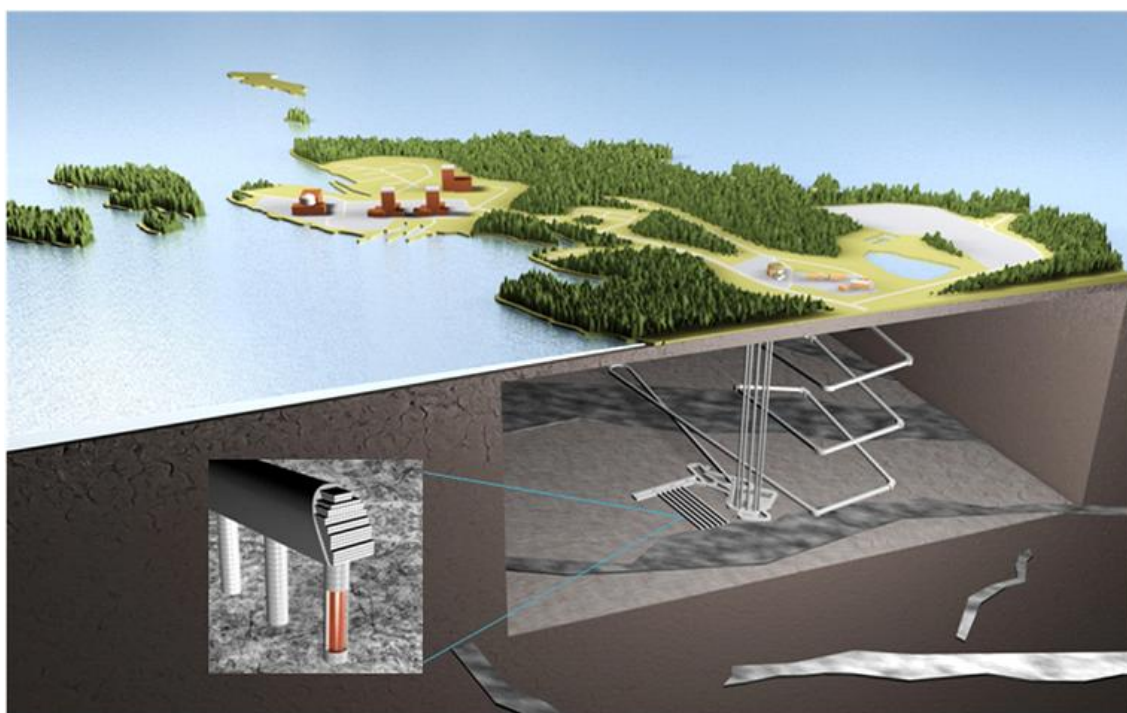


Kuva 3-2. Olkiluodon voimalaitoksen loppusijoituslaitos ja sen suunnitellut laajennukset (Nykyri 2008).

4 KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUSVALMISTELUJEN TILANNE

Suomessa ja Ruotsissa käytetyn polttoaineen loppusijoitusratkaisuksi on valittu KBS-3-ratkaisu. Siitä on tällä hetkellä pohdittavana kaksi erilaista vaihtoehtoa: pystysijoitus- eli KBS-3V-ratkaisu sekä vaakasijoitus- eli KBS-3H-ratkaisu, joista ensin mainittu on loppusijoituksen perusratkaisu (kuva 4-1).

Koska käytetty polttoaine on pitkään haitallista, se täytyy eristää pintaympäristöstä pitkäksi aikaa. Turvallinen loppusijoitus perustuu pitkäaikaiseen eristämiseen (isolation) ja suojarakenteisiin (containment). Lähtökohtana on moniesteperiaate. Sen avulla varmistetaan, että mikään yksittäinen haitallinen ilmiö tai epävarmuus ei vaaranna koko järjestelmän turvallisuutta. KBS-3-loppusijoitusratkaisun turvallisuutta ja toimintakykytavoitteita käsitellään tarkemmin tämän raportin luvussa 4.6.



Kuva 4-1. Havainnekuva KBS-3V-loppusijoitusratkaisusta.

KBS-3-ratkaisussa käytetyn polttoaineen radionuklidien eristäminen varmistetaan ennen kaikkea sulkemalla polttoaine kaasu- ja vesitiiviisiin kupari-rautakapseleihin. Radionuklidien vapautumisen todennäköisyyttä kapseleista pidetään vähäisenä, koska kapseleiden ympäristö edistää kapseleiden pitkäikäisyyttä suotuisten lähialueolosuhteiden ja teknisten vapautumisesteiden (Engineered Barrier System, EBS) todennetun korkean laadun avulla. Tekniset vapautumisesteet käsittävät kapselit, niitä ympäröivän savipuskurin, joka suojaa kapseleita kallioperään liikunnoilta ja pohjaveden sisältämiltä, mahdollisesti haitallisilta aineilta, ja loppusijoitustunnelin täyteaineen, joka tukee sekä puskuria että kalliota. Vapautumisesteisiin kuuluu myös muita komponentteja, kuten muiden tilojen täytöt ja loppusijoitustunnelien, keskustunnelien, kuilujen, ajotunnelien ja tutkimusreikien tulpat ja sulut sekä

KBS-3H-vaihtoehdossa loppusijoitusreikien täyttökomponentit, osastotulpat ja päätytulpat. Ne on suunniteltu yhteensopiviksi kapselin, puskurin, loppusijoitustunneleiden täyteaineen ja kallioperän kanssa sekä tukemaan näiden turvallisuustoimintoja. Esimerkiksi kalliotilojen (mukaan lukien tunnelit, kuilut ja kairausreiät) täyttö ja sulkeminen edistävät kallioperän turvallisuustoimintoja tukemalla kalliota mekaanisesti ja estämällä kulkeutumisreittien (vettäjohtavien virtausreittien) muodostumista. Ne ehkäisevät myös ihmisen tahatonta tunkeutumista loppusijoitustilaan. Pintaympäristöllä ei ole merkitystä vapautumisesteenä, eikä sille siksi ole määritetty turvallisuustoimintoja tai tavoiteominaisuuksia.

Teknisten vapautumisesteiden ominaisuudet ovat yhdenmukaiset STUKin ohjeluonnoksen YVL E.5 kohdan 4.5 mukaan: *"Teknisiä vapautumisesteitä ja niiden turvallisuustoimintoja voivat olla jätematriisi, joka sitoo radioaktiivisia aineita, tiivis, korroosiota ja mekaanista rasitusta kestävä astia, johon jätteet suljetaan, radioaktiivisten aineiden liukenemista ja kulkeutumista rajoittavat kemialliset olosuhteet jätepakkausten ympäristössä, jätepakkauksia ympäröivä eristävä ja vähäisiä kallioliikuntia myötäävä väliaine (puskurimateriaali), muut loppusijoitustilassa olevat eristysrakenteet, täyteaineet ja sulkurakenteet, jotka rajoittavat radioaktiivisten aineiden kulkeutumista louhittujen tilojen kautta"*.

Vankka suunnittelu perustuu riittävään syvyyteen, suotuisiin ja ennustettavissa oleviin kallioperän ja pohjaveden olosuhteisiin sekä hyvin tutkittuihin kallioperän ja teknisten vapautumisesteiden materiaaliominaisuuksiin. Olkiluodon loppusijoituspaikan karakterisointi ja loppusijoitustilan suunnittelu keskittyvät kalliotilavuuteen -400...-500 metrin syvyydessä. Tällä syvyydellä on suotuisat ja ennustettavissa olevat kallioperä- ja pohjavesiolosuhteet, kuten pelkistävät olosuhteet ja pohjaveden hidas virtaus, ja ihmisen tahattoman tunkeutumisen todennäköisyys on pieni. Syvyys vastaa STUKin ohjeluonnoksen YVL E.5 kohdan 4.11 vaatimusta, jonka mukaan loppusijoitustila tulee sijoittaa *"...usean sadan metrin syvyyteen, jotta maanpäällisten luonnonilmiöiden, kuten jäätiköitymisen, ja ihmisen toiminnan vaikutukset vaimenevat riittävästi"*.

Mikäli alkuvaiheessa olisi mukana kapseleita, joissa on kuparivaipan läpäisevä vika, tai jokin kapseli myöhemmin rikkoutuisi, radionuklidien vapautumisen vaikutusten seuraukset ihmisille ja elolliselle luonnolle lievenisivät käytetystä polttoainematriisista vapautuvien radionuklidien kulkeutumisen hitauden takia: kulkeutumista hidastaa sekä puskuri ja täyteaineet että itse kallioperä. Tekniset vapautumisesteet ja kallio yhdessä sekä pidättävät että hidastavat radionuklideja. Myös radioaktiivinen hajoaminen jatkuu kulkeutumisen aikana.

4.1 Lähtökohdat

4.1.1 Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen luvituksen tilanne

Posivan kapselointi- ja loppusijoituslaitokset ovat ydinenergialaissa (990/1987) tarkoitettuja yleiseltä merkitykseltään huomattavia ydinlaitoksia, joiden rakentaminen edellyttää valtioneuvoston hankekohtaista 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

käyttölupahakemukset, joihin liittyvät yksityiskohtaiset kuvaukset ja turvallisuusselvitykset toimitetaan samassa yhteydessä STUKille. Rakentamislupa- ja käyttölupavaiheessa keskeistä on, että STUKin valtioneuvostolle luvitusaineiston perusteella laatimassa turvallisuusarviossa ei nähdä esteitä laitoksen rakentamiselle ja käytölle.

4.1.1.1 Ympäristövaikutusten arviointi ja periaatepäätös

Posiva toteutti vuosina 1998–1999 periaatepäätöshakemuksen edellyttämän ympäristövaikutusten arviointimenettelyn, joka koski 9 000 uraanitonnia (tU) vastaavan ydinpolttoainemäärän loppusijoittamista (Posiva 1999a). Posiva jätti kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamista koskevan periaatepäätöshakemuksensa valtioneuvostolle 26.5.1999 (Posiva 1999b). Periaatepäätöstä haettiin neljän käyvän ydinvoimalaitosyksikön ja kahden suunnitellun ydinvoimalaitosyksikön käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamiseen, mikä tarkoitti enintään 9 000 tU vastaavaa ydinpolttoainemäärää. Periaatepäätöksen jättämisen jälkeen Posiva pyysi periaatepäätöksen harkintaa kahdessa vaiheessa ja rajasi hakemuksen koskemaan vain neljää käyvää ja yhtä suunniteltua ydinvoimalaitosyksikköä.

Valtioneuvosto käsitteli periaatepäätöshakemusta kahdessa vaiheessa. Valtioneuvosto teki 21.12.2000 periaatepäätöksen, jossa todetaan loppusijoituslaitoksen rakentaminen yhteiskunnan kokonaisedun mukaiseksi (Valtioneuvosto 2000). Tämä periaatepäätös koski Olkiluodon ja Loviisan käyvien laitosten käytettyä polttoainetta vastaten enintään 4 000 uraanitonnia vastaavan ydinpolttoainemäärän loppusijoittamista. Toisen vaiheen osalta valtioneuvosto teki 17.1.2002 periaatepäätöksen käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen rakentamisesta laajennettuna, koskien uuden Olkiluoto 3 - ydinvoimalaitosyksikön käytettyä ydinpolttoainetta eli enintään 2 500 tU vastaavaa määrää (Valtioneuvosto 2002). Eduskunta jätti molemmat päätökset voimaan sellaisenaan.

Posiva jätti 25.4.2008 periaatepäätöshakemuksen koskien Olkiluoto 4 - ydinlaitosyksikön käytetyn ydinpolttoaineen – enintään 2 500 uraanitonnia vastaavaa määrää – loppusijoittamista (Posiva 2008a). Periaatepäätöshakemuksen yhteydessä Posiva toimitti kauppa- ja teollisuusministeriön edellyttämän päivitetyn selvityksen ympäristövaikutuksista, jotka aiheutuisivat 9 000 uraanitonnia vastaavan ydinpolttoainemäärän loppusijoittamisesta. Painopiste päivityksessä oli uuden ydinvoimalaitosyksikön käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen ympäristövaikutuksissa. Valtioneuvosto teki hakemuksesta periaatepäätöksen 6.5.2010 (Valtioneuvosto 2010), jonka eduskunta jätti voimaan sellaisenaan.

Posiva toteutti myös vuonna 2008 ympäristövaikutusten arviointimenettelyn, joka koski 12 000 tU vastaavan ydinpolttoainemäärän loppusijoittamista (Posiva 2008b) ja jätti 13.3.2009 periaatepäätöshakemuksen, joka koski periaatepäätösvaiheessa olevan Loviisa 3 -ydinvoimalaitosyksikön käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamista (Posiva 2009a). Valtioneuvosto jätti molemmat periaatepäätökset tekemättä.

Yhteenvedon voidaan todeta, että kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamiselle on voimassa oleva periaatepäätös OL1-4- ja LO1-2-ydinvoimalaitosyksiköiden käytetyn

ydinpolttoaineen loppusijoittamisesta. Periaatepäätös koskee enintään 9 000 uraanitonnia vastaavaa ydinpolttoainemäärää ja se on voimassa 19.5.2016 asti.

4.1.1.2 Alustava rakentamislupahakemus

Kauppa- ja teollisuusministeriö edellytti vuonna 2003, että ydinjätehuoltovelvolliset, Teollisuuden Voima Oyj ja Fortum Power and Heat Oy, toimittavat joko erikseen, yhdessä tai Posiva Oy:n välityksellä viimeistään vuonna 2009 alustavat YEA 32 §:ssä luetellut rakentamislupaa varten tarvittavat selvitykset siten, että niistä käy ilmi se, millä osin rakentamisluvan edellyttämä aineisto on puutteellinen sekä se, millä tavalla ja missä aikataulussa aineisto on tarkoitus täydentää. Posiva sopi myöhemmin STUKin kanssa yllä kuvatun menettelyn soveltamisesta myös YEA 35 §:n mukaisesti STUKille toimitettaviin asiakirjoihin.

TEM antoi lausuntonsa alustavasta rakentamislupa-aineistosta vuonna 2010 ja STUK vuonna 2011. Posiva on ottanut saamansa palautteen huomioon kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suunnittelussa ja vuoden 2012 aikana jätettävän rakentamislupahakemuksen valmistelussa.

4.1.2 ONKALOn rakentaminen ja tutkimukselliset tarpeet

Posiva on rakentanut vuodesta 2004 alkaen tulevalle loppusijoitusalueelle maanalaista tutkimustilaa, ONKALOA. ONKALOon sisältyy varsinaisten tutkimustilojen ohella niiden turvallisen käyttämisen kannalta tarpeellisia kuiluja, maanpäällisiä rakennelmia ja teknisiä järjestelmiä. ONKALOn laajuuteen kuuluvat louhinnat valmistuvat pääosin vuoden 2012 aikana. Tutkimuksellisista tarpeista saatetaan vähäisiä louhintoja tehdä vielä tämän jälkeenkin. Järjestelmäasennukset ja maan päällä tapahtuva rakentaminen jatkuvat arviolta vuoden 2014 loppupuolelle saakka. ONKALO on tarkoitus liittää rakentamislupavaiheessa osaksi loppusijoituslaitosta.

ONKALOn rakentaminen tapahtuu valtioneuvoston vuonna 2000 antaman periaatepäätöksen nojalla. Rakentamista koskee myös STUKin päätös vuodelta 2001, jossa todetaan, että maanalaisen tilan tuleva käyttö loppusijoituslaitoksen osana edellyttää, että rakentamista valvotaan ydinenergialaissa säädetyin menettelyin. ONKALOn rakentaminen on tapahtunut yllä kuvatulla tavalla ydinenergialain ja sen nojalla annettujen määräysten mukaisesti ja STUKin valvonnassa.

ONKALOSTA hankitaan tarvittavaa lisätietoa vuonna 2012 jätettävää loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemusta varten. Tutkimus jatkuu ONKALOSSA myös tämän jälkeen. Kallioperää tutkitaan geofysiikan, geologian, kalliomekaniikan, hydrogeologian ja geokemian tutkimusmenetelmillä. Kallioperätutkimusten lisäksi ONKALO tarjoaa mahdollisuuden kehittää ja demonstroida kalliorakentamis- ja loppusijoitustekniikkaa aidoissa olosuhteissa.

4.1.3 Hankkeen kokonaisaikataulu ja sen toteutumisen kannalta kriittiset osa-alueet ja omistajien tarpeet

Posivan strategiasuunnitelman mukaisesti Posiva jättää rakentamislupahakemuksen vuoden 2012 aikana, sekä valmistautuu omalta osaltaan siihen, että loppusijoituksen aloittaminen on mahdollista noin vuonna 2020, kuten KTM:n vuonna 2003 tekemä

päätös edellyttää. Kokonaisuakataulun toteutuminen on tärkeää myös Posivan omistajien polttoaineen väliavarastointikapasiteetin riittävyyden kannalta.

Luvitettavuuden ja hanke aikataulun kannalta kriittisiä kysymyksiä ovat seuraavat:

- Rakentamislupahakemuksen tulee olla riittävän kattava ja yksityiskohtainen osoittamaan kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen olevan toteutettavissa turvallisuusmääräysten mukaisesti. Keskeisiä asioita ovat mm. laitosteknisen kokonaisuuden ja loppusijoitustoimintojen käyttö- ja pitkäaikaisturvallisuuteen vaikuttavat asiat. Tässä vaiheessa on laitoksen ja sen järjestelmien suunnittelun oltava niin pitkällä, että merkittäviä muutoksia esitettyihin ratkaisuihin ei ole odotettavissa. Järjestelmätason suunnittelun osalta tämä tarkoittaa mahdollisten muutosten vaikutusten rajoittumista kyseisen järjestelmän sisälle. Tärkeimpiä rakentamislupavaiheessa käsiteltäviä järjestelmätason kysymyksiä ovat polttoaineen sekä kapselin käsittelylaitteiden (kapselihissi mukaan luettuna) suunnitteluperusteiden kiinnittäminen ja lissensioitavuuden varmistaminen. Tässä lupavaiheessa on pystyttävä esittämään alustavat suunnitelmat koko rakentamisen ajalle. Myös alustava käyttöönottosuunnitelma sisältyy esitettäviin suunnitelmiin. Rakentamislupahakemuksen ja samassa yhteydessä STUKille toimitettavien asiakirjojen sisältö ilmenee ydinenergia-asetuksen 31, 32 ja 35§:ssä. Toimitettavien asiakirjojen sisältövaatimuksia esitetään valtioneuvoston asetuksessa ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudesta ja STUKin YVL-ohjeistossa.
- Rakentamisaikataulun toteutumisen kannalta on oleellista, että kussakin työvaiheessa tarvittavat suunnitelmat ja toteutus viranomaishyväksyntöineen valmistuvat suunnitellussa aikataulussa. Eräiltä osin suunnitelmat tulevat kuitenkin täydentymään rakentamisluvan käsittelyvaiheessa.
- Käyttölupahakemuksen tulee olla riittävän yksityiskohtainen ja kattava osoittamaan, että toteutettava laitostekninen kokonaisuus mahdollistaa turvallisen loppusijoituksen vaatimusten mukaisesti. Osoittaminen tehdään sekä hakemusaineistossa esitetyin argumentein että STUKille toimitettavan käyttöönottosuunnitelman mukaisin menettelyin. Osa suunnitelmaan sisältyvistä yhteistoimintakokeista voidaan tehdä jo ennen hakemuksen jättämistä. Todellisella ydinpolttoaineella tehtävä osuus on mahdollista tehdä vasta käyttöluvan (koekäyttöluvan) saamisen jälkeen.

4.1.4 Loppusijoitettavat polttoainetyypit ja muut jätteet

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksissa käsitellään ja sinne loppusijoitetaan periaatepäätösten mukaisesti neljän Olkiluodossa ja kahden Loviisassa sijaitsevan ydinvoimalaitosyksikön käytetyt ydinpolttoaineet. Myös kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttö- ja käytöstäpoistojätteet sijoitetaan loppusijoituslaitoksen yhteydessä sijaitsevaan matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilaan.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle loppusijoitettavat ydinvoimalaitosten polttoainetyypit on nimetty kyseisten ydinlaitosyksiköiden mukaisesti BWR-polttoaineiksi (OL1-2), VVER-polttoaineiksi (LO1-2) ja EPR-polttoaineiksi (OL3). OL4-ydinvoimalaitosyksikön laitos- ja polttoainetyyppejä ei ole vielä valittu. Kukin polttoainetyyppi jakautuu edelleen useisiin erilaisiin nipputyyppeihin, joiden mekaaninen rakenne ja reaktorifysikaaliset ominaisuudet vaihtelevat valmistajasta ja valmistusajankohdasta riippuen.

4.1.4.1 BWR-polttoaine

BWR-nippujen rakenteelliset ominaisuudet

OL1-2-laitoksilla on useita erilaisia ja eri polttoainetoimittajien valmistamia BWR-polttoainenippuja. Niiden ulkoiset mitat ovat hyvin lähellä toisiaan, mutta niiden sisäisessä rakenteessa on eroja. Esimerkiksi nippujen sisältämien polttoainesauvojen lukumäärä on ydinvoimalaitosyksiköiden käytön aikana lisääntynyt. Nipussa oli alkujaan 64 sauvaa (8x8), mistä siirryttiin 81 sauvaan (9x9) ja sittemmin nyt käytössä olevaan 100 sauvaan (10x10).

Kunkin BWR-polttoainenipun ympärillä on polttoainekanava, joka muodostuu kotelosta ja alapäässä sijaitsevasta kartiomaisesta päätykappaleesta. Nipuiksi kerättyjä polttoainesauvoja tuetaan kanavan sisällä 6–8 välituella sekä ylä- ja alapäätylevyillä. Nykyisissä 10x10-polttoainetyypeissä on lisäksi nipun sisällä vesikanavia tai -sauvoja, jotka parantavat reaktorisydämen käyttäytymistä korkeilla tehotasoilla ja mahdollisissa käytön aikaisissa häiriötilanteissa ja ne toimivat samalla nipun kantavina rakenneosina. Nykyisin käytettävissä nipuissa on myös osapitkiä polttoainesauvoja, jotka osaltaan parantavat reaktorin käyttöominaisuuksia. Polttoainenipun komponenttien tyypilliset materiaali-koostumukset on esitelty raportissa Anttila (2005a).

BWR-polttoainenipussa polttoainesauvojen rikastusaste suunnitellaan siten, että se vaihtelee välillä 0,7–4,95 % halkeavaa U-235-isotooppia. Osassa sauvoja käytetään palaman kompensoimiseksi ns. palavaa neutroniabsorbaattoria (Gd_2O_3), jota lisätään osaan polttoainesauvojen sisältämistä polttoainepelleteistä. Nämä sauvojen ja nippujen tiedot kirjataan polttoainetietokantaan.

BWR-nippujen kertymä ja palama

OL1-2-reaktoreissa on kummassakin kerrallaan 500 polttoainenippua, joista noin neljäsosa vaihdetaan tuoreeseen polttoaineeseen joka vuosi. Käytettyä polttoainetta välivarastoidaan laitospaikalla voimalaitosyksiköillä ja voimalaitosalueella olevassa käytetyn polttoaineen varastossa. Olkiluodossa oli vuoden 2011 lopussa varastoituna käytettyä ydinpolttoainetta yhteensä 7 670 BWR-nippua, mikä vastaa noin 1 290 tonnia uraania. BWR-nippuja odotetaan kertyvän yhteensä noin 14 000 kappaletta OL1-2-reaktoreiden käytön aikana.

Vuosittain reaktorista poistettavien polttoainenippujen korkein poistopalama on lisensoitu Olkiluodon käyville laitoksille arvoon 50 MWd/kgU vuonna 2011, tätä aiempi korkein poistopalaman arvo oli 45 MWd/kgU. Korkeimman lisensoidun poistopalaman on kuitenkin suunniteltu nousevan tästä Olkiluodon laitoksilla arvoon 55 MWd/kgU vuoteen 2018 mennessä. Vuosittain poistettavien polttoaine-erien keskimääräiset palama-arvot nousevat vastaavasti noin 52–53 MWd/kgU:a. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suunnitelmissa ja turvallisuusanalyysseissa on varauduttu tätä suurempaan 60 MWd/kgU:n keskimääräiseen palamaan.

4.1.4.2 VVER-440-polttoaine

VVER-440-nippujen rakenteelliset ominaisuudet

Loviisan ydinvoimalaitoksen niput ovat peräisin kahdelta eri toimittajalta, venäläiseltä TVEL:ltä ja brittiläiseltä BNFL:ltä. Polttoaineniput ovat kuusikulmaisissa suojakoteloissa ja ne koostuvat 126 polttoainesauvasta, joiden keskellä on instrumentointisauva. Venäläiset ja brittiläiset VVER-440-polttoaineniput poikkeavat toisistaan muutamissa yksityiskohdissa, jotka liittyvät uraanin määrään ja rikastusasteeseen. VVER-440-reaktoreissa on lisäksi 37 säätösauvaa, joihin on kiinnitetty polttoainejatkke. Säätösauvan jatke muistuttaa tavallista polttoainenippua, mutta sen aktiivinen polttoainealue on lyhyempi. Polttoainenipun komponenttien tyyppilliset materiaalikoostumukset on esitelty raportissa Anttila (2005a).

VVER-440-nippujen kertymä ja palama

LO1-2-reaktoreissa on kummassakin kerrallaan 313 polttoainenippua, joista vaihdetaan vuosittain noin neljännes. Käytettyä polttoainetta välivarastoidaan laitospaikalla voimalaitosyksiköillä ja kahdessa voimalaitosalueella sijaitsevassa käytetyn polttoaineen varastossa. Vuoden 2011 lopussa Loviisan voimalaitosalueella oli varastoituina yhteensä 4 339 käytettyä VVER-440-polttoainenippua, mikä vastaa noin 522 tonnia uraania. VVER-440-nippuja odotetaan kertyvän yhteensä noin 7 700 kappaletta LO1-2-reaktoreiden käytön aikana. Olkiluotoon loppusijoitettavan Loviisan ydinvoimalaitosyksiköiden käytetyn ydinpolttoaineen määrä on Olkiluodon ydinvoimalaitosyksiköiden polttoainemäärää pienempi, sillä Loviisan ydinvoimalaitoksen alkuaikojen käytetty ydinpolttoaine palautettiin Neuvostoliittoon. Vuosittain reaktorista poistettavien polttoainenippujen korkein poistopalama on lisensoitu Loviisan ydinvoimalaitosyksiköille arvoon 57 MWd/kgU.

4.1.4.3 EPR-polttoaine

EPR-nippujen rakenteelliset ominaisuudet

Olkiluotoon rakenteilla oleva kolmas ydinvoimalaitosyksikkö, OL3, on painevesireaktori (PWR), jonka reaktorityyppi on EPR. OL3:n alkulatauspolttoaineen toimittaa AREVA NP ja sen nipputyypin nimi on AGORA HE. Nippu muodostuu 265 polttoainesauvasta ja 24 ohjausputkesta (17x17) sekä päätykappaleista ja kymmenestä tasavälein sijoitetuista välituesta. Nipussa ei ole polttoainesauvoja ympäröivää koteloa.

On todennäköistä, että ensimmäinen vaihtolatauspolttoaine on samaa AGORA HE -nipputyypin, mutta nipputyypin voi vaihtua myöhempisiin vaihtolatauksiin.

EPR-nippujen kertymä ja palama

OL3:n reaktorissa on kerrallaan 241 polttoainenippua. Vuotuinen polttoaineen kulutus on noin 60 nippua, mikä vastaa noin 32 uraanitonnia vuodessa. EPR-polttoaineen korkeimman lisensoidun poistopalaman odotetaan nousevan tasolle 50–53 MWd/kgU,

keskimääräisen poistopalaman ollessa noin 52–53 MWd/kgU. EPR-nippuja odotetaan kertyvän yhteensä noin 3 800 kappaletta OL3-reaktorin käytön aikana.

4.1.4.4 Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttö- ja käytöstäpoistojätteet

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käytön aikana syntyvät matala- ja keskiaktiiviset käyttöjätteet ja laitoksen käytöstäpoistojätteet loppusijoitetaan loppusijoituslaitoksen yhteydessä maan alla sijaitsevaan omaan loppusijoitustilaansa. Kaikki radioaktiiviset jätteet loppusijoitetaan kiinteinä tai kiinteytettyinä. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttö- ja käytöstäpoistojätteiden loppusijoitustilan tarve on tuhansia kuutiometrejä.

4.1.5 Vaihtoehtoiset toteutustavat ja niiden valmistelu

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suunnittelussa on tehty useita suunnittelua ohjaavia valintoja eli referenssiratkaisuja. Tästä huolimatta useita vaihtoehtoja on tutkittu rinnakkain ja lopullinen valinta on siirretty tehtäväksi myöhemmin tutkimuksen ja kehityksen edetessä. Tällä hetkellä suunnittelu perustuu pystysuuntaiseen loppusijoitukseen (KBS-3V), mutta kehitteillä on edelleen sille vaihtoehtoinen vaakasuuntainen ratkaisu KBS-3H.

Vaihtoehtoisten loppusijoituskonseptien suurimmat erot liittyvät loppusijoituskapselien sijoitussuuntaan ja määrään yhdessä loppusijoitusreiässä. KBS-3V:ssä loppusijoitustilan keskustunneleiden lattiaan porataan määrävälein pystysuoria reikiä ja jokaiseen reikään sijoitetaan yksi loppusijoituskapseli. Vaihtoehtoisessa KBS-3H-ratkaisussa kapselit asetetaan keskustunnelista porattaviin pitkiin vaakasuuntaisiin loppusijoitusreikiin, joihin voidaan kuhunkin sijoittaa useita kapsелеita. KBS-3H-ratkaisu kuvataan tarkemmin luvussa 4.7.

Loppusijoituskonseptin rinnalla vaihtoehtoisia toteutustapoja pohditaan mm. hitsausmenetelmän kohdalla (elektronisuihkuhitsaus tai kitkatappimenetelmä) sekä käytetyn polttoaineen kuljetuksissa (maantie-, rautatie tai merikuljetus). Hitsausmenetelmien kehityksestä kerrotaan tarkemmin luvuissa 4.5.1 ja 5.4.1.1 ja kuljetusvaihtoehtoista luvussa 6.7.

4.1.6 Rakentamislupahakemus ja sen jälkeen tapahtuva kehittäminen

Valtioneuvostolle toimitettava rakentamislupahakemus kuvaa suunnitellut ydinjätelaitokset sellaisina, kuin ne on tarkoitus rakentaa. STUKille toimitettavat, YEA 35 §:n mukaiset ns. alustavat selvitykset tulevat kuitenkin täydentymään ja tarkentumaan sekä Posivan kehitystyön että STUKin tarkastuksen tuloksena niin hakemuksen käsittelyn kuin rakentamisenkin aikana. STUK on ilmoittanut, että se ottaa turvallisuusarviossaan huomioon paitsi vuonna 2012 toimitetun aineiston, myös siihen hakemuksen käsittelyn aikana toimitetut muutokset. STUK on toivonut, että sille toimitettavassa hakemusaineistossa Posiva esittäisi loppuvuonna mahdollisesti keskeneräisten selvitysten valmistumisaikataulun.

Laitossuunnittelun osalta on odotettavissa, että alustavaan turvallisuusselosteeseen liittyviä järjestelmäkuvauksia tarkennetaan toteutussuunnittelun etenemisen myötä. Myös rakentamislupahakemuksen jättämisen jälkeen tapahtuviin

yhteistoimintakokeisiin tarvittavien laitteistojen kehittäminen tuo oletettavasti isojaakin muutoksia yksittäisiin järjestelmiin ja laitteisiin. Tällaisia muutoksia käsitellään sekä Posivan sisällä että STUKin kanssa ns. suunnitelmamuutosmenettelyjen mukaisesti.

Kokonaisaikataulun toteutumisen kannalta on oleellista, että kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentaminen käynnistyy heti rakentamisluvan saamisen jälkeen. Tämä edellyttää sekä organisatoristen että sopimuksellisten valmiuksien aikaansaamista kuten myös toteutussuunnittelun valmistumista pääosin rakentamislupahakemuksen käsittelyn aikana. Rakentamisvalmiuksien aikaansaamiseksi tarvittavia toimenpiteitä selvitetään vuonna 2012 toteutettavan ns. TOVA-2012-projektin puitteissa.

4.1.7 Viranomaispalautteet

Posivan saamat viranomaispalautteet on koostettu tähän lukuun sellaisenaan viranomaislausunnoista, jotka perustuvat Posivan vuonna 2009 toimittamaan ensimmäiseen alustavaan versioon rakentamislupahakemusaineistosta (ns. esiluvitusaineisto). Esitetyt kommentit ja tämä luku kuvaavat vuoden 2009 tilannetta. Viranomaisten aineistosta antamat kommentit ovat ohjanneet Posivan tutkimus- ja kehitystoimintaa sekä ONKALOn toteuttamista kuluneiden kolmen vuoden aikana. Loppusijoitushankkeen tilanne on kehittynyt merkittävästi kolmen vuoden aikana, ja kehitystyötä jatketaan edelleen, kuten tämän ohjelman luvuissa 5 ja 6 kerrotaan.

TVO ja Fortum jättivät TEM:lle syyskuussa 2009 pääosin Posivan valmisteleman suunnitelman, TKS-2009-ohjelman, jonka päätavoitteena oli kuvata, miten Posiva aikoo hankkia rakentamislupahakemuksen jättämiseksi tarvittavan valmiuden vuoden 2012 loppuun mennessä. Ohjelmassa kuvattiin suunnitelmat Olkiluodon loppusijoituspaikan varmentavien tutkimusten loppuunsaattamiseksi, tarvittavien laitosten suunnittelu ja käytettävän loppusijoitustekniikan kehittäminen rakentamislupahakemuksen edellyttämälle tasolle sekä rakentamislupahakemukseen liitettävän pitkäaikaisturvallisuutta koskevan turvallisuusperustelun (TURVA-2012) tuottamiseen tarvittava työ. Samalla todettiin kauden yhtenä päätyönä olevan lupahakemukseen tarvittavien asiakirjojen valmistelu. Loppusijoituksen perussuunnitelman mukaisen työn ohessa suunnitelmaan sisältyi myös vaihtoehtoisen ratkaisun (KBS-3H) toteutettavuutta ja pitkäaikaisturvallisuutta koskevaa T&K-työtä. Vuosina 2009–2012 tehty TKS-työ vastaa suurimmaksi osaksi TKS-2009:ssä esitettyä suunnitelmaa.

KTM:n vuonna 2003 tekemän päätöksen mukaisesti ydinjätehuoltovelvollisten tuli viimeistään vuonna 2009 esittää ydinenergia-asetuksen 32 §:ssä luetellut rakentamislupaa varten tarvittavat selvitykset siten, että niistä käy ilmi se, miltä osin rakentamisluvan edellyttämä asiakirja-aineisto on puutteellinen sekä se, millä tavalla ja missä aikataulussa aineisto on tarkoitus täydentää. Vuoden 2009 lopulla Posiva jätti TEM:lle ensimmäisen version rakentamislupahakemusaineistostaan (ns. esiluvitusaineiston).

Jotta rakentamislupahakemusvalmiudesta saataisiin mahdollisimman kattava käsitys, liitti Posiva esiluvitusaineistoon KTM:n päätöksessä mainittujen selvitysten lisäksi ydinenergia-asetuksen 35 §:ssä mainitut STUKille toimitettavat aineistot. Esiluvitusaineisto ja siitä saatu palaute on toiminut pohjana Posivan lupahakemusvalmisteluissa.

TEM lähetti sekä TKS-2009-ohjelman että ydinenergia-asetuksen 32 §:n mukaiset esiluvitusaineistot laajalle lausuntokierrokselle, minkä jälkeen TEM antoi lausuntonsa niistä 30.12.2010. STUK antoi erilliset lausunnot 35 §:n mukaisista aineistoista 27.9.2010 ja TKS-2009-ohjelmasta 5.10.2010. STUKin turvallisuusarvio alustavasta rakentamislupahakemusaineistosta valmistui 6.6.2011. Arvioihin sisältyy vaatimuksia ja huomautuksia, jotka Posiva on ottanut huomioon sekä YJH-ohjelman toteutuksessa ja jatkosuunnittelussa että rakentamislupahakemuksen valmistelussa. Lisäksi STUK on tarkastuksissaan esittänyt huomautuksia, joilla on ollut merkitystä YJH-ohjelman kannalta.

Erityisesti STUKin turvallisuusarviossa esitettyjen huomioiden määrä on suuri. Posiva on koostanut aineistoista annetut kommentit yksityiskohtaisiin listoihin, joihin on liitetty suunnitelma kommenttien huomioimisesta suunnittelu- ja kehitystyössä. Seuraavissa luvuissa esitetään pääpiirteissään oleellisia laajempia linjauksia ja kehityskohteita, jotka ovat nousseet esille viranomaispalautteissa TKS-2009-kaudella. Myös aiemmin tulleet palautteet on huomioitu Posivan toimintaa suunniteltaessa.

4.1.7.1 TEM:n lausunto 30.12.2010

TEM antoi 30.12.2010 lausunnon, jossa käsitellään sekä alustavaa rakentamislupahakemusaineistoa että TKS-2009-ohjelmaa. TEM muistutti lausunnossa, että siinä esitettyjen kommenttien lisäksi kommentteja on esitetty vuosina 2008–2010 YVA- ja PAP-menettelyissä. Lausunnossa todettiin puutteita tai täsmennettävää seuraavien selvitysten osalta:

- Sijaintipaikan ja sen lähiympäristön asutus ja muut toiminnot sekä kaavoitusjärjestelyt,
- ydinaineiden tai ydinjätteiden laatu ja enimmäismäärät,
- tekniset toimintaperiaatteet ja ratkaisut sekä muut järjestelyt, joilla laitoksen turvallisuus varmistetaan,
- noudatettavat turvallisuusperiaatteet ja arvio niiden toteutumisesta,
- laitoksen ympäristövaikutukset ja suunnitteluperusteet, joita hakija aikoo noudattaa ympäristövahinkojen välttämiseksi ja ympäristörasituksen rajoittamiseksi,
- laitoshankkeen kustannusarvio ja rahoitussuunnitelma,
- muu selvitys: palautettavuus, sekä
- muu selvitys: kuljetukset.

Osoitetut puutteet korjataan varsinaisessa lupahakemuksessa.

4.1.7.2 STUKin lausunto TKS-2009-ohjelmasta

STUK antoi TEM:lle lausunnon TKS-2009-ohjelmasta 5.10.2010. Lausunto toimitettiin tiedoksi ydinjätehuoltovelvollisille ja Posivalle. Lausunnon liitteenä oli STUKin esittelymuistio.

Kapseli

STUKin mukaan kapselin turvallisuustoimintojen täyttymiseen liittyy useita avoimia kysymyksiä, joiden ratkaiseminen rakentamislupahakemuksen jättämiseen mennessä on vaativaa ja edellyttää merkittävää tutkimus- ja kehitystyötä. STUK nostaa esittelymuistiossa esille mm. kuparin korroosioon, hitsin jäännösjännityksiin ja mekaaniseen kestävyysliittymiin liittyviä seikkoja. STUK toteaa kuitenkin lausunnossaan, että Posivan TKS-2009-ohjelmassa esitetyt kapseliin liittyvät tutkimusaiheet ovat pääosin samoja, jotka on nostettu esille STUKin ja Posivan avoimia turvallisuuskysymyksiä käsittelevässä vuoropuhelussa.

Puskuri, tunnelitäyttö ja sulkurakenteet

STUKin mukaan puskurin ja tunnelitäytön toimintakykytavoitteiden ja niiden kriteerien valintaa ja perustelua ei ole esitetty alustavassa rakentamislupahakemusaineistossa eikä perustelun kokoamisesta ole suunnitelmaa TKS-2009-raportissa. STUK korostaa mm. puskurin eroosion, paisuntapaineen, jäätyksen ja stabiiliuden selvittämiseen tähtäävien töiden tärkeyttä. Posiva selvittää myös vaihtoehtoisten materiaalien käyttöä puskurina ja esittää suunnitelman vaihtoehtoiselle materiaalille tehtävistä tutkimuksista. Mikäli Posiva päätyy vaihtamaan puskurimateriaalia, menettelytapa materiaalin vaihtamiseen ja toiminnan varmistamiseen tulee esitellä.

Kallioperä ja loppusijoituspaikka

STUKin mukaan Posivan tutkimusohjelman suurimmat loppusijoituspaikan karakterisoinnin puutteet liittyvät toisaalta loppusijoitusvyöhykkeessä tehtäviin tutkimuksiin ja toisaalta Olkiluodon itäisen alueen tutkimukseen. Pitkäaikaisturvallisuuden kannalta on keskeistä pystyä osoittamaan, että loppusijoitustilat ovat riittävän eristettyjä maanpäällisistä oloista, että kallio on riittävän vakaa fysikaalisesti, mekaanisesti ja kemiallisesti ja että pohjaveden virtaamat ovat riittävän vähäisiä loppusijoitustilojen ympärillä.

Tärkeimpiä kysymyksiä kallion yksityiskohtaisemmassa karakterisointiohjelmassa ovat soveltuvuusluokitusjärjestelmän testaamisen ja sen raportoinnin tiukka aikataulu, kallioperän kokonaispuskurikapasiteetin selvittäminen sekä kallioperän mekaaniseen stabiiliuteen ja tätä kautta tilojen asemointiin liittyvät avoimet kysymykset, joilla voi olla merkittävä vaikutus loppusijoituspaikan soveltuvuuteen. Kallioperän ominaisuuksiin liittyy STUKin mukaan edelleen avoimia kysymyksiä esimerkiksi virtaus- ja pidätysominaisuuksien osalta. Posiva ei myöskään esitä selvää ohjelmaa, jossa arvioitaisiin rakentamisen ja avoimien tilojen sekä haitallisimpien vierasaineiden vaikutuksia kallion pitkäaikaisturvallisuusominaisuuksien säilymiseen kattavammin kuin monitoroimalla tapahtuvia muutoksia.

Kallion soveltuvuusluokittelu on ollut yksi kuluneen kolmivuotiskauden painopistealueita. Rakentamisen vaikutukset pitkäaikaisturvallisuuteen otetaan huomioon loppusijoituksen turvallisuusperustelua laadittaessa.

Laitossuunnittelu

Laitossuunnittelun osalta STUKin arvio keskittyy häiriöiden ja onnettomuuksien ehkäisyyn laitoksen ja sen järjestelmien suunnittelussa. Tähän liittyen Posiva ei STUKin mukaan ole (alustavassa rakentamislupahakemuksessa) kuvannut riittävästi syvyysuuntaisen puolustuksen tai muiden ydinlaitoksen suunnitteluperusteiden toteutumista. Häiriöiden ja onnettomuuksien estämisen ja hallinnan periaatteet, järjestelmien liittyminen toisiinsa ja häiriöistä ja onnettomuuksista seuraavat suunnitteluvaatimukset on esitetty riittämättömällä tasolla. TKS-2009-ohjelmassa ei esitetä yksityiskohtaisesti, miten laitossuunnittelu etenee ja milloin Posiva laatii järjestelmäkuvaukset ja aihekohtaiset raportit. Myöskään todennäköisyyspohjaisen riskiarvion (PRA, probabilistic risk analysis) suunnitelmaa ei ole esitetty TKS-2009:ssä.

Häiriöiden ja onnettomuuksien esittämisen ja hallinnan periaatteet kuvataan STUKille toimitettavan alustavan turvallisuusselosteen yleisen osan luvussa 9. Suunnitteluvaiheen PRA sisältyy STUKille toimitettavaan asiakirja-aineistoon. Laitossuunnittelu on edennyt niin, että tarvittavat aihekohtaiset raportit ja järjestelmäkuvaukset sisältyvät STUKille toimitettaviin lisensointiasiakirjoihin. Järjestelmäkuvauksia täydennetään eräiltä osin hakemuksen jättämisen jälkeen.

Pitkäaikaisturvallisuus

STUK nostaa esiin seuraavat keskeiset pitkäaikaisturvallisuuden perustelemiseen liittyvät puutteet tai kehitystarpeet:

- Toteutettu turvallisuusanalyysi ei kata koko loppusijoitusjärjestelmää, vaan perustuu suurelta osin yhden kapselin analysointiin. Yksityiskohtaisia suunnitelmia tämän asian hoitamiseksi ei esitetä TKS-2009:ssä.
- Muodostettavien skenaarioiden tulee kattaa vaatimusten mukaisesti koko loppusijoitusjärjestelmän analysointi sekä tarvittavilta osin huomioida turvallisuustoimintojen keskinäisistä kytkennöistä aiheutuvat yhteisvaikutukset. Transienttiluonteisten ilmiöiden huomioiminen skenaarioiden muodostamisessa ja analysoinnissa vaatii myös lisätyötä.
- Kehitystyö edellyttää aikaisempaa laajempaa stokastisten menetelmien käyttöönottoa. Posiva esittää todennäköisyyspohjaisten lähestymistapojen hyötyjä ja haittoja esittämättä suunnitelmia tai lupauksia lähestymistavan hyödyntämisestä. Myöskään epätodennäköisten tapahtumien analysointia ei ole sisällytetty Posivan analyysihin.
- Posivan toistaiseksi raportoiman analyysin jälkeen loppusijoitettavan jätteen määrä on kasvanut ja voi muuttua myös tulevaisuudessa. Tällä on vaikutusta ainakin kapselin valmistusvikojen esiintymismäärään.
- Erityisesti puskurin ja tunnelitäytön toimintakykytavoitteiden saavuttamisen perusteleminen on puutteellista. Perusteleminen edellyttää lisäksi ilmastoskenaarioiden ja olosuhdemallien päivittämistä.
- Lähtötietoihin, asiantuntija-arvioihin ja luonnonanalogioihin odotetaan päivityksiä. Erityisesti Olkiluoto-kohtaisen tietokannan kehittämisessä on vielä työtä.
- Kokoava, perusteellinen ja kattava epävarmuuksien analysointi ja raportointi puuttuu vielä toistaiseksi.

Posiva on päivittänyt turvallisuusperustelusuunnitelmansa TKS-2009-ohjelman ilmestymisen jälkeen ja ottanut tällöin huomioon STUKin esittämän palautteen.

Ydinsulkuvalvonta

Posivan tuli STUKin lausunnon mukaan esittää TKS-2009-kaudella toimenpiteet STUKin ja kansainvälisen (IAEA:n ja Euroopan komission) ydinmateriaalivalvonnan mahdollistamiseksi. Posivan ydinsulkukäsikirja ei STUKin lausuntoa antaessa ollut riittävä koko kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ydinmateriaalivalvonnan järjestämiseksi ja kehittämiseksi vastaamaan viranomaisvaatimuksia.

Kapselointi- ja loppusijoituksen rakentamisen aikana ydinsulkuvalvonta toteutetaan STUKin hyväksymän nykyisen ydinsulkukäsikirjan perusteella. Rakentamislupahakemukseen liitetään tästä erillinen alustava ydinmateriaalikäsikirja kattamaan kuljetusten, kapseloinnin ja loppusijoituksen vaiheet. Edellä mainitut käsikirjat on tarkoitus yhdistää käyttöluovutuksessa.

Muut ydinjätteet

STUKin näkemyksen mukaan ydinvoimalaitosten matala- ja keskiaktiivisen jätteen huollon osalta Fortum ja TVO ovat esittäneet riittävät suunnitelmat TKS-2009-jakson ajalle.

4.1.7.3 STUKin lausunto alustavasta hakemusaineistosta ja alustava turvallisuusarvio

STUK antoi 27.9.2010 lausunnon Posivan alustavan rakentamislupahakemuksen kattavuudesta. Aineistoa käsittelevä turvallisuusarvio valmistui 6.6.2011. Ydinturvallisuuteen liittyvät seikat käsitellään STUKin turvallisuusarviossa samassa järjestyksessä kuin ne on esitetty valtioneuvoston asetuksessa 736/2008. Lisäksi turvallisuusarviossa käydään läpi tarvittavilta osin valtioneuvoston asetuksiin 734/2008 (turvajärjestelyt) ja 735/2008 (valmiusjärjestelyt) liittyvät seikat, laitoksen käytön aikainen ydinjätehuolto, laitoksen käytöstäpoisto sekä ydinmateriaalivalvonnan järjestäminen. STUKin turvallisuusarvion oleelliset johtopäätökset esitetään tässä seuraten turvallisuusarvion rakennetta.

Säteilyturvallisuus

STUK pitää Posivan alustavan rakentamislupahakemusaineiston materiaaleja riittävinä ydinjätelaitoksen käytön osalta, mutta edellyttää, että Posiva päivittää rakentamislupahakemukseen normaalikäytön sekä käyttöhäiriöiden ja onnettomuuksien analyysit vastaamaan laitoksen lopullista suunnitelmaa.

Pitkäaikaisturvallisuuden osalta STUK toteaa, että alustava hakemusaineisto ei vielä täytä VNA 736/2008 4 §:ssä esitettyä turvallisuustasoa. Säteilyannosrajoitusten osalta tehty analyysi ei kata ohjelunnon YVL D.5 vaatimia annosreittejä kuten maaperän kaivoveden käyttöä altistusreittinä. Analyysin suoritustapaa on muutettu ekosysteemimallinnuksesta siirtokerroinmallinnukseen, joka tuo lisähaasteita tarvittavien lähtötietojen keräämiseen. Lisäksi analyysi ei ole täysin läpinäkyvä, koska

osaa keskeisistä pääraportteja tukevista raporteista ei ole vielä toimitettu STUKille. Usean tuhannen vuoden jälkeiselle ajanjaksolle asetetut päästörajoitukset alittuvat Posivan tekemien arvioiden mukaan. Arvioita päivitetään ennen rakentamislupahakemuksen jättämistä turvallisuusperustelun kehityksen yhteydessä. Muun elollisen luonnon suojelun osalta suunnitelmista on havaittavissa, että Posiva seuraa tiiviisti kansainvälistä kehitystä alalla ja osallistuu myös itse alan kehitykseen. Muun elollisen luonnon suojelun osalta suunnitelmat vaikuttavat riittävältä.

Epätodennäköisten tapahtumien huomioimisesta STUK toteaa, että toimitettu aineisto on puutteellinen erityisesti ihmisen tunkeutumisskenaarioiden käsittelyn osalta.

Mainitut seikat on otettu huomioon lupahakemuksessa ja sitä tukevassa turvallisuusperustelussa.

Ydinjätelaitoksen suunnitteluvaatimukset

STUKille toimitettu alustava hakemusaineisto ei käytetyn ydinpolttoaineen käsittelyn ja pakkauksen osalta täytä tällä hetkellä valtioneuvoston asetuksen 6 §:n ensimmäisessä momentissa esitettyjä vaatimuksia, koska Posivan perusteet ja johtopäätökset kapselin valmistustekniikalle ja ominaisuuksille asetettavien vaatimusten osalta eivät käy kattavasti ilmi. Käytettävissä olleen aineiston ja saatujen tietojen perusteella STUK kuitenkin toteaa, että Posiva on laatimassa yksityiskohtaisia vaatimuksia, jotka loppusijoituskapselien tulee täyttää.

Ydinjätelaitoksen säteilysuojausjärjestelyt on esitetty puutteellisesti, koska Posiva ei ole vielä toimittanut yksityiskohtaisia kuvauksia järjestelmistä tai rakenteiden mitoituksista. Yhtenä puutteena STUK nostaa esille sen, että kapselointilaitoksen nestemäisen jätteen käsittelytilan säteilysuojausta ei käsitellä alustavassa luvitusaineistossa.

Ydinpolttoaineen vaurioitumisen estämisen osalta Posivan toimittama aineisto on erittäin puutteellinen siirtojen, vikasietoisuusanalyysien, PRA:n ja järjestelmäkuvausten osalta. Järjestelmäkuvausten aikataulu on kriittinen johtuen osittain suunnittelun ja hankintapäätösten iteraatioprosessista.

Kuvaus loppusijoitusprosessista polttoainesiirtoineen sisällytetään PSARin yleisen osan lukuun Y5. Järjestelmäkuvaukset jätetään muun hakemusaineiston mukana STUKille vuoden 2012 aikana. Kuvauksissa tarkastellaan järjestelmän vikasietoisuutta ja vikojen vaikutusta turvallisuuden kannalta. YVL B.1 -ohjeluonnoksen tarkoittamat vikasietoisuusanalyysit laaditaan tärkeimmille järjestelmille vuoden 2012 aikana. Muille turvallisuusluokitelluille järjestelmille em. analyysit valmistuvat vuoden 2013 aikana. Työ jatkuu järjestelmien yksityiskohtaisen suunnittelun aikana.

Turvallisuusluokitus

STUK toteaa, että Posivan luokitusasiakirja ei täytä vielä rakentamislupavaiheelle asetettuja vaatimuksia. Luokitusasiakirjassa on rakenteellinen ja toiminnallinen turvallisuusluokitus toteutettu vaatimusten mukaan ja esitetyt turvallisuusluokat näyttävät alustavissa tarkasteluissa olevan oikeansuuntaisia. Posiva on tunnistanut

asetetut laatuvaatimukset, mutta luokitusasiakirjasta puuttuu osin järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden laatuluokat. Samoin laatuluokkien määritteet sekä niiden yhteys turvallisuusluokkiin puuttuu. Järjestelmien ryhmittely järjestelmäluettelossa sekä niiden tunnukset ja luokitusmerkinnät ovat puutteellisia. Posivan laatima maanjäristysluokitus vaikuttaa STUKin mukaan järkevältä. Aineistossa on myös puutteita liittyen sähköjärjestelmien pääkaavioon ja automaation periaatekaavioihin sekä prosessijärjestelmien ja ilmastoinnin virtauskaavioihin.

Luokitusasiakirjaa on kehitetty eteenpäin kuluneen TKS-kauden aikana ja työssä on pyritty huomioimaan myös uuden luokitusohjeen YVL B.2 -luonnoksen vaatimuksia. Turvallisuusluokan ja laadunhallinnan välisestä yhteydestä on laadittu ehdotus osaksi hakemusaineistoa. Järjestelmiin liittyviä kaavioita on laadittu järjestelmäkuvausten liitteeksi.

Häiriöiden ja onnettomuuksien estäminen

STUK toteaa lausunnossaan, että Posiva ei ole esittänyt aineistossaan, miten suunniteltu laitos ja sen järjestelmät ehkäisevät käyttöhäiriöiden ja onnettomuuksien synnyn. Aineistosta ei selviä, miten kapselointi- ja loppusijoituslaitos selviää yksittäisvivoista. STUK korostaa, että rakentamislupahakemuksen käsittelyn yhteydessä on tarpeen varmistua kapselointiin liittyvien turvallisuudelle merkittävien ja uudentyyppisten laitteiden turvallisuusperiaatteista. Posiva ei ole esittänyt, mitä suunnitteluvaatimuksia laitokselle ja sen järjestelmille on käyttöhäiriöiden ja onnettomuuksien hallitsemiseksi asetettu. Alustavasta hakemusaineistosta puuttuu myös useilta osin selvitykset, joissa esitetään toteutusratkaisut ja selkeä kuvaus järjestelmän liittymisestä laitoksen kokonaisuuteen. Rakentamislupahakemusta varten järjestelmistä tulee esittää niiden suorittamat turvallisuuden kannalta tärkeät toiminnot, niille esitetyt vaatimukset, vaatimusten täyttyminen, toteutusratkaisut, häiriötilanteiden analyysit sekä vika-analyysit.

Ulkoisten uhkien käsittelyyn liittyvää aineistoa ei ole toimitettu STUKille alustavan turvallisuusarvion tekemistä varten. Laitoksen sisäisiin uhkiin liittyen STUK vaatii mm. tulipalojen ehkäisyyn ja hallintaan liittyviä suunnitelmia. Lisäksi Posivan on esitettävä yksityiskohtaisemmalla tasolla ratkaisut rinnakkaisuus, erilaisuus- ja erotteluperiaatteen toteutumiseen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella.

Häiriöiden ja onnettomuuksien estämisen menetelmiä on käsitelty PSARin järjestelmäkuvauksissa. Rinnakkaisuus-, erilaisuus- ja erotteluperiaatteen toteutumista on käsitelty järjestelmäkuvauksissa niiltä osin, kun näitä menetelmiä on käytetty laitosten järjestelmissä. Tulipalojen hallintaan on laadittu aihekohtaiset raportit osaksi PSARia.

Loppusijoitustoiminnot

STUK toteaa, että Posivan PSAR-aineiston pohjalta kapselien siirtolaitteistojen suunnitteluperusteet ovat asianmukaiset. Posiva ei ole kuitenkaan toimittanut alustavassa hakemusaineistossa YVL B.1 - ohjelunnuksessa kuvattua aineistoa, jonka perusteella voidaan varmistua siirtojen turvallisesta toteutustavasta. Posiva tulee

toimittamaan STUKille rakentamislupahakemuksen yhteydessä kapselien siirtolaitteiden alustavat järjestelmäkuvaukset, jotka kuvaavat mm. siirtojen tekemistä.

Kriittisyysturvallisuuden osalta Posiva ei ole alustavassa hakemusaineistossa tarkastellut kriittisyysturvallisuuteen liittyviä riskejä, jotka mahdollisesti aiheutuvat hyvin pitkällä aikavälillä loppusijoituskapselin korroosiosta, polttoaineen rapautumisesta ja polttoainesauvojen suojakuorien syöpymisen jälkeen pellettien valumisesta kapselin alaosan tyhjiin tiloihin. OL3-polttoaineen kriittisyysturvallisuuden varmistaminen vaatii lisätyötä.

Posivan nykyinen käsitys kriittisyysturvallisuudesta pohjautuu raporttiin Anttila (2005b), joka keskittyy ensisijaisesti käyttöturvallisuuteen. Posiva tekee kuitenkin em. raporttia tukevia pitkäaikaisturvallisuuteen keskittyviä kriittisyysturvallisuustarkasteluja, joiden tulokset liitetään hakemusaineistoon. OL3-polttoaineen kriittisyysturvallisuusselvitystyö on alkanut omistajien, Posivan, VTT:n ja STUKin muodostamassa työryhmässä, ja työ jatkuu erityisesti korkearikasteisen OL3-polttoaineen osalta myös vuoden 2012 jälkeen.

Toimitettu aineisto on louhinnan ja rakentamistöiden osalta yleispiirteinen. Tarkkaa työvaiheiden rytmittämistä (loppusijoitustoiminnan sekä louheen, täyteaineiden ja suurten laitteiden siirtojen erottamista toisistaan) ei ole kuitenkaan esitetty eikä tilojen toimivuuden varmistamista työvaiheiden aikana.

Louhinnan ja rakentamisen työvaiheiden rytmittämistä erilleen loppusijoitustoiminnasta käsitellään loppusijoituslaitoksen laitossuunnitelmassa mm. erottamalla alueet valvonta-alueeseen ja valvomattomaan alueeseen. Toiminnan erottamista käsitellään lyhyesti myös rakentamislupahakemusaineistossa. Tilojen toimivuus todetaan mm. prototesteillä.

Käytönaikaisen tutkimus- ja tarkkailuohjelman osalta STUK toteaa, että toimitettu aineisto ei vastaa eri säädöksissä esitettyihin aineistovaatimuksiin. Mainittujen vaatimusten täyttämiseen ei Posivan toimittamassa alustavassa hakemusaineistossa ole vielä mitään konkreettista aineistoa. STUKin mukaan tältä osin tutkimus, todentaminen ja demonstraatiot ovat vielä kesken ja suunnitelmat, ohjeistus ja prosessikuvaukset ovat puutteellisia. Suunnittelutyö on kesken ja demonstraatioiden osalta alustavassa hakemusaineistossa esitetyt monitoroinnin kehityssuunnitelmat eivät ole selkeitä ja kattavia. Käyttövaiheeseen liittyvät seurantaohjelmat tulee esittää yleisellä tasolla myös rakentamislupavaiheessa ja esimerkiksi teknisten vapautumisesteiden monitorointi tulee esittää yksityiskohtaisesti viimeistään käyttöluovutuksessa. Puutteen korjaamiseksi Posiva on laatinut päivitetyn monitorointiohjelman, jossa vastataan esitettyihin kysymyksiin ja vaatimuksiin. Ohjelma julkaistaan vuoden 2012 loppuun mennessä.

STUK toteaa, että ohjeluonnoksissa YVL D.3 ja D.5 esitetään vaatimuksia koskien käytetyn ydinpolttoaineen ominaisuuksien ja tunnistetietojen määrittämistä. Posiva ei kuitenkaan ole esittänyt YVL-ohjeluonnosten mukaista suunnitelmaa jätekirjanpidosta. Posivan tulee esittää rakentamislupahakemuksessa suunnitelma ja periaatteet vaatimusten mukaisten tietojen keräämisestä sekä jätekirjanpidosta. Valmius

vaatimuksen mukaisten mittausten ja toimintojen toteuttamiseen tulee olla käyttö lupaa myönnettäessä. Posiva tulee esittämään kuvauksen ydinjätekirjanpidosta ja sitä toteuttavasta ohjelmistosta rakentamislupahakemuksessa.

STUKin mukaan Posivan on lisättävä rakentamislupahakemusaineistoon ehdotus ydinenergia-asetuksen 85 §:ssä tarkoitetusta suoja-alueesta ja sen merkityksestä pitkäaikaisturvallisuudelle. Posivan näkemys kuitenkin on, että pitkäaikaisturvallisuuden suunnittelun ei pidä perustua suojavyöhykkeisiin, eikä suojavyöhykkeitä ole otettu huomioon pitkäaikaisturvallisuutta arvioitaessa. Toisaalta suojavyöhykkeellä voidaan entisestään pienentää ihmisen tahattoman tunkeutumisen todennäköisyyttä erityisesti sulkemisen jälkeisen ajan alussa, jolloin tunkeutumisen seurauksetkin olisivat suurimmat ja siksi suoja-alueen määrittely on järkevää. Määrittely kannattaa kuitenkin tehdä vasta kun loppusijoitustilojen sijoittuminen ja lopulliset sulkemiskäytöt on määritetty.

Loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuus

STUK toteaa, että Posivan suunnitelma täyttää loppusijoitusta koskevat yleiset vaatimukset. Moniesteperiaatteeseen perustuva turvallisuuskonsepti on periaatteellisella tasolla kuvattu kattavasti, mutta merkittävä osa välttämättömistä turvallisuustoimintoihin liittyvistä lähtötiedoista, malleista, suunnitelmista, perusteluista ja yhteenvedoista puuttuu. Turvallisuustoimintojen osalta viranomaisen ja Posivan asettamat tavoitteet vastaavat toisiaan. Posiva on tunnistanut turvallisuustoimintoihin ja teknisten vapautumisesteiden toimintakykytavoitteisiin liittyviä tiedon puutteita ja lisätutkimustarpeita. Alustavan hakemusaineiston merkittävä puute on, ettei vapautumisesteiden toimintakykytavoitteiden täyttymistä ole osoitettu.

Toimintakykyyn liittyy käsite "alkutila" sekä evoluutio alkutilasta tavoitetilaan, jossa vapautumisesteiden toimintakykytavoitteet ja siten turvallisuustoiminnot toteutuvat, ellei sitten evoluution aikana esiinny prosesseja, jotka heikentävät vapautumisesteitä. Näitä vapautumisesteiden toimintakykyä mahdollisesti heikentäviä prosesseja ei ole selvästi kuvattu alustavassa hakemusaineistossa.

Posiva ei ole vielä osoittanut yhdenkään vapautumisesteen osalta vaatimuksenmukaisuutta tai toteutettavuutta. Kapselin osalta osoitus on pisimmällä, mutta puskurin ja tunnelitäytön osalta vaaditaan vielä merkittävää lisäpanostusta.

Turvallisuustoimintojen ja toimintakykytavoitteiden asettamisen osalta STUK toteaa, että Posivalla on mahdollisuus tutkimusaineistonsa nojaten vielä tarkentaa päästöestille asettamia toimintakykytavoitteita ja tavoiteominaisuuksia.

Loppusijoituspaikkaan liittyvästä aineistosta STUK toteaa, että Posivalla on monin osin riittävä aineisto loppusijoituspaikan soveltuvuudeksi vaadittavien johtopäätösten tekemiseen ja niiden asianmukaisiin perusteluihin, mutta johtopäätöksiä ja perusteluja ei ole esitetty alustavassa hakemusaineistossa. STUK korostaa seuraavia asioita tulevana kehityskohteina:

- Kallioperän kulkeutumisominaisuudet, itäisen alueen tutkimus ja huokosvesien tulkintaan liittyvät epävarmuudet tulee selvittää käyttö lupavaiheeseen mennessä.

- Louhintavauriovyöhykkeen (EDZ) rajaamiseen liittyvät työt ja sen pitkäaikaisturvallisuusmerkityksen osoittaminen on vielä kesken.
- Matalan pH:n juotosmassojen kehittäminen kallion lujituksiin on kesken. Myös testattujen injektiomassojen kanssa on ollut ongelmia.
- Käytön aikaisten kallioperän ominaisuuksien muuttumista ja muutoksien vaikutuksia ei ole selkeästi käsitelty alustavassa hakemusaineistossa. Posivan tulee myös esittää toimintatapa ominaisuuksien muuttuessa epäedullisiksi tai vaatimukset täyttämättömiksi.
- Kallion soveltuvuusluokittelun toimivuuden osoittaminen vain demonstraatiotunneleissa vaikuttaa riittämättömältä ennen rakentamislupahakemusvaihetta.

Posiva on jatkanut loppusijoitusjärjestelmän toimintakykyvaatimusten ja niihin sisältyvän kallioluokittelun kehittämistä. Toimintakykyvaatimukset on koottu hierarkisessa muodossa vaatimustenhallinta (VAHA) -järjestelmään ja ne on esitelty myös erikseen julkaistavassa suunnitteluperusteita käsittelevässä *Design Basis* -raportissa. Kallion luokitteluperiaatteet ja käytännön luokittelumenetelmät esitellään valmisteilla olevassa lupahakemuksessa. Menettelyn testausta jatketaan kuitenkin vielä vuosien 2012–2013 aikana.

Turvallisuusvaatimusten täyttymisen osoittaminen

Ydinjätelaitoksen käytön turvallisuuden täyttymisen osoittamisen osalta STUK edellyttää, että Posiva täydentää ja päivittää normaalikäytön sekä käyttöhäiriöiden ja onnettomuuksien analyysit vastaamaan laitoksen lopullista suunnitelmaa ja ottaa huomioon PRA:n tulokset.

STUK toteaa, että pitkäaikaisturvallisuuden osalta turvallisuusarvion tekohetkellä käytettävissä ollut turvallisuusperustelu oli puutteellinen, eikä sen vuoksi ollut mahdollista tehdä kattavaa arviota turvallisuusvaatimusten täyttymisen osoittamisesta. Loppusijoituspaikan ja -menetelmän soveltuvuuden osoittamista korostetaan. Pitkäaikaisturvallisuuden perusteleminen edellyttää ilmastoskenaarioiden ja olosuhdemallien kehittämistä. Toteutettu turvallisuusanalyysi ei kata koko loppusijoitusjärjestelmää, vaan perustuu suurelta osin yhden kapselin analysointiin. Kehitystyö edellyttää aikaisempaa laajempaa stokastisten menetelmien käyttöönottoa. Muodostettavien skenaarioiden tulee huomioida turvallisuustoimintoja heikentävien tapahtumien ja prosessien yhteisvaikutukset. Transienttiluonteisten ilmiöiden ja tapahtumien huomioon ottaminen skenaarioiden muodostamisessa ja analysoinnissa vaatii myös lisätyötä. Skenaarioiden muodostamisessa tehdyt valinnat pitää perustella aiempaa tarkemmin.

Turvallisuusperustelun luotettavuudesta STUK toteaa, että alustava hakemusaineisto vastaa suurelta osin VNA 736/2008:n vaatimaa turvallisuustasoa. Posivan mallinnustyö ja lähtötiedot ovat tieteellisesti korkealaatuisia, joskin lähtötietoja jatkuvasti kelpoistetaan ja päivitetään. Lähtötietojen soveltuvuuden perustelua, jäljitettävyyttä ja läpinäkyvyyttä tulee vielä parantaa. Turvallisuusanalyysi pitää suorittaa koko loppusijoituslaitokselle yksittäisten kapselien tarkastelun sijaan ja epävarmuuksia pitää käsitellä yksityiskohtaisemmin.

Kuten edellä jo todettiin, esitetyt kommentit on otettu huomioon lupahakemuksessa ja sitä tukevassa turvallisuusperustelussa.

Ydinjätelaitoksen rakentaminen ja käyttö

STUK toteaa, että Posivan toimittamasta alustavasta luvitusaineistosta ei selviä, miten laadunhallinnan periaatteet toteutuvat kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamisessa. Projektin hallinnasta ja sen toteutuksen kannalta keskeisistä menettelytavoista ja organisaatiosta on toimitettava kattavampi kuvaus.

Rakentamislupahakemuksen yhteydessä tulee esittää suunnitelmat käyttövaiheessa edellytettävien käytön turvallisuusohjeiden ja turvallisuusteknisten käyttöehtojen laatimisesta, ikääntymisen hallintaa koskevista periaatteista ja säteilymittausjärjestelmistä.

Käyttövaihetta koskevat asiat sisältyvät PSARin yleisen osan lukuihin Y5 ja Y11. Säteilymittauksen periaatteista laaditaan PSARIin liitettävä aihekohtainen raportti. Kustakin säteilymittausjärjestelmästä laaditaan PSARin yhteyteen järjestelmäkuvaus.

Organisaatio ja henkilökunta

STUK toteaa, että Posivan turvallisuuskulttuuri on vaatimusten mukaisella tasolla. Turvallisuuden ja laadun hallinnan osalta kaikkia edellytetyjä aineistoja ei ole toimitettu STUKille. Organisaation kuvaus alustavassa hakemusaineistossa on myös puutteellinen.

Rakentamista ja käyttöä koskevat organisaatiokuvaukset esitetään TEM:lle toimitettavan hakemusaineiston liiteaineistossa. STUKille toimitettavassa aineistossa organisoituminen rakentamiseen kuvataan YVL 1.1 -ohjeen tarkoittamassa erilliselityksessä.

Turvajärjestelyt

Alustavassa hakemusaineistossa ei ole kuvattu riittävän laaja-alaisesti turvajärjestelyjen suunniteltua toteutusta, vaan suunnitelmaa on täydennettävä rakentamislupahakemuksen toimituksen yhteydessä kattamaan valmisteilla olevan YVL A.11 -ohjeen mukaiset vaatimukset ydinlaitoksen turvajärjestelyiksi.

YVL A.11 -ohjeluonnoksen vaatimukset täyttävä alustava turvasuunnitelma sisältyy STUKille toimitettavaan hakemusaineistoon. Suunnitelma sisältää kuvauksen rakentamisen aikaisista turvajärjestelyistä.

Valmiusjärjestelyt

STUK toteaa, että Posivan suunnitelmat valmiusjärjestelyistä ovat puutteelliset ja että Posivan tulee täydentää lupa-aineistoa rakentamislupahakemukseen.

YVL C.5 -ohjeen tarkoittama alustava valmiussuunnitelma sisältyy STUKille rakentamislupahakemuksen yhteydessä jätettävään aineistoon.

Laitoksen ydinjätehuolto

STUK toteaa, että toimitettu aineisto on ydinjätehuollon osalta riittävällä tarkkuudella rakentamislupahakemusta varten. Rakentamislupahakemukseen pitää sisällyttää suunnitelma käyttöjätteen loppusijoitustoiminnoista ja -tilasta. Käytöstäpoistoa käsittelevät aineistot ovat riittävän laajoja.

Käyttöjätteen loppusijoittamisesta esitetään suunnitelma rakentamislupahakemuksen yhteydessä. Käyttöjätteen loppusijoittaminen otetaan huomioon laitossuunnittelussa, inventaarioissa ja turvallisuusanalyysissä.

Ydinmateriaalivalvonnan järjestäminen

Posiva on toimittanut STUKille esiluvitusaineistona alustavan suunnitelman ydinaseiden leviämisen estämiseksi tarpeellisen valvonnan järjestämisestä ja saanut siihen palautetta. Palautteessa todetaan, että Posivan suunnitelma ei anna riittävää kuvaa ydinmateriaalivalvonnan järjestämisestä. Erityisesti siitä puuttuvat Posivan vastuulla olevien tehtävien tunnistaminen ja menettelytavat ydinmateriaalivalvonnan järjestämiseksi. Myös kuvaus STUKin ja kansainvälisen (IAEA:n ja Euroopan komission) valvonnan mahdollistamiseksi puuttuu suunnitelmasta. Menettelytapoja on ONKALO-vaiheen osalta kuvattu Posivan valmistelemassa ja STUKin hyväksymässä ydinsulkukäsikirjassa, mutta se ei ole riittävä koko kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ydinmateriaalivalvonnan arvioimiseksi.

Palaute huomioidaan rakentamislupahakemuksessa toimitettavassa Ydinenergia-asetuksen 35 §:n mukaisessa suunnitelmassa ydinaseiden leviämisen estämiseksi tarpeellisen valvonnan järjestämisestä. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamisen aikana ydinsulkuvalvonta toteutetaan nykyisen STUKin hyväksymän ydinsulkukäsikirjan perusteella. Rakentamislupahakemukseen liitetään tästä erillinen alustava ydinmateriaalikäsikirja kattamaan kuljetusten, kapseloinnin ja loppusijoituksen vaiheet. Edellä mainitut käsikirjat on tarkoitus yhdistää käyttöluvavaiheessa.

Muita vaatimuksia

Toimitettu aineisto on osin puutteellinen kuljetusten osalta. Kuljetusratkaisun (kuljetusmuoto, välineet, vaihtoehtoiset reitit, turvatoimet, jne.) perusteluiden on sisällettävä eri kuljetusmuotojen arviointi turvajärjestelyiden toteutettavuuden ja vaikuttavuuden sekä kuljetusten kokonaisturvallisuuden varmistamisen kannalta.

Vaatimuksen mukaiset selvitykset sisältyvät aihekohtaisina raportteina STUKille toimitettavaan aineistoon.

4.2 Loppusijoituspaikan soveltuvuus

Rakentamislupahakemuksen valmistelussa on loppusijoituspaikan soveltuvuuden arviointi ja osoittaminen ollut keskeinen osa tutkimus- ja kehitystyötä. Maanalaisen tutkimustila ONKALOn rakentaminen ja siinä tehtävät tutkimukset ja menetelmä- sekä laitetestaukset ovat muodostaneet tärkeän osa työstä. Soveltuvuuden arviointi jakautuu karkeasti ottaen kahteen osa-alueeseen, Olkiluodon kallioperän soveltuvuuteen loppusijoituskäyttöön yleisesti sekä kalliotilavuuksien soveltuvuusluokitteluun. Ensin mainitun tuloksia käytetään hyväksi pääasiassa loppusijoituksen suunnittelussa sekä pitkäaikaisen turvallisuuden kokonaisarvioinnissa. Jälkimmäisen osa-alueen tulokset ovat olennaisia paikannettaessa toteutukseen soveltuvat kallio-osuudet sekä varmistettaessa tätä varten turvalliset olosuhteet ja ominaisuudet. Maanalaisella tutkimus- ja kehitystyöllä on ollut tässä työssä merkittävä rooli.

Jo 1980-luvulla käynnistettyjen paikkatutkimusten tuloksena on pystytty osoittamaan, että Olkiluodon kallioperässä on suotuisat olosuhteet käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen. Kallioperä on sekä geologisesti, kalliomekaanisesti, hydrogeologisesti että geokemiallisesti stabiili. Tutkimusten painopiste on siirtynyt paikan yleisestä karakterisoinnista kallion ominaisuuksien yksityiskohtien tutkimiseen ja pyrkimykseen ymmärtää kallioperän prosesseja perusteellisesti. TKS-2009-kauden aikana tehdyt tutkimukset ja mallinnukset on kuvattu luvussa 4.2.2.

Loppusijoituspaikan soveltuvuuteen tähtäävän soveltuvuusluokittelun (Rock Suitability Classification, RSC) lopputuloksena määritetään loppusijoituspaneelien, -tunnelien ja -kapselien paikat kallioperässä ja näin ollen kallion lopullinen käytettävyyss loppusijoitukseen. Kallion soveltuvuusluokittelun tämänhetkinen tilanne kuvataan luvussa 4.2.3.

4.2.1 Maanalainen tutkimustila ONKALO

ONKALOn louhintatyöt ovat edenneet vuosina 2010–2012 kokonaissuunnitelman mukaan, vaikka joitain viivästyksiä työvaiheissa on ollut. Työvaiheita on viivästyttänyt mm. vuonna 2011 tehdyt muutokset ruiskubetonointityön toteuttamisessa (betonointi joka katkon jälkeen). Työrytmytyksen muutos on aiheuttanut arviolta usean kuukauden pidennyksen työaikaan. Viivästyneiden työvaiheiden vuoksi on päädytty muuttamaan ONKALOn rakentamisen työjärjestystä, josta on erikseen neuvoteltu valvovan viranomaisen STUKin kanssa. Keskimääräinen etenemä on ollut noin 80 metriä kuukaudessa. Louhintatyöt ovat olleet keskeytyksissä louhintaurakoitsijan vaihtumisen vuoksi, ja ajoittain louhinta on keskeytetty tutkimusreikien kairauksen ajaksi. Ajotunnelin louhinnan lisäksi päättyvän ohjelmakauden aikana on louhittu tässä vaiheessa tarpeellisessa laajuudessa teknisiä tiloja tasolla -437 m sekä huoltotunneliyhteys ja kuiluliittymät tasolle -455 m. Louhittuun laajuuteen ovat kuuluneet myös selkeytysallastilat vuotovesille sekä pumppaamotila.

Merkittävänä erillistytönä on louhittu vuosien 2011 ja 2012 aikana kaksi demonstraatiotunnelia, joissa on sovellettu EDZ09-projektissa saatuja kokemuksia louhintahäiriöiden hallinnassa. Demonstraatiotunnelit ovat 52 ja 105 metriä pitkiä tunneleita. Demonstraatiotunneleille on määritelty erikseen omat suunnitteluvaatimukset, mutta ONKALOLle määriteltyjä suunnitteluvaatimuksia ei ole

jouduttu muuttamaan työn edetessä ja kokemuksen karttuessa. Toinen tunneli lävisti vettä johtavan rakenteen, minkä johdosta tunnelia louhittaessa oli mahdollista testata loppusijoitustiloihin suunniteltua silika-injektointia. Keväällä 2012 porattiin valmiiksi ensimmäiset neljä koeluontoista loppusijoitusreikää ensimmäiseen demonstraatiotunneliin. Loppusijoitusreikiä tullaan hyödyntämään myöhemmin muissa testeissä ja demonstraatioissa, joista on kerrottu tarkemmin luvussa 5.

Tähän mennessä poistoilmakuilu on ainoa valmiiksi nousuporattu kuilu kolmesta ONKALOn rakenteilla olevasta kuilusta. Muita ei ole porattu valmiiksi johtuen rakenteen HZ20 (R20) läpimenon vaatimista tiivistystoimenpiteistä. Tuloilmakuilun ja henkilökuilun alimman osan (välillä -290...-437 metriä) injektoinnit sekä nousuporausvalmistelut tehdään vuoden 2012 aikana. Loput nousuporaukset toteutetaan vuoden 2013 alussa.

ONKALOn rakentamistyöt käynnistettiin vuonna 2004. Ennen niiden aloittamista arvioitiin rakentamisen mahdollisia vaikutuksia sijoituspaikan kallioperään ja edelleen loppusijoituksen pitkäaikaiseen turvallisuuteen. Suunnitellun kalliotilan vaikutuksista ympäristöönsä laadittiin häiriöarvio (Vieno ym. 2003). Tämän perusteella pyrittiin tunnistamaan turvallisuuskriittiset toiminnot, joita rakentamisen edetessä seurataan ja joiden hallitsemiseksi on tehty tutkimus- ja kehitystyötä. Turvallisuuskriittisiä toimintoja ovat:

- pohjaveden hallinta,
- vieraiden aineiden vieminen kallioperään pysyvällä tavalla,
- louhinnan aiheuttama häiriö kallioon sekä
- kairareikien kairaminen maanalaisista tiloista.

Turvallisuuskriittiset tekijät ovat olleet keskeisessä osassa jatkettaessa ja toteutettaessa kalliorakentamiseen liittyviä tutkimus- ja kehityshankkeita mukaan lukien ONKALOn rakentaminen.

ONKALOn vuotovesimäärien seuranta tehdään ohjelmallisesti. Työssä on seurattu muutoksia ympäröivän kallion pohjavesiolosuhteissa sekä verrattu vuotovesimäärää ja sen kehitystä ennusteisiin sekä voimassa oleviin raja-arvoihin. Vuotovesimäärä on jäänyt selvästi raja-arvojen alapuolelle.

Vieraiden aineiden käyttö toteutustyössä edellyttää käytettäväksi suunnitelluille aineille erillistä hyväksyntää. Materiaalien pitkäaikaisturvallisuusvaikutuksesta johtuen on kehitetty mm. käyttöön otetut kallion tiivistämiseen käytettävät injektointimateriaalit (matalan pH-arvon injektointimassa ja kolloidinen silika) (Arenius ym. 2008) sekä kehitetään edelleen esimerkiksi kalliopulttien matalan pH:n juotoslaasteja.

Louhinnan kallioon aiheuttaman häiriön merkitystä ja toisaalta louhinnan hallittavuuden parantamista on selvitetty paitsi erillisissä projekteissa myös demonstraatiotunnelien louhinnan yhteydessä. Erillisistä projekteista viimeisin on toteutettu vuoden 2009 aikana ja siitä on julkaistu raportti vuonna 2010 (Mustonen ym. 2010). Tämän raportoidun jatkoprojektin tavoitteena oli kehittää edelleen louhintamenettelyä, jolla pyritään kontrolloimaan syntyvän häiriön laajuutta ja luonnetta. Osana kehitystyötä tehtiin karakterisointimetodiikan kokeita, joiden avulla pyrittiin saamaan aikaan

menetelmä louhinnan tuloksen kontrollointiin. Omien tutkimusten lisäksi Posiva on osallistunut SKB:n kanssa yhteisen kokemusraportin tuottamiseen, jossa on kerätty yhteen Posivan ja SKB:n louhintakokemuksia (Olsson 2010).

Tunneliprofiilien ulkopuolelle (> 5 m) kairaus/porausta on pyritty välttämään ilman perusteltua syytä. Pitkistä kairauksista tai porauksista on laadittu erillinen arvio ko. alueen geologisista ja hydrogeologisista olosuhteista, minkä perusteella on arvioitu niiden vaikutusta pitkäaikaisturvallisuuteen. Demonstraatiotunneleissa tehtyjä injektointeja varten kairatut reiät on suunniteltu kokonaan louhintaprofiilin sisään (osa rei'istä on taipunut profiilin ulkopuolelle). Lisäksi kuiluinjektioinneissa välttämättömiksi todetut injektointireiät kuiluprofiilien ulkopuolelle on tarvittaessa kairattu kussakin injektioinnissa erikseen tehdyn arvioinnin jälkeen.

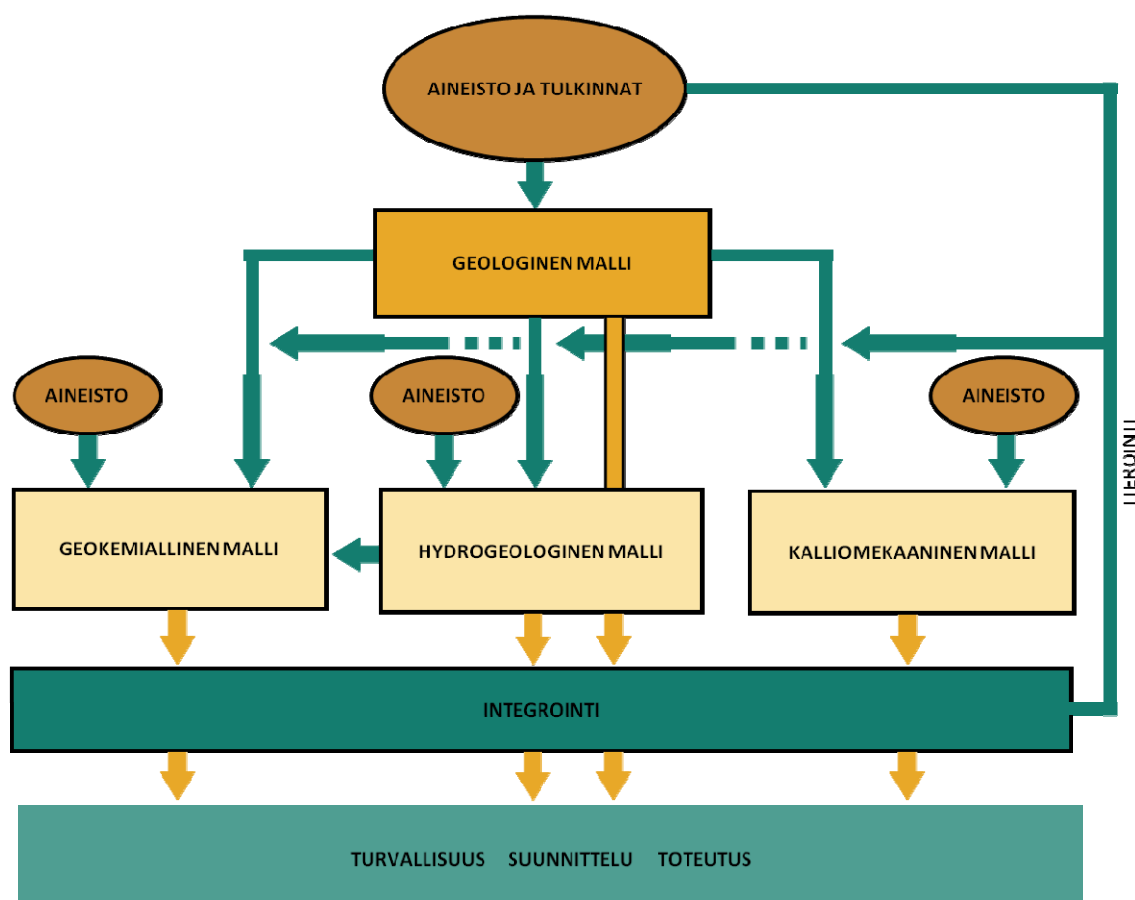
ONKALossa tehty tutkimus- ja kehitystyö kuvataan jäljempänä olevissa luvuissa yhdessä muun loppusijoituspaikan soveltuvuuden arviointiin tähtäävän tutkimus- ja mallintamistyön kanssa.

4.2.2 Loppusijoituspaikan ominaisuudet

TKS-2009-kauden tutkimus-, mallinnus- ja raportointityötä vuosina 2010–2012 ovat ohjanneet rakentamislupahakemuksen tarpeet. TKS-2009-ohjelmassa paikatutkimusten painopistealueiksi valittiin Olkiluodon loppusijoituspaikan kuvaus 2008 -raportissa (Posiva 2009b) määritetyt avoimet kysymykset. Näitä olivat mm. kallion hilseily, Olkiluodon alueen jännitystila, kiven muuttuneisuus ja sen mahdolliset vaikutukset sekä pohjavesiolosuhteiden hydrogeokemiallinen stabiilisuus. Näiden lisäksi paikatutkimuksia on jatkettu maanpinnalta Olkiluodon itäosassa sekä maan alla ONKALossa. Sen tutkimustiloissa on määritetty kallioperän kalliomekaanisia ominaisuuksia, hydrogeologisia vuorovaikutuksia, sulfaatin pelkistymistä sekä matriisidiffuusiota. TKS-2009-kauden toteutuneet kenttätutkimukset on käsitelty luvussa 4.2.2.1.

Paikatutkimusten osalta TKS-2009-kauden yhtenä päätavoitteena oli Loppusijoituspaikan kuvaus -raportin (*Site Description*) tuottaminen vuoden 2011 puoleen väliin mennessä. Raportin aikataulu on kuitenkin viivästynyt erityisesti matriksihuokosvesitutkimusten vaatimien lisätutkimusten ja -tulkintojen vuoksi. Raportin päätulokset ovat kuitenkin jo käytettävissä, ja ne esitellään luvussa 4.2.1.2.

Päivitetty loppusijoituspaikan kuvaus perustuu pääpiirteittäin syyskuun 2010 loppuun mennessä valmistuneisiin tutkimustuloksiin. Joidenkin tutkimusalueiden, kuten kalliomekaniikan ja hydrogeokemian osalta myös tätä myöhemmin valmistuneita tutkimustuloksia on otettu mukaan. Paikkamalleissa (kuva 4-2) kuvataan ensisijaisesti kallioperän nykyiset olosuhteet ja ominaisuudet. Lisäksi mallinnuksella on pyritty ennustamaan kallioperän olosuhteita lähitulevaisuudessa sekä ONKALOn mahdollisesti aiheuttamien häiriöiden esiintymistä ja suuruutta. Malliennusteiden vertaaminen todellisiin havaintoihin antaa arvokasta tietoa mallien luotettavuudesta sekä auttaa kehittämään malleja edelleen.



Kuva 4-2. *Pääpiirteittäinen kaavio paikkamallinnuksen etenemisestä, mallien keskinäisistä suhteista ja mallien jatkokäytöstä.*

Loppusijoituspaikan ominaisuuksia kuvaaviin malleihin saadaan runsaasti lähtötietoa Olkiluodon monitorointiohjelman (OMO-ohjelma) avulla. Tavoitteena TKS-2009-kauden aikana on ollut monitorointiohjelman päivitys rakentamislupahakemukseen mennessä vastaamaan tulevia tarpeita. Monitorointiohjelman päivitys julkaistaan vuoden 2012 aikana. Ohjelma sekä viimeisimmät monitorointihavainnot esitellään tiivistetysti luvussa 4.2.4

4.2.2.1 Yhteenveto kenttätutkimuksista vuosina 2010–2012

Maanpintatutkimukset

Tässä luvussa keskitytään ensisijaisesti maanpinnalta tehtyihin kallioperätutkimuksiin. Pintaympäristön tutkimukset on käsitelty luvuissa 4.6.5 ja 5.5.

Kuvassa 4-3 on esitetty tutkimuksen kohteena oleva loppusijoituksen suunnittelualue Olkiluodossa. Suunnitellut kairaustutkimukset alueen itäosassa saatettiin päätökseen vuosina 2009–2012. Tutkimukset käsittivät yhteensä kuusi tutkimusreikää, joista syvin OL-KR56 ulottuu noin 1200 m:n syvyyteen. Kuvan 4-3 alueella on nyt 57 syvää kairareikää. Alueen tutkimuskaivannot, joiden avulla on hankittu lisätietoa kalliopinnasta, on esitetty kuvassa 4-4.

Tutkimusrei'issä on toteutettu laaja reikä tutkimusohjelma (standardigeofysiikan mittaukset, optinen kuvaus, virtausero- ja EC-mittaukset ja vesinäytteenotot). Tuloksia ei ole täysin pystytty hyödyntämään loppusijoituspaikan kuvaus 2011 -raportissa, joten ne hyödynnetään seuraavien mallipäivitysten yhteydessä. Reikä tutkimukset on raportoitu seuraavissa raporteissa: Tarvainen 2010a ja 2010b, Väisäsvaara 2010, Pekkanen ym. 2011, Tarvainen & Heikkinen 2011 sekä Komulainen ym. 2012a ja 2012b. Niissä on selostettu kattavasti tutkimusmenetelmät ja kuvattu suorat tulokset. Lisäksi työtä ja tuloksia on esitelty vuosien 2010 ja 2011 ydinjätehuollon toimintakertomuksissa.

Standardimittausten lisäksi on tehty HTU-mittauksia valikoiduissa rei'issä noin 300–700 m:n syvyydellä. Poikkivirtausmittauksia on tehty ONKALON lähirei'issä sekä suotautumiskokeen seurannan yhteydessä. Vesinäytteenotto kohteiden valinnassa on keskitytty suunnitelmien mukaisesti erityisesti pienen vedenjohtavuuden omaavien rakojen vesinäytteenottoihin. Esimerkiksi reiästä OL-KR47 on otettu useita vesinäytteitä keskittyen juuri pienen vedenjohtavuuden omaavien rakojen hydrogeokemialliseen karakterisointiin. Vesinäytteistä on tehty myös mikrobiologiset ja kaasuanalyysit. Mikrobiologiset tutkimukset ovat keskittyneet edelleen pohjavedessä esiintyvien mikrobilajistojen ja toiminnallisten mikrobilajien tunnistamiseen. Tehdyistä mikrobitutkimuksista on valmistumassa yhteenveto- ja tulkintaraportti vuoden 2012 aikana.

Matriksihuokosvesitutkimuksia syvistä kairarei'istä jatkettiin ja lisäksi otettiin näyte ONKALON yhdestä pilottireiästä (ONK-PH9). Kairasydännäytteitä on otettu laboratoriokokeita varten rei'istä OL-KR39, OL-KR47, ONK-PH9, OL-KR54, OL-KR55 ja OL-KR56. Näistä reiän OL-KR39 ja OL-KR47:n tulokset ovat valmistuneet ja raportoitu (Eichinger ym. 2006, 2010a). ONK-PH9:n näytteenotto tehtiin profiilimaisesti hydrogeologisesta rakenteesta HZ20B ja sen ympäristöstä. Tässä yhteydessä otettiin näytteet myös huokoskaasujen määrittystä varten (Eichinger ym. 2010b). Kesällä 2010 reikiä OL-KR54 ja OL-KR55 näytteenotoilla katettiin koko syvyysprofiili 0–1 000 m ja samalla tutkittiin NaI-merkkiaineen avulla kairausveden kontaminaation vaikutusta huokosvesiin (raportointi käynnissä). Loppuvuodesta 2011 otetuilla reiän OL-KR56 näytteillä karakterisoidaan kallion syvyysväliä 700–1 200 m. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää erityisesti suolapitoisuuden jakaumaa huokosveden ja rakoveden välillä syväkallio-olosuhteissa. Kolmen ensimmäisen reiän tutkimustulokset ovat olleet käytössä loppusijoituspaikan kuvaus 2011 -raportissa. Tuloksia hyödynnetään erityisesti Olkiluodon paleohydrogeologisessa tulkinnassa, josta on valmistumassa yhteenvetoraportti vuoden 2012 aikana.

Pohjaveden suotautumista tutkiva koe käynnistettiin kairareikiä OL-KR14–OL-KR18 alueella vuonna 2008. Kokeessa on pumpattu reiän OL-KR14 hydrogeologisen vyöhykkeen yläosaa ja seurattu pumppauksen aiheuttamia vaikutuksia suotautuvan veden virtaukseen ja kemiallisiin ominaisuuksiin ympäröivissä tutkimusrei'issä sekä pohjavesiputkissa. Kokeesta on ilmestynyt perustilaraportti (Aalto ym. 2011a), jossa esitetään kokeen lähtötilanne sekä ennusteet mahdollisille muutoksille. Lisäksi vuoden 2009 tuloksista on valmistumassa raportti, jossa esitetään suotautumiskokeen vuoden 2009 aikana tehty mittaukset, koejärjestelyt ja tutkimusaineisto tuloksineen,

tutkimusalueen päivitetty hydrogeologinen malli sekä virtaus- ja reaktiivisen kulkeutumismallinnuksen tulokset (Käpyaho ym. 2012). Kokeesta valmistuu loppuraportti vuoden 2012 loppuun mennessä.

Tutkimuskaivanto OL-TK17 ja sen tutkimukset toteutettiin suunnitellusti vuoden 2009 aikana (Lindberg 2010 ja Huhta 2010). Kaivanto sijaitsee kairareiän OL-KR51 pohjoispuolella ja suunnilleen reiän suuntaisena (kuva 4-4). Vuonna 2010 tehtiin tutkimuskaivanto OL-TK18 (noin 55 m) kaivantojen OL-TK4 ja OL-TK12 väliin (kuva 4-4) (Engström 2012).

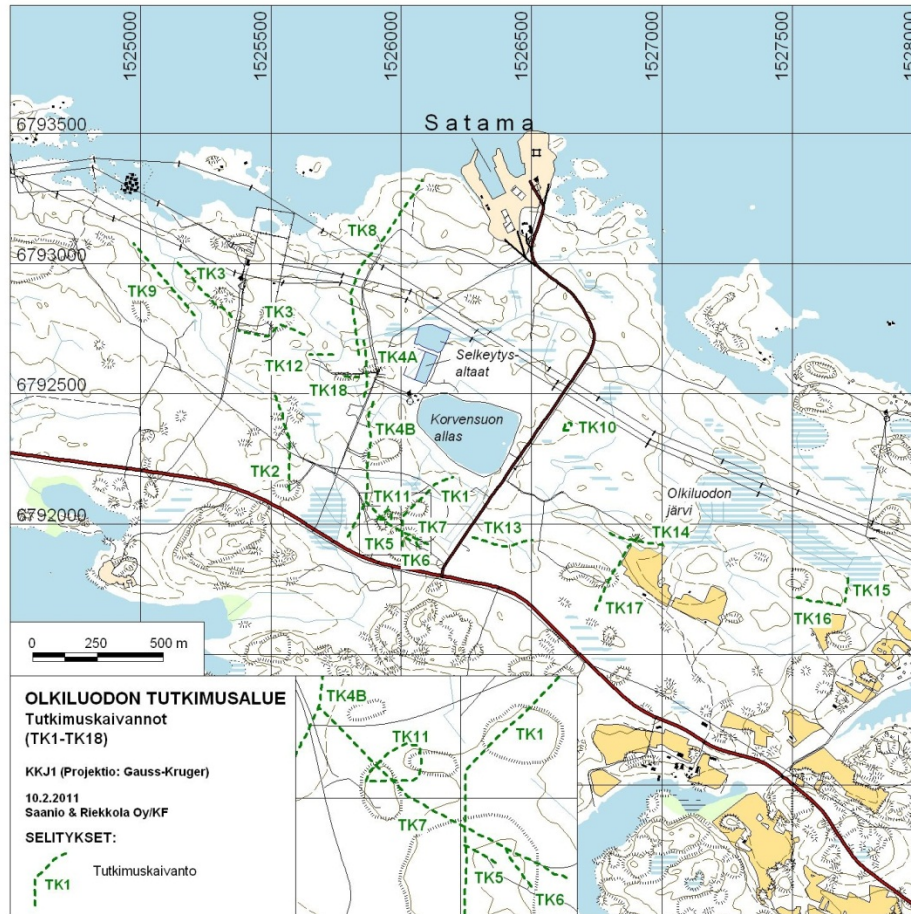


Kuva 4-3. Olkiluodon syvät tutkimusreiät.

Olkiluodon suunnittelualueella laajemmalla alueella on tehty vuosina 2008 ja 2009 aero- ja maanpintageofysikaalisia tutkimuksia. Näiden tulokset on esitetty raporteissa Leväniemi 2008, Kurimo 2009 sekä Kukkonen ym. 2010 ja tulokset on hyödynnetty kuluneella ohjelmakaudella mm. lineamenttitulkinnessa ja maaperämallinnuksessa.

Vuonna 2010 julkaistiin raportti, jossa esitetään yhtenäinen tulkinta johtavista vyöhykkeistä perustuen erillisten latauspotentiaalimittauksien tuloksista mallinnettuihin yksittäisiin johteisiin (Ahokas & Paananen 2010). Tuloksia käytettiin geologisen ja hydrogeologisen mallin päivityksessä sekä täydentävän mittauskampanjan suunnittelussa. Latauspotentiaalimittauksia jatkettiin vuonna 2010 itäisellä tutkimusalueella yhdeksässä kairareiässä ja 76 maanpintaprofiililla (Tarvainen 2010c).

Aineistosta mallinnettiin useita sähköisesti johtavia vyöhykkeitä, joista monet yhtyvät tunnettujen hauraiden vyöhykkeiden kanssa, mutta indikaatioita löytyi myös muutamasta vielä tuntemattomasta vyöhykkeestä (Ahokas 2010).



Kuva 4-4. Olkiluodon tutkimuskaivannot.

Sähkömagneettisia tomografiatutkimuksia testattiin kairareikäleikkauksessa OL-KR40–OL-KR45 (Korpisalo & Niemelä 2010). Tutkimuksen perusteella todettiin, että käytetty EMRE-laite soveltuu Olkiluodossa reikien väliseen laajojen johtavien ja eristävien tilavuuksien paikantamiseen. Näitä ovat kivilajiyksiköt ja laajat deformaatiovyöhykkeet.

TKS-2009-ohjelmassa suunniteltiin tehtäväksi hydraulisia pumppauskokeita erityisesti itäisellä tutkimusalueella hydrogeologisten yhteyksien selvittämiseksi. Suuren mittakaavan vuorovaikutuskokeita ei vielä vuosina 2010–2012 päästy käynnistämään, koska itäisen alueen kairaukset ja tutkimukset avoimissa rei'issä olivat pahasti kesken.

Kiven termisten ominaisuuksien määrittämistä etenkin TERO76-laitteistoilla on jatkettu kolmessa reiässä (Kukkonen ym. 2011c) ja yhdessä kairareiässä kokeellisemmalla lämpötilagradientin käänteisarvoon ja lämpövuohon perustuvalla menetelmällä (Kukkonen ym. 2011b). Tämän lisäksi vuonna 2010 tehtiin lisää termisten ominaisuuksien laboratoriomäärittäyksiä ja raportoitiin kaikki Olkiluodon kairasydännäytteistä tehdyt laboratoriomittaukset vuosilta 1994–2010 (Kukkonen ym. 2011a). Olkiluodon kivilajien lämpölaajenemista tutkittiin erillisellä näytesarjalla, jonka

raportointi valmistuu vuonna 2012. Lämpölaajenemiskerroin määritettiin lämpötilaväliltä 20–60 °C (Åkesson 2012).

Maanalaiset tutkimukset

ONKALOn ajotunnelissa, kuiluissa ja muissa tiloissa sekä keskustunneleissa, loppusijoitustunneleissa ja loppusijoitusrei'issä on tehty monipuolisia geotieteellisiä tutkimuksia suunnittelun lähtötietojen hankkimiseksi ennen louhintaa, välittömästi louhinnan edetessä ja myöhemmin. Tutkimukset käsittävät muun muassa kairaustutkimuksia ja tilojen kartoituksia. ONKALOn karakterisointi käsittää geologisia, kalliomekaanisia, geofysikaalisia, hydrogeologisia ja hydrogeokemiallisia tutkimuksia.

Kallioperätutkimusten tehtävänä on tuottaa ensivaiheessa seikkaperäiset tiedot loppusijoituksen aiotun kalliotilavuuden soveltuvuudesta sekä sen jälkeen tarkoituksenmukaiset lähtötiedot suunnittelulle. Tämän saavuttamiseksi on ONKALOn toteutustyön aikana tehty runsaasti tutkimustyötä, jonka tuloksia on käytetty kalliosuunnittelun lähtötietoina.

ONKALOn ajotunnelin varrelle on perustettu useampia tutkimustiloja. Niissä on käynnistetty kauden aikana pitkäaikaisia kokeita, joiden avulla selvitetään ohjelmallisesti kallion loppusijoituksen kannalta keskeisiä ominaisuuksia, siinä vallitsevia prosesseja tai tapahtuvia ilmiöitä. Tällaisia kokeita ovat mm. POSE, HYDCO ja REPRO.

Posiva on kehittänyt ONKALOn kartoitukseen ja geologisen sekä geoteknisen informaation keräämiseen kartoitusmenetelmät, joita on sovellettu kaikissa ONKALOn louhituissa tiloissa, myös demonstraatiotunneleissa. Kartoitusmenetelmiä tullaan kuitenkin edelleen kehittämään mm. louhintasuunnittelun, RSC-luokituksen (luku 4.2.3) ja työn edetessä havaittujen tarpeiden sekä geologisesta mallinnuksesta saatavan palautteen perusteella. Maanalaisten tilojen kartoitus voidaan jakaa kolmeen osaan: ns. katkokartoitus, systemaattinen kartoitus ja täydentävät kartoitukset.

Louhinnan edetessä jokaisen viisi metriä pitkän louhintakatkon jälkeen tunnelissa on tehty ns. katkokartoitus (Engström & Kemppainen 2008). Sen pääasiallinen tarkoitus on tuottaa geologista tietoa louhittavasta kalliotilavuudesta geoteknistä arviota varten sekä välittömän lujituksen suunnittelun avuksi. Katkokartoituksen tietoja on käytetty myös arviointiin siitä, tarvitaanko ennen seuraavien katkojen louhintaa esi-injektointia.

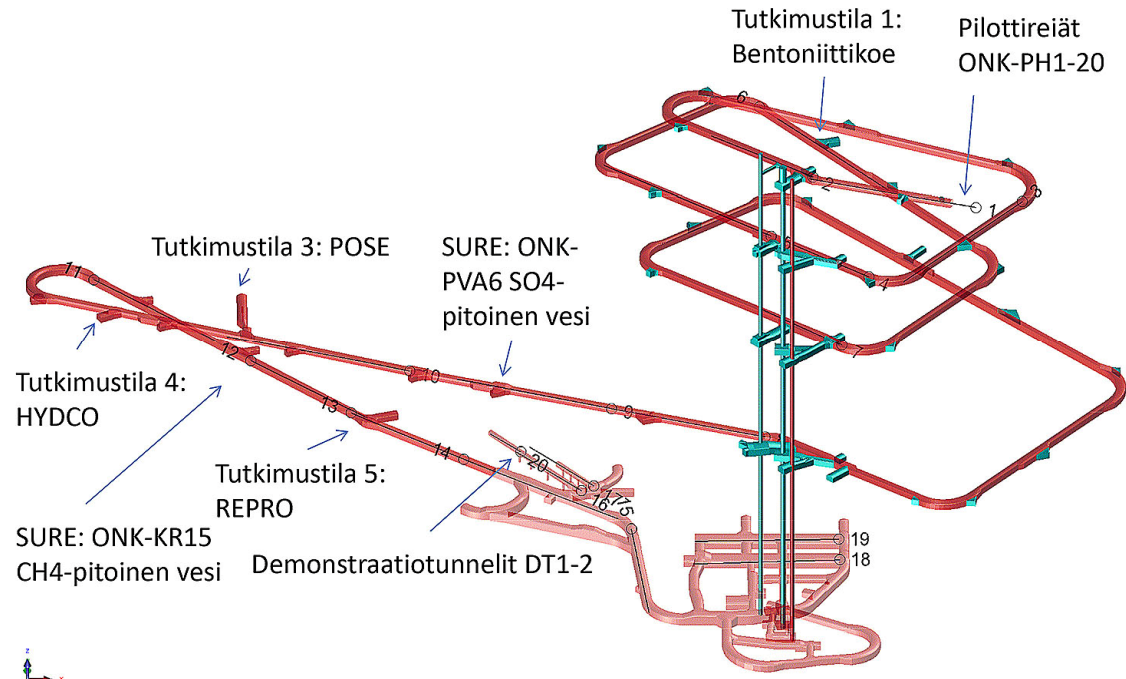
Systemaattinen geologinen kartoitus seuraa joitakin kymmeniä tai satoja metrejä louhinnan jäljessä (Engström & Kemppainen 2008). Myös systemaattinen kartoitus tehdään viiden metrin katkoissa. Sen yhteydessä kerätään huomattava määrä geologista kartoitusdataa, joka käsittää muun muassa kivilajikuvauksen, liuskeisuuden, ym. rakennehavainnot. Systemaattisen kartoituksen tietojen avulla katkokartoituksen mukaista Q-luokitusta voidaan tarkentaa, jolloin lopullisia lujitussuunnitelmia voidaan tämentää tarkemman tiedon perusteella paremmin olosuhteisiin sopiviksi.

Täydentävät kartoitukset käsittävät muun muassa deformaatiovyöhykkeiden kartoituksen, tunnelia leikkaavien pitkien rakojen koordinaattien mittaukset takymetrillä, Schmidtin vasaralla tehtävät mittaukset sekä järjestelmällisen valokuvauksen (Engström & Kempainen 2008). Maanalaisista tiloista otetaan systemaattisesti näytteitä petrologian tutkimuksiin. Mineralogisia ja hydrogeokemiallisia näytteenottoja on tehty kampanjaluontoisesti joissakin tiloissa. Vuoden 2011 aikana osa täydentävistä kartoitustöistä, kuten pitkien rakojen ja vyöhykkeiden kuvaukset, siirrettiin ns. katkokartoitusten yhteyteen. Muutos johtui lujitustöiden rytmityksen ja ajoituksen muuttamisesta.

ONKALOSSA on tehty kahdesta kolmeen kertaa vuodessa hydrogeologinen vuotokartoitus, jonka tarkoituksena on ollut selvittää rakentamisen aiheuttamia muutoksia pohjavesioloihin. Saatua informaatiota on käytetty tutkimuksen lähtötietoina, mutta myös injektoinnin ja ruiskubetonoinnin seurantaan.

ONKALON rakennuspaikkaa karakterisoidaan ennen louhintaa kairaustutkimusten avulla. Pilottireiät on louhinnan edetessä kairattu tunnelin profiilin sisään. Niiden pituus on vaihdellut muutamasta kymmenestä metristä 150 metriin. Tutkimusten avulla on varmistettu kalliomassan laadun vastaavuus ennustettuun tietoon ennen louhimista. Tutkimustulosten avulla tunnistetaan mm. rikkonaiset ja vettä johtavat kallio-osuudet ja niistä saatavalla tiedolla voidaan muokata jo olemassa olevia louhintasuunnitelmia. ONKALON ajotunneliosuudelle on tehty pilottireikiä suurimmalle osalle tunnelijaksosta.

Vuoden 2012 loppuun mennessä saadaan tutkimustiedot kahdestakymmenestä pilottireiästä. Pilottireikien ONK-PH1–PH15 tuloksista ilmestyy työraportti, johon on koottu kaikki pilottirei'istä saatu mittausaineisto (geologinen kartoitus, geofysiikan mittaukset, hydrogeologiset mittaukset sekä pohjavesinäytteenottojen tulokset). Reiästä ONK-PH16 eteenpäin tuloksista valmistuu yksireikätkulkinta kallion soveltuvuusluokittelun (RSC) käyttöön. ONKALOON kairatut pilottireiät on esitetty kuvassa 4-5.



Kuva 4-5. ONKALOon kairatut pilottireiät (ONK-PH1–19) ja louhitut tutkimustilat sekä käynnissä olevat tutkimukset.

Geofysiikan mittauksilla on kerätty yksityiskohtaista tietoa kallioperästä kaikkien tutkimustiloissa käynnissä olevien tutkimusten (POSE, HYDCO, REPRO) käyttöön (Tarvainen 2011b, Tarvainen 2011c, Tarvainen 2012). Tutkimustilassa 3 (kuva 4-5) on tehty myös EDZ-tutkimusohjelmaan liittyviä reikämittauksia useissa lyhyissä rei'issä (Sacklén ym. 2010).

Vuonna 2009 toteutetun seismisen heijastusluotauksen tuloksena syntyi projisoituja seismisiä heijastekuvia 12 eri kulmassa tunnelista sivulle, ylös- ja alaspäin. Heijastekuvat ulottuvat noin 200 m tunnelista ulospäin (Cosma ym. 2011). Jatkotyönä tehtiin tulkinta, jolla pyrittiin selvittämään heijasteiden syntyyn vaikuttavia geologisia ja geofysikaalisia ominaisuuksia, sekä arvioimaan menetelmän soveltuvuutta kiteisen kallioperän karakterisointiin (Sireni 2011). Useimmiten heijaste voitiin korreloida tunnelia leikkaavaan pitkään rakoon, jolla on aaltoileva haarniskapinta (kiillottunut siirrospinta), paksut rakotäytteet ja vedenjohtavuutta. Myös muuttuneisuudella ja mineralogisilla muutoksilla oli vaikutusta heijastavuuteen. Laajojen hauraiden deformaatiovyöhykkeiden lisäksi pystyttiin havaitsemaan yksittäisiä rakoja sekä kivilajikontakteja. Kaikkia ennustettuja rakenteita ei kuitenkaan havaittu seismisellä tutkimuksella, mikä johtuu pääasiassa seismisen aineiston resoluutiosta ja mahdollisesti myös tulkintojen epävarmuudesta.

ONKALOSSA on tehty useita mittauskampanjoita käyttäen fokuoitua latauspotentiaalimittausta kairareikien välillä tai kairareian ja tunnelin välillä. Latauspotentiaalimittausta on testattu pilottiluonteisesti kuilun injektointirei'issä (Heikkinen ym. 2010) ja käytetty tutkimustilassa 4 hydrologisten tutkimusten tukena (Ahokas ym. 2011) sekä demonstraatiotunneleiden alueella pienen mittakaava mallinnuksen tukena (Ahokas & Heikkinen 2012).

ONKALOn tutkimustiloissa käynnistettiin neljä tutkimushanketta: kalliomekaaninen koe (POSE), hydrogeologinen vuorovaikutuskoe (HYDCO), sulfaatin pelkistyskoe (SURE) ja matriisidiffuusiokoe (REPRO). Kukin tutkimus on edennyt tutkimuskohtaisen aikataulunsa mukaisesti ja ne tulevat jatkumaan vielä seuraavallakin kolmivuotiskaudella.

Olkiluodossa jännitystilän ja kiven lujuuden suhde on olennainen osa ennustettaessa louhittavien tilojen käyttäytymistä, kuten tunneleiden jännitystilavaurioiden todennäköisyyttä loppusijoitusyvyydellä. Kallion murtuessa on tilan pinnalla vaikuttava jännitystila ylittänyt kallion hilseilylujuuden (spalling strength). Kiven hilseilylujuuden selvittämiseksi aloitettiin vuonna 2010 kalliomekaaninen POSE-koesarja tutkimustilassa 3. Kokeen alussa porattiin kolme halkaisijaltaan 1,5 m:n suuruista tutkimusreikää, joista kaksi sijoitettiin vierekkäin tutkimustilan keskiosaan ja yksi lähemmäs perää keskelle tunnelia. Ensimmäiset kaksi reikää porattiin siten, että reikien väliin jäi noin 0,9 m paksu pilari, johon jännityskenttä pyrittiin keskittämään. POSE-kokeen 1. ja 2. vaiheen kenttätöitä suoritettiin vuosien 2010 ja 2011 aikana ja tutkimusreiät saatiin suunnitelman mukaan rikkoutumaan lämmittämällä kokeen aikana. Heterogeenisen ja anisotrooppisen kallion vuoksi tulokset olivat odotettua monimutkaisempia ja kokeen lopullinen tulkinta odottaa POSE-kokeen kolmannen vaiheen kenttätöiden valmistumista.

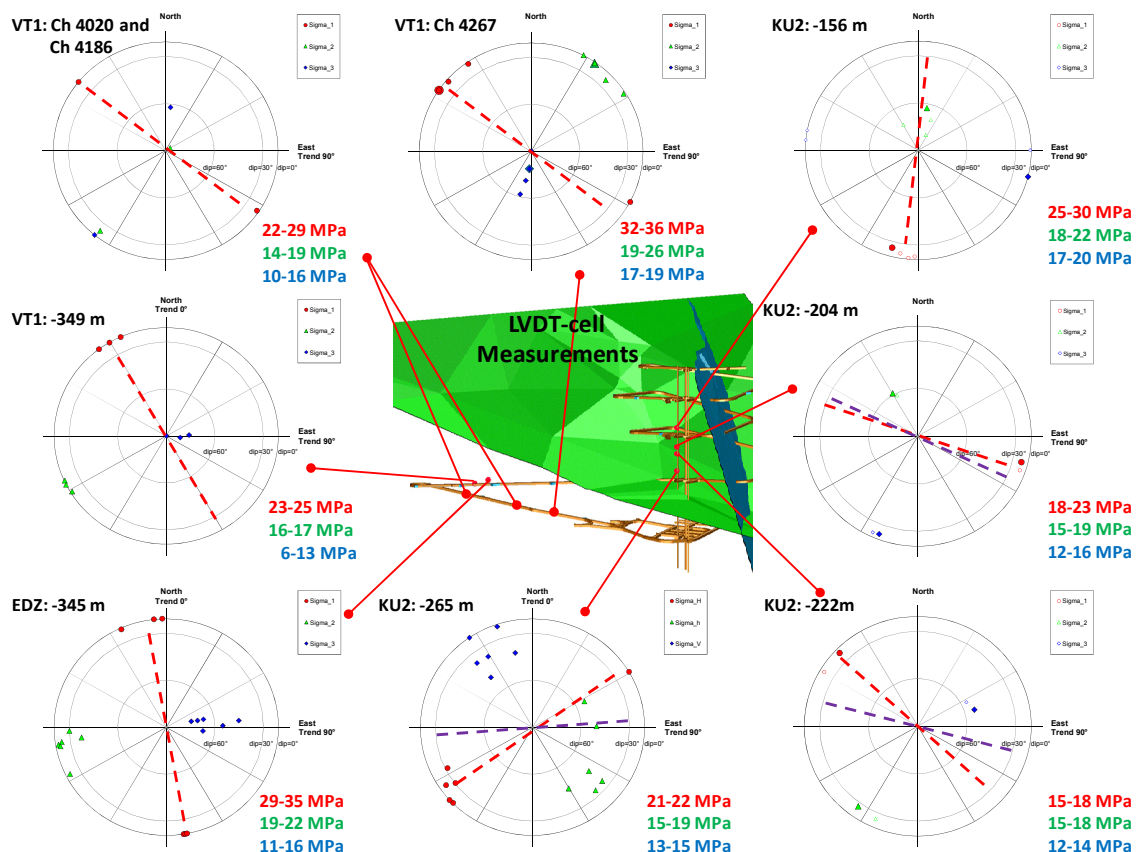
Hydrogeologisessa HYDCO-kokeessa tutkitaan vettä johtavien rakojen kytkeytymistä toisiinsa mahdollisimman hyvin loppusijoitusreikien ympäristöä muistuttavassa kalliotilavuudessa. Tutkimustilaan 4 on koetta varten kairattu kaksi tutkimusreikää, joiden välillä on tehty erilaisia rakoyhteyksien selvittämiseen tähtääviä tutkimuksia. Samalla on otettu pohjavesinäytteitä tutkimuksen kohteena olevista heikosti johtavista raoista (ns. tiiviin kallion vesinäytteenotto). Tutkimustuloksia on raportoitu erillisissä työraporteissa (Ahokas ym. 2011, Tarvainen 2011c, Hurmerinta ym. 2012, Toropainen 2012). Kokeellinen osuus valmistuu aikaisintaan vuoden 2013 aikana ja loppuraportti tulkintoihin vuoden 2014 aikana.

Matriisidiffuusiokoe REPROa varten on kairattu vuoden 2011 loppupuolella yhdeksän lyhyttä tutkimusreikää, joista otettiin kairasydännäytteitä laboratorioissa suoritettaviin matriksihuokosvesi-, permeabiliteetti-, matriisidiffuusiokuukaisuus- ja pidättymistutkimuksiin. Kokeen toteutus on myöhässä TKS-2009-ohjelmassa suunnitellusta, koska tutkimustilan valmistuminen ja varustelu ovat vienneet arvioitua enemmän aikaa. REPRO-tutkimuksia varten suoritettiin vuonna 2011 vesihöyrydiffuusiokokeen laitteiston esitestaus tutkimustilan 4 suulla. Tutkimustilassa 5 suoritettavat merkkiainekokeet käynnistyivät vuoden 2012 alkupuolella.

Sulfaatin pelkistymisnopeutta ja pelkistymistä rajoittavia tekijöitä koskevan SURE-kokeen tavoitteena on tutkia sulfidin muodostumista ja metaanin anaerobista hapettumista. Koejärjestely tehtiin sekä sulfaatti- että metaanipitoisiin vesiin, koska on arveltu, että sulfidia syntyy erityisesti näiden vesien rajapinnalla. Kokeen ensimmäisessä vaiheessa tutkittiin sulfaattipitoista vettä reiässä ONK-PVA6. ONK-PVA6:een asennettiin virtauskennostot, joihin istutettiin reiän olosuhteita vastaava mikrobikanta kierrättämällä tutkimusreiän pohjavettä kennostossa. Vajaan neljän kuukauden "istutusvaiheen" jälkeen virtauskennostot siirrettiin laboratoriotiloihin, jossa

koetta jatkettiin aktivoimalla kennojen mikrobikantoja CH_4 - ja H_2 -kaasujen avulla. Kokeen aikana seurattiin mikrobikantojen ja veden kemiallisen koostumuksen muutoksia. Alustavien tulosten mukaan sulfaatin pelkistyminen käynnistyi metaanin läsnä ollessa. Kun systeemiin lisättiin myös vety, sulfaatin pelkistyminen sulfidiksi nopeutui huomattavasti. Alustavien tulosten mukaan sulfaatin pelkistymisnopeus oli viisikertainen metaanin ja vedyn ollessa läsnä, kuin pelkän metaanin tapauksessa. Näiden reaktioiden seurauksena syntyneet mikrobipopulaatiot olivat keskenään erilaisia. Sulfaattipitoisessa vedessä tehtyjen kokeiden tulos- ja tulkintaraportti valmistuu vuoden 2012 aikana.

Aiemmat, irtikairauksella, hydraulisella murtamisella ja konvergenssimittauksella tehdyt, ONKALO-alueen *in situ* -jännitystilatulkinnot ovat sisältäneet erittäin suuria epävarmuuksia (Posiva 2009b). Vuosina 2009–2012 on kehitetty uutta LVDT-antureihin (Linear Variable Differential Transformer) ja irtikairaukseen perustuvaa jännitystilamittausmenetelmää, jota on käytetty onnistuneesti eri syvyyksillä ONKALOSSA. Tämän lisäksi laitteen mittaustarkkuutta on testattu Äspön kalliolaboratoriossa hyvin tunnetuissa jännitystilaolosuhteissa. ONKALON alustavat jännitystilamittauks tulokset on esitetty kuvassa 4-6. Tuloksissa nähdään jännitystilan vaihtelu syvemmälle mentäessä. Kooste jännitystilamittauksista on esitetty loppusijoituspaikan kuvaus 2011 -raportissa (*Site Description*).



Kuva 4-6. Alustavat tulokset LVDT-kennolla tehdyistä jännitystilamittauksista ONKALOSSA (*Site Description*).

Jännitystilaindikaattoreita kairarei'issä (reikien muoto ja rikkoutuminen) on tutkittu akustisella reikäkuvauksella ja työstä ollaan julkaisemassa vuoden 2012 aikana työraportti. Myös Deformation Rate Analysis (DRA) -menetelmää on testattu jännitystilaa määrittämiseksi (Dight ym. 2012). Lisäksi geologisen kartoituksen yhteydessä on jatkettu jännitystilasta johtuvien vaurioiden havainnointia ONKALOSSA.

Tasovälillä -350...-450 m ehjän kiven lujuutta ja muodonmuutosominaisuuksia on tutkittu systemaattisella kairasydännäytteiden pistekuormituskokeilla ja nelipistetaivutuskokeilla (*Site Description*). Pistekuormituskokeiden tulosjakauma vastaa yksiaksiaalikokeiden lujuusjakaumaa, mutta vierekkäisten samaan geologiseen yksikköön kuuluvien näytteiden korrelaatio on huono ($R^2=0,3...0,4$). Pistekuormitustesti soveltuukin vain mahdollisten alueellisten lujuusvaihteluiden selvittämiseen, joita ONKALON alueella ei tähän asti ole havaittu. Nelipistetaivutuskokeilla on määritetty ensisijaisesti ehjän kiven muodonmuutosominaisuuksia, mutta koetulosten jakauma poikkeaa oleellisesti yksiaksiaalikokeiden tuloksista, eikä niitä voida pitää luotettavina.

Muista maanalaisista tutkimuksista mainittakoon tunnustelureiät. Ne ovat yleensä noin 30 metriä pitkiä reikiä, joita on porattu aina 25 metrin louhinnan jälkeen tunneliprofiilin sisään neljä kappaletta. ONKALON tiloihin poratuissa tunnustelurei'issä on tehty vesimenekikokeita, virtausmittauksia sekä vuotovesimäärän mittauksia injektointitarpeen selvittämiseksi.

Demonstraatiotunnelissa tunnelipilotin perusteella tehdyn RSC-luokituksen jälkeen valittiin paikat, joihin kairattiin koeluontoiset loppusijoitusreikiä pilottireiät. Kairanäytteistä ja -rei'istä saatavan geologisen, geofysikaalisen ja hydrogeologisen tiedon sekä RSC-luokituksen perusteella paikalle suunniteltu loppusijoitusreikä joko hyväksytään tai hylätään. Sekä tunneliin että kapselinpaikkoihin tehtävissä tunnustelurei'issä suoritettavien tutkimusten tarpeista on päätetty RSC-ohjelman perusteella.

4.2.2.2 Tulkinta ja mallinnus

Olkiluodon mallinnuksen päätavoitteena on kuvata loppusijoituspaikan geometria, kallioperän ja pohjaveden ominaisuudet sekä eri tutkimusaloihin liittyvien vuorovaikutussuhteiden prosessit ja mekanismit. Kuvauksen pääosa-alueet ovat ympäristö, geologia, kalliomekaniikka, hydrogeologia, hydrogeokemia ja kulkeutuminen (ks. myös kuva 4-2).

Pintahydrologian malli

Vuosien 2010–2012 aikana pintahydrologian mallinnuksen tärkeimmät kehitystyöt ovat olleet (Karvonen 2010 ja 2011a):

- ONKALON rakentamisen aiheuttamien hydrogeologisten vaikutusten lyhyen aikavälin ennustejärjestelmän laatiminen,
- suolaisuuden laskennan lisääminen pintahydrologian malliin,
- suotautumiskokeen mallin tarkennus ja reunaehtoien toimittaminen reaktiiviseen kulkeutumismalliin,
- Korvensuon altaan vaikutusten mallintaminen,
- Olkiluodon paleohydrologisen kehityksen kuvaus menneisyydestä nykypäivään,

- Olkiluodon hydrologisen kehityksen simulointi vuoteen 52 000 j.a.a. saakka,
- maankerrosten ja kallionpinnan välisen pintareunaehdon tarkastelu ja reunaehtoisten toimittaminen FEFTRA-mallille (paleohydrologia ja saaren tuleva kehitys), sekä
- havaintoverkon suunnitteluun tarkoitetun osan lisääminen pintahydrologian malliin (simulated annealing + kriging).

Pintahydrologian mallinnus on toteutunut pääosin TKS-2009-ohjelmassa esitetyn suunnitelman mukaan. Osa suunnitelmaan merkityistä kehityshankkeista (partikkelien kulkeutuminen ja veden ikä) on viivästynyt suolaisuusmalliin liittyvän kehitystyön takia (ei mukana alkuperäisessä suunnitelmassa). Suolaisuuden laskenta on nyt lisätty pintahydrologian malliin ja laskentamallia on sovellettu ONKALON ja loppusijoitustilojen vuotovesien raja-arvojen määrittämisessä. Työ raportoidaan vuoden 2012 aikana.

ONKALON hydrogeologisen vaikutuksen arviointia varten on laadittu ns. lyhyen aikavälin ennustejärjestelmä (Karvonen 2011a, luku 6), jossa hyödynnetään monitorointiohjelman tuottamaa mittausdataa ja pintahydrologian mallia. Ennustejärjestelmään voidaan syöttää sekä ns. pysyvät ONKALON vuodot, että tilapäiset mm. kuilun injektointireikien kairauksista aiheutuvat vuodot. Ennustejärjestelmästä saadaan tulostuksena vuotovesien vaikutus maakerrosten pohjavedenpinnan korkeuksiin (noin 45 pohjavesiputkea), matalien kallioreikien painekorkeuksiin (noin 50 havaintopistettä) ja tulpattujen kairareikien painekorkeuksiin (lähes 200 tulppaväliä). ONKALON vuotovesien vaikutusennusteet päivitetään 1–2 kuukauden välein. Ennustejärjestelmän tulostuksena saadaan tarvittaessa mm. ONKALON vaikutus painekorkeuden alenemaan kaikissa HZ-vyöhykkeissä ja kalliomatriisissa.

Pintahydrologian mallilla on laskettu sekä Olkiluodon saaren paleohydrologinen kehitys (Karvonen 2011a, luku 3) että ennusteet hydrologiasta vuoteen 52000 j.a.a. saakka (raportointi vuoden 2012 aikana). Näiden mallinnusten tuloksena on saatu pintareunaehto syvän kalliopohjaveden mallille (FEFTRA).

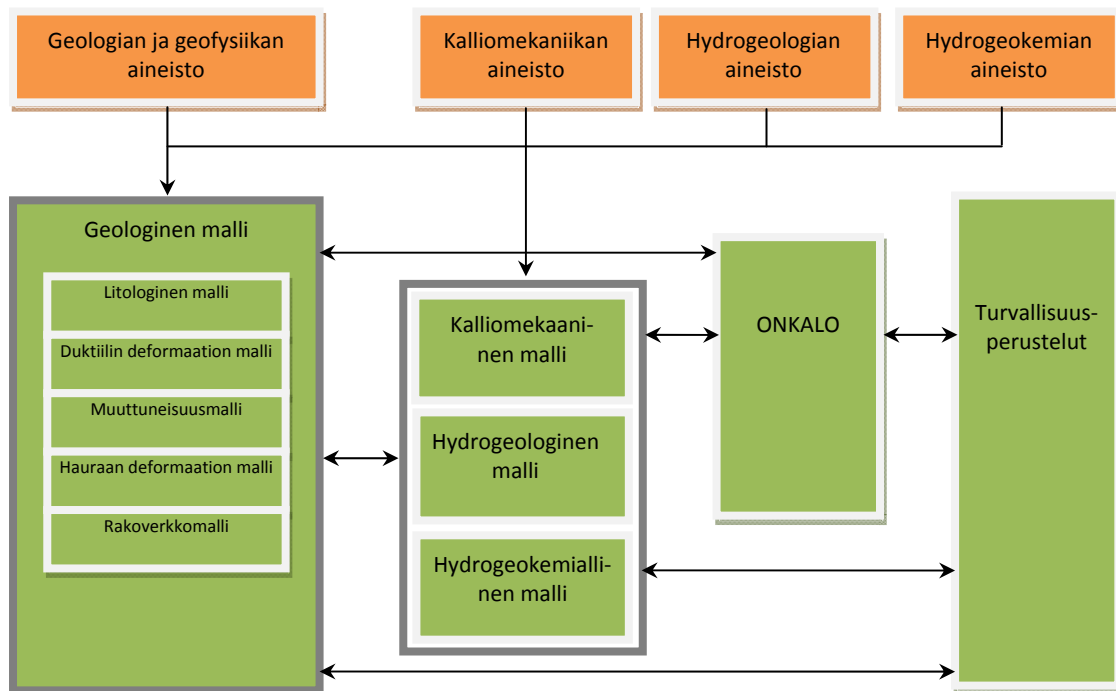
Partikkelien kulkeutumisen ja veden iän mallinnusta on tehty sekä suotautumiskokeen että Korvensuon altaan osalta, mutta mallinnus on jonkin verran viivästynyt alkuperäisestä aikataulusta suolaisuusmallin kehitystyön takia. Geokemiallisen mallin TKS-2009-suunnitelma on toteutunut niin, että pintahydrologian mallin tuloksia on käytetty lähtötietoina suotautumiskokeen reaktiivisessa kulkeutumismallinnuksissa.

Korvensuon altaan vedenpinnan noston yksityiskohtaisempi mallinnustarkastelu valmistuu vuoden 2012 aikana ja siinä yhteydessä arvioidaan mm. maakerrosten ja matalan kallioerän vaakasuuntaisten virtausnopeuksien vaikutus vesitaseisiin ja altaasta purkautuviin vesimääriin (TKS-2009-ohjelmassa esitetty tavoite).

Pintahydrologian mallin tärkeimpien parametrien todennäköisyysjakauman arviointi (TKS-2009-tavoite) on kesken ja sitä jatketaan suolaisuusmallin kalibroinnin yhteydessä (kehitystyö vuosien 2013–2018 aikana).

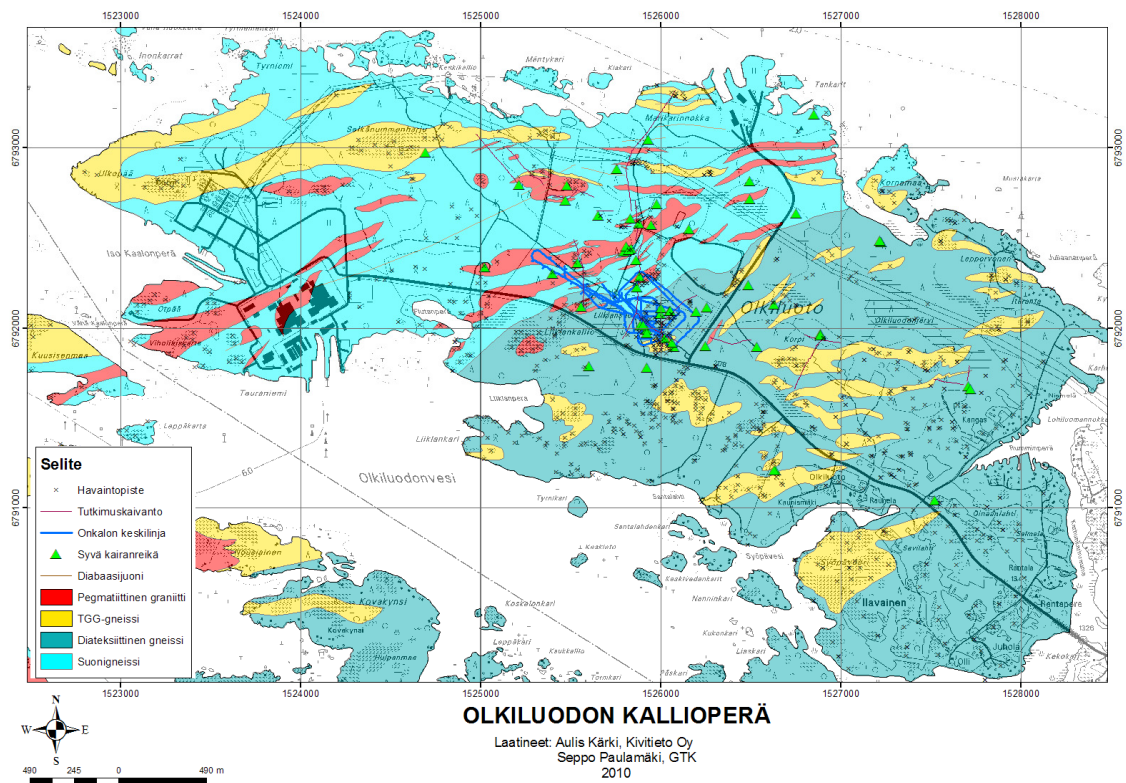
Geologinen malli

Geologinen malli kuvaa kallion ominaisuuksia ja geologisia olosuhteita Olkiluodon tutkimusalueella. Malli tuottaa kuvauksen kallion deformaatiovyöhykkeiden geometriasta ja ominaisuuksista, joita tarvitaan edelleen kalliomekaanisen, hydrogeologisen ja hydrogeokemiallisen mallien lähtökohtana (kuva 4-7). Lisäksi geologinen malli edustaa keskeistä lähtötietoa kallion soveltuvuus-kriteereiden kehittämisen kautta loppusijoitustilojen suunnittelulle.

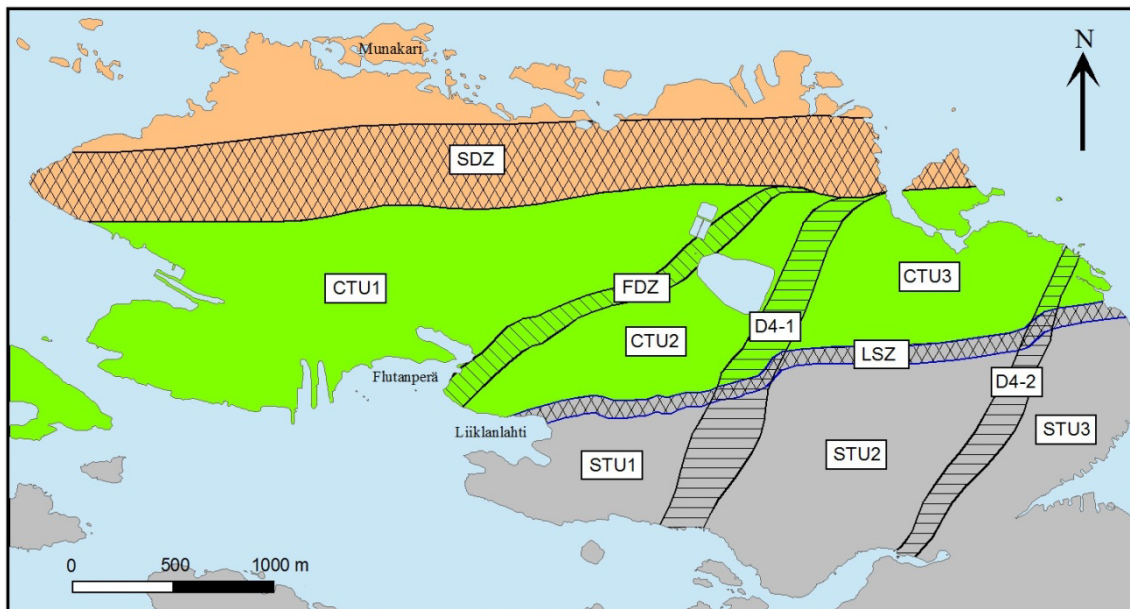


Kuva 4-7. Vuokaavio geologisen mallin ja muiden tutkimusalojen vuorovaikutuksesta Aaltosen ym. (2010) mukaan

Geologisen mallin päivitys 2.0 raportoitiin työraporttina (Aaltonen ym. 2010). Mallin versio 2.1 raportoitiin tiivistettynä loppusijoituspaikan kuvausraportissa Olkiluoto Site Description 2011 (*Site Description*). Alla on esitetty geologisen mallin version 2.1 mukainen Olkiluodon kivilajikartta (kuva 4-8). Hauraita siirrosvyöhykkeitä ja kivilajien jakautumista kuvaavia osamalleja päivitettiin vuoden 2011 aikana versioksi 2.2, joka on luovutettu muistiona muiden tutkimusalojen käyttöön. Vuoden 2012 alkupuolella alettiin valmistella *Geology of Olkiluoto* -raporttia, jonka tarkoituksena on tuottaa geologisen mallin versio 3.0. Deterministisesti laaditun geologisen mallinnuksen rinnalla on tehty stokastista rakoverkkomallinnusta. Geologisen rakoverkkomallin ensimmäinen versio esitetään tiivistettynä paikankuvausraportissa (*Site Description*) ja uuden kartoitusaineiston avulla päivitetty rakoverkkomallin versio 2 omana Posiva-raporttinaan (Fox ym. 2012). Rakoverkkomallia käytetään muun muassa kallion soveltuvuusarvion tekemiseen sekä hydrologisen mallinnuksen ja kulkeutumismallinnuksen lähtötietona. Sekä rakoverkkomallin että hydrogeologisen rakennemallinnuksen lähtötietona käytetään duktiilin deformaation mallia (kuva 4-9), jossa Olkiluoto on jaettu tektonisiin yksiköihin.



Kuva 4-8. Olkiluodon kivilajikartta (Site Description, luku 4).

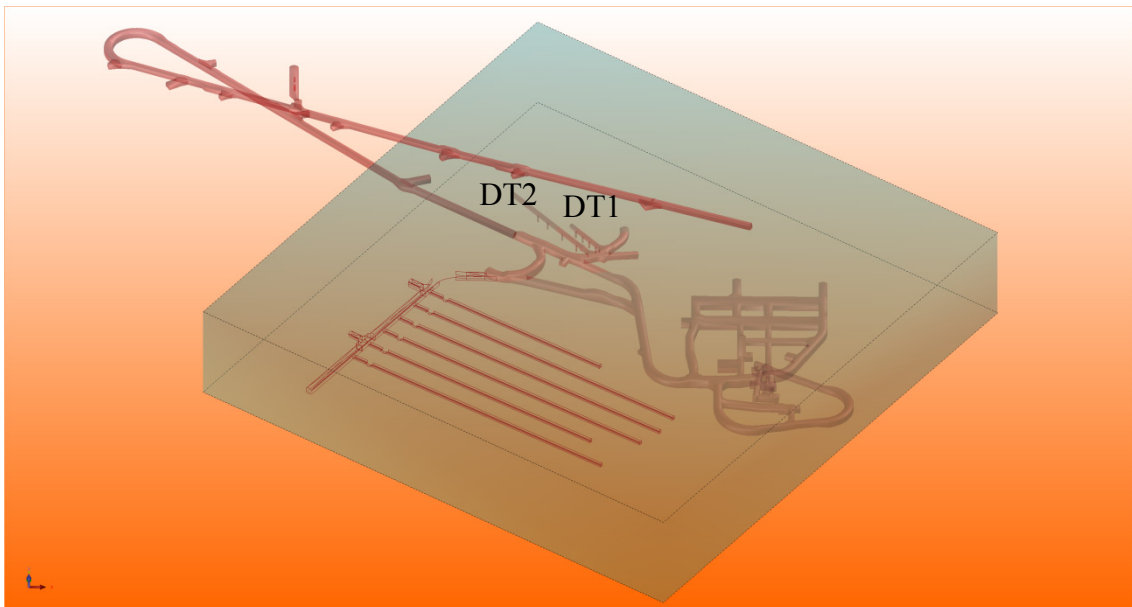


Kuva 4-9. Olkiluodon tektoniset yksiköt ja niiden alayksiköt. Ruskea: pohjoinen, vihreä: keskeinen ja harmaa: eteläinen tektoninen yksikkö (Site Description, luku 4).

Uusien kairauksen sekä geologisten ja geofysiikan reikä- ja maanpintatutkimusten ansiosta geologinen malli on tarkentunut etenkin Olkiluodon itäisen alueen osalta.

Vuoden 2010 aikana aloitettiin yksityiskohtaisen mallin tekeminen demonstraatiotilojen alueelle. Yksityiskohtaisen mallinnuksen tarkoituksena on tuottaa Olkiluodon paikan kuvausta (*Site Description*) yksityiskohtaisempi malli demonstraatiotilojen geologisista ja hydrogeologisista piirteistä etenkin kallion soveltuvuusluokittelun (RSC) tarpeisiin. Yksityiskohtainen mallinnus on TKS-2009-raportissa kuvatus mukaisesti kehitetty kallion ominaisuuksien yksityiskohtaiseksi mallikuvaukseksi, jota käytetään kallion soveltuvuuden arvioinnissa.

Yksityiskohtaisessa mallinnuksessa on keskitytty pääasiassa hauraiden deformaatiovyöhykkeiden sekä pitkien ja vettä johtavien rakojen mallintamiseen. Yksityiskohtaisen mallin lähtötietoina on käytetty mallinnettavasta kalliotilavuudesta saatavissa olevaa geologian, hydrogeologian ja geofysiikan kartoitus- ja mittaustietoa. Yksityiskohtaisen mallin eri versiot on luovutettu välittömästi valmistumisen jälkeen muistioina ja 3D-tiedostoina RSC-prosessille, joka tekee niihin perustuen kallion soveltuvuusarvion. Ensimmäiset 4 malliversiota kattavat demonstraatiotilat. Vuoden 2012 aikana mallinnettava tilavuus laajennettiin kattamaan myös näiden tilojen ympäristön, vinotunnelin, ajoneuvoyhteydet ja kaikki tekniset tilat syvyysvälillä -370...-470 m sekä ensimmäisen suunnitellun loppusijoituspaneelin alueen, joka on likimäärin syvyysvälillä -407...-419 m (kuva 4-10). Yksityiskohtainen mallinnus kuvataan RSC-raportoinnin yhteydessä ja käytetyt menetelmät sekä itse malli raportoidaan osana valmisteilla olevaa Posiva-raporttia (Geology of Olkiluoto).



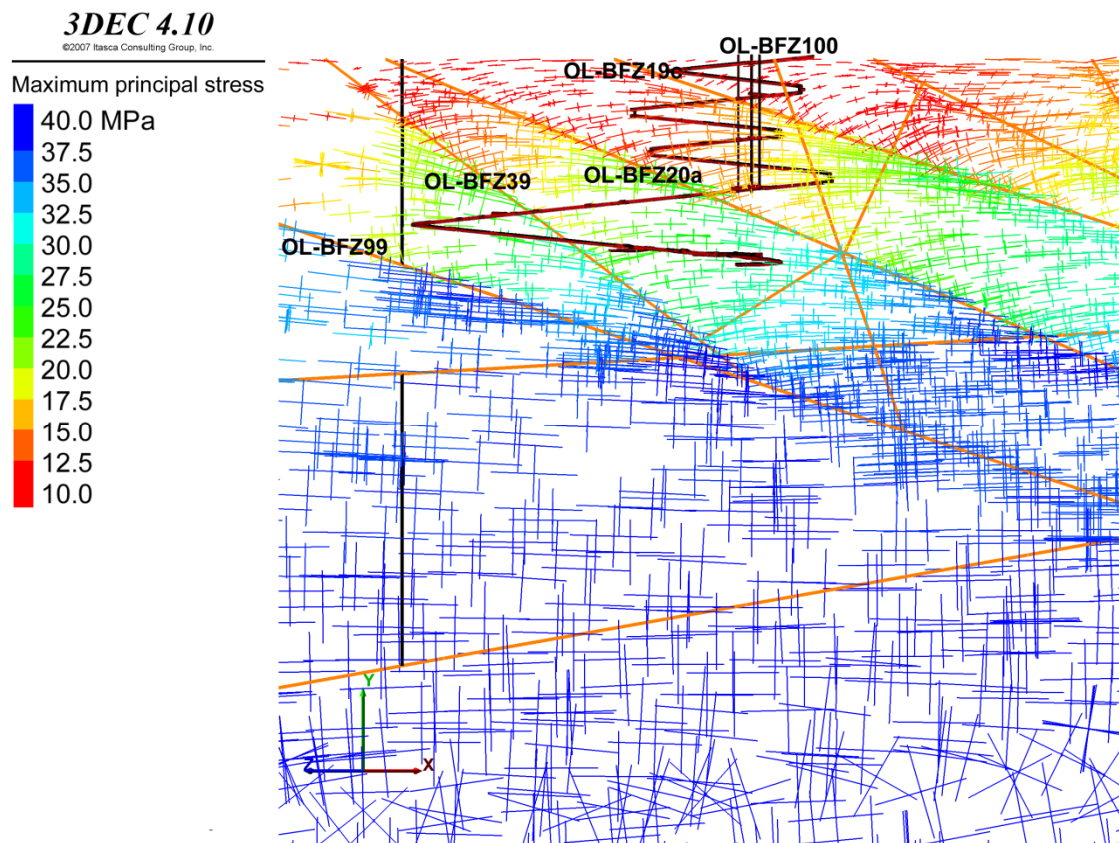
Kuva 4-10. Laajennettu pienen mittakaavan mallitilavuus, ONKALOn vinotunnelia, teknisiä ym. tiloja sekä suunniteltu ensimmäinen loppusijoituspaneeli. Ensimmäinen pienen mittakaavan malli kattoi ainoastaan kuvan keskiosan yläpuolella näkyvät kaksi demonstraatiotunnelia (DT1 ja DT2) ja niiden keskustunnelin. Näkymä pohjoiseen.

Olkiluodon migmatiittisten kivien metamorfista petrologiaa selvitettiin vuoden 2010 aikana (Tuisku & Kärki 2010). TKS-kauden 2010–2012 aikana tutkittiin myös Olkiluodon kallioperälle tyypillisten rakojen ja niiden ympäristöjen mikrorakennetta. Näytteitä tutkittiin perinteisillä petrografisilla menetelmillä, elektronimikroskopiolla, C-14-PMMA-menetelmällä (C-14-polymetyylimetakrylaatti) ja röntgentomografialla.

Menetelmiä yhdistelemällä voidaan saada tarkkaa tietoa esimerkiksi rakoympäristöjen huokoisuudesta ja rakojen muuttuneisuusreunusten rakenteesta (Kuva ym. 2012).

Kalliomekaaninen mallinnus

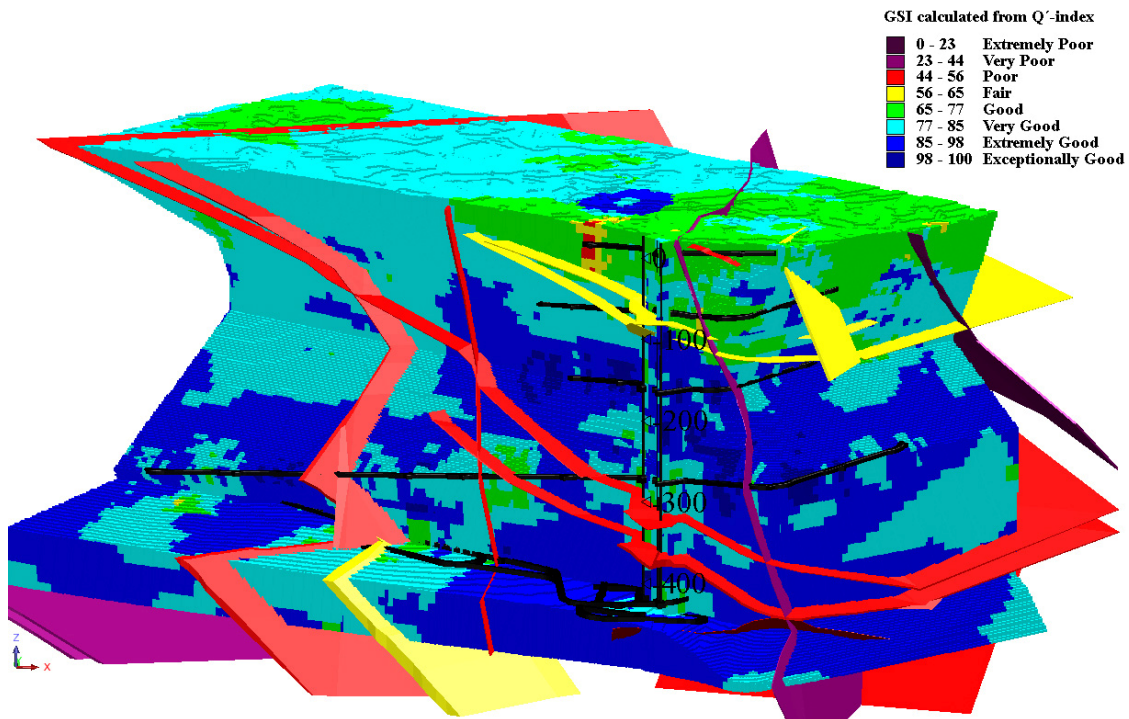
TKS-2009-ohjelmassa nostettiin tutkimuspaikan jännitystilan mallintaminen yhdeksi keskeiseksi tehtäväksi. Vuosien 2010 ja 2011 aikana suoritettiin koko tutkimusalueen kattava jännitystilamallinnus (Valli ym. 2011), jossa tarkasteltiin hauraiden deformaatiovyöhykkeiden ja reunaehtojen vaikutusta Olkiluodon kallion jännitystilaan. Lisäksi mallinnettiin yksinkertaistaen jääkauden vaikutus jännitystilan suuntaan ja suuruuteen. Jääkausimallinnuksessa pääjännitysten suunnat vaihtelivat voimakkaasti 300 metrin syvyyteen asti. Syvemmällä jääkauden vaikutukset olivat vähäisemmät ja tilanne lähellä samaa kuin ennen jääkautta. Keskeiset tulokset simuloinneista osoittivat voimakkaan jännitystilan vaihtelun noin 300 metrin syvyyteen asti, minkä jälkeen horisontaalin pääjännityksen suunta mukautuu alueellisen jännitystilan suuntaiseksi (kuva 4-11).



Kuva 4-11. Horisontaalin pääjännityksen suunta vaihtuu alueellisen jännitystilan suuntaiseksi noin -300 m:n tason alapuolella.

Vuoden 2012 alussa julkaistiin ONKALOn kalliomekaanisen mallin toinen versio (kuva 4-12) (Mönkkönen ym. 2012), jonka osamalleja ovat: lohkomalli kalliolaadusta, geologisessa mallissa määritellyt hauraat deformaatiovyöhykkeet ja niiden ominaisuudet, kiven lujuus, kallion *in situ* -jännitys ja kallion termiset ominaisuudet.

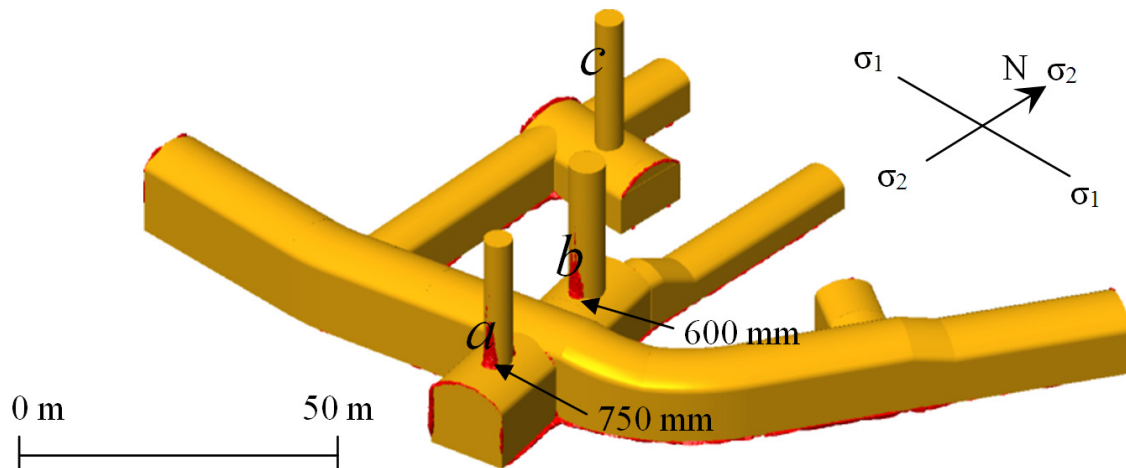
Vuoden 2010 aikana aloitettiin maanjäristysanalyysityö, jossa tarkasteltiin Olkiluodon alueelta tunnettujen erisuuntaisten ja -kokoisten vyöhykkeiden ja rakoilun käyttäytymistä mahdollisissa postglasiaaleissa maanjäristyksissä (Fälth & Hökmark 2012). Työssä tarkasteltiin vyöhykkeiden aktivoitumisen aiheuttamaa siirrostumista vyöhykkeiden ympäristön raoissa. Maanjäristysten aikana vallitseva jännitystila arvioitiin tämän hetken jännitystilän sekä laskennallisesti saadun jäätiköitymisen aiheuttaman jännitystilän perusteella.



Kuva 4-12. Arvioitu GSI-luokituksen mukainen kallionlaatu ONKALOn alueella ja tärkeimmät hauraat deformaatiovyöhykkeet.

POSE-kokeen ensimmäisen ja toisen vaiheen tuloksista tehtiin ennusteet P/O (prediction/outcome) -työn kehittämiseksi: 2D-mallinnusohjelmalla laadittiin rakomekaaninen ennuste (Siren 2011) ja 3D-mallinnusohjelmalla kimmoiset ja kimmoplastiset ennusteet (Siren 2011), joissa kiven oletetaan käyttäytyvän hauraasti. POSE-kokeen tulkinta valmistuu kokonaisuudessaan vuonna 2013, kun kokeen kolmas vaihe on toteutettu.

ONKALOn rakentamista varten on laadittu kattavat hilseilyennusteet (Siren ym. 2011), sekä konservatiivisin oletuksin (5 % tapauksista vakavampia) että keskimääräisin laskentaparametrein (50 % tapauksista vakavampia). ONKALosta tehdyt havainnot tukevat keskimääräisten laskentaparametrien käyttöä. Hilseilyä on kolmiulotteisilla analyyseillä ennustettu olevan keskimääräisillä parametreilla vain kuilujen ympäristössä (kuva 4-13).



Kuva 4-13. Ennustettu hilseily ONKALossa itä-länsisuuntaisessa jännityskentässä (Siren ym. 2011).

Hydrogeologinen mallinnus

Hydrogeologisia kenttähavaintoja tulkittiin hydrogeologisen mallinnuksen tarpeisiin seuraavin osakokonaisuuksin:

- Hydraulisten painevasteiden analysointi
- Vedenjohtavuuksien ja transmissiviteettien edustavuusarviointi
- Virtausmittauksissa havaittujen virtausvasteiden analysointi
- Vettäjohtavien rakojen tunnistus ja niiden ominaisuuksien määrittely
- Pienen mittakaavan vedenjohtavuuksien analysointi.

TKS-2009-kaudella jatkettiin hydraulisten painevasteiden havaintoaineiston analysointityötä (Vaittinen ym. 2008, Vaittinen & Pentti 2012, Vaittinen 2010) siten, että kauden loppuun mennessä on analysoitu vuoden 2009 lopussa käytettävissä ollut havaintoaineisto. Painevasteiden analyysityön tavoitteena on ollut kehittää menetelmiä luonnollisen pohjavesipinnanvaihtelun, vuorovesi-ilmiöiden ja ilmanpainevaihteluiden vaikutuksen määrittämiseksi paineaineistosta sekä käsitellä systemaattisesti hydraulista painedataa kehitettyjen menetelmien avulla. Käsitellyn aineiston avulla on tulkittu hydraulisia yhteyksiä kairareikien ja ONKALOn välillä, verrattu havaittuja yhteyksiä hydrogeologiseen rakennemalliin sekä tarkasteltu saatuja tuloksia myös geologista mallia sekä yleistä hydrogeologista ymmärrystä vasten.

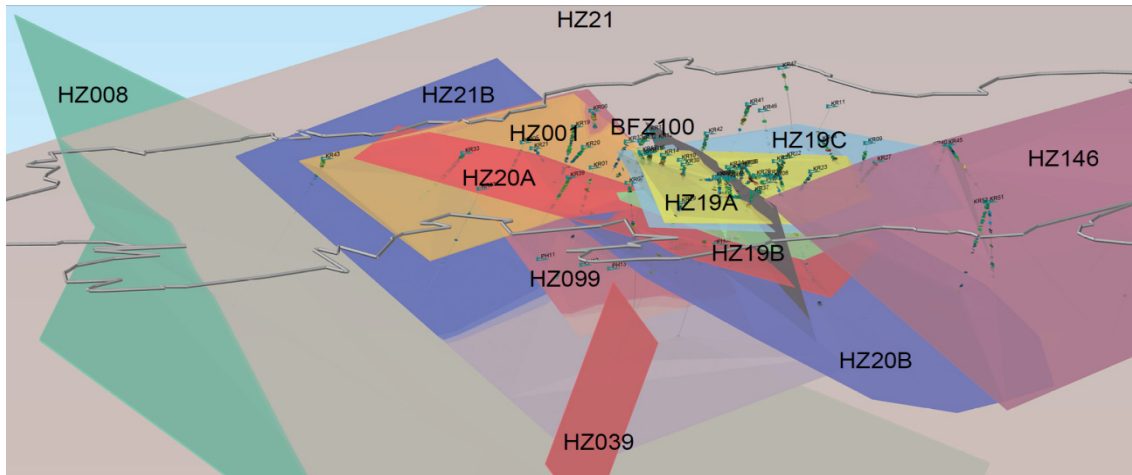
Eri aikoina ja eri menetelmillä (Posiva Flow Log, HTU ja pitkäaikaiset pumppauskokeet) havaittujen vedenjohtavuuksien ja transmissiviteettien edustavuutta tarkasteltiin virtauksen (numeerista) mallinnuksen tueksi (Ahokas ym. 2012). Työn ensisijaisena tavoitteena on ollut tunnistaa edustavin transmissiviteettiarvo aineistosta, joka joissain tapauksissa on häiriintynyt ONKALossa tai lähirei'issä meneillään olevien tapahtumien vuoksi. Lisäksi aineiston arvioinnissa on huomioitu avoimeen lähireikään olevan hydraulisen yhteyden aiheuttama kohonnut veden virtaus. TKS-2009-kauden loppuun mennessä käydään läpi mittausaineisto rei'istä OL-KR1–OL-KR57. Samanaikaisesti edustavuustyön kanssa on analysoitu myös HTU-menetelmällä saatua transienttiaineistoa rakojen virtausdimension selvittämiseksi. Analyysyjä on tehty

reikien OL-KR1, -KR2, -KR4, -KR8 ja -KR10 aineistolle. Tämä työ raportoidaan transmissiviteettien edustavuustarkastelutyön yhteydessä.

Virtausmittauksissa havaittujen virtausvasteiden analyysiä on alustavasti tehty monitorointihavaintojen raportointien sekä hydrogeologisen rakennemallinnuksen yhteydessä (Vaittinen ym. 2010a, Vaittinen ym. 2012a ja Vaittinen ym. 2012b). Systemaattinen analyysityö aloitettiin vuonna 2012. Työn tavoitteena on erityisesti tarkastella havaittujen vasteiden avulla hydrogeologisten päävyöhykkeiden väliin jäävää kallio-osuutta sekä analysoida vyöhykkeiden yhteyksiä ONKALOn ja eri reikien välillä. Ensimmäisen aihetta käsittelevän raportin on tarkoitus valmistua vuoden 2012 loppuun mennessä.

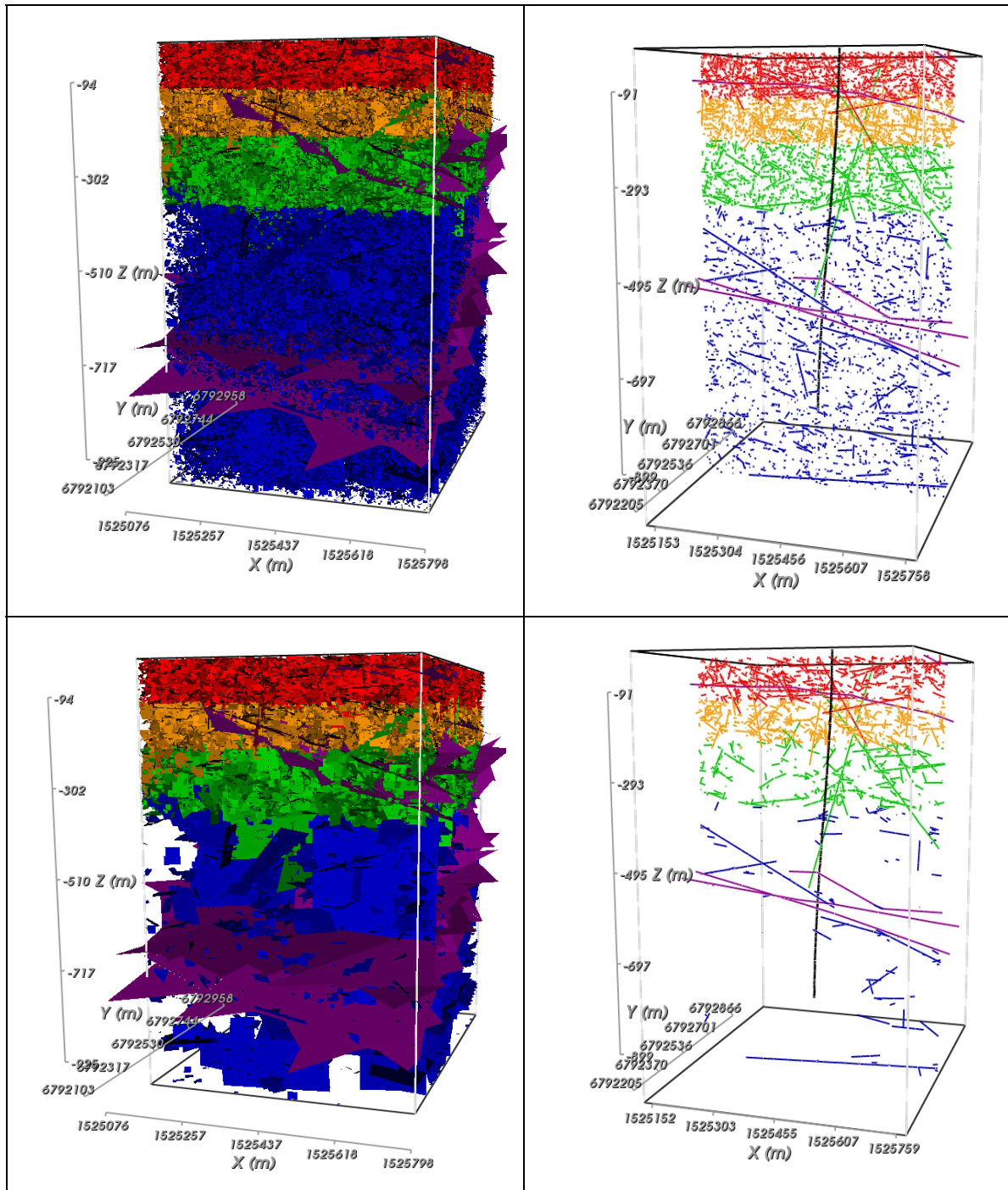
Vettäjohtavien rakojen tunnistus ja niiden ominaisuuksien määrittely aloitettiin TKS-2006-kaudella. TKS-2009-kaudella työtä jatkettiin siten, että jakson loppuun mennessä aineisto rei'istä OL-KR1–OL-KR57 sekä ONKALOn rei'istä OL-PH1, ONK-PH2–PH18 on käyty läpi (Tammisto ym. 2009, Palmen ym. 2010, Tammisto & Palmen 2011). Työn tavoitteena on tuottaa vettä johtavien rakojen tietokanta, joka pystytään yhdistämään geologiseen rakoaineistoon. Aineistoa hyödynnetään erityisesti Olkiluodon hydrogeologisessa karakterisoinnissa ja rakoverkkomallinnuksen lähtötietoina. Tunnistustyön lisäksi työssä on tehty erillisiä tulkintoja pilottirei'istä ja tunnelista kartoitettujen rakojen yhdistämiseksi hydrogeologiseen aineistoon (Palmen ym. 2011).

Tutkimuspaikan mittakaavan hydrogeologisen mallin rakenteet (Vaittinen ym. 2011) päivitettiin vuosien 2010 ja 2011 aikana. Lähtökohtana tälle päivitykselle oli geologinen malli 2.0 (Aaltonen ym. 2010) sekä tutkimusalueelta kerätyt uudet hydrogeologiset havainnot. Työ pohjautui pääosin hauraan ja duktiilin deformaation mallien ja hydraulisten havaintojen perusteella tulkittuun kuvaukseen hydraulisesti merkittävistä piirteistä, niiden geometriasta, ulottuvuudesta ja hydraulisista ominaisuuksista. Edelliseen päivitykseen (Vaittinen ym. 2008) verrattuna vyöhykkeet kuvattiin kairareikäkohtaisesti aiempaa tarkemmin kiinnittäen erityistä huomiota yksittäisten rakojen transmissiviteettien merkitykseen kairareikään osuvien vyöhykejaksojen määrittelyssä. Malli sisältää 13 hydrogeologista tutkimuspaikan mittakaavan vyöhykettä (kuva 4-14). Näistä vedenjohtavuudeltaan merkittävimmät vyöhykkeet ovat saaren keskiosassa sijaitsevat lähes vaaka-asentoiset HZ19- ja HZ20-vyöhykkeet. Hydraulisesti merkittävien vyöhykkeiden väliin jäävät kallio-osuudet, joita luonnehtivat yksittäisten hydrogeologisten rakojen muodostama verkosto, ovat melko tiiviitä.



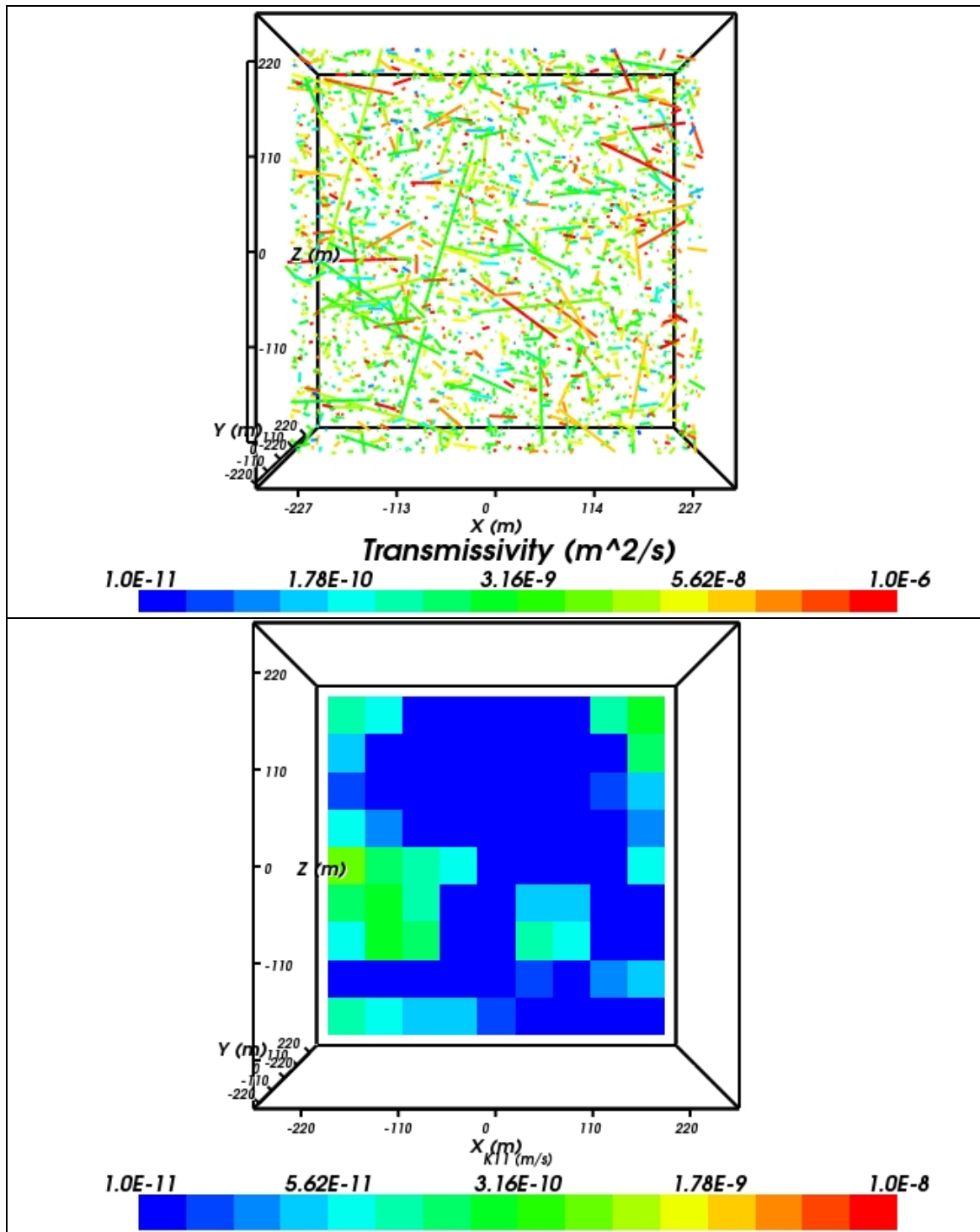
Kuva 4-14. *Hydrogeologisen mallin rakenteet.*

Vuonna 2011 päivitettiin myös hydrogeologinen rakoverkkomalli (HydroDFN) (Hartley ym. 2012a), joka kuvaa vettä johtavien rakojen esiintymistä myös vyöhykkeiden ulkopuolella. Mallinnuksen lähtökohtana oli geologisen rakoverkkomallin (GeoDFN) päivitys vuosina 2010–2011. GeoDFN tuottaa yksittäisiä geologisia rakoja koskevan tilastollisen havaintoaineiston kautta stokastisen kuvauksen kallion pienen mittakaavan rikkonaisuudesta. Mallinnus on osoittanut, että vain osalla GeoDFN:n kuvaamista raoista on havaittavaa merkitystä veden virtauksen kannalta. Tällaisten hydrogeologisten rakojen tunnistaminen geologisin perustein on osoittautunut haastavaksi tehtäväksi. Tähän liittyvän epävarmuuden käsittelemiseksi HydroDFN käsitteli eri vaihtoehtoja, joiden katsottiin olevan järkeviä harvaan rakoilleen kallion hydrogeologisten ominaisuuksien kuvaamiseksi. HydroDFN-mallissa käytettiin GeoDFN-mallin mukaista Olkiluodon kallion jakoa tektonisiin alueisiin. Lisäksi HydroDFN-mallissa kuvattiin hydrogeologisessa aineistossa havaittava voimakas syvyysuuntainen trendi, jossa hydrogeologisten rakojen esiintyminen ja niiden transmissiviteetit pienenevät syvyyden myötä. Samalla niiden kytkeytyminen virtausreitteihin heikkenee myös (kuva 4-15). Tällaisen kallion hydrogeologiaa karakterisoivan yleisen trendin lisäksi HydroDFN-malliin sisältyi oletuksia liittyen raon koon (jonka mittana on esimerkiksi raon sivun pituus) ja sen transmissiviteetin välillä väliseen korrelaatioon. On viitteitä siitä, että raon transmissiviteetti on sitä suurempi mitä suurempi itse rako on, vaikka suoraa riippuvuutta raon koon ja sen transmissiviteetin välillä ei olisikaan. HydroDFN-mallin osittain korreloidussa tapauksessa kalliorakojen transmissiviteetti on lognormaalisti jakautunut koosta riippuvan keskiarvon ympärillä. Raon koko noudattaa puolestaan potenssijakaumaa GeoDFN:n mukaisesti. Kunkin HydroDFN:n osittain korreloitu tapaus säädettiin kairareitissä havaittujen virtausvasteiden (Q/s , Q =virtausnopeus, s =alenema) avulla (Hartley ym. 2012a, Fox ym. 2012).

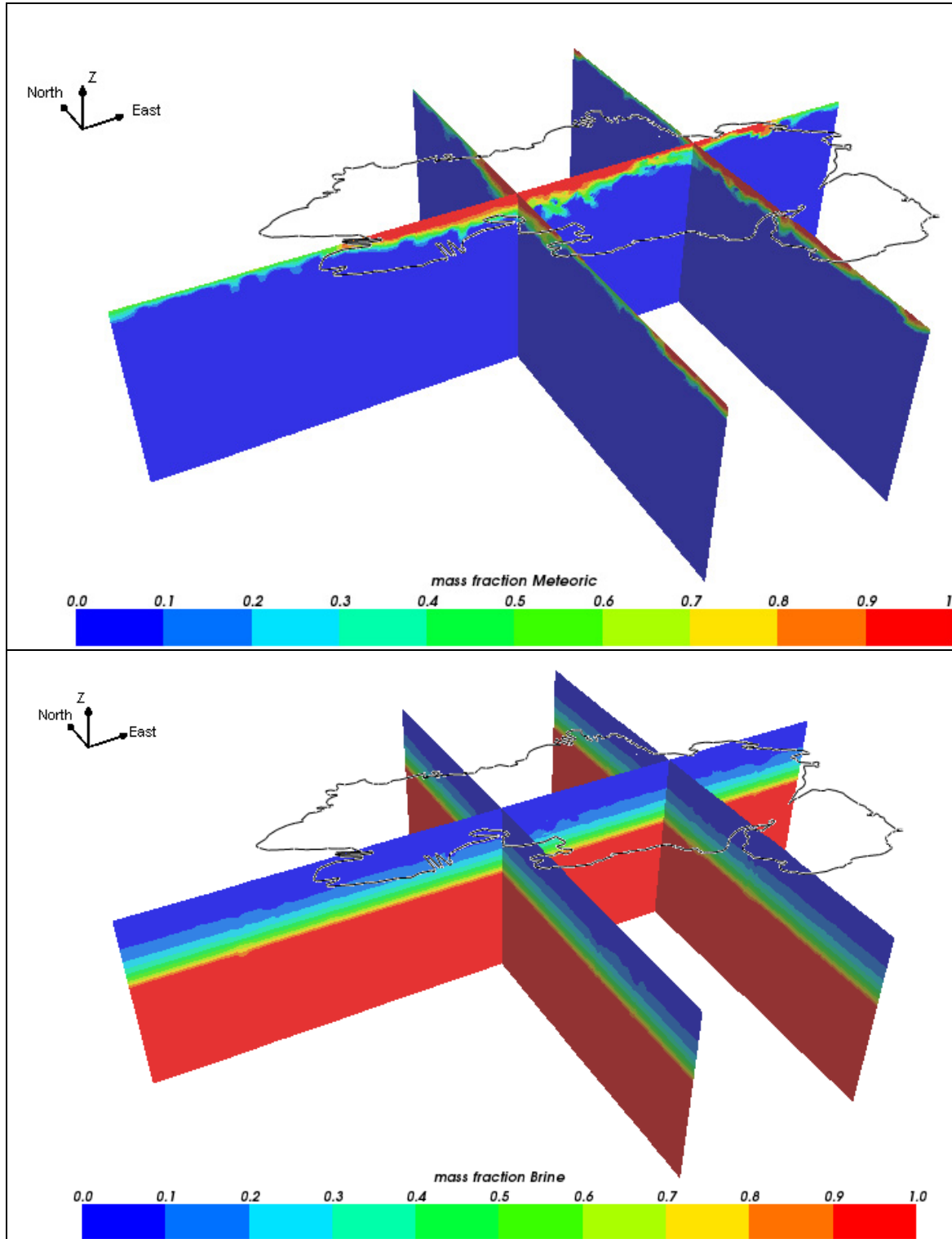


Kuva 4-15. Esimerkki hydrogeologisen rakoverkkomallin visualisoinnista. Kuvassa esiintyy yhden stokastisen realisaation tuottamat avoimet raot kairareian OL-KRI ympäristössä. Ylimmän syvyysvyöhykkeen (syvyysväli 0...-50 m) hydrogeologinen rakoilu esitetään punaisena, sitä alempien oranssina (syvyysväli -50...-150 m), vihreänä (syvyysväli -150...-400 m) ja sinisenä (syvyys yli -400 m). Tutkimuspaikan mittakaavan (deterministiset) hydrogeologiset vyöhykkeet on visualisoitu purppuralla. Ylärivillä esitetään kaikki avoimet hydrogeologiset raot (joiden transmissiviteetti ylittää virtausmittarin mittaaman transmissiviteetin alarajan n. $10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$) ja alarivillä esitetään ne hydrogeologiset raot, jotka kytkeytyvät veden virtausreitteihin. Oikeassa sarakeessa hydrogeologinen rakoilu esitetään kairareian kautta kulkevalla leikkaustasolla.

Tutkimuspaikan mittakaavan pohjaveden virtausmallilla simuloitiin Olkiluodon kalliopohjaveden kehityskulku viimeisen 8 000 vuoden aikana. Teknisistä syistä johtuen tässä paleohydrogeologisessa mallinnuksessa ei käytetty kehitettyä hydroDFN-mallia sellaisenaan vaan nk. stokastisen jatkumon mallia, jossa käytetyille laskentakopeille (esim. elementtimallin elementeille) lasketaan tehokkaat vedenjohtavuudet hydroDFN-mallin avulla (kuva 4-16). Vaikka tällöin tingitään mallin yksityiskohtaisuudesta, stokastisen jatkumon malli kykenee sen 50 metrin elementtiresoluution mukaisesti ottamaan huomioon pohjana olevan hydrogeologisen rakoverkkokuvauksen heterogeenisyyden. Mallinnustyön kuluessa ilmeni, että virtausmallin syvimmän vyöhykkeen kopit (elementit) kytkeytyvät jatkuviksi vasta, kun mallinnuksessa otetaan huomioon myös ONKALOn syvien pilottireikien tuottama tieto erittäin alhaisista transmissiviteeteista. Kallion virtausominaisuuksien lisäksi paleohydrogeologiseen mallinnukseen sisältyvät alkutilan ja ajasta riippuvien reunaehtojen kuvaukset, jotka noudattivat edellisen paikkamallinnuksen menettelyä. Ajasta riippuva pintareunaehto tukeutui erityisesti tietoon Olkiluodon saaren maankohoamisnopeudesta alkaen noin 2 500 vuotta sitten vallinneesta tilanteesta, jolloin Olkiluoto alkoi nousta merestä. Numeeristen tulosten mukaan Olkiluodon pohjavesiolosuhteet ovat hyvin stabiilit noin 400 metrin syvyydeltä alaspäin mallinnuksen kattaman ajanjakson aikana (kuva 4-17).



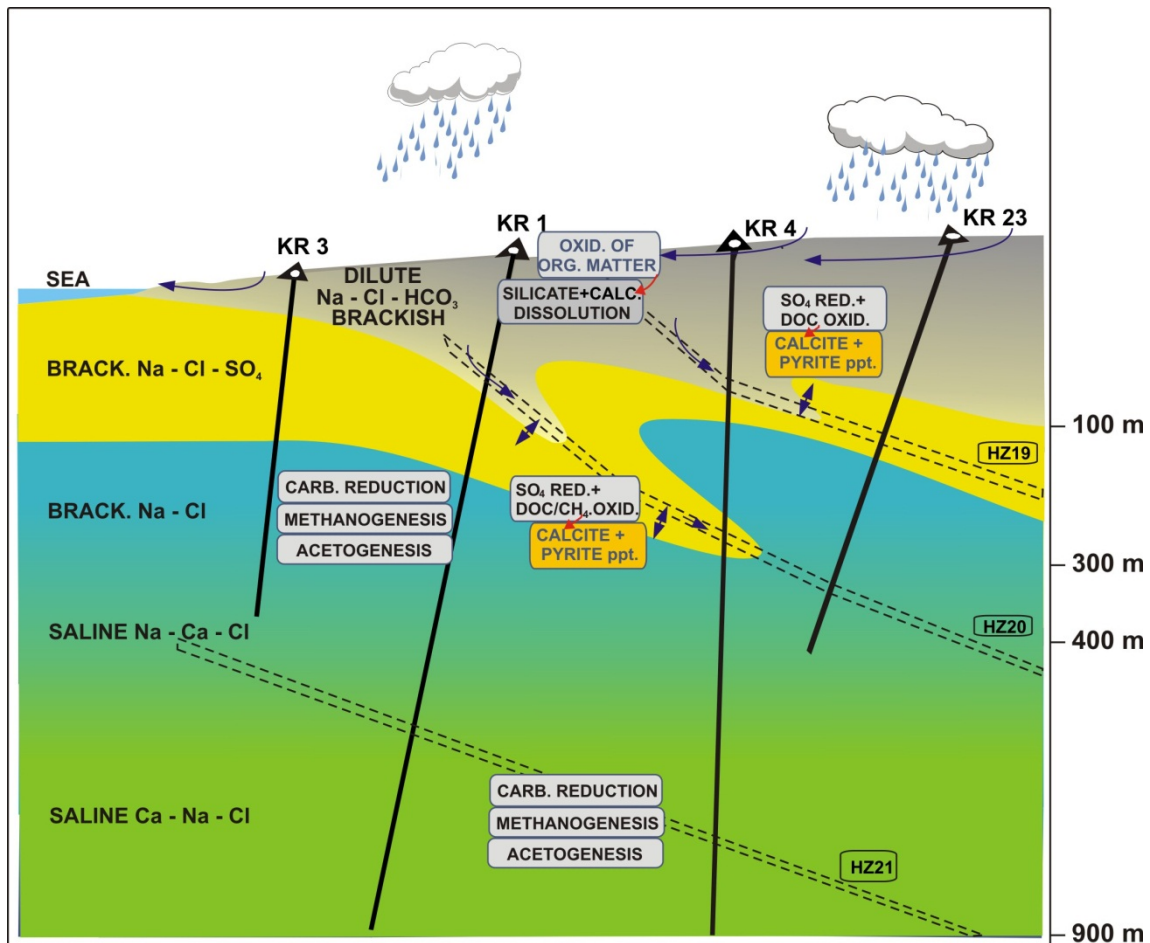
Kuva 4-16. Esimerkki hydrogeologisten rakoihin liittyvästä tehokkaan vedenjohtavuuden (kuvassa vedenjohtavuustensorin komponentti K_{11}) esityksestä. Yläkuvassa esitetään rako jäljet itä-länsi-suuntaisella pystyleikkauksella, joka sijaitsee syvyysvälillä -150...-400 m (kuvassa esiintyvät koordinaatit ovat vain sen sisäisiä). Alakuvassa näiden rakojen transmissiviteettia vastaavat 50 metrin laskentakoppien tehokkaat vedenjohtavuudet.



Kuva 4-17. Yläkuvassa mallinnettu makean veden ja alakuvassa syvän suolaisen veden osuus vuonna 2000 visualisoituna kolmella pystyleikkauksella. Tulosten mukaan makea vesi on tunkeutunut vain kallion yläosiin, kun taas syvä suolainen pohjavesi on pysynyt käytännössä muuttumattomana. Mallin syvyys on 2 km. Mallin kattaa aikakehityksen viimeisen 8 000 vuoden aikakehityksen.

Hydrogeokemiallinen malli

Olkiluodon loppusijoituspaikan kuvaukseen (*Site Description*, luku 7) on tehty hydrogeokemian mallin päivitys, joka on aiempiin paikkaraportteihin verrattuna yksityiskohtaisempi ja perustuu huomattavasti laajempiin aineistoihin. Kuvauksessa esitetään erilliset paikan perustilaa koskevat osamallit suolaisuuden jakautumisesta, paleohydrogeokemiallisesta kehityksestä sekä kemiallisista vuorovaikutuksista ja puskuriominaisuuksista, joita täydennetään monitoroinnista ja suotautumiskokeesta saaduilla tuloksilla. Käsitys perustilan hydrogeokemiallisista olosuhteista on säilynyt pääosin ennallaan (kuva 4-18), mutta uudet aineistot ovat tarkentaneet tietoa vallitsevista prosesseista ja hydrogeokemiallisesta evoluutiosta.



Kuva 4-18. Olkiluodon hydrogeokemiallinen malli, joka kuvaa pohjavesityyppien jakaumaa nykyisissä virtausolosuhteissa (siniset nuolet). Tärkeimmät geokemiallis-mikrobiologiset prosessit, jotka säättävät ja puskuroivat pohjaveden pH- ja redox-olosuhteita on esitetty laatikoissa (*Site Description*, luku 7).

Suolaisuusjakaumamallia varten pohjavesinäytteisiin perustuvaa suolaisuusaineistoa täydennettiin hyödyntämällä PFL-mittausten yhteydessä tehtyjä rakokohtaisten sähköjohtavuusmittausten (EC) tuloksia. EC-aineistolle (muunnettu kokonais-suolaisuudeksi TDS) tehtiin rakojen hydrologiseen käyttäytymiseen perustuva laatuarviointi, joka vastaa jo aiemmin pohjavesinäytteille sovellettua lähestymistapaa (Pitkänen ym. 2007). Aineistosta luokiteltiin Olkiluodon luonnollista perustilaa

edustavat rakokohtaiset suolaisuudet, joista muodostui yhteensä 414 pisteen verkosto kallion eri osista (Ahokas ym. 2012). Mallissa suolaisuuden ja pohjavesityyppien jakaumaa on tarkasteltu syvyyden, hydrogeologisten rakenteiden ja rakojen transmissiviteetin suhteen. Rakopohjaveden suolaisuuden kolmiulotteista jakaumaa kalliossa on myös ennustettu Gaussin regressioprosesseihin perustuvan funktion avulla. Työ julkaistaan työraporttina. Kuvauksen perusteella tärkeimmät, merkittävästi vettä johtavat rakenteet kontrolloivat suolaisuuden vaihtelua kallion yläosassa (0–300 m), mutta syvällä suolaisuuden vaihtelu näyttää olevan riippumaton rakojen transmissiviteetistä tai laajemmista rakenteista.

Olkiluodon pohjavesiolosuhteiden mennyttä kehitystä kuvaava malli (*Site Description*) perustuu ensisijaisesti geokemialliseen tietoon, joka koostuu kallion rakomineraaleista (kalsiitti ja pyriitti) tehdyistä analyyseistä, matriksihuokosveden kokeellisista määrittämisistä sekä pohjavesinäytteistä. Rakomineraalitulokset osoittavat, että maanpinnalta suotautuneet pohjavedet ovat välittömästi pelkistyneet ja neutraloituneet jo maaperässä tai kalliossa muutaman metrin syvyydessä. Kalliopohjavedessä on dominoinut pelkistyneiden ns. sulfidisten (sulfaattipitoinen pohjavesi) ja metaanisten (sulfaatiton pohjavesi) olosuhteiden vuorottelu. Paleotsooisella ajalla yli 250 miljoonaa vuotta sitten on ilmeisesti muodostunut erittäin suolaisia pohjavesiä (brine), joiden jäännösluokset muodostavat edelleen suolaisen pohjaveden Olkiluodossa. Matriksihuokosvesien perusteella suolaisen vaiheen jälkeen kallioon on huomattavasti nykyistä lämpimämmissä ilmasto-olosuhteissa (viittaa Tertiäärikauteen) suotautunut meteorista vettä, joka on syrjäyttänyt suolaisen pohjaveden tutkitussa kalliotilavuudessa. Kvartaariajan jääkausien sulamisvesistä havaitaan selviä indikaatioita ainoastaan kallion yläosan (0–250 m) pohjavesissä ja hyvin rajoitetusti matriksivesissä. Viimeisen jääkauden jälkeen suotautuneet vedet muodostavat nykyään merkittävimmän osan kallion ylimmän 300 m:n syvyydessä olevasta pohjavedestä, kun taas muinaisesta erittäin suolaisesta pohjavedestä (brine) ennen viimeistä jääkautta laimentunut suolainen pohjavesi dominoi tätä syvemmällä.

Matriksihuokosvedet ja rakopohjavedet eivät kuitenkaan kemian tulosten perusteella ole tasapainossa huolimatta ilmeisestä hyvin pitkästä viipymästä. Ero voi johtua anioniekskluusiosta, joka estää anioneja täyttämästä nano-mittakaavan matriksihuokosia negatiivisesti varautuneiden huokospintojen ja elektrostaattisten voimien vaikutuksesta eli anionihuokoisuus on pienempi kuin vesihuokoisuus. Matriksihuokoisuus-tutkimuksissa on havaittu, että kallion mikrohuokoisuus on useimmiten serisiittitäytteistä, mikä pienentää oleellisesti matriksin huokosavaumaa. Mahdollinen suolaisen pohjaveden hidas kohoaminen tutkittua kalliotilavuutta syvemmältä, jonne tertiäärikautinen meteorinen vesi ei olisi yltänyt, voisi myös johtaa eri kemiallisten tulosten mukaiseen tilanteeseen. Toisaalta hydrologisissa painemittauksissa ei ole havaittu alueellista komponenttia, joka aiheuttaisi nousevan virtauksen syvältä.

Kemiallisia vesi-mineraalivuorovaikutuksiin liittyviä prosesseja on tutkittu pohjavesinäytteenoton ja ONKALON monitoroinnin lisäksi mikrobiologisten tutkimusten ja kenttäkokeiden avulla. Suotautumiskokeen avulla on tarkasteltu pohjavesisysteemin puskurikykyä hapanta ja hapettavaa kalliooperään suotautuvaa vettä vastaan (Pitkänen ym. 2008, Aalto ym. 2011a, Käpyaho ym. 2012). Kokeessa, joka on ollut käynnissä kolme vuotta, on pumppaamalla kiihdytetty sadeveden valuntaa

pohjavedeksi maan pinnan tuntumassa olevaan rakovyöhykkeeseen (noin 10 metrin syvyydessä) ja systeemin hydrologista ja geokemiallista kehitystä on seurattu läheisistä pohjavesiputkista ja kairareilista. Koetuloksia simuloidaan sekä virtausmallin (Karvonen 2010) että reaktiivisen kulkeutumismallin (Trinchero ym. 2012b) avulla. Koe- ja mallinnustulokset tukevat käsityksiä Olkiluodon pintapohjavesisysteemin huomattavasta puskurikyvystä reaktiivisia pintavesiä vastaan. Suotautuvan pohjaveden neutraloi pääasiassa kalsiitti, josta mallilaskelmien perusteella on kokeessa käytetty äärimmäisen vähäinen osa. Kalsiitin muodostaman puskurikapasiteetin loppuminen ei siksi ole todennäköistä esim. loppusijoitustilan käytön aikana tai tulevaisuuden ilmaston muutosten seurauksena. Tätä päätelmää tukevat myös rakokalsiittihavainnot. Pumpppauksesta huolimatta hapettavaa vettä ei ole suotautunut koesysteemiin. Happi todennäköisesti pelkistyy jo maaperässä, jossa on huomattava orgaanisen aineen ja mineraalisulfidien muodostama pelkistyspotentiaali.

Liuenneen sulfidin on havaittu ajoittain nousevan merkittävästi joissakin pohjavesinäytteenottopaikoissa kalliassa. Nämäkään kohonneet sulfidipitoisuudet eivät näytä liittyvän ^{13}C -isotooppitulosten perusteella CH_4 :n anaerobiseen hapettumiseen, vaan mikrobit käyttäisivät energialähteenä jotain muuta liuennutta orgaanista ainetta tai esim. vetyä, joita metaaniin verrattuna on pohjavesitulosten perusteella kuitenkin Olkiluodon pohjavesissä merkittävästi vähemmän. Monitorointiaineiston perusteella korkeat sulfidipitoisuudet näyttävät liittyvän pohjavesityyppien äkilliseen sekoittumiseen reikävirtausten seurauksena. Pohjavesiolosuhteiden stabiloiduttua kairareikiin asennettujen monitulppajärjestelmien ansiosta sulfidipitoisuudet ovat lähteneet laskemaan. Tämän perusteella on esitetty (*Performance Assessment*) että korkeat sulfidipitoisuudet ovat metastabiileja ja että ne laskevat vähitellen (muutamien vuosien tai vuosikymmenien aikana) mm. FeS -faasiin saostumisen seurauksena. Stabiileissa hydrologisissa olosuhteissa sulfidin muodostuminen voi olla myös hitaampaa lähtöaineiden rajoitetun saannin vuoksi. Olkiluodon pohjavedessä rautaa on hyvin vähän ja sulfidin saostamiseen soveltuvia rautamineraaleja (rautaoksihydroksidit) ainoastaan muutamien metrien syvyydessä maan pinnan lähellä. Osa silikaattimineraaleista, esim. kiilteet sisältävät rautaa, mutta raudan saatavuus ja vapautuminen niistä edellyttää lisätutkimuksia.

Kulkeutumisominaisuuksien mallintaminen

TKS-kaudella jatkettiin kairareikien sydännäytteiden matriksihuokosvesitutkimuksia (Eichinger ym. 2010, 2012), jotka tuottavat tietoa mm. Olkiluodon kallion kulkeutumisominaisuuksista. Pilottireikä ONK-PH9:n näytteiden analyysit tuottivat matriksidiffuusiohuokoisuudelle lukuarvoja välillä 0,54–1,05 % pegmatiittigraniitille ja 0,46–0,58 % diateksiittisille gneissille. Huokoisuus oli selvästi suurempaa näytteissä, joissa muuttuneisuus oli silminnähtävää, vaihdellen 0,87–2,13 %:n välillä muuttuneissa pegmatiittigraniiteissa ja 0,88–2,53 %:n välillä muuttuneissa diateksiittisissä gneisseissä. Näille kivilajeille määritetyt (20 °C) huokosdiffusiviteetit vaihtelivat välillä $2,5\text{--}6,0 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ pegmatiittigraniitille ja välillä $2,3\text{--}2,5 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ diateksiittisille gneissille.

Osana paikkamallin päivitystä vuonna 2011 Olkiluodon kallion kulkeutumisominaisuudet kuvattiin kattavasti perustuen ensimmäistä kertaa

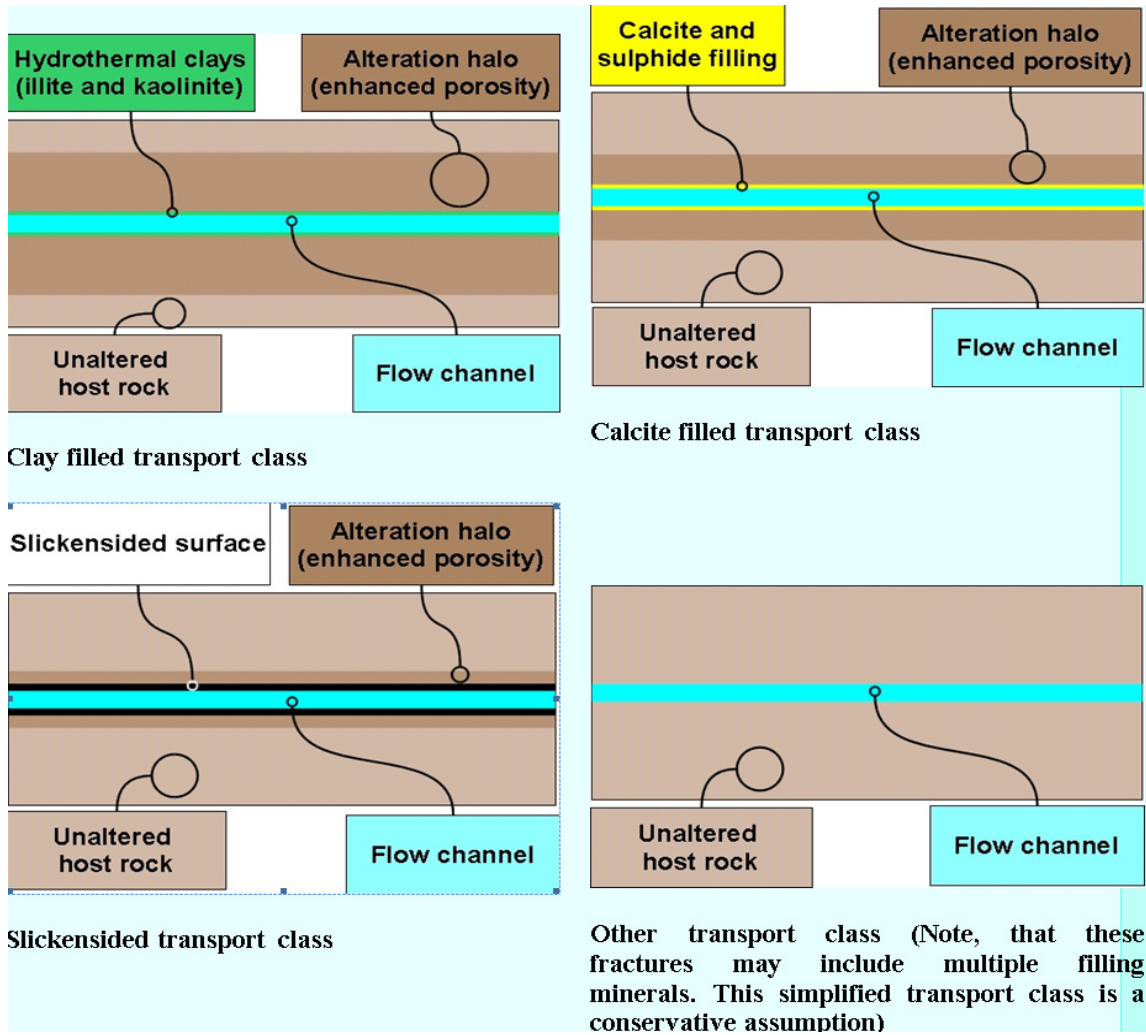
paikkakohtaiseen tietoon. Tämä kuvaus yhdistää rakoverkkomallinnuksen virtauskonseptin ja kallion pidättymisominaisuuksien kuvauksen. Sen mukaisesti kuvaus käsittää kalliorakojen kulkeutumisominaisuuksien määrittelyn perustuen laajaan (yli 32 000 raon) aineistoon, jossa voidaan nähdä kolme päärakomineraalien muodostamaa ryhmää: savimineraalit, kalsiitti ja sulfidi. Useimmiten samassa raossa esiintyy kaksi päärakomineraalia (ks. esimerkiksi kuva 4-19; Aaltonen 2010). Rakomineraalien perusteella Olkiluodon raot voidaan jakaa neljään luokkaan (kuva 4-20):

1. Raot, joiden päämineraali on kalsiitti.
2. Raot, joiden päämineraaleina ovat hydrotermiset savet.
3. Haarniskaraot.
4. Muut raot. Tähän kuuluu joukko rakoja, jotka voivat sisältää useita rakomineraaleja tai rakotäytteenä vallitsee mineraali, joka ei ole mikään päämineraaleista (savi, kalsiitti, sulfidi).

Tämän lisäksi on huomattu, että kiven huokoisuus muuttuu raon välittömässä läheisyydessä, minkä katsotaan johtuvan kiven hydrotermisestä muuttuneisuudesta. Tämä viittaa siihen, että kulkeutumisominaisuuksien kuvaukseen tulee liittää rakomineraalien lisäksi luonnehdinta rakoa ympäröivistä tyypillisistä muuttuneisuushaloista.



Kuva 4-19. Rako, jossa mineraaleina kalsiitti ja sulfidi. Näyte reiästä ONK-PH2 syvyydeltä 153,12 m.



Kuva 4-20. Olkiluodon rakoihin liittyvät kulkeutumisominaisuuksien neljä yksinkertaistettua tyypikuvausta (Site Description).

Rakoa ympäröivän kiven pidähtymisominaisuudet riippuvat diffuusio-ominaisuuksista, huokoisuudesta ja rakoa ympäröivien vyöhykkeiden paksuuksista. Tällaista tietoa, johon perustuvat taulukossa 4-1 esitetyt lukuarvot, on voitu tuottaa nk. PMMA-menetelmällä, jossa C-14-polymetyylimetakrylaattia imeytetään kiviinäytteeseen, säteilypolymeroidaan kiven sisään, paikannetaan autoradiografiomenetelmällä ja huokoisuus määritetään digitaaliseen kuvankäsittelyyn perustuen. Lisäksi on voitu käyttää heliumin diffuusiokokeita.

Taulukko 4-1. Olkiluodon rakojen eri tyyppitapausten matriisivyöhykkeiden ominaisuudet.

Savitäytteiset (ja mahdollisesti sulfiditäytteiset) raot, 30,9 % osuus kairareikänäytteiden raoista			
	Kerros 1	Kerros 2	Kerros 3
	Illiitti ja Kaoliniitti	Muuttumisreunus	Muuttumaton kivi
Paksuus	0,2 mm	10 mm	-
Huokoisuus	6 %	4 %	0,5 %
Tehokas diffusiviteetti	$1 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	$7 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$	$6 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$
Kalsiittitäytteiset (ja mahdollisesti savi- ja sulfiditäytteiset) raot, 19,4 % osuus kairareikänäytteiden raoista			
	Kerros 1	Kerros 2	Kerros 3
	Kalsiitti (ja Sulfidi)	Muuttumisreunus	Muuttumaton kivi
Paksuus	0,2 mm	5 mm	-
Huokoisuus	6 %	2 %	0,5 %
Tehokas diffusiviteetti	$1 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	$3 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$	$6 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$
Haarniskaraot, 18,5 % osuus kairareikänäytteiden raoista			
	Kerros 1	Kerros 2	Kerros 3
	Haarniskapinta	Muuttumisreunus	Muuttumaton kivi
Paksuus	2 mm	3 mm	-
Huokoisuus	1 %	5 %	0,5 %
Tehokas diffusiviteetti	$1 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$	$1 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	$6 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$
Muut raot, 31,2 % osuus kairareikänäytteiden raoista			
	Kerros 1		
	Muuttumaton kivi		
Paksuus	-		
Huokoisuus	0,5 %		
Tehokas diffusiviteetti	$6 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$		

4.2.2.3 Olkiluodon paikan kuvaukseen liittyvät epävarmuudet

Olkiluodon loppusijoituspaikan kuvaus 2011 (*Site Description*) on sarjassaan neljäs versio ja valmistuu vuoden 2012 aikana. Siinä esitettävän mallikuvauksen perusteella voidaan osoittaa, että loppusijoitussyvyyden kalliooperä on loppusijoituksen kannalta stabiili ja riittävän ehjä. Loppusijoitussyvyydellä valitussa loppusijoituskalliossa esiintyy ainoastaan pieniä pohjaveden virtauksia. Pohjavesiolosuhteet ovat pelkistävät ja myös muut pohjaveden kemialliset olosuhteet (pH, sulfidipitoisuus, alkalisuus, suolapitoisuus) ovat suotuisat loppusijoitukselle. Liuenneiden aineiden pidäytyminen kallioon rajoittaa mahdollisesti vapautuvien radionuklidien liikkuvuutta. Tutkimusten ja mallinnuksen perusteella voidaan päätellä, että vakaat olosuhteet tulevat vallitsemaan tulevaisuudessakin.

Olkiluodon loppusijoituspaikan mallikuvausta voidaan turvallisuuden kannalta keskeisimpien asioiden osalta pitää luotettavana. Perusteena tähän on tutkimustiedon huomattava määrä sekä toisistaan riippumattomien eri tutkimusalojen tutkimustietojen keskinäinen yhdenmukaisuus. Silti joillekin osa-alueille jää vielä epävarmuuksia, joita jatkossa selvitetään edelleen. Suurin osa näistä epävarmuuksista on pitkäaikaisturvallisuuden kannalta merkityksettömiä, mutta turvallisuusperustelun luotettavuutta voidaan vielä lisätä mm. seuraavin lisätutkimuksin:

- Kallion jännitystilan ja lujuuden ymmärtämiseksi kaivataan vielä lisätutkimuksia ja tulkintaa loppusijoitusvyöhydeltä.
- Hydrogeokemiallisten prosessien/stabiiliuden ymmärtämistä voidaan parantaa yksityiskohtaisiin lisätutkimuksiin, joiden avulla selvitetään sulfidin muodostumiseen ja saostumiseen liittyviä mekanismeja sekä hapen pelkistymistä suotautumisvyöhykkeessä.
- Kallioperän matriksiominaisuuksiin liittyvien epävarmuuksien ja tulkintaerimielisyyksien karsimisella voidaan parantaa kulkeutumismallinnuksen luotettavuutta.
- Keskeisen tutkimusalueen ulkopuolelta kaivataan tietojen täydentämistä erityisesti hauraiden deformaatiovyöhykkeiden ja hydrogeologisten rakenteiden olemassaolon ja jatkuvuuden selvittämiseksi viimeistään siinä vaiheessa, kun loppusijoitustoiminta siirtyy näille alueille. Näiden alueiden yleinen soveltuvuus loppusijoitukseen pystytään kuitenkin jo nyt osoittamaan olemassa olevilla tutkimustiedoilla.

Näiden ja muiden pienempien vielä epävarmuuksia sisältävien asiakokonaisuuksien selvittämiseksi tehtävät tutkimukset ja mallinnukset on kuvattu luvussa 5.3.1 .

4.2.3 Loppusijoituskallion soveltuvuusluokittelu

Posiva esitti TKS-2006-ohjelmassa suunnitelman loppusijoitukseen käytettävälle kallioperälle asetettavien vaatimusten kehittämiseksi ja soveltamiseksi. Tätä tarkoitusta varten käynnistettiin vuonna 2007 RSC-ohjelma (Rock Suitability Criteria), jonka lähtökohtana olivat HRC (Host Rock Classification) -projektissa kehitetyt alustavat Olkiluoto-kohtaiset soveltuvuuslausekkeet (Hagros ym. 2005, Hagros 2006). RSC-ohjelman tavoitteena oli kehittää tiettyihin kriteereihin perustuva soveltuvuusluokittelu loppusijoitustilojen asemointia ja sijoitusreikien paikkojen valintaa varten (Hellä ym. 2009). Siirryttäessä kriteerien kehittämiseen tähänneestä ohjelmasta varsinaiseen soveltuvuusluokitteluprosessiin, on RSC-työkin nykyisessä muodossaan määritelty kallion soveltuvuusluokitteluksi (Rock Suitability Classification). Soveltuvuusluokittelu ja sen soveltaminen on esitetty raportissa McEwen ym. (2012).

4.2.3.1 Soveltuvuusluokittelukriteerien kehitystyö

Tavoiteominaisuuksien päivitys

Kalliolle asetetut tavoiteominaisuudet on päivitetty ja ne esitetään suunnitteluperusteraportissa (*Design Basis*). Merkittävimpinä muutoksina aiempiin tavoiteominaisuuksiin nähden ovat pohjaveden geokemian parametrien tarkennukset, puskuri-kapselisysteemille sallittavan siirrostuman kynnysarvon pienentyminen 10 cm:stä 5 cm:iin, sekä 0,5 m:n suojaetäisyydelle kapselin ja potentiaalisesti siirrostuvan raon väliin mahdollisen tulevaisuuden vedenjohtavuuden vuoksi. Uudistettujen

tavoiteominaisuuksien, RSC-I-vaiheen kriteerien testauksen sekä paikkakohtaisten mallinnusten perusteella kallion soveltuvuus kriteerit on päivitetty ja esitelty raportissa McEwen ym. (2012).

Kriteerien päivitys

Kallion tavoiteominaisuuksien päivityksen ja kriteerien testauksen seurauksena kehitettiin RSC-II-kriteerit vastaamaan päivitettyjä kallion tavoiteominaisuuksia. Kriteerit on kuvattu raportissa McEwen ym. (2012). Aiempaan versioon (RSC-I) nähden merkittävimpiä muutoksia olivat loppusijoitustunnelin geokemiallisten parametrien mukaan ottaminen RSC-kriteereihin, vesivuotokriteerin lisääminen loppusijoitustunnelissa havaitulle paikalliselle vuotokohdalle sekä ns. FPI-kriteerin (Full Perimeter Intersection eli profiilia leikkaava rako) uudelleenmuotoilu. FPI-kriteeri tarkoittaa sitä, että rakoa, joka leikkaa koko tunneliprofiilin, on pidettävä nk. laajana rakona, ellei sen voida jollain menetelmällä osoittaa olevan säteeltään alle 75 m. Sijoitusreikien paikat valitaan siten, että laaja rako ei leikkaa reikään sijoitettavan loppusijoituskapselin paikkaa (ns. laajarakokriteeri). Kriteerien päivityksen ohella Olkiluodon loppusijoitustilojen asemointia rajaavien hydrogeologisten ja hauraiden rakenteiden (LDF-rakenteet, Layout Determining Features) ja niiden suojatilavuuksien tietokanta päivitettiin ja julkaistiin (Pere ym. 2012). Tässä yhteydessä myös asemointia rajaavien rakenteiden määritelmää päivitettiin.

Kriteerien riittävyys ja tehokkuus

RSC-II-vaiheen kriteerien riittävyyttä ja toimivuutta on arvioitu *Performance Assessment* -raportissa. Raportissa osoitetaan RSC-II-kriteerien olevan tehokkaita ja toimivia tavoiteominaisuuksien täyttymisen kannalta ja näin ollen niitä käyttämällä pystytään merkittävästi pienentämään teknisten vapautumisesteiden vaurioitumisriskiä pitkällä aikavälillä. Nykyisen käsityksen mukaan RSC-II:n mukainen laajarakokriteeri on varsin konservatiivinen, mikä saattaa johtaa myös tavoiteominaisuudet täyttävän loppusijoituskallion tarpeettomaan hylkäämiseen, lähinnä rakojen koon määrittämiseen liittyvien epävarmuuksien takia. Tästä syystä laajarakokriteeriin liittyvää kehitystyötä jatketaan (ks. luku 5.3.2).

4.2.3.2 Soveltuvuusluokittelumenetelmän testaus ONKALossa

Vuosina 2010–2012 testattiin ONKALOn ajotunnelissa sekä RSC-I-kriteereitä että kallion soveltuvuusarvioinnin käyttöön tietoja tuottavia karakterisointi- ja tutkimusmenetelmiä (*Site Description*). Testaus kohdistui erityisesti seuraaviin RSC-kriteerien ja soveltuvuusluokituksen kannalta keskeisiin seikkoihin (TKS-2009, s. 126–127):

- pitkät (laajat) raot,
- paikalliset, pienen mittakaavan deformaatiovyöhykkeet ja vettä johtavat piirteet, sekä
- tunnelin lattian alapuolinen kalliotilavuus.

Kriteerien testaus

Vuosien 2010–2012 aikana RSC-I-kriteereitä (Hellä ym. 2009) ja RSC-luokitusmetodologiaa on testattu pilottireikien ONK-PH10, ONK-PH11 ja ONK-PH12 sekä tutkimustilan 3 aineistoilla. Näistä kaksi jälkimmäistä pilottireikätestiä kohdentuivat erityisesti FPI-kriteerin sekä raon ja kapselireiän tai raon ja kapselin välisen suojaetäisyyden arviointiin ja vaikutukseen loppusijoitustunnelin käytettävyysasteeseen (Pere ym. 2012). Näiden testien tuloksena havaittiin, että FPI-kriteerin määrittelyllä on erittäin suuri merkitys loppusijoituskäyttöön soveltuvan kallion käytettävyysasteeseen. RSC-työn yhteydessä on kehitetty ja testattu myös rakokohtaisen vesivuodon mittausta sekä tunnelissa että loppusijoitusreiässä.

RSC-I-kriteerien käytännön soveltamista tunnelin soveltuvuuden arvioinnissa testattiin ONKALO-ajotunnelin paaluvälillä 3460–3640 hyödyntäen pilottireiästä ONK-PH10 saatua tutkimusaineistoa sekä tunnelitutkimusaineistoa. Tutkimustilaa 3 ja sinne porattuja tutkimusreiکیä (noin 85 % loppusijoitusreikien koosta) (Aalto ym. 2009, *Site Description*) käytettiin soveltuvuuskriteerien sekä luokitusprosessin testaamiseen loppusijoitusreikien mittakaavassa. FPI-kriteerin vaikutusta tunnelin käytettävyysasteeseen testattiin pilottireikien ONK-PH11 ja ONK-PH12 avulla. Tuloksia hyödynnettiin RSC-kriteerien kehitystyössä.

RSC-I-kriteerien sekä luokitusprosessin testauksia on tehty tunnelissa pilottireikien ONK-PH10–12 sekä tutkimustilan 3 alueilla keskittyen pitkien rakojen ja pienen mittakaavan vyöhykkeiden tunnistamiseen ja mallintamiseen pilottireiästä ja tunnelin lattian alta. Testauksessa hyödynnettiin pilottireikäaineistoa sekä tunnelista tehtyjä geofysikaalisia luotauksia.

Tutkimusmenetelmien testaus

Geofysikaalisten ja geologisten menetelmien soveltuvuutta yksittäisten pitkien rakojen paikantamiseen ja jatkuvuuden selvittämiseen on tutkittu yhteistyöprojektissa SKB:n kanssa. Yhteistyöprojektin puitteissa tunnelista havaittuja FPI-rakojia on yhdistetty pilottirei'istä kartoitettuihin rakoihin vuoden 2011 aikana. Työn tulokset on esitetty raportissa Joutsen (2012). Tutkimuksessa selvitettiin myös ONKALOn FPI-rakojen geologisia ominaisuuksia.

FPI-rakojen ominaisuuksien geofysikaalisia signaaleja on puolestaan käsitelty raportissa Heikkinen ym. (2011). Heikkisen ym. (2011) mukaan geofysikaalisten signaalien yhteenlaskettu anomaliaindeksi kuvaa FPI-rakojia yleensä paremmin kuin yksittäiset geofysikaaliset menetelmät sellaisenaan. Merkittävien, koko tunneliprofiilia leikkaavien rakojen kohdalle saadaan useassa tapauksessa viite geofysiikan anomaliakoosteessa, mutta on huomioitava, että näitä anomalioita saattaa esiintyä myös sellaisten rakojen kohdalla, jotka eivät ole merkittäviä RSC-luokituksen kriteerien kannalta. Vastaavasti joidenkin FPI-rakojen kohdalla ei havaita anomaliaa millään menetelmällä (Heikkinen ym. 2011).

ONKALOn pilottireikien reikäutka-aineistosta tulkittuja heijastajia on korreloitu FPI-rakoihin (Döse & Gustafsson 2011). Analyysin perusteella ainoastaan 10 % heijastajista

selittyy koko tunnelin profiilia leikkaavilla raoilla. Tästä 10 %:n osajoukosta kaksi kolmasosaa voi myös selittyä liuskeisuudella, jolloin ainoastaan 3 % heijastajista voidaan varmasti korreloida tunnelin profiilia leikkaaviin rakoihin.

Em. tutkimusten tulosten perusteella FPI-rakoihin ei ainakaan toistaiseksi ole mahdollista liittää yksittäisiä luonteenomaisia geologisia ominaisuuksia tai geofysikaalisia indikaattoreita, mutta näiden yhdistelmiä käyttämällä voidaan mahdollisesti parantaa pilottirei'istä tehtäviä FPI-ennusteita. Tätä varten vuoden 2012 aikana FPI-raoille luotiin indeksiluokitus, jota testataan ja kehitetään edelleen vuoden 2013 aikana.

Tutkimustunnelien alla olevan kalliotilan karakterisointiin on vuosina 2010–2012 geofysiikan tutkimusmenetelmistä testattu maatutkatekniikkaa. Selvityksessä käytettiin 100 MHz:n ja 270 MHz:n kalustolla ONKALOn ajotunnelin oikealla seinällä paaluvälillä 3344–3578 sekä POSE-tutkimustilan lattiassa mitattua dataa. Mittauksissa on käytetty pääasiassa impulssitutkaa, mutta myös askeltaajuusmaatutkan soveltuvuutta on testattu (Mustonen ym. 2010). Tuloksena voidaan todeta että maatutkamenetelmä pystyy havaitsemaan heijastuksia puhtaalta ja kuivalta lattialta tai seinältä tehdyllä mittauksella. Menetelmän syvyysulottuvuus on 8–12 m käyttäen 270 MHz:n antennia, jonka erotuskyky on hyvä ja häiriötaso matala hyvän kontaktin ansiosta. Matalamman 100 MHz:n taajuuden kalustolla tutkimussyvyys on 20–24 m, mutta häiriötaso on suuremman antennin heikomman suojauksen ja huonomman kontaktin vuoksi korkeampi. Maatutkan heijastuskuvissa havaitaan erilaisia heijastuspintoja ja sirontaa. Nämä voivat aiheutua esimerkiksi raoista, kivilajirajoista ja hirttovyöhykkeistä. Tehokas menetelmän käyttötapana on tarkastella käsiteltyjä tuloksia geologisen kartoituksen yhteydessä, jotta heijastusten alkuperä voidaan varmentaa (Heikkinen & Kantia 2011).

Vuoden 2012 alkupuolella demonstraatiotunnelin 2 lattialla ja seinillä toistettiin demonstraatiotunnelissa 1 suoritettua matalataajuusmaatutkauksia. Näiden perusmittausten ohella suoritettiin maatutkamittauksia 270 MHz:n maavasteantennilla myös demonstraatiotunneliin 1 poratuissa loppusijoitusrei'issä.

Heijastusseismisiä menetelmiä on testattu ONKALossa vuosina 2007 (Cosma ym. 2008) ja 2009 (Cosma ym. 2011) pitkien rakojen ja pienen mittakaavan vyöhykkeiden tunnistamiseen. Yhteenvedon kahden heijastusseismisen tutkimuksen tuloksista voidaan sanoa, että mittaukset soveltuvat kiteisen kallioperän yksityiskohtaiseen kartoittamiseen, mutta avuksi tarvitaan geologista, hydrogeologista ja geofysikaalista vertailuaineistoa, jotta voidaan yhdistää havaitut piirteet tunnettuihin rakenteisiin tai ennustaa tuntemattomien rakenteiden olemassaoloa ja sijaintia. Menetelmä havaitsee todistetusti pienikokoisiakin piirteitä, mutta toisaalta joidenkin laajojen ja merkittävien rakenteiden havaitseminen on epävarmaa (ks. 4.2.1.1) (Sireni ym. 2011).

Tutkimustilassa 3 olevat testikapselireiät kartoitettiin sekä perinteistä geologista kartoitusta että laserkeilausta hyödyntäen (McEwen ym. 2012, kappale 3). Vastaavaa menetelmää hyödynnettiin myös demonstraatiotunneleissa sijaitsevilla testiloppusijoitusrei'issä. Vuoden 2012 aikana testattiin myös fotogrammetrisia menetelmiä loppusijoitusreikien kuvastamiseen.

Pilottireikien ja tunnelissa havaittujen vuotojen korrelaatiota on selvitetty raportissa Palmén ym. (2011).

Vettä johtavien rakenteiden vaikutusalueiden määrittely kairareikäaineiston perusteella on kuvattu raportissa Pere ym. (2012) ja käytäntöä on sovellettu demonstraatiotunneleiden kartoituksessa. Vyöhykkeeseen jätettävä suojaetäisyys on RSC-II-kriteerien perusteella yhtenevä vyöhykkeen vaikutusalueen kanssa.

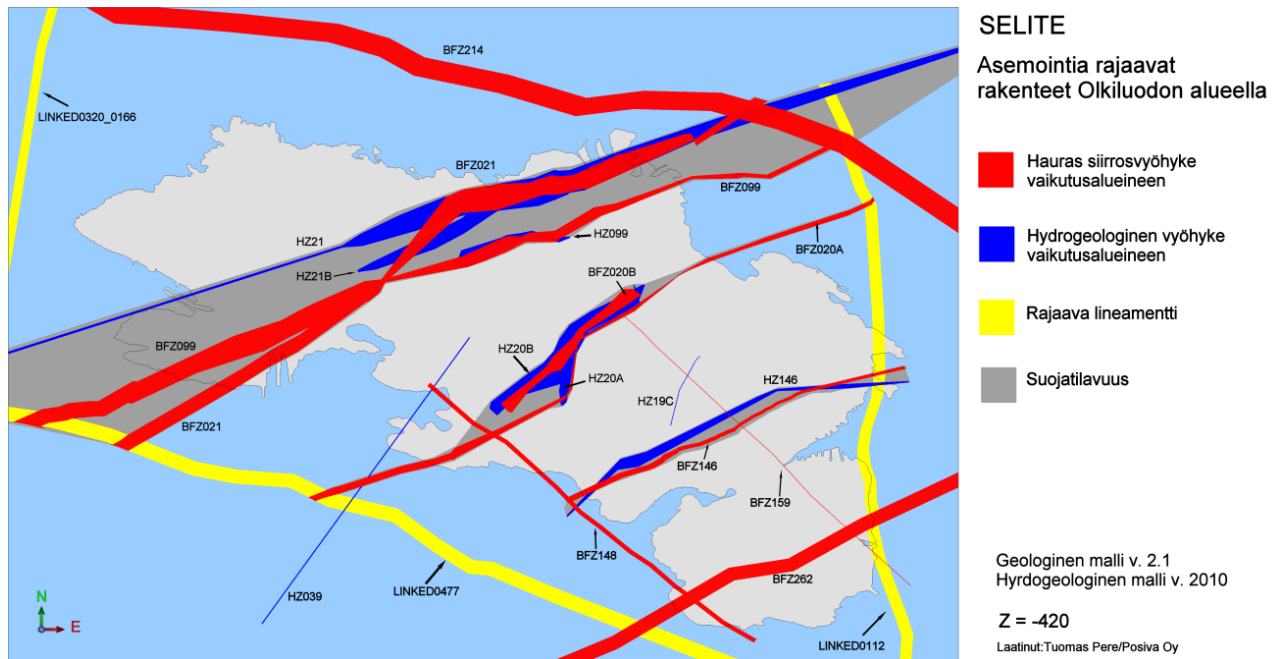
4.2.3.3 Soveltuvuusluokittelumenetelmä

RSC-menetelmä käsittää kriteereihin perustuvan kallion soveltuvuusarvioinnin osana loppusijoitustilojen suunnittelua ja toteutusta tilojen asemointiin soveltuvien kalliotilavuuksien tunnistamiseksi. Soveltuvuusluokittelun neljä vaihetta (loppusijoituslaitos, -paneeli, -tunneli ja -reikä) etenevät laajasta, yleisestä mittakaavasta pienempään ja yksityiskohtaisempaan tilojen rakentamisen edetessä ja tutkimusten tuottaessa yhä tarkempaa tietoa kallioperän ominaisuuksista.

RSC-soveltuvuusluokittelumenetelmän vaiheet on kuvattu alla pääpiirteissään, tarkempi kuvaus sisältyy raporttiin McEwen ym. (2012). Menetelmän soveltaminen on lisäksi esitetty tiivistettynä vuokaaviona tämän kappaleen lopussa (kuva 4-22). Menetelmää on testattu ONKALOSSA loppusijoitustasolla sijaitsevien demonstraatioloppusijoitustunneleiden ja -reikien suunnittelun ja rakentamisen yhteydessä (ks. 4.2.3.4).

Loppusijoituslaitos

Loppusijoituslaitoksen mittakaavassa tehtävä kallion soveltuvuusluokittelu tuottaa tietoa loppusijoituslaitoksen suunnittelua varten. Soveltuvuusluokittelun tässä vaiheessa määritetään loppusijoituslaitoksen asemointiin soveltuvat kalliotilavuudet. Käytettävissä olevaa paikkatutkimustietoa ja tutkimuspaikkaa kuvaavia malleja (ks. kappale 4.2.2) (Aaltonen ym. 2010 ja Vaitinen ym. 2011) käyttäen määritetään asemointia rajaavat rakenteet (layout determining features, LDF) ja niitä ympäröivät suoja-tilavuudet, joita tulee välttää loppusijoitustunneleiden (ja -reikien) asemoinnissa (kuva 4-21). Tällaisia rakenteita ovat laajat, mahdollisesti epästabiilit siirrosvyöhykkeet, sekä kallioperän pääasialliset vettä johtavat rakenteet (Pere ym. 2012). Tiedot LDF-rakenteista suoja-tilavuuksineen toimitetaan käytettäväksi loppusijoituslaitoksen ja ennen kaikkea loppusijoituspaneelien suunnittelussa ja asemoinnissa.



Kuva 4-21. Asemointia rajaavat rakenteet Peren ym. (2012) mukaan.

Loppusijoituspaneeli

Loppusijoituspaneeli muodostuu keskustunnelista ja joukosta siitä lähteviä loppusijoitustunneleita, jotka on tarkoitettu louhia yhtenä kokonaisuutena. Vastaavan kalliotilavuuden soveltuvuusluokittelu pyrkii varmentamaan valitun tilavuuden soveltuvuuden (suunnitellun paneelin alueella ei tavata asemointia rajaavia rakenteita), tuottamaan tiedon loppusijoitustunneleiden asemointiin vaikuttavista kallioperän piirteistä paneelin tarkempaa suunnittelua ja loppusijoitustunneleiden asemointia varten ja tuottamaan arvion paneelin käytettävyysasteesta. Paneelin soveltuvuusluokittelussa huomioidaan suunnittelua rajaavien rakenteiden lisäksi ne kallioperän rakenteet, jotka RSC-kriteerien perusteella vaikuttavat loppusijoitustunneleiden ja -reikien asemointiin. Tällaisia rakenteita ovat esim. paikalliset siirros- ja rakovyöhykkeet ja vettä johtavat rakenteet, sekä yksittäiset laajat raot.

Tutkimuspaikkaa kuvaavat mallit eivät sisällä tietoa kallioperän pienen mittakaavan paikallisista piirteistä, vaan soveltuvuusluokittelun tekemiseksi on paneelin alueelta luotava ns. pienen mittakaavan malli, jossa luokittelun kannalta merkittävät rakenteet pyritään kuvaamaan mahdollisimman tarkasti. Alustava versio mallista luodaan paneelin alueen alustavien tutkimusten, esim. mahdollisten tutkimusreikien ja geofysikaalisten mittausten tuottamien tietojen perusteella, ja mallia päivitetään loppusijoituspaneelin rakentamisen edetessä uusien tutkimustietojen ja niiden tulkintojen perusteella.

Loppusijoituspaneelin kalliotilavuuden alustava soveltuvuusarvio tehdään paneelin suunniteltuun keskustunneliprofiiliin kairatun pilottireiän tutkimustulosten mukaisesti päivitetyn pienen mittakaavan mallin perusteella. Alustava soveltuvuusarvio perustuu koko loppusijoituslaitokselle laadittuun suunnitelmaan ja painottuu paneelille valitun kalliotilavuuden soveltuvuuden varmentamiseen. Soveltuvuusarvio uusitaan paneelin keskustunnelin louhinnan jälkeen, jolloin louhitussa tunnelissa tehdyt tutkimukset ovat

tuottaneet tarkempaa tietoa alueen rakenteista ja pienen mittakaavan malli on jälleen päivitetty. Soveltuvuusluokittelun tulosten perusteella voidaan paneelin suunnitelmaa tarkentaa ja päivittää esim. loppusijoitustunneleiden paikkaa muuttamalla, pituutta lyhentämällä jne.

Loppusijoitustunneli

Loppusijoitustunneleiden suunniteltujen paikkojen (kalliotilavuuksien) soveltuvuus arvioidaan alustavasti tunneliprofiileihin kairattujen pilottireikien tutkimusten ja niiden tulosten nojalla päivitetyn pienen mittakaavan mallin perusteella. Alustava soveltuvuusluokittelu painottuu loppusijoitustunnelille asetettujen kriteerien toteutumiseen valituissa kalliotilavuuksissa, mutta myös loppusijoitusreikien asemointiin vaikuttavat tekijät huomioidaan arvioitaessa suunniteltujen tunneleiden käytettävyydestä. Pilottireiät kairataan yhtä aikaa usealle suunnitellulle loppusijoitustunnelille, jotta mahdollistetaan myös reikien välisten geofysikaalisten ja hydrologisten tutkimusten käyttö kallion karakterisoinnissa. Pilottireikä tutkimusten jälkeen laaditun alustavan tunnelikohtaisen soveltuvuusarvion perusteella voidaan tunneleiden suunnittelua edelleen tarkentaa. Päätös kunkin suunnitellun loppusijoitustunnelin louhinnan aloittamisesta tehdään alustavan soveltuvuusarvion ja tunneleille laaditun teknisen arvion (mm. mahdollinen injektointitarve) perusteella.

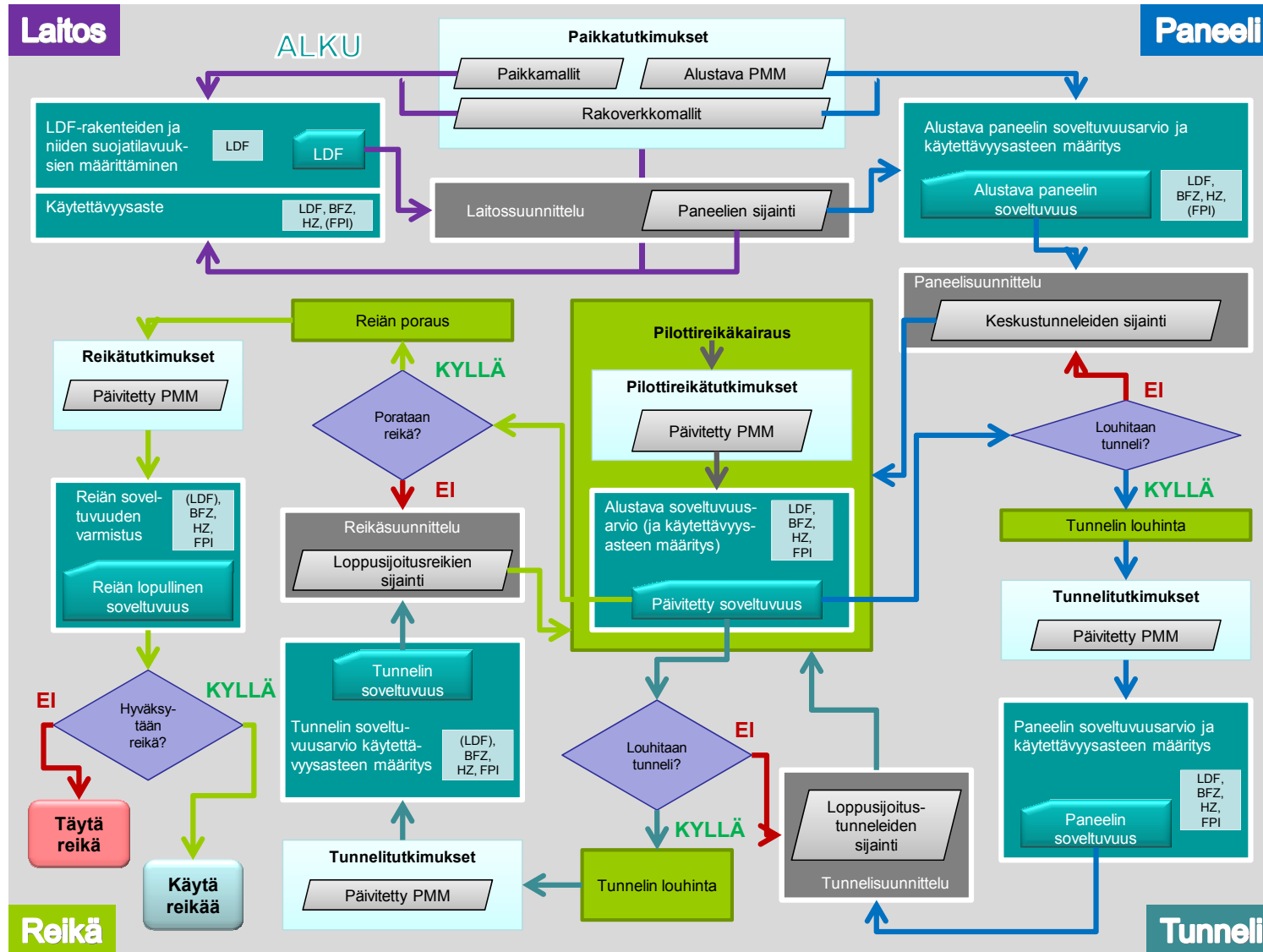
Kunkin loppusijoitustunnelin soveltuvuus loppusijoituskäyttöön (loppusijoitustunnelille asetettujen kriteerien täytyminen) varmennetaan louhitussa tunnelissa suoritettujen tutkimusten ja niitä seuranneen pienen mittakaavan mallin päivityksen perusteella. Tunnelitutkimuksilla pyritään tuottamaan tietoa myös tunnelin lattian alapuolisesta kalliotilavuudesta (mm. lattian kartoitus, maatutkaus) (ks. luku 4.2.2), sillä tunnelin soveltuvuuden varmentamisen lisäksi louhitulle loppusijoitustunnelille laadittu soveltuvuusarvio sisältää tiedon loppusijoitusreikien asemointiin mahdollisesti soveltuvista ja soveltumattomista tunnelijaksoista. Tunnelien soveltuvuutta ja siihen sijoitettavien kapselireikien tarkempaa sijaintia tarkasteltaessa otetaan lisäksi huomioon erilaisia teknisiä ja kustannusoptimointiin tähtääviä näkökohtia.

Loppusijoitusreikä

Loppusijoitusrei'ille valittujen paikkojen (kalliotilavuuksien) soveltuvuus arvioidaan alustavasti valituille paikoille kairatuissa pystysuorissa pilottirei'issä tehtyjen tutkimusten ja tutkimustulosten perusteella päivitetyn pienen mittakaavan mallin perusteella. Alustava soveltuvuusarvio pyrkii varmentamaan loppusijoitusrei'ille asetettujen kriteerien täyttymisen valitulla paikoilla. Kaikki yhden loppusijoitustunnelin pilottireiät pyritään kairaamaan ja tutkimaan ennen alustavan arvion laatimista, jotta mahdollistetaan tarpeen vaatiessa myös reikien välisten tutkimusmenetelmien käyttö. Alustavan soveltuvuusarvion tulosten perusteella tehdään päätös kunkin loppusijoitusreiän poraamisen käynnistämisestä tai valitun reikäpaikan hylkäämisestä. Joissain tapauksissa myös yksittäisen reiän uudelleenaseointi voi tulla kysymykseen.

Kunkin poratun loppusijoitusreiän soveltuvuus loppusijoituskäyttöön (loppusijoitusreiälle asetettujen kriteerien täytyminen) varmennetaan reiässä suoritettujen tutkimusten ja niitä seuranneen pienen mittakaavan mallin päivityksen

perusteella. RSC-kriteerien lisäksi on kunkin loppusijoituskäyttöön hyväksytyn reiän läpäistävä myös mm. reiän suoruudelle ja pinnan sileydelle asetetut tekniset laatuvaatimukset.



Kuva 4-22. Kallion soveltuvuusluokittelun (RSC) yleisvuokaavion luonnos KBS-3V-konseptille.

4.2.3.4 RSC-demonstraatio

RSC-soveltuvuusluokittelumenetelmää on testattu ONKALossa loppusijoitus-syvyydellä sijaitsevien demonstraatiotilojen rakentamisen yhteydessä (ks. luvut 4.2.3.2 ja 4.2.3.3). Demonstraatiotilat käsittävät keskustunnelin, kaksi demonstraatiotunnelia ja joukon testiloppusijoitusreikiä (ks. luku 4.3.4), joiden rakentamisen yhteydessä on testattu kallion karakterisointia ja soveltuvuusluokittelua sekä karakterisointi- ja luokitteluprosessin yhteensovittamista suunnittelun ja rakentamisen kanssa. Demonstraatiotilojen rakentamisen yhteydessä käytettyjä kallion karakterisointimenetelmiä samoin kuin kalliotilavuuden pienen mittakaavan mallinnusta on kuvattu luvussa 4.2.2. Seuraavassa RSC-demonstraation (kallion soveltuvuusluokittelun) eteneminen on kuvattu pääpiirteissään, tarkempi kuvaus sisältyy raporttiin McEwen ym. (2012).

Ensimmäinen alustava soveltuvuusarvio laadittiin kesäkuussa 2010 demonstraatiotunneleiden layout-suunnittelua varten. Arvio pohjautui alustaviin RSC-I-kriteereihin (Hellä ym. 2009) ja geologisessa mallissa (Aaltonen ym. 2010) kuvattuihin kalliooperän rakenteisiin. Soveltuvuusarvion perusteella tunneleiden tarvittavaksi pituudeksi määritettiin 85 metriä per tunneli.

Demonstraatiotilojen kalliooperän soveltuvuus arvioitiin uudelleen lokakuussa 2010, jolloin ONKALOn ajotunnelin louhinta oli ohittanut demonstraatiotilojen alueen ja osa keskustunnelista oli myös louhittu (keskustunnelille ei kairattu pilottireikää). Soveltuvuusarviointin lähtötiedoiksi luotiin louhituista tunneleista saatuja uusia tietoja hyödyntäen alustava versio geologista mallia yksityiskohtaisemmasta ns. pienen mittakaavan mallista (ks. luku 4.2.2.2), jossa RSC-soveltuvuusluokittelun kannalta oleelliset kalliooperän piirteet (hauraat siirrosvyöhykkeet, vettä johtavat piirteet, yksittäiset laajat raot) pyrittiin kuvaamaan mahdollisimman tarkasti. Soveltuvuuden arvioinnissa käytettiin edelleen RSC-I-kriteereitä. Arvion perusteella vahvistettiin demonstraatiotunneleiden pituudeksi 85 metriä per tunneli.

Ensimmäinen soveltuvuusluokittelu suunnitelluille demonstraatiotunneleille laadittiin helmikuussa 2011. Luokittelua edelsivät pilottireikien kairaus suunniteltuihin demonstraatiotunneliprofiileihin, pilottireikä tutkimukset tulkintoineen ja pienen mittakaavan mallin päivitys. Posivan vakiona toteuttamien pilottireikä tutkimusten (ks. esimerkiksi Aalto ym. 2011b) lisäksi alueella suoritettiin myös pilottireikien ja tunneleiden välisiä latauspotentiaalimittauksia ja reikien välinen hydraulinen vuorovaikutuskoe (ks. luku 4.2.2.1), mutta näiden tuloksia hyödynnettiin vasta seuraavassa soveltuvuusarviossa tulosten tulkinnan keston vuoksi. Pilottireikäaineiston lisäksi pienen mittakaavan mallin päivityksessä hyödynnettiin demonstraatiotilojen keskustunnelissa tehtyjä tutkimuksia, mm. rakennekohtaisen vuotovesimäärän mittaustuloksia. Soveltuvuusarvio laadittiin suunnitelmien mukaisille demonstraatiotunneleille sekä RSC-I-kriteereitä että alustavia päivitettyjä (RSC-II) kriteereitä käyttäen (*Site Description*). Arvion perusteella demonstraatiotunnelit päätettiin louhia suunnitelluille paikoilleen, mutta suunnitelmia päivitettiin: demonstraatiotunneli 1 lyhennettiin 52 metrin pituiseksi, jotta vältettiin tunneliprofiilia leikkaavien, pilottireikä tutkimusten perusteella tiivistystä vaativien hauraiden siirrosvyöhykkeiden lävistäminen rakentamisen tässä vaiheessa. Menetetyn tilan korvaamiseksi demonstraatiotunneli 2 pidennettiin 105 metrin mittaiseksi.

Louhinta käynnistyi suunnitelmien päivityksen jälkeen demonstraatiotunnelista 1 ja jatkui demonstraatiotunnelissa 2. Injektointitestien aiheuttamien viivästymisten vuoksi päätettiin aikaisemmista suunnitelmista poiketen edetä demonstraatiotunnelissa 1 testiloppusijoitusreikien poraamiseen niin pian kuin mahdollista, jo ennen demonstraatiotunnelin 2 louhinnan päättymistä (luku 4.3.4)

Demonstraatiotunnelin 1 louhinnan ja sitä seuranneiden tunnelitutkimusten (mm. tunnelin geologinen kartoitus, vesivuotomittaukset ja tunnelin lattian maatutkaus) valmistuttua päivitettiin pienen mittakaavan malli. Tunnelitutkimusaineiston lisäksi mallin päivityksessä hyödynnettiin tuloksia pilottireikien ja aiemmin louhittujen tunneleiden välillä tehdyistä tutkimuksista, joiden tulokset eivät ennättäneet edelliseen mallin päivitykseen. Elokuussa 2011 laadittiin tämän aineiston pohjalta demonstraatiotunnelille 1 soveltuvuusarvio, jossa määritettiin loppusijoitusreikien sijoittamiseen soveltuvat tunnelijaksot. Soveltuvuus arvioitiin päivitettyjen RSC-II-kriteerien perusteella (*Site Description*), joita käytettiin soveltuvuusarvioinnissa tästä eteenpäin. Soveltuvuusarvio toimitettiin edelleen suunnittelijoille, jotka valitsivat sen perusteella paikat tuleville testiloppusijoitusrei'ille: RSC-arviossa hyväksyttyihin tunnelijaksoihin saatiin sijoitettua kaksi reikää, joiden lisäksi päätettiin sijoittaa soveltumattomiksi luokiteltuihin tunnelijaksoihin kaksi lisäreikää reikienporauslaitteen prototyypin testaamiseksi (ks. luku 4.3.4).

Demonstraatiotunnelista 1 valittujen testiloppusijoitusreikäpaikkojen soveltuvuus varmistettiin lokakuussa 2011 valituille paikoille kairatuissa pilottirei'issä tehtyjen tutkimusten ja pienen mittakaavan mallin päivityksen perusteella. Soveltuvuusarvion perusteella valitut paikat (kaksi edellä hyväksyttyihin tunnelijaksoihin sijoitettua reikää) täyttivät loppusijoitusrei'ille asetetut vaatimukset ja reikien porauksen aloittamiseen annettiin lupa valituilla paikoilla.

Reikien porauksen valmistuttua laadittiin kullekin demonstraatiotunneliin 1 poratulle testiloppusijoitusrei'älle lopullinen soveltuvuusarvio kevään 2012 aikana rei'ässä suoritettujen tutkimusten perusteella. Tällä varmistettiin kaikkien sijoitusrei'ille asetettujen RSC-kriteerien täyttyminen ennen kunkin rei'än lopullista hyväksymistä (tai hylkäämistä).

Helmikuussa 2012 kairattiin demonstraatiotunnelin 2 loppuosalle (noin 85–125 m) pilottireikä kattamaan jatkettava tunneliosuus. Tunnelin loppuosalle laadittiin pilottireikä tutkimusten ja asiaankuuluvan pienen mittakaavan mallin päivityksen jälkeen soveltuvuusarvio. Tunnelin louhintaa jatkettiin 105 metriin saakka. Tunnelin louhinnan valmistuttua tunnelin soveltuvuuden arviointi, testiloppusijoitusreikien paikkojen valinta ja niiden soveltuvuuden arviointi tehtiin yllä kuvatulla tavalla.

4.2.4 Olkiluodon monitorointiohjelma

Loppusijoituspaikan ja -laitoksen pitkäaikaisen kehityksen seuranta varten on käynnissä Olkiluodon monitorointiohjelma (OMO). Ohjelma aloitettiin vuonna 2004 ja sen pääasiallisina tavoitteina seurata ONKALON rakentamisen aiheuttamia vaikutuksia kallioperään ja pintaympäristöön (Posiva 2003b). Havaintoja on käytetty pitkäaikais-turvallisuuden arvioinnin, paikkatutkimuksen sekä ympäristövaikutusten arvioinnin

tarpeisiin. Monitorointiohjelman tulokset raportoidaan vuosittain Posivan työraporttisarjassa. Jokaisesta monitoroinnin osa-alueesta (kalliomekaniikka, hydrologia, hydrogeokemia, pintaympäristö ja vieraat aineet) tehdään oma raportti, jossa esitetään vuoden aikana tehdyt tutkimukset, ja vertaillaan saatuja tuloksia aiempien vuosien tuloksiin.

4.2.4.1 Kalliomekaniikka

Kallion siirtymämittaukset

Kallion siirtymien seuranta aloitettiin kahdella ekstensometrillä ja konvergenssilinjalla vuoden 2010 alussa noin 345 metrin syvyydellä sijaitsevassa tutkimustilassa 3 (Lahti & Siren 2012). Suoritettujen mittausten tulokset ovat noudattaneet louhintojen vaiheistusta. Kallio tutkimustilan seinän kohdalla on tutkimustilan laajennuksen aikana ekstensometrimittausten tulosten mukaan siirtynyt vaakasuunnassa alle yhden millimetrin. Mittaus on tehty aivan uuden seinälinjan takana kallion sisällä olevasta ankkurista ajotunnelissa noin 30 metrin päässä olevaan kiintopisteeseen. Tulokset olivat noin puolet ennustetuista. Konvergenssimittausten tulokset tutkimustilan laajennuksen aikana olivat ennustetusti vaakalinjalla noin 0,75 millimetriä.

Syksyllä 2011 asennettiin ONKALOn teknisten tilojen turvakeskuksen ja parkkihallin väliseen pilariin kaksi ekstensometriä kolmella seurantapisteellä. Ekstensometrit asennettiin ennen hallin louhintaa ja tutkimuksella seurattiin hallin louhinnan aiheuttamia muodonmuutoksia. Tulosten raportointi on kesken. Seurantaa jatketaan 5–10 vuotta riippuen laitteiston kestävyydestä ja mittaustuloksista.

TKS-2009-ohjelmassa suunnitellut kuiluperien konvergenssimittaukset on korvattu LVDT-kennolla tehtävillä mittauksilla, koska konvergenssimittauksissa käytettävä mittalaite (distometri) ei kestänyt märkiä tunneliolosuhteita. Lisäksi laitteen mittaustarkkuus ei ollut riittävä erittäin pienten muodonmuutosten mittaamiseen. Myös suunniteltujen ekstensometriä asennuksesta kuiluperien ympärille on luovuttu, koska tunneligeometria ei ole asennuksille suotuista johtuen erittäin pitkiksi muodostuvista asennusetäisyyksistä.

GPS-mittaukset ja tarkkavaaitukset

GPS-asemaverkon laajennus aloitettiin vuonna 2010 perustamalla neljä uutta asemaa, jotka sijaitsevat Olkiluodon salmen molemmin puolin. Samalla asemaverkkoa päivitetään muuttamalla vanhoja asemia jatkuvasti mittaaviksi.

GPS-mittauksilla seurataan Olkiluodon kallion vaaka- ja pystysuuntaisia suurlohkoliikkeitä. Pystysuuntaisen seurannan tarkentamiseksi GPS-mittauksia täydennetään tarkkavaaituksilla. Vuonna 1994 perustettua Olkiluodon GPS-verkkoa on mitattu kampanjoina tyypillisesti kaksi kertaa vuodessa keväällä ja syksyllä yhteensä 32 kertaa vuoden 2012 loppuun mennessä. Viimeisimpien raportoitujen vuoden 2011 tulosten perusteella Olkiluodon lähiverkossa (10 asemaa) 80 prosentilla pisteistä etäisyyden muutos on alle 0,10 mm vuodessa. Noin kolmasosalla pilariväleistä on tilastollisesti merkittävää liikettä ja maksimiliike on $-0,20 \pm 0,05$ mm vuodessa.

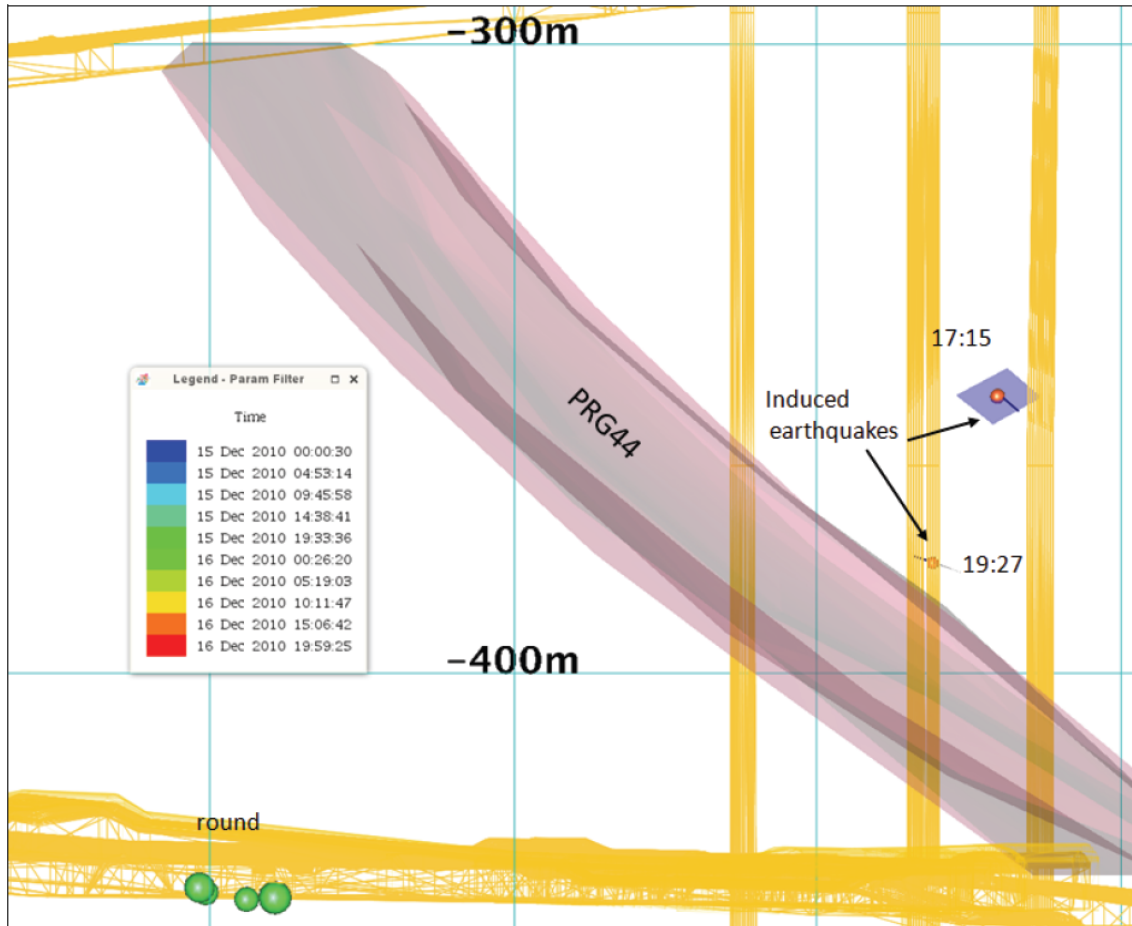
Olkiluodon ympäristön ulkoverkossa (5 asemaa) maksimiliike on $0,39 \pm 0,06$ mm vuodessa Eurajoensalmen ylittävällä pilarivälillä (Koivula ym. 2012). Tulokset viittaavat Olkiluodossa sijaitsevan GPS-pilarin hitaaseen liikkeeseen.

Tarkkavaaituksilla on seurattu erityisesti sekä Olkiluodon saarella että Olkiluodon salmen yli havaittujen suurimpien liikkeiden kehittymistä. Vuonna 2007 havaittu 1,9 mm muutos Olkiluodon salmen yli on raportoiduissa vuosien 2008 ja 2009 havainnoissa pienentynyt. ONKALOn päällä sijaitseva kiintopiste on jatkanut nousuaan ja voimalaitosten lähellä sijaitsevilla pisteillä on havaittavissa pieniä alle 1 mm korkeuden muutoksia (Lehmuskoski 2010). Vuosien 2010 ja 2011 tarkkavaaituskampanjat raportoidaan vuonna 2012.

Mikroseisminen verkko

Seismisellä seurannalla havainnoidaan Olkiluodon ja sen lähialueen seismisiä tapahtumia ja niistä mahdollisesti johtuvia kallion suurlohkojen liikkeitä. Asemaverkko havaitsee vuosittain yli tuhat tapausta, joista suurin osa on ollut ONKALOn louhintaräjähdyksiä. Muut seismiset tapahtumat ovat tyypillisesti joko maanpäällisten tai maanalaisten rakennustöiden aiheuttamia. Havaitut tapahtumat raportoidaan kuukausittain. Lisäksi tuloksista kootaan vuosiraportit. Vuonna 2010 paikannettiin 1 089 seismistä tapausta, jotka lähes kaikki ovat räjäytyksiä. Kolme tapausta voitiin luokitella rakennustöiden indusoimiksi mikrojäristyksiksi, jotka liittyvät kuilujen esi-injektointiin kairareikien kautta (kuva 4-23). Tapahtumat sijoittuvat 50–80 metriä lähimmän, jo louhitun, ONKALOn tilavuuden yläpuolelle. Kalliossa tapahtuneelle siirtymälle lasketut arvot olivat alle 5 μm ja laskettujen siirrostasojen säteet olivat alle 5 metriä (Saari & Malm 2011).

Mikroseismistä asemaverkkoa on vuosina 2010–2012 laajennettu maanalaisilla asemilla, jotka on asennettu ONKALOn tutkimustiloihin 3 ja 4. Vuoden 2012 alussa seurantaverkossa on mukana 15 pysyvän aseman lisäksi tutkimustilan 3 paikalliset asemat, jotka asennettiin seuraamaan kallion hilseilykoetta. Vuonna 2012 verkkoon liitetään myös paikallisia asemia kuilujen ympärillä tasoilla -290 m ja -437 m. Näiden asemien päätarkoitus on monitoroida kuilujen avauksen aiheuttamia kalliomekaanisia tapahtumia.



Kuva 4-23. Kuiluinjektointien yhteydessä 16.12.2010 havaitut mikromaanjäritykset osoittavat mikroseismisen verkon herkkyyden ja toimivuuden.

4.2.4.2 Hydrologia

Hydrologian monitorointitutkimukset ovat toteutuneet vuosina 2009–2011 pääosin monitorointiohjelman mukaisesti. Siihen kuuluvat seuraavat kohteet:

- pohjaveden pinnankorkeus,
- pohjaveden painekorkeus,
- avoimien reikien virtausolosuhteet,
- pohjaveden poikkivirtaus,
- kallion vedenjohtavuus,
- pohjaveden suolaisuus,
- ONKALOn vuotovedet,
- pintavalunta*,
- sadanta (ml. lumi)*,
- suotauma*, ja
- routa*.

(* Hydrologian monitoroinnin taustaparametreja, jotka raportoidaan ympäristön monitoroinnin yhteenvetoreportissa.)

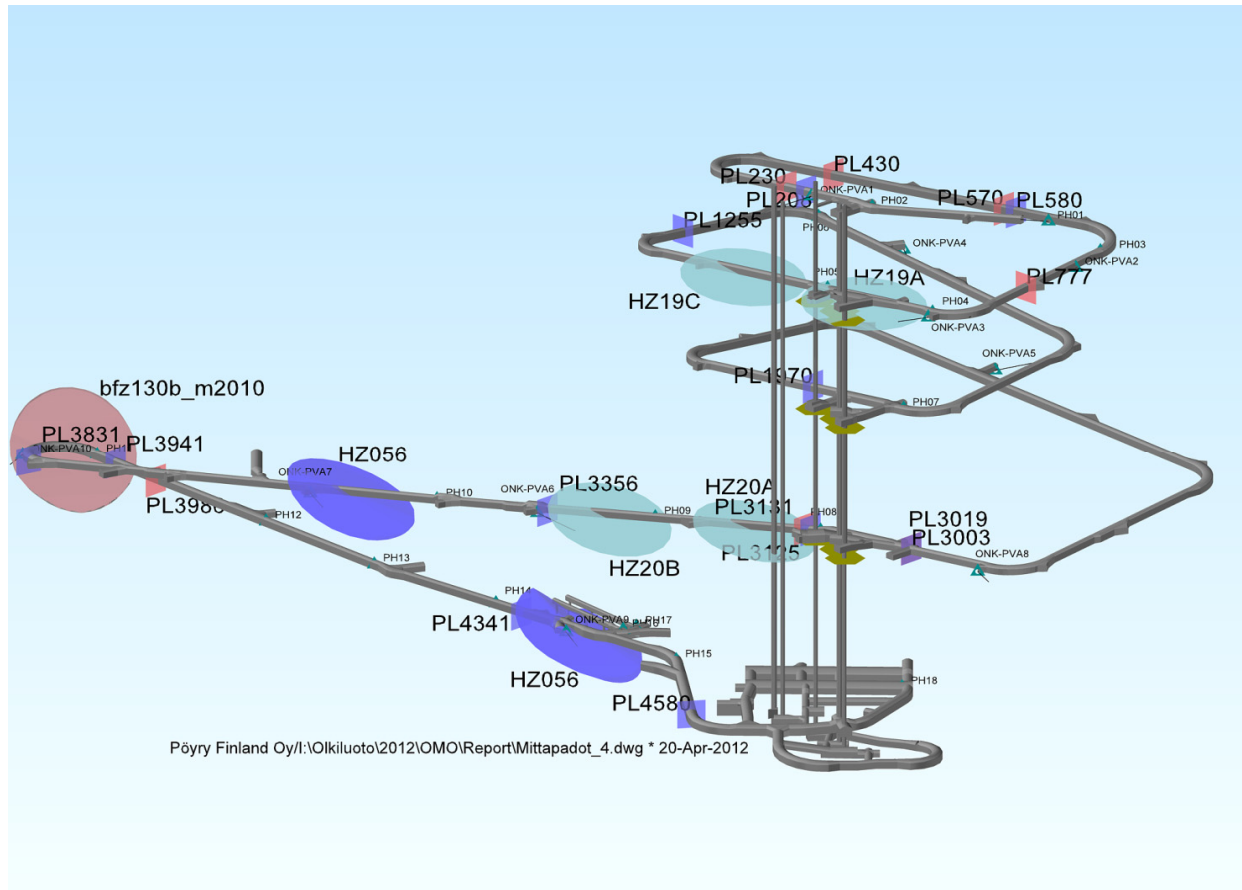
Pohjaveden painekorkeuksia seurataan jatkuvatoimisella mittausjärjestelmällä, jotta voidaan havaita mahdolliset äkilliset muutokset pohjaveden paineissa. Nämä muutokset

ovat indikaatioita mahdollisista hydraulisista yhteyksistä ONKALOon. Vuosien 2009–2011 pinnan- ja painekorkeuden tulokset on raportoitu yhteenvetoraporteissa Vaitinen ym. (2010b, 2012a ja 2012b).

Painekorkeuden monitorointiverkosta on laajennettu vuosittain tulppaamalla kairareikiä. Tulppauksilla pyritään myös ehkäisemään avoimien reikien vaikutuksia pohjavesikemiaan mm. estämällä pohjaveden virtaaminen pitkin kairareikää syvyystasolta toiselle. Pohjaveden pinnankorkeuden havaintoputkia on asennettu ja matalia kallioreikiä on tehty lisää, lähinnä Korvensuon altaan läheisyyteen sekä saaren itäosaan, pintavesien monitorointiverkon laajentamiseksi ja Korvensuosta suotautuvien vesien tutkimiseksi.

Korvensuon altaan vesitasetta sekä pinnankorkeutta on seurattu vuositasolla, jotta saataisiin selville altaasta pohjaveteen suotautuvan veden määrä ja sen mahdolliset vaikutukset pohjavesikemiaan.

ONKALOon on asennettu tunnelilouhinnan edetessä uusia mittapatoja (kuva 4-24). Vuoden 2012 alussa mittapatoja oli rakennettu yhdeksän ja ne sijaitsevat paaluluvuilla 208, 580, 1255, 1970, 3003, 3125, 3356, 3941 ja 4580. Mittapatoja käytetään kokonaisvuotovesimittauksissa, joita on tehty 1–2 kertaa kuukaudessa. TKS-2009-kauden aikana ONKALOn keskimääräinen vuotovesimäärä on ollut noin 33 l/min. Vuonna 2008 perustettu ONKALOn vuotovesien arviointiohjelma (WARVI) seuraa vuotovesihavaintoja ja vuotovesien aiheuttamia vaikutuksia pitkäaikaisturvallisuuskriittisten toimintojen näkökulmasta (vuotovesien hallinta).

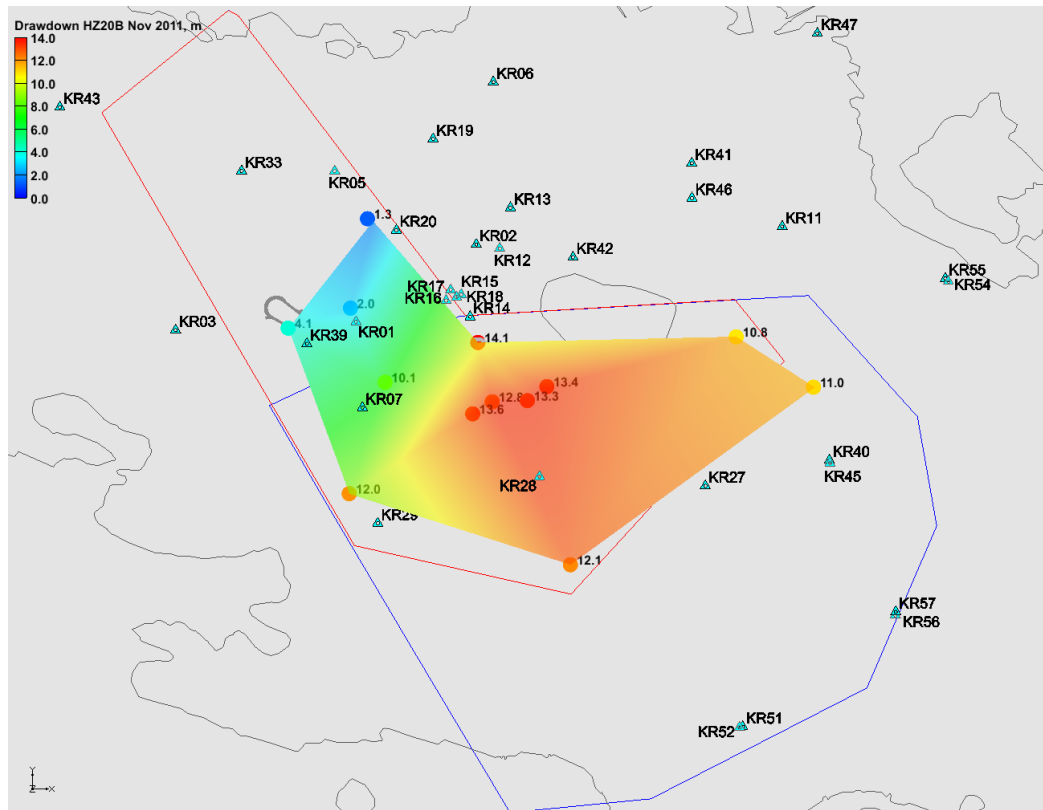
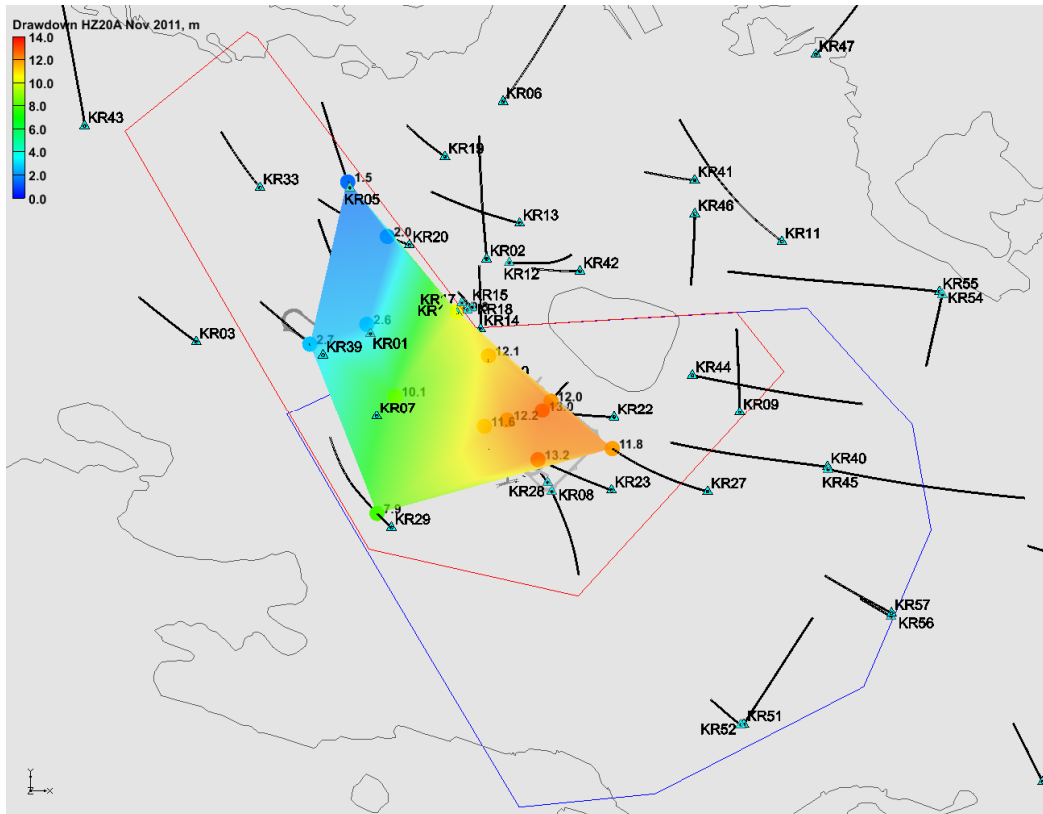


Kuva 4-24. Mittapatojen (violetti.), keräimien (punainen) ja kuilun vuotomittauspisteiden (keltainen) sijainnit ONKALOSSA. Lisäksi merkittävimmät hydrogeologisten rakenteiden sijainnit on visualisoitu kuvassa.

Monitorointiohjelman tuottamia havaintoja on käytetty pintahydrologian mallin ja hydrogeologisen rakennemallin taustatietona. Havainnoista on saatu vahvistustamallinnetuille rakenteille ja lisätietoa niiden ominaisuuksista ja jatkuvuudesta. Erityisesti voi mainita myös uusien paikallisten yhteyksien löytymisen ONKALON ja kairareikien OL-KR39 ja OL-KR3 välillä sekä lisääntyneet havainnot rakennemallin uusimmasta rakenteesta HZ056.

Tärkeimmät havainnot vuosilta 2009–2011 ovat (Vaitinen ym. 2010b, 2012a ja 2012b):

- Ei merkittäviä muutoksia pohjaveden pinnankorkeudessa maa- ja kallioperässä.
- Merkittäviä painekorkeuden alenemia kallioperässä etenkin mallinnettujen vyöhykkeiden kohdalla (HZ19, HZ20 ja HZ056 -rakenteet) (kuva 4-25).
- Sekä pitkäaikaiset että lyhytaikaiset painekorkeuden muutokset on saatu mitattua ja tulkittua tehokkaasti.
- Pohjaveden virtaussuunnissa on havaittu selviä muutoksia johtuen yhteyksistä ONKALON.
- Vähäistä, todennäköisesti injektoinneista johtuvaa, vedenjohtavuuden laskua on havaittu ONKALON lähellä sijaitsevilla kairareikiä.
- Viitteitä mahdollisista pohjaveden sähkönjohtavuuden muutoksista (suolaisuus) on havaittu virtausmittausten yhteydessä.



Kuva 4-25. Visualisointi alenemahavainnoista, joiden on tulkittu kuuluvan rakenteisiin HZ20A (punainen, ylempi kuva) ja HZ20B (sininen, alempi kuva).

4.2.4.3 Hydrogeokemia

Vuosina 2009–2011 hydrogeokemian monitorointiohjelma toteutui suunnitellusti. Pohjavesien monitorointiohjelma jakautuu maakerroksen ja kallion yläosien sekä syvien kalliopohjavesien tutkimuksiin. Tutkimusten pääpaino oli syvien kalliopohjavesien tutkimuksissa ja etenkin merkittävien hydrogeologisten rakenteiden (HZ19, HZ20 ja HZ21) sekä syvän suolaisen pohjaveden tutkimuksissa.

Muutoksia Olkiluodon alueen pohjavesikemiassa on havaittu, mm. kallion yläosan bikarbonaattipitoisia vesiä on kulkeutunut syvemmälle monitorointipisteisiin ONKALOn aiheuttaman hydraulisen gradientin vuoksi (Penttinen ym. 2012). Hydrologiset rakenteet HZ20A ja -B välittävät pohjavettä kohti ONKALOA, mikä aiheuttaa joko laimenemista tai suolaantumista riippuen siitä, onko monitorointireikä avoin vai tulpattu (Vaittinen ym. 2012b). Vyöhykkeessä HZ20A, joka on yhteydessä maan pintaan, tapahtuu yleisesti laimenemista. Sen sijaan vyöhykkeessä HZ20B sijaitsevien monitorointikohteiden on havaittu laimenevan, jos kairareikä on avoin ja suolaantuvan joissakin tapauksissa, jos kairareikä on tulpattu. (Vaittinen ym. 2012b). Lisäksi reiän OL-KR22 tulppauksen pettäminen kesällä 2009 on tehostanut bikarbonaattiveden virtausta HZ20-vyöhykkeeseen, mikä on havaittu vasta vuosien 2010 ja 2011 näytteenotossa (Penttinen ym. 2012a ja 2012b). Tulppauksen pettäminen on johtanut rakenteiden HZ20A ja HZ20B pohjavesien selkeään laimenemiseen reiässä OL-KR22 ja mahdollisesti se on myös osatekijänä rei'issä OL-KR25 ja OL-KR27 havaittuun rakenteen HZ20A pohjaveden vähäiseen suolaisuuden laskuun. Pohjaveden laimentumista on havaittu myös HZ19-rakenteiden yhteydessä (kairanreiässä OL-KR37). HZ21-rakenteesta tehdyissä vesinäytteenotoissa on havaittu, ettei ONKALOn aiheuttama korkea hydraulinen gradientti ole vielä vaikuttanut merkittävästi syviin suolaisiin pohjavesiin (Penttinen ym. 2012b).

Korvensuon altaan laimentava vaikutus pohjavesiin on havaittu etenkin sen läheisyydessä sijaitsevilla pohjaveden havaintoputkissa ja kalliorei'issä (Penttinen ym. 2012a).

ONKALOSSA pohjavesinäytteitä on otettu ohjelman mukaisesti ensisijaisesti pohjavesiasemista. Näissä on tehty sekä pohjavesikemiallisia että mikrobiologisia tutkimuksia, ja tulokset ovat vastanneet muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta hyvin pohjaveden luonnollista tilaa. Poikkeuksista mainittakoon nouseva sulfaattipitoisuus, joka havaittiin vuoden 2011 näytteenotoissa loppusijoitusyvytydellä olevassa pohjavesiasemassa (ONK-PVA9) (Penttinen ym. 2012b). Tämäkin muutos johtuu todennäköisesti ONKALOn aiheuttamasta hydraulisesta gradientista.

ONKALOn rakentamisen aiheuttamien vaikutusten tutkimuksia jatkettiin vesinäytteenotoin vettä vuotavista raoista ja rakovyöhykkeistä sekä ONKALOSTA pois pumpattavista vesistä. ONKALOn rakentaminen, erityisesti ruiskubetonointi, aiheuttaa ONKALOSTA pois pumpattaviin vesiin aika ajoin huomattavan korkeita pH-arvoja (10–12), jotka kuitenkin neutraloituvat nopeasti laskuojassa, eikä vesien ole todettu aiheuttavan ympäristölle haittaa.

4.2.4.4 Pintaympäristö

Ympäristön monitorointiohjelman tulokset on esitelty vuosittaisissa työraporteissa (Haapanen 2005–2012) sekä metsien tilan seurannan osalta omissa työraporteissaan (Aro ym. 2010, 2011). Vuosiraportit kokoavat yhteen myös ulkopuolisten tahojen, kuten TVO:n, tekemät ympäristötutkimukset Olkiluodon alueella. Monitorointiohjelma on toteutunut pääasiassa alkuperäisen monitorointisuunnitelman (Posiva 2003b) mukaisesti ja muutokset ovat olleet lähinnä aikataulullisia tai liittyneet monitoroinnin painopisteiden täsmentämiseen tutkimustiedon karttumisen myötä.

Suurimmat muutokset seurannan kohteena olevassa ympäristössä liittyvät maankäyttöön. Maankäytön muutoksiin varaudutaan tutkimustoiminnassa muun muassa perustamalla tarvittaessa uusia koealoja tuhoutuneiden ja uhattuina olevien tilalle sellaisille alueille, jotka tiedossa olevien suunnitelmien mukaan jäisivät tulevan rakennustoiminnan ulkopuolelle. Olkiluodossa tapahtuva rakennustoiminta mm. ONKALO-työmaalla ja OL3-voimalatyömaalla aiheuttavat lähiympäristöön pölypäästöjä, joiden ei kuitenkaan odoteta aiheuttavan pitkäaikaisia muutoksia ympäristössä. Ihmistoiminnan vaikutukset ovat nähtävissä myös meluarvoissa, joita nostaa erityisesti liikenne ja rakennustoiminta saaren eri osissa. Pölyn ja melun suhteen on käytännössä mahdotonta erottaa eri tahojen toiminnasta aiheutuvia vaikutuksia.

4.2.4.5 Vieraat aineet

Vieraiden aineiden seuranta ja valvonta on osa monitorointiohjelmaa. Vierailta aineilla tarkoitetaan kaikkia ONKALOn rakentamisessa käytettyjä materiaaleja ja aineita, jotka eivät kuulu loppusijoitusjärjestelmään. Vuosien 2009, 2010 ja 2011 aikana käsiteltiin kaikkiaan 12, 21 ja 51 kappaletta vieraisiin aineisiin liittyvää hakemusta tai aiemman käyttöalueen muutosehdotusta. Vierasaineiden lukumäärä on kasvussa, koska ONKALOSSA tehtävien erilaisten töiden ja tutkimusten määrä on koko ajan kasvanut.

Vuosien aikana on seurattu ONKALOSSA käytettyjen rakennusmateriaalien määrää. Urakoitsijoiden toimittamien pöytäkirjojen avulla lasketaan sementin kulutus niin injektioinneissa kuin ruiskubetonoinnissa. Myös räjähdysaineiden, maalien ja rakentamisessa käytettyjen erityyppisten metallipulttien määrää seurataan. Vuoden 2010 aikana aloitettiin systemaattinen sähköinen kirjanpito poltto- ja voiteluaineiden sekä rasvojen käytöstä.

ONKALOn louhintatyössä syntyvien ja kallioseiniin jäävien räjähdysainejäämien analysoinnin kehittäminen kahdella eri tekniikalla aloitettiin vuonna 2011. Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa otettiin pyyhkäisynäytteitä ONKALOn kallioseinästä. Toisessa tekniikassa kallioista otettiin kiviä näytteitä, jotka murskattiin ja niistä uutettiin vesiliukoiset tyyppiä sisältävät yhdisteet analysoitavaksi. Vuoden 2011 lopussa aloitettiin ONKALOn ajoväylän päällystämiseen suunnitellun Densiphalt-pinnoitteen liukoisuustutkimus, jonka tarkoituksena on tuottaa lisätietoa aineen mahdollisista pitkäaikaisturvallisuuteen vaikuttavista tekijöistä. Räjähdysainejäämien ja Densiphalt-tutkimusten analyysitulokset raportoidaan vuoden 2012 aikana.

4.3 Kalliotilojen rakentamisen kehittäminen

TKS-2009-ohjelmassa määriteltiin loppusijoitusjärjestelmä, jonka yhtenä osana kuvattiin Kalliotilat-tuotantolinja. Kalliotiloilla tarkoitetaan kaikkia kallioon tehtäviä loppusijoituslaitoksen kannalta tarpeellisia tiloja. ONKALOn rakentamisen yhteydessä tehty maanalaisen rakentamisen kehitystyö on ollut osana kalliotiloja ja niihin liittyvää TKS-työtä päättyvällä TKS-2009-kaudella.

ONKALOn ja myöhemmin loppusijoitustilojen rakentamisessa erityisiä vaatimuksia sisältyy louhinnan hallinnan ohella kallion tiivistämiseen ja lujittamiseen, jotka ovat tarpeellisia turvallisen tilan aikaansaamiseksi. Olennainen osa ONKALOn rakentamista ja kokemustiedon kartuttamista on ollut loppusijoitustunnelia demonstroivien tunnelien louhiminen sekä niihin porattujen koeluontoisten loppusijoitusreikien poraaminen, joista saatavaa kokemustietoa on hyödynnetty loppusijoitusjärjestelmän alkutilan kuvausta laadittaessa.

4.3.1 Kalliotilojen suunnittelu

Kalliotilojen suunnittelusta on olemassa kokemuksia pitkältä ajalta ja vaihtelevista kallio-olosuhteista. ONKALOn toteutettaessa suunnittelun menettelytavat ovat vakiintuneet. Suunnittelua koskevista vaatimuksista on pantu erityinen paino turvallisuuskriittisten toimintojen huomioon ottamiseen tiivistys-, louhinta- ja lujitussuunnittelussa.

Seuraavassa on esitetty ONKALOn toteutussuunnittelussa vallitsevat menettelyt, joita on sovellettu vuosina 2010–2012 ONKALOn louhintojen jatkuessa loppusijoitussyvyydellä ja joita sovelletaan myöhemmin loppusijoitustilojen rakentamista suunniteltaessa.

Lähtötiedot

Maanalaisten tilojen suunnitteluun käytetty lähtötieto koostetaan seuraavista aineistoista:

- kalliolaatumalli (tulkitut rakenteet ja niiden ominaisuudet, kalliolaatu, jännitystila, kiven lujuus),
- pilottirei'istä saatavat tiedot louhittavan kallion ominaisuuksista,
- tunnustelureikäutkimuksista saatavat tiedot louhittavan kallion ominaisuuksista,
- tunnelin geologisen kartoituksen rakoilu- ja heikkousvyöhyke-havainnot (rakosuunnat ja -tiheydet, heikkousvyöhykkeet ja niiden asennot, rakotäytteet, rakoavaumat), sekä
- tunnelin vuotovesimäärätiedot (mittapadot).

Pilottireikien kattamista kallio-osuuksista laaditaan suunnittelua varten kolmiulotteinen, yksityiskohtainen malli, jota käytetään myös RSC-luokitteluun.

Injektointisuunnittelu

Pilottireiästä saatujen havaintojen sekä muun käytettävissä olevan tiedon perusteella on laadittu tyyppisuunnitelmat, joita on tarkennettu tunnusteluporaushavaintojen,

tunnelikartoituksien ja vuotovesimittausten perusteella. Pilottireikien kattamilla osuuksilla on käytetty hyväksi kyseiseltä osuudelta laadittua vyöhykemallia, vuotovesiennustetta ja arviota injektoitavuudesta.

Louhintasuunnittelu

Louhintasuunnittelu on tehty kallioteknisen suunnittelijan ja työmaan yhteistyönä. Kalliotekninen suunnittelija on laatinut arkkitehtikuvista louhintapiirustukset ja muokannut suunnitelmat tarvittaessa louhintakaluston asettamien vaatimusten mukaan. Panostussuunnittelun sekä louhintaan liittyvät menetelmäkuvaukset on tehnyt ONKALO-työmaan urakoitsija. Urakoitsijan laatimat menetelmäkuvaukset ja työsuunnitelmat on tarkastettu Posivan toimesta ennen niiden täytäntöönpanoa, jolloin on voitu varmistaa työmaan ja urakoitsijan huomioivan myös työn suorittamisessa Posivan asettamat laatu- ja turvallisuusvaatimukset.

Louhintasuunnittelussa on otettu huomioon louhinnan aiheuttama vauriovyöhyke (EDZ). Louhinnan hallittavuutta on parannettu ja suunnitteluun on sisällytetty aiemmin toteutetun EDZ09-projektin tulokset ja johtopäätelmät (Mustonen ym. 2010). Lisäksi kehitystyötä on tehty edelleen demonstraatiotunnelien louhinnan yhteydessä. Käytäntöön on otettu uudet menettelyt liittyen avaukseen, reunareikäväleihin ja reunareikien räjähdysainetyyppien käyttämiseen. Näiden testaamalla saatujen kokemusten perusteella on määritetty käytettävät porauskaaviot, räjähdysaineet ja nallit sekä panostusperiaatteet. Kaikkea louhinnasta ja sen hallinnasta saatua kokemusta on sovellettu ONKALossa ja sovelletaan myöhemmin myös loppusijoitustiloissa.

Yllä mainittujen projektien tulosten perusteella on kehitetty myös EDZ-vyöhykkeen todentamismenetelmää. Tutkittuja menetelmiä ovat olleet mm. reiänpuolikkaiden havainnointi, maatutkaus, seismiset mittausten menetelmät sekä ultraäänimenetelmät, joista maatutkaus on menetelmänä tarkoituksenmukaisin.

Kalliolujitusten suunnittelu

Kalliolujitukset on jaettu kahteen ryhmään: työnaikaiset lujitukset ja lopulliset lujitukset. Työnaikaisen lujituksen suunnittelun lähtötiedot ovat tunnustelureikien havainnot, mahdollisen pilottireiän havainnot, vuorotyönjohtajan ennen katkon lastausta tekemä katselmus ja tunnelikartoituksen ensimmäinen vaihe, ns. katkokartoitus sekä työn aikana tehtävät havainnot. Suunnittelu on perustunut Q-kalliolaatuluokituksen mukaiseen lujitussuunnitteludiagrammiin ja tunnelissa tehtyihin havaintoihin irtonaisista lohkoista. Lopullisen lujituksen esisuunnittelu on tehty kalliolaatumalliin perustuen. Lopullinen lujitus on esitetty lujituspiirustuksissa, joissa on määritetty suunnittelualueen todennäköiset lujitustyyppit sekä tyyppilujituspiirustuksista, joissa on oletetut lujitusvaihtoehdot suunnitellulle tunneliosuudelle. Lujitussuunnittelussa on pyritty siihen, että työnaikainen lujitus tehdään suoraan lopulliseen tasoon niille osille, joissa todetaan lujitus tarpeelliseksi. Lujittamattomille ja työnaikaisesti lujitetuille osille on tehty kartoitusten jälkeen puuttuva lopullinen lujitus.

Työnaikaisen lujituksen vaiheistusta on muutettu vuoden 2011 aikana siten, että kukin katko on lujitettu ennen seuraavan katkon räjäytystä. Lopullisen lujituksen tekemisen

yhteydessä aiemmin tehdyt työnaikaiset lujitukset on tarkastettu ja ne on voitu hyväksytyin osin ottaa osaksi lopullista lujitusta.

4.3.2 Kallion tiivistys

Injektointimateriaalit määräytyvät vaatimuksena olevien pitkäaikaisturvallisuuskäyttökohtien perusteella ja materiaalien teknisten ominaisuuksien perusteella. Materiaalin tulee olla erikseen arvioitu, hyväksytty ja sen käyttö ohjeistettu, jotta hyvällä varmuudella voidaan arvioida sen mahdolliset vaikutukset loppusijoitusjärjestelmään.

Materiaalien valinnat tehdään injektointia valmisteltaessa teknisten ominaisuuksien ja injektoitavan kallion rakoavaumien perusteella. Hyväksyttyjä materiaaleja ovat matalan pH-arvon omaavat sementtilaastimassat sekä kolloidinen silika. Injektointimassoissa on käytetty hyväksyttyjä kiihdyttimiä ja geeliytymisajan säätämiseen tarvittavia lisäaineita.

Injektoinnin aloituskriteerit on saatu tunnustelurei'issä tehtävien vesimenekkikokeiden ja virtausmittausten tuloksina. Suunnittelija on määrittänyt raja-arvot injektoinnin aloituskriteereiksi sekä käytettävän injektointimateriaalin valintakriteereiksi. Ohjeistus ja määrittely sallituille vuotovesimäärille sekä niiden kontrollointi on saatu pitkäaikaisturvallisuusasiantuntijoilta (vuotovesiryhmä WARVI).

Kuilitiivistyksiä varten on tutkimuskairareikähavaintojen perusteella määritetty tarvittavien injektointireikien määrä ja sijainti sekä injektoinnin vaiheistus eri tasoille. Havaintojen perusteella on päätetty, miten syvälle missäkin vaiheessa injektointi on kohdistettu. Ensisijaisesti kuilujen vuotovesiä on pyritty hallitsemaan esi-injektioinneilla eikä jälki-injektioita ole tarvinnut tehdä. Käytettävissä olevan tiedon ja kokemuksen perusteella jälki-injektoinnin ja sen onnistumisen on todettu olevan haasteellisempaa kuin esi-injektoinnin.

Injektointityö, tunnelit ja kalliotilat

Injektointityö muodostuu seuraavista työvaiheista:

- tunnustelureikien poraus,
- vuotovesimittaus,
- vesinäytteiden otto,
- vesimenekkikokeet ja
- virtausmittaukset.

Mikäli injektointikriteeri täyttyy ja tiivistystyö aloitetaan, työvaiheet ovat

- injektointiviuhkan poraus, kuiluissa kairaus,
- injektointi,
- kontrollireikien poraus ja
- kontrollireikien vesimenekkikokeet.

ONKALOSSA kalliota on tiivistetty kaikkialla, missä on todettu määritettyjen vuotovesimäärien ja kalliolaadun sitä edellyttävän. ONKALON tilat tiivistetään injektioimalla, mutta loppusijoitustiloissa tehdään harkitun rajoitetusti kallion tiivistämistä. Esi- ja jälki-injektioita varten on kehitetty matalan pH-arvon omaaviin

sementtimassoihin ja kolloidisen silikan käyttöön perustuvia menetelmiä. Loppusijoitustilojen injektoinnin tarpeellisuutta arvioidaan myöhemmin uudelleen loppusijoitusjärjestelmän suunnitteluvaatimusten ja teknisen toteutettavuuden kannalta.

Loppusijoitustasolla ja teknisissä tiloissa on testattu vuosien 2011–2012 aikana tunneleiden ja kuilujen tiivistykseen liittyviä vaihtoehtoisia menettelytapoja, menetelmiä ja materiaaleja. Testattujen menetelmien ja materiaalien soveltuvuuden ja toimivuuden varmistamisella on varmistuttu loppusijoituslaitoksen injektointiin tarvittavasta valmiudesta. Osoitettuun valmiuteen liittyvät kokemukset mm. käytettävistä laitteistoista, paineolosuhteista, suoritusjärjestelyistä, materiaaleista ja resepteistä sekä injektoinnin tuloksen toteutamisesta. Injektointitulokset ovat olleet asetettujen tavoitteiden mukaisia ja vuotovesien sallitut raja-arvot on ONKALOn osalla alitettu.

4.3.3 Louhinta

ONKALOn ajotunneli sekä siihen liittyvät muut tilat on tehty poraus-räjäytysmenetelmällä. Kuilut on toteutettu täysprofiiliporauksella, poraamalla ensin pilottireikä kuilun keskelle ja avartamalla kuilu sitten lopulliseen kokoon. Loppusijoitustiloihin vievät keskustunnelit sekä itse loppusijoitustunnelit on myös suunniteltu tehtävän poraus-räjäytystekniikalla.

Poraus-räjäytystekniikka on louhintamenetelmänä hyvin tunnettu ja sitä käytetään yleisesti normaalissa kallionrakennuksessa maan päällä, veden alla sekä tunnelilouhinnoissa. Louhinnoissa on päättävän TKS-kauden aikana kiinnitetty erityistä huomiota louhinnan aiheuttaman häiriövyöhykkeen sekä louhintatarkkuuden hallintaan. Posiva on löytänyt louhintaan koeteltuja ratkaisuja, joita voidaan soveltaa keskus- ja loppusijoitustunneleita louhittaessa. Asetetut vaatimukset ja suunnitteluratkaisut määräävät kaluston valinnan ja kunkin osa-alueen lopullisen toteutuksen soveltamisen kuhunkin kallio-olosuhteeseen.

Vaatimuksiin soveltuvan tekniikan ja kaluston ohella on todettu, että henkilöstön tulee olla paitsi kokenutta, myös hyvin perehtynyttä ja motivoitunutta tehtäviinsä. Kaikki sovellettavat työmenetelmät tulee olla kuvattuina ja koestettuina, lisäksi toimintarutiinien tulee olla yhtenäiset kaikilla. Työn kelpoisuuden osoittaminen (testaus- ja tarkastussuunnitelmat, laatutallenteet) on dokumentoitu kattavasti ja kaikki tiedot (suunnitelmat ja toteumatiedot) on tallennettu siten, että asiat ovat myös myöhemmin jäljitettävissä.

Louhinnan aiheuttaman häiriön hallinnassa on pyritty kehittämään tapoja, joilla voidaan toisaalta pienentää häiriövyöhykettä ja toisaalta vähentää sen vaikutusta. Kehitysprojektien oppeja sovellettaessa on testattu edelleen seuraavia asioita:

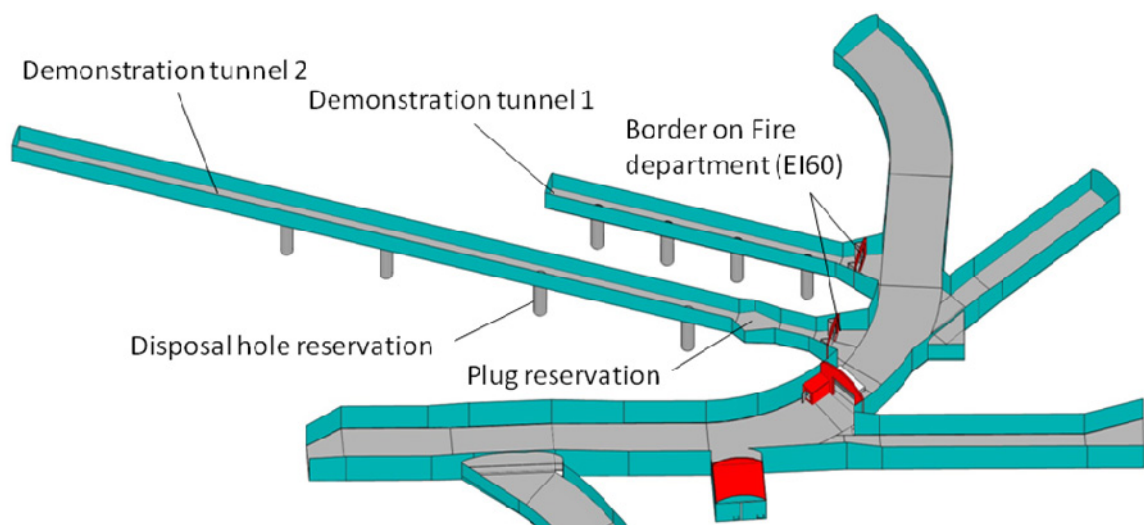
- ennustetun vauriovyöhykkeen toteutuma suhteessa vaatimuksiin,
- vauriovyöhykkeen mittaaminen,
- poraustarkkuus ja sen hallinta,
- laitteiston asettamat rajoitteet mm. piston suhteen,
- emulsio- ja patruroidun räjähdysaineen käyttövertailut,
- elektronisten nallien testaus, ja

- käyttökelpoinen ja varmennettu testausmenetelmä, jolla louhintavaurion ominaisuuksia ja vaikutuksia voidaan todentaa.

ONKALOn louhinnasta saatujen kokemusten sekä muualta, esimerkiksi Äspön kalliolaboratoriosta, saatujen tietojen perusteella poraus- ja panostusmenetelmässä ei ole missään työvaiheessa ilmennyt ongelmia ja siitä ei aiheudu pitkäaikaisturvallisuuden kannalta mitään merkittävää haitallista vaikutusta, joka estäisi poraus-räjäytysmenetelmän käytön loppusijoitustunneleiden louhinnassa.

4.3.4 Demonstraatiotunnelit

ONKALOn toteutuslaajuuteen sisältyy testaus- ja demonstraatiotilat (kuva 4-26), jotka on suunniteltu suurimmaksi osaksi loppusijoitustunnelin mitoituksella ja vaatimuksilla. Tunneliprofiilia on hieman muutettu suhteessa loppusijoitustunnelin profiliin (seinä on tehty korkeampana ja kattokaari matalampana), jotta loppusijoitusreikien poralaite on voitu sovittaa näihin tunneleihin. Poralaitteen kehitystyön tässä vaiheessa lisäkorkeus tunnelien ylänurkissa katsottiin tarpeelliseksi. Kahden demonstraatiotunnelin suunnitelmat laadittiin vuoden 2010 aikana ja tunnelit louhittiin vuosien 2011 ja 2012 aikana. Tunnelien suunnittelussa, sijoittelussa ja louhinnassa sovellettiin ja testattiin myös RSC-menetelmää.



Kuva 4-26. Testi- ja demotunnelit ONKALOSSA noin tasolla -420 m.

Demonstraatiotunneleiden suunnittelupituus oli 80 metriä. Louhittaessa demonstraatiotunnelia 1 haluttiin välttää kairauksissa paikallistetun vettä johtavan rikkonaisuusvyöhykkeen lävistäminen. Tunneli toteutui 52 metrin mittaisena ja siihen porattiin keväeseen 2012 mennessä neljä loppusijoituskoereikää. Reiät porattiin tätä työtä varten kehitetyllä poralaitteella, jota kehitetään edelleen loppusijoitusreikien poralaitteeksi (ks. kuva 6-12). Reikiä voidaan käyttää myöhempisiin testeihin ja tutkimuksiin.

Toinen demonstraatiotunneli toteutui 105 metrisenä, jolloin tämän tunnelin louhinnassa oli mahdollista testata vettä johtavan rakovyöhykkeen tiivistämistä käyttämällä injektoinnissa kolloidista silikaa. Silikalla injektointiin liittyy tarvetta kehitystyöhön,

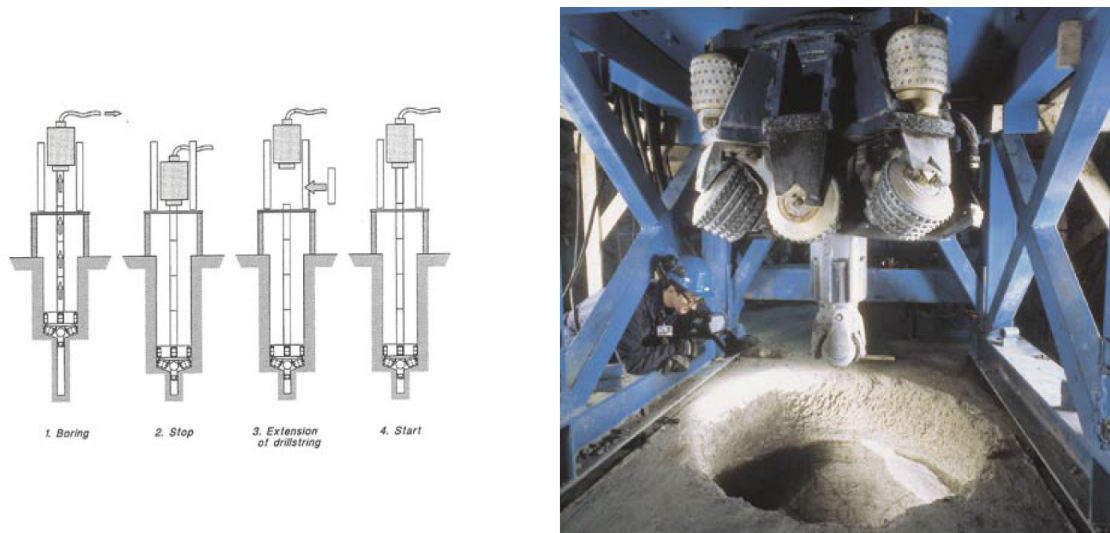
mutta koeinjektointien tulokset olivat niin lupaavia, että tulosten perusteella silikainjektointia on käytetty tämän jälkeen myös ajotunnelin esi-injektointeihin onnistuneesti.

Demonstraatiotunneleissa käytettiin lujitukseen teräsverkkoa ja pulttitusta, jolloin kallion pintaa voidaan tarkastella visuaalisesti myös myöhemmin ja seurata kalliossa tapahtuvia mahdollisia muodonmuutoksia paremmin. Lisäksi tällä menetelmällä voidaan vähentää edelleen loppusijoitustiloissa käytettävän betonin määrää. Käytettyä lujitusmenetelmää voidaan soveltaa myöhemmin myös muissa kalliotiloissa ja tunneleissa.

4.3.5 Loppusijoitusreikien poraaminen

Sekä SKB että Posiva ovat testanneet aiemmin loppusijoitusreikien porausta. Ensimmäinen testi toteutettiin vuosina 1994–1995 Olkiluodon VLJ-luolassa sijaitsevassa tutkimustunnelissa, jonne porattiin kolme 7,5 metriä syvää reikää, nimellishalkaisijaltaan 1 527 mm (Autio & Kirkkomäki 1996). Käytetty tekniikka oli täysprofiiliporaus (Down Reaming Method, DRM) (kuva 4-27). Vuosina 2010–2012 kehitettiin loppusijoitusreikien poraustekniikkaa suunnittelemalla ja hankkimalla reikien porauslaite. Poralaitteella porattiin neljä täysimittaista (OL1-2-polttoaineen kapselille) loppusijoituskooreikää demonstraatiotunneliin. Työn lähtökohtana olivat TVO:n VLJ-luolaan teettämän poraustyön tulokset ja Äspön kalliolaboratoriossa tehdyt poraukset sekä SKB:n teettämät esiselvitykset. Puskurin reiälle asettamat vaatimukset määriteltiin ja huomioitiin laitteistoa kehitettäessä ja reiän poraamista harjoiteltaessa. Vaatimukset liittyvät reiän suoruuteen, pinnan sileyteen ja eheyteen, pohjan muotoon sekä tasaisuuteen ja suoruuteen.

Reikien paikaksi soveltuvien tunneliosuuksien valinnan (RSC-menetelmä) jälkeen ja suunnittelijan antaman soveltuvuusarvion jälkeen porattiin pilottireikä, jonka perusteella paikan soveltuvuudesta annettiin kelpoisuusarvio. Hyväksytyn pilottireikävaiheen jälkeen varsinainen kapselireikä avarrettiin alaspäin poraten lopulliseen kokoonsa. Kuttereitten murskaama kiviaines ja porauksessa käytetty huuhteluvesi imettiin alipaineella poraputkien kautta pois reiästä porauksen edistyessä.

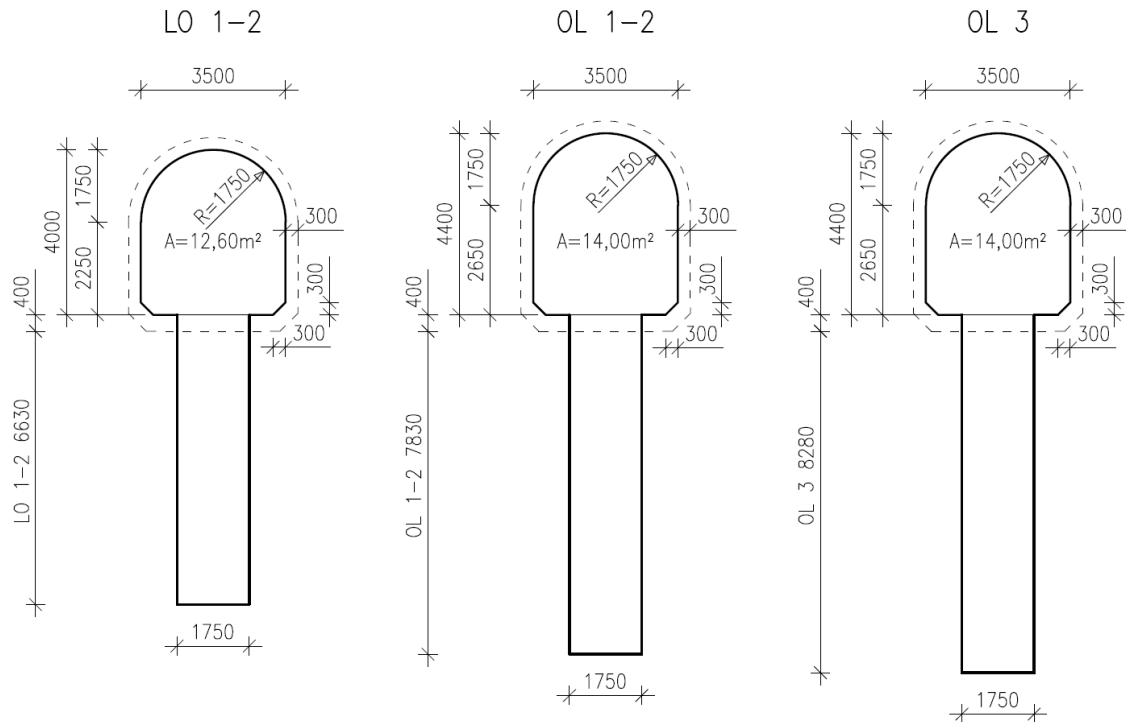


Kuva 4-27. Loppusijoitusreikien testiporaus Olkiluodossa DRM-tekniikalla (Autio & Kirkkomäki 1996).

Poraukselle asetetut tarkkuusvaatimukset reiän suoruuden, halkaisijan vaihtelun yms. suhteen saavutettiin, mutta porausnopeus ei ollut odotusten mukainen. Porausnopeuden ei todettu olevan testausvaiheessa kriittinen, joten siihen liittyvää kehitystyötä voidaan jatkaa myöhemmin. Loppusijoitusreiälle asetettujen vaatimusten saavuttamisella on suuri merkitys, koska reiän muoto ja dimensiot ovat tärkeitä vaatimustenmukaisen puskurin toteuttamiselle (kuva 4-28). Samanaikaisesti, kun laitteiston tehokkuutta kehitetään, pidetään huoli siitä, että loppusijoitusreiälle asetetut vaatimukset täyttyvät.

Reikien poralaite- ja poraushankeessa (KapRe-projekti) tarkasteltiin ja kehitettiin erityisesti seuraavia asioita:

- Porasoijan huuhtelujärjestelmän optimointi.
- Avarruspään suunnittelu; leikkureiden määrä, sijoittelu, muoto ym., jotta reiän pohjaan saadaan haluttu muoto ja tasaisuus sekä samalla myös muut reiän geometriset vaatimukset täyttyvät.
- Kallion soveltuvuusluokitus (RSC) toimii läheisessä vuorovaikutuksessa loppusijoitusreiän porauksen kanssa.
- Porauslaitteen prototyypin rakentaminen.
- Testit ONKALON ulkopuolella ja testitiloissa ONKALOSSA.



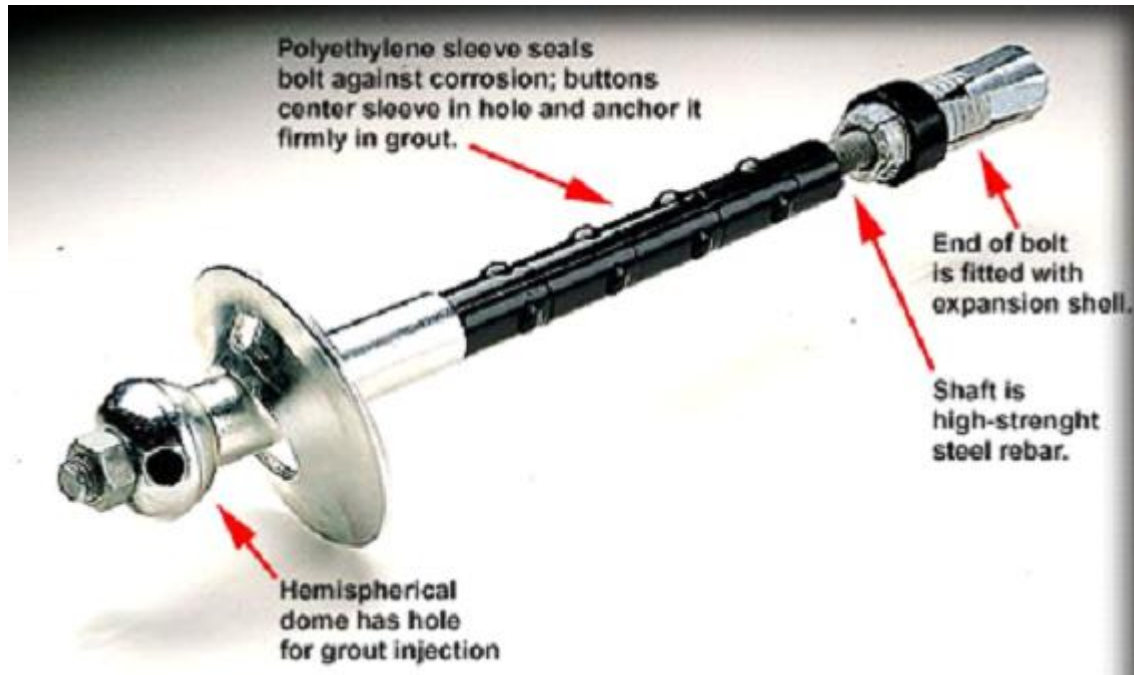
Kuva 4-28. Loppusijoitustunnelien ja -reikien päämitat (ilman viisteitä) eri kapselityypeille (Saanio ym. 2012).

4.3.6 Kalliolujitukset

Kalliolujituksia tehdään tarpeen mukaan kaikissa loppusijoituslaitoksen tiloissa. ONKALOn lujituksia tehtäessä lujitusta koskevia käytäntöjä ja vaatimuksia on edelleen täsmennetty ja tarkastelun kohteena on erityisesti ollut ns. turvaruiskutus sekä välittömän ja lopullisen lujituksen suhde ja toteuttaminen rytmittämällä paremmin räjäytystöihin.

Välitön ja lopullinen lujitus

ONKALossa on aiemmin ollut välittömässä lujituksessa käytettävänä pulttityyppinä kuvan 4-29 mukainen ruostumattomasta tai sinkitystä teräksestä valmistettu CT-pultti. ONKALossa käytetyissä pulteissa on kuvassa oleva muoviputki korvattu teräksellä. Juottamisen jälkeen ruostumattomasta teräksestä valmistettu CT-pultti toimii lopullisena lujituksena. Aiemmin käytettyjen sinkittyjen CT-pulttien viereen on asennettu tai asennetaan lopullisen lujituksen yhteydessä ruostumattomasta materiaalista valmistettu pultti. Nämä, samoin kuin muut lopullisen lujituksen pultit, ovat jännitettyjä aluslevyllisiä kiilapultteja tai aluslevyttömiä harjateräspultteja. Vuosien 2010–2011 aikana tehdyn kehitystyön tuloksena on lujituksissa ryhdytty käyttämään uutta ns. paisuntakuorista pulttia (Fin-Bolt), joka on valmistettu niin ikään ruostumattomasta teräksestä.



Kuva 4-29. CT-pulitti.

Tarvittaessa on käytetty ruiskubetonia joko teräskuiduilla tai ilman sekä kallioverkotusta. Välittömän ruiskubetonin täyttäessä kelpoisuuskokeiden vaatimukset se on voitu hyväksyä lopulliseksi lujitukseksi. Muussa tapauksessa sitä on täydennetty lopullisella lujituksella.

Lopullisessa lujituksessa käytetään joko ruiskubetonia tai verkotusta, mikäli kalliopinta halutaan jättää näkyviin esim. tutkimussyistä. Kuitubetonin teräskuitujen materiaali on ruostumatonta terästä.

Kalliolujitusten asentaminen ja purkaminen

Kallion lujittaminen pultituksen tai ruiskubetonoinnin avulla on tunnettua tekniikkaa. Toisaalta kehitystarpeita on tunnistettu olevan lähinnä asennustekniikassa ja rytmittämisessä muuhun työn suoritukseen. Ruiskubetonin käyttöön on liittynyt ajoittain ongelmia sen alkulujuuden kehittymisessä, minkä vuoksi Posiva on kehittänyt ja testannut uusia ruiskubetonireseptejä, joilla saadaan huomattava parannus lujituksen varhaiseen lujuuden kehitykseen ja joilla tilojen turvalliseksi saattaminen on nopeampaa. Lujituksen purkamisen testaamista ei ole vielä kokeiltu ONKALossa.

4.4 Tarvittavien ydinlaitosten suunnittelu

4.4.1 Laitoskokonaisuus

Posivan laitoskokonaisuus koostuu kahdesta valtioneuvoston asetuksen (736/2008) mukaisesta ydinjätelaitoksesta. Nämä ovat kapselointilaitos ja loppusijoituslaitos. Kapselointilaitoksessa suoritetaan käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi loppusijoituskapseleihin. Posivassa tehdyn päätöksen mukaisesti kapselointilaitos on päätetty sijoittaa loppusijoitustilojen yläpuolelle Posivan hallinnoimalle alueelle.

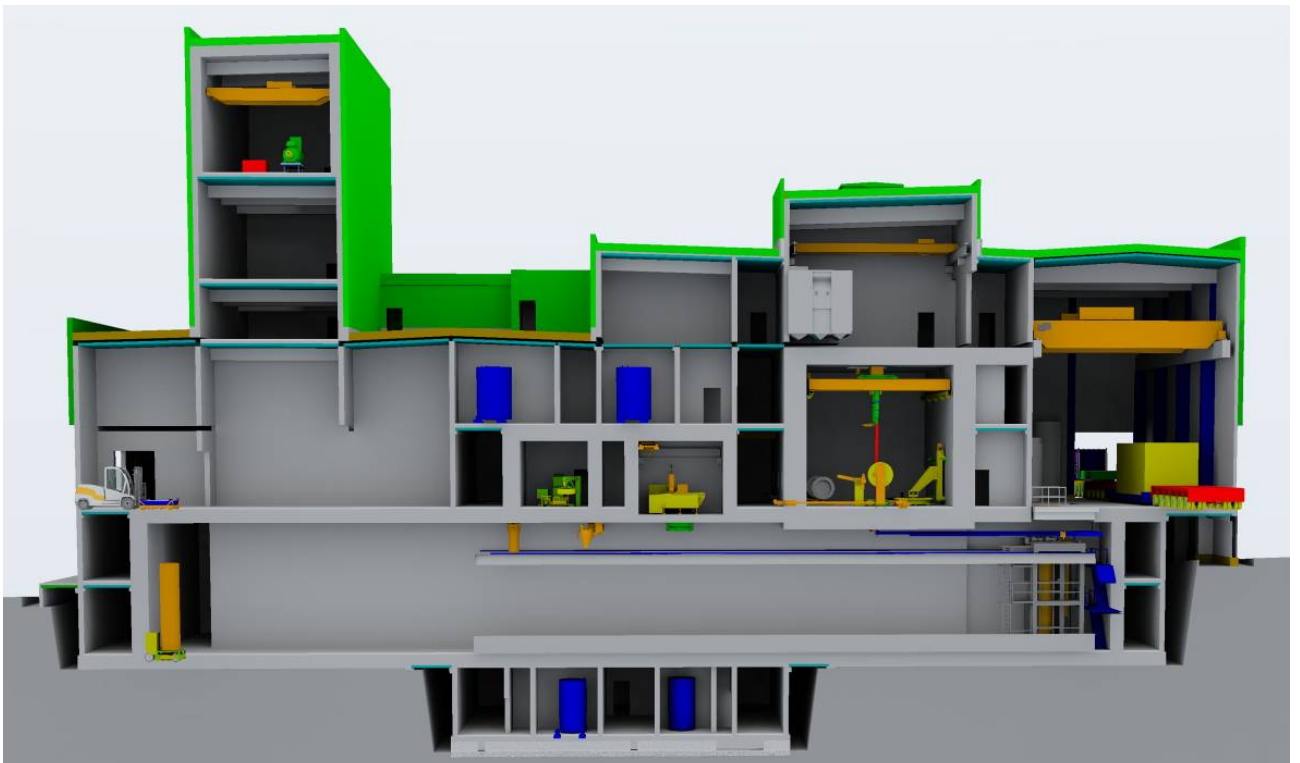
Nykyisessä referenssisuunnitelmassa kapselointilaitos ja loppusijoituslaitos kytkeytyvät toisiinsa kapselikuilun välityksellä.

Loppusijoituskapselit siirretään kapselointilaitoksesta loppusijoituslaitokseen, joka koostuu maanalaisista loppusijoitustiloista, näitä yhdistävistä keskustunneleista, ajotunnelista, kuiluista sekä muista maanalaisista apu- ja teknisistä tiloista. Loppusijoituslaitos sisältää myös loppusijoitustilan matala- ja keskiaktiiviselle jätteelle, jota syntyy pääasiassa kapselointilaitoksessa ja sen käytöstäpoistossa. Lisäksi loppusijoituslaitokseen kuuluvat maan päällä sijaitsevat loppusijoituslaitoksen toimintaa palvelevat aputilat, kuten ilmanvaihtorakennus sekä nostinlaiterakennus. Nykyinen referenssisuunnitelma (Palomäki & Ristimäki 2012) perustuu vuoden 2012 suunnittelutilanteeseen.

4.4.2 Kapselointilaitoksen suunnittelu

Kapselointilaitos koostuu käytetyn polttoaineen kapselointitoimintaa varten toteutettavasta rakennuksesta. Kapselointilaitoksen viimeisin laitossuunnitelma on esitetty pääpiirustusvaiheen suunnitelmaraportissa (Kukkola 2012). Kuvassa 4-30 on esitetty leikkaus kapselointilaitoksesta kapselin siirtokäytävän kohdalta.

Vuonna 2010 Posivassa tehdyn päätöksen mukaisesti kapselointilaitos toteutetaan loppusijoituslaitokseen kytkeytyen Posivan hallinnoimalle alueelle Olkiluodossa. Tämä sijaintipaikkavaihtoehto on ollut jo pitkään myös Posivan referenssisuunnitelma sijaintipaikaksi. Nykyisen suunnitelman mukaan loppusijoituskapselit siirretään kapselointilaitoksesta loppusijoituslaitokseen kapselihissin avulla. Päätöksen myötä koko kapselointi- ja loppusijoitustoiminta keskittyy tiivisti yhdelle laitosalueelle.



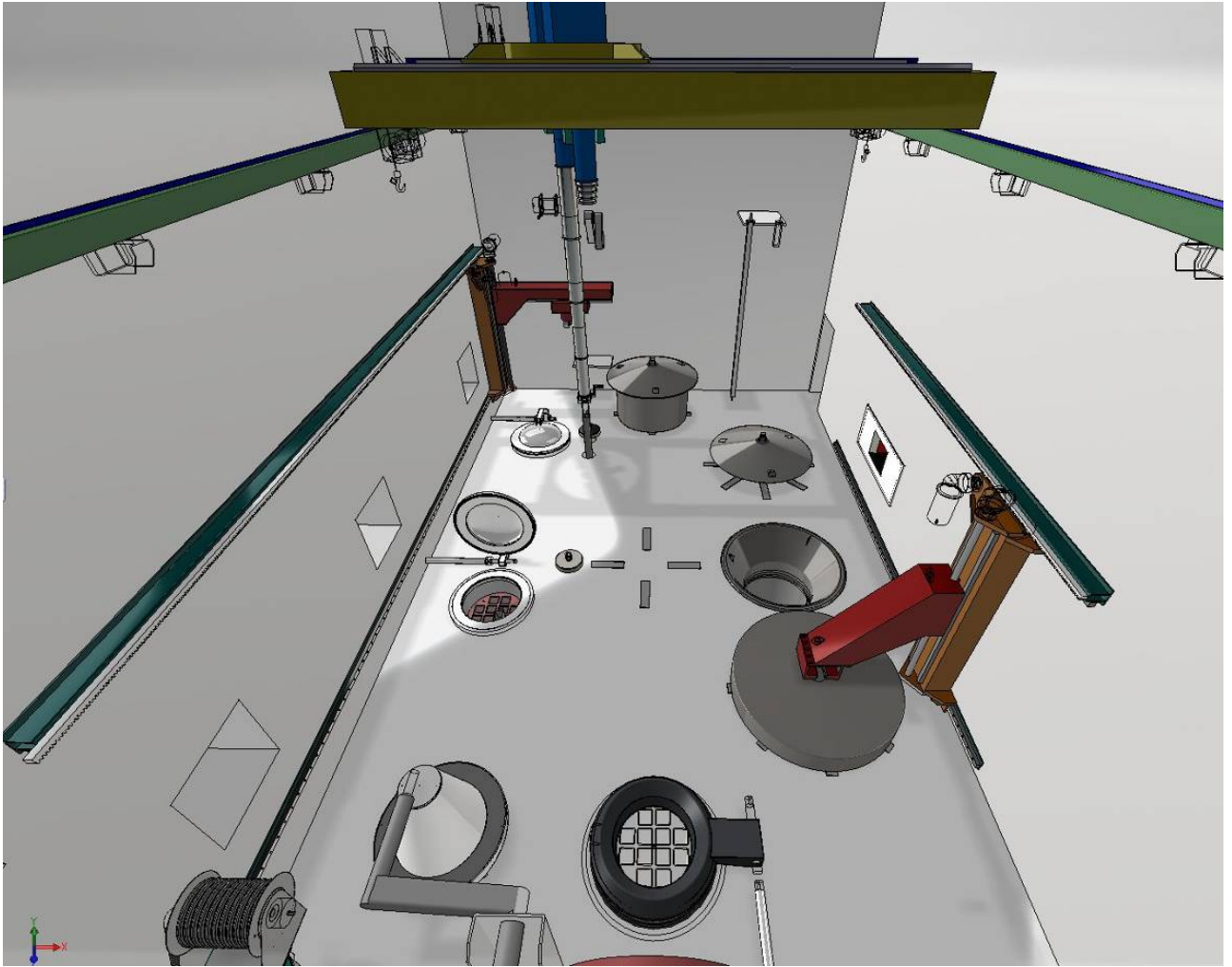
Kuva 4-30. Kapselointilaitoksen leikkauskuva

Kapselointiprosessiin liittyvien järjestelmien ja laitteiden suunnittelu on edennyt suunnitellusti ja tarkentuneilla suunnitelmilla on ollut pieniä vaikutuksia myös kapselointilaitoksen layoutiin. Merkittävimmät järjestelmäsuunnitelmapäivitykset ovat kohdistuneet kapselin siirtovaunun ja kapselin siirtokäytävän muiden laitteiden suunnitteluun (Suikki 2011), polttoaineen siirtokoneen ja käsittelykammion apujärjestelmien suunnitteluun (Suikki 2012a) sekä kapselin siirtotrukin (aiemmin vihivaunu) suunnitteluun (Suikki 2012b).

Lisäksi kapselointilaitoksen sähköjärjestelmien periaatesuunnitelma (Tuominen 2012) ja ilmanvaihdon periaatesuunnitelma (Nieminen 2012) on päivitetty. Päivitetyissä suunnitelmissa on parannettu turvallisuuden kannalta merkittävien järjestelmien (ilmanvaihto, jälkilämmön poisto) toimintaa mahdollisissa häiriötilanteissa. Em. järjestelmien yksittäisvikasietoisuutta on parannettu sijoittamalla järjestelmien eri redundanttiset osajärjestelmät eri palo-osastoihin. Myös järjestelmien sähkönsyöttö on suunniteltu siten, että kapselointilaitoksessa on kaksi redundanttista sähkönsyöttöverkkoa turvallisuuden kannalta merkittäville järjestelmille. Kummallekin osajärjestelmälle on myös oma varavoimageneraattori.

Kapselin siirtokäytävän laitteiden suunnittelun yhteydessä kehitettiin kapselin siirtovaunun suunnitelmaa, suunniteltiin kapselin yläpään kontaminaation mittaus- ja puhdistuslaite sekä tarkennettiin kapselin yläpään koneistusaseman suunnitelmaa (Suikki 2011).

Polttoaineen siirtokoneen suunnittelun yhteydessä tarkasteltiin siirtokoneessa olevan huoltomanipulaattorin suunnitelmaa sekä sen toimintaa erilaisissa häiriötilanteissa. Lisäksi koko käsittelykammion huollettavuuteen ja kunnossapitönäkökohtiin kiinnitettiin erityistä huomiota. Käsittelykammion seinään suunniteltiin materiaaliluukku, jonka kautta kammioon voidaan siirtää varaosia ja muita tarvikkeita silloin, kun kammioon ei voida ilman dekontaminointia mennä. Käsittelykammion lattiaan on myös lisätty kaksi polttoainenipun mittauspaikkaa, joissa voidaan suorittaa polttoaineen verifikaatiomittauksia mm. ydinmateriaalivalvonnan tarpeisiin (Suikki 2012a). Kuvassa 4-31 on esitetty polttoaineen käsittelykammion laitteita.



Kuva 4-31. Polttoaineen käsittelykammio.

Kapselin siirtotrukin suunnitelmapäivityksen yhteydessä tarkasteltiin uudestaan koko siirtokonsepti. Edellinen suunnitelma oli vuodelta 2003. Tarkastelussa huomattiin, että aiemman suunnitelman mukainen konsepti on erittäin haastavaa mitoittaa tarvittavalle nosto- ja siirtokapasiteetille. Päivitetty suunnitelma perustuu kaupallisessa käytössä olevaan trukkikonseptiin, jossa on pyörialusta. Korkeasta voimayksiköstä johtuen päivitetyyn suunnitelmaan mukainen laite ei enää pysty liikkumaan kapselin alitse, mistä johtuen kapselointilaitokseen tehtiin layoutmuutoksia, jotta laitteen mahdollisten häiriötilanteiden selvittäminen olisi helpompaa.

Kapselointilaitoksen rakennus- ja rakennesuunnitelmat on päivitetty rakentamislupahakemuksen edellyttämälle tasolle. Kapselointilaitokselle on laadittu rakennustekninen mitoitus sekä rakennemalli, jossa on huomioitu tarvittavat kuormitukset. Laitokselle on laadittu myös palotekninen suunnitelma osaksi luvitusaineistoa.

4.4.3 Loppusijoituslaitoksen suunnittelu

Loppusijoituslaitos käsittää käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilat, näitä yhdistävät keskustunnelit, muut maanalaiset tekniset tilat, tutkimustilat, matala- ja keskiaktiivisen

laitosjätteen loppusijoitustilan, pystykuilut ja ajotunnelin sekä maan päällä olevat loppusijoituslaitoksen toimintaa suoraan palvelevat aputilat kuten tunnelitekniikkarakennus ja ilmanvaihto- ja nostinlaiterakennus. Loppusijoituslaitoksen viimeisin laitossuunnitelma on esitetty pääpiirustusvaiheen suunnitelmaraportissa (Saanio ym. 2012).

4.4.3.1 Loppusijoitustilat

Loppusijoitustilat koostuvat loppusijoitustunneleista sekä tunneleiden pohjaan porattavista loppusijoitusrei'istä. Loppusijoitustunneleista pyritään tekemään poikkileikkaukseltaan mahdollisimman pieniä, jotta niihin tarvittava täyttömateriaalin määrä jäisi mahdollisimman vähäiseksi sekä louhintakustannukset, louhinnasta aiheutuvat häiriöt ja kerrallaan avoinna olevat tilat tulisivat minimoitua.

Loppusijoitustilat voidaan asemoida käytettävissä olevalle loppusijoitusalueelle lukemattomilla eri tavoilla. Kun otetaan huomioon kallioperästä saatu tieto (mm. RSC:n perusteella määritelty loppusijoitukseen soveltuva kalliotilavuus, arvio kallioperän käyttöasteesta sekä jännitystilan suuntaus) ja loppusijoitustoiminnan muut suunnitteluperusteet, kuten lämpötilamitoitus, voidaan eri layoutvaihtoehtoja vertailemalla löytää kokonaisuuden kannalta edullisin asemointivaihtoehto ja muodostaa parempi käsitys tarvittavasta tilojen kokonaistilavuudesta. Lopullisesti asemointityö valmistuu vaiheittain loppusijoituksen edetessä ja kallioperätiedon tarkentuessa. Tiloja rakennetaan vaiheittain ja ennen jokaisen vaiheen toteutusta asemointia tarkistetaan viimeisimmän tiedon perusteella. Tämänhetkinen tilojen asemointi ja niiden vaiheittainen toteutus on esitetty suunnitelmassa (Kirkkomäki 2012). Kuvassa 4-32 on esitetty tämänhetkiseen tutkimustietoon perustuva asemointisuunnitelma loppusijoituslaitoksen tiloista loppusijoitussyvyydellä. Suunnitelmassa on huomioitu tämänhetkinen vahvistettu asemakaava, joka mahdollistaa loppusijoituksen kuvassa esitetyllä alueella.



Kuva 4-32. Kuvassa on esitetty tämänhetkiseen kallioperätietoon perustuva asemointisuunnitelma rakentamislupahakemuksessa esitettävälle polttoainemäärälle (9 000 tU) voimassa olevalla asema-kaava-alueella.

Loppusijoitustiloihin rakennetaan, asennetaan ja tiloissa käytetään seuraavia järjestelmiä: ilmanvaihtojärjestelmä, lämmitysjärjestelmä, vesijärjestelmä, vuotovesijärjestelmä, sähköjärjestelmät, valvontamittausjärjestelmät sekä siirto- ja kuljetusjärjestelmät. Suunnitelma järjestelmistä on koottu loppusijoituslaitoksen laitossuunnitelmaan (Saanio ym. 2012).

Loppusijoituslaitoksen pitkästä käyttöajasta johtuen loppusijoitustiloja rakennetaan ja suljetaan vaiheittain. Tilojen käyttövaiheessa loppusijoitustunneleita louhitaan, kapseleita sijoitetaan ja loppusijoitustunneleita täytetään osittain samanaikaisesti. Käyttövaiheessa loppusijoituslaitos on jaettu säteilysuojelullisesti valvonta-alueeseen ja valvomattomaan alueeseen, jotta voidaan valvoa henkilöstön liikkumista ja mitata henkilöstön saamia ulkoisen säteilyn annoksia. Loppusijoituslaitoksessa ei oleteta olevan kontaminaatiota. Valvonta-alueen erottaminen helpottaa ja yksinkertaistaa myös ydinmateriaalivalvontaa. Keskustunneleissa raja on samalla myös palo-osaston raja. Valvonta-alueen ilmastointi erotetaan valvomattoman alueen ilmastoinnista, jotta louhinta-alueelta tuleva pöly ja räjähdyskaasut eivät kulkeutuisi valvonta-alueelle. Valvonta-alueen rajaa siirretään loppusijoitusprosessin edetessä. Loppusijoitustunnelit

kuuluvat tunneleiden louhinnan aikana valvomattomaan alueeseen. Ennen kapseleiden asennusta tunneli liitetään valvonta-alueeseen. Kun loppusijoitusreikiin on sijoitettu kapselit ja reiät on täytetty bentoniittilohkoilla, liitetään tunneli jälleen valvomattomaan alueeseen tunneliperien täyttöä varten. Tunnelien täyttö voidaan tehdä myös vaiheittain esim. yhden tai neljän kapselin osuudelta kerrallaan. Tällöin valvonta-alueen rajaa siirretään vastaavasti useammin.

4.4.3.2 Muut maanalaiset tilat

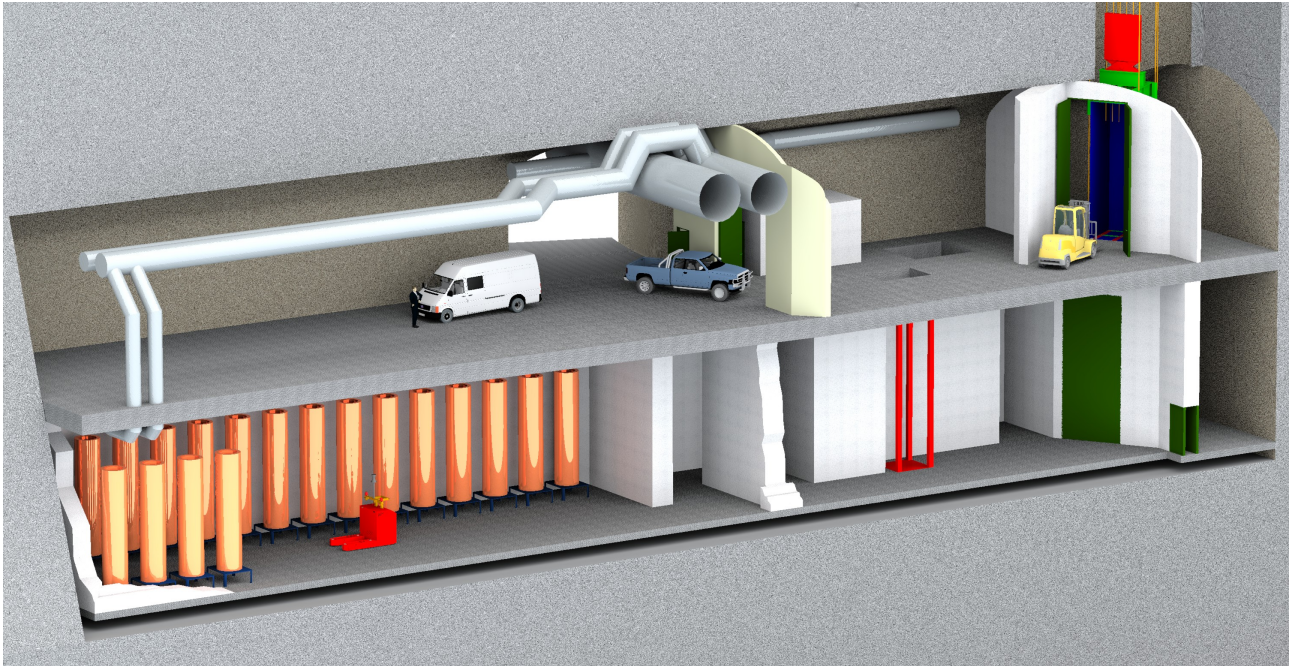
Loppusijoituslaitokseen kuuluu edellä esiteltujen loppusijoitustilojen lisäksi myös muita maanalaisia tiloja. Näitä ovat keskustunnelit, apu- ja tekniset tilat sekä maanpintayhteyksinä toimivat ajotunneli ja kuilut.

Tutkimustila ONKALO on suunniteltu ja toteutettu siten, että ONKALO voi myöhemmin toimia osana loppusijoituslaitosta. ONKALOn maanpintayhteydet on mitoitettu siten, että ne palvelevat myös loppusijoituslaitosta. Ajotunnelin mitoitus mahdollistaa joustavasti erilaiset kuljetukset myös loppusijoitusvaiheessa. ONKALOn rakentamisessa käytettävät työmenetelmät ja materiaalit on valittu siten, että ne ovat hyväksyttäviä myös loppusijoituslaitoksen kannalta.

Loppusijoituslaitoksen rakentamisluvan myöntämisen jälkeen ONKALO voidaan laajentaa loppusijoituslaitokseksi rakentamalla kapselikuilu, poistoilmakuilu 2 sekä ensimmäisen vaiheen vaatima osuus keskustunneleista ja loppusijoitustunneleista. Osa valvonta-alueen apu- ja teknisistä tiloista on louhittu valmiiksi jo ONKALOn yhteydessä, mutta rakennustyöt ja järjestelmien asennustyöt tehdään vasta loppusijoituslaitoksen rakennusvaiheessa.

Vuoden 2012 laitossuunnitelmassa on teknisten tilojen yhteyteen kapselikuilun alapään läheisyyteen lisätty uusi valmiiden loppusijoituskapselien välivarasto (kuva 4-33). Varasto on mitoitettu 30 kapselille. Varastoa tarvitaan, jotta yhden loppusijoitustunnelin kapselien asennus ja tunnelin sulkeminen voitaisiin suorittaa mahdollisimman nopeasti ja näin ollen pienentää tunneliin tulevien vesivuotojen vaikutusta tunnelissa olevaan bentoniittiin ennen tunnelin sulkemista. Varastoihin maan alla ja maan päällä kapselointilaitoksessa voidaan valmistaa yhden loppusijoitustunnelin kapselit etukäteen ja eliminoida mahdollisten kapselointiprosessin häiriöiden vaikutus loppusijoitukseen.

Kapselointilaitoksessa syntyvän matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustila sijaitsee tämänhetkisten suunnitelmien mukaan noin tasolla -180 m ajotunnelin varrella (Saanio ym. 2012). Tämän tilan turvallisuutta ja vaikutuksia käytetyn polttoaineen loppusijoitustiloille on selvitetty (Nummi ym. 2012) ja nämä selvitykset liitetään osaksi rakentamislupahakemusaineistoa.



Kuva 4-33. Loppusijoituskapselien välivarasto maan alla.

4.4.3.3 Loppusijoituslaitoksen maanpäälliset laitososat

Loppusijoituslaitokseen kuuluu myös maanpäällisiä osia, jotka palvelevat loppusijoituslaitoksen käyttöä. Merkittävin maanpäällinen rakennus on ilmanvaihtorakennus (IV-rakennus), jonka avulla järjestetään koko maanalaisen laitososan ilmanvaihto. Sekä tulo- että poistoilmakoneikot on sijoitettu IV-rakennukseen. IV-rakennuksen ensimmäinen vaihe on toteutettu osana ONKALOn toteutusvaihetta, jotta sitä voidaan hyödyntää jo ONKALOn käyttötoiminnan aikana, kun ONKALOn louhintatyön aikaiset ilmanvaihtojärjestelyt puretaan. IV-rakennuksen toinen vaihe toteutetaan loppusijoituslaitoksen rakentamisluvan myöntämisen jälkeen, jolloin toteutetaan myös toinen poistoilmakuilu.

Muita maanpäällisiä laitososia ovat nostinlaiterakennus ja tunnelitekniikkarakennus. Nostinlaiterakennus sijaitsee henkilökuilun päällä ja sinne on sijoitettu henkilökuilussa olevan henkilönostinlaitteen koneisto. Nostinlaiterakennuksesta tulee sisääntulorakennus koko Posivan laitosalueelle.

Tunnelitekniikkarakennus on jo toteutettu ja käytössä. Sitä käytetään ONKALOon jo toteutettujen järjestelmien laite- ja valvontatilana. Nostinlaiterakennukseen varustellaan myöhemmässä vaiheessa lopulliset loppusijoituslaitoksen järjestelmien laite- ja valvontatilat. Tässä yhteydessä tunnelitekniikkarakennuksesta tulee kyseisten järjestelmien varaohjaus- ja valvontapaikka. Nostinlaiterakennukseen on suunniteltu keskitettävän koko Posivan laitosteknisen kokonaisuuden valvonta eli sieltä voidaan valvoa loppusijoituslaitoksen lisäksi myös kapselointilaitoksen toimintaa. Lisäksi laitoksen kulunvalvonta keskitetään nostinlaiterakennukseen. Ydinlaitoksiin (kapselointilaitos ja loppusijoituslaitos) liittyvät järjestelmät asennetaan nostinlaiterakennukseen vasta rakentamisluvan myöntämisen jälkeen.

4.4.4 Asennus- ja siirtotekniikat

4.4.4.1 Kapselihissi

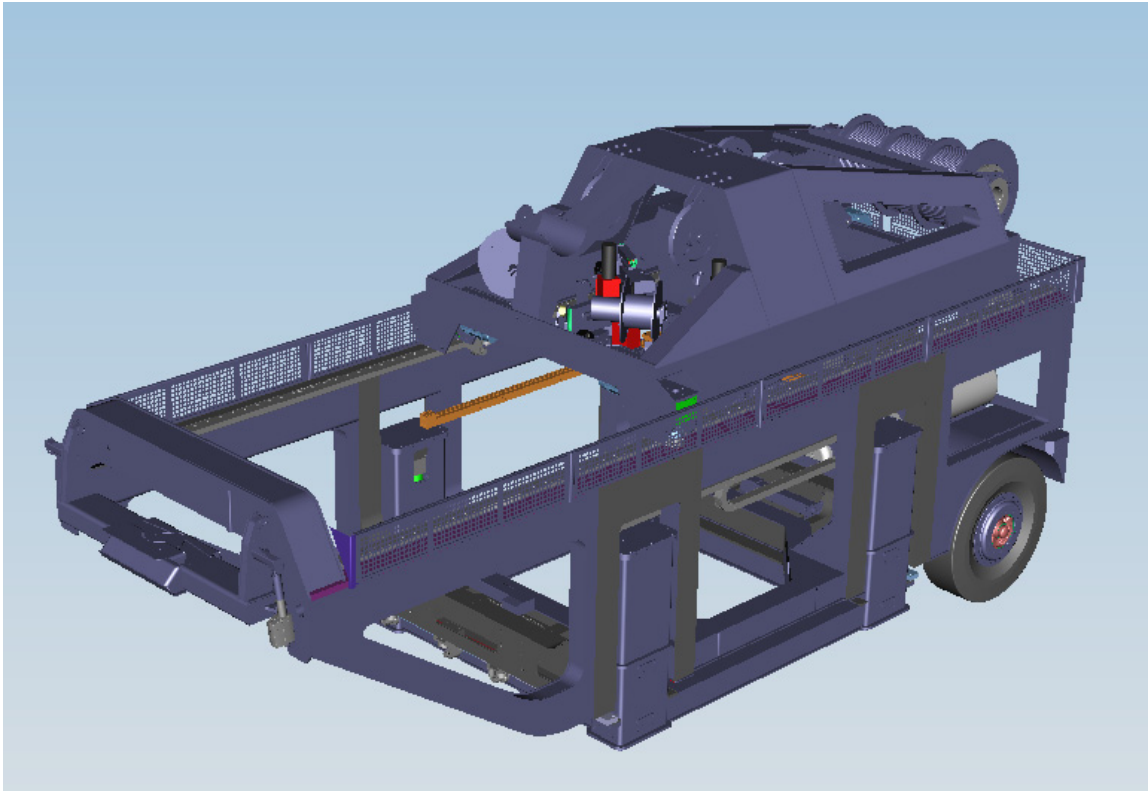
Referenssisuunnitelman mukaan loppusijoituskapseli siirretään kapselointilaitoksesta loppusijoituslaitokseen kapselihissillä. Kapselihissin käyttölaitteena on vastapainolla varustettu kitkapyöräkone. Hissi mitoitetaan 30 000 kg:n kuormalle ja sen nopeus on 3 m/s. Alustavien suunnitelmien mukaan hissikoria lasketaan kuudella 35 mm:n paksuisella vaijerilla. Kori liikkuu köysijohteilla, joita on korin joka nurkassa. Lisäksi vastapainolle on omat kaksi köysijohdetta.

Kapseli siirretään hississä ilman säteilysuojaa. Suora säteily hississä olevasta kapselistä estetään hissikuilun kulkuaukkojen kohdalla olevilla labyrinthirakenteilla. Hissin tulee olla kantavilta osiltaan mekaanisesti kaksoisvarmennettu köysikelan akselille asti. Näin saavutetaan suuri todennäköisyys sille, että kapseli ei pääse yksittäisvian seurauksena putoamaan kuilussa. Hissikuilun pohjalla on lisäksi vaimennin mahdollisen kapselin putoamisonnettomuuden varalta. Vaimenninratkaisulle on tehty kuluneella TKS-kaudella analyyseja sekä pienen mittakaavan kokeita VTT:n Impact-laitteistolla (Kuutti ym. 2012). Vaimenninmateriaalina oleva LECA-sora on mallinnettu ja kapselin törmäystä vaimentimeen on simuloitu mallien avulla. Mallinnuksen tuloksia on voitu verrata Impact-laitteen koetuloksiin ja näin ollen mallia on voitu verifioida. Analyysien perusteella voidaan todeta, että suunniteltu vaimennin voidaan toteuttaa ja luotettavalla varmuudella kapseliin kohdistuva kuormitus törmäyksessä ei ylitä kapselin suunnitteluperusteita. Jatkosuunnittelussa selvitetään LECA-soran tyyppin vaikutusta vaimennusominaisuuksiin, jotta vaimennin saadaan suunniteltua yksityiskohtaisesti.

4.4.4.2 Puskurin asennuslaite

Puskurin asennuslaitteen prototyypin konseptikehitystyötä ja suunnittelua on tehty vuosien 2011–2012 aikana osana LUCOEX-projektia, joka kuuluu EU:n 7. puiteohjelmaan. Projektiin osallistuvat Posivan lisäksi SKB, Andra ja Nagra. Kukin osallistuja kehittää projektissa omaa loppusijoitusratkaisuaan.

Asennuslaitteen jatkokehitystyön 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. Prototyypin valmistussuunnitelmat olivat valmiit alkuvuodesta 2012 ja laitteen valmistus aloitettiin kesällä 2012. Prototyypilaitte (kuva 4-34) on valmis testaustoimintaan vuoden 2013 alkupuolella. Valmistusvaiheen jälkeen ensimmäiset koekäyttötестit suoritetaan valmistajan tiloissa. Laitteen toiminnan säätäminen ja ensimmäiset varsinaiset testit aloitetaan alkuvuodesta 2013. Testauksia tehdään ensin betonista valmistetuilla lohkoilla ja lopuksi siirrytään suorittamaan testausta täysimittakaavaisilla bentoniittilohkoilla vuoden 2013 aikana.



Kuva 4-34. Puskurilohkojen asennuslaitteen prototyyppi.

4.4.4.3 Kapselin siirto- ja asennuslaite

Kapselin siirto- ja asennuslaitteen prototyypille (kuva 4-35) on laadittu toteutussuunnitelmat ja laitteen valmistus on alkanut vuonna 2012. Laitteen testauksen on suunniteltu alkavan keväällä 2013. Prototyypin kehitystyö, suunnittelu ja valmistus on jaettu kahteen vaiheeseen siten, että ensimmäisessä vaiheessa keskitytään järjestelmän ydinturvallisuuden kannalta merkittävien laitteiden toimivuuden varmistamiseen. Tällaisia ovat mm. kapselin käsittelylaitteistot sekä kapselin loppusijoitusreikään laskemiseen liittyvät säätömekanismit, joilla pyritään saavuttamaan asetetut tiukat asennustoleranssit kapselin ja puskuribentoniitin välissä. Prototyypin toisessa vaiheessa kehitetään mm. asennuslaitteen alustaratkaisut.

Asennuslaitteen konsepti on kehittynyt prototyypin myötä asennusajoneuvosta asennusvaunuksi. Lähtökohtana on, että jokaiselle kapselityypille kehitetään kapselipituuden suhteen optimoitu asennuslaite, joita voidaan liikutella yhteisellä traktorilla. Konsepti on samantapainen kuin nykyisin voimalaitoksilla käytettävät kuljetussäiliön siirtojärjestelmät. Nyt kehitetty prototyyppi on mitoitettu OL1-2-loppusijoituskapselin mitoille. Kapselin käsittelymekanismit ovat pääosin hydraulisia.



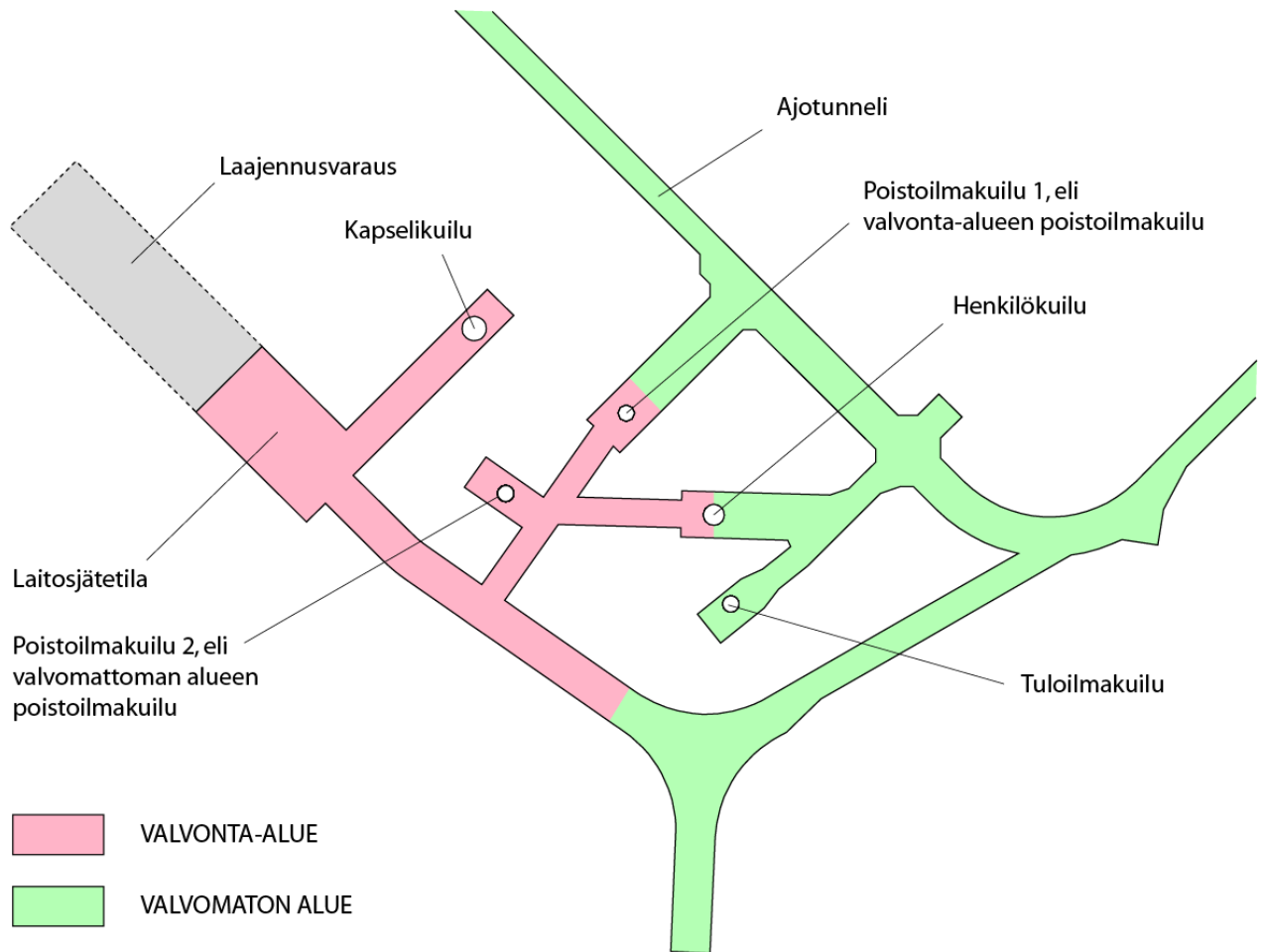
Kuva 4-35. Kapselin asennuslaitteen prototyyppi.

4.4.5 Kapselointilaitoksen ydinjätehuolto

4.4.5.1 Tekniset ratkaisut

Vuonna 2009 valmistui loppusijoituslaitoksen teknisten tilojen sekä matala- ja keskiaktiivisen laitosjätetilan suunnitelmaselostus (Kirkkomäki 2009) sekä arvio kapselointilaitoksessa syntyvästä jätteestä (Kukkola & Eurajoki 2009). TKS-2009-kaudella on tarkennettu kapselointilaitoksen ydinjätehuoltoratkaisuja ja matala- ja keskiaktiivisen käyttöjätteen loppusijoitukseen liittyviä ratkaisuja. Myös kapselointilaitoksen käytöstäpoistosta käynnistettiin selvitys.

Kapselointilaitoksen nestemäisten jätteiden käsittelymenetelmäksi oli alustavasti suunniteltu kiinteytys betoniin ja betonipakkaukset oli tarkoitus loppusijoittaa betonikaukaloon vastaavasti kuin Loviisan kiinteytetyn jätteen tilassa (KJT) (Kukkola & Eurajoki 2009). Alustavien suunnitelmien mukaan kapselointilaitoksen ydinjätteiden loppusijoitustila sijoitetaan ajotunnelin varrelle noin -180 metrin syvyydelle. Tilan suunniteltu layout on esitetty kuvassa 4-36.



Kuva 4-36. Matala- ja keskiaktiivisen laitosjätteen loppusijoitustilan layout (Saanio ym. 2012).

Betonin käyttö ONKALOSSa on todettu ongelmalliseksi, koska sementin eluutiovedet voivat vuorovaikuttaa haitallisesti loppusijoituslaitoksen bentoniittipuskurin sekä savipohjaisten tunnelitäyttöaineiden kanssa (*Performance Assessment*). Tämän vuoksi alettiin selvittää vaihtoehtoisia kiinteytysmenetelmiä kertyville ydinjätteille sekä vaihtoehtoista ratkaisua, jossa betonia voidaan käyttää vähemmän. Samalla tarkennettiin arviota tilaan tulevien jätteiden määrästä ja radioaktiivisten aineiden inventaarista (Paunonen ym. 2012). Vaihtoehtoiseksi jätteenkäsittelymenetelmäksi valittiin nestemäisten jätteiden tynnyrikuivaaminen. Keskiaktiivisille tynnyreille suunniteltiin loppusijoitustilaan pienempi betonikaukalo, joka suljetaan täyttövalulla matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilan sulkemisen yhteydessä. Tilaan tulevan betonin määrää saadaan näin vähennettyä merkittävästi, jolloin riskiä mahdollisista haitallisista vuorovaikutuksista käytetyn polttoaineen loppusijoituksen kanssa saadaan pienennettyä.

Tilan kokovarauksessa on edelleen säilytetty mahdollisuus myös TVO:n KPA-varaston itsenäisen käyttöjakson aikaisen käyttöjätteen sekä käytöstäpoistojätteiden loppusijoitukseen. On kuitenkin päätetty, että KPA-varaston käytöstäpoiston yhteydessä syntyvää betonijätettä ei loppusijoiteta Posivan maanalaisiin tiloihin.

4.4.5.2 Pitkäaikaisturvallisuus

Kapselointilaitoksen käytön aikana kertyvälle matala- ja keskiaktiiviselle jätteelle on tehty ensimmäinen turvallisuusanalyysi vuonna 2012 (Nummi ym. 2012). Analyysin päätarkoituksena oli osoittaa, että kapselointilaitoksen käytön aikana kertyvät radioaktiiviset jätteet on mahdollista loppusijoittaa turvallisesti Paunosen ym. (2012) esittämän ratkaisun mukaisesti suunniteltuun paikkaan ajotunnelin varrella viranomaisvaatimukset täyttäen. Analyysin tulosten perusteella kapselointilaitoksen käytöstä syntyvä matala- ja keskiaktiivinen jäte voidaan sijoittaa käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen yhteyteen.

4.5 Teknisten vapautumisesteiden tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyö

Teknisiin vapautumisesteisiin kuuluvat loppusijoituskapseli, kapselia ympäröivä bentoniittipuskuri, loppusijoitustunnelien täyttö ja päätytulppa sekä muiden maanalaisten tilojen eli keskustunnelien, ajotunnelin, kuilujen, maanalaisten aputilojen sekä tutkimusreikien täyttö- ja sulkurakenteet.

Kuluneen TKS-kauden aikana teknisten vapautumisesteiden tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyö on tähännyt vapautumisesteiden vaatimusten määrittämiseen, vaatimustenmukaisten yksityiskohtaisten suunnitelmien tuottamiseen, vaatimustenmukaisuuden osoittamiseen ja toteuttamisen suunnitteluun määrittämällä kullekin vapautumisesteelle tuotantolinja. Tämä työ on kuvattu kunkin vapautumisesteen tuotantolinjaraportissa ja työn pohjalta kullekin vapautumisesteelle on määritetty niin kutsuttu alkutila. Alkutilaa on käytetty turvallisuusperusteluaineistossa vapautumisesteen oletettuna alkutilana perusskenaariossa.

Kuluneella TKS-kaudella bentoniittipuskuri on ollut keskeisessä asemassa sekä tekniikan kehitystyössä että loppusijoitusjärjestelmän toimintakykselvityksissä. Puskurin kehitystyö on painottunut toteutettavan ratkaisun yksityiskohtaiseen suunnitteluun ja puskurilohkojen valmistus- ja asennustekniikoiden kehitykseen ja testaukseen. Puskurin tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyötä on koordinoitu kuluneen TKS-kauden alussa BENTO-ohjelman puitteissa. Posivan määriteltyä kuluneen TKS-kauden aikana loppusijoitushankkeeseen sisältyvät keskeiset tehtävät prosesseissa koordinoitavaksi toiminnaksi, siirrettiin puskurin kuten myös täytön TKS-työn koordinointi Tekniset vapautumisesteet -prosessiin. Sittenmin puskurin ja täyttömateriaalin pitkäaikaikäkäyttämiseen liittyvät tutkimustyöt määriteltiin kuuluvaksi Turvallisuusperustelu-prosessiin ja ne on kuvattu luvussa 4.6.

4.5.1 Loppusijoituskapseli ja sen tuotantolinja

Turvallisuusmielessä kapseli on KBS-3-loppusijoituskonseptin tärkein tekninen vapautumiseste. 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 toimintakyvyn vaatimusasettelu, kapselin suunnittelu, valmistuksen suunnittelu ja valmistusdemonstraatiot sekä valmistuksen laadunhallinta ovat olleet jo pitkään kehittelyn ja testausten kohteena, joten nykytilanteessa kapselien suunnitelmissa ja tuotantolinjassa on enää varsin vähän selvittämättömiä yksityiskohtia.

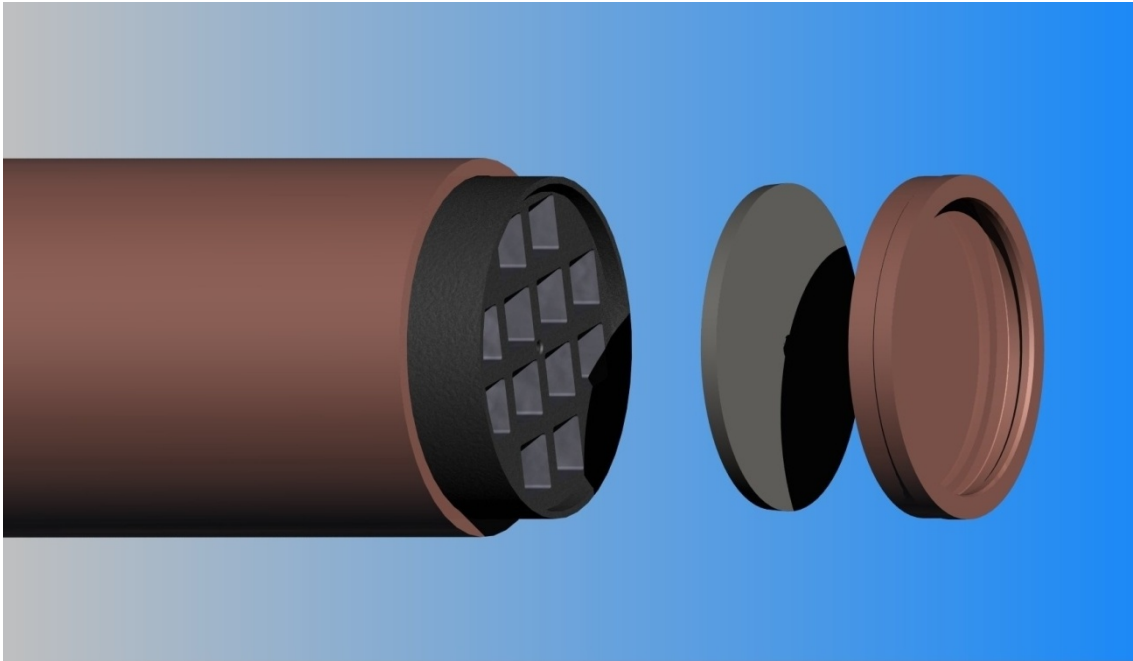
Kapselin vaatimukset ja suunnittelu

Pitkäaikaisturvallisuuden toteutumiseen tähtäävät vaatimukset loppusijoitukselle ja myös kapselille on esitetty *Design Basis* -raportissa. Vaatimukset on huomioitu kapselin suunnitelmaraportissa (Raiko 2012) sekä kapselin tuotantolinjaraportissa (*Canister Production Line report*). Suunnittelussa otetaan huomioon monia muitakin tekijöitä pitkäaikaisturvallisuuden lisäksi, kuten valmistukseen, sulkemiseen, tarkastukseen ja asennukseen liittyviä vaatimuksia. Kaikkien vaatimusten huomioiminen ja yhteensovittaminen on toteutettu em. suunnitelmaraportissa, jossa on myös esitetty vaatimusten täyttämisen osoittavien analysointien tulokset.

Mittojen ja muotojen puolesta loppusijoituskapselin tulee olla sellainen, että siihen tarkoitettut käytetyt ydinpolttoaineniput mahdollisesti käytön aikana hieman muuttuneine mittoineen ja muotoineen sopivat sen sisään ja ovat helposti asennettavissa.

Kapselin suunnitelmaraporttia täydennetään vuoden 2012 aikana niin, ettei siihen jäisi oleellisia puutteita enää rakentamislupahakemuksen jättämisen jälkeen. Viimeiset laajemmat selvitysten täydennykset ovat koskeneet sisäosan valmistuksesta aiheutuvien jäännösjännitysten selvittämistä (*Canister Production Line report*) sekä kapselin kuparivaipan vaadittavan virumislujuuden analysointia numeerisin menetelmin (Holmström ym. 2012a). Molemmissa saavutettiin vuoden 2012 aikana myönteiset lopputulokset: sisäosan valuraudan jäännösjännitystaso on erittäin alhainen ja kuparivaippaan, mukaan lukien sulkemishitsi, kohdistuu loppusijoitusolosuhteissa enimmillään varsin alhainen virumismuodonmuutos (suurin venymä alle 5 %), joten kapselin valmistusta ja valmistusmateriaalien mekaanisia vaatimuksia näiltä osin koskeneet lisäselvitysvaatimukset on selvitetty. Jäljelle jääneet lisäselvitystarpeet käsitellään myöhemmin luvussa 5.4.1.

Kapselin pääkomponentit on esitelty kuvassa 4-37. Kuvassa näkyvät hieman erilleen vedettyinä kapselin kuparivaippa, valurautainen sisäosa, teräksinen sisäkansi sekä kuparivaipan kansi.



Kuva 4-37. Loppusijoituskapselin pääkomponentit eli kapselin kuparivaippa, valurautainen sisäosa, teräksinen sisäkansi sekä kuparivaipan kansi.

Kapselin vaipan ja sisäosien yhteensovittaminen edellyttää komponenttien sisä- ja ulkomitoissa riittäviä välyksiä, jotka mahdollistavat komponenttien asennuksen sisäkkäin sekä kansien asennuksen paikoilleen. Vuosien 2011–2012 aikana mitat ja niiden toleranssit on säädetty sellaisiksi, että sekä kokoonpano että sen edellyttämien tarkkuusvaatimusten saavuttaminen valmistusvaiheessa on mahdollista toteuttaa. Samanaikaisesti vielä minimoidaan kokoonpantuun kapselirakenteeseen jäävät välykset, jotka puolestaan määräävät kuparivaippaan kuormitusvaiheessa tulevat suurimmat muodonmuutokset. Nämä muodonmuutokset aiheuttavat kuparimateriaaliin plastisia ja virumisvenymiä, joiden rajoittaminen on pitkällä aikavälillä oleellisen tärkeää kuparimateriaalin eheyden säilymisen kannalta.

Kapselikomponenttien valmistus

Kapseli valmistetaan siten, että suunnittelussa asetetut vaatimukset toteutuvat ja valmistuksen vaatimuksenmukaisuus todennetaan laadunvalmistusohjelman mukaisella tarkastusohjelmalla. Suunnittelussa määritellään, mitkä asiat ovat lopputuotteen kannalta niin tärkeitä, että ne on varmistettava tuotannossa erillisin tarkastuksin. Samaten suunnittelussa määritetään näille tarkastuksille hyväksymisrajat, joiden sisällä tuotetta voidaan pitää hyväksyttävänä. Näiden tarkastusvaatimusten perusteella on sitten suunniteltu erilaisia tarkastustekniikoita ja menettelyjä, joilla vaaditut tarkastukset pystytään toteuttamaan vaaditulla erotuskyvyllä ja luotettavuudella. Tarkastusmenetelmät ja menettelyt on kehitetty kapselin komponenttien valmistukselle (Pitkänen 2012) ja kapselin sulkemishitsin tarkastukseen (Pitkänen 2010). Menetelmien kehityksen yhteydessä on kehitetty ja hankittu myös erilaisissa tarkastuksissa tarvittavia erikoislaitteita sekä manipulaattoreita, jotka mahdollistavat tarkastusten todenmukaisen testauksen valmistuskokeissa tuotetuilla täyden mittakaavan kapselikomponenteilla. Tekniikka- ja laitekehityksen jälkeen pääpaino tarkastustekniikassa on siirtynyt tarkastusmenetelmien pätevoittämisen valmisteluun.

Kapselin valmistustekniikan kehitystyötä on jatkettu yhteistyössä SKB:n kanssa. Erilaisten kapselityyppien sisäosien valamiskokeita on jatkettu ja useita täysimittaisia sisäosakomponentteja on valettu vuosittain valumenetelmien kehittämiseksi ja valmistuksen demonstroimiseksi. Kapselikomponenttien valmistustekniikoita ja valmistuskokeita on kuvattu valmistustekniikkaraportissa (Nolvi 2009). Kotimaisissa sisäosien valmistuskokeissa on saavutettu materiaalin mekaanisten ominaisuuksien osalta merkittävää kehitystä ja kokonaisuutenakin ottaen valut ovat nyt täysin vertailukelpoisia parhaiden ulkomaisten valimoiden tuotteiden kanssa. Suomessa on toistaiseksi valettu OL1-2- ja LO1-2-tyyppiselle ydinpolttoaineelle tarkoitettuja sisäosia. OL3-tyyppisten sisäosien osalta on osallistuttu kehitystyöhön seuraamalla SKB:n toteuttamaa kehitystyötä, jossa on valettu sisäosia, jotka ovat polttoainekanavien lukumäärän ja sijoittelun osalta OL3-sisäosan kaltaisia, mutta jotka ovat lyhyempiä. Suomessa OL3-kapselien tuotantotarve on ajankohtaista vasta noin vuonna 2070. Aiemmin valmistetulle OL1-2-sisäosalle on tehty Bristolissa jäännösjännitysmittauksia syväreikäporausmenetelmällä (deep-hole drilling). Valurautasisäosasta ei havaittu merkittäviä jäännösjännityksiä miltään alueelta. Mittauksia suoritettiin useissa poikkipintaleikkauksissa ja aina sisäosan keskipisteeseen asti.

Kuparivaipan valmistuskokeita on samoin jatkettu yhteistyössä SKB:n kanssa. Vaipan raaka-aineaihiot on valmistettu Suomessa ja kuumamuokkauksella tehtävä vaipparakenteen jatkojalostus on tehty useilla vaihtoehtoisilla menetelmillä ulkomailla, Saksassa, Skotlannissa tai Ruotsissa. Erilaisissa kuumamuokkausmenetelmissä on kehitystarpeita ollut materiaalin homogeenisen raekoon saavuttamisessa ja mittatarkkuudessa, mutta jatkuneen kehitystyön ja demonstraatiovalmistuksen avulla kuumamuokkausprosessit ovat tuotantovalmiita. Kuparivaippojen materiaalin eheyden suhteen ei missään vaiheessa ole ollut valmistusongelmia, joten nykyistä kuparivaippojen tuotantovalmiutta voidaan pitää hyvänä. Kuparivaippaan erillisenä osana kuuluvan kuparikannen valmistus on samoin kehitetty tuotannollisesti valmiiksi, joten vaatimukset täyttäviä kansia pystytään valmistamaan rutiininomaisesti sarjoissa.

Käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi sekä kapselin käsittely ja sulkeminen on suunniteltu osana kapselointilaitoksen esisuunnitteluprosessia. Kapselointiprosessi kokonaisuutena on esitetty kapselointilaitoksen suunnitelmassa (Kukkola 2012). Suljetun ja tarkastetun kapselin jatkokäsittely, välivarastointi, siirrot ja asennus loppusijoitusreikään on kuvattu loppusijoituslaitoksen suunnitelmassa (Saanio ym. 2012). Kapselointilaitoksen järjestelmä- ja laitesuunnittelu sekä loppusijoitustilan järjestelmien ja kapselin asennusajoneuvon suunnittelu on myös viety niin pitkälle, että rakentamisluvan edellyttämä toiminnan kuvaus on mahdollinen. Asennusajoneuvon prototyypin valmistus on käynnissä. Nämä tehtävät on kuvattu luvussa 4.4.

Kapselin sulkeminen

Kapselin sulkemishitsauksen kehitystyötä on jatkettu elektronisuihkuhitsausmenetelmään (EBW) perustuen. Samanaikaisesti on kuitenkin perehdytty SKB:n kehittämään Posivan kannalta vaihtoehtoiseen sulkemismenetelmään, kitkatappihitsaukseen (FSW). Posivan suorittamissa hitsauskokeissa on optimoitu hitsausparametreja, tutkittu syntyvän hitsin jäännösjännityksiä ja niiden

alentamismahdollisuuksia sekä selvitetty erilaisten hitsausvirheiden syntyä ja niiden estämistä. Hitsausvirheiden vähäisyys ja pieni koko parantavat kapselivaipan seinämän korroosionkesto-aikaa. Hitsiin syntyvän jäännösjännitystilän alaisuus puolestaan vähentää jännityskorroosion esiintymisen riskiä kuparivaipassa, jolloin vaipan ennen aikaisen rikkoutumisen mahdollisuus alenee. Loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuus perustuu suurelta osin kapselin aikaansaamaan pitkäaikaiseen käytetyn ydinpolttoaineen eristämiseen ympäröivästä elinympäristöstä. Näin ollen on tärkeää, että kapselivaipan sulkemishitsin luotettavuus saadaan kehitetyksi mahdollisimman korkeaksi. Suunnittelun keinoin hitsin luotettavuutta on alun perin nostettu myös sillä, että hitsi on sijoitettu kapselivaipassa sellaiseen paikkaan ja asentoon, että siihen kohdistuvat mekaaniset rasitukset loppusijoitustilassa ovat mahdollisimman alhaisia. Sulkemishitsauksen suorittamista on kuvattu menetelmän kehitysraportissa (Meuronen & Salonen 2010) sekä kapselin tuotantolinjaraportissa (*Canister Production Line report*).

Kapselin sulkemismenetelmän valinta EBW:n ja FSW:n välillä on tarkoitus suorittaa vasta seuraavan ohjelmakauden alkupuolella, minkä yhteydessä menetelmien kelpoisuutta joudutaan vertailemaan useiden lopputulokseen ja toteutukseen liittyvien tekijöiden suhteen.

Kapselin tarkastaminen

Kapselin tarkastusmenetelmien osalta sisäosan pätevöintiä varten on laadittu tarkastusohje, joka kattaa ultraääni- ja visuaalisen tarkastuksen. Lisäksi on tehty luotettavuustutkimuksia käytetyille ultraäänimenetelmille, lähinnä NDT Reliability IV-V -projektissa, jonka kestoä pidennettiin vuoden 2012 loppuun asti. Teknisiä perusteluita on tehty sekä sisäosan tarkastukseen että kuparikomponenttien tarkastuksiin pätevöintejä varten. Metallografisia verifiointejä tehdään komponenttien tarkastuksissa havaituille näytämille. Hitsin metallografiset verifioinnit saadaan valmiiksi suurimmalta osalta vuoden 2012 loppuun mennessä. Vian koon määritysmittauksia tehdään vuosien 2012–2014 aikana. Tarkastuksissa on kehitetty optimaalista mittausherkkyyden tasoa, jotta tarkastuksissa havaitaan viat hyväksymiskriteerien edellyttämällä tasolla.

Hitsauksen ja hitsin tarkastuksen yhdistettyä luotettavuutta tutkittiin laskemalla vian tuottamisen ja sen havaitsemisen todennäköisyyttä Bayesian menetelmällä. Luotettavuus tässä tapauksessa tarkoittaa sitä, että hitsattu ja tarkastuksessa hyväksytty kapselin kansihitsi ei sisällä hyväksymiskriteerit ylittäviä vikoja. Arvioinnin pohjalta voitiin alustavasti päätellä, että esimerkiksi tapauksessa, jossa hitsissä oletettiin olevan eri vikatyyppejä, todennäköisyys, jolla neljä viallista kapselia 4 000 kapselin joukosta päätyy loppusijoitustilaan on noin 0,00057 (Holmberg & Kuusela 2011).

Ensimmäisten (3 kpl) VVER-tyyppisten sisäosien NDT-mittaukset suoritettiin vuosina 2010–2012. Vastaavanlainen valmistautuminen pätevöinteihin on aloitettu sekä kuparikomponenttien (putki, kansi, aihio) että kuparihitsin tarkastusten osalta. Tämän lisäksi on tutkittu inhimillisiä tekijöitä sekä sisäosan että kuparikomponenttien tarkastuksissa ja tämä projekti jatkuu vielä. Kuparikomponenttien vikakoon määritys pyörrevirtatarkastuksella ja tähän liittyvien tekniikoiden kehittäminen on aloitettu.

Kuparikomponenttien ja hitsin tarkastukseen on tehty vastaavat NDT-ohjeet eri menetelmille kuten sisäosallekin.

4.5.2 Puskuri ja sen tuotantolinja

Puskuri ympäröi kapselia ja täyttää kapselin ja kallion välisen tilan loppusijoitusreiässä. Puskurin tehtävänä on suojata kapselia haitallisilta termisiltä, hydraulisilta, kemiallisilta ja mikrobiologisilta prosesseilta, jotka voisivat vaarantaa täydellisen eristämisen turvallisuustoiminnon, pitää yllä kapselille suotuisia olosuhteita ja hidastaa vieraiden aineiden kulkeutumista kapselin pinnalle ja radionuklidien kulkeutumista, mikäli kapseli alkaa vuotaa. Puskurimateriaalin tulee olla myös yhteensopiva kapselin, peruskallion ja tunnelitäytteen toiminnan kannalta.

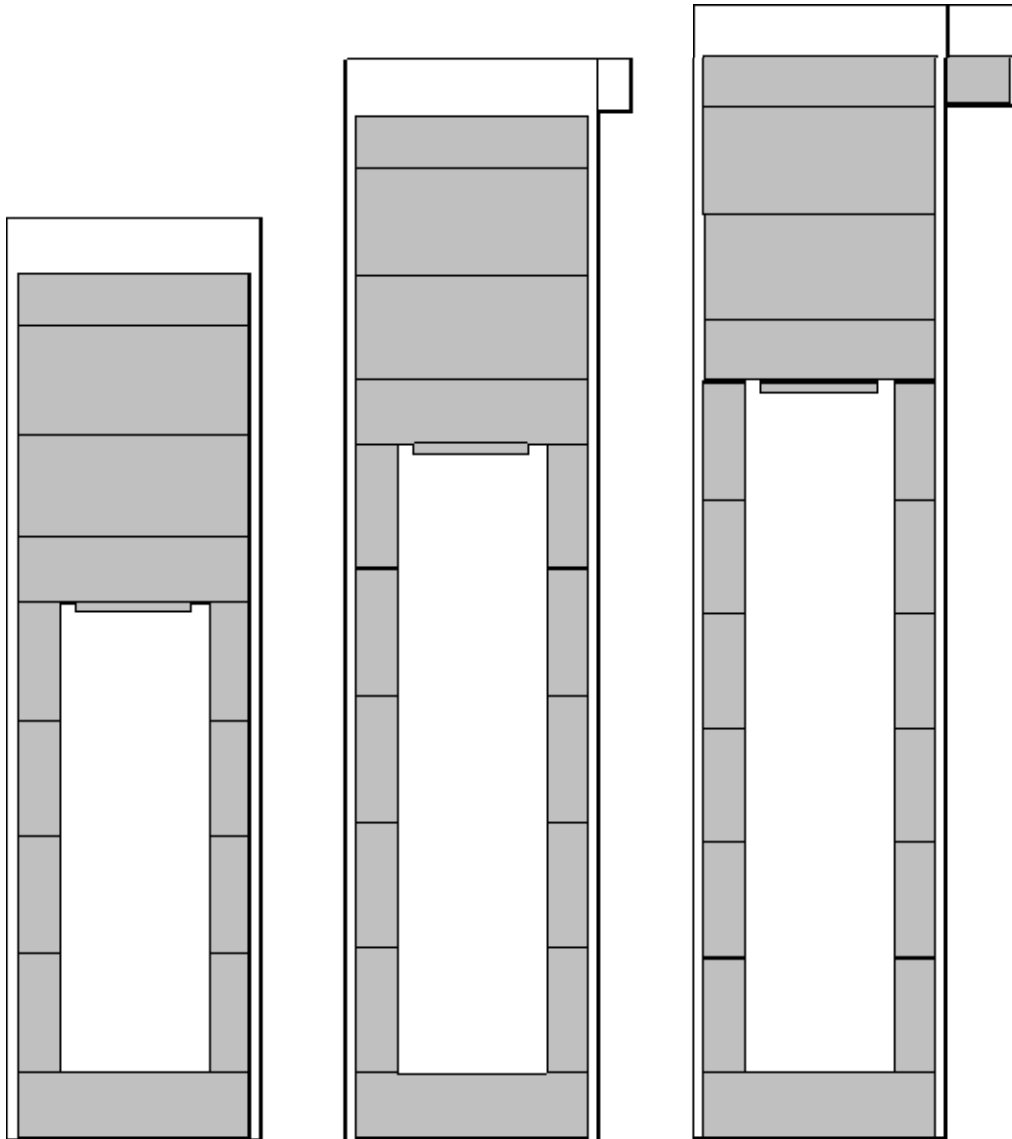
Puskurin suunnittelu

Puskurin pitkäaikaisturvallisuutta koskevat suunnitteluperusteet ja -vaatimukset perusteluineen on esitetty Posivan *Design Basis* -raportissa. Raportissa on esitetty Posivan VAHA-tietokannan tasojen 1–4 vaatimukset. Suunnitteluspesifikaatiot puskurille on esitetty tietokannan tasolla 5 ja puskurin tuotantolinjaraportissa (*Buffer Production Line report*).

Puskurin kehitystyö on painottunut puskurin suunnitteluun sekä puskurikomponenttien valmistuksen ja asennuksen kehittämiseen.

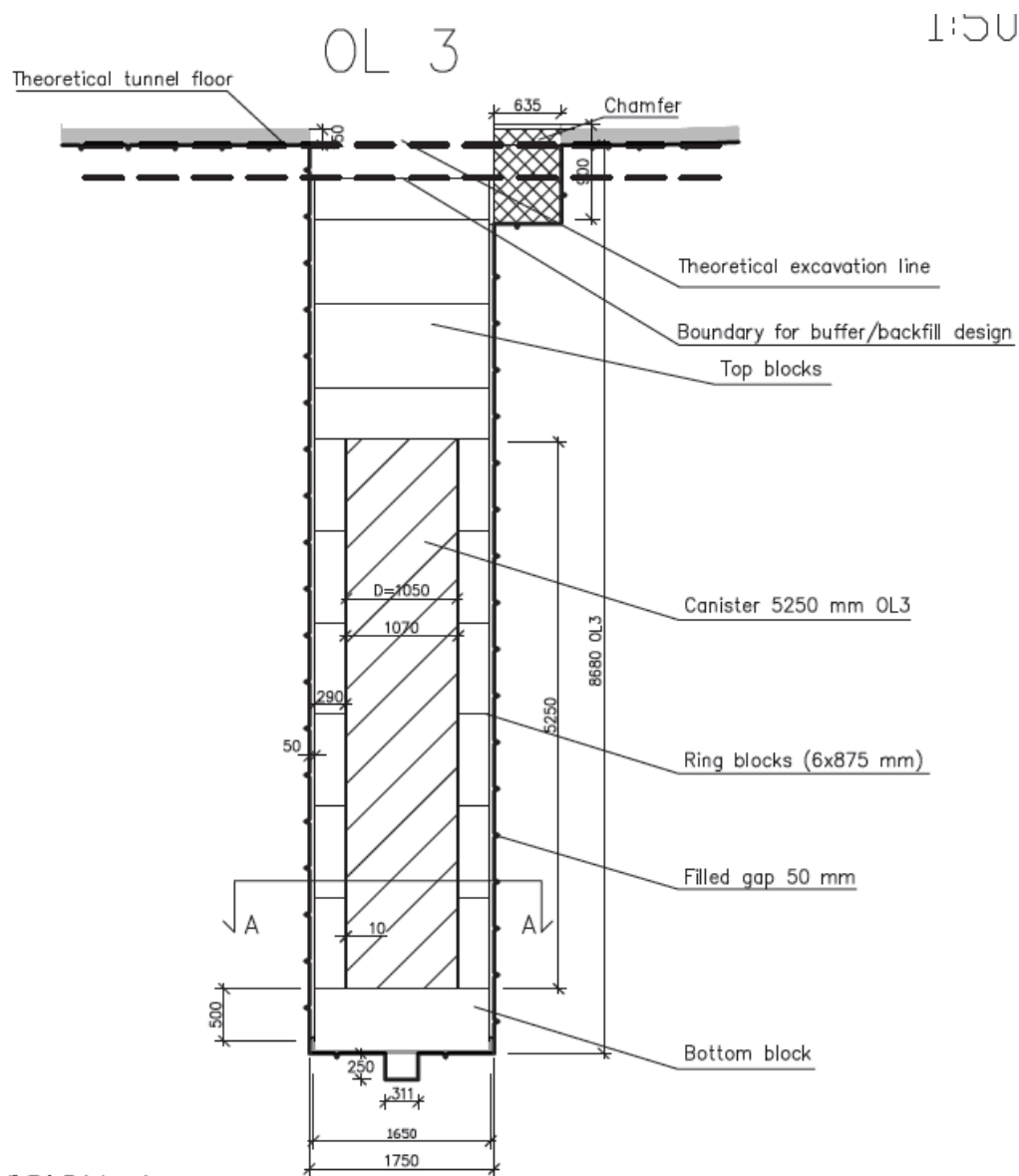
Puskuri koostuu bentoniittisavesta. Bentoniittisavien paisuva mineraali on yleensä montmorilloniitti. Korkealuokkaisten kaupallisten bentoniittien montmorilloniittipitoisuus on yleensä yli 80 %. Puskurin referenssimateriaalina on bentoniitti, jonka montmorilloniittipitoisuus on 75–90 %. Montmorilloniittipitoisuudelle on asetettu vähimmäis- ja enimmäisvaatimukset, koska se vaikuttaa erityisen tärkeisiin puskurilta vaadittaviin ominaisuuksiin kuten paisumispaineeseen ja vedenjohtavuuteen.

Puskurin suunnittelun päätehtävänä on tuotettu suunnitelma, joka täyttää puskurin suunnitteluperusteissa määritellyt toiminnalliset vaatimukset ja tekniset perusedellytykset määritetyissä ympäristöolosuhteissa. Puskurin referenssisuunnitelman vaatima loppusijoitusreiän halkaisija on 1 750 mm. Bentoniittilohkojen ulkohalkaisija on 1 650 mm. Bentoniittilohkojen ja loppusijoitusreiän kallionpinnan välissä olevan raon leveys on 50 mm ja sen sallittu toleranssi on ± 25 mm. Loppusijoitusreikien nimellispituudet ovat LO1-2-kapseleilla 6,60 m, OL1-2-kapseleilla 7,80 m ja OL3-kapseleilla 8,25 m. Loppusijoitusreiän pohjan kaltevuus saa olla enintään 1/1 750. Kuvassa 4-38 esitetään kaaviokuva eri voimalaitosten kapselien puskureista.



Kuva 4-38. Kaaviokuva LO1-2-, OL1-2- ja OL3-ydinvoimalaitosten käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusrei'istä, kapseleista ja puskureista.

LO1-2-, OL1-2- ja OL3-kapselien puskurien yksityiskohtaiset suunnitelmapiirustukset on esitetty puskurin tuotantolinjaraportissa (*Buffer Production Line report*). Kuvassa 4-39 on esitetty OL3-kapselin puskuri ja taulukossa 4-2 on esitetty muiden puskurien mitoitus.

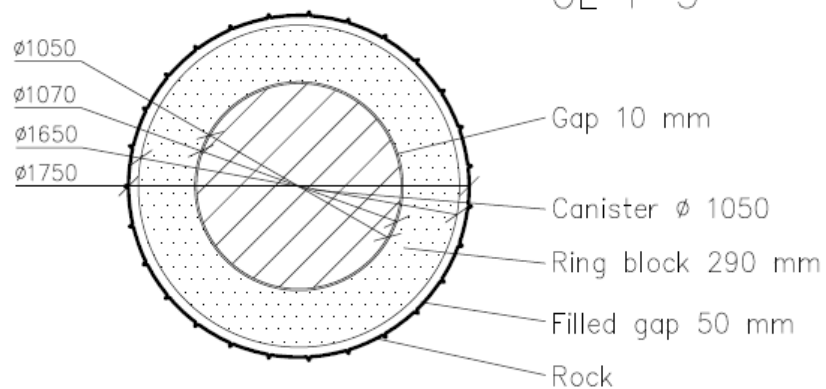


VISION A

A—A

LO 1—2

OL 1—3



Kuva 4-39. OL3-kapselin puskuri mitoituksineen (*Buffer Production Line report*).

Taulukko 4-2. Puskurilohkojen nimellismitat.

	LO1-2	OL1-2	OL3
Korkeus kapselin yläpuolella (mm)	$400+2*800+500=$ 2 500	$400+2*800+500=$ 2 500	$400+2*800+500=$ 2 500
Korkeus kapselin mitalla (mm)	$4*900 = 3\ 600$	$5*960 = 4\ 800$	$6*875 = 5\ 250$
Korkeus kapselin alapuolella (mm)	500	500	500
Puskurin korkeus yhteensä (mm)	6 600	7 800	8 250
Lohkon ulkohalkaisija (mm)	1 650	1 650	1 650
Rengaslohkun seinämäpaksuus kapselin vieressä (mm)	290	290	290
Kapselireiän halkaisija rengaslohkossa (mm)	1 070	1 070	1 070

Nykyisen referenssiratkaisun (Juvankoski 2012) suurimpia muutoksia aikaisempaan suunnitelmaan (Juvankoski 2009) nähden ovat:

- referenssiratkaisuun on sisällytetty bentoniittilohkojen kosteussuojaus,
- loppusijoitusreiän pohjan referenssiratkaisuna on nyt kuparilevyn käyttö aikaisemman matalan pH:n sementtilaastilla tehtävän pohjan tasauksen sijaan,
- bentoniittilohkojen ja kallion välisen raon leveys on kasvatettu 25 mm:stä 50 mm:iin,
- bentoniittilohkojen halkaisijaa on pienennetty kasvatettua rakoa vastaavaksi 1 700 mm:stä 1 650 mm:iin,
- bentoniittilohkojen ja kallion välinen rako täytetään asennusvaiheessa pelleteillä,
- bentoniittilohkojen korkeudet on muutettu tasakorkeista lohkoista kapselikohtaisiin korkeuksiin,
- kapselin alapuolisen bentoniittilohkon korkeus on muutettu 800 mm:stä 500 mm:iin,
- kapselin yläpuolelle asennettavien lohkojen yhteiskorkeus on muutettu 2 200 mm:stä 2 500 mm:iin,
- loppusijoitusreiän syvyyttä on kasvatettu tunnelin pohjan louhintatoleranssin mukaan loppusijoitustunnelin suurimman louhintatoleranssin ja reiän pohjalle tulevan kuparilevyn paksuuden verran,
- puskurilohkojen vesipitoisuus on muutettu 16 %:sta 17 %:iin,
- puskurilohkojen asennustilavuuspainot ovat muutettu lohkotyyppikohtaisiksi,
- OL1-2- ja OL3-kapselien asennuksen vaatiman asennussyvennyksen muotoa on muutettu, ja
- puskurimateriaalin montmorilloniittipitoisuudelle on asetettu yläraja, 90 %.

Puskurilohkojen kosteussuojauksen luotettava asentaminen, käyttö ja poistaminen ovat edellyttäneet bentoniittilohkojen ja loppusijoitusreiän kallion seinän välissä olevan raon kasvattamista 50 mm:iin (Ritola & Peura 2012). Rakoa on kasvatettu puskurilohkojen halkaisijaa pienentämällä. Rako täytetään bentoniittipelleteillä, jotka valmistetaan samasta materiaalista kuin bentoniittilohkotkin. Raon täyttämistä pelleteillä on selvitetty eri mittakaavan laboratoriokokeilla (Kivikoski & Marjavaara 2011). Raon täyttäminen

pelleteillä parantaa puskurin antamaa tukea loppusijoitusreiän seinille ja se parantaa myös kapselista vapautuvan lämmön johtumista kallioon jo puskurin kyllästymisen alkuvaiheessa pelkkään ilmarakoon verrattuna. Puskurin lämpötilan on laskettu maksimissaan olevan noin 85 °C (*Performance Assessment*) tilanteessa, jossa rako on täynnä vettä tai bentoniittia. Puskurin aiemmin tehdyt lämpötilatarkastelut (Ikonen 2009) ovat parhaillaan päivitettävissä. Myös raon täyttöön parhaiten sopivien pellettien optimointityö ja sen tulosten arviointi on valmistumassa (Marjavaara & Holt 2012).

Vuoden 2011 aikana ONKALOon rakennettiin 1/3-mittakaavan puskurikoe, ks kuva 4-40. Kokeen tavoitteena on kerätä tietoa ja kokemusta puskurin ja kokeen seurantainstrumentoinnin asentamisesta, käyttäytymisestä ja kestävyyydestä todenmukaisissa loppusijoitusolosuhteissa. Koetta varten ONKALOon tutkimustilan 1 (PL1475) lattiaan porattiin kaksi halkaisijaltaan 800 mm:n reikää, joiden syvyys on 3 metriä. Kokeen puskurilohkot puristettiin isostaattisesti MX-80-bentoniitista. Kokeessa käytetään lämmitettäviä kapseleita. Puskurilohkojen ja kapselin asennuksen jälkeen reiät suljettiin kallioon ankkuroiduilla teräskansilla ja toista rei'istä kasteltiin sitä varten asennetulla kastelujärjestelmällä. Tällä tavalla puskurin kastumista voitiin nopeuttaa. Puskurin ja koejärjestelmän käyttäytymistä seurataan usean vuoden ajan. Paineen, kosteuden ja lämpötilan kehittymistä mitataan erityyppisillä antureilla yhteensä 114 mittauspisteen avulla. Kokeesta saatavia tuloksia ja kokemuksia käytetään hyväksi täyden mittakaavan puskurikokeen ja maanalaisen yhteistoimintakokeen suunnittelussa ja rakentamisessa.



Kuva 4-40. Puskurikokeen asennus ONKALOn tutkimustilassa 1 (PL1475).

Puskurin valmistus

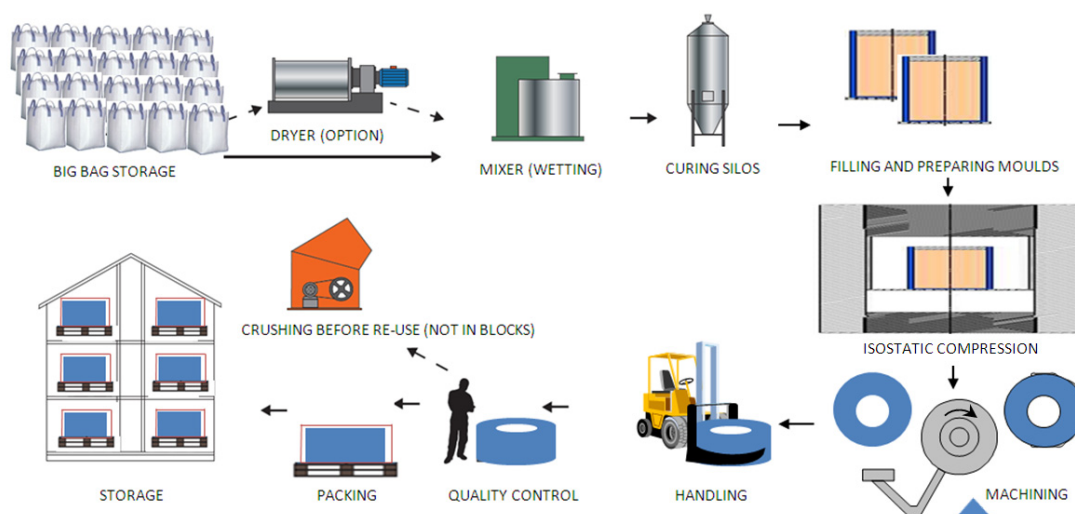
Posiva kehittää puskurilohkojen valmistukseen isostaattista puristustekniikkaa. Bentoniittilohkojen korkeudessa tapahtuneet muutokset johtuvat lohkojen valmistus- ja työstötekniikan kehitystyössä saaduista kokemuksista (Ritola & Pyy 2011). Lohkot pystytään valmistamaan halutun korkuisiksi, mikä vähentää lohkojen lukumäärää ja nopeuttaa asentamista.

Loppusijoitusreiän korkeutta on muutettu tunnelin pohjan louhintatoleranssin mukaan (*Underground Openings Production Line report*). Loppusijoitusreiän pituus mahdollistaa puskurin vakiomittaisen kosteussuojauksen käytön.

Puskurilohkojen vesipitoisuutta on kasvatettu yhdellä prosenttiyksiköllä. Sylinterimäisten ja rengasmaisten bentoniittilohkojen asennustilavuuspainot ovat nyt erisuuruiset. Nämä muutokset pohjautuvat puskurisuunnitelmassa tehtyihin loppusijoitusreiän ja lohkopaksuuden dimensiomuutoksiin ja puskurin saturoituneen tilavuuspainon tasaamiseen puskurin eri osissa (Juvankoski 2012).

Ylärajan asettaminen montmorilloniittipitoisuudelle perustuu bentoniitin paisuntapaineen rajoittamiseen tasolle (Juvankoski 2012), joka vastaa kapselin mitoituksessa käytettyä paisuntapainetta (Raiko 2012).

Loppusijoitusreikiä varten valmistetaan yhteensä lähes 50 000 bentoniittilohkoa (4 500 kapselia LO1-2- ja OL1-4-ydinvoimalaitosyksiköiden käytettyä ydinpolttoainetta varten) (*Buffer Production Line report*). Lohkoihin ja pelletteihin käytettävä bentoniittimäärä on noin 140 000 tonnia. Suunnitteilla olevan OL4-ydinvoimalaitosyksikön polttoainetyyppiä ei ole vielä valittu ja siten käytettyä ydinpolttoainetta varten tarvittavia kapseleita ja puskurikomponentteja ei ole vielä suunniteltu. Em. arvioissa OL4-laitosyksikön ydinpolttoaine ja siten myös kapselit ja puskuri on oletettu samanlaisiksi kuin OL3-laitosyksikön. Periaatekuva puskurilohkojen tuotannosta on esitetty kuvassa 4-41.



Kuva 4-41. Puskurilohkojen tuotantoprosessi (*Buffer Production Line report*).

Puskurin asennus

Puskuri kootaan asennusvaiheessa loppusijoitusreiän pohjalle asennettavasta kuparilevystä, sylinterimäisestä pohjalohkosta, kapselia ympäröivistä rengaslohkoista (4–6 kappaletta kapselistä riippuen) ja kapselin päälle asennettavista neljästä sylinterimäisestä päällyslohkosta sekä lohkojen ja loppusijoitusreiän kalliopinnan väliin asennettavasta pellettitäytöstä.

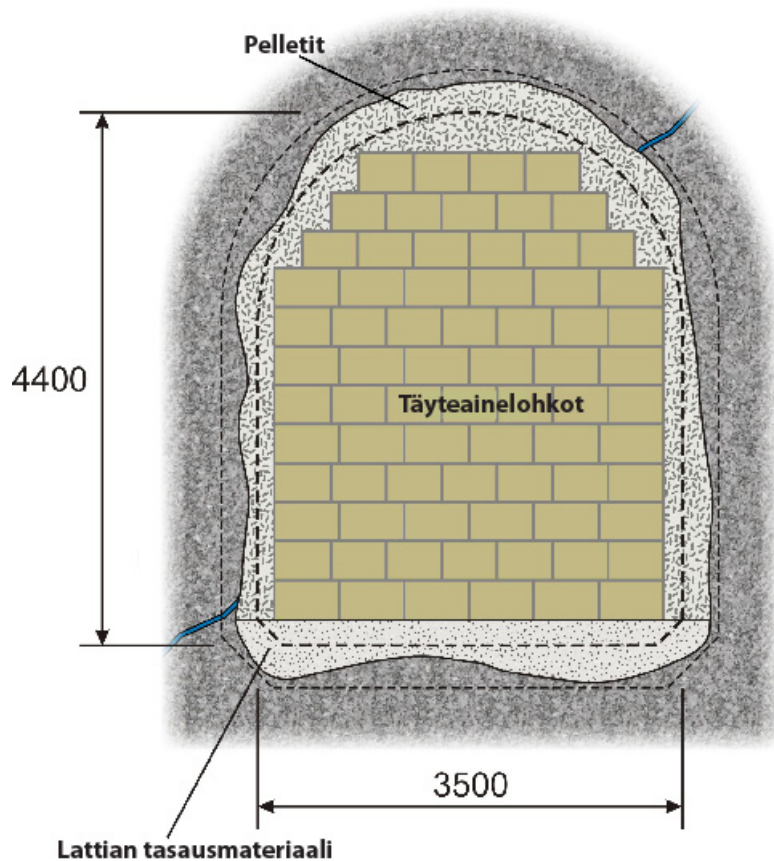
4.5.3 Loppusijoitustunnelien täyttö ja sen tuotantolinja

Täytön ja päätytulpan vaatimukset

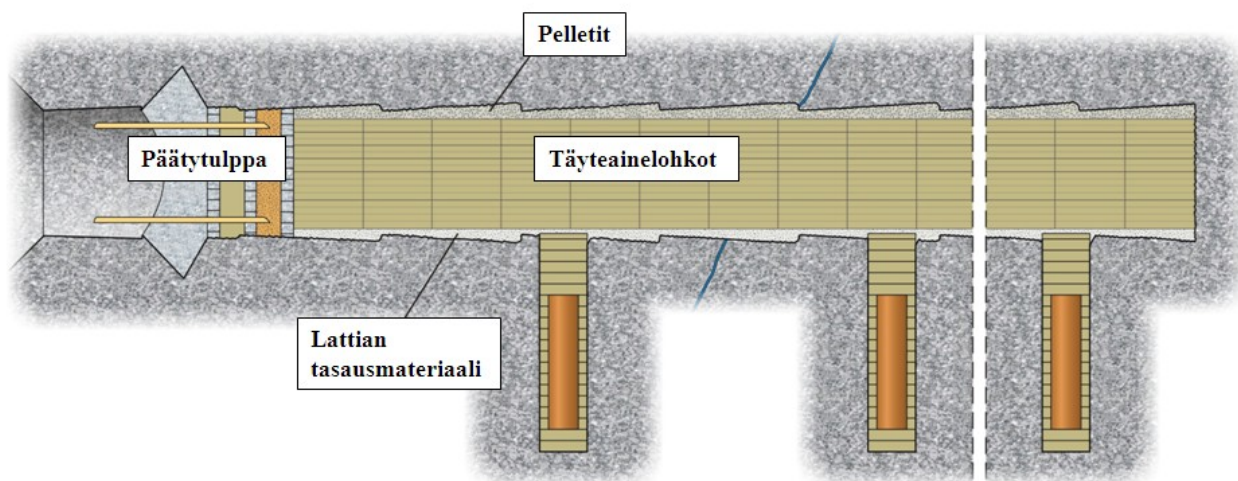
Loppusijoitustunnelin täytölle ja päätytulpalle on määritelty pitkäaikaisturvallisuuteen liittyvät turvallisuustoiminnot, toimintakykytavoitteet ja näistä johdetut suunnitteluvaatimukset ja -arvot (suunnitteluspesifikaatiot). Vaatimuksia on kehitetty vuosina 2009–2011 ja ne on määritelty Posivan VAHA- eli vaatimusten hallintajärjestelmään. Nykyiset vaatimukset loppusijoitustilan täytölle ja päätytulpalle on hyväksytty VAHA-järjestelmään pääosin vuonna 2011 ja ne on esitetty raporteissa *Design Basis*, *Backfill Production Line report* ja Autio ym. (2012). Vaatimusten tausta ja perustelut sekä tasojen 1–4 VAHA-vaatimukset on esitetty *Design Basis* -raportissa. Suunnitteluspesifikaatiot on esitetty täytön tuotantolinjaraportissa (*Backfill Production Line report*).

Täytön suunnitelma

Loppusijoitustunnelien täytön suunnitelma on esitetty raportissa Hansen ym. (2009) sekä päivitettyinä täytön suunnitteluraportissa (Autio ym. 2012) ja täytön tuotantolinjakuvauksen sisältävässä raportissa (*Backfill Production Line report*). Vuoden 2009 suunnitteluraportissa (Hansen ym. 2009) kuvattiin suunnitelma, joka perustui esipuristettujen lohkojen käyttöön tunnelin pääasiallisena täyttömateriaalina. Lisäksi kuvattiin lattian tasaus *in situ* -tiivistysmenetelmällä ja pellettien asennus puhaltamalla. Vuonna 2012 päivitettyissä suunnitelmissa (Autio ym. 2012 ja *Backfill Production Line report*) täytön pääkomponentit ovat edelleen samat (ks. kuvat 4-42 ja 4-43), mutta lohkokoko ja lohkojen asennuskaavio on optimoitu siten, että lohkojen ja tunnelin holvin väliin jää pienempi tilavuus pellettejä kuin vuoden 2009 suunnitelmassa. Tällä muutoksella pienennettiin epävarmuuksia systeemin homogenisoitumisen suhteen. Lisäksi uudessa suunnitelmassa lohkot limittyvät sekä leveys- että pituussuunnassa parantaen rakenteen stabiilisuutta ja rakenteellista jäykkyyttä. Huomioitavaa on myös, että täytön suunnittelussa on otettu lähtökohdaksi demonstraatiotunneleiden louhintatoleranssit, mikä on vaikuttanut muun muassa lattian tasauskerroksen kerrosvahvuuteen.



Kuva 4-42. Loppusijoitustunnelin täytön peruskomponentit ovat lattian tasausmateriaali, täyteainelohkot ja pelletit (Autio ym. 2012, Backfill Production Line report).



Kuva 4-43. Loppusijoitustunnelin täytön peruskomponentit ja päätytulppa. Päätytulppa koostuu betonisen osan lisäksi tiivistys- ja suodatinkerroksesta (Backfill Production Line report).

Täyttömateriaalit

Vuoden 2009 suunnitelmassa (Hansen ym. 2009) lohkojen referenssimateriaaliksi esitettiin Friedland-savea ja vaihtoehtoisina materiaaleina bentoniitin ja murskeen seosta (seossuhde 40:60) sekä SKB:n päämateriaalivaihtoehtoa Milos B -bentoniittia (IBECO RWC BF). Lattian tasausmateriaalivaihtoehdot olivat bentoniitin ja murskeen seos ja bentoniittipelletit. Pellettien määriteltiin koostuvan hyvälaatuisesta bentoniitista, jonka montmorilloniittipitoisuus on $> 75 \%$. Päivitetyssä suunnitelmassa (Autio ym. 2012) ei enää esitetä vaihtoehdoksi bentoniitin ja murskeen seosta (40:60). Pääsyy tähän oli laboratoriotutkimukset (Schatz & Martikainen 2012), jotka toivat esiin epävarmuuksia koskien seoksen paisumiskykyä, vedenjohtavuutta ja systeemin homogenisoitumista normaalissa tilanteessa ja eroosiokanavan muodostumisen jälkeen.

Täyttömateriaalien mineralogialla ja kemialla on tutkittu ja uusia tuloksia on julkaistu lähteissä Kumpulainen & Kiviranta (2010, 2011) ja Kiviranta & Kumpulainen (2011).

Yksi materiaaleihin liittyvä johtopäätös on, että Friedland-saven rinnalle on toimitusvarmuussyistä arvioitava vaihtoehtoja (tai vaihtoehtoisia materiaaleja), jotka täyttävät yhtä lailla täytölle asetetut vaatimukset koskien materiaalin mineralogista ja kemiallista koostumusta ja laatua.

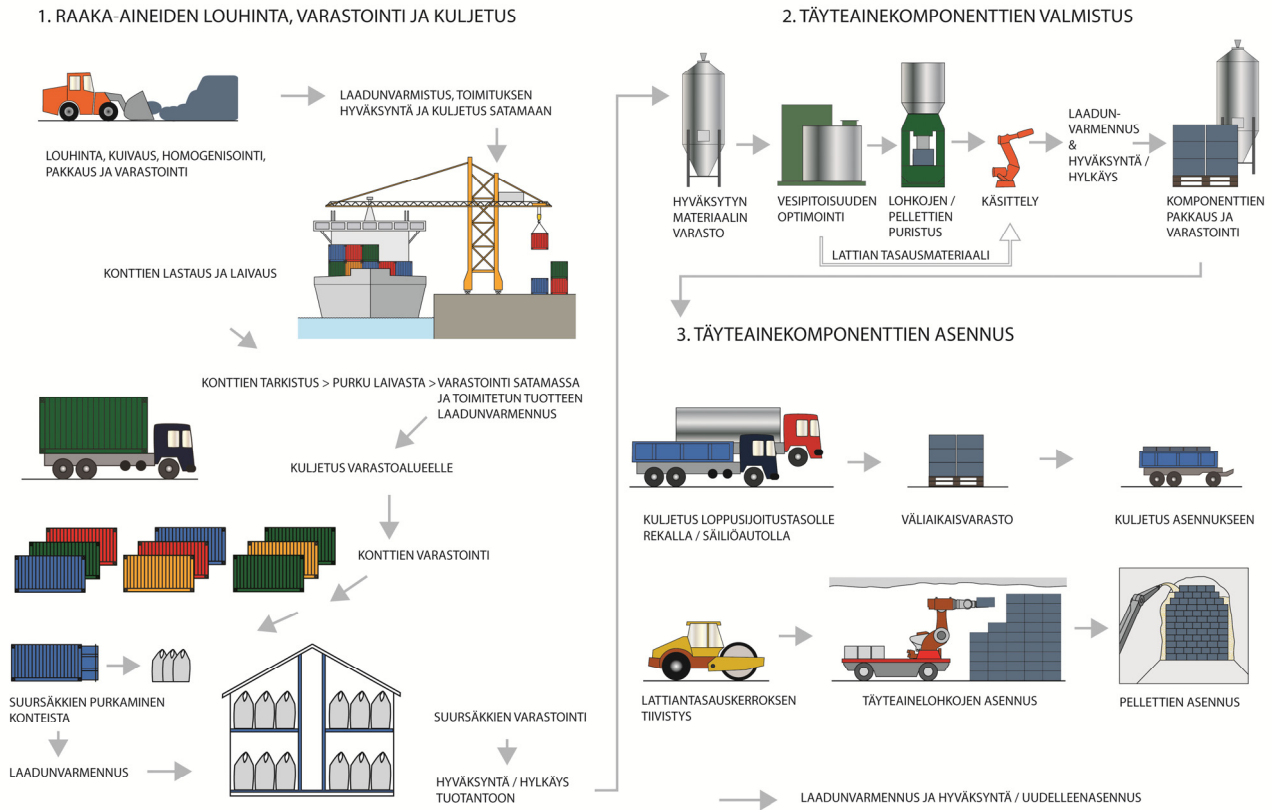
Täytön tuotantolinja

Täytön tuotantolinjan eri vaiheet prosesseineen on määritelty täytön tuotantolinjaraportissa (ks. kuva 4-44) (*Backfill Production Line report*). Tuotantolinjaraportti sisältää kuvauksen tuotannon eri vaiheista alkaen materiaalin hankinnasta ja päätyen asennetun lopputuotteen laadun todentamiseen. Lisäksi raportissa esitetään täytön ja päätytulpan alkutilan kuvaus ja vaatimuksenmukaisuus alkutilassa. Tuotantolinjan eri vaiheille on myös tehty alustava riskikartoitus.

Täytön hankintaketjun vaiheet on esitetty tuotantolinjaraportissa täyteainelohkojen raaka-aineelle. Hankintaketjun määrittäminen muiden täyttökomponenttien materiaaleille, optimointi ja vaihtoehtoisten materiaalien kartoitus jatkuu seuraavana kolmivuotiskautena.

Täytön laadunvalvontasuunnitelma ja -ketju on alustavasti määritelty tuotantolinjan jokaiselle vaiheelle. Laadunvalvontasuunnitelman ja -menetelmien kehitystyö jatkuu tämän työn perusteella.

Yleiskuvaus täytön tuotantoprosessista



Kuva 4-44. Täyttökomponeenttien tuotantoketjun yleiskuvaus.

Täyttökomponeenttien valmistus

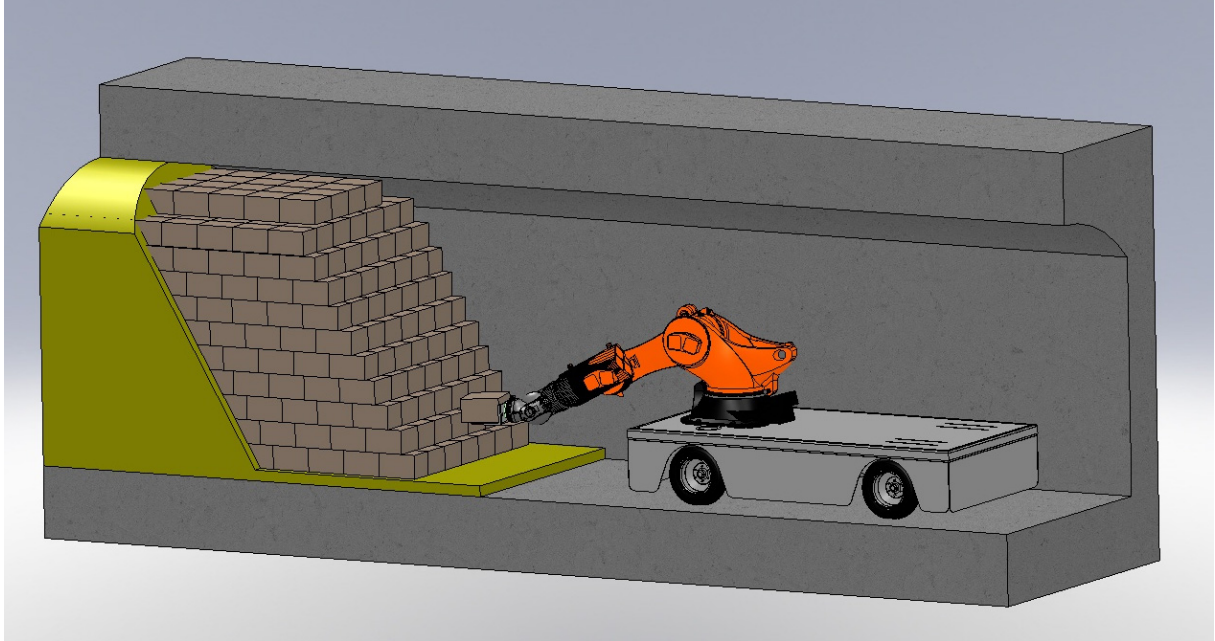
Täyttökomponeenttien valmistusta on testattu teollisessa mittakaavassa Ruotsissa yhteistyössä SKB:n kanssa. Täyteainelohkot valmistetaan yksiaksiaalisella puristusmenetelmällä. Pienen mittakaavan ja teollisen mittakaavan testien perusteella nykytekniikalla pystytään tuottamaan vesipitoisuudeltaan ja tiheydeltään riittävän tasalaatuisia täyteainelohkoja. Täyteainelohkojen puristamiseen liittyvä kehitystyö on esitetty raportissa (Koskinen 2011).

Täyttökomponeenttien asennus

Vuoden 2009 täytön suunnitelmaraportissa (Hansen ym. 2009) esitettiin täyteainelohkojen asennus moduulimenetelmällä. Päivitetyssä suunnitelmassa (Autio ym. 2012, *Backfill Production Line report*) täyteainelohkojen asennustavaksi esitetään automatisoitua asennusta yksi lohko kerrallaan (ks. kuva 4-45). Automatisoidun asennuksen etuna on tarkkuus, tehokkuus ja inhimillisten virheiden välttäminen.

Täyttökomponeenttien asennusta on testattu ¼-tunnelimittakaavassa tehdyissä kenttäkokeissa (Keski-Kuha ym. 2012). Samalla on testattu vesivuotojen vaikutusta systeemin vettymiseen ja eroosioon. Lisäksi syksyllä 2011 on tehty lattia-

tasausmateriaalin asennustestejä, joiden perusteella paikalleen asennus on toteutettavissa (Autio ym. 2012). Asennuksen toteuttaminen loppusijoituksen edellyttämässä mittakaavassa ja nopeudella vaatii kuitenkin vielä kehitystyötä ja testausta.



Kuva 4-45. Esimerkkikuva täytön automatisoidusta asennuslaitteesta.

Loppusijoitustunnelien päätytulpan suunnitelma

Loppusijoitustunnelien päätytulpan suunnitelmia on kaksi. Päätytulpan nykyinen referenssisuunnitelma perustuu SKB:n tekemään suunnitelmaan ja on esitetty täytön tuotantolinjaraportissa (*Backfill Production Line report*). Betonisen osan lisäksi päätytulpan täytön puolelle on suunniteltu tiivistys- ja suodatinkerrokset (ks. kuva 4-43). Vaihtoehtoisen päätytulpan suunnitelma on esitetty lähteessä Haaramo & Lehtonen (2009).

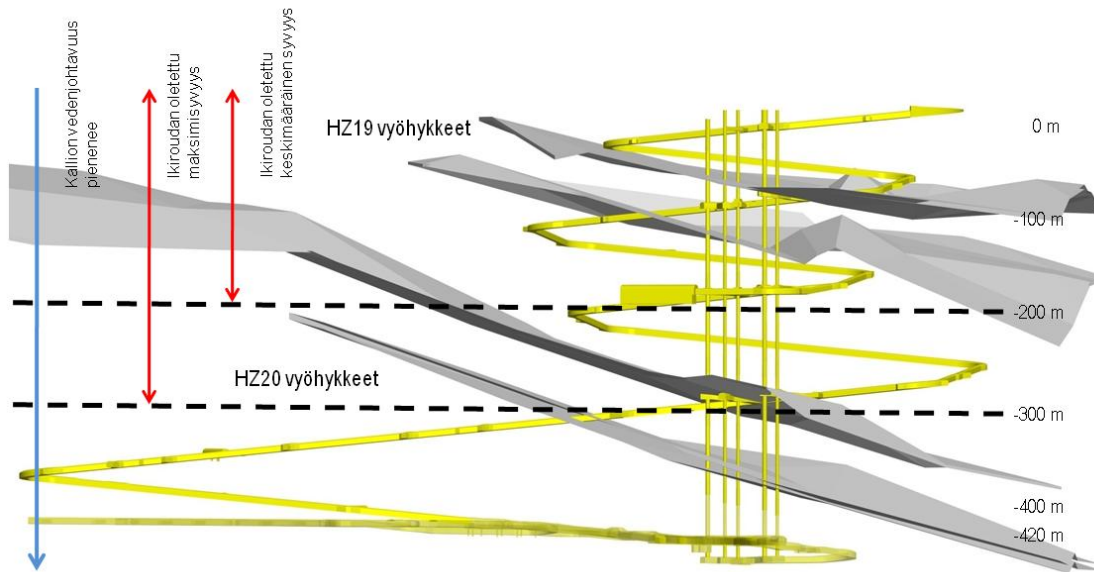
4.5.4 Loppusijoitustilojen sulkeminen

Sulkeminen käsittää loppusijoitustilojen täytön ja sulkurakenteet, eli tulpat, kaikissa louhituissa tiloissa, tunneleissa ja kuiluissa sekä tutkimusrei'issä. Loppusijoituslaitoksen sulkemisen ratkaisu on kuvattu kuluvalle TKS-kaudella sulkemisen tuotantolinjaraportissa (*Closure Production Line report*). Loppusijoituslaitoksen sulkeminen viimeistelee käytetyn ydinpolttoaineen eristyksen elollisesta luonnosta ja mahdollistaa kallioperän luonnollisten olojen palautumisen vähitellen. Tunnelien, kuilujen ja muiden tilojen sulkeminen estää suorien virtaus- ja kulkeutumisreittien muodostumisen maanpinnan ja loppusijoitustunneleiden ja -reikien välille. Pitkällä aikavälillä sulkemisen tehtävänä on myös säilyttää suotuisat olosuhteet käytettyä ydinpolttoainetta ympäröivässä kalliossa.

Loppusijoituspaikka ja sen tuleva evoluutio vaikuttavat merkittävästi sekä loppusijoituslaitoksen sulkemiselle asetettaviin vaatimuksiin että niiden pohjalta

kehitettyyn sulkemistratkeaisuun. Vaatimukset ja suunnitteluperusteet on kuvattu tarkemmin *Design Basis* -raportissa VAHA-tasojen 1–4 osalta ja Closure Production Line -raportissa tason 5 osalta.

Sulkemisen referenssisuunnitelma perustuu loppusijoitusalueen geologisiin ja hydrogeologisiin olosuhteisiin (keskeiset rikkonaisuusvyöhykkeet ja kallioperän vedenjohtavuusominaisuudet) sekä arvioon mahdollisen ikiroudan syvyydestä (kuva 4-46) (*Closure Production Line report*).



Kuva 4-46. Merkittävimmät vettäjohtavat HZ19- ja HZ20-vyöhykkeet sekä oletus ikiroudan syvyydestä, joiden pohjalta sulkemisen referenssiratkaisu on laadittu (Dixon ym. 2012).

Vaihtoehtoisia sulkemistratkeisuja ja -materiaaleja sekä referenssiratkaisun taustaa on käsitelty raportissa Underground Disposal Facility Closure Design 2012 (Dixon ym. 2012). Yksityiskohtainen sulkemissuunnitelma, sulkemisen täyttömateriaalit ja -menetelmät, sekä sulkemisessa käytettävien hydraulisten, mekaanisten ja tunkeutumista hankaloittavien tulppien periaateratkaisu on esitetty Closure Production Line 2012 -raportissa.

Sulkemistratkeisuuden suunnittelu

Tilojen sulkeminen alkaa näillä näkymin vasta kymmenien vuosien kuluttua, kun ensimmäiset keskustunnelit suljetaan. Tämänhetkiset sulkemissuunnitelmat ovat siksi osin vielä alustavia.

Sulkemistrakenteiden periaatteet, niiden valmistus- ja asennusmenetelmät sekä niiden laadunvalvontaan liittyvät asiat on kuvattu yleisellä tasolla Closure Production Line 2012 -raportissa. Kokemukset tilojen sulkemiseen liittyvistä testeistä ja kokeista on

kerätty raporttiin Underground Disposal Facility Closure Design (Dixon ym. 2012). Vaikka sulkemissuunnitelmia ei varsinaisesti ole testattu Posivan toimesta, niin loppusijoitustunnelien täyttökokeet ja niistä saatavat tulokset sekä maanrakennusteollisuuden kokemukset hyödyttävät myös loppusijoitustilojen sulkemistekniikan kehitystä. Lisäksi tilojen sulkemiseen liittyvää käytännön kokemusta on saatu Kanadan maanalaisen testilaboratorion (URL) sulkemiseen liittyvästä kuilun sulkemisen yhteydessä toteutuneesta tulppademonstraatiosta (Martino ym. 2011). Yllämainitun kuilun sulkemiseen liittyvien tulppien ja täytön asentamisen jälkeisestä tilaa monitoroidaan. Monitoroinnin ensimmäiset tulokset on kuvattu raportissa Holowick ym. (2011).

Keskustunnelit ja yhdystunnelit täytetään nykyisten suunnitelmien mukaan vastaavasti kuin loppusijoitustunnelit. Keskustunnelit ovat kooltaan suurempia kuin loppusijoitustunnelit ja louhintatoleranssit eivät ole yhtä tiukat, mutta vaatimukset sulkemiselle ovat myös lievemmat. Tästä syystä samat materiaalit ja menetelmät ovat soveltuvia.

Tekniset tilat ja ajotunneli aina 420 metrin syvyydelle asti täytetään paikalleen tiivistettyinä kivimurskeilla ja murskeen ja bentoniitin seoksilla riippuen syvyydestä ja etäisyydestä loppusijoitustunneleihin. Kuiluissa käytetään paikoin savilohkoja ja paikoin murskeen ja bentoniitin seosta tiivistämällä se kuiluun *in situ* -menetelmällä. Dixonin ym. (2012) raportissa on kuvattu murskeen ja bentoniitin seosten ominaisuuksia ja valmistus- ja asennusmenetelmiä.

Tulppien osalta on kuvattu perusteet tulppien paikoille ja alustava suunnitelma tulppien määrästä eri osassa tiloja. Lisäksi on perusteltu tulppien mitoitus ja alustavia tuotantotapoja. Tulppia varten tarvitaan myös mekaanisesti louhittu paikka ilman häiriövyöhykettä. Tulpan paikan valintaa, kriteereitä ja teknistä toteutusta on kehitetty loppusijoitustunnelin tulpan kehitystyön yhteydessä ja siitä saatavia tietoja voidaan myöhemmin soveltaa myös sulkemisessa tarvittaviin mekaanisiin ja hydraulisiin tulppiin. Sulkurakenteiden kestävyyttä on arvioitu yleisesti *Performance Assessment* -raportissa.

Toistaiseksi ei ole toteutettu vielä muita ison mittakaavan testejä tai demonstraatioita, mutta vuonna 2012 on käynnistymässä yhteiseurooppalainen hanke sulkemiseen liittyvien rakenteiden ja tulppien testaamiseksi täydessä mittakaavassa (DOPAS). Hankkeessa arvioidaan erilaisten tulppien toimintakykyä ja pitkäaikaista käyttäytymistä erilaisissa kivilajiympäristöissä ja mm. ONKALossa ja Äspössä toteutettavat loppusijoitustunnelitulppatestit ovat mukana hankkeessa.

Kairareikien sulkeminen

Osana loppusijoitustilojen sulkemista myös syvät tutkimustarkoituksia varten toteutetut kairareiät suljetaan. Kairareiät eivät läpäise ONKALOA tai loppusijoitustiloja, mutta ovat niihin yhteydessä kallioperän luonnollisen rakoverkoston kautta. Kairareiät ovat suora yhteys maan pinnalta loppusijoitus- ja syvyyden kallioperään loppusijoituslaitoksen läheisyydessä, joten niiden sulkeminen on tehtävä kallioperän luonnollisten hydrogeologisten olosuhteiden palauttamiseksi.

Nykyisen suunnitelman mukaan kairareikien tiivistetyistä savilohkoista valmistettu täyttömateriaali asennetaan pintaosista noin 500 m syvyydelle ulottuen siten, että täyttömateriaali viedään haluttuun syvyyteen rei'itetyssä kupariputkessa ja täyttömateriaalin ohella myös kupariputki jää reikään. Tätä syvemmälle täyttömateriaali viedään haluttuun syvyyteen vesitiiviissä säiliössä, josta täyttömateriaali työnnetään ulos. Säiliö nostetaan pois ja reikään jää täyttömateriaalin ohella pohjalevy (esim. kuparia). Kupariputkea on käytetty OL-KR24:n sulkemisessa (Rautio 2006). Kairarei'issä olevan pohjaveden virtaus voi aiheuttaa asennetun täyttömateriaalin eroosiota asennuksen aikana, minkä vuoksi tämänhetkisen tiedon vallitessa tämän menetelmän käyttösyvyys on rajattu 500 metriin. Vesitiiviin säiliön käytöllä asennuksen aikainen eroosio voidaan välttää ja se on se otettu vaihtoehdoksi syvemmälle tehtävälle täytölle. Menetelmä on kuitenkin edelleen kehitteillä, joten sitä ei nykytietämyksellä voida ottaa ainoaksi vaihtoehdoksi täyttömateriaalin asennukselle.

4.6 Turvallisuusperustelu

4.6.1 Turvallisuusperustelun lähtökohdat ja metodologia

Rakentamislupahakemusta tukemaan laaditaan turvallisuusperustelu (TURVA-2012), 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 (IAEA 2006). Valtioneuvoston asetuksen (VNA 736/2008) mukaan *“Pitkäaikaisturvallisuutta koskevien säteilyvaatimuksien täyttyminen sekä loppusijoitusmenetelmän ja loppusijoituspaikan soveltuvuus on osoitettava turvallisuusperustelulla, jossa on tarkasteltava sekä todennäköisinä pidettäviä kehityskulkuja että pitkäaikaisturvallisuutta heikentäviä epätodennäköisiä tapahtumia”*. Lisäksi todetaan myös, että *“turvallisuusperustelu muodostuu kokeellisiin tutkimuksiin perustuvasta numeerisesta analyysistä sekä täydentävistä tarkasteluista siltä osin kuin kvantitatiiviset analyysit eivät ole mahdollisia tai niihin sisältyy huomattavia epävarmuuksia”*.

Turvallisuusperustelu on osa rakentamislupahakemuksen yhteydessä STUKille toimitettavaa aineistoa. Alustavaan turvallisuusselosteeseen (PSAR) liitetään turvallisuusperustelun yhteenveto, joka pohjautuu turvallisuusperustelun *Synthesis*-raporttiin (ks. kuva 4-47).

Lupahakemuksen perustana oleva turvallisuusperustelu on laadittu KBS-3-periaatteen pystysijoitusratkaisulle (KBS-3V). Turvallisuusperustelu on tehty 9 000 tU:n polttoainemäärälle, joka vastaa TVO:n ja Fortumin nykyisten ja rakenteilla olevien voimalaitosten (OL1-4 ja LO1-2) käytetyn polttoaineen arvioitua kokonaiskertymää.

Rakentamislupahakemukseen liitettävän turvallisuusperustelun sisältö ja periaatteet kuvattiin TKS-2009-ohjelmassa siten, kuin se oli esitetty vuonna 2008 laaditussa turvallisuusperustelusuunnitelmassa. Vuoden 2009 jälkeen turvallisuusperustelun sisältöä on tarkennettu ottaen huomioon ensimmäisestä luonnosversiosta saatu viranomaispalaute ja viranomaisohjeiden muutokset (YVL). Uuden turvallisuusperustelun TURVA-2012-raporttisalkun sisältö on esitetty kuvassa 4-47.

TURVA-2012	
Synthesis	
Yleisen metodologian kuvaus, yhteenveto kaikista turvallisuutta koskevista perusteluista, luotettavuuden toteaminen sekä pitkäaikaisturvallisuusvaatimusten täyttymisen arviointi.	
Site Description	Biosphere Description
Loppusijoituskallion nykytilan ja menneen kehityskulun kuvaus.	Maanpintaympäristön nykytilan ja kehityskulun kuvaus.
Design Basis	
Vapautumisesteiden toimintakykytavoitteet ja tavoiteominaisuudet.	
Production Lines	
Teknisten vapautumisesteiden ja kalliotilojen suunnittelu, tuotanto ja alkutila.	
Description of the Disposal System	
Yhteenveto maanalaisen loppusijoitusjärjestelmän alkutilasta ja maanpintaympäristön nykytilasta.	
Features, Events and Processes	
Yleinen kuvaus loppusijoitusjärjestelmään vaikuttavista ilmiöistä, tapahtumista ja prosesseista.	
Performance Assessment	
Maanalaisen loppusijoitusjärjestelmän toimintakyvyn analyysi ja toimintakykytavoitteiden ja tavoiteominaisuuksien täyttymisen arviointi.	
Formulation of Radionuclide Release Scenarios	
Ilmaston kehityskulun kuvaus sekä päästöskenaarioiden määrittäminen.	
Models and Data for the Repository System	Biosphere Assessment Data Basis
Maanalaisen loppusijoitusjärjestelmän analyysissä käytetyt mallit ja lähtötiedot.	Biosfäärianalyyseissä käytetyt lähtötiedot ja yhteenveto malleista.
Biosphere Assessment: Modelling reports	
Kuvaus malleista ja maanpintaympäristön yksityiskohtainen mallintaminen.	
Assessment of Radionuclide Release Scenarios for the Repository System	Biosphere Assessment
Päästöjen analysointi sekä annosten ja aktiivisuusvuoarvojen laskeminen.	
Complementary Considerations	
Täydentävät todisteet, mm. luonnon- ja antropogeeniset analogiat.	
	Pääraportit
	Keskeisimmät taustaraportit

Kuva 4-47. Turvallisuusperustelun TURVA-2012-raporttisalkku. Raportit on esitetty värillisellä pohjalla ja niiden sisältö on kuvattu lyhyesti valkoisella pohjalla.

Uusitusissa suunnitelmassa on tehty mm. seuraavat muutokset:

- TURVA-2012-portfolio (kuva 4-47) on huomattavasti laajempi kuin Turvallisuusperustelu 2008:n portfolio (Posiva 2008c). Kokonaan uusia pääraportteja ovat *Design Basis* ja *Performance Assessment*, jotka vastaavat viranomaisohjeen YVL D.5 vaatimuksiin. *Design Basis* -raportissa esitetään VAHAssa määritetyt toimintakykytavoitteet / tavoiteominaisuudet ja niiden perusteet. Toimintakykytavoitteet ja tavoiteominaisuudet on määritetty huomioiden loppusijoituksen tavoitteena oleva radionuklidien eristäminen ympäristöstä sadoiksi tuhansiksi vuosiksi sekä olosuhteet ja kuormitukset, joita voi esiintyä kohtuullisen todennäköisiksi arvioituissa loppusijoitusjärjestelmän kehityskuluissa (design basis scenarios).
- *Performance Assessment* -raportissa osoitetaan toimintakykytavoitteiden ja tavoiteominaisuuksien täyttyminen loppusijoitustilan todennäköisten kehityskulkujen aikana. Radionuklidien vapautumiseen johtavat skenaariot on tarkasteltu erikseen *Formulation of Radionuclide Release Scenarios 2012* -raportissa.
- Prosessiraportti on uudessa portfolioissa saanut nimen *Features, Events and Processes* (FEP) ja sen sisältöä on laajennettu, etenkin pintaympäristön (biosfäärin) osalta.
- Radionuklidien vapautumis- ja kulkeutumisanalyysi, mukaan lukien annoslaskut ja aktiivisuuspäästöt sisältyvät raportteihin *Assessment of Radionuclide Release Scenarios* sekä *Biosphere Assessment*.
- Yli miljoonan vuoden päähän ulottuva turvallisuuden arviointi koskien erityisesti loppusijoitusjärjestelmän toimintakykyä perustuu pääasiassa täydentäviin tarkasteluihin (*Complementary Considerations*), joihin sisältyy mm. vertailuja luonnonanalogioihin ja sijoituspaikan geologista historiaa koskevia havaintoja (STUK, YVL D.5, A09).
- Kallioperän ja pintaympäristön (biosfäärin) kuvaukset (*Site Description* ja *Biosphere Description*) sekä teknisiä päästöesteitä ja kalliotilojen suunnittelua koskevat tuotantolinjaraportit (*Production Lines*) on otettu selkeämmin osaksi TURVA-2012-portfolioa pääraportteja tukevinä dokumentteina.

Turvallisuusperustelusalkun pääraporttien tarkastamisessa on käytetty riippumattomia asiantuntijoita ennen niiden julkaisemista. Myös merkittävät taustaraportit on tarkastettu vastaavan menettelyn mukaan. Lisäksi loppusijoitusjärjestelmän kehityskulkuun liittyvää ilmaston kehitystä ja lähi- ja kaukoalueen kulkeutumislaskujen liukoisuus-, sorptio- ja diffuusioparametreja on arvioitu asiantuntija-arvioprosessin avulla (ns. Expert elicitation). Lisäksi johdonmukaisuuden varmistamiseksi on nimetty asiantuntijaryhmä, joka tarkastaa kaikki lupahakemuksen turvallisuussalkun pääraportit. Asiantuntijat on valittu siten, että nämä kattavat turvallisuusperustelun tuotantoprosessin keskeiset alueet. Tarkastusprosessiin kuuluu tarkastusten lisäksi toimenpiteiden dokumentointi.

Turvallisuusperusteluun liittyvän turvallisuusanalyysin koko dokumentaation ja lähtötietojen jäljitettävyyttä on kehitetty ottamalla käyttöön työkaluja, joilla koko prosessi on kirjattu systemaattisesti lähtötieto- ja tulostietokantaan. Lisäksi turvallisuusanalyysin tarvitsemat lähtötiedot ovat käyneet läpi hyväksymisprosessin ennen käyttöä (Data clearance).

TKS-2009-ohjelmassa keskeisiksi TKS-tehtäviksi (taulukko 4-3) ennen rakentamislupahakemuksen jättämistä asetettiin sellaisten puutteiden ja epävarmuuksien poistaminen, jotka voisivat merkittäväällä tavalla kyseenalaistaa pitkäaikaisturvallisuusarvioiden luotettavuuden. Keskeinen TKS-tehtävä ja tavoite kaudelle 2010–2012 oli vapautumisesteiden oletettujen alkutilojen määrittely perusskenaariossa. Päivitetyin Safety Case -portfolion mukaisesti alkutilat määritellään tuotantolinjaraporteissa (kapseli, puskuri, täyttö, kalliotilat, sulkeminen) ja koko loppusijoitusjärjestelmän alkutila ja kalliooperan ja pintaympäristön nykytila *Description of the Disposal System* -raportissa ja loppusijoitusjärjestelmän vaatimukset ja niiden täyttyminen *Design Basis* - ja *Performance Assessment* -raporteissa.

Tutkimuksilla oli tarkoitus joko osoittaa, että jäljellä olevilla puutteilla tai epävarmuuksilla ei ole merkitystä loppusijoituksen turvallisuuden kannalta, tai että niihin liittyvä riski on joka tapauksessa hyvin vähäinen ja turvallisuusvaatimusten mukaan hyväksyttävissä. Muussa tapauksessa kyseiset puutteet poistetaan kehittämällä loppusijoituksen teknisiä suunnitelmia.

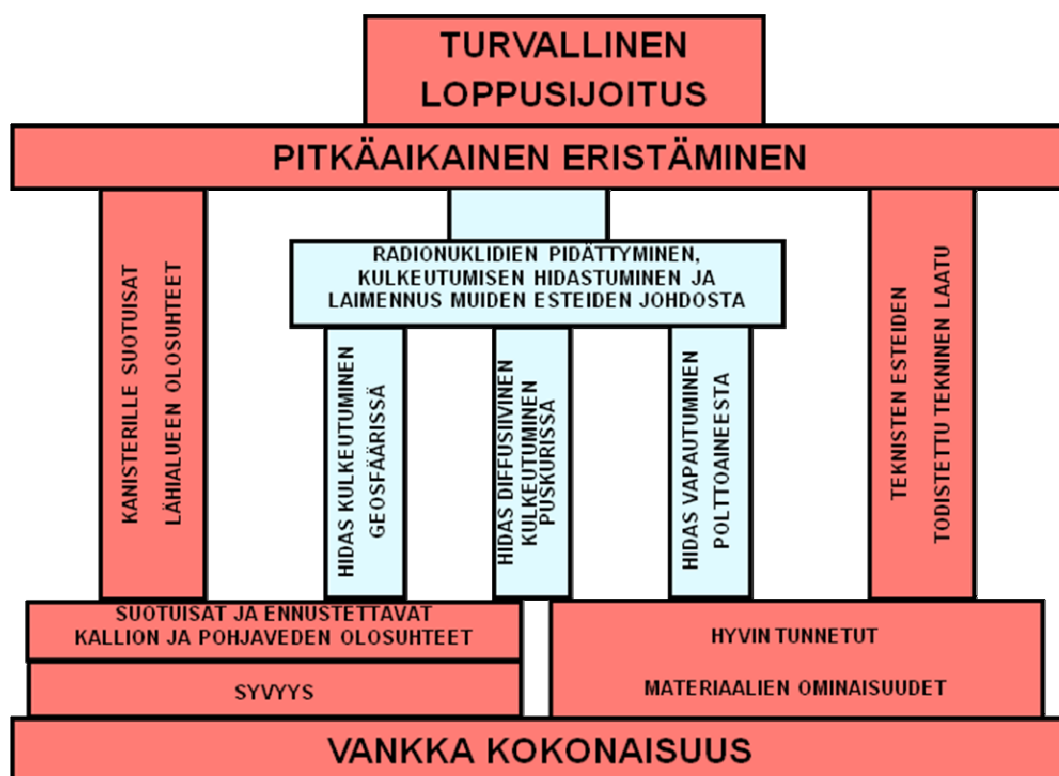
Taulukko 4-3. TKS-2009-ohjelmassa mainitut keskeiset T&K-aiheet ja niiden käsittely.

Aihe	Aiheiden käsittely
RSC-metodologian soveltuvuus ja tehokkuus	Katso luvut 4.2.3 ja 5.3.2.
Vieraat materiaalit loppusijoitustilassa	- Karvonen (2011b) - monitorointiohjelman vuosittaiset vierasaineraportit <i>Underground Openings Production Line report</i> <i>Closure Production Line report</i> <i>Description of the Disposal system</i>
Puskurin ja täytön kulkeutumis- ja muut oleelliset ominaisuudet	<i>Buffer Production Line report</i> <i>Backfill Production Line report</i> <i>Description of the Disposal System</i> <i>Performance Assessment</i>
Kalliooperan oletetut olosuhteet (hydrogeologiset, hydrokemialliset, mekaaniset)	<i>Site Description</i> <i>Performance Assessment</i>

4.6.2 Turvallisuuskonsepti, toimintakykytavoitteet ja tavoiteominaisuudet

Posivan turvallisuuskonseptissa turvallisuus perustuu käytetyn polttoaineen eristämiseen kupari-rautakapselilla, joka on sijoitettu muiden vapautumisesteiden suojaamana riittävän syvään kallioon. Pintaympäristölle (biosfäärille) ei ole asetettu turvallisuustoimintoja tai toimintakykytavoitteita, vaan se on suojeltava kohde. Mahdollisten päästöjen vaikutusten arvioinnin ja konseptin hyväksyttävyyden kannalta biosfäärianalyysi on kuitenkin oleellinen osa turvallisuusanalyysiä ja siksi biosfäärianalyysin luotettavuus on arvioitava vastaavalla tavalla kuin muidenkin turvallisuusanalyysin osa-alueiden.

Kuvassa 4-48 esitetty turvallisuuskonsepti on käsitteellinen kuvaus siitä, miten käytetyn ydinpolttoaineen turvallinen loppusijoitus saavutetaan KBS-3-ratkaisun avulla ottaen huomioon Olkiluodon ominaispiirteet. Koska käytetty ydinpolttoaine on pitkään haitallista, se täytyy eristää pintaympäristöstä pitkäksi aikaa. Turvallinen loppusijoitus perustuu pitkäaikaiseen eristämiseen (isolation) ja suojarakenteisiin (containment). Ne toiminnot, jotka edistävät pitkäaikaista eristämistä ja suojaamista, osoitetaan kuvassa punaisin pilarein ja palkein. Turvallisuuskonsepti perustuu moniesterperiaatteeseen. Sillä varmistetaan, ettei mikään yksittäinen haitallinen ilmiö tai epävarmuus vaaranna koko järjestelmän turvallisuutta.



Kuva 4-48. KBS-3-tyyppisen kiteiseen kallioon tapahtuvan käytetyn polttoaineen loppusijoituksen turvallisuuskonseptin pääpiirteet (mukailtu, Posiva 2003a). Turvallisuuskonsepti perustuu vankkaan ("robustiin") suunnitelmaan. Punaiset pilarit ja palkit kuvaavat loppusijoitusjärjestelmän ensisijaisia turvallisuuspiirteitä ja -ominaisuuksia. Siniset pilarit ja palkit kuvaavat toissijaisia turvallisuustekijöitä, joilla on merkitystä erityisesti, jos radionuklideja vapautuu kapselistä.

Posivan loppusijoitusjärjestelmän vapautumisesteiden turvallisuustoiminnot on esitetty taulukossa 4-4. Turvallisuustoiminnot, toimintakykytavoitteet ja tavoiteominaisuudet on esitetty *Design Basis* -raportissa. TKS-2009-raportin (TKS-2009) turvallisuustoimintojen määritelmien osalta loppusijoitustunnelin tulpan luokittelu on muuttunut, tulppa luetaan nykyisin yhdessä sijoitustunnelin täytön kanssa vapautumisesteeksi.

Loppusijoitusjärjestelmän kehityskulun ja suunnittelun välinen yhteys on määritelty selkeiden suunnitteluvaatimusten ja suunnitteluspesifikaatioiden avulla, jotka

edesauttavat toimintakykytavoitteiden ja tavoiteominaisuuksien täyttymistä alkutilasta lähtien odotettavissa olevien kehityskulkujen aikana.

Taulukko 4-4. Yhteenveto vapautumisesteiden (tekniset vapautumisesteet ja kallioperä) turvallisuustoiminnoista Posivan KBS-3V-loppusijoitusratkaisussa.

Päästöeste	Turvallisuustoiminnot
Kapseli	Varmistaa käytetyn polttoaineen pitkäaikainen pysyminen suojarakenteiden sisällä (containment). Tämä turvallisuustoiminto nojaa ennen kaikkea kapselin valurautaisen sisäosan mekaaniseen kestävyys- ja kuparisen ulkokuoren korroosionkestävyyteen.
Puskuri	- Myötävaikuttaa kapselille suotuisten ja ennustettavissa olevien mekaanisten, geokemiallisten ja hydrogeologisten olosuhteiden muodostumiseen. - Suojaa kapseleita ulkoisilta prosesseilta, jotka voisivat vaarantaa käytetyn polttoaineen ja sen sisältämien radionuklidien täydellistä suojaamista (containment). - Rajoittaa ja hidastaa radionuklidien vapautumista kapselin rikkoutuessa.
Sijoitustunnelin täyttö	- Myötävaikuttaa puskurille ja kapselille suotuisten ja ennustettavissa olevien mekaanisten, geokemiallisten ja hydrogeologisten olosuhteiden muodostumiseen. - Rajoittaa ja hidastaa radionuklidien vapautumista kapselin mahdollisesti rikkoutuessa. - Myötävaikuttaa loppusijoitustunneleiden lähikallion mekaaniseen vakauteen.
Sulkeminen	- Loppusijoitustilan pitkäaikainen eristäminen pintaympäristöstä sekä ihmisten, kasvien ja eläinten normaalista elinympäristöstä. - Myötävaikuttaa muille teknisille vapautumisesteille suotuisten ja ennustettavissa olevien geokemiallisten ja hydrogeologisten olosuhteiden muodostumiseen estämällä merkittävien vettä johtavien virtausreittien muodostumisen tilojen läpi. - Rajoittaa ja hidastaa veden virtausta loppusijoitustilaan ja haitallisten aineiden vapautumista loppusijoitustilasta.
Kallioperä	- Erottaa fyysisesti käytetyn polttoaineen pintaympäristöstä sekä ihmisten, kasvien ja eläinten normaalista elinympäristöstä, rajoittaa ihmisen tunkeutumisen mahdollisuutta sekä eristää polttoaineen maanpinnan muuttuvista olosuhteista. - Tarjoaa teknisille vapautumisesteille suotuisat, vakaat ja ennustettavissa olevat mekaaniset, geokemialliset ja hydrogeologiset olosuhteet. - Rajoittaa ja hidastaa loppusijoitustilasta mahdollisesti vapautuvien haitallisten aineiden kulkeutumista.

4.6.3 Ulkoiset olosuhteet

Ilmastoskenaariot

Ilmastoskenaarioiden määrittely on keskeinen osa turvallisuusperustelutyötä, sillä ilmasto-olosuhteet määrittävät lähtöoletukset ja reunaehdot paikan kehityskululle ja sitä kautta loppusijoitustilan kehitykselle. Radionuklidien vapautumisskenaarioiden muodostamisessa (*Formulation of Radionuclide Release Scenarios*) ja todennäköisessä kehityskulussa (*Performance Assessment*) oletettu ilmaston kehitys perustuu edellisen

jääkausisyklin (Veiksel) jatkuvaan toistumiseen seuraavan miljoonan vuoden aikana. Oletus on yksinkertainen, mutta sitä on käytetty, koska Veiksel tarjoaa luotettavimmat tiedot ilmastomallinnustulosten kannalta. Nykyisen lämpimän kauden oletetaan jatkuvan vielä noin 50 000 vuotta, minkä jälkeen alkaa kylmä kausi, joka johtaa seuraavan glasiaalisyyden käynnistymiseen ikiroutavaiheella ja myöhemmin (noin 90 000 vuoden kuluttua nykyhetkestä) Olkiluoto peittyy mannerjään alle. Kyseinen ilmastoskenaario perustuu malliin (Pimenoff ym. 2011), jonka todettiin simuloivan melko onnistuneesti erityisesti edellisen (Veiksel) jääkausisyklin loppuvaiheen ja jonka tuloksia on täydennetty käyttämällä geologista tietoa (ks. *Formulation of Radionuclide Release Scenarios*, liite 1).

Keskeisenä työnä viime TKS-kauden aikana Ilmatieteen laitos laati ilmastoskenaarioita 120 000 vuoden jaksolle, ja muotoili edellisten kanssa yhtenevät yksityiskohtaisemmat skenaariot 10 000 vuoden jaksolle. Lisäksi tarkennettiin ilmaston mahdollisia kehityskulkuja tätäkin tarkemmin seuraavien 100 vuoden eli loppusijoituslaitoksen käyttövaiheen ajalle. Pisimmän aikavälin skenaariot ja kymmenen vuosituhannen skenaarioiden tulokset on esitetty Pimenoffin ym. (2011) raportissa. Keskipitkän ajanjakson (10 000 vuotta) skenaarioiden loppuraportointi on valmis vuoden 2012 aikana ja käyttövaiheen osalta työ valmistuu vuoden 2014 loppuun mennessä.

Jäätiköityminen ja jäätikkö

Jäätiköitä ja jäätiköitymistä koskeviin avoimiin kysymyksiin tai epävarmuuksiin hankitaan lisätietoja Grönlannin luonnonanalogia -projektista (GAP), jossa Posiva yhdessä ruotsalaisen SKB:n ja kanadalaisen NWMO:n kanssa tutkii Grönlannissa, Kangerlussuaqissa sijaitsevia Isunnguata Sermian ja Russellin jäätikkövirtoja ja jäätikön alaista hydrologista ja hydrogeokemiallista tilaa. Projektilla hankitaan kokonaisvaltainen ja realistinen näkemys siitä, miten jääpeite saattaa vaikuttaa käytetyn ydinpolttoaineen geologiseen loppusijoitukseen.

Viime TKS-kauden aikana tehtyt GAP-projektin tutkimukset ja päätulokset on raportoitu Posivan työraporteissa Posiva (2011), Harper ym. (2012a) ja Harper ym. (2012b). Keskeisimpinä töinä olivat kattavan GPS- ja säähavaintoverkoston rakentaminen sekä verkostosta saatavan datan käsittely ja muokkaus mallinnuksen käyttöön (mm. jään massatasapainon mallinnus). Tutkaluotauksia tehtiin tutkimusalueella usealla eri antennilla ja tuloksena saatiin kattava käsitys jäätikön alaisesta topografiasta ja jäätikön virtausnopeudesta. Supraglasiaalisten sulavesien kulkeutumista ja kulkeutumishopeutta subglasiaaliseen ympäristöön sekä näiden vesien kulkeutumista jäätikön edustalle tutkittiin merkkiainekokeilla. Jään lämpötilaprofiilia ja jään alaisia paineolosuhteita tutkittiin jään läpi tehdyin porauksin ja lisäksi jäänalaisia virtauskanavia ja niiden yhteyksiä tutkittiin slug- ja merkkiainekokeilla. Jäätöntä jäätikön edustaa ja etenkin alueen sulavesien, järvi- ja lähdevesien sekä pohjavesien kemialla monitoroitiin kattavasti. Kallioperään kairatuista kairareitistä (DH-GAP1, DH-GAP03 ja DH-GAP04) on saatu tietoa alueen ikiroudan syvyydestä ja vuonna 2011 kairattu syvä kairareikä DH-GAP04 (kairareian pituus 687 m ja kaade 70°), jonka avulla monitoroidaan ikiroudan alla esiintyviä pohjavesiä.

Geologista kartoitusta on tehty tutkimusalueella vuodesta 2008 alkaen ja tulosten perusteella alueesta on tehty geologinen malli (Engström ym. 2012) hydrologista mallinnusta varten (Follin ym. 2011). Geologinen malli pitää sisällään deformaatiovyöhykkeet ja se ulottuu myös mannerjäätikön alle.

Tulevaisuuden mannerjäätiköitymisiä ajatellen on tärkeää tuntea mannerjäätikön alla ja sen reunaosissa vallitsevat olosuhteet tilanteissa, joissa jäätikön reuna pysyttelee useiden satojen vuosien ajan paikallaan tai tasapainotilassa, jotta mannerjäätikön subglasiaalisien ja sen reunan olosuhteiden merkityksestä voidaan tehdä pidemmälle meneviä arvioita. Tätä silmällä pitäen viime TKS-kauden aikana tehtiin Saimaan Kylänniemen alueella perusselvitys Skandinavian paleomannerjäätiköön kuuluneen Järvi-Suomen kielekevirran glasiaalihistoriasta ja kielekevirran alueella tehdyistä maaperä- ja kallioperätutkimuksista. Lisäksi tutkimustyön aikana rekonstruoidtiin Järvi-Suomen kielekevirran käyttäytyminen ja paleoympäristöt mannerjäätikön reunan läheisyydessä Nuoremman Dryas-kauden aikana (noin 12 800–11 700 vuotta sitten) (Lunkka & Erikilä 2012).

Tutkimus jatkuu alkavan ohjelmakauden aikana ja tarkempi tutkimussuunnitelma esitetään luvussa 5.6.

Ikirouta

TKS-2009-kaudella ikiroutamallinnukset perustuivat ilmaston tulevan kehityksen mallinnukseen seuraavan glasiaalisyklin aikana. Tämän ajanjakson aikana esiintyy useita ikiroutavaiheita. Tulosten mukaan seuraavan glasiaalisyklin aikana ikirouta ulottuu Olkiluodossa syvimmillään noin 300 metrin syvyyteen. Mallinnuksessa otettiin huomioon pohjaveden virtaus, suolaisuuden erottuminen ja kulkeutuminen jäätyminen vaikutuksesta sekä pintaolosuhteiden paikalliset ja ajalliset vaihtelut. Ikiroutan kehittymistä ja maaperän jäätymistä sekä talikkien mahdollista esiintymistä vesistöjen alla arvioitiin kaksi- ja kolmiulotteisilla malleilla. Ikiroutamallinnus raportoidaan vuonna 2012 julkaistavassa Posivan työraportissa Hartikainen (2012).

Isostaattiset ja eustaattiset muutokset

Ilmaston kehityksen seurauksena merenpinnantaso niin Olkiluodossa kuin muuallakin vaihtelee. Merkittävä tekijä on jäätiköiden muodostumiseen liittyvä maankuoren painuminen ja jäätiköiden vetäytymiseen liittyvä maankohoaminen, joka jatkuu pitkään jään vetäytymisen jälkeen. Jäätiköillä on myös merkittävä vaikutus kallion jännitystilaan.

Lund & Schmidt (2011) esittävät kuvauksen Veiksel-jäätiköitymissyklin vaikutuksesta Olkiluodon kallioperän jännitystilaan ja edelleen siirrosvyöhykkeen stabiilisuuteen. Työssä 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. Luvussa 5.6 esitetään jatkotutkimukset tästä aiheesta.

Lisäksi maankohoamisen ennusteiden parantamiseksi pintaympäristön (biosfäärin) osalta Pässen (2001) semiempiirisen mallin lähtötietoja on tarkistettu Vuorelan ym. (2009) työtä jatkaen ja täydentäen (mm. lisäämällä arkeologisia ajoitushavaintoja) sekä siirtymällä tilastolliseen tarkasteluun (Pohjola ym. 2012, Ikonen & Lipping 2011). Kesäkuussa 2010 Posiva ja Tampereen teknillisen yliopiston signaalinkäsittelyn laboratorio järjestivät kansainvälisen seminaarin maankohoamisen mallintamisesta (Ikonen & Lipping 2011). Biosfäärianalyysin maankohoamismallinnuksen lähtötietoja on tarkoitus täydentää ja vaihtoehtoisia mallinnustapoja tutkia kuten luvussa 5.6 esitetään.

4.6.4 Loppusijoitusjärjestelmän kehityskulku

Loppusijoitusjärjestelmän kehityskulkua on arvioitu toimintakykyanalyysien (*Performance Assessment*) avulla ja kehityskulun epävarmuuksien vaikutusta turvallisuuteen on arvioitu skenaarioanalyysien avulla. Perusskenaario kattaa loppusijoitustilan todennäköisimmät kehityskulut. Vaikka kaikkien kapselien odotetaan säilyvän ehjinä koko tarkastelujakson ajan huomioidaan perusskenaariossa kuitenkin satunnaisena poikkeamana mahdollisuus, että yhdessä tai korkeintaan muutamassa loppusijoitettavassa kapselissa on alun perin havaitsematon läpäisevä vika.

Loppusijoitustilan todennäköisimpiä kehityskulkuja on käsitelty erillisessä toimintakykyanalyysissä (*Performance Assessment*), joka tarkastelee loppusijoitustilan tai sen osien kehitystä tilanteessa, jossa päästöesteiden toimintakykytavoitteet ja tavoiteominaisuudet täyttyvät. Jos toimintakykyanalyysin laskelmat osoittavat, että yhden tai useamman päästösteen turvallisuustoiminnon pettäminen voi johtaa radionuklidien vapautumiseen, kehityskulun analysointi siirtyy skenaarioiden muodostamisraportin (*Formulation of Radionuclide Release Scenarios*) piiriin. Skenaarioiden määrittely vuoden 2012 turvallisuusperustelussa perustuu STUKin ohjeeseen YVL D.5 (L4), jonka mukaan loppusijoitustilan kehityskulku ja radionuklidien vapautumista ja kulkeutumista arvioidaan perusskenaariossa, muunnelmaskenaarioissa sekä häiriöskenaarioissa (ks. kuva 4-49).



Kuva 4-49. Skenaarioiden jaottelu STUKin ohjeen YVL D.5 (luonnos) mukaisesti.

Kuten edellä todettiin, polttoaineelle ja pintaympäristölle ei ole asetettu toimintakykytavoitteita, eikä niitä näin ollen ole käsitelty toimintakykyanalyysissä, lukuun ottamatta kriittisyysnäkökulmaa polttoaineen osalta.

Mahdollisten päästöjen vaikutusten arvioinnin ja konseptin hyväksyttävyyden kannalta, pintaympäristö (biosfääri) on oleellinen osa turvallisuusanalyysiä ja siksi olennainen kysymys on myös pintaympäristön nykytila ja odotettavissa oleva tuleva kehitys seuraavien tuhansien vuosien aikana.

Seuraavassa käsitellään loppusijoitusjärjestelmän komponenttien alkutilaa ja niiden todennäköistä kehityskulkua.

4.6.4.1 Kapseli

Kapselin tärkein turvallisuustoiminto on varmistaa käytetyn polttoaineen pitkäaikainen pysyminen suojarakenteiden sisällä (containment) taulukon 4-4 mukaisesti. Tämä turvallisuustoiminto nojaa ennen kaikkea kapselin valurautaisen sisäosan mekaaniseen kestävyys- ja kuparisen ulkokuoren korroosionkestävyyteen. Kapselin toimintakykytavoitteet on kuvattu *Design Basis* -raportissa ja niiden täyttyminen *Performance Assessment* -raportissa.

Kapselia käsitellään seuraavissa turvallisuusperustelun pääraporteissa:

- Description of the Disposal System
 - o Alkutila
- Design Basis
 - o Listaa kaikki vaatimukset, mukaan lukien kapselin pitkäaikaisturvallisuuteen liittyvät vaatimukset
 - o Toimintakykytavoitteet
 - o Suunnitteluspesifikaatiot
- Features, Events and Processes
 - o Kapselin kehityskulkuun liittyvät prosessit
 - o Kapselia koskevat radionuklidien kulkeutumiseen liittyvät prosessit
- Performance Assessment
- Formulation of Radionuclide Release Scenarios
- Assessment of Radionuclide Release Scenarios for the Repository System
- Models and Data for the Repository System
 - o Vian esiintyminen kapselissa
 - o Kuparin korroosio
- Complementary Considerations.

Alkavalla ohjelmakaudella 2010–2012 keskeiset tehtävät kapselin osalta liittyivät kapselin oletettujen alkutilojen määrittelyyn perusskenaariossa, kuten

- kapselissa mahdollisesti odotettavissa olevien valmistusvikojen tyyppi ja todennäköisyys loppusijoitushetkellä,
- kapselin hitsiin jäävät jäännösjännitykset, sekä
- sisäosan mekaaniset ominaisuudet alkutilassa (jäännösjännitykset ja valmistusvirheet).

Kaikki edellä mainitut seikat vaikuttavat kapselin kestävyys- ja kehityskulkuun.

Kapselin alkutila

Suurin osa kapseleista ovat alun perin ehjiä ja kapselit pysyvät ehjinä satojen tuhansien vuosien ajan (*Design Basis, Performance Assessment*). Turvallisuusanalyysin radionuklidien mahdollista vapautumista kuvaavassa skenaarioraportissa (*Formulation of Radionuclide Release Scenarios*) määritellään ns. perusskenaario, joka YVL D.5:n mukaisesti pohjautuu turvallisuustoiminnoille määriteltyihin tavoitteisiin niin, että otetaan huomioon satunnaiset poikkeamat tavoitearvoista. Näin ollen perusskenaariossa oletetaan, että yhdessä tai korkeintaan muutamassa loppusijoitetuista kapseleista on kuparivaipan läpäisevä, halkaisijaltaan 1 mm oleva vika. Oletus perustuu loppusijoituskapselien eheyden luotettavuusanalyysiin (Holmberg & Kuusela 2011), joskin jo halkaisijaltaan 0,5 mm olevat lävistävät viat on mahdollista havaita. Luotettavuusanalyysi perustuu pääosin asiantuntija-arvioon hitsausmenetelmästä (EBW) ja vikojen havaitsemismenetelmästä (NDT) johtuen testitulosten rajallisesta määrästä. Jatkotestauksilla voidaan käytännössä osoittaa, että todennäköisyys, että enemmän kuin yhdessä kapselissa on alun perin lävistävä vika, on pienempi kuin 1 %. Siksi perusskenaarion referenssitapauksessa oletetaan, että yhdessä 4 500 kapselista on alun perin läpäisevä vika.

Edellisen TKS-kauden keskeiset tutkimusaiheet kapselin alkutilaan liittyen on esitetty taulukossa 4-5. Taulukossa on myös esitetty, miten ja missä tutkimukset on käsitelty.

Taulukko 4-5. TKS-2009-ohjelmassa mainitut keskeiset tutkimusaiheet kapselin alkutilaan liittyen ja niiden käsittely.

Tutkimusaihe	Aiheen käsittely
Kapselin ja sisäosan geometria	Valmistusvirheiden merkitys, alun perin viallinen kapseli, yläraja alun perin läpäisevän reiän todennäköisyydelle: • Holmberg & Kuusela (2011) • <i>Performance Assessment</i> • <i>Formulation of Radionuclide Release Scenarios</i> • <i>Assessment of Radionuclide Release Scenarios</i>
Lämpötila kapselissa	Termisen mallin päivitys ottaen huomioon mahdolliset korkeammat keskipalamat: • Ikonen, K. & Raiko, H. (2012).
Mekaaniset jännitykset loppusijoitushetkellä	Jäännösjännitykset kuparin hitsauksessa: • työ on meneillään ja valmistuu 2013.
Materiaalikoostumus	Sisäosan Materiaalikoostumus: • <i>Canister Production line report</i> Sisäosan sulkemiseen tarvittavien erilaisten tiivistemateriaalien käyttö: • käsitellään kappaleessa 5.4.1.1

Kehityskulkuun liittyvät prosessit

Edellisellä TKS-kaudella keskeisiksi tutkimusaiheiksi kapselin kehityskulkuun liittyvien prosessien osalta määriteltiin taulukossa 4-6 esitetyt aiheet. Taulukossa on myös esitetty, miten ja missä tutkimukset on käsitelty.

Taulukko 4-6. TKS-2009-ohjelmassa mainitut keskeiset tutkimusaiheet kapselin kehityskulkuun liittyvien prosessien osalta ja niiden käsittely.

Tutkimusaihe	Aiheen käsittely
Valurautaisen sisäosan muodonmuutos	Kapselin lujuuden varmistaminen lujuusmitoitusanalyysillä nopeassa siirroskuormituksessa kallioliikuntojen seurauksena: • käsitellään kappaleessa 5.4.1.1 Sisäosan viruminen: • <i>Canister Production line report</i>
Kuparivaipan muodonmuutos ulkoisen paineen vuoksi	Elektronisuihkuhitsatun materiaalin virumiskokeet jatkuvat vuoteen 2013 asti. Alustavia tuloksia raportoitu raportissa Holmström ym. (2012b). Fosforin ja rikin raerajarikastuminen selvitetään mahdollisesti virumistutkimusten yhteydessä.
Sisäisten korroosiotuotteiden aiheuttama muodonmuutos	Vaikutukset otettu huomioon • <i>Formulation of Radionuclide Release Scenarios</i> -raportissa • <i>Assessment of Radionuclide Release Scenarios</i> -raportissa.
Sisäosan jännityskorroosiomurtuma	Sisäosan jäännösjännitykset käsitellään <i>Canister production line</i> -raportissa
Kuparivaipan korroosio (paitsi jännityskorroosiomurtuma)	Kuparin korroosion tämän hetkinen tietämys on esitetty raportissa King ym. (2011). Kuparin sulfidikorroosio: • <i>Performance Assessment</i> • mahdolliset seuraukset <i>Formulation of Radionuclide Release Scenarios</i> Puhtaan veden mahdollisesti aiheuttamaa kuparin korroosiota on tutkittu 2009 alkaneilla kokeilla. Kokeet jatkuvat vielä vuosia ja alustavia tuloksia julkaistaan 2012. • <i>Performance Assessment</i> • <i>Features, events and processes</i> Hapen pääsy loppusijoitusvyöhykelle jäätikön sulamisveden mukana: • <i>Performance Assessment</i>

Tutkimusaihe	Aiheen käsittely
Kuparivaipan jännityskorroosiomurtuma	Kuparivaipan jäännösjännitykset: • Alustavia tuloksia elektronisuihkuhitsuksella tehdyn hitsin jäännösjännityksistä on käsitelty Posivan työraporteissa Gripenberg (2009), Vainio (2011), Leikko ym. (2011), Romppanen & Immonen (2011), Laakkonen (2011a) ja (2011b) • Jännityskorroosio käsitellään <i>Features, events and processes</i> -raportissa Jännityskorroosion riippuvuus hapetus-pelkistys-potentiaalin (E_h) -arvoista: • Kinnunen & Varis (2011) Sulfidin vaikutukset jännityskorroosiomurtumaan hapettomissa olosuhteissa: • Tutkittu KYT-ohjelmassa (Ariolahti ym. (2011))
Kapselin vian olemassaolo, kehittyminen ja veden tunkeutuminen kapseliin	Alun perin läpäisevän vian todennäköisyys: • Holmberg & Kuusela (2011)
Radionuklidien vapautuminen kapselista	Konseptuaalinen malli radionuklidien vapautumiselle rikkoutuneesta kapselista: • <i>Assessment of Radionuclide Release Scenarios</i> • <i>Models and Data for the Repository System</i>
Todennäköisyys kalliosiiirroksen aiheuttamalle kapselin rikkoutumiselle on arvioitu seuraavissa raporteissa:	• <i>Performance Assessment</i> • <i>Assessment of Radionuclide Release Scenarios</i>

TKS-2009-raportissa tunnistettujen prosessien lisäksi mm. SKB on tutkinut kuparin haurastumista vedyn (H_2) läsnäolon seurauksena. Kuparin haurastumista havaittiin vain korkeilla vedyn osapaineilla, jollaisia ei ole odotettavissa loppusijoitustiloissa (Martinsson & Sandström 2012).

Kehityskulku

Edellisellä TKS-kaudella keskeisiksi tutkimusaiheiksi kapselin kehityskulkuun liittyen määriteltiin taulukossa 4-7 esitetyt aiheet. Taulukossa on myös esitetty, miten ja missä tutkimukset on käsitelty.

Taulukko 4-7. TKS-2009-ohjelmassa mainitut keskeiset tutkimusaiheet kapselin kehityskulkuun liittyen ja niiden käsittely.

Tutkimusaihe	Aiheen käsittely
Odotettavissa olevat kehityskulut	• <i>Performance Assessment</i>
Epätodennäköiset mutta mahdolliset kehityskulut	• <i>Formulation of Radionuclide Release Scenarios</i> • <i>Assessment of Radionuclide Release Scenarios</i>
Rajaavia laskelmia tai todennäköisysselvityksiä jännityskorroosion seurausten arvioimiseksi	• Jännityskorroosion tämän hetkinen tila on esitetty raportissa King ym. (2011).
Kytkeytyjen prosessien, joiden seurauksena, kapseli voi vioittua (esim. puskurin eroosion, kalliosiiroksista aiheutuvien suurten virtausten) tutkimukset	• <i>Formulation of Radionuclide Release Scenarios</i> • <i>Assessment of Radionuclide Release Scenarios</i>
Usean kapselin rikkoutuminen	• <i>Formulation of Radionuclide Release Scenarios</i> • <i>Assessment of Radionuclide Release Scenarios</i>
Viallisen kapselin kehityksen konseptuaalinen malli Kapselissa olevan vian kehitys	• <i>Formulation of Radionuclide Release Scenarios</i> • <i>Assessment of Radionuclide Release Scenarios</i>
Kapselissa olevan vesi-höyry-kaasu-systeemin käyttäytyminen.	• <i>Models and Data for the Repository System</i> • <i>Formulation of Radionuclide Release Scenarios</i>
Valmistusmenetelmien toleransseista aiheutuvat erot ja niiden vaikutukset kapselin mekaaniseen lujuuteen, erityisesti tulevaisuudessa jääkausiolosuhteissa	• <i>Canister Production Line report</i>

4.6.4.2 Puskuri, täyttö ja sulkeminen

Puskurin, täytön ja sulkemiskäytännön turvallisuustoiminnot on kuvattu taulukossa 4-4. Turvallisuustoimintojen mukainen puskurin, täytön ja sulkemiskäytännön toimintakyky arvioidaan sen suhteen, saavutetaanko esitetyt toimintakykytavoitteet ja niitä ilmaisevat tavoiteominaisuudet odotetuissa kehityskuluissa ja vaihtoehtoisista tai rajaavista olosuhteissa Puskurin, täytön ja sulkemisen toimintakykytavoitteet ja niistä johdetut suunnitteluvaatimukset sekä -spesifikaatiot on kuvattu *Design Basis* -raportissa ja niiden täytyminen *Performance Assessment* -raportissa.

Odotetut kehityskulut kuvataan huomioiden geokemia, hydrogeologia sekä vallitseva lämpötila avulla ja ne on esitetty *Performance Assessment* -raportissa. Arvioimalla toimintakyky yksityiskohtaisemmin näissä olosuhteissa pystytään toimintakyvystä esittämään riittävän luotettavia arvioita myös näistä poikkeavissa, mutta mahdollisesti maanalaisessa loppusijoitusjärjestelmässä paikallisesti tai tietyssä aikana esiintyvissä, olosuhteissa.

Puskuria, täyttöä ja sulkemista käsitellään seuraavissa turvallisuusperustelun raporteissa:

- Description of the Disposal System
 - o Alkutila
- Design Basis
 - o Kaikki vaatimukset, mukaan lukien puskurin, täytön ja sulkemisen pitkäaikaisturvallisuuden liittyvät vaatimukset
 - o Toimintakykytavoitteet
 - o Suunnitteluspesifikaatiot
- Features, Events and Processes
 - o Puskurin, loppusijoitustunnelien täytön ja sulkemisen kehityskulkuun liittyvät prosessit
 - o Puskuria, täyttöä ja sulkemista koskevat radionuklidien kulkeutumiseen liittyvät prosessit
- Performance Assessment
- Formulation of Radionuclide Release Scenarios
- Assessment of Radionuclide Release Scenarios for the Repository System
- Models and Data for the Repository System
 - o Kokeelliset datat
 - o Mallit
- Complementary Considerations
 - o Luonnonanalogiat

Keskeisiä toimintakykyyn vaikuttavia tekijöitä on kuvattu alla olevassa taulukossa.

Taulukko 4-8. Puskurin, täytön ja sulkemisen toimintakykyyn vaikuttavia tekijöitä.

Tutkimusaihe	Aiheen käsittely
<u>Mekaaninen eroosio</u> Savimateriaalien mekaaninen eroosio kanavoituneen virtaavan veden johdosta puskurissa ja täytemateriaalissa voi johtaa niiden tiheyden paikalliseen laskuun ja siten heikentää niiden toimintakykytavoitteiden saavuttamista. Mekaaninen eroosio voi tapahtua saturaation alkuvaiheessa veden mahdollisesti virratessa loppusijoitusreikiin ja -tunneleihin niitä leikkaavista raoista. Merkityksellistä mekaanista eroosiota voi tapahtua puskurissa, täytössä ja sulkemisratkaisussa.	Yhteenveto ja johtopäätökset puskurin ja täytön toimintakykytavoitteiden täyttymisestä mekaanisen eroosion suhteen on kuvattu <i>Performance Assessment</i> -raportissa. Eroosio on otettu huomioon myös sulkemisen suunnittelussa (<i>Closure Production Line report</i>) ja Dixon ym. (2012).
<u>Homogenisaatio</u> Riittävä homogenisoituminen estää heterogeenisyyden aiheuttamien	Homogenisoitumista tapahtuu sekä suorassa kosketuksessa olevien, mutta alkutilaltaan erilaisten materiaalien kesken (kuten puristetut lohkot ja pelletit

Tutkimusaihe	Aiheen käsittely
pysyvien virtausreittien muodostumisen. Homogenisaatio on ilmiönä merkityksellinen puskurissa ja täytössä.	sekä puskuri-täyttö rajapinta) sekä mekaanisesta eroosiosta johtuvien häiriöiden kaltaisissa olosuhteissa. <i>Performance Assessment</i> -raportissa esitettyjen arvioiden perusteella kuiva-ainetiheyden tavoitearvot saavutetaan täysin saturoituneissa olosuhteissa. Kaikkien materiaali-parametrien ja olosuhdetekijöiden merkityksestä saavutettavaan homogeenisuusasteeseen ei ole kuitenkaan täyttä varmuutta ja niiden selvittämistä jatketaan.
Saven mineraloginen muuntuminen	Puskurin, täytön ja sulkemisen toimintakyky täysin saturoituneessa tilassa riippuu niiden geokemiallisen tilan kehityksestä koko elinkaaren aikana. Tämä geokemiallinen tila puolestaan riippuu ympäröivän kallion olosuhteista. Siten suurimmat epävarmuudet liittyvät pohjaveden virtauksissa ja geokemiassa tapahtuviin muutoksiin. Teknisten päästöesteiden toimintakykyyn vaikuttavista ominaisuuksista keskeisin on tehollinen montmorilloniittipitoisuus (effective montmorillonite dry density, EMDD). EMDD laskee mikäli • montmorilloniitti liukenee huokosveteen ja liuenneet aineet kulkeutuvat kallioperän rakoverkoston, • montmorilloniitti muuntuu mineralogisesti tai • montmorilloniitti sementoituu suolojen tai silikaattien saostuessa montmorilloniittipinnoille. Nämä mahdollisiksi katsotut muutokset käsitellään tämän taulukon kohdissa "Montmorilloniitin ja pohjaveden välinen vuorovaikutus", "Montmorilloniitin mineraloginen muuntuminen", "Sementaatio" ja "Sementistä liuenneiden aineiden vuorovaikutus savien kanssa".
<u>Montmorilloniitin ja pohjaveden välinen vuorovaikutus</u> Ilmiönä tämä on merkityksellinen ensisijaisesti puskurissa ja täytössä. Sulkemisen kohdalla arvio tehdään materiaalikohtaisesti.	EMDD:n muutoksia arvioidaan tässä yhteydessä montmorilloniitin ja erityisesti siinä olevan silikan liukenemisen suhteen. Tarkastelut on esitetty <i>Performance Assessment</i> -raportissa.

Tutkimusaihe	Aiheen käsittely
<u>Montmorilloniitin mineraloginen muuntuminen</u> Ilmiönä tämä on merkityksellinen ensisijaisesti puskurissa.	Eräiden tutkimusten (Inoue 1983, Inoue 1995, Eberl ym. 1993, Tsutomu ym. 1995, Batchelder ym. 1996, Cuadros & Linares 1996, Roaldset ym. 1998) mukaan puskurissa oleva montmorilloniitti voi tietyissä kemiallisissa olosuhteissa muuntua kohonneissa lämpötiloissa heikentäen saven paisuntaominaisuuksia. <i>Performance Assessment</i> -raportissa on esitetty johtopäätöksenä, ettei Olkiluodon olosuhteissa tapahdu merkittävästi muuntumista. Johtopäätösten varmistamiseksi on aloitettu kokeet kohonneen lämpötilan (270 °C) vaikutuksista ja lisäksi on osallistuttu tiedonvaihtoon SKB:n ja Nagra aloittaman alemman lämpötilan (80 °C) pitkäaikaisen kokeen osalta.
<u>Sementaatio</u> Ilmiönä tämä on merkityksellinen ensisijaisesti puskurissa.	Puskuri voi sementoitua suolojen ja aksessoristen mineraalien (liukenemisen ja uudelleen) saostumisen johdosta. Bentoniitin lisämineraalien saostumista lämpötilan vaikutuksesta ja siihen liittyviä epävarmuuksia on selvitetty laskennallisilla analyyseillä <i>Performance Assessment</i> -raportissa. Lisäksi on kehitetty laitteisto pidempiaikaisia kokeita varten. Tämänhetkisen tietämyksen mukaan amorfista silikaa liukenee bentoniitin lämpimimmissä kohdissa ja vastaavasti saostuu kylmiin kohtiin, kipsimineraalit käyttäytyvät päinvastoin, mutta merkityksettömän pienissä määrissä.
<u>Sementistä liuenneiden aineiden ja kolloidisen silikan (silika sol) vuorovaikutus savien kanssa</u> Ilmiönä tämä on merkityksellinen ensisijaisesti puskurissa ja täytössä.	Tällä hetkellä sementistä liukenevien aineiden vapautumiseen ja kulkeutumiseen loppusijoitusreikiin ja -tunneleihin liittyy epävarmuuksia. Lisävarmuuden saamiseksi Posiva on mukana kansainvälisessä Kyproksen luonnonanalogia-projektissa (CNAP), jossa tutkitaan korkean pH:n omaavan veden ja bentoniitin vuorovaikutusta. Alustavien tulosten pohjalta vuorovaikutus on pitkälläkin aikavälillä massataseisiin pohjautuvien analyysien perusteella odotettua vähäisempää. Merkittävimmät riskit liittyvät paikallisesti pohjaveden pH:ta merkittävästi kohottavan injektointimassan käyttöön ja muiden sementtipohjaisten materiaalien käyttöön loppusijoitusrei'issä. Näistä syistä ONKALossa on siirrytty käyttämään HZ20-rakenteen alapuolella matalan pH:n sementtiä sekä kolloidista silikaa, ja sementtipohjaisten aineiden käyttö on kielletty loppusijoitusrei'issä. Kansainvälisessä LCS (long-term cement studies) -projektissa on havaittu, että kolme vuotta on liian

Tutkimusaihe	Aiheen käsittely
	lyhyt aika kallio-sementti vuorovaikutusten havaitsemiseen in situ -olosuhteissa. Mallinnuksen tuloksia on julkaistu Nagra raportisarjassa. Kolloidisen silikan (silika sol) ja bentoniitin mahdollisesta aggregoitumisesta, joka riippuu suoraan kolloidisen silikan geeliytymisestä, ei ole vielä riittävästi tietoa (<i>Performance Assessment</i>).
<u>Rauta-bentoniittivuorovaikutus</u> Loppusijoitusjärjestelmässä on rautaa sisältäviä materiaaleja, kuten pultit, loppusijoitustunnelien tulpat ja kapselin sisäosa. Rauta voi heikentää bentoniitin toimintakykyä, kuten paisuntakykyä ja siten raudan ja bentoniitin välistä vuorovaikutusta on tutkittava.	Raudan ja bentoniitin välisestä pidemmän ajan vuorovaikutuksesta tehtiin selvitys (Kumpulainen ym. 2010), jossa tutkittiin useita vuosia (8–10 vuotta) raudan kanssa hapettomissa ja pelkistävissä olosuhteissa kosketuksissa olleita bentoniittinäytteitä. Kokeiden perusteella raudan ja bentoniitin vuorovaikutus laski hieman bentoniitin paisuntapainetta, mutta vedenjohtavuus säilyi samana. Posiva on ollut mukana Grimselin kalliolaboratorion ison mittakaavan FEBEX-kokeessa, jossa on bentoniitilla ympäröity rautainen lämmitin. Kokeen purkamisen jälkeen (2015) voidaan tutkia, miten rauta on vaikuttanut bentoniittiin. Fe(II):n sorptiota bentoniitissa on myös tutkittu kokeellisesti ja mallintamalla. Tällä hetkellä on menossa kokeet ja mallinnus Fe(II):n diffuusiosta bentoniitissa, minkä jälkeen sekä sorptio- että diffuusiokokeiden tulokset raportoidaan vuonna 2013.
Mikrobitoiminta puskurissa ja täytössä	Mahdollinen mikrobiologinen sulfaatin pelkistyminen puskurissa ja täytössä tuottaa sulfidia, joka on korroosiota aiheuttava aine ja siten uhka kapselien kestävyydelle. Mikrobit tarvitsevat energialähteen, yleensä liuennutta orgaanista hiiltä sulfaatin pelkistykseen. Mikrobien aiheuttamaa sulfidien muodostumista puskurissa ja täytössä ja sen vaikutusta mm. kapselin korroosioon on käsitelty <i>Performance Assessment</i> -raportissa.

Tutkimusaihe	Aiheen käsittely
<u>Kemiallinen eroosio</u> Ilmiönä tämä on merkityksellinen ensisijaisesti puskurissa ja täytössä sekä sulkemisen osalta savea sisältävissä komponenteissa.	Laimeiden vesien ja saven vuorovaikutuksesta aiheutuvasta saven erodoitumisesta loppusijoitustiloja leikkaaviin vettäjohtaviin rakoihin on tehty arvioita, jotka huomioivat • virtaamien muutokset loppusijoitustiloja leikkaavissa raoissa postglasiaaliolosuhteissa, • em. postglasiaaliolosuhteiden ajalliset kestot, • rakoavaumat, jotka toimivat massansiirtorajapintoina, ja • savimassan siirtymisnopeuden loppusijoitustiloja leikkaavissa raoissa virtaavaan veteen. Näitä seikkoja on arvioitu <i>Performance Assessment</i> -raportissa. Kemiallisen eroosion ilmiön selvittämiseksi on tehty pienen mittakaavan kokeita ja ilmiöön liittyvän mallin kehitystä ja mallinnusta. Lisäksi Posiva on mukana EU:n BELBaR -projektissa ja Grimselin kalliolaboratorion CFM (Colloid Formation and Migration) -projektissa, jossa tutkitaan in situ -kokeilla ja teoreettisilla tarkasteluilla bentoniittista lähteviä kolloideja ja niiden kulkeutumista.
Jäätyminen ja sulaminen	Jos ikirouta pääsee tunkeutumaan loppusijoitustiloihin, se voi mahdollisesti heikentää bentoniitin tai täyttömateriaalien ominaisuuksia. Savimateriaalien (puskuri ja täyttö) vaikutuksia jäätymisen ja sulamisen seurauksena on tutkittu kokeellisesti (Schatz & Martikainen 2011). Kokeiden perusteella jäätymis-sulamis-sykli eivät heikennä savimateriaalien toimintakykyä (mm. paisuntapainetta). Tämänhetkisten ikiroutalaskelmien perusteella ikirouta ei ulotu loppusijoitusvyöhykelle asti.
Puskurin mekaaninen käyttäytyminen kalliosiiirroksissa	Tehtävänä on selvittää, miten puskuri välittää kalliosiiirroksista aiheutuvan impulssin kapseliin. Puskurin tiheyden ollessa liian suuri välittyy impulssi lähes sellaisenaan vaimentumatta kapselille, jolloin seurauksena saattaa olla kapselin rikkoutuminen. Puskurin mekaanista käyttäytymistä kalliosiiirroksessa on tarkasteltu <i>Performance Assessment</i> -raportissa. Loppusijoitusreikien paikat valitaan niin, että kapselin rikkoutumiseen johtavan kalliosiiirroksen todennäköisyys on pieni. Paikanvalintakriteerien määrittäminen perustuu viime kädessä osin saven materiaalmallin parametrien määrittämiseksi tehtyihin mittauksiin. Nämä savea koskevat mittaukset toistetaan materiaalmallin varmistumiseksi.

Tutkimusaihe	Aiheen käsittely
	Tarvittaessa toistetaan muutkin analyysin vaiheet.
Kaasun kulkeutuminen puskurissa	Kaasun kulkeutumisessa puskurissa on yleisesti oletettu, että kaasusulkeuman liikkua puskurin paisuntapaine saa aikaan sen jättöpuolella olevan kulkureitin sulkeutumisen ja kiintoainepitoisuuden homogenisoitumisen ja siten kaasu kulkee pienimmän vastuksen virtausreittiä jälkiä jättämättä. Laboratorio- ja kenttäkokeissa on tehty samansuuntaisia havaintoja, kuten esim. muita suotuisamman virtausreitien muodostumista. Äspön kalliolaboratoriossa meneillään olevassa Lasgit-kokeessa osittain saturoituneessa bentoniitissa virtausreitiksi muodostui vähiten saturoituneet kohdat sekä toistaiseksi huonosti tiivistyneet rajapinnat veden siirtyessä kaasusulkeuman edestä niissä muita alueita helpommin (Cuss ym. 2010). Näillä perustein puskuri läpäisee kaasuja ilman, että kaasut aiheuttaisivat vaurioita kapselille tai puskurille. Tästä syystä kaasunkulkeutumisesta mahdollisesti aiheutuvaa riskiä ei tarvitse vähentää teknisin keinoin. Kaasun kulkeutumiseen liittyviä prosesseja ei vielä pystytä täsmällisesti ennustamaan (esim. kaasun kulkeutumisesta pystytään ennustamaan joko sulkeuman irtoamispaine tai sulkeumassa liikkuva kaasumäärä muttei molempia samaan aikaan). Epävarmuuksia on lisäksi täyden mittakaavan kokeellisessa aineistossa, jota ei ole vielä tilastollisesti luotettava määrä.
Kolloidien muodostuminen (liittyy kemialliseen eroosioon)	Kolloidien muodostumista on käsitelty mm. • <i>Performance Assessment</i> -raportissa • <i>Complementary Considerations</i> -raportissa • ks. kulkeutumiseen liittyen alla taulukosta 4-9 kohta "Kolloidikulkeutuminen"

4.6.4.3 Kallioperä

Kallioperän turvallisuustoiminnot on kuvattu taulukossa 4-4. Turvallisuustoiminnoista on johdettu kallion tavoiteominaisuudet. Mikäli loppusijoitustilaa ympäröivän kallion ominaisuudet ovat tavoiteominaisuuksien mukaiset, kallion turvallisuustoiminnot täyttyvät suurella todennäköisyydellä. Kallioperän tavoiteominaisuudet on esitetty *Design Basis* -raportissa. ja niiden täyttyminen *Performance Assessment* -raportissa. *Performance Assessment* -raportissa on sekä esitetty kallion odotettavissa olevat olosuhteet loppusijoitusreikien ympärillä (referenssiolosuhteet) että arvioitu poikkeamien mahdollisuutta (vaihtoehtoiset olosuhteet).

Kallioperää käsitellään seuraavissa turvallisuusperustelun raporteissa:

- Description of the Disposal System
 - o Alkutila
- Design Basis
 - o Listaa kaikki vaatimukset, mukaan lukien kallioperän pitkäaikaisturvallisuuteen liittyvät vaatimukset
 - o Tavoiteominaisuudet
 - o Kalliotilojen suunnitteluspesikaatiot (ja -vaatimukset) ml. kallion soveltuvuuskriteerit (RSC-kriteerit), jotka rajaavat loppusijoitustiloja ympäröivän kallion ominaisuuksia.
- Features, Events and Processes
 - o Kallioperän kehityskulkuun liittyvät prosessit
 - o Radionuklidien kulkeutumiseen kallioperässä liittyvät prosessit
- Performance Assessment
- Formulation of Radionuclide Release Scenarios
- Assessment of Radionuclide Release Scenarios for the Repository System
- Models and Data for the Repository System
 - o Turvallisuusperustelun laadinnassa käytetyt lähtötiedot ja mallit
- Complementary Considerations
 - o Luonnonanalogiat ja muut todisteet syvän kallioperän ja erityisesti Olkiluodon suotuisista olosuhteista.

Näiden turvallisuusperustelusalkkuun kuuluvien raporttien lisäksi loppusijoituspaikan ominaisuuksia on käsitelty laajasti Olkiluodon paikkakuvausraportissa (*Site Description*) ja loppusijoituspaikan soveltuvuutta RSC-raportissa (McEwen ym. 2012).

Pitkäaikaisturvallisuuden kannalta keskeiset tutkimustehtävät kallioperään liittyen vuosina 2010–2012 TKS-2009-ohjelman mukaan olivat kallion alkutila huomioiden kallion soveltuvuusluokittelu ja vieraiden aineiden esiintyminen sekä odotettavissa olevat hydrogeologiset, hydrogeokemialliset ja kalliomekaaniset olosuhteet:

- Pohjaveden virtausolosuhteet ja suolaisuus erityisesti loppusijoitusreikien lähialueella eri tarkasteluajanjaksoina.
- Kallion puskurikapasiteetti (pH ja pelkistyskyky).
- Mikrobireaktioissa sulfaatista pelkistyvän sulfidin maksimimäärä ja muodostumisnopeus ottaen huomioon kalliossa esiintyvä metaanikaasu.
- Loppusijoitustilojen vaikutukset kallio-olosuhteisiin pitkällä aikavälillä (lämpötila, louhinta, tiivistys, jännityskentän muutokset).
- Kalliomekaaninen kuormitus.

Taulukossa 4-9 on esitetty kallioperään liittyvät tutkimusaiheet ja niiden toteutuminen. Taulukkoon on koottu kaikki TKS-2009-raportissa esitetyt kallioperän pitkäaikaisturvallisuuden arviointiin liittyvät tutkimusaiheet, joista osa on käsitelty loppusijoituspaikan ominaisuuksien soveltuvuutta käsittelevässä luvussa. Tässä luvussa painopiste on kallioperän pitkäaikaisen kehityskulun kuvaamista ja radionuklidien kulkeutumislaskentaa varten tehdyissä tutkimuksissa.

Taulukko 4-9. TKS-2009-ohjelmassa mainitut tutkimusaiheet kallioperään liittyen ja niiden käsittely.

Tutkimusaihe	Aiheen käsittely
<i>Alkutila</i>	
Kallion soveltuvuuskrityerien kehitystyö	ks. luku 4.2.2
Kallion jännitystilan ja lujuusominaisuuksien karakterisointi	ks. luku 4.2.1
ONKALOn louhinnan mekaanisten, hydrologisten ja geokemiallisten vaikutusten karakterisointi ja arviointi	ks. luvut 4.2.1 ja 5.3.3.1
Vieraiden aineiden käytön seuranta	Karvonen (2011b), ks. myös luku 5.3.3.1
Louhintavauriovyöhykkeen laajuuden ja ominaisuuksien sekä hilseilyn karakterisointi	Mustonen ym. (2010), ks. myös luku 4.4.3.4
Loppusijoitusreikiin ja -tunneleihin tulevien vesivuotojen arviointi mallintamalla	<i>Performance Assessment</i> -raportti
Jännitystilavaurioiden laajuuden arviointi mallintamalla	ks. luku 4.2.1
Jännitystilavaurioiden vesivuotoihin ja virtausreitteihin aiheuttamien vaikutusten arviointi mallintamalla	<i>Performance Assessment</i> -raportti
Pohjaveden koostumuksen muutosten arviointi mallintamalla	<i>Performance Assessment</i> -raportti
Aiemmin louhittujen tilojen ja loppusijoitetun polttoaineen tuottaman jälkilämmön vaikutus myöhemmin sijoitettavan kapselin alkutilaan	Lämpötilan aiheuttamat jännitystilavauriot: työ tehdään seuraavalla ohjelmakaudella (kappale 5.3.1.4). Vesivuodot: Hartley ym. (2012c)
<i>Kallioperän kehityskulkuun vaikuttavat prosessit</i>	
Lämmön kulkeutuminen	Termisten ominaisuuksien määrittämiseen liittyvät tutkimukset ovat jatkuneet, ks. luku 4.2.1. Kallion terminen malli on laadittu osana kalliomekaniikan mallia, ks. luku 4.2.1.
Rakojen uudelleenaktivoituminen ja siirtymät	Rakojen ja rakovyöhykkeiden kartoitus sekä kairanrei'istä että ONKALOSTA on jatkunut, ks. luku 4.2.1. Olkiluodon kallion <i>in situ</i> -jännitystilasta on laadittu malli, ks. luku 4.2.1. Uudelleenaktivoitumisen ja mahdollisten siirtymien arviointi tulevissa olosuhteissa:

Tutkimusaihe	Aiheen käsittely
	• Maanjäristysten mahdollisesti aiheuttamia siirroksia on arvioitu mallintamalla (Fälth & Hökmark 2011, 2012). • Muutoin rakojen uudelleen aktivoituminen ja siirtymät on arvioitu vähäisiksi perustuen havaintoihin ONKALosta sekä Hökmarkin ym. (2010) esittämiin mallinnustuloksiin, eikä Olkiluoto-kohtaista mallintamista ole katsottu tarpeelliseksi.
Kallion hilseily (rikkoutuminen)	Jännitystilavaurioiden kartoitus ja kallion vastemittaukset ovat jatkuneet ONKALossa, ks. luku 4.2.1.1 ja 5.3.1.4. Kallion hilseilylujuutta selvittävästä POSE-kokeesta on saatu ensimmäiset tulokset, tulkinta valmistuu kokonaisuudessaan vuonna 2013, ks. luku 5.3.1.4. Arviot kallion vaurioitumisesta ja hilseilystä päivitetään, kun lopulliset POSE-kokeen tulokset ovat käytävissä.
Kallion pitkäaikaismuodonmuutokset (hiipuma)	Kallion siirtymämittauksia on tehty osana kalliomekaniikan monitorointia, ks. luku 5.5.
Vesi-kalliovuorovaikutus	Paikkakohtaiset tutkimukset (mm. suotautumiskoe, mikrobiologinen sulfaatin pelkistyskoe (SURE)), joissa kerätään tietoa vesi-mineraalivuorovaikutuksista ja niihin liittyvä mallinnus on esitetty luvussa 4.2.1. Rakomineraalien ionivaihtokapasiteetin arvioiminen (erityisesti K, Ca ja Mg kokeet-jamallinnus): suunnitellaan parhaillaan SKBn kanssa. Pohjavesikemian tulevaa kehitystä ja kallion puskurikapasiteetin muutoksia on arvioitu reaktiivisen kulkeutumismallinnuksen avulla, kuten on kuvattu <i>Performance Assessment</i> -raportissa perustuen Trincheron ym. (2012a, 2012b) työhön. Alkalisen veden ja kallion välistä vuorovaikutusta on selvitetty • Pohjavesikemian monitorointitutkimuksilla, ks. luku 5.5 • Reaktiivisen kulkeutumismallinnuksen avulla, ks. <i>Performance assessment</i> -raportti (liite D),

Tutkimusaihe	Aiheen käsittely
	Soler (2010), Soler (2011). • Osallistumalla LCS:n toisen vaiheen kokeisiin Grimselin testialueella (2009–2013).
Metaanihydraattien muodostuminen	Metaani-pohjavesisysteemin fysikaalis-kemiallista tilaa ja metaanihydraattien muodostumismahdollisuuksia Olkiluodon hydrogeokemiallisissa olosuhteissa on käsitelty raporteissa Keto (2010) ja Tohidi ym. (2010). Näiden tutkimusten perusteella metaanihydraattien muodostuminen Olkiluodon kaltaisissa olosuhteissa ei ole todennäköistä.
Suolan erottuminen	Grönlanti-projektin puitteissa on otettu pohjavesinäytteitä ikeroudan alta eikä näytteissä ole havaittu suolaista vettä. Tulokset raportoidaan vuoden 2012 aikana. Lisäksi uusia näytteitä otetaan vuonna 2012.
Mikrobipopulaatiot ja -prosessit	Sulfaatin pelkistymistä mikrobireaktioiden seurauksena on tutkittu ONKALOSSA SURE-kokeessa, ks. luku 4.2.1. Pohjaveden sulfidin pitoisuuden kehitystä on mallinnettu reaktiivisen kulkeutumismallinnuksen avulla (<i>Performance Assessment</i>) perustuen Trincheron ym. (2012b) työhön). Tässä mallinnuksessa mikrobireaktioita ei kuitenkaan ole huomioitu. Grönlanti-projektin puitteissa on otettu mikrobinäytteitä läheltä maanpintaa ja ne raportoidaan vuonna 2014.
<i>Kulkeutumiseen liittyvät prosessit</i>	
Pohjaveden virtaus	Pohjaveden virtausta jääkausisyklin eri vaiheissa on mallinnettu käyttäen sekä huokoisen väliaineen mallia että rakoverkkomallia (Löfman & Karvonen 2012 ja Hartley ym. 2012b). Virtausmallinnukset ovat perustuneet sekä päivitettyihin hydrogeologisiin malleihin (ks. luku 4.2.1) että päivitettyyn loppusijoitustilojen layout-suunnitelmaan (ks. luku 4.4). Virtausmallinnuksen osana on tarkasteltu pohjaveden suolaisuuden kehittymistä sekä loppusijoitustilojen käyttövaiheen aikana että jääkausisyklin eri vaiheissa (Löfman ym. 2010, Löfman & Karvonen 2012). Suolaisen veden

Tutkimusaihe	Aiheen käsittely
	kumpuamista käyttövaiheen aikana on tarkasteltu myös rakoverkkomallinnuksen avulla (Hartley ym. 2012c). Rakoverkkomallinnuksen osana on tarkasteltu myös virtauksen kanavoitumista (Hartley ym. 2012b). Olkiluodon paleohydrologista kehitystä käsittelevä virtausmallinnus on kuvattu luvussa 4.2.1. GAP-projektiin kuuluvat luonnonanalogiatutkimukset on kuvattu luvussa 4.6.1. GAP-projektin puitteissa on kehitetty konseptuaalisia ja numeerisia malleja (Jaquet ym. 2010) ja kehitystyö jatkuu edelleen vuosina 2013–2014. Virtausmallinnuksessa on tarkasteltu louhintavauriovyöhykkeen ja jännitystilavaurioiden vaikutusta pohjaveden virtaukseen ja kulkeutumiseen (Hartley ym. 2012b, 2012c). Kallioperän virtausmallien ja pintahydrologian mallin välistä kytkentää on kehitetty erityisesti pintareunaehdon ja purkautumisalueiden määrittelyn suhteen (Löfman & Karvonen 2012, <i>Assessment of Radionuclide Release Scenarios</i>).
Matriisidiffuusio	Paikkakohtaisten kulkeutumisominaisuuksien määrittely on kuvattu luvussa 4.2.1.
Dispersio	Rakoverkkomallit huomioivat suoraan mekaanisen dispersion. Huokoisen väliaineen malleissa dispersion vaikutusta suolojen kulkeutumisen on tarkasteltu herkkyysanalyysien avulla (Löfman ym. 2010).
Kaasujen muodostuminen ja kaksifaasivirtaus	Muodostuvan metaanin määrää, alkuperää ja kulkeutumista sekä kaksifaasivirtauksen mahdollisuutta on tutkittu yhteistyöprojektissa SKB:n kanssa (Delos ym. 2010 ja Tohidi ym. 2010). Yhteenveto tuloksista on esitetty <i>Site Description</i> -raportissa.
Radionuklidien sorptio, liukoisuus ja saaostuminen	Radionuklidien spesiaatiota ja liukoisuutta puskuri-kalliorajapinnassa on käsitelty Wersinin ym. (2012a) raportissa. Raportissa on huomioitu erilaiset pohjavesiolosuhteet. Wersinin ym. (2012a) tulosten perusteella sulfaatin pelkistyminen sulfidiksi ei lisää radionuklidien (Sr

Tutkimusaihe	Aiheen käsittely
	ja Ra) liukoisuutta. Kallion sorptio-ominaisuudet on määritetty laboratoriotokokeiden ja kirjallisuusselvityksen perusteella. Työhön on kuulunut myös epävarmuuksien arviointi ja se raportoidaan vuonna 2012 (Hakanen ym. 2012).
Kolloidikulkeutuminen	Kolloidien muodostumisen loppusijoitusmateriaaleista on <i>Performance Assessment</i> ja <i>Complementary considerations</i> -raporteissa arvioitu olevan vähäistä veden korkean ionivahvuuden takia. <i>Complementary considerations</i> -raportissa on koottu kirjallisuudesta saatavilla oleva tieto kolloidien muodostumisesta ja kolloidien kulkeutumisesta. Tarkastelun mukaan kolloidien pidäytyminen voi olla tehokasta, mutta prosessin mekanismin ymmärtämiseksi ei ole riittävästi tietoa. Erikseen on tarkasteltu jääkauden jälkeistä bentoniitin eroosiosta johtuva kolloidin muodostusta <i>Performance Assessment</i> -raportissa. Kolloidien vaikutuksesta radionuklidien kulkeutumiseen on laadittu selvitys, joka julkaistaan <i>Models and Data for the Repository System</i> -raportissa. Radionuklidien kulkeutumlaskennassa kolloidikulkeutumista tarkastellaan herkkyyystapauksina muuttamalla kulkeutumisparametreja.
<i>Kallioperän kehityskulku</i>	
Pohjaveden virtausolosuhteiden ja suolaisuuden kehittyminen	Yhteenveto kallioperän pohjaveden virtausolosuhteiden ja suolaisuuden kehityksestä on esitetty <i>Performance Assessment</i> -raportissa perustuen pääosin Hartleyn ym. (2012b, 2012c) ja Löfmanin & Karvosen (2012) työhön, ks. myös kohta Kulkeutumiseen liittyvät prosessit yllä.
Kallion puskurikapasiteetti (pH ja pelkistyskyky)	Yhteenveto pohjavesikemian kehityksestä huomioiden vesi-mineraalivuorovaikutus on esitetty <i>Performance Assessment</i> -raportissa perustuen Olkiluodon pohjavesikemian kehitykseen (<i>Site Description</i>) sekä reaktiiviseen kulkeutumismallinnukseen (Trincheron ym. 2012a), ks. myös kohta Kulkeutumiseen liittyvät prosessit

Tutkimusaihe	Aiheen käsittely
	yllä.
Mikrobireaktioissa sulfaatista pelkistyvän sulfidin maksimimäärä ja muodostumisnopeus ottaen huomioon kalliossa esiintyvä metaanikaasu	<i>Performance Assessment</i> -raportti ja Wersin ym. (2012b), ks. myös Kallioperän kehityskulkuun vaikuttavat prosessit yllä.
Loppusijoitustilojen pitkäaikaisvaikutukset kallioperän olosuhteisiin	Pohjaveden virtauksen mallinnuksessa on tarkasteltu käytetyn polttoaineen tuottaman lämmön, avoimien tilojen, injektoinnin sekä louhinnan aiheuttamien vaurioiden (EDZ, hilseily) vaikutusta virtaukseen, kulkeutumisreitteihin ja aineensiirtoon kallion ja puskurin välillä (Löfman & Karvonen 2012 sekä Hartley ym. 2012b, 2012c). Yhteenveto tuloksista on esitetty <i>Performance Assessment</i> -raportissa.
Kalliomekaaninen kuormitus	Kallion hilseilyn arviointi, ks. Kallioperän kehityskulkuun vaikuttavat prosessit yllä. Louhintavaurion ja hilseilyn vaikutukset pohjaveden virtaukseen, ks. yllä. Arvio sellaisten kalliosiiirrosten todennäköisyydestä, jotka voivat rikkoa kapselin, on esitetty <i>Performance Assessment</i> -raportissa perustuen maanjäristysten todennäköisyyteen (Saari 2012), arvioon mahdollisesti epästabiileista vyöhykkeistä (Lund & Schmidt 2011) ja sellaisten kapselireikien lukumäärästä, jossa siirros voisi tapahtua (Hartley ym. 2012c).
Kallioperän kulkeutumisominaisuudet	Vuonna 2008 käynnistetyssä projektissa on päivitetty paikkakohtaisia migraatioparametreja (liukoisuus, sorptio ja diffuusio) niille nuklideille, jotka on katsottu turvallisuusanalyysin kannalta merkittäviksi. Raportointi on parhaillaan meneillään ja valmistuu vuoden 2012 aikana.

4.6.5 Pintaympäristö (biosfääri)

Kuten edellä todettiin, pintaympäristölle (biosfäärille) ei ole asetettu turvallisuustoimintoja tai toimintakykytavoitteita. Vaikutusten arvioinnin ja konseptin hyväksyttävyyden kannalta biosfäärianalyysi on kuitenkin oleellinen osa turvallisuusanalyysiä.

Pintaympäristön nykytilaa kartoittavia tutkimuksia tehdään ympäristön tilan seurantaan liittyvinä tutkimuksina osana Olkiluodon monitorointiohjelmää sekä turvallisuusperustelun tarvitsemia lähtötietoja tuottavina tutkimuksina. Tämä tutkimustoiminta ulottuu Olkiluodon ja sen lähialueen ulkopuolelle, koska

turvallisuusperustelun kannalta kaikkia keskeisiä ekosysteemejä ja niiden maankohoamisen myötä muodostuvia eri kehitysvaiheita ei Olkiluodossa nykyisellään ole. Satakunnan ja Varsinais-Suomen alueelta on määritelty (Haapanen ym. 2010, Haapanen ym. 2011) seitsemän referenssijärveä ja kolme referenssisuota, joiden karakterisointi on osittain jo aloitettu ja jatkuu myös lähivuosina (luku 5.6).

Olkiluodon monitorointiohjelmassa toteutettujen tutkimusten tulokset on koottu vuosittain ympäristön monitoroinnin vuosiraportteihin (Aro ym. 2010, 2011, Haapanen 2005–2012). Ympäristön monitorointiohjelmaa käsitellään luvussa 5.5. Taulukossa 4-10 esitetään varsinaisen monitorointiohjelman ulkopuolella vuosina 2010–2012 tehdyt merkittävimmät tutkimukset, joiden tuloksia käytetään hyväksi biosfäärianalyysin lähtötietoina ja mallien kehittämisessä.

Taulukko 4-10. Kaudella 2010–2012 toteutetut pintaympäristön tutkimukset.

Tutkimusaihe	Aiheen käsittely
<i>Maaekosysteemi</i>	
Juuristotutkimus metsien intensiivikoealoilla	Helmisaari ym. 2009, Aro ym. 2010
Maalta merelle ulottuvien tutkimuslinjojen maapuolen inventointi	Haapanen & Lahdenperä 2011
Marja- ja sieniseurannan aloittaminen	Raportoidaan 2012
Kahden referenssisuon kasvillisuustutkimus ja turvenäytteet (pintaturve ja turveprofiili), näytteiden fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet	Raportoidaan 2012
<i>Vesiekosysteemi</i>	
Eurajoensalmen virtaus- ja sedimentaatiomallinnus	Mykkänen ym. 2012
Olkiluodon lähivesien ja referenssijärvien alkuainepitoisuudet	Raportoidaan 2012
Olkiluodon ja kahden referenssijärven vesikasvillisuustutkimus sisältäen sedimenttinäytteenoton sekä kasvi- ja sedimenttinäytteiden fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet	Kangasniemi ym. 2011
Eurajoen kasvillisuuskartoitus ("Jokivarressa-hanke", Pyhäjärvi-instituutti)	Kirkkala & Ryömä 2011
<i>Eläimistö</i>	
Eläinnäytearkiston (riista, kuolleena löydetty eläimet) jatkuva kartuttaminen, näytteiden fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet	Raportoidaan 2012

Tutkimusaihe	Aiheen käsittely
Olkiluodon lähivesien kalojen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet	Raportoidaan 2012
<i>Maaperä</i>	
Merenpohjan akustis-seisminen kartoitus ja sedimenttikairaus, sedimenttinäytteiden fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet	Rantataro & Kaskela 2009, Lahdenperä & Keskinen 2011
Digitaaliset mallit maaperän paksuudesta ja kerrosrakenteesta	Mönkkönen 2012
Kolme kaivinkonekuoppaa, joissa maaperän kerrosrakenteen tulkinta ja maanäytteiden otto, maanäytteiden fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet	Raportoidaan 2012
Maaperänäytteiden karakterisointi ja sorptiotutkimukset	Lusa ym. 2009, Söderlund ym. 2011, Virtanen 2011, Söderlund & Lehto 2012, yhteenveto Olkiluodon maanäytteiden sorptiotutkimuksista valmistuu 2012; tutkimusohjelma jatkuu myös seuraavalla kaudella
<i>Maankäyttö</i>	
Ilmakuvaus Olkiluodossa ja Eurajoen kunnan länsiosassa 2009	Ei-julkinen aineisto
Maankäytön muutosten tulkinta vuosien 1840–2007 kartoilta	Koistinen & Käyhkö 2011

Varsinaisen biosfääriarvioinnin osalta edellisen TKS-kauden keskeiset tutkimusaiheet on esitetty taulukossa 4-11. Tämän kauden ohjelman laatimisen jälkeen saatu viranomais- ja muu sidosryhmäpalaute on ollut odotettua, ja jo aiemmin nähtyjen tarpeiden mukaisesti biosfääriarviointia on kehitetty erityisesti

- käyttämällä useita kymmeniä tapauksia käsittävää järjestelmällistä skenaarioanalyysiä aiemman vain yhden läpikotaisesti analysoidun skenaarion sijaan,
- täydentämällä kulkeutumismallinnuksen lähtötietoja sekä paikkatutkimuksin että kasvattamalla alkuperäisistä lähteistä tarkistetun kirjallisuusaineiston määrää,
- ottamalla huomioon maaperä- ja matalat porakaivot pinta- ja maaperähydrologian mallinnuksessa sekä kulkeutumismallinnuksessa (syvät porakaivot käsitellään kuten tähänkin asti erillistapauksina loppusijoituspaikan ominaisuuksien perusteella),
- ottamalla huomioon vaihtoehtoisina laskentatapauksina erilaisia ravintotottumusprofiileja,
- kiinnittämällä huomiota säteilyannosten laskennan havainnollisuuteen erityisesti eniten altistuvaa ryhmää suuremman joukon osalta, sekä

- organisoimalla raportointi osittain uudelleen siten, että biosfääriarvioinnin raporttisalkkuun kuuluvat raportit (kuva 4-50) saadaan varmuudella tuotettua määrääjassa.

Taulukko 4-11. TKS-2009-ohjelmassa mainitut keskeiset tutkimusaiheet turvallisuusperustelun pintaympäristön (biosfäärin) osiin liittyen ja niiden käsittely.

Tutkimusaihe	Aiheen käsittely
Läpinäkyvyys, jäljitettävyyys sekä robustisuus	Aihe on ollut läpäisevänä teemana biosfääriarvioinnissa ja erityisesti tavoitteisiin on pyritty • uudistamalla biosfääriarvioinnin raporttisalkun (kuva 4-50) rakenne ja osin raporttien sisältöä ja roolia (erityisesti pintaympäristön kuvaus (<i>Biosphere description</i>) ja lähtötietoraportti (<i>Data basis for the Biophere Assessment</i>)), • tarkentamalla mallinnusketjun yksityiskohtia ja rajapintoja, sekä • jäljittämällä kirjallisuustietojen varsinaista alkuperää ja täsmentämällä viittauskäytäntöjä. Aiheen varsinainen käsittely ilmenee rakentamisluvan hakemisen yhteydessä esitettävästä turvallisuusperusteluaineistosta.
Herkkyystarkastelut, epävarmuuksien ja pessimistisyystason arvioiminen	Aihe on ollut läpäisevänä teemana biosfääriarvioinnissa ja erityisesti tavoitteisiin on pyritty • kaikilla mallinnustasoilla tehtyjä useita laskentatapauksia tarkastelemalla (skenaarioanalyysi), • tekemällä herkkyystarkasteluja ekosysteemi- ja ympäristöolosuhteiden varsinaisen mallinnuksen valmistelun yhteydessä sekä turvallisuusperustelussa käytetyille malleille, sekä • käsittelemällä lähtötietoja ja niiden epävarmuuksia ja pessimistisyyttä yhtenäisesti yhdessä, kokoavassa lähtötietoraportissa (<i>Data basis for the Biophere Assessment</i>). Aiheen varsinainen käsittely ilmenee rakentamisluvan hakemisen yhteydessä esitettävän turvallisuusperusteluaineiston biosfääriosuudesta.
Ihmisten tunkeutuminen loppusijoitustilaan	Posiva on osallistunut aktiivisesti aiheita käsittelevään kansainväliseen BIOPROTA-hankkeeseen (raportoidaan erikseen 2012 aikana). Hankkeen mallinnustuloksia sovelletaan Olkiluodon käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen ja tämä työ raportoidaan osana käyttöluvan hakemisen yhteydessä esitettävää turvallisuusperustelua.

Aihe	Raportin otsikko
Biosfäärianalyysin pääraportit	
Tieteellinen perusta: loppusijoituspaikan pintaympäristön kuvaus ja ymmärtäminen, keskeiset ominaispiirteet ja prosessit, konseptuaaliset mallit	Olkiluoto Biosphere Description BSD-2012
Tapahtumakulkujen analyysien synteesi (maaston kehittyminen, geosfääri-biosfäärirajapinta, radionuklidien kulkeutuminen, annosarviointi)	Biosphere Assessment BSA-2012
Biosfäärianalyysin mallien lähtötiedot ja yhteenveto malleista	Data Basis for the Biosphere Assessment BSA-2012
Biosfäärianalyysin tukiraportit	
Maaston ja ekosysteemien kehittymisen mallinnus ja sen yksityiskohtaiset tulokset	Terrain and ecosystems development modelling in the biosphere assessment BSA-2012
Geosfääri-biosfäärirajapinnan (pinta- ja maaperähydrologian) mallinnus biosfäärianalyysin kannalta sekä sen yksityiskohtaiset tulokset	Surface and near-surface hydrological modelling in the biosphere assessment BSA-2012
Radionuklidien biosfäärikulkeutuminen mallinnus, ihmisten säteilyaltistuksen arviointi sekä näiden yksityiskohtaiset tulokset	Radionuclide transport and dose assessment for humans in the biosphere assessment BSA-2012
Kasvien ja eläinten säteilyaltistuksen arviointi ja sen yksityiskohtaiset tulokset	Dose assessment for the plants and animals in the biosphere assessment BSA-2012

Kuva 4-50. Pintaympäristöä käsittelevän biosfäärianalyysin raporttisalkku, joka sisältyy myös kuvassa 4-47 esitettyyn turvallisuusperustelun raporttisalkkuun.

4.6.6 Radionuklidien vapautumiseen johtavat skenaariot

Ilmasto-olosuhteet ja niiden kehittyminen rajaavat koko loppusijoitusjärjestelmän, maanalaisen loppusijoitustilan ja pintaympäristön kehitystä.

Vaikka perus-, muunnelma- ja häiriöskenaariot käsittävät koko loppusijoitusjärjestelmän, niin skenaariotarkastelussa maanalainen loppusijoitustila ja pintaympäristö (biosfääri) on eroteltu toisistaan. Näin on tehty koska ainoastaan muutama FEP on yhteinen (kuten esim. maankohoaminen ja sen vaikutukset pintaosan hydrologiaan ja pohjaveden kehitykseen), lisäksi pintaympäristön kehitystä on YVL D.5:n, kohdan 360 mukaan rajattava siihen tarkastelujaksoon, jolloin säteily voidaan arvioida riittävän luotettavasti ja joka kattaa ainakin tuhansia vuosia (GD 735/2008), ja pidemmällä tarkastelujaksoilla on tarkasteltava aktiivisuuspäästöjä kallioperä-biosfäärirajapinnalla, kun arvioidaan säteilyannoksia (YVL D.5, 312 ja 311). Lisäksi kauttaaltaan samaa menettelyä ei voida soveltaa maanalaiselle loppusijoitustilalle kuin pintaympäristölle, koska pintaympäristölle ei ole asetettu turvallisuustoimintoa.

Pintaympäristöä koskevat skenaariot käsittelevät myös perus-, muunnelma- ja häiriöskenaarioita. Loppusijoitusjärjestelmän skenaarioanalyysistä saatavat tulokset, jotka koskevat vapautumista muutamien tuhansien vuoden aikana, eli radionuklidien aktiivisuus käsitellään pintaympäristöskenaarioissa, lopputuloksena annosnopeuksia.

Kuten aiemmin todettiin (luku 4.6.4.1), suurin osa kapseleista täyttää asetetut vaatimukset eli on alun perin ehjiä. Radionuklidien vapautumiseen liittyvät skenaariotarkastelut pohjautuvat YVL D.5:n mukaisesti turvallisuustoiminnoille määriteltäviin tavoitteisiin niin, että otetaan huomioon satunnaiset poikkeamat tavoitearvoista. Näin ollen perusskenaariossa oletetaan, että yhdessä loppusijoitetuista

kapseleista on kuparivaipan lävistävä, halkaisijaltaan 1 mm oleva reikä perustuen VTT:n analyysiin (Holmberg & Kuusela 2011).

STUKin ohjeen YVL D.5 (luonnos 4, 22.9.2010) mukaisesti turvallisuusperustelussa on perusskenaarion lisäksi käsitelty

- muunnelskenaarioita, joiden avulla analysoidaan yhden turvallisuustoiminnon olennaisen heikkenemisen vaikutusta tai, mikäli turvallisuustoimintojen välillä on kytkentää, yhtä useamman turvallisuustoiminnon heikkenemisen yhteisvaikutusta, sekä
- häiriöskenaarioita, jotka käsittelevät pitkäaikaisturvallisuutta heikentävien epätodennäköisten tapahtumien vaikutusta.

Toimintakykyanalyysin perusteella sulfidin aiheuttama korroosio on pitkän kehityskulun aikana todennäköisin prosessi, joka johtaa useamman kapselin turvallisuustoiminnon ja toimintakyvyn menettämiseen. TURVA-2012:n muunnelskenaarioissa kapselin turvallisuustoiminnon menetys yhdistetään puskurin toimintakyvyn heikkenemiseen, eli jään vetäytymisen jälkeisen jakson aikana glasiaaliveden aiheuttaman puskurin eroosio, jonka seurauksena useampi kapseli rikkoutuu korroosion seurauksena. Useamman kapselin rikkoutumista voi myös tapahtua häiriöskenaarioksi luokitellun maanjäristyksen seurauksena. Häiriöskenaarioina on käsitelty myös ihmisen tunkeutumista loppusijoitustilaan.

Radionuklidien kulkeutumisen mallinnusprosessia on kehitetty ja käyttöön on otettu uusia mallinnusohjelmistoja. Radionuklidien lähialueella tapahtuvan kulkeutumisen mallinnusta varten on otettu käyttöön GoldSim-ohjelmisto. Radionuklidien kallioperässä tapahtuvan kulkeutumisen mallinnusta varten on otettu käyttöön Connect-flow MARFA -paketti. MARFA-ohjelmaa on täydennetty transientissa virtauskentässä tapahtuvan kulkeutumisen analysointimenetelmällä. Radionuklidien kulkeutumista biosfäärissä on käsitelty luvussa 4.6.5. Kallioperäkulkeutumisen tulokset on integroitu aiempaa paremmin biosfäärinanalyysin lähtötiedoiksi. Mallinnuksen eri vaiheiden lähtö- ja tulostietojen tallennukseen ja hyväksymiseen on kehitetty tietokanta hyväksymismenettelyineen. Determinististen laskentatapausten lisäksi on toteutettu myös todennäköisyyspohjainen analyysi, jossa on käytetty GoldSim-ohjelmistoa sekä lähi- että kaukoaluekulkeutumisen mallinnukseen.

Skenaariot ja tulokset raportoidaan vuoden 2012 loppuun mennessä (*Formulation of Radionuclide Release Scenarios, Assessment of Radionuclide Release Scenarios ja Biosphere Assessment*).

Radionuklidien kulkeutumisen mallintaminen todennäköisyyspohjaisin menetelmin on käynnissä ja tulokset raportoidaan vuoden 2012 loppuun mennessä.

4.6.7 Seuraavalla YJH-kaudella täsmennettävät asiat

Seuraavan ohjelmakauden aikana jatketaan turvallisuuden arviointia tukevia tutkimuksia käyttöluvapahakemukseen tehtävää turvallisuusperustelutyötä varten, kuten

- polttoaineen liukenemismekanismien kokeellista tutkimusta,
- ilmastoskenaarioissa käytettävien mallien kehitystä,
- jääkauden hydrogeologisten ja geokemiallisten olosuhteiden tutkimuksia,

- kallioperän tavoiteominaisuuksiin ja tulevaan kehitykseen liittyviä selvityksiä ja tutkimuksia,
- lähialueen radionuklidien kulkeutumisparametrien määrittystä, sekä
- pintaympäristön (biosfääriarvioinnin) lähtötietojen hankintaa ja osamallien kehitystä.

Lisäksi vuonna 2013 koostetaan TURVA-2012-portfolion raportti *Models and Data for the Repository System*.

4.7 Vaakasijoitusratkaisu KBS-3H

KBS-3H-vaihtoehdossa kapselit sijoitetaan pitkiin vaakasuuntaisiin loppusijoitusreikiin, (kuva 4-51). KBS-3V-ratkaisusta poiketen KBS-3H-ratkaisussa käytetään hyväksi esivalmisteltua asennuspakkausta, joka kootaan ennen loppusijoittamista kapselin vastaanottoasemalla teollisella tavalla, mikä vähentää inhimillisten virheiden mahdollisuutta. Asennuspakkauksen muodostavat titaanista valmistettu rei'itetty suojasyylinteri ja sen sisään asennettavat bentoniittipuskuri ja kuparikapseli. Asennuspakkauksia asennetaan useita enimmillään 300 m:n pituisiin lähes vaakasuoriin loppusijoitusreikiin. Reikien halkaisija on 1 850 mm ja ne ovat hieman yläkätisesti kaltevia (noin 2°), minkä ansiosta veden poistaminen reiästä tapahtuu painovoimaisesti loppusijoitusreiän alapintaa pitkin asennuksen aikana. Asennuspakkaukset, kuten myös reikään asennettavat bentoniittitulpat, seisovat jaloilla, joiden välistä vuotovedet pääsevät virtaamaan ulos reiästä. Välys asennuspakkauksen ja reiän seinämän välillä on 44,5–48 mm.

KBS-3H:n ja KBS-3V:n viranomaisvaatimukset ovat samat ja molemmat vaihtoehdot on aikanaan esitetty ratkaisuin periaatepäätöksessä. Molemmissa ratkaisuisa moniestejärjestelmä perustuu suotuisiin ja ennustettavissa oleviin mekaanisiin, geokemiallisiin ja hydrologisiin kallioperäolosuhteisiin, pitkäikäiseen loppusijoituskapseliin ja puskuriin, jotka yhdessä takaavat pitkäaikaisen suojan mekaanisia, hydraulisia ja kemiallisia vaikutuksia vastaan. Kapselin mahdollisen rikkoutumisen seurauksena vapautuvien radionuklidien kulkeutumista hidastavat sekä puskuri että kallioperä. Radionuklidien vapautumista rajoittavia tekijöitä ovat myös stabiili polttoainematriisi ja monien radioaktiivisten alkuaineiden alhainen liukoisuus odotettavissa olevissa vaurioituneen kapselin sisäisissä kemiallisissa olosuhteissa.

Päättäneen projektivaiheen "Täydentävät tutkimukset 2008–2010" aikana tehdyn työn tulokset KBS-3H-ratkaisun osalta on esitetty tarkemmin raportissa KBS-3H Complementary studies 2008–2010 (SKB 2012). Keskeisimmät muutokset aiempaan suunnitteluratkaisuun (Autio ym. 2008) verrattuna ovat seuraavat:

- DAWE (Drainage, Artificial Watering and air Evacuation) -vaihtoehto valittu KBS-3H:n suunnitteluratkaisuksi.
- Aiemmassa projektivaiheessa esitetty betonirakenteinen päätytulppa/osastotulppa-yhdistelmä on korvattu uudessa suunnitteluratkaisussa titaanivalmisteisella päätytulpalla.
- Tehtyjen bentoniitin eroosiotutkimusten pohjalta osaston keinokastelutekniikkaan aiemmin liittynyt putkien reiästä poistamiseen liittynyt riski on saatu merkittävästi pienemmäksi siirtymällä pitkistä kasteluputkista lyhyisiin putkiin.

- Asennuspakkauksen suojasynterinin, osasto- ja päätytulpan materiaaleiksi on valittu titaani, minkä ansiosta vetykaasun syntyminen loppusijoitusreiässä on saatu minimoitua.
- Täyttökomponenteille on laadittu suunnitteluratkaisut.
- Vastaanottoasema ja asennuspakkauksen siirto vastaanottoasemalta asennustilaan suunniteltu alustavasti.
- Loppusijoitustilan asemointi on päivitetty, pohjautuu pitkälti 3V-asemointiin.
- Bentoniitin ja harkinnassa olleiden asennuspakkauksen suojasynterimateriaalien (Fe, Cu ja Ti) välisiä vuorovaikutuksia on tutkittu. Selvityksen perusteella asennuspakkauksen materiaalina käytetään titaania.
- Osastotulpan testaus on toteutettu täydessä mittakaavassa.
- Jälki-injektointi on testattu Mega-Packer-nimisellä laitteistolla jo aiemmassa projektivaiheessa.

4.7.1 KBS-3H-ratkaisua koskevat erityispiirteet

Samankaltaisuuksista huolimatta KBS-3V- ja KBS-3H-ratkaisujen kokoonpanoon ja toimintaan sisältyy eroja. Suunnittelun näkökulmasta suurin ero on KBS-3H:ssa louhittavan kalliotilavuuden pienemmässä määrässä, mikä tarkoittaa samalla myös vähäisempää täyttötarvetta. Samasta syystä myös loppusijoittamisen asennustyötä koskevat erot ovat huomattavia. KBS-3V- ja KBS-3H-vaihtoehtojen vertailuanalyysi (Gribi ym. 2007) on osoittanut, että pitkäaikaisturvallisuuden näkökulmasta suurimmat erot liittyvät KBS-3H-ratkaisun erityisominaisuuksiin, kuten asennuspakkaukseen ja muihin rakennekomponentteihin sekä niiden aiheuttamiin muutoksiin hydraulisisissä olosuhteissa pitkässä loppusijoitusreiässä ja sen välittömässä läheisyydessä. Asennuksen jälkeen asennuspakkausten ja välitulppien ympärille jää tyhjää tilaa, joka täyttyy bentoniitin paisuessa veden vaikutuksesta (puskurin saturoituminen). Tämän prosessin kesto saattaa kuitenkin vaihdella pitkän loppusijoitusreiän eri osissa kallion heterogeenisuuden ja pohjaveden virtausolosuhteiden vaihtelun vuoksi. Niin kauan, kun pelkästään vedellä täyttyneitä välyksiä esiintyy, on mahdollista, että eroosio ja siitä johtuva vesikanavien muodostuminen (piping) bentoniittiin voivat aiheuttaa puskurimassan uudelleenjakautumista loppusijoitusreiässä. Loppusijoitusreiän heterogeenisten virtausolosuhteiden huomioon ottaminen ja niiden ratkaiseminen siten, että puskurin toimintakyky ei vaarannu, ovat olleet KBS-3H:n teknisen suunnittelun kehitystyön kohteena.

4.7.2 Valitun DAWE-referenssiratkaisun kuvaus

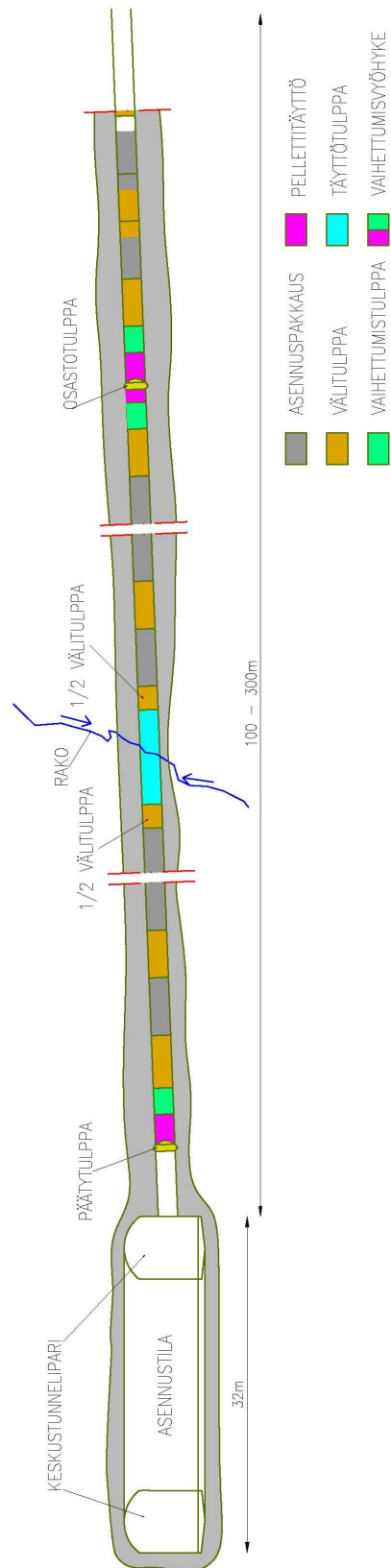
KBS-3H-vaihtoehtoon suunnitteluratkaisuksi on valittu DAWE (Drainage, Artificial Watering and air Evacuation) ja sen mukaisesti loppusijoitusreikä jaetaan kahteen osastoon, kumpikin pituudeltaan noin 150 m. Asennuspakkausten ja muiden reikäkomponenttien asentaminen loppusijoitusreikään tapahtuu asennustilan kautta asennuslaitteella osastoittain reiän takaosasta alkaen (kuvat 4-51 ja 4-52). Joissakin erityistapauksissa tarpeen vaatiessa loppusijoitusreikä voidaan jakaa useampaan kuin kahteen osastoon. Osastojen väliin rakennetaan osastotulppa sisemmän osaston keinokastelun toteuttamiseksi. Reikään asennettujen komponenttien ja reikäseinämän välisen tyhjän tilan täyttäminen keinokastelulla tehdään kolmella lyhyellä putkella tulppaan tehtyjen läpivientien kautta. Neljäs putki tulpan läpivienteineen ulottuu osaston perimmäiseen yläkulmaan, johon keinokastelun seurauksena syntyvä ilmatasku

muodostuu. Ilmastuksen jälkeen kaikki putket poistetaan ja tulpan läpiviennit suljetaan. Keinokastelun avulla saadaan kiihdytettyä bentoniitin paisumista, jolloin se tapahtuu samanaikaisesti koko reikäosastossa. Paisuntapaineen kehityksellä on merkitystä kallion mahdollisen hilseilyn rajoittamisen kannalta. Seuraavan osaston asennuspakkausten ja muiden reikäkomponenttien asentaminen aloitetaan viipymättä osastotulpan läpivientien sulkemisen jälkeen. Loppusijoitusreikä suljetaan lopuksi titaanista valmistetulla päätytulpalla, jonka jälkeen osaston keinokastelu toteutetaan vastaavalla tavalla kuin osastotulpan tapauksessa (kuva 4-51).

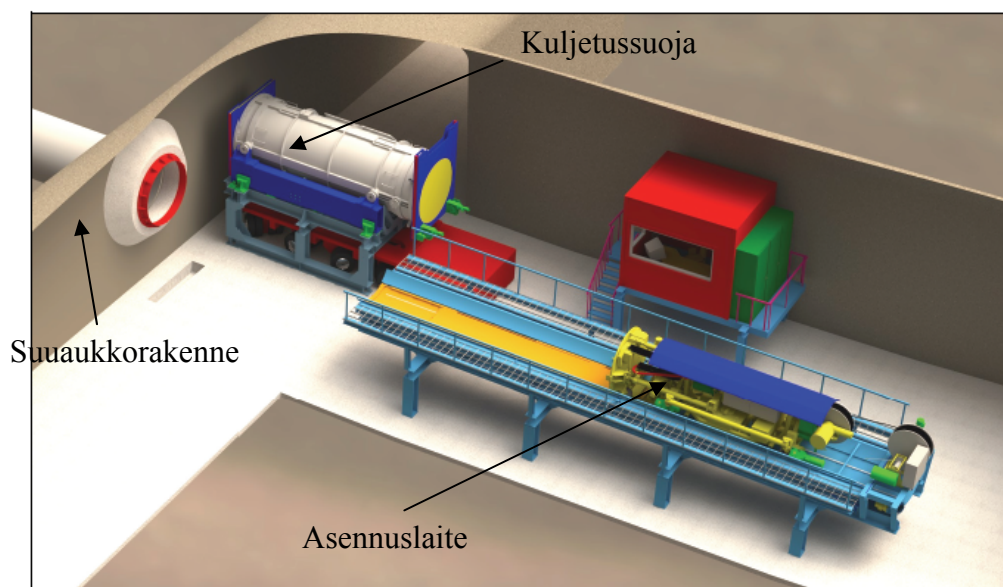
Puristetusta bentoniitista valmistetut välitulpat eristävät asennuspakkaukset toisistaan loppusijoitusreiässä. Bentoniitit asennuspakkauksen sisällä ja välitulpissa muodostavat yhdessä puskuriksi kutsutun vapautumisesteen. Niissä loppusijoitusreiän osissa, jotka eivät täytä pitkäaikaisturvallisuus- ja suunnitteluvaatimuksia (esim. liian suuri pohjaveden virtaus loppusijoitusreikään, kriteerinä 0,1 l/min per asennuspakkaus + välitulppa) ja joiden kohdalle ei voida sijoittaa asennuspakkausta tai välitulppaa, käytetään puristetusta bentoniitista valmistettuja täyttötulppia. Näiden vuotokohtiin asennettavien täyttötulppien lisäksi loppusijoitusreikään asennetaan muitakin täyttökomponeentteja esim. osasto- ja päätytulpan molemmille puolille syntyvän tyhjän tilan täyttämiseksi. Päätytulpan ja keskustunnelin väliin jäävän reikäosuuden täyttöratkaisu suunnitellaan alkaneen projektivaiheen aikana.

Myös reiän perälle jäävä pilottireiän lyhyt pohjaosa ja loppusijoitusreiän avarrusterän geometriasta aiheutuva kaareva takaseinä joudutaan huomioimaan asentamalla niihin täyttökomponeentit, jotka valmistetaan myös puristetusta bentoniitista. Ratkaisujen taustalla on bentoniitin tiheydelle (saturaation jälkeen) annetut vaatimukset. Välys bentoniitista valmistettujen tulppien (välitulpat, täyttökomponeentit) ja reiän seinämän välillä on 42,5 mm.

Kuvassa 4-51 on esitetty periaatekuva KBS-3H-loppusijoitusreiästä ja siihen asennustilan kautta asennettavista komponenteista. Asennustila sijaitsee kahden rinnakkaisen keskustunnelin välissä. Asennustilasta voidaan louhia toinen loppusijoitusreikä vastakkaiseen suuntaan. Osastotulppa (materiaali Ti) jakaa reiän kahteen osastoon. Päätytulppa (Ti) sulkee reiän. Kapseli sijaitsee asennuspakkauksessa, jossa kapselia ympäröivät bentoniittilohkot ja uloimpana titaanivalmisteinen rei'itetty suojasynteri. Välitulpat eristävät asennuspakkaukset toisistaan. Vuotovesikriteerin ylittävissä reikäosuuksissa käytetään bentoniitista puristettuja täyttötulppia. Pääty- ja osastotulppien yhteydessä käytetään tulppien ja lähimmän välitulpan välissä täyttökomponeentteja: vaihettumistulppaa ja pellettitäyttöä, joiden materiaali on bentoniitti. Tätä reikäosuutta kutsutaan vaihettumisvyöhykkeeksi. Sen tehtävänä on estää tiheysmuutokset lähimmässä välitulpassa.



Kuva 4-51. Periaatekuva KBS-3H-loppusijoitusreiästä ja siihen asennustilan kautta asennettavista komponenteista.



Kuva 4-52. Kapselien kuljetusajoneuvo sekä sen päällä oleva kuljetussuoja (sisältäen asennuspakkauksen) on ajettu asennustilaan ja käännetty loppusijoitusreiän suuntaiseksi. Seuraavaksi kuljetussuoja siirretään kuljetusajoneuvolla sivuttain reiän suuaukkorakenteen ja asennuslaitteen väliin (modifioitu Kirkkomäki & Rönqvist 2011).

Ennen asennusvaiheen alkamista reikäosuudet, jotka eivät sovellu asennuspakkauksen ja välitulpan asennukseen vuotovesikriteerin ylittymisen takia, jälki-injektoidaan kolloidisella silikalla käyttäen projektissa aiemmin suunniteltua ja testattua Mega-Packer-laitteistoa. Kallion tiivistämisen ansiosta olosuhteet asennustyön ja bentoniitin asennusaikaisen eroosion kannalta saadaan suotuisiksi.

4.8 Ydinmateriaalivalvonta

4.8.1 Kansallinen ja kansainvälinen valvonta

Kansallinen ydinmateriaalien valvonta perustuu ydinenergi lakiin ja -asetukseen sekä niiden nojalla annettuihin määräyksiin. STUKin ylläpitämän ydinmateriaalien valvontajärjestelmän yhtenä tarkoituksena on huolehtia, että kansainvälisten sopimusten velvoitteet täyttyvät. Euroopan Unionin jäsenyyden myötä Suomea velvoittaa Euroopan atomienergiayhteisön perustamissopimus (Euratom Treaty). Valvonnassaan STUK huomioi Euroopan komission asetuksen N:o 302/2005 mukaiset velvoitteet (Euroopan komissio 2005). Kansainvälisen atomienergiajärjestön IAEA:n valvonta perustuu ydinsulkusopimukseen (INFCIRC/140), EU:n ydinaseettomien jäsenmaiden, Euratomin ja IAEA:n väliseen valvontasopimukseen (INFCIRC/193) ja sen lisäpöytäkirjaan (INFCIRC/193/Add.8). IAEA ja komissio toteuttavat yhdessä Integrated safeguards -mallia. IAEA on laatinut valvontamallit kapselointilaitokselle ja loppusijoituslaitokselle.

Vuonna 2004 aloitettiin maanalaisen tutkimustilan ONKALON rakentaminen. ONKALON rakentamisen aikaisella ydinsulkuvalvonnalla mahdollistetaan ONKALON liittäminen osaksi tulevaa loppusijoituslaitosta. Ydinenergi lain mukaista

rakentamislupaa kapselointilaitokselle ja loppusijoituslaitokselle haetaan vuonna 2012. Kansainvälisen valvonnan järjestämistä ja suunnittelua varten Posiva toimittaa kapselointi- ja loppusijoituslaitosta koskevat tekniset perustiedot komissiolle rakentamislupahakemuksen jätettyään. Posiva on jo toimittanut STUKin käyttöön suunnitteilla olevaa kapselointi- ja loppusijoituslaitosta koskevan ilmoituksen. STUK on toimittanut tiedot edelleen Euroopan komissiolle, joka on antanut ilmoituksen perusteella Posivalle materiaalitasealuekoodin. Lisäpöytäkirjan mukainen laitosalueen yleinen kuvaus toimitetaan STUKille vuosittain.

4.8.2 ONKALOn ydinsulkuvalvonta

Posivan ydinsulkuvalvonnan tarkoituksena on varmistaa, että maanalaisen tutkimustilan ONKALOn rakentamisen aikana noudatetaan ydinsulkuvalvontaa koskevien lakien ja asetusten sekä kansainvälisten sopimusten velvoitteita. Posivassa on laadittu ydinsulkuvalvontakäsikirja, jossa on kuvattu ONKALOn rakentamisaikainen ydinsulkuvalvontatoiminta. Ydinsulkuvalvontakäsikirjaa päivitetään tarpeen mukaan. Käsikirja määrittelee ONKALOA koskevat ennakko-, toteuma- ja monitorointitiedot, jotka raportoidaan kolme kertaa vuodessa STUKille. STUK suorittaa lisäksi tarkastuksia, jotka sisältävät ONKALOn kalliotilojen katselmukset sekä määrävälein koko ydinsulkuvalvonnan järjestelmätarkastuksen. STUK tekee vuosittain noin kolme ydinsulkuvalvonnan määräaikaistarkastusta, joista yksi tarkastus on tyypillisesti yhteinen IAEA:n ja Euratomin kanssa. Tarkastuksissa ei ole löytynyt huomautettavaa ONKALOn ydinsulkuvalvonnasta.

Maanalaisten kalliotilojen louhinnan valvonta ja monitorointi perustuu velvoitteeseen osoittaa, että ONKALossa ei ole suunnittelutietoihin sisällyttämiä tiloja. Valvonta tuottaa toteumakuvia, joissa neljän kuukauden jaksoissa on kuvattu kaikki louhinta- ja rakennustyöt. Toteumakuvia täydentävät laserkeilauskuvat, joissa kaikki ONKALOn muodot näkyvät millimetrien tarkkuudella. Laserkeilauskuvat laaditaan 300 metrin osissa. Monitoroinnissa käytetään Olkiluotoon rakennettua mikroseismistä asemaverkkoa, jonka valvontatiedoista saadaan ajantasaista tietoa räjäytyksistä Olkiluodossa ja lähialueilla. Järjestelmä on osoittautunut hyväksi menetelmäksi valvoa louhintaa mittalaittein ulkopuolelta.

Rakentamislupahakemuksessa kuvataan alustavasti ydinmateriaalivalvonnan järjestäminen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamisen ja käytön aikana. Ydinmateriaalivalvonnan suunnitelma sisältää käytetyn ydinpolttoaineen siirtoketjun KPA-varastoista kapseloinnin kautta loppusijoitukseen. Ydinmateriaalivalvonta edellyttää, että ydinmateriaali pysyy jatkuvasti valvonnassa. Loppusijoituslaitoksen käytön aikana valvonta perustuu kaiken tilaan tulevan ydinaineen ja muun ydinmateriaalin varmistettuun kirjaamiseen, ydinmateriaalin kirjanpitoon loppusijoituksen eri vaiheissa ja sen varmistamiseen, että ydinmateriaalia ei poisteta kapselointi- tai loppusijoituslaitoksesta.

4.8.3 Ydinsulkuvalvonnan organisaatio

Posivan ydinsulkuvalvontakäsikirja ohjeistaa valvonnan edellyttämän raportoinnin ja valmistautumisen viranomaisten tarkastuksiin. Posivassa on nimetty ONKALOn rakentamisesta vastaava henkilö, joka on STUKin hyväksymä. ONKALOn

ydinsulkuvalvonnasta vastaa ydinmateriaalivalvonnasta huolehtiva henkilö ja tämän varahenkilö, jotka molemmat ovat STUKin hyväksymiä.

Rakentamislupahakemuksen käsittelyvaiheessa Posiva nimeää ja hyväksyy ydinenergia-asetuksen mukaiset henkilöt ja heidän varahenkilönsä, jotka ovat ydinlaitoksen vastuullinen johtaja sekä ydinmateriaaleista ja turva- ja valmiusjärjestelyistä huolehtivat henkilöt. Ydinsulkuvalvonta, myöhemmin ydinmateriaalivalvonta, toteutetaan Posivan turvallisuusyksikössä. Rakennusosasto ja tutkimusosasto toimittavat raportointia varten tarvittavat ennakko-, toteuma- ja monitorointitiedot.

4.9 Luvitus

Posivan keskeinen tavoite on rakentamislupahakemuksen jättäminen vuoden 2012 aikana. Hakemuksen valmistelun aikana viranomaisten (TEM, STUK) kanssa käyty keskustelu on ollut tiivistä ja avointa. Yhteistyön lähtökohta on ollut, että myös viranomaisilla on oikea kuva hankkeen etenemisestä ja siinä ilmenevistä haasteista.

Rakentamislupahakemuksen sisällölliset vaatimukset esitetään ydinenergia-asetuksen 31 ja 32 §:ssä. Samassa yhteydessä STUKille toimitettavat selvitykset esitetään YEA 35 §:ssä, jonka nojalla STUK on YVL-ohjeistossaan edellyttänyt useita erillisselvityksiä sille tässä yhteydessä toimitettavaksi.

Rakentamislupahakemus pohjautuu luvussa 4.1 kuvattuihin lupavaiheisiin ja niiden yhteydessä laadittuihin selvityksiin sekä tuolloin saatuun palautteeseen. Saatu palaute on käyty Posivassa järjestelmällisesti läpi ja johtopäätökset on sisällytetty rakentamislupahakemuksen valmisteluun. Esimerkkinä huomioonotetusta palautteesta on huomion kiinnittäminen varsinaisessa hakemuksessa polttoainekuljetuksiin ja niiden riskeihin, polttoaineen palautettavuuteen, YVA-selosteen ajantasaisuuteen sekä muihin tarvittaviin lupiin ja päätöksiin. STUKin antamassa lausunnossa vuonna 2009 jätetystä ns. esiluvitusaineistosta esitettiin lukuisia kehityskohteita, joiden huomioonottaminen on sisällytetty YEA 35 §:ssä mainitun aineiston jatkokehitykseen.

Käytännön valmistelutyötä tehdään hyvin laajasti Posivassa ja sen käyttämissä asiantuntijaorganisaatioissa. Hakemusaineisto tarkastetaan ydinalan periaatteiden mukaisesti sekä Posivassa että keskeisiltä osiltaan myös sen omistajaorganisaatioissa. Laitossuunnitteludokumentaatiolle ja turvallisuusanalyysille hankitaan korkeatasoiset suunnittelijoista riippumattomat lausunnot. Laitoksen konseptisuunnittelu on pääosin valmis vuoden 2012 lopulla. Konsepti pitää kuitenkin tuolloin sisällään referenssiratkaisujen ohella myös vaihtoehtoisia toteutusmalleja, joiden väliltä valinta tehdään vasta rakentamisen aikana. Näiltä osin myös vaihtoehdot sisällytetään jo tässä vaiheessa hakemukseen. Toteutussuunnittelu ja sen tuloksena syntyvät päivitetyt järjestelmäkuvaukset sekä laite- ja rakennekohtaiset rakennesuunnitelmat valmistuvat ennen ko. laitteen tai rakenteen hankinnan käynnistymistä. Käyttöturvallisuusanalyysit (deterministiset ja todennäköisyyspohjaiset) valmistuvat alustavina vuoden 2012 aikana. Päivitys tehtyihin turvallisuusanalyysihin tehdään ainakin kertaalleen ennen käyttöluvavaihetta. Pitkäaikaisturvallisuutta koskevat selvitykset valmistuvat pääosin vuoden 2012 aikana. Oletetuista viiveistä on keskusteltu STUKin kanssa. Myös

pitkäaikaisturvallisuutta koskevat selvitykset päivitetään ainakin kertaalleen käyttöluvapvaiheeseen mennessä. Hankkeen suunniteltua etenemistä vuosina 2013–2018 käsitellään tämän YJH-ohjelman luvuissa 5 ja 6.

Rakenteilla oleva maanalainen tutkimustila, ONKALO, on tarkoitus liittää rakentamislupavaiheessa osaksi tulevaa loppusijoituslaitosta. Tämä on mahdollista sillä perusteella, että ONKALOn rakentaminen on tapahtunut ydinlaitossäännösten mukaisin menettelyin ja STUKin viranomaisvalvonnan alla. Rakentamisesta saadun kokeellisen tiedon ja kokemusten ohella ONKALOn rakentaminen on antanut hyödyllistä kokemusta sekä Posivalle että viranomaisille pääosin ydinvoimalaitosympäristöön kehitetyn säännösten ja valvontamenettelyjen soveltamisesta Posivan toimialueella. Nykyinen ONKALO koostuu, paitsi maanalaisista tutkimustiloista ja sinne johtavasta ajotunnelista, myös tutkimustiloissa tapahtuvaa turvallista työskentelyä tukevista maanalaisista ja -päällisistä rakenteista ja järjestelmistä. ONKALOn laajuuteen vuosien varrella tehdyt täsmennykset on käyty etukäteen STUKin kanssa läpi. Nykyiseen ONKALOon ei sisälly uuden kolmiportaisen turvallisuusluokituksen perusteella luokiteltuja järjestelmiä, laitteita tai rakenteita.

Turvallisuusluokiteltujen järjestelmien suunnittelu ja kelpoistaminen tapahtuu STUKin tulevan YVL-ohjeiston ohjeissa YVL B.1 "Turvallisuusjärjestelmien suunnittelu" ja YVL B.2 "Turvallisuusluokitus" kuvatuin menettelyin. Järjestelmien suunnittelun kypsyys osoitetaan turvallisuusselosteeseen sisältyvien järjestelmäkuvausten avulla. Järjestelmien vaatimustenmukaisuus todetaan järjestelmäkohtaisten koekäyttöjen ja järjestelmien yhteistoimintakokeiden keinoin. Turvallisuusluokiteltujen laitteiden ja rakenteiden kelpoistaminen tapahtuu tulevan YVL-ohjeiston E-sarjan ohjeiden mukaisesti. Ohjeistouudistuksen keskeneräisyyden vuoksi Posiva on saanut STUKilta päätöksen ohjeluonnosten (L4) käyttämisestä ja ohjekohtaisten soveltamispäätösten tekemisestä Posivaa varten. Laitteiden ja rakenteiden vaatimusmäärittely ja siihen pohjautuvat suunnittelutiedot hankinnan laadunvalvontasuunnitelmineen esitetään rakennesuunnitelmissa. Kullekin laitteelle ja rakenteelle tehdään rakennetarkastus, jonka tekijä määräytyy turvallisuusluokan perusteella. Järjestelmien ja laitteiden kelpoistaminen tullaan kuvaamaan Posivan laatujärjestelmässä.

KBS-3H-konseptia koskevat tiedot ja perustelut esitetään kokonaisuudessaan STUKille jätettävässä PSARIin liittyvässä aihekohtaisessa raportissa.

5 KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUKSEN TUTKIMUS- JA KEHITYSTYÖ 2013–2018

5.1 Lähtökohdat

Ydinjätehuoltovelvolliset TVO ja Fortum ovat antaneet käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen valmistelun Posivan tehtäväksi. Työssä on noudatettu sille jo 1980-luvulla asetettuja tavoitteita, joiden mukaan loppusijoitus tulee voida aloittaa noin vuonna 2020. Vuonna 1983 aloitettu käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen rakentamiseen tähtäävä tutkimus- ja kehitysohjelma on saavuttamassa yhden merkittävän tavoitteensa, kun paikanvalintaan tähtäävien tutkimusten viimeinen vaihe "varmistavat sijoituspaikkatutkimukset" saadaan rakentamislupahakemuksen myötä vietyä loppuun vuonna 2012.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen aikataulu perustuu valtioneuvoston ja kauppa- ja teollisuusministeriön (KTM) päätöksiin, joiden mukaan varautumisessa Suomessa tapahtuvan loppusijoittamisen suunnittelun lähtökohtana on pidettävä sitä, että käytettyä ydinpolttoainetta välivarastoidaan, kunnes noin vuonna 2020 voidaan aloittaa sen loppusijoittaminen. Viimeisimmässä viranomaispäätöksessä, jossa aikataulutavoite on annettu (KTM 9/815/2003), todetaan, että ydinjätehuoltovelvollisten tulee joko yhdessä, erikseen tai Posivan välityksellä *"varautua esittämään vuoden 2012 loppuun mennessä ydinenergia-asetuksen 32 §:n mukaiset käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitosta koskevat rakentamislupaa varten tarvittavat selvitykset ja suunnitelmat, joiden perusteella loppusijoituslaitos voidaan rakentaa siten, että loppusijoitus on mahdollista aloittaa noin vuonna 2020."*

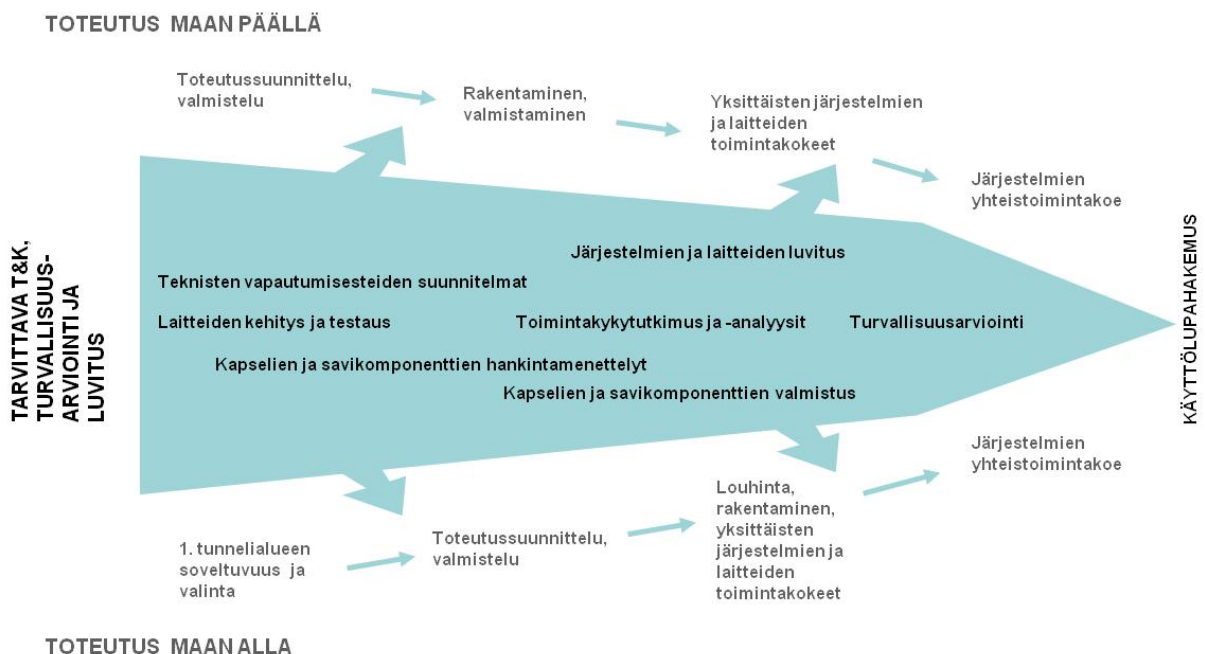
Posivan työ tähtää siihen, että loppusijoittaminen on mahdollista aloittaa ministeriön päätöksen mukaisesti. Aikatauluun vaikuttavat kuitenkin monet seikat, kuten esimerkiksi rakentamislupahakemuksen viranomaiskäsittelyn sekä rakentamisvaiheen kesto. Aikataulua täsmennetään rakentamislupaprosessin yhteydessä ja vuoden 2015 syyskuussa jätettävässä YJH-ohjelmassa. Tavoitetilana oleva *"loppusijoitus on mahdollista aloittaa noin vuonna 2020"* mahdollistaa aikataulusuunnittelun kannalta muutaman vuoden jouston aloitusajankohdassa.

Aikataulutavoitteen saavuttamiseksi ydinjätelaitosten eli maanpinnalla olevan kapselointilaitoksen ja maanalaisen loppusijoituslaitoksen rakentaminen tulee aloittaa vuoden 2015 vaiheilla edellyttäen, että rakentamislupahakemuksen käsittely kestää muutaman vuoden. Maanalainen rakentaminen tarkoittaa maanpintayhteyksien täydentämistä pystykuiluilla sekä ONKALOA varten rakennetuista tiloista käsin louhittavia varsinaisia keskus- ja loppusijoitustunneleita, joita tarvitaan loppusijoitustoiminnan aloittamiseen. Ydinenergialain mukaista käyttöilupaa, joka tarvitaan loppusijoitustoiminnan aloittamiseen, haetaan valtioneuvostolta hyvissä ajoin ennen aloittamisajankohtaa. Käyttöilupahakemuksen jättämisen ajankohta voidaan arvioida tarkemmin vuonna 2015 laadittavan YJH-ohjelman yhteydessä.

Tässä ohjelmaraportissa esitettävä tutkimus- ja kehitystyö painottuu kuvan 5-1 mukaisesti käyttöilupahakemukseen tarvittavien aineistojen tuottamiseen, luvanvaraisen

toteuttamisen aloittamisen mahdollistamiseen sekä valmiuksien luomiseen loppusijoituksessa tarvittavia toimintoja varten.

Rakentamislupahakemuksen jättämisen jälkeen, kaudella 2013–2015, työt painottuvat loppusijoitusjärjestelmän käytännön toteutuksen testaukseen ja demonstrointiin. Tavoitteena on testata laitoksen käyttötoiminnassa tarvittavia laitteita ja komponentteja. Käytännössä se tarkoittaa käytännön laiterakennustyön testaamista täyden mittakaavan asennuskokeilla. Näitä tehdään ONKALOon tätä tarkoitusta varten rakennetuissa tunneleissa. Järjestelmäkohtaisilla kokeilla varmistetaan rakentamislupahakemuksessa esitettyjen suunnitelmien toimivuus ja tehdään saadun kokemuksen perusteella tarvittaessa tarkistuksia suunnitelmiin. Tarkistuksia suunnitelmiin tehdään myös lupahakemuksen käsittelystä saatavan palautteen perusteella.



Kuva 5-1. Tutkimus- ja kehitystyö, turvallisuusarviointi ja luvitus ovat keskeiset tehtäväalueet kaudella 2013–2018 käyttölupahakemusvalmiuden saavuttamisessa.

Näitä ONKALOssa tehtäviä kokeita varten tullaan laatimaan oma toteutusohjelmansa, jonka tarkoituksena on varmistaa näiden vaativien kokeiden hallittu läpivieminen sekä tulosten edustavuus. Kukin koe suunnitellaan, sen sijaintipaikka karakterisoidaan ja ympäristön reunaehdot määritetään. Malliennusteita käytetään hyväksi kokeiden suunnittelussa sekä koeaikaisten tulosten seurannassa. Kokeiden loputtua käytetään niiden purkamisesta saatava tieto hyväksi teknisten vapautumisesteen suunnitelmien tarkistamisessa sekä tulevien yhteistoimintakokeiden suunnittelussa.

Vaakasijoitusratkaisun, KBS-3H:n, kehitystyötä jatketaan täyden mittakaavan kokein yhdessä SKB:n kanssa edellyttäen, että tehdyn työn tulokset ovat jatkokehitystyön kannalta myönteiset ja ratkaisu täyttää turvallisuutta koskevat vaatimukset. Tavoitteena on täydentää tälle vaakasijoitusratkaisulle rakentamislupahakemuksessa esitettyjä dokumentteja siten, että se voitaisiin ottaa pystyratkaisun rinnalle käyttölupahakemukseen.

Loppusijoituksen aloittamiselle asetetun aikataulutavoitteen saavuttamiseksi loppusijoitustilojen rakentamiseen tähtäävän toiminnan tulisi alkaa vuonna 2015. Tätä varten tulee karakterisoida riittävän laaja kalliotilavuus siten, että kallion soveltuvuus voidaan arvioida asetettujen kriteereiden mukaisesti. Tätä silmälläpitäen kehitetään kallion soveltuvuusluokitus (RSC) sellaiselle tasolle, että valvova viranomainen voi hyväksyä ehdotetun menettelyn ja siihen perustuvien suunnitelmien perusteella antaa aloitusluvan louhintatyölle.

Teknisten vapautumisesteiden ratkaisuihin ja niiden vaatimustenmukaisuuden osoittamiseen panostetaan. STUK on esittänyt näkemyksiä turvallisuuskysymyksistä lausunnossaan Posivan vuonna 2009 jättämästä esiluvitusaineistosta, sen jälkeen laadittujen raporttien palautteissa sekä lausunnossaan Posivan TKS-2009-ohjelmasta. Ne liittyvät mm. kapselin sisäosan kannen tiivisteratkaisuun, puskurin kosteussuojaukseen asentamisen aikana, puskuripellettien optimointiin, täyttömateriaaleihin ja täyttötoimintaan liittyviin ratkaisuihin sekä loppusijoitustunnelien lattiantasauserroksen, tulpparatkaisuun ja kuilujen sulkemistratkaisuihin. Näiden kehitystyössä tähdätään siihen, että ne on pääosin ratkaistu ohjelmakauden aikana, jotta kapselin, puskurin, loppusijoitustunnelien täytön ja tulpan sekä muiden tilojen sulkemistrakaisujen rakennesuunnitelmat voidaan laatia. Rakennesuunnitelmien edellytyksenä on, että turvallisuuden kannalta keskeisten tekijöiden riittävä toimintakyky voidaan luotettavasti osoittaa. Se on myös edellytyksenä käyttölujarahakemukseen tarvittavan turvallisuusperustelun tuottamiselle.

Jotta käyttölujarahakemusvalmius saavutetaan, tulee toimintakokeissa voida käyttää loppusijoitustoimintaan suunniteltuja ja valmistettuja komponentteja. Tämän vuoksi kehitetään näiden hankinta- ja valmistusmenettelyt sellaisiksi, että niiden avulla voidaan varmistua kunkin komponentin käytettävyydestä loppusijoitustarkoitukseen ydinlaitoksessa. Tavoitteena on kehittää menettelyt ja saada niiden mukaiselle tuotteelle valvovan viranomaisen hyväksyntä. Teknisten vapautumisesteiden komponenttien hankinnassa ja valmistuksessa pyritään hyödyntämään yhteistyötä ruotsalaisen SKB:n kanssa.

Teknisten vapautumisesteiden kehitystyön tulokset ja niiden asentamisen testauksesta saadut kokemukset yhdistyvät yhteistoimintakokeessa. Sillä tarkoitetaan maanalaisen loppusijoituslaitoksen loppusijoitustunnelin vaatimuksilla rakennettavaa tunnelia ja siihen tehtävää KBS-3V-ratkaisun asennusta ilman käytettyä ydinpolttoainetta. Yhteistoimintakokeen kokoamisessa käytetään loppusijoitusta varten kehitettyjä ja hankittuja laitteita sekä komponentteja, jotka on luvitettu tarkoitukseensa. Yhteistoimintakokeen avulla osoitetaan käytännössä, että on mahdollista saavuttaa pitkäaikaisen turvallisuuden edellyttämä alkutila todistetusti. Tämä on osoituksena sille, että "loppusijoitus on mahdollista aloittaa".

Maanpäällisellä yhteistoimintakokeella on tarkoituksena osoittaa näiden laitosten ja toimintojen valmiusaste. Tarkoituksena on kuitenkin, että maanalainen ja maanpäällinen yhteistoimintakoe eivät olisi riippuvaisia toinen toisistaan, vaan ne toteutettaisiin erillisinä.

Seuraavissa luvuissa käsitellään yksityiskohtaisesti tutkimus- ja kehitystyön tavoitteita vuosille 2013–2015 ja yleispiirteisesti vuosille 2016–2018.

5.2 Ydinpolttoaineen ominaisuudet, tietojen hallinnointi ja pitkäaikaisturvallisuustutkimukset

5.2.1 Ydinpolttoaineen ominaisuudet

Käytetty ydinpolttoaine ja sen ominaisuudet kuvataan vuoden 2012 aikana laadittavissa järjestelmäkuvauksissa. Kuvaukset laaditaan laitostyyppikohtaisesti (OL1/OL2, OL3 ja LO1/LO2) niin, että kuhunkin tällä tavoin aikaansaaduista järjestelmäkuvauksista liitetään ydinpolttoainetyyppikohtaiset tietosivut. Järjestelmäkuvauksen laatimisen lähtökohtana ovat omistajien hallussa olevat tuoreen ydinpolttoaineen järjestelmäkuvaukset täydennettynä tiedoilla reaktorikäytön ja välivarastoinnin aiheuttamista muutoksista. Järjestelmäkuvauksiin on sisällytetty erityisesti sellaisia tietoja, joilla on merkitystä loppusijoituksen teknisten järjestelyjen ja turvallisuusanalyysien kannalta. Järjestelmäkuvauksen tarkentaminen jatkuu analyysien, tutkimustietojen ja käyttökokemusten karttumisen myötä ja rakentamislupahakemuksesta saatavan palautteen vuoksi koko tarkastelujakson 2013–2018 ajan. Järjestelmäkuvaukset eivät kuitenkaan pidä sisällään arvioita ydinpolttoaineen käyttäytymisestä pitkällä aikavälillä loppusijoitusolosuhteissa (mm. liukoisuus ja hapettuminen). Järjestelmäkuvaukset liitetään rakentamislupahakemuksen yhteydessä STUKille toimitettavaan alustavaan turvallisuusselosteeseen, PSARIin.

Nuklidikohtaiset aktiivisuusinventaariorviot toimivat pohjana kaikelle säteily- ja ydinturvallisuutta (ml. pitkäaikaisturvallisuus ja kriittisyysturvallisuus) koskeville analyyseille. Rakentamislupahakemuksessa esitettävät ydinpolttoainetiedot pohjautuvat raporttiin Anttila (2005a), yhdistettynä omistajien laatimiin käytetyn ydinpolttoaineen kertymäärarvioihin. Yllä mainittu raportti on tarkoitettu päivittämään ennen vuotta 2018 käyttölupahakemuksessa esitettävien selvitysten laatimista varten. Päivitystarvetta on erityisesti ydinpolttoaineen rakenneosien ja epäpuhtauksien aktiivisuusinventareissa. Myös ydinpolttoaineen ja tietokonemallien kehittyminen on nostanut esille tarpeen raportin päivittämiseksi. Käyttövaiheen aikana tehtävät analyysit ja laskelmat on järkevää tehdä todellisilla ydinpolttoainetiedoilla.

Kriittisyysturvallisuuden osoittaminen sekä käyttöturvallisuutta että pitkäaikaisturvallisuutta koskien on rakentamisluvan saamisen edellytys. Nykyinen käsitys kriittisyysturvallisuudesta pohjautuu raporttiin Anttila (2005b). Em. raportin perusteella kriittisyysturvallisuus pystytään osoittamaan käyttöturvallisuusmielessä laitosteknisten suunnitteluratkaisujen, nippujen valinnan ja palamavytöksen käyttämisen avulla. Pitkäaikaisturvallisuuden näkökulmasta palamavytöksen käyttäminen edellyttää lisätarkasteluja, jotka ovat meneillään ja joiden tulokset liitetään hakemusaineistoon. On oletettavaa, että asian selvittely omistajien, Posivan, VTT:n ja STUKin muodostamassa työryhmässä jatkuu erityisesti korkearakeisen OL3-poltoaineen osalta vuoden 2012 jälkeen. Asiaan liittyy myös kansainvälistä yhteistyötä mm. kriteerien harmonisoimiseksi.

5.2.2 Ydinpolttoainetietojen hallinnointi

Loppusijoitettavaan ydinpolttoaineeseen ja sen hallinnointiin liittyvät tiedot kerätään Posivan ylläpitämään polttoainetietojärjestelmään. Kehitettävä järjestelmä pitää sisällään kunkin polttoainenipun rakenteelliset ja ydintekniset tiedot, analyysien kannalta oleellisen käyttöhistorian sekä ydinjäte- ja ydinmateriaalikirjanpidon edellyttämät inventaaritiedot. Tarkoitus on, että tähän järjestelmään liitettäisiin myös ydinpolttoaineen käsittely (kuljetukset, mittaukset, kapselointi, väliavarastoinnit, loppusijoitus, tarkastukset, todentamiset), kuten myös tarvittavat laskentatyökalut Posivan tarvitsemassa laajuudessa. Polttoainetietojärjestelmän kehitystyö tapahtuu yhteistyössä TVO:n, Fortumin ja Posivan kesken. Järjestelmä tullaan toteuttamaan vuoteen 2018 mennessä.

Omistajien kanssa on keskusteltu tarpeesta selvittää reaktorikäytöstä poistettuihin polttoainenippuihin liittyvien tietojen luotettavuutta ja virheiden vaikutuksia tehtäviin valintoihin. Erityisesti Loviisan ydinpolttoaineen jälkitechon laskentapohjainen menetelmä kaipaa kokeellista ja/tai laskennallista varmentamista. Hankkeeseen liittyen on Fortumissa käynnistymässä opinnäytteenä tehtävä ns. kalorimetriprojekti. Opinnäytteen pohjalta tehdään tarvittaessa ylimääräisiä kokeellisia selvityksiä, joiden perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä Loviisan ydinpolttoaineen jälkitechovarhioiden luotettavuudesta ja mahdollisista rutiininomaisista verifiointimittauksista.

STUKissa valmisteltavana olevaan uuteen ydinmateriaalivalvontaa koskevaan ohjeeseen YVL D.1 sisältyy vaatimus polttoainenippujen eheyden varmistamisesta (ydinmateriaalivalvontamielessä) mittauksin. STUKin tulkin mukaan nämä viranomaisten (STUK, IAEA) tekemät mittaukset on tehtävä kapselointilaitoksella. Posivan taholta varautuminen safeguards-mittauksiin edellyttää kapselointilaitoksen käsittelykammioon tehtäviä tilavaroituksia. Vasta kehitteillä olevaan mittausmenetelmään liittyy myös koko loppusijoitusprosessin läpimenoaikaan vaikuttavia merkittäviä riskejä.

5.2.3 Käytetyn ydinpolttoaineen pitkäaikaisturvallisuustutkimukset

Kaudella 2013–2018 pitkäaikaisturvallisuuteen liittyvä polttoainetutkimus keskittyy lisätiedon kartuttamiseen (tai nykyisten oletusten vahvistamiseen) polttoaineen alkutilasta sekä radionuklidien (RN) vapautumis- ja kulkeutumislaskuissa käytetyn lähdetermin tuntemuksen kehittämiseen. Erityisen mielenkiinnon kohteena on radionuklidien vapautuminen korkeamman palaman polttoaineesta ottaen huomioon viimeaikaiset suuntaukset maailmalla koskien polttoaineen käyttöä reaktorissa.

Tärkeimmät parametrit, jotka liittyvät käytetyn polttoaineen alkutilaan sekä sen rooliin radionuklidien vapautumis- ja kulkeutumislaskujen lähdeterminä, ovat radionuklidi-inventaari ja sen jakautuminen polttoaineen neljään komponenttiin (huokostilat, polttoainematriisi, Zircaloy-rakenneosat sekä muut metalliosat). Anttilan (2005a) esittämän RN-inventaarin uudelleen arvioinnissa vuonna 2011 todettiin, että käytetty inventaari on edelleen ajankohtainen, sillä se koskee polttoainetta, jonka palama on enimmillään 60 MWd/kgU eikä polttoaineen rakenteeseen tai materiaaleihin ole tullut suuria muutoksia. Turvallisuusarviossa tätä palamatasoa voidaan pitää edelleen

konservatiivisena. RN-inventaarin päivitystä FSARia varten harkitaan uudelleen sallittujen palamatasojen sekä polttoaineen rakenteen uusimpien tutkimusten valossa.

Polttoaineen kehityskulun ja sen radionuklidien vapautumis- ja kulkeutumislaskuissa käytetyn mallin kannalta tärkeimpiä asioita ovat radionuklidien vapautuminen varhaisen kehitysvaiheen aikana, erityisesti korkean palaman polttoaineesta, sekä UO_2 :n liukenemisprosessi, joka on yksi keskeisimmistä pitkän ajan päästöjä säätelevistä parametreista.

Korkeapalamaisen polttoaineen liukoisuustutkimukset jatkuvat 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" on Euratom-projekti (FP 7), jonka tarkoituksena on saada lisää tietoa loppusijoitetusta korkean palaman UO_2 -polttoaineesta (n. 55 MWd/kgU) vapautuvista nopeista IRF (instant release fraction) -radionuklideista. Projekti käynnistyi tammikuussa 2012 ja se kestää 3 vuotta. Kaksi OL-1-polttoainesauvaa on varastoituna Studsvikiin, missä niille on tehty PIE-tutkimus (post-irradiation examination). Fissiokaasujen vapautumista on mitattu lävistysmenetelmällä vuodesta 2010 lähtien.

Polttoaineen liukoisuustutkimuksia luonnonvesissä ja tutkimuksia polttoaineen pintaominaisuuksien vaikutuksesta liukoisuuteen jatketaan niin ikään EU:n puiteohjelmaan kuuluvassa, vuonna 2011 alkaneessa REDUPP-projektissa. REDUPP-projekti on kolmivuotinen (huhtikuu 2011 – huhtikuu 2014) yhteistyöprojekti, joka on Euratomin (European Atomic Energy Community) seitsemännen puiteohjelman alainen. Projektissa tutkitaan, miten fluoriittirakenteisten kiinteiden aineiden – UO_2 , ThO_2 , CeO_2 ja CaF_2 – pinnat muuttuvat ajan myötä liukenemisen aikana ja miten nämä muutokset vaikuttavat liukenemisnopeuteen. Työssä tehdään rinnan arviointilaskuja ja laboratoriokokeita, joissa monitoroidaan murskatun synteettisen aineen liukenemistä. Kokeellinen data ohjaa laskuja ja päinvastoin, ja näin saadaan kehitettyä laskennallinen malli kuvaamaan fluoriittirakenteiden pintojen kehittymistä liukenemisen aikana. REDUPP-projektin lopullinen päämäärä on vähentää epävarmuuksia käytetyn ydinpolttoaineen liukenemisnopeuksissa, joita käytetään radionuklidien vapautumis- ja kulkeutumislaskuissa.

Muita lähdetermin oletuksia (esim. radionuklidien jakautuminen, fissiokaasupäästöjen vaihteluväli, crud (polttoaineen epäpuhtaudet) lähdeterminä, vapautumisnopeudet Zircaloy-rakennosista sekä muista metalliosista) Posiva suunnittelee validoivansa Fortumin ja TVO:n suorittaman arvioinnin avulla perustuen todelliseen dataan materiaalikoostumuksesta ja -mittasuhteista. Fortum ja TVO ovat parhaillaan luomassa yhdessä Posivan kanssa käytetyn polttoaineen tietokantaa.

Parhaillaan suoritetaan todennäköisyyspohjaista herkkyyssanalyysia (ks. luku 4.6), jonka tarkoituksena on testata tiettyjen parametriarvojen vaikutusta radionuklidien vapautumiseen ja kulkeutumiseen. Polttoaineen osalta testattavia parametreja ovat IRF-arvot, stabiilien alkuaineiden inventaari ja jakautuminen, crud-inventaari sekä liukoisuusrajat. Tulokset julkaistaan vuoden 2012 loppuun mennessä, ja niistä selviää, millä parametripävarmuuksilla on suurin vaikutus radionuklidien vapautumis- ja

kulkeutumislaskuihin. Tulokset ohjaavat myös polttoainedatan keräämistä kauden 2013–2018 aikana.

Pitkän ajan kriittisyyskenaario(i)ta kehitetään jatkossakin STUKin vaatimusten (ohje YVL D.3, luonnos) mukaisesti. Vuonna 2010 käynnistynyt yhteistyö Posivan, Nagran ja SKB:n välillä jatkuu ajoittaisten, tätä asiaa käsittelevien workshoppien muodossa. Selvitettävät kohteet ovat: niiden FEPien tunnistaminen, jotka voisivat johtaa kriittisyystilanteeseen (esim. korroosio, polttoaineen liukeneminen), tilannetyypit sekä kapselin sisäiset että ulkoiset kriittisyystilanteet, niiden geometriset edellytykset ja todennäköisyys, kriittisyystilanteen seuraukset ja radioaktiivisen päästön mahdollinen mallintaminen.

KBS-3H-turvallisuusperustelussa polttoaine eli analyysien lähde-termi otetaan huomioon samanlaisena kuin rakentamislupahakemukseen koostetussa KBS-3V-turvallisuusperustelussa.

5.3 Loppusijoituspaikan ominaisuudet

5.3.1 Loppusijoituspaikan karakterisointi ja mallinnus

Loppusijoituspaikan karakterisoinnin ja mallinnuksen päätavoitteena on tuottaa vuoden 2016 loppuun mennessä ajan tasalle saatettu paikankuvausraportti (Olkiluoto Site Description 2016). Raportti on osa loppusijoituslaitoksen käyttölupahakemukseen liittyvää tausta-aineistoa. Sitä käytetään turvallisuusarvioinnin (FSAR) laadinnassa sekä laitossuunnitelmien päivityksessä. Raportti sisältää päivitettyjä mallikuvaukset jokaiselta paikkatutkimuksen osa-alueelta. Ne sisältävät mm. kaiken saatavilla olevan tiedon itäisen alueen tutkimuksista sekä ONKALossa tehdyistä tutkimuksista.

Vuosien 2013–2015 aikana tutkimukset keskittyivät vuoden 2011 paikkaraportoinnin yhteydessä havaittujen avoimien asioiden sekä viranomaisarvioinneissa esiin nousseiden asioiden selvittämiseen. Keskeisimmät lisäselvityksiä ja -tutkimuksia vaativat asiat seuraavalla tutkimuskaudella ovat Olkiluodon paikkamalliin 2011 liittyvät epävarmuustekijät (luku 4.2.1):

- Loppusijoituksen suunnittelualueen ja erityisesti sen itäosan karakterisointi geologisen ja hydrogeologisen rakennemallin luotettavuuden parantamiseksi.
- Kallion jännitystilän ja lujuuden seikkaperäisempi ymmärtäminen erityisesti loppusijoitusvyöhykkeen olosuhteissa.
- Hydrogeokemiallisten prosessien kuvaaminen (esim. sulfidin muodostuminen, metaanin alkuperä sekä redox-olosuhteet).
- Kallioperän matriksiominaisuuksien määrittäminen (huokoisuus, paksuus, diffusiviteetti...) loppusijoitusvyöhykkeellä.

Tutkimusohjelmaa suunniteltaessa on otettu huomioon keskeisimmät huomiot STUKin TKS-2009-ohjelmasta antamasta lausunnosta (STUK 5/H48112/2009, 5.10.2009). STUKin esille nostamat keskeisimmät kommentit ovat yhteneviä paikkamalliraportin laatimisen aikana havaittujen avoimien asioiden kanssa:

- Itäisen alueen karakterisointi ja mallinnus eivät välttämättä ole riittäviä.
- Huokosvesien ja pohjaveden suolapitoisuuserojen selvittämisessä on epävarmuuksia.

- Kokonaispuskurikapasiteetin selvittäminen ei ole ollut riittävää.
- Kallioperän jännitystilän selvittäminen ei ole riittävää. Erityisesti suunnitelmat kallioperän stabiilisuustutkimuksista loppusijoitusvyvydellä ovat puutteelliset.

5.3.1.1 Pintahydrologia

Pintahydrologian mallilla kuvataan maakerroksen veden virtausta sekä pohjaveden liikkeitä kallioperän yläosissa. Pintahydrologian mallin avulla voidaan laskea Olkiluodon saaren vesitaseen komponentit sekä ennustaa mm. ONKALOn rakentamisen ja Korvensuon altaan aiheuttamia vaikutuksia vesitaseeseen. Vuosien 2013–2018 aikana nykyistä pintahydrologian mallia ylläpidetään ja kehitetään mm. tuomalla siihen uusia ominaisuuksia, jotta mallin sovellettavuutta eri laskentatapauksiin voidaan lisätä.

Pintahydrologian mallin ylläpito

ONKALOn rakentamisen aiheuttamien hydrogeologisten vaikutusten lyhyen aikavälin ennustejärjestelmän kehittäminen on tärkeä osa vuosien 2013–2018 aikana tehtävää pintahydrologian mallinnustyötä. Ennustejärjestelmän ja siihen liitetyn mallin avulla on mahdollista reagoida erityyppisten vuotojen aiheuttamiin poikkeuksellisiin pohjaveden painekorkeuden alenemiin ja tutkia mahdollisia syitä, jotka aiheuttavat aleneman. Ne voivat tapahtua joko kallioperän rikkonaisuusvyöhykkeissä tai matriisissa. Malliin on mahdollista lisätä ns. paikallisia vyöhykkeitä, jotka eivät kuulu tutkimuspaikan mittakaavan hydrogeologiseen rakennemalliin ja tutkia, voiko paikallinen vyöhyke selittää pohjaveden poikkeuksellisen käyttäytymisen.

Suotautumiskokeen mallinnusta jatketaan tarkentamalla koealueen kallioperän vyöhykemallia ja lisäämällä ko. paikalliset vyöhykkeet pintahydrologian malliin. Kokeessa jatketaan veden kulkeutumisreittien tarkastelua ja pyritään löytämään monitorointiohjelman tuottamasta mittausdatasta (esim. geokemiallinen mittausdata) vahvistus mallinnustuloksille.

Uusien ominaisuuksien lisääminen malliin

Lyhyen aikavälin ennustejärjestelmään liittyen lisätään pintahydrologian malliin uusi osio, jolla on mahdollista tehdä arvio siitä, mistä ONKALOn ajotunnelin ja kuilujen vuotovedet ja vyöhykkeisiin tuleva vesi ovat peräisin (maakerrokset, Korvensuon allas, merivesi). Ennustejärjestelmän tavoitteena on laskea/ennustaa erityisesti kulkeutumisreittien mahdolliset muutokset. Tämän tyyppinen päivitys tehdään 2–3 kertaa vuodessa. Ennustejärjestelmään liittyen Korvensuon altaan vaikutusten mallintamista jatketaan TKS-2009-ohjelmassa kaavailtujen suunnitelmien mukaan (partikkelien kulkeutumisreittien ja veden iän laskenta).

Mallin ennustejärjestelmään lisätään suolaisuuden kehittymisen ennusteet sekä rakenteiden että kalliomatriisin osalta. Ensimmäisessä vaiheessa malli kalibroidaan uudelleen niin, että toimivuuden mittarina käytetään sekä painemittauksia että havaittuja suolaisuusmuutoksia. Mallin kalibrointiaineistona ovat painekorkeuden ja suolaisuuden dynaamiset muutokset sekä vyöhykkeissä että kalliomatriisissa sinä aikana, jolloin ONKALOn rakentaminen on ollut käynnissä (vuodesta 2004 alkaen). Ennustejärjestelmää kehitetään niin, että mallilla pystytään laatimaan sekä lyhyen (alle

1 vuosi) että pidemmän aikavälin (100 vuotta) arviot sekä pysyvien että tilapäisten vuotojen vaikutuksista suolaisuuden kehittymiseen vyöhykkeissä ja kalliomatriisissa. Lyhyen aikavälin suolaisuusennusteet päivitetään 2–3 kertaa vuodessa, ja pidemmän aikavälin kehitysennuste lasketaan kerran vuodessa. Mallin tärkeimpien parametrien todennäköisyysjakauman selvitystyötä jatketaan mallin uudelleenkalibroinnin yhteydessä.

Vuosien 2015–2018 aikana tutkitaan mahdollisuudet lisätä pintahydrologian malliin geokemiallinen osamalli, jolla pystyttäisiin arvioimaan ONKALOn vuotojen ja Korvensuon altaan vaikutus kalliopohjavesien kemialliseen käyttäytymiseen rakenteissa.

Pintahydrologian raportointisuunnitelma vuosille 2013–2018 on seuraava:

- Suolaisuusmallin kehittämisen ja testauksen raportointi vuoden 2012 työraportissa.
- Posiva-raportti pintahydrologian mallista (2014/2015).
- Olkiluodon paikankuvaukseen liittyvä raportointi pintahydrologian mallin osalta 2016.
- Työraportti geokemiallisen osamallin liittämismahdollisuuksista osaksi pintahydrologian mallia (2016/2017).

5.3.1.2 Geologia

Itäisen alueen kairaukset valmistuivat vuoden 2012 alussa ja niistä saatavat geologian ja geofysiikan tulokset ja tiedot tarkentavat itäisen alueen geologista mallia tulevina vuosina. Olkiluodon geologista mallia päivitetään vuosien 2012 ja 2013 aikana (versio 3.0) ja se julkaistaan vuoden 2013 aikana Posiva-raportissa *Geology of Olkiluoto*. Itäisen alueen tutkimustulosten lisäksi uuden geologisen mallin lähtötietoina käytetään muun muassa täydentäviä paljastumakartoituksia ja rakennetulkintoja, uutta lineamenttitulkintaa sekä ONKALOn tutkimustuloksia.

Geologisen mallin versiossa 3.0 käytetään vastaavaa sisäistä rakennetta kuin versiossa 2.0 (Aaltonen ym. 2010), mutta työssä pyritään pidemmälle vietyyn integrointiin. Koska malliraportissa halutaan antaa kattava kokonaiskuva ja esittää kootusti ja jäljitettävästi Olkiluodon geologiasta tehdyt tulkinnat, mallissa esitetään esimerkiksi aiempaa tarkempi migmatiittiluokittelu. Aikaisemmat kivilajiluokat säilyvät käytössä, mutta muun muassa suonigneissin ja diateksiittisen gneissin yksiköiden sisäinen rakenne ja ominaisuudet kuvataan migmatiittiluokkien avulla. Uusiin migmatiittitulkintoihin on käytetty kalliopaljastumien ja tunnelin kartoitus- ja valokuva-aineistoa. Mallinnuksessa käytetään jatkossakin TGG-kivilajiluokkaa (tonaliittinen-graniittinen-granodioriittinen gneissi), mutta esimerkiksi kartoissa nämä kivet voidaan jakaa myös seuraaviin kolmeen luokkaan: suprakrustisiin kiviin, mafisiin syväkiviin ja felsisiin syväkiviin. Muuttumistutkimusten tulokset raportoidaan erillisenä Posiva-raporttina, ja aiheesta esitetään kooste geologisen mallin 3.0 yhteydessä. Muuttuneiden kivien kemiallisia ominaisuuksia selvitetään edelleen ja ns. muuttumisindeksiä kehitetään edelleen vastaamaan paremmin Olkiluodossa vaikuttaneita prosesseja.

Luvussa 4.2.2.2 kuvattua pienen mittakaavan mallinnusta jatketaan vaiheittain uuden tutkimusaineiston tullessa saataville lähinnä kallion soveltuvuusluokittelun (RSC) tarpeisiin. RSC:n lisäksi mallia käytetään suoraan suunnittelun ja rakentamisen

tarpeisiin sekä paikankuvauksen menetelmien ja tulosten paikallisena tarkennuksena. Kauden 2013–2015 aikana pienen mittakaavan mallinnuksessa keskitytään hauraiden ja hydrogeologisten piirteiden lisäksi kivilajeihin ja duktiilin deformaation piirteisiin. Vaikka kivilajit ja duktiilin deformaation piirteet eivät suoraan vaikuta RSC-menetelmän mukaiseen luokitteluun, ne voivat antaa tietoa esimerkiksi kiven suuntautuneisuuden vaikutuksista rakoilun ominaisuuksiin. Mahdollisuuksien mukaan myös kiven muuttuneisuusilmiöt huomioidaan pienen mittakaavan mallinnuksen yhteydessä. Ensimmäinen laajennetun alueen kattava pienen mittakaavan malli ja sen laatimisessa käytetyt menetelmät kuvataan *Geology of Olkiluoto* -raportissa. Mallia ylläpidetään aktiivisesti ja sen väliversiot luovutetaan loppukäyttäjille muistioina sekä tarvittavina 3D-tiedostoina.

Deterministisen geologisen mallinnuksen rinnalla kehitetään edelleen myös geologista rakoverkkomallinnusta (GeoDFN). GeoDFN-malli päivitetään versioksi 3.0 ja se raportoidaan vuoden 2014 aikana. Tässä työssä käytetään tausta-aineistona geologian ja geofysiikan aineistoja ja tulkintoja, etenkin ONKALOn syvimpien osien rakokartoitusaineistoa. DFN-mallinnukselle tärkeää rakokartoitusta täydennetään muun muassa joidenkin laajojen lattiapintojen systemaattisilla kartoituksilla tavoitteena saada lisätietoa rakojen kokojakaumasta.

Geologisen mallin versio 3.0 toimii tausta-aineistona monille muille paikankuvauksen osa-alueille. Mallin julkaisemisen jälkeen 3D-kuvauksia ylläpidetään huomioiden kaikki mahdollinen uusi aineisto. Lisäksi huolehditaan paikkamittakaavan ja yksityiskohtaisen mallin yhteensopivuudesta päivittämällä malleja tarpeen mukaan. Vuoden 2016 paikankuvausraporttia varten voidaan tarvittaessa tehdä geologisen mallin päivitys versioon 3.1.

Tunnelikartoitusten tuloksia on aikaisemmin raportoitu niin sanottuina outcome-raportteina työraporttisarjassa. Vuoden 2014 aikana raportoidaan Posiva-raporttina kootusti koko ONKALOn geologisten kartoitusten tulokset.

5.3.1.3 Geofysiikka

Vuoden 2012 aikana suoritetaan latauspotentiaalimittauksia suunnittelualueen itäosassa kairarei'issä OL-KR54–57. Tutkimustulosten käsittely ja raportointi tehdään vuoden 2013 aikana. Mittauksilla saadaan lisätietoja alueen rakenteiden jatkuvuuksista geologisen ja hydrogeologisen rakennemallinnuksen käyttöön.

Merkittävä osa ohjelmakauden geofysiikan tutkimuksista liittyy ONKALossa tehtäviin demonstraatioihin. Vuoden 2012 aikana suunnitellaan demonstraatiotunneleissa ja -tutkimusrei'issä suoritettavat latauspotentiaali- sekä reflektioseismiset mittaukset. Ne toteutetaan vuoden 2013 aikana ja raportoinnit valmistuvat alkuvuodesta 2014. Lisäksi demonstraatiotunneleissa ja tutkimusrei'issä suoritetaan matalataajuusmaatutkauksia kallion rakoilun ja ruhjeisuuden jatkuvuuden selvittämiseksi. Korkeataajuusmaatutkauksia ja maatutka-avusteisia EDZ-mittauksia suoritetaan demonstraatioalueelle mahdollisesti louhittavissa uusissa tutkimustiloissa. Edellä mainittujen mittausten tuloksia käytetään erityisesti kallion soveltuvuusluokittelun tarvitseman detaljimallin päivityksessä.

ONKALO- ja maanpintatutkimuksissa vakiintuneet reikägeofysiikan menetelmät ja havaittavat parametrit ovat optinen ja akustinen kuvantaminen, reikäutkaus, kaliiberi, tiheys, magneettinen susceptibiliteetti, luonnon gammasäteily, kalliopohjaveden lämpötila ja ominaisvastus, akustinen kokoaaltomuoto sekä sähköinen ominaisvastusmittaus. Kaikissa maanalaisiin tiloihin kairattavissa pilottirei'issä suoritetaan reikägeofysiikan mittaukset vakiintuneen käytännön mukaan erityisesti yksityiskohtaisen mallin tarpeita varten. Lisäksi keskustunnelin alueella suoritetaan seisminen luotaus ja matalataajuusmaatutkauksia loppusijoituspaneelialueen kallion ominaisuuksien karakterisoimiseksi. Myös reikien välisiä seismisiä ja sähköisiä geofysiikan mittauksia suoritetaan, mikäli se koetaan kallion soveltuvuusluokittelun testaamisen ja kehittämisen kannalta tarpeelliseksi.

Osa tutkimuksista tukee kalliomekaniikan tutkimuksia. Keskeisin tavoite on havainnoida kallion mekaanisten ominaisuuksien korrelointia geofysiikan menetelmien avulla mitattaviin parametreihin. Tähän tarkoitukseen soveltuvimmat geofysiikan mittausmenetelmät ovat sähköiset ja seismiset sovellukset sekä maatutkamenetelmä. Lisäksi tutkitaan seismisen aallon vaimenemista syvyyden funktiona. Olkiluodon seismikasta 2015 laadittavaa yhteenvetoraporttia (ks. luku 5.5) varten tarkastellaan laajan alueen lineamenttitulkinnan päivitystarvetta.

5.3.1.4 Kalliomekaniikka

Kiven hilseilylujuutta tutkivaa POSE-koetta jatketaan ONKALOSSA vuoden 2013 loppuun. Kokeen kolmannessa vaiheessa tutkimustilassa 3 tasolla -345 m sijaitseva tutkimusreiä ONK-EH3 instrumentoitiin. Reiän lämmitys aloitettiin kesällä 2012. Tutkimusreiän ONK-EH3 ympärille kairattiin neljä seurantareikää, joihin asennettiin kymmeniä lämpötila-antureita kalliomassan lämpötilan seurantaan varten. Lisäksi tutkimusreiän kallionpinnan mahdollista hilseilyä mitataan reikiin asennetulla akustisella emissiolaitteistolla. Hilseilyvaurion odotetaan keskittyvän symmetrisesti reiän seinille suuntiin, joilla on suurin tangentiaalijännityskenttä. Vaurioiden suunnan perusteella voidaan tehdä tulkintoja pääjännityksen suunnasta sekä kiven hilseilylujuudesta. Koetta varten laaditaan rakomekaaninen sekä elastinen ennuste ja sitä verrataan toteumaan takaisinlaskennan avulla. Kokeellinen osuus saadaan päätökseen vuoden 2012 loppuun mennessä ja kokeen tulokset raportoidaan vuoden 2013 loppuun mennessä.

Mikäli POSE-kokeen kolmas vaihe todetaan tutkimusmenetelmänä käyttökelpoiseksi, on sitä vastaava koe mahdollista toteuttaa suonigneississä loppusijoitusyvytydellä. Sen tekemisestä päätetään, kun edelliset vaiheet on saatu kokonaisuudessaan suoritettua, tulkittua ja raportoitua.

Hilseilytutkimusten tuloksista kootaan Loppusijoituspaikan kuvaus 2016 -raporttia varten yhteenvetoraportti ja tutkimustuloksia hyödynnetään termomekaanisen hilseilyennusteen laadinnassa 1. ja 2. paneelien sekä keskustunneleiden alueilta.

Kiven termiset ominaisuudet määrittävät paljolti loppusijoitusreikien lämpökuorman ja asettavat rajoituksia niiden välisille etäisyyksille. Siksi kiven termisten ominaisuuksien määrittämistä jatketaan sekä *in situ* että laboratoriomittauksin. Pääpaino mittauksissa on loppusijoitusyvytyden olosuhteiden tarkemmassa karakterisoinnissa. Termisten

ominaisuuksien mittakaavariippuvuutta tutkitaan näytteiden laboratoriotutkimusten ohella suorittamalla laajan kalliomassan termisiä ominaisuuksia tutkiva erillinen *in situ* -lämmönjohtavuuskoe tutkimustilan 3 peräseinässä. Lämmönjohtavuuskokeessa kairataan noin 10 metrinen lämmitysreikä sekä useita seurantareikiä kallioon. Kokeella on tarkoitus tutkia lämmönjohtavuuden ja lämpöparametrien ominaisuuksia laboratorio- ja TERO76-koelaitteistoa laajemmassa mittakaavassa todellisessa kalliomassassa, jossa foliaatio ja kivilajivaihtelut vaikuttavat lämpöominaisuuksiin. Lisäksi POSE-kokeen ja *in situ* -lämmönjohtavuuskokeen yhteydessä testataan TERO76-mittalaitetta loppusijoitusta vastaavassa tilanteessa. TERO76-mittauksia tehdään myös valikoidusti itäisen tutkimusalueen kairareilissa. Tulospaineistoa hyödynnetään POSE-kokeen laskelmia ja alueellista termistä mallia päivitettäessä.

Hauraiden deformaatiovyöhykkeiden mekaanisten ominaisuuksien määrittämistyötä jatketaan ottamalla näytteitä vyöhykkeistä ja tutkimalla niitä laboratoriossa. Laboratoriotutkimusten lisäksi aloitetaan BFZ019c- ja BFZ045b-vyöhykkeiden pitkäaikainen siirtymäseuranta konvergenssipulttien mittausten avulla. Tulosten perusteella tehdään takaisinlaskentaa vyöhykkeiden ominaisuuksien määrittämiseksi sekä kalliomekaanista mallia että alueellista jännitystilamallia varten. Kivinäytteenotto laboratoriotutkimuksiin lujuusominaisuuksien määrittämiseksi keskittyy loppusijoitusvyöhykkeille ja tutkimustilaan 3.

Kalliomekaanista mallia (RMM) päivitetään vaiheittain uuden tiedon karttuessa. Mallia kehitetään käytettävyyden ja päivitettävyyden parantamiseksi. Malli on tarkoitus ottaa jatkossa toteuttamisen työkaluksi loppusijoituslaitoksen suunnittelijoiden ja rakentajien käyttöön. Kalliomekaanisen mallin päivitys (RMM v. 3.0) valmistuu vuoden 2014 loppuun mennessä.

Alueellisen jännitystilan määrittämistä jatketaan ONKALOSSA LVDT-jännitystilamittauslaitteistolla ja hydrauliseen murtamiseen perustuvalla menetelmällä tutkimusreiässä OL-KR56. Kallion jännitystilasta johtuvia tekijöitä tutkitaan muun muassa tulkitsemalla kairareikien rikkoutumista (*borehole breakout*), kairausnäytteiden viipaloitumista (*core discing*) geologisen raportoinnin yhteydessä sekä maanalaisten tilojen kalliopintojen hilseilyä ja komuulua tulkitsemalla. Eri lähteistä saatavien tietojen perusteella luodaan kokoava jännitystilatulkinta (*semi-integration*), jonka perusteella päivitetään alueellinen jännitystilamalli 2015. Alueellisessa jännitystilamallissa otetaan myös huomioon hauraiden deformaatiovyöhykkeiden vaikutus jännityskenttään paikallisesti ja syvyyden funktiona.

5.3.1.5 Hydrogeologia

Hydrogeologiset tutkimukset keskittyvät ohjelmakaudella erityisesti suunnittelualueen itäosan hydrogeologisten ominaisuuksien selvittämiseen sekä ONKALON pohjavesivaikutusten arviointiin. ONKALON ajotunnelin louhinnan eteneminen syvälle on mahdollistanut loppusijoitusolosuhteita kuvaavien kallio-osuuksien aiempaa yksityiskohtaisemman tarkastelun. Hydrogeologian näkökulmasta tarkastelun painopistettä on siten voitu siirtää ns. lähialueen mittakaavaan kallion rakoverkkojen ja niiden virtausominaisuuksien kuvaamiseen. Kenttätutkimuksia tehdään sekä maan pinnalta että ONKALOSTA käsin. Kenttätutkimus-, tulkinta- ja mallinnustyö tähtää vuonna 2016 ilmestyvään seuraavaan paikkamalliraporttiin.

Kenttätutkimukset

Maanpintatutkimukset käsittävät yksireikämittauksia ja vuorovaikutuskokeita. Virtauseromittauksia (Posiva Flow Log, PFL) jatketaan tarvittaessa uusintamittauksina syvissä kairarei'issä. Mittausten yhteydessä saadaan tietoa myös reikäveden lämpötilasta ja *in situ* -sähköjohtavuudesta.

Virtausmittausten lisäksi tehdään myös HTU-mittauksia (Hydraulic Testing Unit). Niissä keskitytään tutkimaan loppusijoitusyvyttä edustavien kallio-osuuksien hydraulisia ominaisuuksia (syvyysvälillä 300–700 metriä). Tavoitteena on selvittää vettä johtavien rakojen sijainti ja niiden transmissiviteetti kairarei'issä. HTU-mittauksen etuna on, että sillä voidaan mitata alhaisempia vedenjohtavuuksia kuin virtauseromittauksella. TKS-2009-kauden loppuun mennessä HTU-mittaukset on tehty melko kattavasti keskeiseltä tutkimusalueelta sekä aloitettu itäisellä alueella. Ohjelmakaudella keskitytään mittaustiedon keräämiseen itäiseltä tutkimusalueelta.

Hydrogeologisten yhteyksien selvittämiseksi TKS-2009-ohjelmassa suunnitellut laajemman mittakaavan pumppauskokeet itäisellä tutkimusalueella eivät toteutuneet kairauksien ja reikä tutkimusten viivästymisen vuoksi (luku 4.2.2). Laajemmat pumppauskokeet itäisellä tutkimusalueella aloitetaan vuoden 2013 aikana. Kairarei'ässä tehtävän pumppauskokeen tarkoituksena on seurata sen aiheuttamaa painevasteen muodossa ilmenevää vuorovaikutusta ympäröivissä, tulpatuissa kairarei'issä. Tällaisia hydraulisten yhteyksien selvittämiseen tähtääviä alustavia vuorovaikutuskokeita tehtiin vuoden 2011 aikana OL-KR56:n kairauksen yhteydessä mittaamalla virtausvasteita erikseen valituissa ympäristön kairarei'issä (ks. luku 4.2.2). Kokeiden tulosten analysointi on vielä kesken, mutta mikäli niiden perusteella saadaan lupaavia tuloksia, voidaan vuonna 2012 vielä mahdollisesti tehdä alustavia kokeita vastaavalla menetelmällä reikien OL-KR56 ja -KR57 reikä tutkimusten aikana tehtävien pumppauksen yhteydessä.

TKS-2009-kauden aikana aloitettiin poikkivirtausmittaukset valikoiduissa kairarei'issä ja valikoiduilla syvyyksillä raoissa kulkevan veden virtauksen ja likimääräisen suunnan määrittämiseksi. Näiden tavoitteena on ollut havainnoida ONKALOn rakentamisen pohjavesivaikutuksia ja tuottaa lisätietoa kallion hydrogeologisista ominaisuuksista kulkeutumisominaisuuksien selvittämistä varten. Seuraavien vuosien aikana näissä mittauksissa päähuomio kiinnitetään parhaiten vettä johtaviin kallio-osuuksiin. Mitattavat reikäosuudet valitaan virtauseromittausten tulosten perusteella tapauskohtaisesti. Sekä virtausero- että poikkivirtausmittarilla tehtäviä mittauksia suotautumiskoetta varten jatketaan erikseen sovittavassa laajuudessa.

ONKALossa jatketaan hydrogeologisia mittauksia vastaavin periaattein ja samassa laajuudessa kuin edeltävinä vuosina. Tunneliin kairattavista pilotti-, karakterisointi-, tunnustelu- ja injektointirei'istä tehdään systemaattisesti virtauseromittaukset vettä johtavien rakojen sijainnin ja niiden ominaisuuksien selvittämiseksi. Vuotovesimittauksia jatketaan osana Olkiluodon monitorointiohjelmia (luku 4.2.4).

Pienen mittakaavan vedenjohtavuuden tutkimusohjelman (HYDCO) kenttätutkimuksia jatketaan tutkimustilaan kairattavista rei'istä tehtävin yksireikä- ja vuorovaikutuskokein.

HYDCO-tutkimusohjelma on laaja. Kenttätutkimuksin rei'istä kerätään hydrogeologisia, geokemiallisia, geologisia ja geofysikaalisia havaintoja pienen mittakaavan (10–50 m) heikosti vettä johtavan rakoilun ($T < 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$) kytkeytymisen selvittämiseksi. Kenttätutkimusten etenemistä seuraa ja ohjaa tutkimusohjelmaa varten perustettu asiantuntijaryhmä. HYDCO-tutkimusohjelman lopullinen laajuus ja sisältö määräytyvät kairarei'istä saatavien tutkimustulosten ja tehtyjen tulkintojen perusteella. Kokeellinen osuus valmistuu arviolta vuonna 2013 ja raportointi vuoden 2014 aikana.

Tulkinta ja mallinnus

Hydrogeologisen rakennemallin päivitys valmistuu vuoden 2014 aikana. Lähtökohtana tälle päivitykselle tulee olemaan geologisen paikkamallin päivitys versioon 3.0 vuonna 2013 sekä tutkimusalueelta (erityisesti itäiseltä alueelta) kerätyt uudet hydrogeologiset kenttähavainnot. Mallipäivityksen keskeisenä tavoitteena on tuottaa entistä luotettavampi hydrogeologinen kuvaus tutkimusalueen itäosasta samalla, kun se tulee perustumaan kaikkien vuoden 2013 loppuun mennessä kertyneeseen tutkimusaineistoon.

Vuosien 2013–2015 aikana päivitetään hydrogeologinen rakoverkkomalli (HydroDFN) perustuen geologiseen rakoverkkomalliin (GeoDFN) ja kaikkeen hydrogeologiseen rakokohtaiseen dataan erityisesti ONKALOn ja karakterisointirei'istä. HydroDFN malli tulee vuorovaikuttamaan entistä tiiviimmin sekä GeoDFN-mallin että tutkimuspaikan mittakaavan hydrogeologisen rakennemallin kanssa mahdollisimman konsistentin paikkakuvausten tuottamiseksi. Mallin aiempaa tiiviimpi integrointi GeoDFN:n kanssa tuottaa geologiseen tietoon perustuvan kuvauksen kalliorakojen sisäisestä virtauksen kanavoitumisesta, joka edelleen johtaa aiempaa realistisempiin arvioihin radionuklidien kulkeutumistarkasteluissa.

Vuoden 2016 loppuun mennessä päivitetään numeerisen virtausmallinnuksen avulla kuvaus Olkiluodon olosuhteiden kehityksestä menneisyydessä. 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. Mallipäivityksessä otetaan huomioon paitsi päivitettävä tutkimuspaikan mittakaavan hydrogeologinen rakennemalli myös suolaisuusmallin päivitys, jossa erityisesti on tarkennettu matriisihuokosveden ja rakopohjaveden keskinäistä riippuvuutta. Mallipäivityksessä virtausmallin käsittämä alue laajennetaan ulottumaan myös useita kilometrejä nykyisen sisämaan suuntaan. Tässä yhteydessä mallinnukseen liitetään pintahydrologian mallin tuottama tieto pohjaveden pinnankorkeuden jakautumisesta ja sen menneestä aikakehityksestä.

Paikkamallinnukseen liittyen ONKALOn pohjavesivaikutusten seikkaperäistä analysointia ja ennustemallinnusta jatketaan edelleen numeerisen virtausmallinnuksen keinoin. Mallinnukseen liittyvä menetelmä- ja tietokonekapasiteetin kehitys mahdollistaa aiempaa seikkaperäisemmän mallinnuksen, jossa voidaan ottaa pohjavesivaikutuksia koskevat havainnot kattavasti huomioon. Niin kutsuttu VINTAGE-algoritmi mahdollistaa rakoverkostojen geometrian tehokkaan käsittelyn ja

Ensemble Kalman Filtering -tekniikka puolestaan hakee malliparametrit, joiden avulla lasketut hydrogeologiset suureet (paine ja suolapitoisuus) vastaavat parhaiten havaintoja. Lisäksi pohjavesivirtausmallinnuksella kuvataan pohjavesiolosuhteiden kehitys osana demonstraatiotiloja ja maanalaista yhteistoimintakoetta koskevia tutkimuksia.

Hydrogeologista mallinnuskokonaisuutta tukevinä tehtävinä jatketaan hydrogeologisen havaintoaineiston analyysijä vastaavin osakokonaisuuksin ja periaattein kuin edeltäneellä TKS-2009-kaudella. Tehtäväkokonaisuuksien tavoitteet on lyhyesti kuvattu luvussa 4.2.2.

Hydraulisen painevasteiden analysointityön tavoitteena on seuraavan paikkamallin päivitykseen mennessä analysoida vuoden 2012 loppuun mennessä koottu aineisto. Eri aikoina ja eri menetelmillä mitattujen vedenjohtavuuksien ja transmissiviteettien edustavuustarkastelu aloitettiin vuoden 2009 aikana. YJH-2012-kaudella täydennetään tarvittaessa aineistoa niiden havaintojen osalta, jotka jäävät TKS-2009-kauden aikana tehtyjen analyysien ulkopuolelle. Virtausmittauksissa havaittujen virtausvasteiden analyysijä jatketaan vastaavin periaattein kuin TKS-2009-kaudella aloitetussa työssä on tehty. Vettä johtavien rakojen tunnistustyötä ja niiden ominaisuuksien määrittelyä jatketaan siten, että YJH-kauden lopussa on käytettävissä kattava tietokanta kaikkien maanpinnalta kairattujen ja ONKALON pilottireikien osalta.

5.3.1.6 Hydrogeokemia

Hydrogeokemian tutkimusten teemat tulevalla ohjelmakaudella kytkeytyvät pohjavesisysteemin kemialliseen kokonaispuskurikapasiteettiin, sulfidin kiertoon sekä suolaisuuden jakaumaan ja paleohydrogeologiseen kehitykseen. Keskeisimmät lisäselvitystä vaativat kohteet ovat aerobisen veden pelkistymisen eli mekanismit, jotka kuluttavat hapen kallon raoissa ja maaperässä, sulfidin mikrobiologisessa muodostuksessa käytettävät energialähteet (DOC, H_2) ja sulfidin saostumiseen liittyvän raudan saatavuus sekä matriksihuokosveden ja rakopohjaveden suolaisuuden diffuusiota kontrolloivat mekanismit. Pääosin tietoa hankitaan suunnattujen koejärjestelyjen ja niihin liittyvien näytteenottojen avulla, mutta myös kohdistamalla karakterisointia (pohjavesi-, huokosvesi, huokosrakenne ja mineralogiset tutkimukset) erityisesti syvän kallon olosuhteisiin, sulfaatti- ja metaanipitoisen veden rajapintaan ja suotautumisvyöhykkeeseen. Täydentävää hydrogeokemiallista karakterisointia jatketaan itäisellä alueella. Näytteenottotekniikkaa kehitetään erityisesti kaasunäytteiden luotettavuuden osalta. Paikkatutkimusten keskeisenä tavoitteena on myös kehittää ja soveltaa reaktiivista kulkeutumismallinnusta Olkiluodon hydrogeokemiallisten ilmiöiden simulointiin. Mallien kalibrointi reunaehdoiltaan tunnetuissa systeemeissä on myös tärkeää turvallisuusperustelujen evoluutiosimulointien luotettavuuden kannalta. Mallinnuksen avulla arvioidaan hydrogeokemiallisen systeemin stabiiliutta.

Puskurikapasiteetti

Käsitys Olkiluodon pohjavesisysteemin kemiallisesta kokonaispuskurikapasiteetista perustuu useaan eri osatekijään: puskuripotentiaalin ja sen toiminnallisuuden kartoitukseen (pohjavesi ja mineralogia) ja testaamiseen (kenttäkokeet ja mallinnus)

sekä puskurikapasiteetin riittävyyttä koskeviin evoluutiomallinnuksiin. Näistä viimeinen käsitellään turvallisuusperusteluja koskevassa luvussa 5.6 .

Olkiluodon pohjaveden ja kallion rakomineralogian osalta puskuripotentialiaali on tähän mennessä kartoitettu kattavasti keskeisellä alueella jo aiempien tutkimusohjelmien puitteissa, mutta täydentävää työtä jatketaan suunnittelualueen itäosassa, jossa uusimpien kairareikien (OL-KR54–KR57) kartoitus on kesken. Potentialisten puskurirakomineraalien (kalsiitti, sulfidit, savimineraalit) tilastollinen analyysi (kairasydännäyteaineisto), jossa erotellaan puskurimekanismin kannalta käytettävissä olevat mineraaliainemäärät rakopinnoilla sekä jakaumat erilaisissa kallion hydrogeologisissa olosuhteissa (rakenteet, rakojen transmissiiviteetti jne.) on käynnistetty 2012. Myös moreeniaineksen täydentävät mineraalianalyysit karbonaatti- ja sulfidimineraalien osalta ovat suunnitteilla.

Paleohydrogeokemiallisia tutkimuksia rakokalsiitin ja -pyriitin evoluutiosta (rakennekuvaus, kemialliset ja isotooppiset määritykset) on tehty kattavasti keskeiseltä alueelta, erityisesti potentiaalisista pohjaveden suotautumisvyöhykkeistä HZ19- ja HZ20-rakenteiden alueelta. Täydentäviä tutkimuksia on vielä käynnissä itäisellä alueella rakenteesta HZ146 ja syvän kallion olosuhteista kairareiästä OL-KR56. Rakotäytetutkimuksista laaditaan yhteenvetoraportti tutkimuskauden alkupuolella, kuten myös tuloksista, jotka koskevat rakopintojen uraanin hajoamissarjan epätasapainotuloksia. Molemmista tutkimuksista saadaan informaatiota redox-olosuhteiden pitkän ajan muutoksista syvyyden suhteen aina prekambrikaudelta nykypäivään asti.

Hydrogeokemian näytteenottoja itäisellä tutkimusalueella jatketaan, kunnes jokaisesta sinne kairatusta reiästä on saatu riittävän kattavat hydrogeokemialliset tiedot. Näytteenottojen yhteydessä karakterisoidaan näytteiden kemiallisten ja fysikaaliskemiallisten parametrien lisäksi isotoopit, mikrobit ja pohjaveteen liuenneet kaasut. Itäiselle tutkimusalueelle kairatun reiän OL-KR56 tutkimuksissa keskitytään erityisesti suolaisten pohjavesien karakterisointiin 600–1 200 m:n välillä. Muista tutkimusrei'istä etenkin ONKALOn pohjoispuolella tehdään vielä vuosien 2012–2014 aikana tarkastus- ja lisänäytteenottoja seuraavaa mallipäivitystä varten. Näytteenottokohteet valitaan vuosittain pohjavesiaineiston tulkinnassa ilmenneiden tarpeiden perusteella.

Liuenneet kaasut muodostavat Olkiluodossa merkittävän kemiallisen puskurin. Kaasunäytteenottoon kairareikien pohjavedestä on kehitetty PAVE-tekniikka (mm. Rouhiainen 1994, Ruotsalainen ym. 1996), jossa näyte kerätään *in situ* -paineessa säiliöihin. Säiliöistä näyte puretaan laboratoriossa ja analysoidaan. Näytteiden pumppauksesta seuraa kuitenkin aina paineen alenema, jonka on havaittu aiheuttavan epävarmuuksia tuloksiin kaasukoostumuksen fraktioitumisen seurauksena (Gascoyne 2005, Pitkänen & Partamies 2007). Kaasunäytteenottomenetelmää, jossa pohjavesinäytteen paine saadaan säilytettyä luonnon olosuhteita vastaavalla tasolla, on kehitetty ONKALossa suoritettavia näytteenottoja varten. Saadut tulokset ovat olleet rohkaisevia, joten tämän uuden näytteenottomenetelmän testausta ONKALossa jatketaan. Lisäksi matriksihuokosvesinäytteenottoihin (OL-KR56) liittyen testataan myös kaasujen analysointia huokosvedestä syvän kallion olosuhteissa, jolloin

pohjavesinäytteenottoon verrattuna vältetään pumppauksen aiheuttaman paineen aleneman vaikutus kaasujen käyttäytymiseen.

Matalista, maakerroksen ja kallioperän yläosan (0–10 m), pohjavesistä tehdään vuosien 2013–2015 aikana mikrobiologinen näytteenotto. Näytteenotolla täydennetään aikaisempien näytteenottokampanjoiden aikana saatua mikrobiologista aineistoa erityisesti itäiseltä tutkimusalueelta sekä saadaan käsitys siitä, onko mikrobiologinen populaatio muuttunut aluetöiden seurauksena.

Suotautumiskoe, jonka tavoitteena on ollut selvittää kallion rakojen hydrobiokemiallisen systeemin puskurikykyä maanpinnalta suotautuvaa hapanta ja happipitoista vettä vastaan, on ollut käynnissä tutkimusreiän OL-KR14 lähiympäristössä kallion ja maaperän rajapinnassa vuoden 2008 lopusta alkaen (Käpyaho ym. 2012). Kokeen tuloksiin perustuen kalibroidaan numeerisia malleja, joiden avulla simuloidaan kokonaispuskurikapasiteetin riittävyyttä tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa. Turvallisuusperusteluun liittyvät mallinnushankkeet kuvataan luvussa 5.3.1. Tähän mennessä on pystytty arvioimaan systeemin pH-rintaman ja kalsiittipuskurin käyttäytymistä, mutta minkäänlaista redox-rintamaa ei ole kuitenkaan pystytty havaitsemaan. Pelkistävät olosuhteet ovat säilyneet koko kokeen ajan maaperän puskurivaikutuksen takia. Kokeen perusteella ei ole siksi pystytty saamaan uutta tietoa redox-puskuriominaisuuksien ja -kapasiteetin riittävyydestä. Kokeen tähänastiset tulokset mallinnuksineen raportoidaan alkuvuonna 2013. Koejärjestelyä on päätetty kehittää siten, että hapen kulkeutumista voidaan monitoroida ja numeerisesti arvioida. Tämä voidaan tehdä syöttämällä kokeessa pumpattavaan rakovyöhykkeeseen hapellista, merkittyä vettä, eli ohittamalla maaperän vaikutus. Koejärjestelyn muutossuunnittelu on käynnissä testisimulointineen ja uudistaminen toteutetaan vuoden 2012 aikana. Kokeen hydrogeologinen, kemiallinen ja mikrobiologinen seuranta jatkuu uuden koejärjestelyn vaatimassa laajuudessa. Kokeen etenemistä simuloidaan sekä hydrologisen suotautumismallinnuksen että reaktiivisen kulkeutumismallinnuksen avulla (Karvonen 2011a, Trincheri ym. 2012b). Tavoitteena on, että koe saadaan päätökseen viimeistään vuonna 2015 ja paikkakohtaiset tiedot sen jälkeen puskurikapasiteettimallinnuksen käyttöön.

Pohjaveteen liennut sulfidi

Pohjaveteen liennut sulfidi on yksi keskeinen kuparin korroosiota aiheuttava tekijä. Pitoisuudet ovat Olkiluodossa yleensä pitkäaikaisturvallisuuden kannalta merkityksettömän pieniä, mutta satunnaisesti on havaittu suhteellisen korkeita ($> 1 \text{ mg/l}$) pitoisuuksia, jotka voivat olla haitallisia. Korkeat pitoisuudet liittyvät sulfaatti- ja metaanipitoisen veden rajapintaan, minkä vuoksi on oletettu, että anaerobiset metaanin hapettajat ja sulfaatin pelkistäjät yhdessä aiheuttaisivat korkeat sulfidipitoisuudet. Mikrobit käyttäisivät metaania (CH_4) energialähteenä tässä termodynaamisesti edullisessa prosessissa. Kuitenkaan mm. hiili-isotooppiaineisto ei tue oletusta laajassa mittakaavassa. Isotooppiaineiston perusteella näyttää siltä, että mikrobit hyödyntäisivät jotain muuta liennuttua orgaanista ainetta (DOC), jota CH_4 -pitoisessa pohjavedessä on käytettävissä. ONKALOSSA käynnistettiin vuonna 2010 sulfaatin pelkistystä koskeva koesarja (SURE), jonka tavoitteena on selvittää metaanin merkitystä sulfidin pelkistyksessä.

Korkeat sulfidipitoisuudet näyttäisivät pohjavesiaineiston perusteella kehittyvän tutkimuksista aiheutuneiden pohjavesityyppien sekoittumisen seurauksena olosuhteissa, joissa mikrobit käynnistävät herkästi sulfaatin pelkistymisen sulfidiksi. Kalliopohjaveden monitorointitulokset osoittavat sulfidipitoisuuksien laskevan hydrogeologisen systeemin stabiloiduttua (kun esimerkiksi kairareikä on tulpattu), mikä voi johtua prosessin hiipumisesta esimerkiksi energialähteen loppumisen ja/tai FeS-faasin saostumisen vuoksi. Rautasulfidifaasit kontrolloivat termodynaamisesti sulfidin liukoisuutta, mutta raudan vapautuminen lähdefaaseista (luultavasti silikaatit) on hidasta, mikä viivyttää sulfidipitoisuuden laskua (Wersin ym. 2012b). Tutkimuskauden päätehtävät liittyvät SURE-kokeen jatkoon: pohjaveden tarkempaan karakterisointiin mikrobien käyttämän potentiaalisen energialähteen (DOC) ja raudan saatavuuden osalta. Lisäksi seuranta lisätään näytepisteissä, joissa korkeita sulfidipitoisuuksia on jossain vaiheessa havaittu. Mikrobiologiset ja kemialliset prosessit kytketään osaksi reaktiivista kulkeutumismallinnusta.

Sulfaatin pelkistyskokeen ensimmäinen vaihe, jossa tutkittiin sulfaatin pelkistymisnopeutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä sekä metaani- että sulfaattipitoisissa vesissä, valmistuu vuoden 2012 loppuun mennessä. Ensimmäiset tulokset sulfaattivedessä tehdyistä tutkimuksista viittaavat siihen, että metaani energialähteenä ei yksin pysty käynnistämään sulfaatin pelkistykseen liittyvää mikrobitoimintaa, eikä siten merkittävää sulfidin tuotantoa (Pedersen ym. 2012). Sen sijaan se aktivoi raudan pelkistäjiä, jolloin koejärjestelyssä syntyi ferrorautaa, joka on ilmeisesti peräisin reaktioastioissa käytetystä, kairarei'istä peräisin olevasta Olkiluodon kivimateriaalista. Kun metaanin lisäksi sulfaattipitoiseen pohjaveteen lisättiin myös vetyä, sulfidin tuotanto käynnistyi. Tähän mennessä saadut tulokset edellyttävät mikrobiologisten prosessien tutkimusten jatkumista vuosina 2013–2015. Sulfaattivedessä tehty tutkimukset toistetaan, jotta saadaan varmistusta yllä oleville tuloksille. Erityisesti rauta(II)-ionin syntymekanismia, alkuperää ja saatavuutta halutaan selvittää, koska rautasulfidifaasit kontrolloivat sulfidin liukoisuutta. Lisäksi on syytä tarkemmin spesifioida mikrobien energialähteenä hyödyntämä primääri DOC, jota näyttää olevan tarjolla metaanipitoisessa pohjavedessä huolimatta sen sisäisistä mikrobiologisista prosesseista (esim. metanogenesis) eri pohjavesityyppien sekoittuessa. Metaanipitoisessa vedessä tehtyjen tutkimusten tuloksista riippuen myös niiden toistamista on harkittava. Uusintakokeiden yhteydessä koejärjestelyihin on mahdollista tehdä muutoksia. Tällöin voidaan mm. testata pidempikestävien hiilivetyjen potentiaalia toimia mikrobien energialähteenä sulfaatin pelkistyksessä. Nyt tehtyjen kokeiden perusteella saadaan ensimmäiset arviot sulfidin muodostumisnopeudesta testatuissa pohjavesiolosuhteissa. Yksityiskohtaiset suunnitelmat mikrobiologisten prosessien jatkotutkimuksille valmistuvat viimeistään keväällä 2013.

SURE-kokeen lisäksi sulfaatin pelkistykseen liittyvää kemiallista ja mikrobiologista aineistoa kerätään edelleen ONKALosta ja syvistä kairarei'istä. Näillä näytteenotoilla selvitetään mm. havaittujen kohonneiden sulfidipitoisuuksien viipymää vedessä ja syitä pitoisuuksien laskuun. Sulfaatin pelkistäjien ja metanogeenien molekyylibiologisissa tutkimuksissa on havaittu molemmissa fysiologisissa ryhmissä varsin laaja diversiteetti. Jatkossa selvitetään tarkemmin eri mikrobityyppien merkitystä liuenneen sulfidin kannalta.

Suolaisuuden jakautuminen ja paleohydrogeologia

Olkiluodon pohjavesikemiaa hallitsee huomattavan laaja suolaisuus- ja koostumusvaihtelu etenkin syvyyden suhteen. Lisäksi on havaittu, että kivimatriisin mikrohuokosvesi on merkittävästi laimeampaa kuin rakopohjavesi syvällä kalliassa. Raoissa olevan pohjaveden koostumusvaihtelun tausta pystytään selittämään varsin luotettavasti (*Site Description*, Stotler ym. 2012). Matriksiveden ja rakoveden välinen koostumusero on epäselvä, mikä aiheuttaa epävarmuutta paleohydrogeologiseen käsitykseen pohjaveden kemialliseen koostumukseen vaikuttavista tekijöistä. Matriksihuokosveden karakterisointiraporteissa (Eichinger ym. 2006, 2010a, 2012; Bernin yliopisto) on diffuusiokertoimien laboratoriomäärittelyksiin, vesien välisiin suolaisuus eroihin ja yksinkertaiseen diffuusiomalliin perustuen esitetty, että metaanipitoinen, suolainen pohjavesi olisi vaikuttanut matriksihuokosvesiin geologisesti varsin lyhyen ajan, ehkä vasta Veiksel-jääkauden ajoista lähtien. Toisaalta pohjaveden geokemialliset piirteet osoittavat sen olevan hyvin vanhaa ja osoittavat "emoveden" muodostuneen luultavasti jo satoja miljoonia vuosia sitten. Paleohydrogeologisen mallikuvauksen mukaan (*Site Description*) tulkinnallinen epäselvyys voi johtua anioniekskluusiosta yhdistettynä kompleksiseen mikrohuokosrakenteeseen ja/tai suolaisen veden hyvin hitaasta kohoamisesta kalliassa. Kiven mikrohuokosissa mineraalien negatiiviset pintavaraukset rajoittavat anionien diffundoitumista varsinkin, kun avoin tila on vain nanometrien tai muutamien kymmenien nanometrien luokkaa. Tällöin anionien käytössä oleva huokostila on pienempi kuin esim. vesimolekyyleillä. Tämän kokoinen avoin huokoisuus voi olla tyypillisintä Olkiluodon kivilajeille, joissa retrogressiivinen metamorfoosi on aiheuttanut päämineraalien muuttumista (esim. serisiittiytymistä) mineraalien sisällä ja raerajoilla olevissa mikroraoissa eli ne ovat täytteisiä. Anioniekskluusio ja kallion monimutkainen ja tiukka mikrohuokosrakenne hidastavat prosesseja ja voivat ylläpitää suolaisuuseroja (näennäinen epätasapaino) kallion raon ja matriksin välillä. Tällaisia suolaisuuseroja voi myös kehittyä, jos alueella tapahtuu suolaisen veden kohoamista. Anioniekskluusiosta on tehty havaintoja aiemmin (Valkiainen ym. 1995, Kaukonen ym. 1997), mutta hydrologista mittausaineistoa, joka tukisi suolaisen veden kohoamista, ei ole havaittu. Ilmiöt ovat merkityksellisiä turvallisuustarkastelujen kannalta, koska niillä on vaikutusta pohjaveden pitkäaikaisen virtauksen ja matriisidiffuusion kannalta. Anioniekskluusion vallitessa pohjavesi voi olla todellisuudessa suolaisuuden suhteen tasapainossa käytettävissä olevassa huokostilavuudessa ja se osoittaa, että metaanipitoinen pohjavesivyöhyke on ollut hyvin stabiili miljoonia vuosia. Toisaalta anioniekskluusio on huomioitava matriisidiffuusiota rajoittavana tekijänä kulkeutumistarkasteluissa. Pilottireiässä ONK-PH9 tehdyssä matriksivesitutkimuksessa (Eichinger ym. 2012) havaittiin, että näyteprofiilissa vettä johtavan rakovyöhykkeen ympärillä (HZ20B), suuremman huokoisuuden alueella vedet lähestyvät tasapainoa. Tämä edellyttää tarkempaa diffuusiokuokoisuuden ja suolaisuusprofiilien määrittelyä rakojen ympärillä.

Tähän mennessä kallion pohjavesien ja matriksihuokosvesien suolaisuuseroja ei ole pystytty selittämään kiistattomasti sen paremmin anioniekskluusiolla kuin suolaisemman pohjaveden verrattain äskettäisellä, alle 100 000 vuotta sitten käynnistyneellä kohoamisellakaan. (vrt. luku 4.2.2.2 Hydrogeokemia). Asian ratkaisemiseksi tarvitaan edelleen tarkkoja hydrogeologisia ja kemiallisia havaintoja

syvältä kallioperästä mahdollisimman häiriöttömistä olosuhteista. Erityisesti matriksihuokosvesien määrittäminen vettä johtavan raon ympäristössä tuottaisi tärkeää tietoa: mikäli suolainen pohjavesi olisi tullut kallion ylempiin osiin vasta verrattain hiljattain, syvemmällä tämän olisi pitänyt tapahtua paljon aikaisemmin. Tällöin matriisidiffuusiolla olisi ollut huomattavasti paljon enemmän aikaa tasoittaa vesien suolapitoisuuseroja. Toisaalta, mikäli kyseessä on anioniekskluusiosta aiheutuva tila, suolapitoisuuserojen tulee olla pysyviä syvälläkin.

Asian selvittämiseksi suunnitellaan Olkiluodon lähialueen matalalle luodolle kairattavaksi satojen metrien syvyinen mahdollisimman pystysuora tutkimusreikä. Tällainen sijainti tarjoaa hydrogeologiset olosuhteet, joita Olkiluodon saaren kallioperässä vallitsevat paikalliset pohjavesiprosessit häiritsevät mahdollisimman vähän. Tällöin tarkat havainnot syvän kallion vedenpaineesta ja sen suolapitoisuudesta tuottaisivat tietoa alueellisen gradientin voimakkuudesta, minkä perusteella voidaan arvioida suolapitoisen pohjaveden liikettä Olkiluodon ja muun rannikon edustalla. Tästä kairareistä otettaisiin systemaattisesti näytteitä matriksihuokosvesitutkimuksiin. Mikäli anioniekskluusio ei ole määräävä syy havaittuun suolapitoisuuksien väliseen eroon, matriksihuokosvesien suolapitoisuus kasvaa syvyyden myötä ja lopulta saavuttaa yleisen pohjavesien suolapitoisuuden. Suunnitteluvaiheessa ennen kairauksen aloittamista laaditaan suoritettaville tutkimuksille yksityiskohtainen Posivan työraporttina julkaistava ohjelma. Tässä yhteydessä selvitetään edellytykset hankkeen toteuttamiseen. Koska työ suoritetaan melko poikkeuksellisissa käytännön olosuhteissa, myös toteutuksen huolellinen suunnittelu vaatii aikaa. Työn toteutukseen päästään todennäköisesti vasta vuonna 2015.

Edellä mainitun lisäksi huokosvesitutkimuksia jatketaan usein eri kokein. Jo käynnissä olevissa tutkimuksissa tarkastellaan kairauksen huuhteluveden vaikutusta (OL-KR55) ja tehdään ensimmäistä laboratoriovertailua REPRO-kokeen (suolaisuus, diffuusiokerroin, matriksihuokoisuus, permeabiliteetti) näytteillä aiempien tulosten luotettavuuden varmistamiseksi. Tulokset raportoidaan vuodenvaihteessa 2012–2013. Loppuvuodesta 2011 otettiin syvän kairareian OL-KR56 alaosa (700–1 200 m:n syvyydestä) huokosvesinäytteet, joiden avulla selvitetään, havaitaanko suolaisuuserojen tasoittumista siirryttäessä hydrogeologisesti yhä stabiilimpaan kallioympäristöön. Tulokset valmistuvat vuonna 2013. Syvän kairareian OL-KR56 yhteyteen suunniteltiin myös profiililuonteista huokosvesinäytteenottoa HZ20B-rakenteen suhteen, mutta rakennetta ei pystytty tunnistamaan kairauksen aikana jatkuvasta hydrologisesta seurannasta huolimatta. Tämä profiilinäytteenotto on tarkoitus toteuttaa mahdollisesti jo vuoden 2012 aikana ONKALOon kairattavassa pilottireiässä ja siihen kytketään yksityiskohtaiset mikrohuokoisuuden ja läpäisevyyden mittaukset ja kuvaukset. Tämän jälkeen huokosvesitutkimusten aineistosta laaditaan yhteenvetoraportti vuonna 2014.

Paleohydrogeologisen mallikuvauksen tarvitsemia yksityiskohtaisia rakomineraalitutkimuksia (kalsiitti, pyriitti, uraanisarjat) on tehty jo usean vuoden ajan. Vuoden 2013 aikana laaditaan rakomineraaleihin liittyen yhteenvetoraportti. Näiden yhteenvetoraporttien ja muun pohjavesiaineiston pohjalta tehdään paleohydrogeologisen mallin päivitys vuoden 2014 aikana.

Rakopohjaveden suolaisuusmalli ilmestyy vuonna 2012. Se perustuu pohjavesinäytteisiin ja rakospesifisiin pohjaveden sähkönjohtavuusmittauksiin (EC). Tuloksissa havaittiin muutamia selviä poikkeamia yleisestä suolaisuusjakaumasta ja niiden osalta suunnitellaan yksityiskohtaista näytteenottokampanjaa vuosille 2013–2014. Pohjaveden sähkönjohtavuusaineiston edustavuusarviointiraportti päivitetään vuoden 2014 aikana suolaisuusmallin päivityksen käyttöön. Suolaisuusmalli on tarkoitus päivittää itäisen alueen tiedoilla vuoden 2014 aikana.

Täydentävät raportoinnit

Pohjavesiaineiston kokonaisvaltainen edustavuusarviointi on tehty vuonna 2007 (Pitkänen ym. 2007). Raportin ilmestymisen jälkeen pohjavesiaineisto on lisääntynyt huomattavasti ja edustavuusarviointiraportti päivitetään vuoden 2014 loppuun mennessä. Tässä yhteydessä arvioidaan erityisesti pohjavesinäytteiden isotooppi- ja kaasuaineistojen edustavuus. Erityisesti pohjaveteen liuenneiden kaasujen näytteenottotekniikkaan on havaittu liittyvän epävarmuuksia, joita on arvioitava ennen seuraavan mallinnusraportin ilmestymistä. Edustavaan kaasuaineistoon perustuvaa mallinnusta, jolla selvitetään kaasun muodostumista ja kerääntymistä pohjaveteen sekä kaasujen liukoisuutta eri termodynaamisissa olosuhteissa, jatketaan. Rako- ja matriksipohjaveden kaasunäytteenotoilla selvitetään kaasujen kerääntymisnopeutta pohjavesisysteemeissä. Tähän liittyen varmistetaan mm. heliumin isotooppianalyseillä heliumin alkuperää.

Hydrogeokemiallisista tutkimuksista saatavaa varmentavaa tutkimustietoa hyödynnetään paikankuvausraportissa ja sen taustamallinnuksissa. Massatasapainomallinnusta sovelletaan postglasiaalisen geokemiallisen evoluution tulkintaan, ja reaktiivisen kulkeutumismallinnuksen avulla pyritään testaamaan puskurireaktioiden ja -kapasiteetin toimivuutta vastaavana aikajaksona. Mallien lähtötietoja kehitetään selvittämällä kallion rakotäytteiden kationinvaihto-ominaisuuksia laboratoriokoesarjan avulla. Tutkimus on suunniteltu tehtäväksi yhteistyössä SKB:n kanssa.

Vuonna 2001 käynnistetty OL-KR6:n pumppauskoe on jatkunut edelleen. Kokeen tulosten arviointi ja raportointi on kesken. Kokeen monitorointia pohjavesikemian osalta jatketaan vuosittain kunnes hydrogeologinen ja kemiallinen yhteenvetoraportti valmistuu ja kokeen jatkosta voidaan päättää. Tavoitteena on, että yhteenvetoraportti valmistuu vuoden 2013 aikana.

5.3.1.7 Kulkeutumisominaisuudet ja -mallinnus

Vuonna 2011 ONKALOn tutkimustilassa 5 alkanut matriisidiffuusiokoe REPRO (Rock Matrix REtention PROperties) viedään päätökseen tulevalle ohjelmakaudella. REPRO-kokeen tavoitteena on tuottaa kulkeutumismallinnuksen käyttöön paikkakohtaista tietoa kallion pidättymiskyvystä loppusijoitusvyvydellä. Kokeen tulokset auttavat siten arvioimaan matriisidiffuusion aiheuttamaa radionuklidien pidättymistä tilanteessa, jossa teknisten päästöesteiden on oletettu menettäneen toimintakykynsä. Lisäksi kokeesta saatava tieto auttaa ymmärtämään yleisemmin matriisihuokoisuuden merkitystä suolapitoisen veden varastona.

Vuonna 2013 saadaan loppuun REPRO-kokeeseen liittyvät oheis- ja tukevat laboratoriotutkimukset. Vesifaasin merkkiainekokeiden, erityisesti niihin kuuluvan läpιδiffuusiokokeen ennakoidaan kestävän vuoteen 2015. Vuoden 2012 loppupuolella käynnistetään vesifaasidiffuusiokokeen toinen vaihe virtausnopeudella 10 $\mu\text{L}/\text{min}$. Kokeeseen liittyvä merkkiaineiden läpitudon seuranta jatkuu useita kuukausia vuoden 2013 puolelle, minkä jälkeen nykyisen suunnitelman mukaan käynnistetään kokeen viimeinen vaihe virtausnopeudella 5 $\mu\text{L}/\text{min}$. REPRO-tutkimustilassa suoritettavat vesihöyry/kaasufaasidiffuusiokokeet viedään päätökseen viimeistään vuoden 2014 aikana. Kuten ensimmäinenkin vaiheen tapauksessa, myös kokeen jatko-ohjelman yksityiskohtainen suunnitelma tulee perustumaan seikkaperäisiin etukäteen tehtäviin mallilaskelmiin. REPRO-kokeen tulokset on alustavasti suunniteltu väliraportoitavaksi vuonna 2013. Kokeen loppuraportti laaditaan vuonna 2015.

Olkiluodon kallion kulkeutumisominaisuuksien pelkistäminen neljään rako-rakotäytematriisisysteemiin (ks. kuva 4-20) tarkistetaan ja tätä konseptia mahdollisesti täydennetään vuoden 2012 loppuun mennessä kertyneen geologisen kartoitusaineiston ja laboratoriotutkimusten perusteella. Kallion kulkeutumisominaisuuksien kuvaukseen liitetään myös geologiseen kartoitustietoon perustuva kuvaus kalliorakojen sisäisen heterogeenisyyden voimakkuudesta, joka liittyy pohjavesivirtauksen kanavoitumiseen yksityiskohtaisessa mittakaavassa.

5.3.1.8 Kalliotilojen suunnittelun tarvitsemat tutkimukset

ONKALOA varten porattujen pystykuilujen lisäksi on loppusijoituslaitokseen suunniteltu tehtäväksi kaksi lisäkuilua, kapselikuilu ja poistoilmakuilu 2. Näistä poistoilmakuilun 2 tarvetta harkitaan vielä toteutussuunnitteluun edetessä. Kuilujen injektointi- ja lujitussuunnittelu tarvitsevat käyttöönsä yksityiskohtaisia kallioperätietoja, jotka pääsääntöisesti on hankittava suunniteltujen kuilujen paikalle tehtävillä kairauksilla ja tutkimusrei'issä tehtävillä tutkimuksilla.

Molemmat suunnitellut kuilut sijoitetaan alueelle, josta on jo olemassa erittäin kattavat kallioperätiedot. Alueen välittömässä läheisyydessä sijaitsee kolme jo avattua kuilua ja niistä saadut tiedot ovat käytettävissä näiden kuilujen suunnittelun lähtötiedoiksi. Suunnittelijoille toimitetaan olemassa olevien tutkimustietojen ja mallien perusteella ennusteet kallioperän laadusta. Tarvittavat yksityiskohtaisemmat kallioperätiedot injektointisuunnittelun lähtötiedoiksi hankitaan ennen injektointia tehtävien tunnustelureikien kairausnäytetutkimusten ja mittausten myötä kuiluosuuksittain.

5.3.2 Kallion soveltuvuusluokittelu

5.3.2.1 Kallioluokitteludemonstraation laajentaminen

Edellisen ohjelmakauden aikana vuonna 2011 ONKALON tason -420 m tutkimus- ja demonstraatiotilojen aluetta päätettiin laajentaa. Lähtökohtana oli kallioluokittelujärjestelmän (RSC, Rock Suitability Classification) ja siihen liittyvän yksityiskohtaisen kallioperämallinnuksen toimivuuden osoittaminen. RSC-demonstraatioon laajentamiseksi tarvittavia kairauksia aloitettiin vuoden 2012 aikana ja kairarei'issä tehtiin pilottireikä tutkimusten periaatteiden mukaiset yksireikä tutkimukset ja täydentäviä tutkimuksia. Kallioluokittelun testaamiseen ja demonstraatioon tehtäviä kairauksia ja reikä tutkimuksia jatketaan nyt alkavalla ohjelmakaudella. Rei'istä vähintään kaksi on suunniteltu avarrettavaksi myöhemmin tunneliksi. Tällaisia ovat

alkuperäisten tilojen itäpuolinen ajoneuvoyhteys ONK-TYT-4399-21 ja eteläpuolinen keskustunneli ONK-TYT-4512. Suunnittelun kuuluu on myös selvittää mahdollisuudet lisädemonstraatiotunnelien louhimiseen demonstraatiotilojen itäpuolisten kahden kairareian paikoille. RSC-työt jatkuvat laajennetuissa demonstraatiotiloissa alkavan ohjelmakauden aikana vuonna 2013 mm. reikien välisillä latauspotentiaalimittauksilla ja seismisillä tutkimuksilla. Laajennetun RSC-demonstraation perusteella tehdään RSC-II-kriteerien ja menettelytapojen arviointia ja kehittämistä, kehitetään tutkimusmenetelmiä (mm. reikäseismiikkaa) ja osoitetaan RSC-menetelmän toimivuus.

5.3.2.2 Kallioluokittelukriteerien toimivuuden arviointi ja jatkokehitys

Alkavan ohjelmakauden vuosina 2013 ja 2014 kehitettyjä soveltuvuuskriteereitä (ns. RSC-II-kriteereitä) ja niihin perustuvan luokittelun soveltamista käytäntöön testataan ja demonstroidaan ONKALossa. Vuoden 2013 aikana julkaistaan Posiva-raportti RSC:n demonstraatiosta, tehdään arvio kriteerien toimivuudesta ja koko luokittelujärjestelmä viimeistellään ja hyväksytetään rakentamisessa noudatettavaksi. Tavoitteena on, että toimivaksi osoitettu menettely on käytössä vuoteen 2015 mennessä. Soveltamisesta saatujen kokemusten perusteella kehitystyötä jatketaan tarpeen mukaan luokittelun tehostamiseksi. Tätä varten tehdään RSC-demonstraation rinnalla soveltuvuusluokittelua varten tarvittavien havainto- ja tutkimusmenetelmien kehitystä. Ennen käyttöluupahakemuksen jättämistä, vuonna 2017, julkaistaan Posiva-raportti, joka sisältää kattavasti RSC:n soveltamisesta saadut kokemukset, tehdyn kehitystyön ja mahdollisesti päivitetyn RSC-menetelyn. Vuosina 2013–2014 määritetään kallion soveltuvuuskriteerit myös 3H-ratkaisulle (ks. luku 5.8)

5.3.2.3 Yhteistoimintakokeen RSC-työt

Käyttölupahakemusvalmiuden saavuttamista edeltää suunnitelmien mukaan yhteistoimintakoe maanalaisissa tiloissa. Tähän "KBS-3V-prototyyppiin" liittyvä RSC-työ aloitetaan tulevan ohjelmakauden vuosina 2013–2015 esiselvityksillä ja siihen tarvittavan tunnelin paikan valinnalla ja se jatkuu vuosina 2016–2018 osallistumisella suunnitteluun ja toteutukseen. Yhteistoimintakokeen suunnittelussa ja rakentamisessa sovelletaan RSC-menettelyä. RSC tulee vaikuttamaan koejärjestelyssä tunnelien asemointiin sekä sijoitusreikien paikkojen valintaan. RSC-menetelyn mukainen soveltuvuusarvio tehdään kaikissa luokittelun mittakaavoissa: keskus- ja loppusijoitustunneleille sekä sijoitusrei'ille (luku 4.2.3). Yhteistoimintakokeen kokemukset huomioidaan mahdollisuuksien mukaan RSC 2017 -raportoinnin yhteydessä.

5.3.2.4 Ensimmäinen loppusijoituspaneeli

Tulevan ohjelmakauden vuosina 2014–2015 tullaan laatimaan soveltuvuusluokittelumenetelmää kuvaava RSC-käsikirja, jota käytetään ensimmäisen loppusijoituspaneelin rakentamisen aikana. Senmukaista kallion soveltuvuusluokittelua sovelletaan suunnittelussa ja rakentamisessa rakentamisluvan myöntämisen jälkeisinä vuosina. Laitossuunnitelmien mukaan ensimmäinen loppusijoituspaneeli käsittää keskustunnelin ja kuusi noin 300 m pituista loppusijoitustunnelia. Nykyisten koko tutkimuspaikan mittakaavan mallien perusteella alue on osoitettu suunnittelijoille soveltuvavaksi loppusijoituskäyttöön eli alueella ei esiinny asemointia rajaavia rakenteita (LDF-rakenteita). Jotta paneelialueen käytettävyyssarviota voitaisiin tarkentaa sekä loppusijoitustilojen suunnitelmia päivittää, tarvitaan alueelta lisätietoja kalliassa

esiintyvistä pienemmistä rakenteista ja raoista sekä niiden jatkuvuuksista. Tästä syystä suunnitellun keskustunnelin paikalle kairataan karakterisointireikä (keskustunnelin pilottireikä), josta saatavien tietojen perusteella pienen mittakaavan mallia (ks. kuva 4-10) voidaan päivittää. Muista mahdollisista karakterisointirei'istä päätetään kallion soveltuvuusluokittelun yksityiskohtaisten tarpeiden perusteella. Mahdolliset kairaukset suunnitellaan niin, että riittävät suojaetäisyydet suunniteltuihin loppusijoitustiloihin huomioidaan. Geologiseen ja hydrogeologiseen rakennemalliin perustuvat asemointia rajaavat rakenteet päivitetään seuraavaksi vuonna 2014.

Ensimmäistä suunniteltua loppusijoituspaneelia varten tehdyn soveltuvuusarvion ja kallion mallinnuksen perusteella määritellään suunnittelua varten ensimmäisen keskustunnelin paikka. Tälle paikalle kairataan ensin pilottireikä, jossa tehdään pilottireikäohjelman mukaiset tutkimukset ja tulostulkinta. Keskustunnelin louhinnan ja siinä tehtyjen tutkimusten jälkeen kairataan tunnelista käsin pilottireiät kaikkien kuuden suunnitellun loppusijoitustunnelin alkuosaan soveltuvuusarviota varten. Loppusijoitustunneleiden louhintatyön alkamisen jälkeen tehdään samanaikaisesti tunnelitutkimuksia ja loppusijoitustunnelien pilottikairauksia seuraaviin tunnelijaksoihin.

Samaan aikaan ensimmäisen loppusijoitustunnelin sijoitusreikien pilottien ja itse sijoitusreikien porausten ja tutkimusten kanssa edetään muiden loppusijoitustunnelien tunnelitutkimuksissa, sijoitusreikien paikkojen valinnassa ja sijoitusreikäpilottien kairaamisessa. Loppusijoitusreikien poraamisessa, tutkimuksissa ja hyväksynnässä edetään työvaiheita limittämällä siten, että eri vaiheissa tapahtuva odotus minimoidaan.

Vuonna 2010 demonstraatiotilojen alueen kuvaamiseksi aloitetun pienen mittakaavan mallinnuksen tilavuus laajennettiin 2012 kattamaan myös suunnitellun ensimmäisen paneelin alue (luku 4.2.2.1). Pienen mittakaavan mallia päivitetään tulevan ohjelmakauden aikana uuden tutkimustiedon perusteella, ja mallia käytetään ensimmäisen loppusijoituspaneelin RSC-menettelyn lähtötietona.

5.4 Teknisten vapautumisesteiden tutkimus, kehitys ja testaus

5.4.1 Loppusijoitusjärjestelmän kehittäminen ja testaus

5.4.1.1 Loppusijoituskapseli

Kapselien suunnittelu

Kapselien toimintakyvyn osoittamisessa on edelleen muutama aihepiiri, joissa selvitystyötä jatketaan seuraavalla ohjelmakaudella. Kapselien suunnittelun yhteenveto on esitetty suunnitelmaraportissa (Raiko 2012). Seuraavassa esitetään kapselin suunnitteluun liittyvät selvitystyöt, jotka saatetaan loppuun suunnittelukaudella:

- Kuparivaipan sulkemismenetelmä valitaan.
- Kapselin sisäkannen tiivisteratkaisuja suunnitellaan.
- Palamahyvityksen käyttö perustellaan uusien ydinpolttoaineiden kriittisyysturvallisuuden osoittamiseksi kapsелеissa myös pitkällä aikavälillä.
- Laaditaan hyväksymiskriteerit kapselikomponenttien ja suljetun kapselin niille ominaisuuksille, jotka ovat tärkeitä loppusijoituksen turvallisuuden kannalta.

- Kapselikomponenttien valmistukselle sekä kapselin sulkemiselle ja käsittelylle laaditaan laadunvalvontaohjelma, joka muodostuu eri toimintavaiheissa toteutettavista tarkastussuunnitelmista.
- Rakennesuunnitelman osaksi luodaan valmistuspiirustukset, joita ylläpidetään hyväksymismenettelyn ja versionhallinnan avulla.

Kapselin sisäosan kannen tiivistys on aiemmin suunniteltu tehtäväksi nitrilikumista O-rengastiivistettä käyttäen. Ratkaisua ei voida hyväksyä, koska sitä käyttäen kunkin kapselin sisään olisi jäänyt noin 250 grammaa orgaanista materiaalia, mitä kapselin sisätilan pitkäaikaiskehityksen kannalta pidettiin ongelmallisena. Tästä syystä sisäkannen tiivisteratkaisu suunnitellaan ja testataan uudelleen. Mahdollisena ratkaisuna harkitaan pehmeiden metallien käyttämistä tasotiivisteinä sekä itse kannen ja sisäosan reunan välissä että kannen keskellä olevan kiinnitysruuvien kauluksen ja teräskannen välissä. Ulomman tiivisteiden vastinpintana on sisäosan valumateriaali, mikä tekee ratkaisun etsimisen varsin haasteelliseksi tiivistepinnalta vaadittavan hyvän pinnanlaadun takia. Kannen erityistä tiiveyttä vaaditaan käytettäessä kapselin sulkemisessa EBW-hitsausmenetelmää. EBW-menetelmässä sisäosan kaasutilassa oleva normaalipaineinen suojakaasu ei saa vuotaa ympäröivässä tilassa vallitsevaan tyhjiöön. Sen ylläpito on hitsauksen onnistumisen kannalta ratkaisevaa. FSW-hitsauksessa ei erityistä kannen kaasutiiveyttä vaadita, vaan riittää, ettei suojakaasu vaihdu ympäröivään ilmaan. Myös sisäosan valurakenteen muukin kaasutiiviys on selvitettävä kannen tiivisterakenteiden kokeilujen yhteydessä.

Ydinpolttoaineet ovat kehittyneet laitosten käytön aikana. Tämän seurauksena myös poistopalamaa on voitu nostaa, viime vuonna nostettiin polttoaineiden poistopalamia sekä LO1-2- että OL1-2-laitoksilla (luvut 7.1 ja 8.1). Palamaa nostettaessa saavutetaan parempi polttoainetalous sähköntuotannossa. Käytetyn ydinpolttoaineen hallinnassa palamannostosta aiheutuu muutoksia kriittisyysturvallisuusarvioihin. Nosto edellyttää uraanin rikastusasteen nostamista ja tämä aiheuttaa erityisesti lyhyen aikaa reaktorissa olleen polttoaineen osalta huomattavaa reaktiivisuuden nousua. Mikäli tällaisia vähän käytettyjä ydinpolttoaine-elementtejä joudutaan jostain syystä loppusijoittamaan, on vaara, että vedellä täyttyneiden kapselien alikriittisyyttä häiriötilanteessa ei pystytä osoittamaan ilman kapselikohtaisia tarkasteluja. Kapseloitavan ydinpolttoaineen nippukohtaisissa valintakriteereissä olisi siksi jälkilämmön tuoton lisäksi otettava huomioon väkevöintiaste alikriittisyyden varmistaminen. Erityisesti kooltaan suurempien EPR/PWR-polttoaine-elementtien osalta vähän käytetyt polttoaine-erät vaativat alikriittisyystarkasteluihinsa myös ns. palamahyvityksen käytön. Kriittisyysturvallisuusarvioita päivitetään siksi erityisesti käytettävien polttoainetyyppien kehittymisen ja loppusijoitettavien ydinpolttoaineiden palamanmuutosten, mutta myös kapselirakenteen pitkäaikaistarkasteluissa oletettujen muodonmuutosten vuoksi.

Kapselikomponenteille ja sulkemishitsille on suunnitteluaineistossa esitetty alustavat hyväksymiskriteerit. Ennen käyttövaiheeseen siirtymistä esitetään hyväksyttäväksi kapselirakenteiden ennakkotarkastusaineistot, joissa oleellisena osana on rakennesuunnitelma, jossa puolestaan esitetään kaikille osille ja valmistusvaiheille hyväksymiskriteerit. Laadunvalvontaohjelman tarkastuksissa puolestaan käytetään näitä kriteereitä rakenteen hyväksyttävyyden mittana. Alustavat hyväksymiskriteerit esitetään

rakennesuunnitelmassa perusteltuina ja systemaattisina kokonaisuuksina. Samaten alustavat tarkastussuunnitelmat on jo esitetty tarkastustekniikan kehitysraporteissa (Pitkänen 2010 ja 2012), mutta rakennesuunnitelmassa tarkastussuunnitelmat esitetään yksityiskohtaisina ja systemaattisina tarkastussuunnitelmadokumentteina. Kolmas rakennesuunnitelmavaiheessa tarvittava dokumentaatio on valmistuspiirustukset, jotka tuotetaan nykyisten alustavien piirustusten sekä mitta- ja toleranssietojen perusteella.

Kapselien rakennetarkastus on suoritettava ennen varsinaiseen loppusijoituskäyttöön tulevien kapselien valmistuksen aloittamista eli käytännössä viimeistään samoihin aikoihin käyttöluvan haun kanssa. Samoin kapselien lopullinen suunnitelma tulee osaltaan esittää käyttölupahakemusaineistoon sisältyvässä lopullisessa turvallisuusselosteessa (FSAR), jonka osana esitetään kaikkien järjestelmien järjestelmäkuvaukset. Käytännössä kapselien suunnitelmat on jäädytettävä jo aikaisemmin, noin vuonna 2015, jotta koko loppusijoitusjärjestelmän toimintakykyarviointi ehditään suorittaa ja dokumentoida osaksi käyttöluvan hakemusaineistoa. Ennen kuin maanpäälliseen yhteistoimintakokeeseen tarvittavia kapselikomponentteja voidaan valmistaa, pitää kapselin rakennesuunnitelma olla hyväksytty. Myös laitossuunnittelu tarvitsee kapselien yksityiskohtaiset tiedot viimeistään samoihin aikoihin.

Edellä olevan tehtävälistan käsittelyn lisäksi kapselin kalliosiirosanalyysi uusitaan kapselien toimintakyvyn osoittamiseksi aikaisemman deterministisen menetelmän lisäksi todennäköisyyspohjaisena (PRA) analyysinä, jolloin saadaan realistisempi kuva riskitasosta ja vaadittavista materiaalin sitkeys- ja eheyskriteereistä.

Kapselien testaukset

Ennen loppusijoitustoiminnan käyttövaiheen aloittamista on suunniteltuja kapseleita testattava sekä kapselointilaitoksen eri toiminnoissa että siirroissa ja varsinaisessa asennuksessa loppusijoitusreikään yhdessä kapselia ympäröivän bentoniittipuskurin asentamisen kanssa. Tässä yhteydessä ei käsitellä kapselikomponenttien valmistamisen tai kapselin sulkemishitsin vaatimia kokeita tai demonstraatioita, vaan keskitytään hyväksyttävän kapselin kapselointi- ja loppusijoitusprosessin käsittelyvaiheisiin.

Seuraavassa luetellaan otsikkotasolla kapseliin kohdistuvia testaustarpeita, jotka suurelta osin tehdään osana kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen koekäyttöä ja käsittelylaitteiden tai siirtoajoneuvojen testausta:

- Kapselikomponenttien kuljetus valmistustehtaalta ml. nosto- ja siirtokehys
- Kapselikomponenttien vastaanottotarkastus kapselointilaitoksella
- Asennus kapselin siirtovaunuun
- Kapselin telakointi käsittelykammioon
- Polttoainenippujen asennuskokeet kapseliin
- Kapselin kaasuatmosfäärin vaihtokokeet ja siihen liittyvät todennukset
- Sisäkannen asennuskokeet ja tiiveyden tarkastus
- Irrotuskokeet telakoinnista
- Kuparikannen nosto hitsauskammioon
- Kapselin telakointi hitsausasemaan
- Tyhjän veto, tiiveyden tarkastus (vain EBW-vaihtoehdossa)

- Kuparikannen asennuskokeet
- Sulkemishitsauskokeet (EBW tai FSW)
- Irrotus hitsausaseman telakoinnista
- Kapselin yläosan loppukoneistus (sekä EBW- että FSW-vaihtoehtoisissa)
- Kapselin telakointi tarkastusasemaan
- Sulkemishitsin tarkastukset erilaisilla NDT-menetelmillä
- Irrotus tarkastusasemasta ja siirto kapselin kannatinlaitteeseen
- Siirtovaunun irrotus ja ajo sivuun
- Kapselin siirtotrukin ja paletin ajo kapselin alle ja kapselin otto siirtotrukin kyytiin
- Kapselin kuljetukset kapselointilaitoksen puskurivarastoon ja/tai kapselihiisiin
- Kapselin hissikuljetus alas tai ylös
- Kapselin siirto maanalaiseen puskurivarastoon
- Kapselin siirto puskurivarastosta asennusajoneuvon lastauspaikalle
- Kapselin lastaus asennusajoneuvon
- Kapselin siirto loppusijoitustilassa asennuspaikkaan sijoitustunnelissa
- Asennusajoneuvon asemointi paikalleen
- Kapselin asennus loppusijoitusreikään ja samalla kapselipinnan mahdollisten kuljetusvaurioiden tarkastus tarkastuslaitteilla
- Puskurilohkon asennus kapselin päälle
- Kapselin palautuskokeet kaikista käsittelyvaiheista takaisin polttoaineen käsittelykammioon
- Kapselin käsittelyn jatkamismahdollisuuksien verifiointi erilaisissa kapselinkäsittelylaitteistojen vikatilanteissa

Edellä mainitut käyttökokeet tehdään laitoksen koekäyttövaiheessa ennen oikean ydinpolttoaineen käsittelyn aloittamista, siis ennen varsinaista käyttöä. Kapselin asennuskokeita loppusijoitusreikään, puskurilohkojen asennuskokeita kapselin päälle sekä sulkemishitsauskokeita ja sulkemishitsien tarkastuksia tehdään prototyyppilaitteilla jo seuraavan kolmivuotiskauden aikana. Koekäyttövaiheessa testejä voidaan vielä tarkastella fyysisesti lähietäisyydeltä. Varsinaisen käyttövaiheen alussa on vielä tehtävä joitakin verifiointikokeita tai mittauksia oikealla ydinpolttoaineella täytetyn kapselin läheisyydessä esimerkiksi vallitsevan säteilytason sekä jälkilämmön aiheuttaman kapselin lämpenemisen verifioimiseksi kapselointiprosessin ja varastoinnin eri vaiheissa.

Kapselikomponenttien valmistustekniikoiden kehitystyö

Tulevalla ohjelmakaudella kapselikomponenttien valmistustekniikoiden kehitystyö jatkuu. Valmistuskokeita jatketaan jäljellä olevien kehityskohteiden osalta, valmistustekniikan päteväinteiin valmistautumiseksi ja osaamisen ylläpitämiseksi. Tavoitteena on, että Posivalla on tulevaisuudessa käytettävissään useampi komponenttitoimittaja, joka pystyy valmistamaan hyväksytyjä kapselikomponentteja loppusijoituksen edellyttämissä valmistussarjoissa. Kuparikapselien valmistamiseksi keskitytään ensisijaisesti pisto-vetomenetelmään, jolla suunnitellaan valmistettavan ensimmäiset loppusijoitukseen käytettävät kapselit. Lukuisten valmistuskokeiden perusteella on osoitettu, että pisto-vetomenetelmällä pystytään valmistamaan vaatimukset täyttäviä kapseleita, joissa on mukana myös pohja. Tulevien valmistuskoesarjojen avulla osoitetaan, että valmistus on teollista ja sillä tuotetaan

toistettavasti hyväksyttäviä kapseleita. Myös pursotusmenetelmän valmistuskoesarjoja jatketaan ja tämä valmistusmenetelmä suunnitellaan pätevöitävän siinä vaiheessa, kun SKB on aloittamassa loppusijoitustoiminnan. Sisäosien valukokeita tehdään valuprosessin teollistamiseksi ja pätevöinteihin valmistautumiseksi. Kapselikomponenttien valmistusohjeet täydennetään valmistuskokeiden, suunnitteluanalyysistä saatavien vaatimusten ja tarkastustekniikan kehittymisen myötä. Tulevalla kaudella on selvitettävä kuparikapselien ja sisäosan kokoonpanomenetelmä ja -paikka.

Kapselikomponenttien valmistusprosessit kuvataan ja valmistusohjeet, laaduntarkastusohjelmat sekä piirustukset täydennetään ja viimeistellään. Kapselikomponenteille laadittavat valmistus- ja laaduntarkastusohjeet koskien niitä valmistusmenetelmiä, joilla ensimmäisinä vuosina loppusijoitettavat kapselit valmistetaan, toimitetaan STUKin hyväksyttäväksi. Kapselikomponenttien valmistajien ja valmistustekniikoiden pätevöinti on suunniteltu aloitettavan tulevan kolmivuotiskauden aikana ja työ jatkuu seuraavan kauden aikana. Kapselikomponenttien valmistusmenetelmien pätevöinti on suunniteltu aloitettavan vaiheittain ensin kuparikomponenteille ja sitten sisäosille.

Kapselikomponenttien valmistustekniikoiden ja laaduntarkastusohjelmien toteutettavuus osoitetaan pätevöintien yhteydessä tehtävissä menetelmäkokeissa.

Kapselin sulkemistekniikan kehitystyö

Kuparivaipan sulkemismenetelmän valinta tehdään ensimmäisen kolmivuotiskauden alkupuolella elektronisuihkuhitsauksen (EBW) ja kitkatappihitsauksen (FSW) välillä. Molempia menetelmiä on kehitetty samaa päämäärää kohti, mutta valinta on tehtävä useita vaikuttavia osatekijöitä arvioiden. Hitsausmenetelmä vaikuttaa osaltaan myös hitsin jäännösjännityksiin sekä hitsiaineen virumissitkeyteen. Hitsin jäännösjännityksillä saattaa olla vaikutusta kuparin jännityskorroosioalttiuteen, mistä syystä hitsausmenetelmää tai mahdollista hitsin jälkikäsitteilymenetelmää kehitetään ilmiön minimoimiseksi. Kuparihitsin virumissitkeys on osoittautunut perusainekuparin sitkeyttä hieman huonommaksi erityisesti EBW-menetelmässä, mutta vuonna 2012 tehdyissä kuparivaipan virumismuodonmuutoksen simuloinneissa saatiin tuloksia, jotka osoittavat varsin alhaisen virumissitkeyden riittävän kuparivaipan hitsiaineessa, joten hitsien virumissitkeyttä voidaan kohtuullisella marginaalilla pitää riittävänä. Lisäksi kupari-rautakapselin rakenne on sellainen, että vaipan suurinta virumisvenymää rajoittavat tehokkaasti rakenteen geometriset reunaehdot, eli pitkäkään aika ei enää voi lisätä virumismuodonmuutosta, kun kontakti kuparivaipan ja rautasisäosan välillä on saavutettu.

Sulkemismenetelmän valintaa varten hitsauksen prosessikehityksestä julkaistaan vuonna 2013 koosteraportti. Siinä esitetään sulkemismenetelmien tutkimus- ja kehitystyön tulokset. Elektronisuihkuhitsauksesta (EBW) tehdään tilastollinen arviointi hitsausmenetelmän valintaa ja turvallisuusperustelua varten. Tällöin arvioidaan esimerkiksi kapselin seinämän läpäisevän virheen todennäköisyys hitsissä. Nämä raportit liittyvät aineistoon, joka kootaan sulkemismenetelmien arviointia ja valintaa varten. Päätös sulkemismenetelmästä tehdään valinta-aineiston arvioinnin perusteella.

Menetelmän valinnan jälkeen laaditaan yleispiirteinen hitsauksen pätevöintisuunnitelma. Hitsauslaitteistosta laaditaan rakennesuunnitelma.

Hitsausprosessin kehitystyötä jatketaan valitulla menetelmällä. Valinnan jälkeen kartoitetaan kehityskohteet ja mahdolliset tutkimusta vaativat, hitsin ominaisuuksiin liittyvät tehtävät. Kehitystyön tavoitteena on ratkaista mahdolliset jäljelle jääneet avoimet asiat hitsausprosessista. Kehitystyöhön liittyy myös sulkemisprosessin suorituskyvyn ja laaduntuottokyvyn tarkentaminen. Suorituskyvyllä tarkoitetaan mm. läpäisevän vian todennäköisyyttä hitsissä ja mikä on suurin todennäköinen vikakoko loppusijoitettavien kapseleiden hitseissä.

Hitsauksen laadunvalvonnan kehitystä jatketaan siten, että hitsauslaitteiston hankinnassa tarvittavat hitsauslaitteistoon ja -prosessiin liittyvät laadunvarmistusaineistot ja -toimet voidaan spesifioida hankintaan mennessä.

Hitsauslaitteiston hankintaa varten laaditaan tarjouspyyntöaineisto, joka sisältää mm. seuraavat asiat:

- hitsauslaitteiston spesifikaatio,
- hitsauslaitteiston rakentamisen aikainen laadunvarmistussuunnitelma, ja
- suunnitelma rakentamisen aikaisista tehdasteistä ja koulutuksista.

Hitsauskehitystyössä laaditaan myös "pWPS" eli alustava hitsaustyöohjeistus hitsauslaitteiston tehdas- ja vastaanottokokeita varten. Alustavaa hitsaustyöohjetta kehitetään edelleen ja sitä käytetään hitsausmenetelmän pätevöintiin. Tulevaa käyttötoimintaa varten kehitetään hitsauksen laadunvarmistus ja -tarkastusmenetelmiä, kuten tilastollista prosessikontrollia ja hitsausprosessin monitorointidatan käsittelyä.

Hitsausmenetelmän pWPS hyväksytetään esituotannollisella menetelmäkokeella kapselointilaitokseen asennettavalla laitteistolla.

Kapselin pohjan hitsausta kehitetään vastaavasti kuten sulkemishitsausta ja se pätevoidään yhtenä kapselin valmistusprosessina.

Hitsin lähtötilaa tutkitaan ja hitsausprosessin kehityksessä pyritään parantamaan hitsin ominaisuuksia entisestään. Lähtötilalla tarkoitetaan kapselin sulkemishitsin eri ominaisuuksia, kuten mekaanisia ja kemiallisia ominaisuuksia, jäännösjännityksiä sekä virumis- ja korroosionkestävyyttä. Hitsin lähtötilan tietoja tarvitaan kapselin rakennesuunnitelmaan, joka laaditaan noin vuonna 2015.

Hitsausoperaattorien ja hitsaustyön koordinaattorin koulutus- ja pätevöintisuunnitelma laaditaan siten, että hitsausoperaattorit ja koordinaattori pystytään kouluttamaan laitteiston valmistuksen yhteydessä sekä pätevoittämään ennen hitsausmenetelmän pätevoittämistä tai yhdessä sen kanssa. Kehitystyössä laaditaan hitsausoperaattoreille ja koordinaattorille koulutusohjelma. Samalla laaditaan koulutussuunnitelma laitteistokoulutuksesta laitevalmistajan kanssa. Laitteistokoulutuksesta osa voidaan tehdä yhteistyökumppanin laitteistolla. Lopullinen laitteistokoulutus tehdään laitevalmistajalla sekä kapselointilaitoksessa varsinaisella kapselin sulkemislaitteistolla.

Hitsauslaitteiston toteutustasoinen tarkastus- ja hyväksymissuunnitelma käyttöönottoa varten laaditaan vuoteen 2018 mennessä. Hitsausnormistoissa asetetaan hitsauslaitteiston vaatimukset. Ne riippuvat valitusta menetelmästä: EBW-menetelmän vaatimukset määritetään viidessä standardissa (SFS-EN ISO 14744 sis. viisi osaa) ja FSW-menetelmän standardissa ISO DIS 25239-5. Näiden lisäksi kapselointilaitoksessa on lisävaatimuksia, joita ko. normistot eivät kata ja jotka tulee ottaa huomioon tarkastus- ja hyväksymissuunnitelmassa.

Kapselin tarkastustekniikoiden kehitystyö

Eri ainetta rikkomattomien NDT-menetelmien kehittäminen voidaan jakaa neljään vaiheeseen:

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

Ensimmäisen kolmivuotiskauden aikana keskitytään lähinnä kahteen viimeiseen vaiheeseen.

Painopiste tällä hetkellä on vian koon määrittämisen soveltamisessa kaikille komponenteille. Vian koon määrittämisessä keskitytään lähinnä kolmen erityyppisen menetelmän läpikäyntiin ja niiden arviointiin. Arvioitavat menetelmät ovat

- vian koon perusmäärittäminen mittausdatasta,
- koon määrittäminen SAFT (Synthetic Aperture Focusing Technique) -menetelmällä käyttäen vaiheistettuja ultraääniantureita (PA-SAFT, Phased Array Synthetic Aperture Focusing Technique), ja
- vian koon määrittäminen näytteistettyä, vaiheistutettua ultraäänitarkastusmenetelmää (Sampling Phased Array).

Vian koon määrittämisen luotettavuus on keskeisimpiä arviointikohteita ensimmäisen kolmivuotiskauden aikana.

Komponenttien ja hitsien hyväksyminen sekä hylkääminen tehdään käyttäen sovittuja hyväksymisrajoja, jotka voivat perustua esim. kuormitukseen ja kyseessä olevan materiaalin lujuuteen (sisäosa) tai pienimpään sallittuun jäljellä olevaan seinämän paksuuteen (kupari). Tämä vastaavasti on riippuvainen materiaalin sisältämisestä vioista. Hyväksymisprosessissa tarkastustulokset muunnetaan yhteismitallisiksi hyväksymisrajojen suhteen, jotta arviointi voidaan suorittaa ja tehdä selkeä päätös hylkäämisestä tai hyväksymisestä.

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 koko ohjelmakauden 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. Joitakin spesifisiä arviointeja tehdään ennen vuotta 2018, kuten säteilyn vaikutuksen tutkimista tarkastuksiin. Seuraavia NDT-menetelmien kehityskohteita ovat radiografiassa GaAs-suoramuuntodetektorin testaus ja visuaalitarkastuksessa kameratarkastusten soveltaminen komponenttien (kupariputkien, kuparikannen ja sisäosan) tarkastukseen. Valuaihion pintatarkastusta kehitetään tutkimalla kehitettyjen pyörrevirta-antureiden soveltuvuutta syvien pintavikojen koon määrittämiseen. Ultraäänitekniikassa testataan matriisivaiheistettua anturia ja sen käyttämistä hitsin vikojen havaitsemiseen ja koon määrittämiseen. Myös muita ultraäänianturityyppejä testataan. Pyörrevirtatarkastuksessa ohjelmistokehitys jatkuu vikojen analysoinnissa ja koon määrittämisessä.

Tarkastusohjeita optimoidaan ja niitä parannetaan jatkuvasti tekemällä tarkastuksia oikeaa kokoa vastaavilla koetuotantokomponenteilla ja hitseillä. Tavoitteena on myös täyttää vian havaitsemisen ja koon määrittämisen edellytykset sekä niiden edellyttämä vaatimustaso pätevöinnille. 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.

Loppusijoituskapselin tärkeimpien komponenttien Suomen pätevöintikäytännön ja ENIQ:n (the European Network for Inspection and Qualification) suositusten mukaisessa pätevöinnissä pätevöintiä 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 (Pitkänen 2012).

Pätevöintiprosessi sisältää vaativan aineiston koostamisen, kuten pätevöintilähtöaineiston luomisen, pätevöintisuunnitelman tekemisen, teknisten perusteluiden läpikäynnin eri menetelmille ja ohjeiden viimeistelyn. Aineistoon kuuluvat tarkastuskohteiden kuvaukset, tarkastusten tavoitteiden, etsittävien vikojen, havaitsemistavoitteiden sekä pätevöintitason määrittäminen, tekniset perusteluaineistot sekä tarkastusohjeet. Tavoitteena on saavuttaa ensimmäisen kolmivuotiskauden aikana

STUKin ohjeen YVL 3.8 mukainen päteväntävalmius sekä sulkemishitsien että kapselikomponenttien tarkastusmenetelmille.

Kapselointilaitokseen suunnitellut tarkastuslaitteistot ja -järjestelmät spesifioidaan kehitettyjen menetelmien antamien tulosten perusteella. Samoin tarjouspyyntöaineistot laaditaan ensimmäisen kolmivuotiskauden aikana. Laitteistojen käyttö ja päteväntävalmiudet asettavat vaatimukset tarkastajien koulutukselle ja kokemuksen keräämiselle tarkastuksista. Laitteistojen toimittajien valinta tulee ajankohtaiseksi rakentamisluvan saamisen jälkeen, jolloin määritellään rakentamisen laadunvalvonta ja suoritetaan laitteiden testaus eri olosuhteissa. Viimeinen testaus on laitosolosuhteessa tapahtuva testaus, joka suoritetaan laitteistojen asennuksen jälkeen kapselointilaitoksessa.

5.4.1.2 Puskuri

Bentoniittipuskurin suunnitteluraportti (Juvankoski 2012) kuvaa tämänhetkisen referenssiratkaisun. Suunnitelma päivitetään luvussa 5.4.2 esitettävien mallinnusten ja toimintakykyyn liittyvien tutkimusten, alla kuvatun suunnittelu- ja kehitystyön sekä laboratorio- ja täydessä mittakaavassa ONKALOSSA tehtävien testien tulosten perusteella. Suunnittelu- ja kehitystyön tavoitteena ensimmäisellä kolmivuotiskaudella on puskurin rakennesuunnitelmaan tarvittavan aineiston tuottaminen. Rakennesuunnitelmassa esitetään kaikille puskurin osille ja valmistusvaiheille hyväksymiskriteerit.

Rakennesuunnitelman tulee olla hyväksyttyä ennen varsinaiseen loppusijoituskäyttöön tulevien puskurikomponenttien valmistuksen aloittamista eli käytännössä viimeistään käyttöluvhakemuksen yhteydessä. Puskurin lopullinen suunnitelma esitetään myös käyttöluvhakemusaineiston osana olevassa lopullisessa turvallisuusselosteessa (FSAR), johon sisältyy kaikkien järjestelmien järjestelmäkuvaukset. Tähdättäessä loppusijoituksen aloittamiseen noin vuonna 2020, on puskurisuunnitelmat käytännössä jäädytettävä noin vuonna 2015, jotta koko loppusijoitusjärjestelmän toimintakyvyn arviointi ehditään suorittaa ja dokumentoida osaksi käyttöluvan hakemusaineistoa. Ennen kuin maanalaiseen yhteistoimintakokeeseen tarvittavia puskurikomponentteja voidaan valmistaa, pitää niiden rakennesuunnitelma olla hyväksytty.

Loppusijoitusreiän pohjan tasaisuus

Referenssisuunnitelman mukaan (Juvankoski 2012) bentoniittipuskurilohkojen ja asennettavan kapselin väliin jäävä rako on 10 mm. Kapselireiän seinämän pitää olla pystysuora. Puskurilohkojen ja loppusijoitusreiän kallioseinämän välisen raon vaihteluväli on määritelty 25–75 mm:ksi, jotta puskurin tiheysvaatimus pysyy sallituissa rajoissa. Tämä tarkoittaa, että loppusijoitusreiän pohjan suoruusvaatimus on 1/1 750. Koska loppusijoitustiloissa tulee välttää loppusijoitusjärjestelmään kuulumattomia aineita, erityyppisten tasoitteiden ja laastien vaihtoehtoksi suunnitellaan loppusijoitusreiän pohjan koneistamista määriteltyyn suoruusvaatimukseen. Vuosien 2013–2015 aikana suunnitellaan ja valmistetaan laite, jolla loppusijoitusreiän pohja saadaan koneistettua haluttuun suoruuteen ja karheustasoon.

Puskurin kosteussuojaus

Nykykäsityksen mukaan puskuri pitää tarvittaessa voida väliaikaisesti suojata asennuksen jälkeen loppusijoitusreiän vesivuodoilta ja mahdollisesti myös ilmankosteudelta ennen tunnelitäytön asennusta. Referenssiratkaisussa on kuvattu eräs tapa toteuttaa puskurin väliaikainen kosteussuojaus. Tämän tyyppisen suojauksen prototyypin valmistus- ja testaustyö on aloitettu. Suojauksen eri komponenttien yhteensopivuus ja toimivuus testataan aluksi laboratorio-olosuhteissa, minkä jälkeen testaus suoritetaan ONKALOn demonstraatiotunnelissa. Asennuskokeissa varmistetaan kosteussuojan yhteensopivuus myös muiden komponenttien ja laitteiden kanssa.

Puskurin kosteussuojan tarve määritellään tarkemmin tutkimalla vesivuotojen ja ilmankosteuden vaikutusta puskuriin ajan ja vuotomäärän funktiona. Näiden tulosten perusteella voidaan kosteussuojan käyttö rajata tietyn suuruisille vesivuodoille. Myös loppusijoitussekvenssiä voidaan muokata nykyisestä referenssistä siten, etteivät sallitut vesivuodot häiritse asennusta.

Puskurilohkojen ja loppusijoitusreiän välinen rako täytetään suunnitelman mukaan bentoniittipelleteillä. Pellettimateriaalina käytetään samaa raaka-ainetta kuin puskurilohkoissa. Koska sopivia pellettejä ei ole markkinoilla saatavilla, niiden valmistustapa selvitetään. Mahdollisia pellettien valmistusmenetelmiä ovat puristaminen ja pursotus. Puristusmenetelmällä voidaan vaikuttaa myös pellettien kokoon ja erityisesti muotoon, joka vaikuttaa pellettitäytön tiheyteen, lämmönjohtavuuteen, veden tunkeutumiseen pellettien sisään ja pellettien asennettavuuteen.

Pellettien kehityksessä tutkitaan eri menetelmillä valmistettujen pellettien ominaisuuksia, erityisesti pellettiin kastumisen alkuvaiheen kehitystä. Asennettavuuden kannalta testataan pelletin muototekijän vaikutusta.

Täyden mittakaavan puskuridemonstraatio

ONKALOn louhittuun demonstraatiotunneliin asennetaan referenssisuunnitelman (Juvankoski 2012) mukainen täyden mittakaavan puskuridemonstraatio. Kokeen tarkoituksena on osoittaa referenssisuunnitelman toteutettavuus sekä seurata puskurin alkuvaiheen käyttäytymistä. Työ on jatkoa vuonna 2011 ONKALOn tutkimustilaan 1 asennetulle 1/3-mittakaavan puskurikokeelle.

Kokeessa asennetaan täyden mittakaavan puskuri (lohkot ja pelletit). Asennukset tehdään pääosin puskurin asennukseen valmistetulla prototyyppiasennuslaitteella (ks. luku 4.4). Jos kokeessa käytetään esi-instrumentoituja lohkoja, niitä ei voida asentaa prototyyppiasennuslaitteella, jolloin niiden asennus tehdään erityisjärjestelyin. Ennen asennuksen aloittamista arvioidaan puskurin asennusaikaisen kosteussuojan tarve ja varaudutaan tarvittaessa sen käyttöön.

Kokeessa käytetään myös täyden mittakaavan kuparikapselia ja valurautaista sisäosaa. Kuparikapselia ei suljeta hitsaamalla vaan kannen kiinnitys tapahtuu pulttaamalla. Kapseli varustetaan (sähkö)lämmittimillä, joiden teho vastaa käytetyn ydinpolttoaineen

lämmöntuottoa. Asennusten vuoksi sisäosaa modifioidaan tarpeen mukaan mutta kapselin paino pyritään pitämään mahdollisimman lähellä oikeaa. Kapselin asennus tehdään kapselin asennukseen valmistetulla prototyypiasennusajoneuvolla (ks. luku 4.4).

Puskurikoe suljetaan vastapainokannella, joka sallii puskurin nousemisen tietyissä rajoissa. Sallituksi puskurin nousemaksi on määritelty tunnelitäytön kokoonpuristuvuus loppusijoitusreiän yläpuolella. Nouseminen ei ole vapaata, vaan se voi tapahtua vasta tietyn kynnyspaineen ylittyttyä.

Kokeen seuranta varten koeympäristö varustetaan erilaisilla sensoreilla. Seurannan tarkoituksena on seurata puskurin käyttäytymistä ja varmistaa, että se toimii alkuvaiheessa oletusten mukaisesti. Samalla saadaan kokemusta seurantainstrumentoinnin toimivuudesta. Tätä voidaan hyödyntää myös pidempiaikaisessa monitoroinnissa. Kokeesta seurataan mm. puskurin lämpötila- ja kosteusgradienttia sekä bentoniittipuskurin paisuessaan aiheuttamia radiaali- ja aksiaalivoimia. Kokeesta saatavia tuloksia sekä kokemuksia käytetään hyväksi maanalaisen yhteistoimintakokeen suunnittelussa.

Puskurin valmistuksen kehitys

Puskurilohkojen valmistuksen kehitystyössä valmistetaan ensimmäisellä kolmivuotiskaudella täyden mittakaavan puskurilohkoja isostaattisella puristusmenetelmällä. Tavoitteena täyden mittakaavan testeissä on varmistaa, että aikaisemmissa pienemmän mittakaavan testeissä saadut tulokset ovat vertailukelpoisia ja skaalattavissa täyteen mittakaavaan. Eri tekijöiden, kuten bentoniitin kosteuspitoisuuden, puristuspuheen ja raaka-aineen ominaisuuksien vaikutusta tutkitaan ja selvitetään, miten herkästi ne vaikuttavat puristetun lohkon ominaisuuksiin. Tarvittaessa tehdään valmistusprosessiin muutoksia, joiden avulla merkittävien tekijöiden vaikutus voidaan paremmin huomioida. Näin saadaan valmistusprosessin ohjeistukseen tarvittavaa tietoa valmistusprosessiin vaikuttavista tekijöistä ja niiden sallituista vaihteluväleistä.

Valmistuksen vaiheisiin kuuluu myös puristusprosessissa syntyneiden lohkoaihioiden koneistus. Tätä työtä varten kehitetään ensimmäisellä kolmivuotiskaudella puskurimateriaalille soveltuva koneistulaitteisto. Työssä tavoitteena on laitteisto, jolla voidaan työstää lohkoaihia riittävän tehokkaasti ja vaatimustenmukaisella tarkkuudella.

Saatujen tulosten perusteella arvioidaan isostaattisen menetelmän soveltuvuutta puskurilohkojen valmistukseen ja verrataan sitä SKB:n puskurilohkojen valmistukseen käyttämään yksiaksiaaliseen valmistusmenetelmään. Arviointityön tarkoituksena on varmistua ensimmäisen kolmivuotiskauden aikana siitä, että isostaattisella puristustekniikalla pystytään valmistamaan vaatimukset täyttäviä puskurilohkoja.

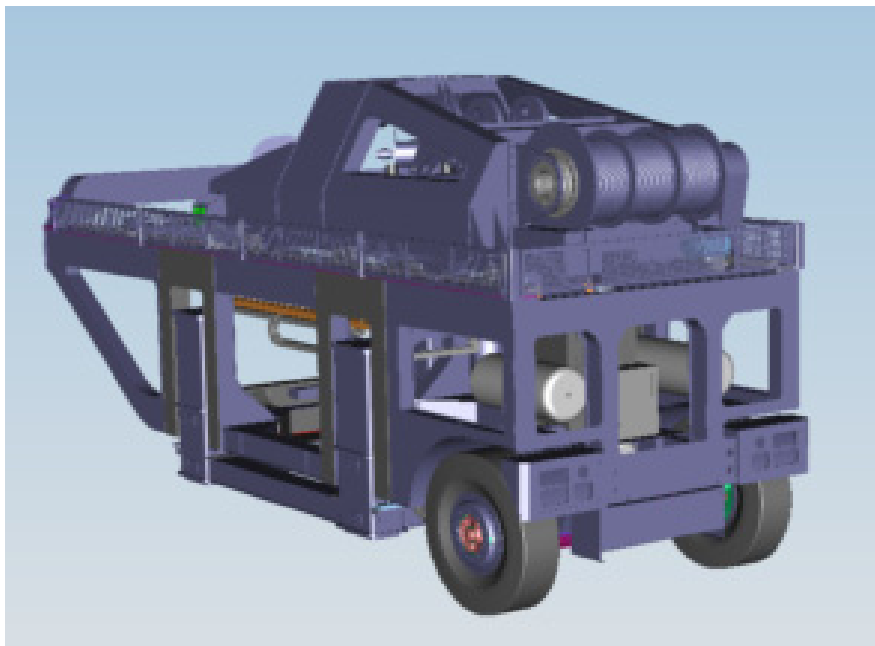
Loppusijoitustoimintaa palvelevaa puskurilohkojen valmistusta varten tehdään ensimmäisellä kolmivuotiskaudella selvitys myös lohkojen mahdollisista valmistajista ja paikoista. Vaihtoehtoina ovat lohkojen valmistus itse tai työn antaminen ulkopuolisen

valmistajan tehtäväksi. Paikka voi olla joko Olkiluodossa tai jossain muualla. Samassa yhteydessä tutkitaan sopivinta vaihtoehtoa puskurilohkojen ja kallion välisessä raossa käytettävien bentoniittipellettien valmistukseen.

Toisella kolmivuotiskaudella rakennetaan oma puskurikomponenttien valmistuslaitos tai annetaan valmistus ulkopuolisen toimittajan tehtäväksi. Päätös oman laitoksen valmistamisesta tulee tehdä ensimmäisen kolmivuotiskauden aikana, jotta laitos ehditään saamaan valmiiksi ja valmistusmenetelmä sekä tuotanto voidaan testata ja hyväksyttää STUKilla ennen maanalaisen yhteistoimintakokeen aloittamista.

Puskurin asennuksen kehitys

Puskurilohkojen asennusta kehitetään LUCOEX-projektissa vuosina 2011–2014. Projektin tulosten pohjalta siirrytään asennuslaitteiden kehitystyössä (kuva 5-2) ensimmäisen kolmivuotiskauden loppuosassa seuraavaan kehitysvaiheeseen, jossa tarkoituksena on testata asennusta tuotannollisen toiminnan näkökulmasta suuremmilla asennussarjoilla ja useammilla toistoilla. Testien tarkoitus on tutkia laitteiden toimivuuden lisäksi niiden kykyä asentaa puskurilohkoja suunnitelmien mukaisella tarkkuudella ja nopeudella niin, että tavoitteeksi asetetut laatuvaatimukset täyttyvät. Tämä edellyttää tarvittaessa LUCOEX-projektissa rakennettujen asennuslaitteiden muutostöitä tai uusien laitteiden rakentamista.



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

Toisella kolmivuotiskaudella valmistetaan lopulliset loppusijoitustoiminnassa käytettävät asennuslaitteet. Aikaisemmissa vaiheissa rakennetut laitteet hyödynnetään mahdollisuuksien mukaan.

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

Asennushäiriöiden hallinta

Ensimmäisellä kolmivuotiskaudella tehtävien asennuskokeiden aikana on mahdollista saada käsitys tekijöistä, jotka voivat aiheuttaa asennukseen viivytystä ja jopa lohkojen vaurioitumisen asennuksen aikana. Tarkastelun kohteena ovat syyt, joiden vuoksi asennus pitää keskeyttää ja tehdä tarvittavia korjaustoimia. Näiden tilanteiden ratkaisemiseksi kehitetään sopivia menetelmiä ja laitteita LUCOEX-projektissa. Tarvittaessa näitä laitteita testataan ja kehitetään lisää ensimmäisen kolmivuotiskauden loppupuolella.

Jälkimmäisellä kolmivuotiskaudella testataan lopulliset loppusijoitustoimintaan soveltuvat laitteet.

Puskurin laadunvarmistuksen kehitys

Puskurin laadunvarmistus sisältää materiaalihankinnan, lohkovalmistuksen, varastoinnin, kuljetuksen ja asennuksen vaiheet. Puskurilohkojen valmistuksen yhteydessä ensimmäisellä kolmivuotiskaudella saadaan kokemuksia laajemmassa mittakaavassa materiaalihankinnasta, puskurin valmistuksesta ja varastoinnista. Näiden perusteella voidaan arvioida tähän mennessä laadittuja laadunvarmistussuunnitelmia ja tehdä niihin tarvittavia muutoksia.

Jälkimmäisellä kolmivuotiskaudella voidaan testata laadunvarmistusmenetelmien toimivuutta.

Asennustekniikan kehitystyön yhteydessä ensimmäisellä kolmivuotiskaudella tutkitaan asennuksen laatua ja tarvittavia laadunvarmistustoimia. Saatujen tulosten perusteella arvioidaan suunniteltujen laadunvarmistusmenetelmien toimivuutta. Puskurin laatukäsikirjaa kehitetään näiden tulosten perusteella.

Jälkimmäisellä kolmivuotiskaudella testataan laadunvarmistusmenetelmien toimivuutta.

5.4.1.3 Loppusijoitustunnelien täyttö ja päätytulppa

Ensimmäisellä kolmivuotiskaudella loppusijoitustunneleiden täytön ja päätytulpan kehitys- ja tutkimustyötä tehdään rakennesuunnitelmien tuottamiseksi. Tähän työhön sisältyy sekä tunneleiden täytön että päätytulpan vaatimusten ja hyväksymiskriteerien määrittäminen. Vaatimusten pohjalta päivitetään olemassa olevat referenssisuunnitelmat sekä luodaan detaljisuunnitelmat toleransseineen. Jälkimmäisellä kolmivuotiskaudella loppusijoitustunneleiden täytön ja päätytulpan järjestelmistä tuotetaan lopulliset järjestelmäkuvaukset.

Täyttösuunnitelman ratkaistaviin asioihin ensimmäisellä kolmivuotiskaudella kuuluu täytön pääkomponenttien (lohkotäyttö, pellettitäyttö ja lattian tasauseros) materiaalien valinnat perustuen edellä mainittuihin vaatimuksiin. Tähän työhön sisältyy soveltuvien

materiaalien ja materiaalitoimittajien kartoitus, vaihtoehtoisten materiaalien tutkimus ja materiaalien vaatimustenmukaisuuden todentaminen. Lattian tasauskerroksen tarve ja lopullisen suunnitelman mukainen kerrosvahvuus arvioidaan ottaen huomioon vaatimukset, mutta myös louhinnassa ja kallionpinnan jälkityöstössä saavutettava louhitun kalliopinnan tasaisuus.

Ensimmäisellä kolmivuotiskaudella etsitään ratkaisuja täyttötoiminnan aikaisten vuotovesien hallintaan siten, että täyttötoiminta voidaan suorittaa tunneleihin mahdollisesti tulevista vuotovesistä huolimatta. Vuotovesien hallitsemiseksi tutkitaan eri ratkaisuvaihtoehtoja, kuten vesivuotojen ohjaamista tasaisesti laajemmalle alueelle täytön ja kallion rajapinnalla sekä erilaisia patoratkaisuja. Kehitystyön tuloksena esitetään vuotovesien hallitsemiseksi vaihtoehtoisia ratkaisuja, joista yksi tai useampia valitaan testattavaksi täyttötestien yhteydessä.

Loppusijoitustunnelin päätytulpan yksityiskohtainen suunnittelu, mukaan lukien betonireseptin kehitys, toteutetaan ensimmäisellä kolmivuotiskaudella. Suunnittelun tuloksena tulpasta voidaan esittää yksityiskohtaiset piirustukset sekä rakenne- ja työsuunnitelmat.

Ensimmäisen kolmivuotiskauden aikana tuotetaan täytölle ja päätytulpalle laatukäsikirja, joka sisältää kaikille komponenteille omat laatusuunnitelmat. Lisäksi laatudokumentteihin sisältyy kullekin komponentille spesifikaatiot, piirustukset, menetelmäohjeet ja laadunvalvontasuunnitelmat. Laadunvalvontamenetelmiä kehitetään ja testataan komponenttien testauksen yhteydessä. Laatukäsikirjaa, -suunnitelmia ja laatudokumentteja tarvitaan rakennesuunnitelmia varten ja niitä noudatetaan soveltuvien osin täyttötöstejä ja yhteistoimintatestiä tehtäessä. Jälkimmäisen kolmivuotiskauden aikana laaditaan lopullinen laatukäsikirja liittyvine dokumentteineen, joita noudatetaan varsinaisen loppusijoitustoiminnan alkaessa.

Ensimmäisen ja jälkimmäisen kolmivuotiskauden aikana suoritetaan täyttökomponttien testaus ONKALON demonstraatiotunneleissa. Testit ovat ensimmäisessä vaiheessa yksittäisten komponenttien toteutukseen ja asennukseen liittyviä testejä. Testit suunnitellaan ja pääsääntöisesti toteutetaan ensimmäisen kolmivuotiskauden aikana, jolloin luodaan testisuunnitelmat sekä testien laadunvalvontasuunnitelmat. Komponenttikohtaisia testejä tehdään kaikille täytön komponenteille; lattian tasauskerrokselle, lohko- ja pellettitäytölle sekä myös loppusijoitustunnelin päätytulpalle. Näiden jälkeen tehdään täyden mittakaavan täyttötesti, jossa toteutetaan kaikkien täyttökomponttien asennus yhdessä sekä päätytulpan rakentaminen.

Täytön asennuslaitteiden prototyypit suunnitellaan ensimmäisellä kolmivuotiskaudella (ks. luku 6.4.5.4). Lohkoasennuksessa tehdään valinta käytettävästä asennuskonseptista, mahdollisia konsepteja ovat lohkojen asentaminen yksitellen tai suurempina yksikköinä. Myös lohkoasennuslaitteen prototyypin valmistaminen ja tehdastestaus suoritetaan ensimmäisellä kolmivuotiskaudella, ja prototyypilaitteistoa sekä testataan että käytetään tunneliolosuhteissa täytön komponenttikohtaisten testien yhteydessä ONKALOSSA. Pellettien asennuslaitteen prototyyppi suunnitellaan ja valmistetaan yhdessä lohkojen asennuslaitteen kanssa. Lattian tasauskerroksen ja

loppusijoitustunnelin päätytulpan asentamisessa tarvittavat laitteistot identifioidaan testisuunnitelmien tuottamisen yhteydessä ja mahdolliset uusien laitteiden kehitystarpeet huomioidaan. Asennuslaitteiden prototyypeistä saadaan kokemusta komponenttikohtaisten testien yhteydessä ja kehitystarpeet huomioidaan käyttötoimintaa varten hankittavien asennuslaitteiden suunnittelussa jälkimmäisellä kolmivuotiskaudella.

Lattian tasauskerroksen asennusta testataan ensimmäisen kolmivuotiskauden aikana. Näiden testien tarkoituksena on osoittaa lattian tasauskerroksen referenssisuunnitelman toteutettavuus. Käytännössä testataan asennuslaitteiden, työmenetelmien ja laadunvalvontamenetelmien soveltuvuutta ONKALOn olosuhteisiin. Lisäksi mitataan tasauskerrokselle saavutettava tiheys, tasaisuus ja kantokyky. Vesivuotojen vaikutusta kerroksen käyttäytymiseen testataan varsinaisen asennuskokeen jälkeen.

Ensimmäisen kolmivuotiskauden aikana testataan lohkojen asennusta asennuslaitteen prototyypillä. Näiden testien tarkoituksena on osoittaa lohkotäytön referenssisuunnitelman toteutettavuus ja testata laadunvalvontamenetelmien soveltuvuutta. Ensin testataan lohkojen asennusta ilman lattian tasauskerrosta maanpäällisissä tiloissa. Tämän testin aikana kehitetään työmenetelmiä ja selvitetään lohkojen asennustoleransseja tasaisen lattian päällä. Toisessa vaiheessa lohkojen asennuskokeet toistetaan ONKALOSSA. Tässä tapauksessa alustana on lattian tasauskerros ja testissä tutkitaan työmenetelmien ja asennustoleranssien lisäksi lattian tasauskerroksen vaikutusta lohkoasennukseen.

Pellettien asennusta testataan asennuslaitteen prototyypillä aluksi keinotekoiseen rakenteeseen, joka simuloi lohkojen ja kallion välistä tilaa. Näiden testien aikana kehitetään työ- ja laadunvalvontamenetelmiä sekä mitataan saavutettava pellettitäytön tiheys. Edellä kuvattujen ONKALOSSA tehtävien lohkojen asennustestien yhteydessä suoritetaan asennuskokeita, joissa pelletit asennetaan lohkojen ja kallion väliin. Näiden testien tarkoituksena on osoittaa pellettitäytön referenssisuunnitelman toteutettavuus.

Loppusijoitustunnelin päätytulppa toteutetaan ONKALOSSA täyden mittakaavan komponenttikohtaisena testinä ensimmäisellä kolmivuotiskaudella. Tämän testin tarkoituksena on:

- testata päätytulpan paikan louhintaa (osana kalliotilojen ja kalliorakentamisen kehitystyötä),
- testata päätytulpan rakennettavuutta, työ- ja laadunvalvontamenetelmiä,
- seurata päätytulpan betoniosan kovettumista ja kutistumista,
- testata päätytulpan betoniosan mekaanista lujuutta ja
- testata päätytulpan vesitiiveyttä.

Testin kokemusten perusteella yksityiskohtainen tulppasuunnitelma päivitetään ja suunnitelmaan tehdyt muutokset arvioidaan päätytulpan jatkokehityksen aikana. Päivitetyt suunnitelman mukainen päätytulppa rakennetaan ONKALOON täyden mittakaavan täyttötestin yhteydessä.

Komponenttikohtaisten testien jälkeen ONKALON demonstraatiotunnelissa tehdään täyden mittakaavan täyttötesti, johon asennetaan loppusijoitustunnelin

täyttökomponeenttien lisäksi tunnelin lattiaan porattuun loppusijoitusreikään puskurilohkot ja testin suulle loppusijoitustunnelin päätytulppa. Täyttökomponeentit asennetaan täytön asennuslaitteita käyttäen. Tällä testillä osoitetaan täytön referenssisuunnitelman toteutettavuus sisältäen kaikki täyttökomponeentit. Testillä varmistetaan, että komponentit voidaan asentaa yhteen ja laatu voidaan varmentaa jokaisessa työvaiheessa laatusuunnitelmien mukaisesti. Tämän jälkeen testiin voidaan johtaa vettä, ja täytön ja sulkurakenteen toimintaa monitoroida asennetun instrumentaation avulla.

Komponenttikohtaisten testien yhteydessä kehitetään loppusijoitustunnelin täytön ja päätytulpan monitorointimenetelmiä sekä testataan niiden toimivuutta. Testisuunnitelmien luonnin yhteydessä valitaan komponenttikohtaisesti monitoroitavat suureet. Täytön komponenttikohtaisilla testeillä sekä monitorointimenetelmien kehityksellä valmistaudutaan sekä edellä kuvattuun täyttötestiin että maanalaiseen yhteistoimintatestiin. Lisäksi monitorointimenetelmien kehityksellä ja testauksella valmistaudutaan esittämään suunnitelma teknisten päästöesteiden monitoroinnille käyttövaiheessa. Demonstraatiotunneleissa tehtävien testien tuloksia ja saatavia kokemuksia käytetään hyväksi maanalaisen yhteistoimintakokeen suunnittelussa.

Täyteainelohkojen valmistuskokeita jatketaan seuraavan kolmivuotiskauden aikana täytön 2012 suunnitelmassa (Autio ym. 2012) määritellyllä lohkokokoolla. Lohkoja tuotetaan ONKALOSSA tehtäviä testejä varten ja samalla kehitetään ja optimoidaan valmistus- ja laaduntarkastusprosesseja. Pidemmällä aikavälillä valmistaudutaan valmistukseen teollisessa mittakaavassa.

5.4.1.4 Loppusijoitustilojen sulkeminen

Loppusijoitustilojen sulkemiselle on asetettu vaatimukset ja niiden pohjalta on esitetty vaatimukset täyttävä sulkemistrategia. Käytännössä tiloja suljetaan keskustunnelien osalta vasta useiden kymmenien vuosien kuluttua ja maanpintayhteyksien osalta vasta 2100-luvulla. Yksityiskohtaisia rakennesuunnitelmia näille järjestelmille ei siten laadita vielä tällä vuosikymmenellä. Sulkemissuunnitelmien osalta valmistaudutaan seuraavalla ohjelmakaudella käyttöluopahakemuksessa tarvittavien dokumenttien laadintaan.

Kallioperäolosuhteet ovat toimineet tilojen sulkemisen vaatimusten taustana. Tilojen sulkemistrategia päivitetään tarvittaessa vastaamaan uusia vaatimuksia. Murskeiden ja bentoniittien sekoituksia ja niiden toimintakykyä selvitetään jatkossa, koska kiviaineksen käytöllä on hyviä puolia liittyen täytön eroosioon ja kulkeutumiseen tunnelista rakoverkostoon. Nykyiset asennusmenetelmät eivät ole optimoituja suhteellisen suurille kallioilavuuksille ja alan kansainvälistä kehitystyötä seurataan ja tarvittaessa tehdään testejä Suomessa. Pääosin testaustoiminta kuitenkin liittyy pitkäaikaisen toimintakyvyn varmistamiseen ja materiaaliominaisuuksien varmentamiseen ja testit tehdään laboratorio-olosuhteissa.

Viime vuosina on käynnistynyt tai on parhaillaan käynnistymässä täyden mittakaavan testejä ja demonstraatioita liittyen loppusijoitustilojen, tunnelien ja kuilujen tulppaamiseen ja sulkemiseen. Posiva osallistuu kanadalaisen AECL:n Underground Rock Laboratoryn (URL) sulkemisen yhteydessä toteutetun kuilujen sulkemiskokeen seurantaan ja monitorointiin (Enhanced Sealing Project). Kokeessa on eristetty

bentoniitin ja murskeen seoksella vettä johtava rakovyöhyke, jonka ylä- ja alapuolelle on valettu betoniset tulpat vuonna 2009. Posiva myös koordinoi eurooppalaista DOPAS-tutkimushanketta 2012–2016, jonka puitteissa testataan erilaisia tulppia täydessä mittakaavassa (mm. ONKALossa ja Äspössä toteutettavat loppusijoitustunnelien tulpat). DOPAS-hankkeesta saadaan myös tietoa hydraulisten tulppien tarkempaa suunnittelua varten ja kokemusta matalan pH:n sementin käytöstä ja toiminnasta erityyppisissä tulpissa.

Tutkimuskairareikien sulkemisen vaatimustenmukaisuuden osoittaminen ja asentamisen onnistumisen testaaminen ovat keskeisiä tehtäviä nykyisen ratkaisun jatkokehityksen pohjaksi. Kairareikien sulkemiselle on luotu strategia, joka sisältää vaatimukset, kriteerit ja reikäkohtaiset suunnitelmat (Karvonen T. H. 2012). Asentamismenetelmän testaaminen on samalla ajankohtaistunut. Menetelmätestauksen ohella selvitetään mahdollisuudet ONKALOn kairareiässä OL-KR24 syvyydelle -510...-530 m asennetun testin irtikairaukseen. Testi koostuu Basic-menetelmällä asennetuista MX-80-lohkoista valmistetusta täyttöosuudesta ja matalan pH:n betonista valetusta tulpasta täyttöosuuden ylä- ja alapuolella. Materiaali on ollut reiässä asennettuna 7 vuotta vuonna 2013, joten tulpasta otettavien näytteiden tutkiminen ja analysointi, jos irtikairaus on mahdollista, tuottaa arvokasta lisätietoa täyttömateriaalin ja tulppamateriaalin toimintakyvystä ja ominaisuuksista asennuksen aikana ja asentamisen jälkeen. Samalla saadaan varmennettua asentamisen jälkeisen alkutilan onnistuminen.

Uusien kenttäkokeiden suunnittelun ja käynnistämisen tavoitteena asentamisen menetelmätestaus ja myös tulpparatkaisun toiminta on ajankohtaista vasta, kun OL-KR24:n sulkemistestin materiaalien toimivuus on todennettu. Kairareikien täyttömateriaalin pinnoittamisen mahdollisuus asentamisen helpottamiseksi tulee myös selvittää ennen menetelmätestausta. ONKALOn toteutuksen yhteydessä tehtävissä pilottikairauksissa on mahdollista hyödyntää maanalaisten reikien sulkemiseen liittyvää testaustoimintaa.

5.4.2 Loppusijoitusjärjestelmän toimintakyky

5.4.2.1 Loppusijoituskapseli

Kapselin toimintakykytutkimukset liittyvät läheisesti edellä kuvattuun kapselin kehitystyöhön. Etenkin kapselin mekaanisiin ominaisuuksiin ja sen korroosionkestävyyteen liittyvä työ on tärkeää myös kapselin pitkäaikaisen toimintakyvyn kannalta. Myös kapselin alkutila vaikuttaa sen toimintakykyyn, joten hitsaukseen ja NDT-tarkastuksiin sekä niiden luotettavuuteen liittyvä työ on tärkeää kapselin toimintakyvylle. Kapselissa mahdollisesti alun perin esiintyvien (lävistävien tai ei-lävistävien) vikojen eliminointi on keskeisen tärkeää kapselin toimintakyvyn kannalta, koska viat voisivat johtaa kapselien tiiveyden menetykseen ja radionuklidien vapautumiseen odotettua aikaisemmin.

Jäännösjännitysten esiintyminen hitsissä voi aiheuttaa jännityskorroosiota (ympäristöolosuhteista riippuen), mikä vaikuttaa kuparivaipan korroosionkestävyyteen. Selvityksiä kapselin elektronisuihkuhitsattuun hitsiin jäävistä jäännösjännityksistä jatketaan alkavalla ohjelmakaudella. Työssä arvioidaan jäännösjännitysmittausten perusteella hitseihin jääneiden jännitystasojen pitkäaikaisturvallisuusvaikutuksia ja

erityisesti sitä, aiheutuuko jännitystasoista kuparille jännityskorroosioriski. Tuloksia käytetään hyväksi kuparivaipan sulkemismenetelmän valinnassa vuonna 2013.

Vuonna 2007 aloitettuja elektronisuihkuhitsattujen näytteiden virumiskokeita jatketaan, jotta saadaan lisää tietoa kapselin eliniän mallintamista varten. Näiden kokeiden tarkoituksena on arvioida pitkäaikaisen virumisen vaikutusta kapselin odotettavissa olevaan elinikään. Tuloksia käytetään kuparivaipan sulkemismenetelmän valinnassa 2013.

Tutkimuksia kapselin vauriomekanismeista jatketaan seuraavalla ohjelmakaudella erilaisten korroosimuotojen poissulkemiseksi. Eräissä hapettomissa vesiympäristöissä tehdyissä 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 VTT:llä monivuotiset kokeet kuparin korroosiosta hapettomassa vesiympäristössä. Työssä toistetaan Hultquistin ym. (2009) julkaisemia kokeita. Seuraavan ohjelmakauden aikana julkaistaan em. kokeen välituloksia työraporteissa. Lisäksi kokeen päättyessä kaikki saadut tulokset kootaan yhteen ja raportoidaan. Edellä mainittuja sekä mahdollisesti muista kokeista saatavia tuloksia käytetään käyttöluvan yhteydessä tehtävässä turvallisuusarviossa.

Kuparin yhdistetyn potentiaalimallin kehitystyötä jatketaan ja mallia päivitetään edellisen mallinnustyön (King 2007) jälkeen saaduilla kokeellisilla tulostiedoilla. Mallin avulla voidaan ennustaa kuparin korroosipotentiaalin kehitystä (sisältäen sekä anodisen että katodisen reaktion) kompaktoidussa bentoniitissa.

Kuparin korroosion keskeisimmät asiat on käsitelty raportissa King ym. (2011).

5.4.2.2 Puskuri ja täyttö

Puskurin, täytön ja niiden eri komponenttien suunnittelu on edistynyt huomattavasti viimeisten kolmen vuoden aikana. Päivitettyjen suunnitelmien pohjalta on tehty toimintakykytutkimuksia, joiden tuloksia on raportoitu mm. *Performance Assessment* -raportissa. Esimerkiksi puskurin ja täytön paisuntapaineen saavuttaminen loppusijoitustiloissa odotettavissa olevissa olosuhteissa (veden virtaus, saatavuus ja kemia) on pystytty osoittamaan sekä laboratoriokokeissa että HM- (hydraulis-mekaanisella) mallinnuksella.

Savimateriaalien mekaanista eroosiota kanavoitumisen seurauksena on tutkittu ja tähänastiset tulokset raportoidaan rakentamislupahakemuksen jättämisen yhteydessä. Eroosiosta johtuvalla massahäviöllä ei alustavien tutkimustulosten perusteella näytä olevan huomattavaa vaikutusta puskurin tai täytön toimintakyvyn kannalta vaadittavaan tiheyteen.

Puskurin ja täytön käyttäytymistä ajan funktiona on analysoitu T-H-C (termo-hydro-kemiallis) -mallinnuksella. Sen reunaehtoina on käytetty Olkiluodon pohjaveden virtaus-

ja kemiallisia olosuhteita. Mallinnustulosten perusteella puskuri ja täyttö näyttäisivät toimivan odotetulla tavalla ja säilyttävän toimintakyvyn pitkällä aikavälillä.

Tulevalla ohjelmakaudella tehtävä työ keskittyy vähentämään jäljellä olevia epävarmuuksia ja siten lisäämään esitettävien suunnitelmaratkaisujen luotettavuutta. Lisäksi selvitetään, voidaanko savimateriaalien valintaa optimoida paisumispaineeseen ja diffusiviteettiin vaikuttavien tekijöiden avulla (esim. molekyyliidynaamisen mallinnuksen avulla).

Erityisesti pitkäaikaisia kokeita Olkiluodon pohjaveden virtaus- ja kemiallisia olosuhteita vastaavissa olosuhteissa ja ONKALOSSA tehtävien demonstraatioiden etukäteissimulointeja on suunniteltu tehtäväksi vuosina 2013–2015. Näiden pohjalta tehtävät mallinnukset ovat käytettävissä käyttölupahakemusta varten tehtävässä turvallisuusarviossa Nykyiselle täyttömateriaalille vaihtoehtoisten savimateriaalien tutkimukset aloitetaan näiden rinnalla. Tulevan kauden tutkimuskohteita ovat myös puskurin ja täytön geokemiallinen evoluutio kehityskulun aikana, erityisesti puskurin ja täytön huokosveden kehittyminen sekä mikrobitoiminnan aiheuttama sulfidituotanto puskurissa ja täyteaineessa.

Posiva osallistuu myös kansainvälisen EBS-mallinnustyöryhmän toimintaan (EBS Task Force), missä päämääränä on parantaa eri prosessien, kuten esimerkiksi saturaation, homogenisaation, huokosveteen liuenneiden aineiden kulkeutumisen yms. ymmärtämistä ja siten lisätä mallinnuksen luotettavuutta.

Tulevissa toimintakykytutkimuksissa jää vielä tarkennettaviksi asioiksi luvussa 4.6 esitetyt asiat. Tehtävien keskeisempänä tarkoituksena on osoittaa, että vapautumisesteiden toimintakykytavoitteet ja niitä ilmaisevat tavoiteominaisuudet saavutetaan odotetuissa kehityskuluissa ja vaihtoehtoista tai rajaavista olosuhteissa. Toimintakykytutkimusten osa-alueita ovat:

- konseptuaalisen mallin kehittäminen,
- numeeristen mallien ja simuloinnin kehittäminen,
- mikäli tarkasteltavien asioiden luonteesta johtuen analyttistä ratkaisua ei ole, pyritään ne simuloimaan tietokoneella,
- odotettavissa olevia olosuhteita ja loppusijoitusratkaisua edustavat kytketyt kokeet,
- odotettavissa olevissa olosuhteissa tehtävät loppusijoitusratkaisua rajoitetusti edustavat kokeet, ja
- vaihtoehtoisia tai rajaavia olosuhteita edustavat kokeet.

Mekaaninen eroosio

Konseptuaalisen mallin kehitystä jatketaan hankkimalla lisää erityisesti suuremman mittakaavan kokeellista aineistoa.

Konseptuaalisen mallin kehittämisen tavoitteet ovat

- auttaa koetulosten tulkinnassa,
- perustella mekaaniseen eroosioon liittyvien turvallisuustoimintojen tilaa indikoivien muuttujien mahdollisia vaihteluvälejä eli rajata ne olosuhteet, joissa mekaanista eroosiota tapahtuu, ja

- relevanttien reunaehtojen perusteleminen.

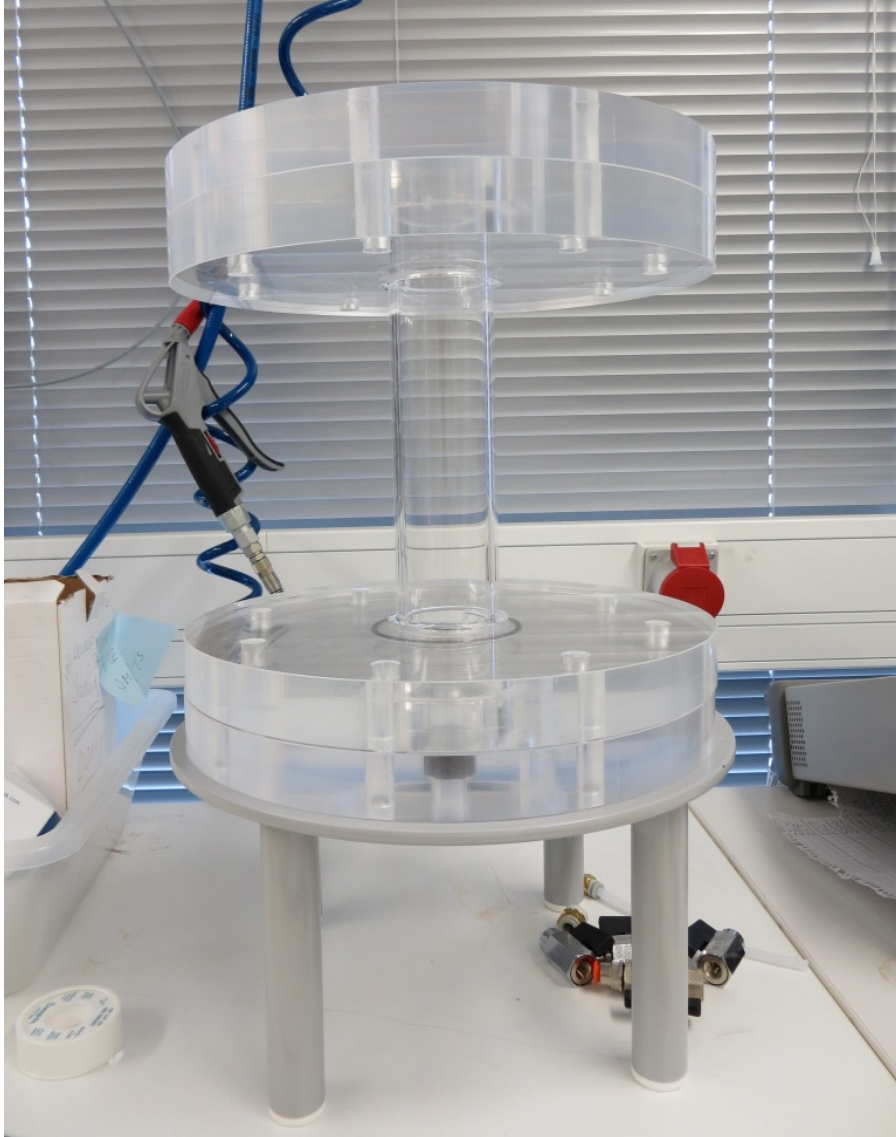
Tällä tavalla on mahdollista varmistua nykyistä paremmin eri tekijöiden muutoksista aiheutuvista seurauksista mitattuun aineistoon.

Pienessä mittakaavassa tehtyjen kokeiden edustavuuden varmistamiseksi jatketaan kokeita niiden mahdollisen toistamisen lisäksi entistä suuremmassa mittakaavassa (kuva 5-3).



Kuva 5-3. Eroosionopeutta mittaava koejärjestely. Kokeessa mitataan lisäksi mm. kanavan pituus ja leveys. Kuvien kokeessa veden virtaama on 0,1 l/min ja liuoksen suolaisuus 10 g/l (NaCl).

Myös kanavien syntymisen tutkimiseen sekä saven tunkeutumisen tutkimiseen loppusijoitustiloja leikkaaviin rakoihin on kehitetty mittauslaitteisto (kuva 5-4). Kokeita tehdään eri savimateriaaleille ja niissä muunnellaan eroosiolle keskeisiä parametreja, kuten virtaamaa ja veden suolaisuutta.



Kuva 5-4. Koejärjestely, jolla tutkitaan veden virtauksessa olevien bentoniittihiukkasten kykyä tiivistää kalliassa olevia rakoja.

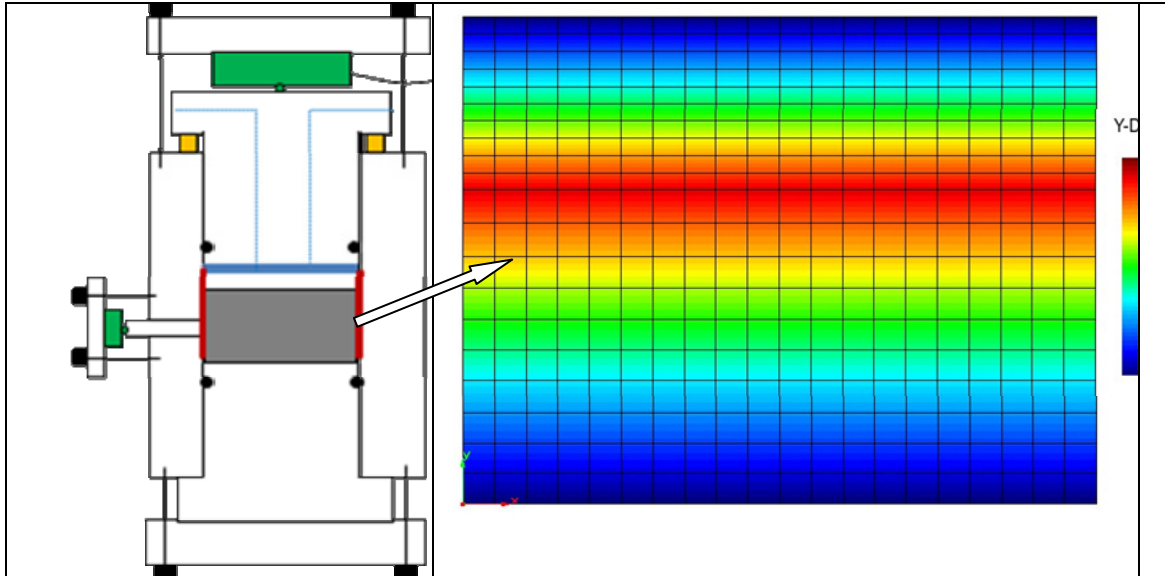
Tuloksia käytetään hyväksi puskurin, täytön ja sulkemisen teknisten ratkaisujen päivityksissä sekä käyttöluvahakemusta varten tehtävässä turvallisuuden arvioinnissa.

Homogenisoituminen (ja paisuntapaineen kehittyminen)

Täyttö- ja puskurimateriaalien homogenisoitumiseen vaikuttavien prosessien ymmärtämisen lisäämiseksi jatketaan 2012 aloitettuja homogenisaatiokokeita eri mittakaavoissa. Keskeisin seurattava suure on kiintoainetiheys lohko-, pelletti- ja *in situ*-kompaktoiduissa materiaaleissa sekä paikallisissa poikkeamissa (kuten erodoituneen kanavan kohdalla).

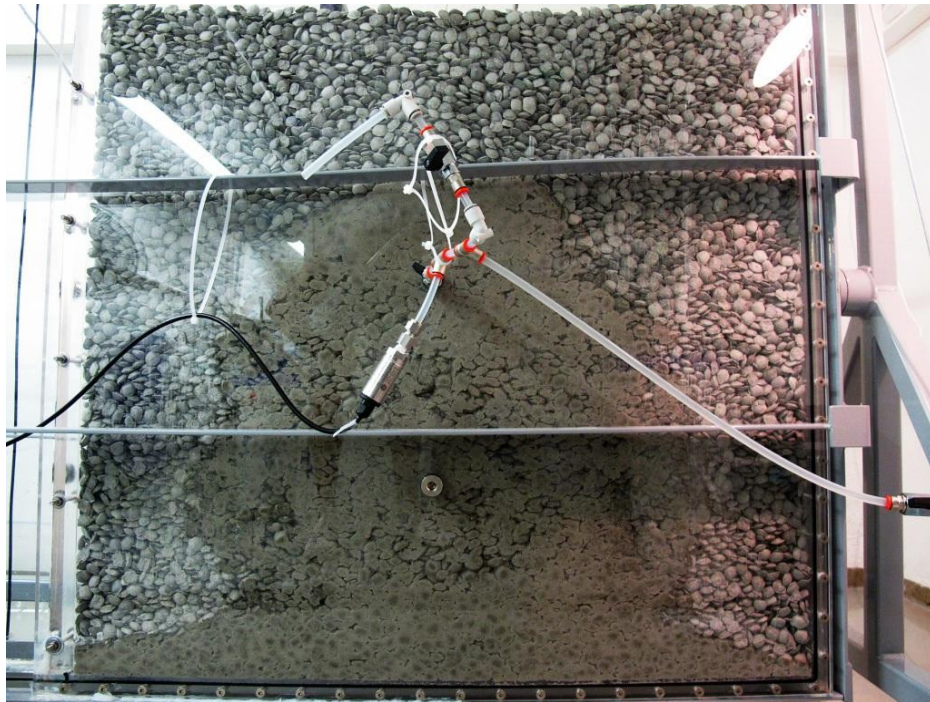
Yhtenä homogenisaatioon liittyvänä prosessina tutkitaan vuotovesien absorboitumista sijoitusreiässä olevaan puskuriin (sekä puskurilohkot että raon pellettitäyttö). Työn tavoitteena on selvittää eri suuruisten vuotovesimäärien vaikutus puskurin toimintaan

asentamisen jälkeen ja tarkentaa tietoa erityisesti pienten vuotovesimäärien vaikutuksesta asentamisen jälkeen. Kuvassa 5-5 nähdään veden absorboitumisesta seurauksena olevan paineen nousu ja siitä aiheutuva bentoniitin paisuminen (Y-Displacements).



Kuva 5-5. Homogenisaatio-koelaitteisto (vasemmalla) ja siirtymää kuvaava mallinnustulos muutaman viikon saturaation jälkeen (oikealla). Koe on osa kansainvälistä EBS Task Force yhteistyötä.

Toisena erityisenä prosessina tutkitaan veden imeytymistä puskurin ja kallion välissä olevaan pelleteillä täytettyyn rakoon (kuva 5-6).



Kuva 5-6. Infiltraatiotesti, jossa tutkitaan veden imeytymistä puskurin ja kallion välisen raon pelletitäyttyyn.

Laboratorio-olosuhteissa kokeita tehdään täydessä mittakaavassa hyödyntäen teknisten ratkaisujen symmetrisyyksiä (esim. puskurin tangentin suuntainen ja täytön tunnelin suuntainen symmetrisyys) koejärjestelyjen fyysisen koon pienentämiseksi. Tämän lisäksi kokeita tehdään pienessä mittakaavassa käsittäen merkittävästi suuremman osan loppusijoitusreiästä ja/tai -tunnelista. ONKALOSSA olevaa noin 1/3-mittakaavan puskurikoetta jatketaan saturaatioasteen nostamiseksi niin korkeaksi, että homogenisaatiosta on mahdollista saada havaintoja, sekä käynnistetään täydenmittakaavan kokeita. Näiden kokeiden mallintamiseksi ja erityisesti mallinnusvalmiuksien edelleen kehittämiseksi jatketaan mallien kehitystyötä sekä osallistutaan edelleenkin EBS Task Forcen homogenisaatiotestitapausten mallinnusryhmän toimintaan.

Puskurin ja täytön rajapinnan käyttäytymiseen vaikuttavista tekijöistä ja suunnitteluparametreista haetaan lisätietoa numeerisilla herkkyystarkasteluilla. Niissä käytetään hyväksi Leonin (2012) kehittämää mallinnusmenetelmää. Sen validoimiseksi tehdään laboratorioskokeita. Lisäksi puskurikalliorajapinnan toiminnasta saadaan lisätietoa Äspön kalliolaboratorion Prototype Repositoryn purkamisesta, johon Posiva osallistuu. Kokeiden sekä mallinnusten tuloksia hyödynnetään puskurin, täytön ja sulkemisen suunnitteluratkaisuissa sekä RSC:n kehittämisessä.

Kemiallinen eroosio

Hyvin laimean pohjaveden ja bentoniitin vuorovaikutuksesta aiheutuvaan kemialliseen eroosioilmiöön – niin kokeelliseen dataan kuin käytettyihin malleihin – liittyy tällä hetkellä epävarmuuksia. Konseptuaalisen mallin kehitystä ja sen numeerista toteutusta jatketaan. Syitä havaittuihin koe- ja mallinnustulosten eroavuuksiin selvitetään ja siksi erityisesti dynaamisen¹ skaalautuvuuden arvioimiseksi konseptuaalisen mallin kehittämistä jatketaan. Uusia konseptuaalisia malleja testataan validoimalla niiden numeerinen toteutus pienen mittakaavan kokeiden avulla. Kuvassa 5-7 on esitetty bentoniitin eroosiota laimeaan veteen n. 1/90-mittakaavan koelaitteistossa.

Vastaavasti pienen mittakaavan kokeita jatketaan keskittyen keskeisesti vaikuttavien voimien löytämiseen eri parametrien erilaisilla arvoilla. Työ tehdään pääasiassa osana EU:n BELBaR-projektia, joka jatkuu vuoteen 2016 saakka.

Posiva on mukana Grimselin kalliolaboratorion CFM (Colloid Formation and Migration) -projektissa, jossa tutkitaan *in situ* -kokeilla kolloidien sekä radionuklidien vapautumista bentoniitista ja niiden kulkeutumista luonnollisessa kallioraossa.

Kokeiden ja mallinnusten tuloksia hyödynnetään käyttöluvan hakemisen yhteydessä tehtävässä turvallisuusperustelussa arvioitaessa kemiallisen eroosion vaikutuksia loppusijoitusjärjestelmän pitkäaikaisturvallisuuteen.

¹ Dynaaminen skaalaus: ilmiöiden eri ajavat voimat ovat eri mittakaavoissa tehtävissä kokeissa samassa suhteessa, jolloin virtaavissa/muokkautuvissa järjestelmissä eri kohtien suhteelliset liikkeet/siirtymät ovat yhtä suuria ja ilmiöt skaalautuvat dynaamiselta kannalta oikealla tavalla.



Kuva 5-7. Koelaitteen keskellä oleva bentoniittinäyte on erodoitunut kemiallisesti 1 mm raossa muodostaen ilmiölle tyypillisiä vaihtumisvyöhykeitä.

Sementistä liuenneiden aineiden ja silika solin vuorovaikutus savien kanssa

Sementistä liukenevien aineiden vapautumiseen ja kulkeutumiseen loppusijoitustunneleihin ja -reikiin liittyy joitain epävarmuuksia. Pessimistisiin oletuksiin perustuvilla tarkasteluilla liukenevien aineiden vaikutukset bentoniittiin näyttävät kuitenkin olevan merkityksettömän pieniä (*Performance Assessment*). Arvioinnissa käytetty sementin rapautumismalli (mm. Soler 2010) ja oletukset tarkistetaan ja raportoidaan yksityiskohtaisesti seuraavan ohjelmajakson aikana.

Performance Assessment -raportissa sementistä liuenneiden aineiden ja bentoniitin vuorovaikutuksen arvioinnissa käytetyn massatasemenetelmän soveltuvuuden osoittamiseksi Posiva on mukana kansainvälisessä luonnonanalogiaprojektissa (Cyprus Natural Analogue Project, CNAP), jossa tutkitaan korkean pH:n ja bentoniitin vuorovaikutusta. Projekti päättyy vuoden 2013 puolella ja saatuja tuloksia käytetään seuraavassa toimintakykyarviossa. Edellä mainitun lisäksi jatketaan sementtikallioperävuorovaikutuksen *in situ*- ja laboratoriotutkimuksia sekä mallinnustyötä kansainvälisessä LCS-projektissa (Long-term cement study) Grimselissä. Edellä mainituissa tutkimuksissa on havaittu, että kolme vuotta on liian lyhyt aika kalliio-sementtivuorovaikutusten havaitsemiseen *in situ* -olosuhteissa, koska reaktiot ovat niin hitaita, joten tutkimuksia jatketaan vielä seuraavalla ohjelmakaudella. Näiden lisäksi ONKALOSSA käytettyjen sementtipohjaisten injektointimateriaalien rapautumistuotteiden monitorointia pohjavesissä jatketaan.

Kolloidisen silikan geeliytymiseen liittyvät selvitykset antavat perustietoa siitä, kuinka paljon geeliytymätöntä silikaa voi joutua kosketukseen bentoniitin kanssa. Mikäli määrä osoittautuu merkittäväksi, arvioidaan kokeellisesti bentoniitin ja silikan mahdollista aggregoitumista.

Montmorilloniitin ja pohjaveden välinen vuorovaikutus

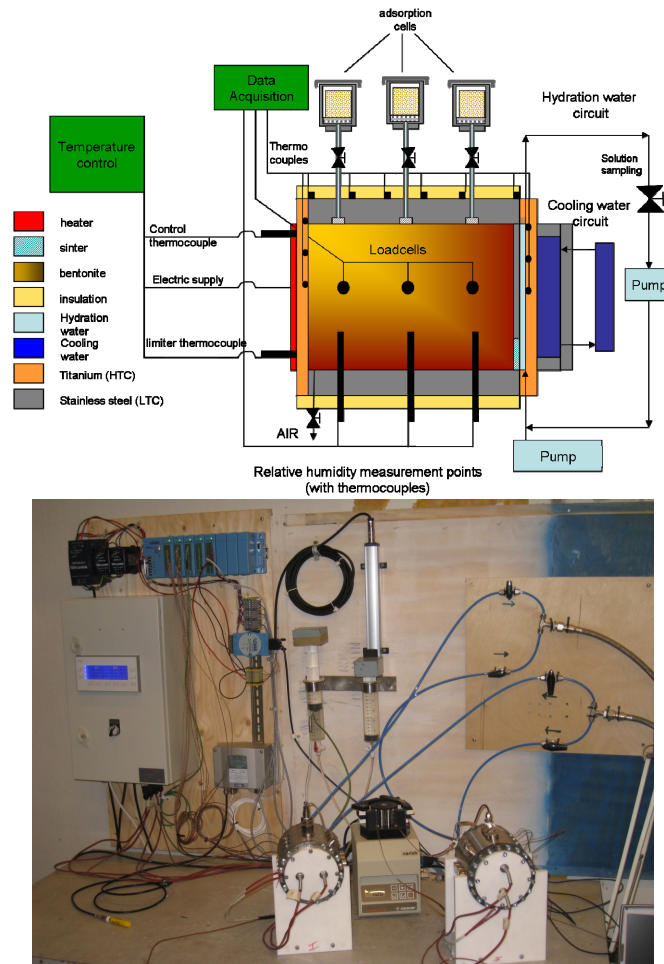
Montmorilloniitin (käytettävän savimateriaalin keskeisin mineraloginen ainesosa) ja pohjaveden välinen vuorovaikutus on toimintakyvyn kannalta arvioitu merkityksettömäksi. Kalliossa olevia pohjavesiolosuhteita ja niiden mahdollisia muutoksia rakentamisen aikana seurataan Olkiluodon monitorointiohjelman puitteissa. Saatujen tulosten perusteella arvioidaan tarvittaessa (esim. jos pohjavesikoostumuksessa havaitaan muutoksia) lisätutkimuksien tarve montmorilloniitin ja pohjaveden vuorovaikutuksesta. Pohjavesiolosuhteiden evoluutio ja siihen liittyvät tulevat työt on kuvattu luvussa 5.6.

Montmorilloniitin mineraloginen muuntuminen

Montmorilloniitin mineralogisesta muuntumisesta tehtyjen johtopäätösten varmistamiseksi aloitettujen useita viikkoja kestävien, huomattavan korkeassa lämpötilassa (270 °C) tehtävien kokeiden avulla valmistellaan alemmassa lämpötilassa (150–200 °C) tehtäviä useita kuukausia kestäviä kokeita. Seuraavana ja viimeisenä vaiheena on edellisten vaiheiden avulla suunnitellut useita vuosia kestävät, loppusijoituksen olosuhteita termisesti edelleen vaativammissa olosuhteissa ($T = 90\text{ °C}$) tehtävät kokeet. Näiden kokeiden tarkoitus on kineettisiin tekijöihin liittyvien epävarmuuksien pienentäminen sekä nyky-ymmärryksen vahvistuminen montmorilloniitin käyttäytymisestä odotettavissa olevissa lämpötiloissa. Lisäksi jatketaan tiedonvaihtoa vastaavista selvityksistä SKB:n ja Nagran kanssa.

Sementaatio

Arviot pitkäaikaisesta puskurin tehollisen montmorilloniittipitoisuuden, EMDD:n (effective montmorillonite dry density), mahdollisesta muuttumisesta lämpötilan ja pohjaveden vaikutuksesta perustuvat ensisijaisesti laskennallisiin analyyseihin, joita täydennetään seuraavalla ohjelmakaudella tarvittavilla kokeilla. Kuvassa 5-8 on esitetty tähän tarkoitukseen kehitetty koelaitteisto. Kokeiden sekä mallinnusten tuloksia käytetään puskurin, täytön ja sulkemisen teknisten ratkaisujen kehittämisessä niiden seuraavan päivityksen yhteydessä.



Kuva 5-8. Sementaation tutkimiseen käytettävän laitteiston kaavakuva ja koejärjestely.

Rauta-bentoniittivuorovaikutus

Raudan ja bentoniitin välisestä pidemmän ajan vuorovaikutuksesta saadaan tietoa Grimselin kalliolaboratoriossa olevan ison mittakaavan FEBEX-kokeen purkamisen yhteydessä vuonna 2015. Kokeessa on bentoniitilla ympäröity rautainen lämmitin. Karakterisoimalla lämmittimen lähellä olevia bentoniittinäytteitä saadaan tietoa raudan mahdollisesti aiheuttamasta bentoniitin muuntumisesta ja muuntumisen laajuudesta. Keskeisimpiä parametreja ovat vedenjohtavuus ja paisuntapaine.

Tällä hetkellä menossa olevat kokeet ja mallinnustyö liittyen Fe(II):n sorptioon ja diffuusioon bentoniitissa päättyy 2012, minkä jälkeen sekä Fe(II):n sorptio- että diffuusiokokeiden tulokset raportoidaan.

Kokeiden tuloksia hyödynnetään käyttöluilahakemuksen yhteydessä arvioitaessa loppusijoitustiloissa käytettävien rautaa sisältävien materiaalien vaikutuksia loppusijoitusjärjestelmän pitkäaikaisturvallisuuteen.

Mikrobitoiminta puskurissa ja täytössä

Mikrobien aktiivisuudesta ja selviytymisestä puskuribentoniitissa sekä täyttömateriaaleissa ei ole vielä täyttä selvyyttä. Mikrobien aktiivisuutta varten tarvitaan vettä, riittävän suuri huokostila (mikrohuokosrakenne) ja ravinteita. Bentoniitti paisuu sitä mukaa, kun se saturoituu ja samalla huokostila pienenee paisuntapaineen kehittyessä. On siis mahdollista, että saturaatioprosessin aikana mikrobiaktiivisuus on, ainakin paikallisesti, korkeimmillaan. Silti ei ole vielä selkeää kuvaa siitä, missä vaiheessa aktiivisuus pienenee merkityksettömälle tasolle.

Toimintakykyanalyysissä (*Performance Assessment*) arvioitiin, että suurin mikrobiaktiivisuus esiintyisi täytössä, jossa sulfaattia on riittävästi saatavilla, ja mikrobitoiminta olisi mahdollinen erityisesti täyteaineen ja kallioperän rajapinnalla. Täyttömateriaalissa mahdollisesti olevien sulfaattia pelkistävien bakteerien (SRB) määrään sekä aktiivisuuteen ja näin ollen myös mikrobien tuottaman sulfidin määrään liittyy vielä epävarmuuksia. *Performance Assessment* -raportissa on kuitenkin arvioitu, että kapseliin asti kulkeutuvan sulfidin määrää rajaa sulfidin saostuminen täytöstä liukenevien rautayhdisteiden kanssa.

Mikrobitoimintaan liittyvien ilmiöiden ja mekanismien selvittämiseksi ja niihin liittyvien epävarmuuksien pienentämiseksi tehdään seuraavalla ohjelmakaudella kattava selvitys nykyisestä tiedontasosta ja sen perusteella suunnitellaan mahdolliset kokeelliset tutkimukset sekä kehitetään mallinnusta, jotta pystytään tarkentamaan kuvaa täytössä ja puskurissa eri ajanjaksoina muodostuvien sulfidien määristä. Tuloksia hyödynnetään käyttöluvapahakemuksen yhteydessä arvioitaessa loppusijoitustiloihin jäävien mikrobien vaikutuksia loppusijoitusjärjestelmän pitkäaikaisturvallisuuteen.

Jäätyminen ja sulaminen

Puskurin ja täytön referenssimateriaaleiksi valitun bentoniitin on todettu kestävän useita jäätymis-sulamissyklejä (Schatz & Martikainen 2011, Schatz & Martikainen 2012), joten jatkotutkimukset eivät tämän osalta ole tarpeen.

Puskurin mekaaninen käyttäytyminen kalliosiiirroksissa

Puskurin mekaanisen käyttäytymisen selvittämiseksi uusitaan aiemmin tehdyt materiaaliparametrikokeet (Börgesson ym. 2010) sekä tehdään tarvittaessa pienen mittakaavan siirroskokeita materiaalimallin ja yleisemmin käytettyjen mallinnusmenetelmien validoimiseksi ennen mahdollisesti uusittavia kalliosiiirroksen numeerisia analyysejä. Kokeiden ja mahdollisen mallinnuksen tuloksia hyödynnetään käyttöluvapahakemuksen yhteydessä tehtävässä turvallisuusperustelussa arvioitaessa kalliosiiirroksen vaikutuksia loppusijoitusjärjestelmän pitkäaikaisturvallisuuteen.

Kaasun kulkeutuminen puskurissa

Tutkimusta kaasun kulkeutumisesta puskurissa jatketaan Äspön kalliolaboratorion monivuotisessa, suuren mittakaavan kokeessa, LASGITissa tilastollisesti luotettavamman aineiston saamiseksi. Posiva on ollut myös mukana monivuotisessa

EU:n FORGE-projektissa, joka loppuu vuoden 2013 keväällä. Hankkeiden tulokset arvioidaan ja sen perusteella laaditaan tarpeen mukaan suunnitelma jatkoselvityksiksi.

5.4.2.3 Sulkeminen

Loppusijoituslaitoksen maanalaisten tilojen sulkeminen on ajankohtaista vasta kymmeniä vuosia käytön alkamisen jälkeen keskustunnelien osalta ja edelleen vuosikymmeniä myöhemmin maanpintayhteyksien osalta. Sulkemiselle on laadittu alustava tekninen ratkaisu, jota tarkennetaan käyttöluvahakemuksen jättämisen ajankohtaan mennessä. SulkemISRatkaisun tarkempi tekninen kuvaus, sen vaatimustenmukaisuus ja sulkemisessa käytettävien materiaalien toimintakykytutkimukset tehdään seuraavien ohjelmakausien (vuosina 2013–2018) aikana. Sulkemisessa on tarkoitus käyttää hyväksi jo nyt tehtyjä savi- ja täyteaineiden toimintakykytutkimuksia, kuten myös sementti- ja betonitutkimuksia. Osana EU:n DOPAS-hanketta arvioidaan erilaisten ja eri ympäristöissä toteutettavien tulppien toimintakykyä ja projektin tuloksia hyödynnetään Posivan loppusijoitustunnelien ja muiden tilojen tulppien toimintakyvyn osoittamisen tukena.

Tilojen sulkemista varten käytettäville täyttömateriaaleille, erityisesti loppusijoitusvyöhykkeen yläpuolella, käynnistetään ensi kolmevuotiskaudella jäätymis-sulamiskokeita ja tulokset raportoidaan käyttöluvahakemukseen mennessä.

5.4.2.4 Kansainväliset suuren mittakaavan kokeet

Posiva on tulevilla ohjelmakaudellakin mukana kansainvälisissä projekteissa, joissa keskitytään KBS-tyyppistä loppusijoitusratkaisua kuvaavien, täyden mittakaavan kokeiden seurantaan ja sellaisissa hankkeissa (EBS Task Force ym.), joissa saadaan mm. vertaisarviointia ja laadunvarmistusta mallinnuksessa käytettäville työkaluille. Posiva on mukana mm. Äspön kalliolaboratorion LOT (Long-term test of buffer material) - ja ABM (Alternative buffer materials) -projekteissa sekä Grimselin kalliolaboratorion FEBEX (Full-Scale engineered barrier experiment in crystalline host rock) -projektissa, joissa seurataan eri parametrien kehitystä on-line-mittauksilla. LOT- ja ABM-kokeissa otetaan lisäksi näytteitä 1, 5 ja 20 vuoden välein. FEBEX-kokeen purkaminen tapahtuu tämänhetkisen projektisuunnitelman mukaan vuonna 2015.

5.4.2.5 Materiaalien valinta ja vaihtoehtoiset materiaalit

Tulevilla ohjelmakaudella Posiva jatkaa puskuri- ja täyttömateriaalien karakterisointia ja aloittaa mahdollisten vaihtoehtoisten materiaalien kartoituksen ja tutkimisen. Tavoitteena on puskuri- ja täyttömateriaalien toimintakykyyn vaikuttavien ominaisuuksien tarkka kartoitus ja näiden ominaisuuksien mahdollisen vaihteluvälin määrittäminen. Saatujen tietojen pohjalta voidaan arvioida muiden mahdollisten materiaalien soveltuvuus vaihtoehtoisiksi materiaaleiksi. Tämä edellyttää nykyisin käytössä olevien analyysimenetelmien testausta ja kehittämistä, erityisesti mineralogisten ja fysikaalisten ominaisuuksien osalta, jotka ovatkin painopisteenä tulevilla kolmivuotiskaudella.

5.4.2.6 Loppusijoitusjärjestelmän osatestaukset

Loppusijoitusjärjestelmän osatestaukseen kuuluu luvussa 5.4.1.2 mainittu täyden mittakaavan puskuridemonstraatio sekä luvussa 5.4.1.3 mainitut kokeet lattian tasauserrokselle, lohko- ja pellettitäytölle sekä kaikki täyttökomponentit käsittävää täyttötäytettä. Näitä osatestejä käytetään luvussa 5.4.1 kuvatun lisäksi puskurin ja täytön tarkoituksenmukaisen toimintakyvyn varmistamiseen ennen yhteistoimintakokeen

aloittamista sekä luvussa 6.5 viitattuun yhteistoimintakokeen pitkäaikaisen monitorointitarpeen ja -vaatimusten määrittämiseen. Lisäksi arvioidaan, asettaako jokin ilmiö ajallisia rajoitteita käyttötoiminnalle.

Hallitsevat ilmiöt/prosessit sekä niihin keskeisesti vaikuttavien muuttujien merkitykset arvioidaan pääosin pienen mittakaavan kokeilla ja soveltuvien osien tietokonesimuloinnein. Täyden mittakaavan loppusijoitusjärjestelmän osatestauksissa tehtäviä toimintakykyä kuvaavia mittauksia käytetään ensisijaisesti skaalautuvuuden arvioinneissa. Näiden lisäksi skaalautuvuuden arvioinnissa käytetään apuna mm. Äspön kalliolaboratoriossa tehtyjä TBT (Temperature buffer test) -, CRT (Canister retrieval test) - ja Prototype Repository -kokeita. Tyypillisiä hallitsevia prosesseja tässä yhteydessä ovat mm. pellettien ja lohkojen veden imeytyminen, veden virtauksen kanavoituminen erityisesti pellettitäytteisissä kohdissa, veden pidättäminen ja siitä aiheutuva paisuminen sekä lämpötilan nouseminen. Näihin prosesseihin merkittävästi vaikuttavia tekijöitä ovat veden virtausnopeus kalliosta louhittuihin tiloihin ja veden paine, veden virtaama, veden koostumus sekä eri komponenttien koostumus ja lämmönjohtavuus.

Odotettavissa olevat muutokset toimintakykyä kuvaavissa mittauksissa ovat pieniä kohdissa, jotka ovat vuotovesiltään niukkoja. Tällaisista kohdista tuloksia ei odoteta saatavan yhteistoimintakokeen suunnitteluun ajoissa. Tästä syystä kallion hyväksyttävyyssuokittelussa vielä hyväksyttäviä olosuhteita jäljitellään tarvittaessa keinotekoisesti. Esimerkkinä tällaisesta keinotekoisesta jäljittelystä on vettä vuotavan raon jäljittely syöttämällä synteettisesti valmistettua vettä putken avulla.

Teknisten päästöesteiden asennuksen jälkeiseen kehityskulkuun vaikuttavien tekijöiden, kuten lähikallion eri osien vedenjohtavuuden mittaamisen tarpeellisuus arvioidaan ohjelmajakson alussa, jolloin mittauksiin ryhdytään tarvittaessa. Kuvattuja tehtäviä ovat esimerkiksi:

- (laboratoriossa tehtävä) lattiantasausmateriaalin veden imeytymis- ja pidättymiskoe yksinkertaistetussa koejärjestelyssä,
- lattiantasausmateriaalin veden imeytymis- ja pidättymiskoe lattian tasauskerroksen asennuskokeen (kuvattu luvussa 5.4.1.3) yhteydessä,
- (laboratoriossa tehtävä) täytön pellettien veden imeytymis- ja pidättymiskoe yksinkertaistetussa koejärjestelyssä,
- täytön pellettien veden imeytymis- ja pidättymiskoe pellettien asennuskokeen (kuvattu luvussa 5.4.1.3) yhteydessä,
- (laboratoriossa tehtävä) täytön pellettien ja lohkojen veden imeytymis- ja pidättymiskoe yksinkertaistetussa koejärjestelyssä,
- täytön pellettien ja lohkojen veden imeytymis- ja pidättymiskoe täyttötestin (kuvattu luvussa 5.4.1.3) yhteydessä,
- puskurin asennuksen jälkeisten prosessien ennustettavuuden arviointi ja validointi 1/6-mittakaavan ja 1/3-mittakaavan laboratoriokokeiden avulla,
- puskurin asennuksen jälkeisten prosessien ennustettavuuden arviointi ja validointi täyden mittakaavan puskurikokeen (kuvattu luvussa 5.4.1.2) avulla ja
- demotilojen lähialueeksi arvioidun kallion eri osien vedenjohtavuuksien ja -paineiden määrittäminen.

5.5 Monitorointiohjelma

Loppusijoituspaikan ja -laitoksen pitkäaikaisen kehityksen seuranta varten on käynnissä Olkiluodon monitorointiohjelma (OMO). Monitorointiohjelman tulokset raportoidaan vuosittain Posivan työraporttisarjassa. Jokaisesta monitoroinnin osa-alueesta (kalliomekaniikka, hydrologia, hydrogeokemia, pintaympäristö ja vieraat aineet) tehdään oma raportti, jossa esitetään vuoden aikana tehdyt tutkimukset, ja vertaillaan saatuja tuloksia aiempien vuosien tuloksiin.

Monitorointiohjelma on päivitetty vuonna 2012 kattamaan tulevat vuodet aina loppusijoituslaitoksen käytön alkuun asti (Posiva 2012a). Monitoroinnille on ohjelmassa asetettu kuusi päätavoitetta:

1. Osoittaa loppusijoituslaitospaikan kallioperän ominaisuuksien säilyminen pitkäaikaisturvallisuuden 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.

Näistä tavoitteista neljä ensimmäistä ovat vuoden 2004 ohjelman mukaisia ja niihin liittyvä tutkimus on jaettu kalliomekaniikan, hydrologian ja hydrogeologian, hydrogeokemian, vieraiden aineiden sekä pintaympäristön osa-alueisiin. Viides ja kuudes tavoite tulivat mukaan vuonna 2012. Vaatimus teknisten vapautumisesteiden monitoroinnista tulee varsinaisesti ajankohtaiseksi vasta loppusijoituslaitoksen käytön alkaessa, mutta teknisten vapautumisesteiden monitoroinnissa mahdollisesti käytettävää tekniikkaa kehitetään ja testataan jo tulevalle kaudella 2013–2018. Samoin suunnitellaan käytön aikainen säteilyn ja päästöjen valvontaohjelma ja tehdään perustilan kartoitus.

5.5.1 Kalliomekaniikka

Kalliomekaniikan osa-alueella seurataan kallioperän jännitystilaa, siinä tapahtuvia muutoksia ja niistä mahdollisesti aiheutuvia kallion muodonmuutoksia ja hilseilyä. Kalliomekaniikan seuranta kattaa myös kallion lämpötilan ja sen muutokset, maankohoamisen, kallioperän tektonisen liikkeen ja seismiset ilmiöt. Tarkoituksena on hankkia tietoa Olkiluodon kallioperän vakaudesta ja esimerkiksi havaita mahdollinen kallion rakojen uudelleen aktivoituminen tai uusien rakojen muodostuminen.

Kalliossa luonnostaan tapahtuvien sekä ihmisen toiminnasta, kuten ONKALOn rakentamisesta, johtuvien seismisten tapahtumien havaitsemiseksi Olkiluotoon ja sen lähialueille on perustettu mikroseisminen mittaust verkosto. Siihen kuului vuonna 2010 15 asemaa: 11 maanpinnalla (3 Olkiluodon ulkopuolella), yksi kairareissä (150 m syvyydessä) ja kaksi ONKALossa (syvyytasoilla 280 m ja 370 m). Tulevina vuosina

verkosto laajenee maanalaisten tilojen rakentamisen myötä ONKALOn teknisiin tiloihin ja myöhemmin louhittaviin keskustunneleihin, jolloin mahdollisuus havaita louhinnan aiheuttamia mikromaanjärjestyksiä paranee entisestään. Seurantaverkon kehitys sisältää myös tiedonsiirron päivityksen, joka toteutetaan vuosina 2012–2013.

Louhinnan jälkeisestä jännitystilan uudelleen jakautumisesta johtuvia kallion muodonmuutoksia monitoroidaan tulevaisuudessakin pääasiassa ekstensometrimittauksilla sekä konvergenssimittauksilla. Ekstensometri mittaa kairareiän pituuden vaihtelua, ja konvergenssilla tarkoitetaan tunnelin tai kuilun poikkileikkauksen muodonmuutoksen seuranta sen seinämissä olevien kiintopisteiden välisiä etäisyyksiä mittaamalla. Tutkimustilan 3 lähellä ONKALOSSA on käynnissä ekstensometrimittaus, ja itse tutkimustilassa 3 on tehty konvergenssimittauksia. Konvergenssimittaukset kuiluperissä on havaittu teknisesti vaikeiksi toteuttaa ja ne keskittyvät jatkossa kolmen merkittävän ruhjevyöhykelävistyksen seurantaan ONKALOSSA ja toissijaisesti tunneleiden monitorointiin. Kaksi kertaa vuodessa tehtävillä monitorointimittauksilla seurataan mahdollisia ruhjevyöhykkeisiin liittyviä siirtymiä. Kummankin menetelmän käyttöä on tarkoitus laajentaa loppusijoitusvyöhykelle teknisiin tiloihin ja demonstraatiotunneleihin. Louhinnan vaikutusta kallioperään monitoroidaan myös 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 on vuodesta 2010 lähtien kuulunut 18 pilaria, joista 12 sijaitsee Olkiluodon saarella ja 6 sen lähialueilla. Pilarien sijainnin määrittämiseen käytetään kahta eri menetelmää: GPS-satelliittipaikannusta vaakasuuntaisen ja tarkkavaaitusta pystysuuntaisen liikkeen mittaamiseen. Yhdeksän pilarin GPS-mittaus on automatisoitu ja muuttuu jatkuvatoimiseksi vuonna 2012. Yhdeksän muun sijainti määritetään edelleen kaksi kertaa vuodessa erillisellä mittauksella. GPS-tulosten varmentamiseksi Olkiluotoon on lisäksi perustettu kahden pilarin välille 511 metriä pitkä perusviiva, jonka pituus mitataan elektronisesti GPS-mittausten yhteydessä. GPS-pilarien tarkkavaaituksia on suunniteltu tehtävän kahden vuoden välein. Sen lisäksi kallioperän pystysuuntaista liikettä seurataan vuosittain ONKALOn ja 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 2015.

5.5.2 Hydrologia

Hydrologisella monitoroinnilla hankitaan tietoa pohjaveden pinnankorkeuden ja kallio-pohjaveden paineen muutoksista, pohjaveden virtauksesta, maa- ja kallioperän hydraulisista ominaisuuksista, pohjaveden vuodosta ONKALOON, 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 havaintoputkissa ja matalista kairarei'istä (syvyys kymmenien metrien luokkaa) mitataan pohjaveden pinnankorkeus yleensä manuaalisesti kerran kuukaudessa. Muutamissa havaintopisteissä mittaus tehdään automaattisesti joka tunti.

Syvän kalliopohjaveden painetta monitoroidaan satojen metrien syvyisissä rei'issä, jotka on jaettu monitulppalaitteistoilla erikseen tarkkailtaviin väleihin. Kalliopohjaveden paine kussakin mittausvälissä, joita voi yhdessä reiässä olla enintään kahdeksan, mitataan automaattisesti tunnin välein. Monitoroitavat tulppavälit on tähän asti valittu lähinnä hyvin vettä johtavien vyöhykkeiden kohdalle, mutta jatkossa ohjelmaa muutetaan valitsemalla seurantaan myös tiiviimmän kallion osuuksia, jotta saadaan tietoa loppusijoitusolosuhteita vastaavan kallion hydrologiasta.

Pohjaveden virtausta kallioperässä tutkitaan kairareikään laskettavalla Posiva Flow Log -virtauseromittarilla (PFL DIFF) ja poikkivirtausmittarilla (PFL TRANS). Virtausmittauksia tehdään vuosittain noin neljässä avoimessa reiässä oletetulla louhinnan vaikutusalueella sekä silloin, kun jokin tulpattu reikä väliaikaisesti avataan. Virtausmittauksia voidaan tehdä paitsi maanpinnalta, myös ONKALOsta kairatuissa rei'issä. Joka toinen vuosi tehtävillä HTU-mittauksilla tutkitaan syvistä kairarei'istä mahdollisia muutoksia kallion vedenjohtavuudessa. Kallioperän pintaosien ja maaperän hydraulisista ominaisuuksista hankitaan tietoa matalissa rei'issä ja pohjavesiputkissa suoritettavilla slug-mittauksilla.

ONKALOon vuotavan pohjaveden määrää mitataan mm. ajotunneliin rakennettujen mittapatojen avulla ja tarkkailemalla yksittäisiä vuotavia rakoja ja rakenteita. ONKALOn kokonaisvesitaseen määrittämiseksi myös tuuletusilman määrää ja kosteutta ja siellä 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.

Kalliopohjaveden suolaisuutta seurataan hydrologisten PFL-mittausten yhteydessä mittaamalla pohjaveden sähkönjohtavuutta. Tämä täydentää hydrogeokemian osaluueeseen kuuluvien vesinäytteiden laboratorioanalyysistä saatavia tuloksia. 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.

Paikallisena erityiskysymyksenä monitoroidaan myös keskellä Olkiluotoa, muutaman sadan metrin päässä ONKALOn ajotunnelin suulta sijaitsevan, Korvensuon tekoaltaan vaikutusta kalliopohjaveteen. Vedenpinnan korkeus altaassa mitataan viikoittain ja pohjaveden pinta allasta rajaavan padon suotoputkissa kuukausittain. Suotoputkissa tehdään lisäksi joka toinen vuosi vedenjohtavuusmittaukset.

5.5.3 Hydrogeokemia

Hydrogeokemiallisella monitoroinnilla pyritään havaitsemaan pohja- ja pintaveden kemiallisten ominaisuuksien muutoksia. Tärkein tutkimusmenetelmä on eri kohteista säännöllisesti otettujen vesinäytteiden laboratorioanalyysi. Näytteitä otetaan matalista ja syvistä kairareijistä erilaisilla pumpuilla ja näytteenottolaitteilla riippuen siitä, onko reikä tulpattu. ONKALOSTA saadaan näytteitä mm. vuotavista raoista, keräimistä, pohjavesiasemista, mittapadoista ja karakterisointireijistä. ONKALOSSA käytettävän prosessiveden kemiallisia ja sen vaikutusta ympäristöön seurataan ottamalla siitä näytteitä ennen käyttöä ja käytön jälkeen maanpinnalla olevasta selkeytysaltaasta ja ojasta, jota pitkin vesi valuu mereen.

Matalan pohjaveden näytteitä otetaan vuosittain kahtena kampanjana keväällä ja syksyllä, jotta vuodenaikavaihtelu voidaan erottaa muista muutoksista. Näytteenottoaikat valitaan vuosittain aiempien tulosten ja muiden havaintojen perusteella.

Myös syvän kalliopohjaveden näytteenotto-ohjelma suunnitellaan vuosittain aiempien havaintojen ja odotettavissa olevien muutosten perusteella. Vesinäytteiden laboratorioanalyysien lisäksi joitakin fysikaalis-kemiallisia parametreja (happamuus, sähkönjohtavuus, happipitoisuus, hapetus-pelkistyspotentiaali ja lämpötila) voidaan mitata myös suoraan kohteesta. 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 pitoisuuksiin Korvensuon altaan vedessä verrattuna luonnolliseen pohjaveteen.

Hydrogeokemian mittauksilla ja menetelmillä tuotetaan tietoa myös vieraiden aineiden ja pintaympäristön osa-alueiden monitorointiin. ONKALON rakentamisessa käytettyjen vieraiden aineiden, etenkin sementtien ja räjähdysaineiden, vaikutus pyritään havaitsemaan tunneliin vuotaneen veden ja prosessiveden koostumuksessa. Rakentamisen kemiallisia ympäristövaikutuksia taas seurataan tutkimalla louheen läjityskentän lähellä olevista havaintoreijistä ja avo-ojasta otettuja näytteitä.

5.5.4 Pintaympäristö

Pintaympäristön monitoroinnilla hankitaan tietoa loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden vaikuttavista tekijöistä tutkimalla maa- ja kallioperään suotautuvan pohjaveden määrää ja laatua sekä maankohoamista. Tämän lisäksi tutkitaan biosfäärimallinnusta varten radionuklidien kulkeutumista ja pidättymistä maaperässä ja vesistöissä, ottoa kasvillisuuteen ja kulkeutumista eri ravintoverkoissa. Sekä pohjaveden muodostumiseen että nuklidien kulkeutumiseen kallioperästä biosfääriin liittyen tutkitaan pintaympäristön ja kalliopohjaveden vuorovaikutusta, johon vaikuttavat mm. maankäytön muutokset, pintaveden valunta ja ilmasto-olosuhteet. Monitoroinnin tehtävänä on myös seurata loppusijoitustoiminnan suoria, muita kuin radioaktiivisuuteen liittyviä ympäristövaikutuksia. Loppusijoituksen suunnitellun käyttövaiheen lähestyessä on vuosina 2013–2018 lisäksi valmistauduttava radioaktiivisten päästöjen monitoroimiseen määrittämällä ympäristön radiologinen perustila niiltä osin, kuin se ei Olkiluodon ydinvoimalaitoksen tekemien tutkimusten perusteella ole vielä tiedossa.

Pitkäaikaisturvallisuuteen liittyvistä pintaympäristön monitoroinnin kohteista maankohoamista käsitellään myös kalliomekaniikan osa-alueella ja pintaveden suotautumista pohjavedeksi hydrologian ja hydrogeokemian osa-alueilla. Pintaympäristön kehityksen kannalta maankohoamisessa on oleellista rantaviivan vetäytyminen ja rantavesien vaihteittainen muuttuminen merestä kosteikoiksi ja edelleen kuivaksi maaksi. Siksi kalliomekaniikan osa-alueen tarkkavaaituksella saatujen tietojen lisäksi suunnitellaan tehtäväksi 5–10 vuoden välein maanpinnan korkeuden laserkeilausta kahdella ristikkäisellä Olkiluodon ylittävällä linjalla.

Loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden arvioinnissa käytettävään mallinnukseen tarvitaan paljon paikallista lähtötietoa lukuisten biosfäärin ilmiöiden kvantitatiivista kuvaamista varten. Biosfäärin ominaisuuksille luonteenomaisen voimakkaan ajallisen ja paikallisen vaihtelun vuoksi näiden lähtötietojen hankkiminen edellyttää pitkien aikasarjojen mittaamista useasta kohteesta. Siksi mallinnusta varten tehtävä tutkimus on ollut tarkoituksenmukaista sisällyttää monitorointiohjelmaan, vaikka sen tavoitteena ei olekaan seurata minkään ominaisuuden muuttumista ajan myötä tai rakentamisen seurauksena. Monitoroinnin osana tutkittavia biosfäärimallinnuksen lähtötietoja ovat esimerkiksi:

- irtomaapeitteen maalajien ja sedimenttien sorptiokyky eri alkuaineille,
- metsien ja soiden eri kasvityyppien ja sienten biomassan määrä ja kasvu,
- passiivinen ja aktiivinen aineiden otto maaperästä kasvillisuuteen,
- eri alkuaineiden varastoituminen erityisesti ihmisen hyödyntämiin ruokasieniin ja kasvien osiin kuten marjoihin,
- maaeläin- ja lintukannat, erityisesti riista ja pieneläimet,
- alkuaineiden siirtyminen ravintoverkkoon ja otto viljelykasveihin,
- meriveden laatu ja siihen suspendoituneen kiintoaineen sorptiokyky,
- jokien virtaama ja veden laatu,
- eroosio ja sedimentaatio vesistöissä,
- vesikasvien biomassan tuotanto, alkuaineiden otto vesikasvillisuuteen,
- vesieläinten populaatioiden koot ja biomassa,
- kalansaaliit, ja
- alkuaineiden kulkeutuminen planktoniin, pohjaeläimiin ja kaloihin.

Erilliseksi pintaympäristön tutkimuskohteeksi on otettu myös pintaympäristön ja kalliopohjaveden vuorovaikutus, jolla on merkitystä sekä pohjaveden kemiallisten ominaisuuksien kehittymiselle ja siten loppusijoituslaitoksen odotettavissa olevalle pitkäaikaiselle kehityskululle että radionuklidien kulkeutumiselle kallioperästä biosfääriin. Maaperään suotautuvaa vettä tutkitaan keräämällä vesinäytteitä lysimetreillä, jotka on sijoitettu erityyppisille pintaympäristön alueille. Lisäksi seurataan maankäytön muutoksia Olkiluodossa, koska esimerkiksi rakennusten ja teiden rakentaminen, kasvillisuuden raivaaminen ja maa-alueiden päällystäminen vaikuttavat hydrologiseen tasapainoon. Myös pintaveden valunnan monitoroiminen, mikä Olkiluodossa tarkoittaa suurimpien ojien veden määrän ja laadun seuranta, ja ilmastoon ja säätilaan liittyvien tietojen kerääminen kuuluvat ohjelmaan. Osa säätiedoista saadaan TVO:n sääasemalta, mutta sen lisäksi Posiva tutkii itse mikrometeorologisia parametreja pintaympäristön tutkimusaloilla, lumipeitteen paksuutta ja vesimäärää, roudan syvyyttä sekä sade- ja pohjavesien isotooppikoostumusta.

Monitoroitaviin rakentamisen ympäristövaikutuksiin kuuluvat melu, pöly, liikenteen kasvu, päästöt prosessivedestä ja louheesta, maaperän ja vesien saastuminen sekä vaikutus kasvillisuuteen, eläimistöön ja esim. kaivoveden laatuun ja määrään Olkiluodossa.

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 tämä velvoite ei alkavalla ohjelmakaudella vielä varsinaisesti tulekaan voimaan, on siihen alettava varautua määrittämällä ympäristön radiologinen perustila ja perehtymällä mahdollisiin radioaktiivisten aineiden päästöreitteihin. Koska itse loppusijoituslaitoksen toimintaa ja radioaktiivisten aineiden pitoisuuksia sen sisällä ei ole tarkoitus tarkkailla monitorointiohjelman puitteissa, vaan osana laitoksen käyttöön liittyvää valvontaa, monitoroinnin osuus painottuu tiettyjen merkittävien epästabiilien isotooppien määrien ja kulkeutumisen tutkimukseen Olkiluodon pintaympäristössä. Mittaukset tehdään osittain muun pintaympäristön monitoroinnin yhteydessä otetuista näytteistä. Tutkimus jakautuu vesistöissä, ilmakehässä ja ravintoverkoissa esiintyviin radioaktiivisiin aineisiin, ja siinä hyödynnetään Olkiluodon ydinvoimalaitoksen valmiiksi toiminnassa olevaa ympäristön radioaktiivisuuden seurantaa. Pintaympäristön radiologisen perustilan määrittäminen on suunniteltu aloitettavan vuonna 2016 ja tehtävän vaiheittain niin, että kaikki tarvittavat kohteet on tutkittu ennen, kuin loppusijoitustoiminta alkaa. Osa mittauksista jatkuu perustilan määrittämisen jälkeen säännöllisenä monitorointina mahdollisten muutosten havaitsemiseksi.

5.5.5 Vieraat aineet

Loppusijoitusjärjestelmään kuulumattomat aineet voivat olla haitallisia pitkäaikais- turvallisuuden 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 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-ojasta. Sementtien ja injektointiaineiden vaikutus havaitaan tyypillisesti kohonneena emäksisyytenä ja liuenneena kiintoaineena, ja louhinnassa käytettyjen räjähdysaineiden typen oksidien pitoisuuksien kasvuna.

5.5.6 Tekniset vapautumisesteet

Teknisten vapautumisesteiden monitorointi on suunnittelu- ja kehitysvaiheessa. Monitoroinnin menetelmiä ja tarvittavia mittalaitteita testataan ja kehitetään teknisten vapautumisesteiden testeissä, joita tullaan tekemään vuosina 2013–2018 ONKALOon tätä tarkoitusta varten rakennetuissa tiloissa. Tavoitteena on kehittää menetelmät, joilla

voidaan seurata teknisten vapautumisesteiden kehitystä aidoissa loppusijoitustilojen olosuhteissa vuosien tai jopa vuosikymmenten ajan. Näin saadaan kokeellista tietoa, joka hyödyttää loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden arviointia analyyttisten mallien ja numeeristen simulaatioiden avulla. Bentoniittipuskurin pienennetyn mittakaavan asennus- ja varhaisen kehityksen tutkimukset aloitettiin vuonna 2011 ja niitä aiotaan jatkaa ainakin vuoteen 2017 asti. Täyden mittakaavan puskurikokeisiin edetään vuodesta 2014 lähtien, ja puskurin, tunnelitäytön ja tulpan maanalaiseen yhteistoimintakokeeseen kauden 2013–2018 loppupuolella. Loppusijoitustunnelin täytön ja päätytulpan monitorointimenetelmiä kehitetään sekä niiden toimivuutta testataan täyttötestien yhteydessä. Vuosien 2013–2018 teknisiin vapautumisesteisiin liittyvät tutkimukset, kehitystyöt ja testit on tarkemmin kuvattu luvussa 5.4.

Teknisten vapautumisesteiden käyttäytymistä seurataan sekä loppusijoituslaitoksen rakentamisen aikana toteutettavissa täyden mittakaavan järjestelmäkohtaisissa testeissä että käyttötoiminnan aikana rakennettavassa yhteistoimintakokeessa. Tämän yhteistoimintakokeen yhteydessä tehtävän monitoroinnin lisäksi voidaan tarvittaessa käynnistää erillisiä testejä tukemaan monitorointivelvoitteen täyttymistä, jos jonkin oleellisen prosessin monitoroimiseksi ei ole sellaista teknologiaa käytettävissä, että se voitaisiin ottaa osaksi yhteistoimintakokeen yhteydessä tehtävää monitorointia. Prosesseja, joita voidaan selvittää vasta testien purkamisen jälkeen tehtävillä tutkimuksilla, selvitetään mahdollisuuksien mukaan järjestelmäkohtaisissa, muutaman vuoden seurannan jälkeen purettavissa testeissä.

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 yhteistoimintakokeen muiden tavoitteiden toteutumista. Esimerkiksi monitorointiin tarvittavat kaapeloinnit saattavat estää monitoroitavan testikokonaisuuden toteuttamista asennustestien yhteydessä. Monitoroinnin suurimpia teknisiä haasteita ovat antureiden kestävyys ja vakaus mitattaessa pieniä muutoksia hyvin pitkien mittaajajaksojen 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.

Loppusijoituskapselin kuparivaipan korroosiota ja aineen kertymistä kapselin pinnalle voidaan tutkia ottamalla kapselista näytteitä pitkäaikaisen kokeen purkamisen jälkeen.

Puskurin monitoroinnissa keskeisiä mitattavia parametreja ovat lämpötilajakauma (sekä bentoniitissa että sitä ympäröivässä kalliossa), kosteus, paisuntapaine loppusijoituskapselin säteen ja akselin suunnassa, huokospaine sekä puskurin ja kapselin mahdollinen siirtymä. Bentoniitin mahdollisia kemiallisia muutoksia voidaan tutkia vasta kokeen purkamisen jälkeen otetuista näytteistä, mutta joitakin huokosveden parametreja, kuten happamuus ja hapetus-pelkistyspotentiaali, saattaa olla mahdollista mitata myös jatkuvasti. Tunnelitäytön monitorointi on pääsääntöisesti samankaltaista kuin puskurinkin.

Loppusijoitustunnelien suulle asennettavien tulppien kehitystä voidaan nykyisten suunnitelmien mukaan monitoroida tarkkailemalla vesivuotoa niiden läpi ja ympäröivässä kalliossa sekä mittaamalla tulpan siirtymää. Myös varsinaisten loppusijoitustunnelien tulppia voidaan ajatella monitoroitavan tulpan asentamisen ja keskustunnelin täyttämisen välisen ajan.

Posivan suunnitelmien mukaan pitkäaikainen teknisten vapautumisesteiden monitorointi jatkuu tarvittavan ajan loppusijoituksen aikana. Kokeita varten tehtävien loppusijoitusreikien paikat valitaan saman kallion soveltuvuusluokittelun (Rock Suitability Classification, RSC) mukaan kuin varsinaisissa loppusijoitustiloissakin, joten reiät saattavat olla hyvin kuivia jopa vuosikymmenten ajan. Niissä bentoniittipuskuri ei siten välttämättä ehdi vettyä eikä paisuntapaine merkittävästi kasvaa sen ajanjakson aikana, jona monitorointi loppusijoitussyvyydellä on mahdollista. Tästä syystä voi olla tarpeen tehdä pitkäaikaisia monitorointikokeita myös rei'issä, joihin virtaa pohjavettä enemmän kuin soveltuvuusstandardit sallivat, tai joita kastellaan keinotekoisesti vettymisen nopeuttamiseksi.

Tarkemmat suunnitelmat teknisten vapautumisesteiden monitoroinnista tehdään vuosien 2013–2018 tutkimusten ja kehitystöiden edistymisen perusteella. Teknisiä vapautumisesteitä koskeva monitorointiohjelma julkaistaan käyttöluupahakemuksen jättämisen yhteydessä.

5.6 Turvallisuusperustelu

5.6.1 Yleistä

Tulevalla kolmivuotisjaksolla turvallisuusperusteluun liittyvien tehtävien päätavoitteena on hankkia lisätietoa käyttöluupahakemuksen tarpeisiin. Keskeisiä tehtäviä turvallisuusperustelun osalta ovat

- turvallisuusperustelun suunnitelman laatiminen,
- turvallisuuden arvioinnissa käytettävän metodologian kehittäminen ja lähtötietojen luotettavuuden varmistaminen,
- turvallisuusperustelun laadunhallinnan kehittäminen, ja
- turvallisuusarvion laatiminen KBS-3H-ratkaisun osalta vuoden 2015 loppuun mennessä.

Rakentamislupahakemuksen turvallisuusperustelu täydennetään puuttuvilta osin vuoden 2013 alkupuoliskolla (*Models & Data for the Repository System*). Koko turvallisuusperustelun suunnitelma (Safety Case Plan) laaditaan FSARia varten sekä esitetään ja aikataulutetaan vaiheittaiset tavoitteet. Laatimisessa otetaan huomioon suunnittelun ja rakentamisen kehitystyö, KBS-3-ratkaisun testaus- ja demonstraatiotyö ja teknisten vapautumisesteiden pitkäaikaiskäyttämisen saatava uusi tieto, sekä kallioperän ominaisuuksista ja sen soveltuvuudesta saatavat yksityiskohtaisemmat tiedot.

Tieto Olkiluodon kallioista ja pintaympäristöstä lisääntyy jatkossakin. Sekä ONKALOn pitkäaikaisia kokeita että hydrogeologisen ja geokemiallisen seurannan tuloksia voidaan hyödyntää loppusijoitusjärjestelmän toimintakyvyn arvioinnissa ja

kulkeutumismallinnuksessa. Merkittävää lisätietoa teknisten vapautumisesteiden alkutilasta ja käyttäytymisestä saadaan käynnistyneistä demonstraatio-ohjelmista. Lisätietoa voidaan käyttää turvallisuusperustelussa tarvittavien mallien testaamiseen.

KBS-3H-ratkaisun osalta (luku 5.8) seuraavien vuosien tavoitteena on kehittää KBS-3H-ratkaisu valitun DAWE (Drainage, Artificial Watering and air Evacuation design alternative) -suunnitteluratkaisun pohjalta sellaiseen pisteeseen, että 3V/3H-vaihtoehtojen vertailu on pitkäaikaisen toimintakyvyn ja turvallisuuden perusteella mahdollista. KBS-3H-ratkaisun toimintakyky varmistetaan ja demonstroidaan täyden mittakaavan testissä (ns. Multi Purpose Test, MPT) Äspön kalliolaboratoriossa vuosina 2012–2014. Muita kehityskohteita ovat suoran pilottireiän kairaus/poraus ja avartaminen loppusijoitusreiäksi annettujen kriteerien mukaisesti, Mega-Packer-käyttöisen jälki-injektointitekniikan kehittäminen sekä puskuri- ja täyttökomenttien kehitystyö ja testaus. Vuosina 2013–2015 laaditaan turvallisuusarvio perustuen laadittuun KBS-3H-suunnitelmaan. Arviossa otetaan huomioon 3H:n erityispiirteet, jotka poikkeavat pystyratkaisu KBS-3V:lle laaditusta turvallisuusperustelusta.

Samaan aikaan KBS-3H:n turvallisuusarvion kanssa kehitetään metodologia käyttölupahakemuksen turvallisuusperustelua (FSAR) varten ottaen huomioon myös rakentamislupahakemuksen käsittelyn aikana saatu viranomaispalaute. Esikatselmointien ja "scoping"-tarkastelujen avulla pyritään jo ennen varsinaisen turvallisuusperustelun laatimista varmistamaan, että suunnitteluperusteiden mukainen loppusijoitusjärjestelmä täyttää pitkäaikaisturvallisuudelle asetetut vaatimukset riittävän luotettavuusmarginaalein ja järjestelmä on toisaalta toteutettavissa asetettujen laatutavoitteiden mukaisesti. Tarvittaessa teknisiä suunnitelmia muutetaan tai epävarmuusmarginaaleja pienennetään arviointimetodologiaa kehittämällä.

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.

Luvun 4.6 mukaisesti seuraavan ohjelmakauden aikana jatketaan turvallisuuden arviointia tukevia tutkimuksia käyttölupahakemukseen tehtävää turvallisuusperustelutyötä varten, kuten

- polttoaineen liukenemismekanismien kokeellista tutkimusta,
- ilmastoskenaarioissa käytettävien mallien kehitystä,
- jääkauden hydrogeologisten ja geokemiallisten olosuhteiden tutkimuksia,
- kallioperän tavoiteominaisuuksiin ja tulevaan kehitykseen liittyviä selvityksiä ja tutkimuksia, sekä
- pintaympäristön (biosfääriarvioinnin) lähtötietojen hankintaa ja osamallien kehitystä.

Edellä mainittujen uusien ja varmentavien lähtötietojen lisäksi myös turvallisuusperustelun mallinnusta kehitetään tulevina vuosina mm. seuraavien osaluokkien osalta:

- loppusijoitustilan ja pintaympäristön integroinnin kehittäminen,

- pohjaveden virtausmallinnuksen ja prosessimallinnuksen (esim. puskurin eroosio/kapselin korroosio) ja radionuklidien kulkeutumismallinnuksen selkeämpi kytkeytyminen,
- jäätiköitymisen aikaisten pohjaveden virtausolosuhteiden mallintaminen ja siihen liittyvä pohjavesikemia, ja
- todennäköisyyspohjaisen mallinnuksen laajennettu käyttö kulkeutumlaskennassa.

Mallinnuksen ja muiden turvallisuusperustelun osien sisältö esitetään vuonna 2013 laadittavassa turvallisuusperustelun suunnitelmassa.

5.6.2 Ulkoiset olosuhteet

Ilmastoskenaariot

Tulevaan ilmastoon vaikuttavia keskeisiä tekijöitä ovat maan kiertoradan ja pyörimisakselin keskinäiset muutokset, jotka vaikuttavat Auringon säteilemän energian määrään (insolaatioon) sekä kasvihuonekaasujen pitoisuuteen ilmakehässä. Auringon säteilyenergian määrän tuleva kehitys voidaan laskea suhteellisen tarkasti, koska siihen vaikuttavat eri tekijät ja niiden (jaksollinen) aikakehitys tunnetaan hyvin. Kasvihuonekaasujen pitoisuuden, erityisesti hiilidioksidin kytkeminen dynaamisena tekijänä pitkän ajanjakson mallinnukseen on sen sijaan osoittautunut huomattavan vaikeaksi siihen liittyvien tuntemattomien ja monimutkaisten vuorovaikutusten vuoksi.

Ilmastoskenaarioiden muodostamisessa käytettäviä malleja kehitetään vuosina 2013–2015. Kuluneen ohjelmakauden mallinnustyössä havaittiin, etteivät viime jääkauden simulaatiot CLIMBER-mallinnuksella vastanneet kaikilta osin geologisia havaintoja. Niihin verrattuna malli tuotti liikaa jäätä Olkiluodon alueelle ja liian vähän jäätä joillekin muille alueille. Vuosina 2013–2015 (–2018) 100 000 vuoden aikaskaalan ilmastomallintamista kehitetään seuraavilta osin:

- CLIMBER-SICOPOLIS-malli on herkkä sen jäätikkömallin ja pinnan energia- ja massatasemallin parametrisoinneille (Ganopolski ym. 2010). Vuosina 2013–2015 kehitetään CLIMBER-SICOPOLIS-mallisysteemin geotermisen lämpövuon käsittelyä sekä ilmasto- ja jäätikkömallin välistä kytkentää.
- Jääkausisyklin (n. 100 000 vuotta) aikaisia ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden muutoksia ei vielä nykyisin osata täysin mallintaa. Viime aikoina mallinnuksessa on kuitenkin saavutettu lupaavia tuloksia (Brovkin ym. 2012), joiden soveltuvuus jääkausisyklin aikaisen hiilen kierron mallintamiseen arvioidaan vuosina 2013–2015. Lähtökohtana ovat tällöin eri skenaario-oletukset ihmiskunnan aiheuttamien kasvihuonekaasujen määrästä.

Jäätiköityminen ja jäätikkö

Grönlannin luonnonanalogiatutkimuksissa on ollut käynnissä kolme alaprojektia (Sub-Project A, B, C), joista on saatu tietoa jäätiköltä (SPA), jäätikön pohjasta (SPB) ja kallioperästä (SPC). Kenttätöitä kaikkien kolmen alaprojektin osalta saadaan päätökseen vuoden 2012 aikana. Saatuja tuloksia analysoidaan ja tulkitaan vuoden 2013 aikana ja tulokset raportoidaan ja julkaistaan kaksiosaisessa loppuraportissa vuosien 2013 ja 2014 aikana. Raportin ensimmäisessä osassa esitetään keskeisimmät tulokset ja paneudutaan tulosten tieteelliseen tulkintaan. Raportin toinen osa keskittyy tulosten tulkintaan.

pitkäaikaisturvallisuuden näkökulmasta. Loppuraportin toisen osan arvioidaan valmistuvan vuoden 2014 aikana. Tulosten avulla kehitetään olemassa olevia malleja jäätikön dynamiikan, hydrologian, pohjaveden virtauksen ja kemian sekä jääkausien hydromekaanisten yhteyksien analyysia varten. Näin voidaan vähentää epävarmuuksia ja määrittää paremmin mallintamisessa käytetyt reunaehdot käyttölupahakemusta varten. Grönlannin tutkimusalueella monitoroinnin suunnitellaan jatkuvan vuoden 2012 jälkeenkin ja sen mahdolliset tulokset hyödynnetään käyttölupahakemuksessa.

Kuluneen ohjelmakauden aikana tehtiin Saimaalla ja Salpausselän alueella selvityksiä, joiden avulla rekonstruointiin Järvi-Suomen kielekevirran käyttäytyminen ja paleoympäristöt mannerjäätikön reunan läheisyydessä. Vuosien 2013–2015 aikana selvitystyöt jatkuvat ja tutkimusten tarkoituksena on karakterisoida mahdollisen jäätikön sulavesien vaikutuksia pohjaveteen jään reunan läheisyydessä. Tavoitteena on saada informaatiota laimean sulamisveden hydrologisista ja geokemiallisista vaikutuksista deglasiaation ääriolosuhteissa.

Alkavan ohjelmakauden aikana jäätikön ulottuvuuden lisäksi myös jäätikön paksuuden mallinnusta tarkennetaan entisestään ja varmistetaan jäätikön paksuuden mahdolliset vaikutukset kapselin suunnitteluperusteisiin.

Ikirouta

Edellisellä ohjelmakaudella skenaariomallinnusten ikirouta-arviot perustuivat ilmastomallin tuottamaan tietoon maanpinnan ja jään rajapinnalla. Osoittautui kuitenkin, että tämä ilmastomallin "sivutuotteena" tuottama lämpötila on usein epärealistinen. Vaikka itse ilmastomallin kannalta sillä ei ole suurta merkitystä, tieto maanpinnan lämpötilasta on olennainen luotettavan ikiroutamallinnuksen kannalta. Tämän vuoksi ikiroutamallinnusta tarkennetaan tulevilla ohjelmakaudella liittämällä siihen tarkempi käsittely jääkerroksen vaikutuksesta lämmönsiirtoon ottamalla huomioon myös jään virtauksen aiheuttama lämmön advektio ja sisäisestä kitkasta aiheutuva lämpöenergia. Tuloksia hyödynnetään käyttölupahakemuksen yhteydessä tehtävässä turvallisuuden arvioinnissa.

Maankohoaminen

Tulevien vuosien aikana pintaympäristön (biosfäärin) maankohoamismallia (Pohjola ym. 2012) kehitetään edelleen arvioimalla tarkemmin kirjallisuudesta kerättyjen lähtötietojen epävarmuuksia, hankkimalla uusia ajoitustietoja Olkiluodon lähialueelta lähtötietojen spatiaalisen epätasaisuuden vähentämiseksi, ottamalla paremmin huomioon Olkiluodon ja Satakunnan alueen gps- ja tarkkavaaitustulokset sekä tarkistamalla yhteenpitävyyttä jäätikkömallien (ks. yllä) ja kallioperän postglasiaalisiirroksia koskevan jo tehdyn (luku 4.2.2) ja tehtävän (luku 5.6.3) työn kanssa. Tuloksia hyödynnetään käyttöluvan hakemisen yhteydessä tehtävässä turvallisuuden arvioinnissa.

5.6.3 Kallioperä

Yhteenveto kallioperän ominaisuuksien kehityksestä loppusijoitustilojen käyttövaiheen ja useita jäätiköitymissyklejä kattavan ajanjakson aikana on esitetty *Performance*

Assessment -raportissa. Raportin johtopäätöksenä on, että kallioluokituksen perusteella sijoiteltujen kapselireikien lähikallio täyttää sille asetetut tavoiteominaisuudet lukuun ottamatta mahdollisia yksittäisiä poikkeamia. Poikkeamat tavoiteominaisuuksista johtuvat pitkän ajan kehityskulkuun ja sen mallinnukseen liittyvistä epävarmuuksista. Näitä epävarmuuksia voidaan vähentää hankkimalla täydentävää tietoa tutkimuspaikan olosuhteista ja toisaalta teknisten vapautumisesteiden toimintakyvystä näissä olosuhteissa.

Kallioperän kehityskulkuun ja radionuklidien kulkeutumiseen kallioperässä liittyvän tutkimuksen keskeisiä teemoja vuosina 2013–2018 ovat:

- pohjavesikemian evoluutio (laimean pohjaveden esiintyminen, sulfaatin pelkistyminen sulfidiksi, raudan vapautuminen ja sulfidin saostuminen ja kallion puskurikapasiteetti),
- pohjaveden virtausolosuhteiden kuvaus erityisesti jääkausien aikana,
- kalliopohjaveden virtauksen ja kallion vesikemian ja vesi-kallio-vuorovaikutuksen integrointi tavoitteena tarkentaa tietoa pohjaveden kemiallisesta suhteellisesta stabiiliteetista stabiilisuudesta pitkien aikajaksojen kuluessa, sekä
- kalliosiirosten mahdollisuus loppusijoitustilojen läheisyydessä.

Tutkimusten tavoitteena on vastata viranomaisarvioinnissa saatuun palautteeseen, joka koskee noudatettavia turvallisuusperiaatteita ja arviota niiden toteutumisesta (TEM: Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitushanke – alustavat selvitykset ja suunnitelmat liittyen tulevan rakentamislupahakemuksen valmisteluun, Lausunto 30.12.2010) sekä toimintakykytavoitteiden (kallion tavoiteominaisuuksien) täyttymistä ja loppusijoituspaikan soveltuvuutta (STUK: Posiva Oy:n Olkiluodon ydinjätelaitoksen turvallisuusselvitys 6.6.2011). STUKin lausunnossaan 6.6.2010 esiin nostamia louhintavauriovyöhykkeen (EDZ) ja käytön aikaisten kallioperän ominaisuuksien muuttumisen ja muutosten pitkäaikaisvaikutuksia on käsitelty *Performance Assessment* -raportissa, ja niiden vaikutukset erityisesti pohjaveden virtauksiin on todettu vähäisiksi. Virtausolosuhteet, pohjavesikemia sekä mahdollisesti maanjäristysten seurauksena rikkoutuvien kapselien määrä ja sen rajoittaminen ovat aiheita, joihin viranomaiset ovat kiinnittäneet huomiota teknisten vapautumisesteiden toiminnan kannalta.

Kallioperää koskevat keskeiset tutkimusaiheet liittyvät läheisesti loppusijoituspaikan karakterisointiin ja mallinnukseen sekä kallion soveltuvuusluokittelun kehitykseen, jotka tuottavat lähtötietoja ja reunaehdoja kallioperän pitkäaikaisen kehityskulun arviointiin. Turvallisuusarviontyössä hyödynnettävät loppusijoituspaikan ominaisuuksiin liittyvät kenttätutkimukset Olkiluodon maanpintarei'issä ja ONKALossa, loppusijoituspaikan ominaisuuksia kuvaavien mallien päivitys sekä kallioluokittelun kehitykseen liittyvät tehtävät on kuvattu luvussa 5.3.

Vuosien 2013–2014 aikana kallioperää koskeva, pitkäaikaisturvallisuuden arviointiin tähtäävä työ painottuu pääosin täydentävien lähtötietojen hankintaan ja mallien kehitystyöhön. Kallioperän evoluution kuvauksen päivittäminen mukaan lukien pohjaveden virtaus- ja pohjavesikemian evoluutiomallinnus päivitetään käyttö lupahakemusta varten perustuen Olkiluodon päivitettyyn paikankuvaukseen pääosin vuosien 2015–2016 aikana. Tulosten yhteenveto esitetään tämän jälkeen julkaistavassa päivitetystä *Performance Assessment* -raportissa. Skenaarioiden

määrittäminen ja radionuklidien kulkeutumismallinnus ajoittuvat pääosin vuoden 2015 jälkeen.

Kallion lämpötilaevoluutio

Kallion lämpötilaevoluutio kuvataan ikeroutamallinnuksen yhteydessä (ks. luku 5.6.2) ja se huomioidaan myös pohjaveden virtausmallinnuksessa ja hilseilyarvioissa (ks. alla). Lämpötilan kehitys loppusijoitusreikien lähialueella on esitetty *Performance Assessment* -raportissa perustuen Ikosen (2009) esittämään lämpötekniseen mitoitukseen. Lähialueen lämpötilan kehityksen kuvaus päivitetään käyttöluvapahakemusta varten tarvittaessa, mikäli lähtötiedoissa (esim. polttoaineen lämmöntuotossa tai puskurin suunnitelmissa) ilmenee muutoksia. Tällöin voidaan huomioida myös päivitetty tieto kallion termisistä ominaisuuksista.

Louhinnan aiheuttamat muutokset kalliossa (EDZ ja hilseily)

POSE-kokeen alustavia tuloksia sekä ONKALOSSA tehdyistä tutkimuksista ja kirjallisuudesta saatuja tietoja louhintavauriovyöhykkeen ominaisuuksista on hyödynnetty arvioitaessa louhintavauriovyöhykkeen merkitystä pitkäaikaisturvallisuuden ja erityisesti pohjaveden virtauksen kannalta. Johtuen jännitystilavaurioiden ominaisuuksiin (jatkuvuus ja vedenjohtavuus) liittyvistä epävarmuuksista, mallinnuksessa on käytetty useita vaihtoehtoisia, myös käytettävissä olevien tietojen valossa pessimistisiä oletuksia näistä ominaisuuksista. Tulosten perusteella (*Performance Assessment*) vaikutukset pohjaveden virtauksiin ja pitkäaikaisturvallisuuteen on todettu vähäisiksi.

Olkiluodon kallion jännitystilan ja kallion lujuusominaisuuksien sekä louhinnan aiheuttamien vaurioiden karakterisointi jatkuu ONKALOSSA. POSE-kokeessa tutkitaan käytetyn ydinpolttoaineen tuottaman lämmön vaikutuksia loppusijoitusreikien lähikallion ominaisuuksiin. Louhintavauriovyöhykkeen (EDZ) karakterisointi jatkuu tavoitteena selvittää louhintavauriovyöhykkeen hydraulisia ominaisuuksia. Uudet tulokset POSE- ja EDZ-tutkimuksista ja niiden tulkinnasta huomioidaan tulevassa virtausmallinnuksessa.

Kalliosiirookset

Rakojen uudelleen aktivoitumisia ja siirroksia voi tapahtua jännitystilan muutosten yhteydessä, joista merkittävimmät liittyvät kalliotilojen louhintaan, käytetyn ydinpolttoaineen lämmön vaikutuksiin ja toisaalta jääkausiin. Louhinnan ja käyttövaiheen aikana louhintavauriovyöhykkeen muodostumisella ja toisaalta jännitystilavaurioiden syntymisellä on arvioitu olevan suurempi vaikutus, kuin rakojen uudelleen aktivoitumisella ja siirtymillä, ja analyyseissä tehdyt oletukset louhintavauriovyöhykkeestä ja hilseilystä ovat kattaneet myös uudelleen aktivoitumisen ja siirrosten vaikutukset (*Performance Assessment*).

Merkittävimpiä loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden kannalta ovatkin mahdolliset postglasiaalsiirookset loppusijoitustilojen läheisyydessä olevissa siirrosvyöhykkeissä ja niiden aiheuttamat sekundäärisiirookset loppusijoitustilojen alueella olevissa

kallioraoissa. Analyysijä deformaatiovyöhykkeiden ja kalliorakojen siirtymistä postglasiaalisirrosten yhteydessä jatketaan. Työn tavoitteena on tarkastella siirrosten todennäköisyyttä ja suuruutta huomioiden aiempaa realistisemmin vyöhykkeiden ja rakojen ominaisuuksia (mm. vyöhykkeiden asento suhteessa jännitystilaan, jatkuvuus, rakopintojen ominaisuudet). Aiemmissa analyyseissä vyöhykkeet ja raot on oletettu tasomaisiksi (Fälth & Hökmark 2011, 2012). Lisäksi selvitetään, voidaanko mallinnuksessa käytettyä maanjäristysten esitystapaa kehittää niin, että voidaan tarkastella vaikutuksia lähempänä vyöhykettä, jossa ensisijainen siirros tapahtuu.

Siirrosten analysointi liittyy läheisesti kallioluokittelun kehitykseen, jossa siirrosanalyysijä hyödynnetään loppusijoitustiloja rajaavien vyöhykkeiden (LDF-rakenteet) määrittelyssä sekä määriteltäessä maksimikokoa raoille, joiden ei sallita leikkaavan loppusijoitusreikiä Kallioluokittelun tulosten ja rakoverkkomallinnuksen perusteella arvioidaan kapselin rikkoutumiseen mahdollisesti johtavien siirrosten todennäköisyyttä loppusijoitusrei'issä.

Kallion jännitystila vaikuttaa siirrosvyöhykkeiden stabiilisuuteen. Siirrosten stabiiliutta tarkastellaan huomioiden päivitettyt tiedot jännitystilan kehityksestä jääkauden aikana sekä päivitetty Olkiluodon jännitystilamalli.

Olkiluodon seismiikasta laaditaan yhteenvetoraportti vuoden 2015 loppuun mennessä. Tässä raportissa esitetään yhteenveto sekä Olkiluodon alueella että muualla Suomessa tehdyistä tutkimuksista, joissa mahdollisia siirroshavaintoja on kartoitettu ja analysoitu. Myös arvio maanjäristysten esiintymistiheydestä Olkiluodossa päivitetään. Päivityksessä huomioidaan ainakin Olkiluodon geologisen mallin päivitys ja FENCAT-tietokannassa olevat uudet maanjäristyshavainnot, selvitetään mahdollisia muiden tietolähteiden käyttöä (esimerkiksi Swedish National Seismic Network (SNSN)), sekä arvioidaan laajemman tarkastelualueen vaikutuksia maanjäristysten esiintymistiheyteen.

Pohjaveden virtaus ja suolaisuuden kehittyminen

Turvallisuusperustelua varten tehtävää pohjaveden virtausmallinnusta kehitetään seuraavalla ohjelmakaudella edelleen siten, että rakoverkkopohjaisessa mallinnuksessa sekä kalliopohjaveden että kalliomatriisin huokosveden suolapitoisuus voidaan ottaa huomioon. Tällöin saadaan realistisempi arvio loppusijoituskallion pohjaveden suolapitoisuuden kehityksestä ja vaihtelusta ajan ja paikan funktiona. Aiemmissa mallinnuksissa nämä on voitu käsitellä dynaamisesti vain nk. jatkuvan huokoisen väliaineen menetelmässä, jolloin tulosten voidaan katsoa edustavan laajan alueen keskimääräisiä arvoja.

Olkiluodon alueen tulevan kehityksen mallinnuksessa on voitu huomioida jään aiheuttama jännitys ja sen hydromekaaninen vaikutus vain ilmiön merkitystä haarukoivassa kaksiulotteisessa tapauksessa. Seuraavalla ohjelmakaudella jään painon aiheuttaman jännitystilan ja sen aikakehityksen vaikutus kalliopohjaveden virtaukseen sisällytetään alueelliseen kolmiulotteiseen virtausmalliin.

Tulevalla ohjelmakaudella päivitettävään ilmastoskenaariomallinnukseen liittyen tulevien jääkausien ja niitä seuraavien interglasiaalien vaikutus pohjavesiolosuhteisiin

mallinnetaan jatkuvana, toisin kuin edellisen skenaariomallinnuksen yhteydessä, jolloin tietokoneresurssien rajallisuuden vuoksi mallinnus tehtiin sovituille rajallisille aikajaksoille. Pohjaveden virtausta jääkausisyklin eri vaiheissa mallinnetaan myös alueellisesti kattavampien mallien avulla. Mallinnusta täydennetään edelleen käsittelemällä faasimuutoksen eteneminen kalliossa ja sen vaikutus mm. veden paineeseen ja pohjaveden suolapitoisuuteen liuenneiden kiintoaineiden hakeutuessa nestefaasiin veden jäätyessä.

Kaasujen kulkeutuminen

Olkiluodon kallioperän pohjavedessä on havaittu korkeita liuenneen metaanin pitoisuuksia (pohjavedessä on metaania vähäisemmässä määrin liuenneina myös muita NTP-olosuhteissa kaasuna esiintyviä aineita). Syvällä kalliossa esiintyvän metaanin alkuperän katsotaan olevan abiogeenista; synnyttyään termogeenisissä olosuhteissa syvällä kalliossa se kulkeutuu kallion yläosiin lähinnä diffundoitumalla pitkien aikojen kuluessa. Delos ym. (2010) arvioivat Olkiluodon kallioperän syvältä kulkeutuvan metaanin vuoksi $1,8 \cdot 10^{-7}$ mol/m² vuodessa. Tulevaisuuden ikirouta- ja mannerjäävaiheissa kalliopohjaveden kemialliset, paine- ja lämpötila olosuhteet saattavat olla suotuisat myös metaaniklatraatin muodostumiselle.² Tämän ilmiön merkitystä pohjavesiolosuhteiden stabiilisuudelle ei tiedetä. Tulevan ohjelmakauden aikana selvitetään mahdollisuutta mallintaa kaasu-vesiseoksen käyttäytymistä syvän kiteisen kallion olosuhteissa sekä pitkien vakaiden ikirouta- ja jäätikkövaiheiden aikana että ilmasto-olosuhteiden muuttuessa. Ilmiön käsittely numeerisen mallinnuksen keinoin edellyttää fysikaalisen mallin kehitystä ja suurteholaskentaa. Sovelletavan tilanyhtälön avulla on oltava mahdollista mallintaa olosuhteet, joissa muodostuu mm. metaaniklatraattia.

Kallion puskurikapasiteetti

Olkiluodon merkittävimpiä kemiallisia puskurimekanismeja ovat maaperässä ja kalliossa tapahtuvat mikrobireaktiot. Kallioraoissa merkittävimmät puskurimineraalit ovat kalsiitit, sulfidit ja savimineraalit. Myös liuenneet kaasut muodostavat merkittävän kemiallisen puskurin.

Kallion puskurikapasiteettia aiotaan mallintaa reaktiivisen kulkeutumismallintamisen avulla. Malleissa käytettävät lähtötiedot ja mallien kalibrointi perustuvat jo aiemmin tehtyjen tutkimusten, kenttäkokeiden ja simulointien tuloksiin. Näitä täydennetään vielä tulevien vuosien aikana mm. tutkimalla hapellisen veden puskuroitumista suotautumisyöhykkeessä (ks. luku 5.3.1). Suunniteltu mallinnus perustuu päivitettyihin ilmastoskenaarioihin. Vesi-kalliovuorovaikutuksen ja pohjaveden virtausmallinnuksen integrointia kehitetään liittämällä pohjavesikemian evoluution ja puskurikapasiteetin kuvaus päivitettyyn Olkiluodon virtausolosuhteiden kuvaukseen. Mallinnuksessa huomioidaan aiempaa kattavammin jääkausisyklin eri vaiheet, mukaan lukien mahdollinen pidempään jatkuva meteorisen veden suotautuminen. Reaktiivisen kulkeutumismallinnuksen tuloksena saadaan kuvaus pohjavesikemian evoluutiosta sekä arvio kallion puskurikapasiteetin riittävyydestä.

² Tohidin ym. (2010) mukaan nykyisenkaltaiset olosuhteet ovat epäedulliset metaaniklatraatin muodostumiselle Olkiluodossa.

Pohjaveden sulfidipitoisuuden kehittyminen

Olkiluodon pohjavedessä on havaittu korkeita sulfidipitoisuuksia sulfaatti- ja metaanipitoisen veden rajapinnassa, jossa sulfaatti pelkistyy sulfidiksi mikrobitoiminnan seurauksena. Pohjavesikemian monitorointitulosten perusteella korkeat sulfidipitoisuudet näyttävät johtuvan tutkimustoiminnan aiheuttamasta eri redox-tilassa olevien pohjavesityyppien sekoittumisesta, johon mikrobit reagoivat herkästi. Pohjavesiolosuhteiden stabiloituessa sulfidipitoisuudet näyttäisivät laskevan. Käynnissä ja suunnitteilla on tutkimuksia, joissa selvitetään liuenneen sulfidin kiertoa pohjavedessä: sulfaatin pelkistykseen liittyviä mikrobiologisia reaktioita sekä sulfidin ja raudan välisten reaktioiden nopeutta (SURE-koe, ks. luku 5.3.1) tarkastelemalla mm. sulfidia saostavan raudan saatavuutta pohjaveteen ja muodostuneen rautasulfidin muuttumista niukkaliukoisempaan muotoon pyriitiksi.

Tutkimusten tuloksia sekä kenttätutkimusten perusteella kalibroituja malleja käytetään arvioitaessa pohjaveteen liuenneen sulfidin pitkäaikaiskehitystä reaktiivisen kulkeutumismallinnuksen avulla. Analyysseja varten tarvitaan myös virtausmallien perusteella saatavia tietoja pohjaveden virtausolosuhteista ja -reiteistä. Mallinnustyö ajoittuu vuosille 2015–2016.

Tutkimusten tuloksia hyödynnetään myös lähialueen tarkasteluissa, mm. puskurin ja täytön mikrobitoiminnan arvioinnissa.

Sementtipohjaisten materiaalien ja kallion vuorovaikutus

Luonnonanalogia- sekä eri kalliolaboratorioissa tehdyt tutkimukset osoittavat, että sementistä liuenneiden aineiden reaktio rakomineraalien kanssa vaikuttaa todennäköisesti kallion hydrogeologiaan. Tällä hetkellä aiheeseen liittyy vielä epävarmuuksia ja niiden vähentämiseksi tarvittavia tietoja etenkin pidemmän ajan vaikutuksista, saadaan Grimselin kalliolaboratoriossa meneillään olevasta LCS (Long-term Cement Study) -kokeesta.

Radionuklidien kulkeutumismallinnus kallioperässä

Radionuklidien kulkeutumismallinnuksessa arvioidaan aktiivisuusvirtoja kallioperästä pintaympäristöön (biosfääriin). Kallioperäkulkeutumisen konseptina on radionuklidien kulkeutuminen pohjaveden virtauksen mukana pitkin kallion rakoverkostoa, jossa virtaus jakaantuu yksittäisiin virtausreitteihin. Virtausfysikaaliset lainalaisuudet pakottavat virtausreitit ohjautumaan alaviin maastonkohtiin, jotka kaukaisessakin tulevaisuudessa liittyvät vesistöihin niitä ylläpitävissä ilmasto-olosuhteissa.

Kulkeutumiskonseptin mukaan virtausreitillä radionuklidien kulkeutumista hidastavat matriisidiffuusio ja sorptio. Kallion kulkeutumisominaisuuksien vaihtelu pitkin virtausreittiä pelkistetään edelleen muutaman – vuoden 2012 turvallisuusperustelun radionuklidien kulkeutumismallinnuksessa neljän – perustapauksen avulla, joilla kuvataan rakotäytteen, muuttuneisuushalon ja muuttumattoman kalliomatriisin paksuus, huokoisuus ja efektiivinen diffuusiokerroin. Osana paikkamallin päivitystä tämä kuvaus kuitenkin tarkistetaan ja tarvittaessa päivitetään kaiken vuoden 2013 loppuun mennessä kerätyn geologisen kartoitusaineiston perusteella. Rakokohtaiseen

kulkeutumisominaisuuksien kuvaamiseen lisätään kuitenkin realistinen ja kalliorakojen geologiseen kartoitukseen perustuva arvio kalliorakojen sisäisestä heterogeenisyydestä, joka kehitettävässä kulkeutumiskonseptissa liittyy virtauksen kanavoitumiseen. Mallinnukseen sisällytetään myös rajoitettu matriisidiffuusio, joka aiheutuu toisaalta anioniekskluusion ja toisaalta kytkeytyneen diffuusiohuokoisuuden rakenteesta, jossa kytkeytyneisyys heikkenee pitkällä etäisyyksillä. Missä määrin nämä ilmiöt rajoittavat matriisidiffuusiota Olkiluodon kalliooperässä, on edelleenkin jossain määrin epävarmaa, ja näiden epävarmuuksien merkitystä tarkastellaan siksi herkkyysanalyysien.

Matriisidiffuusiota rajoittavien tekijöiden määrittäminen perustuu jatkossa jo edellisellä TKS-kaudella tehtyihin paikkatutkimustuloksiin. Esimerkiksi kallion liuskeisuus, joka on tyypillistä Olkiluodon pääkivilajille, kiillegneissille, saattaa vaikuttaa diffuusion voimakkuuteen siten, että diffuusio kohtisuoraan liuskeisuuden tasoon nähden on huomattavasti heikompaa kuin liuskeisuuden suunnassa. Kvantitatiivista tietoa asiasta odotetaan saatavan lähimpien vuosien kuluessa tutkimuksissa, joissa yhdistetään yksityiskohtainen tieto kiven huokosrakenteesta ja diffuusiokokeista.

Sorption vaikutuksen mallinnus pidättymisprosessina perustuu jakaantumiskertoimen K_d -arvoihin eri pohjavesikemian ja kivimineraalien olosuhteissa. Sen numeroarvot perustuvat etupäässä laboratorioissa tehtyihin kokeisiin Olkiluodon olosuhteita edustavilla referenssivesillä ja (murskatuilla) kivilajityypeillä (Hakanen ym. 2012). Sorptioparametrien paikkakohtaista tietokantaa täydennetään ottaen huomioon kulkeutumiskonseptiin mahdollisesti tulevat muutokset.

Kaukoalueen sorptiodatojen tuottamisessa epävarmuudet radionuklidien pidättymisessä kiviin ja rakosaviin aiheutuivat pääasiassa kahdesta seikasta: ensinnäkin käytettävissä ollut sorptiodata oli määritetty ns. paikkakohtaisille vesiolosuhteille, jotka poikkesivat osittain huomattavasti Olkiluodon tulevien olosuhteiden kehityskuvauksiin mukaan valituista vesiolosuhteista; toiseksi kivimurskeelle saatujen sorptioarvojen skaalaaminen ehjälle kivelle aiheutti epävarmuuksia (Hakanen ym. 2012).

Sorption arvioimiseksi erilaisissa geokemiallisissa olosuhteissa tarvitaan nuklideille termodynaaminen sorptiomalli, joka sisältää sorptiolle tärkeiden radionuklidien kemiallisten muotojen laskennan, näiden sorptioreaktiot mineraalipinnalle sekä mahdolliset kilpailevat sorptiotapahtumat. Tätä on yksityiskohtaisesti käsitelty esim. juuri valmistuneessa kirjassa *Thermodynamic Sorption Modelling in Support of Radioactive Waste Disposal Safety Cases (NEA Sorption Project Phase III)*, jota myös Posiva on ollut tukemassa. Vuonna 2012 Posivalle laaditussa raportissa kaukoalueen sorptiodatasta vain cesiumin sorptio kiviin sekä cesiumin ja strontiumin sorptio illiittiin voitiin laskea PHREEQC-ohjelmaan kehitetyllä mekanistisella sorptiomallilla. Vastaavat mallit kehitetään kaikille tärkeille radionuklideille, ensin maa-alkaleille Sr ja Ra, sen jälkeen oksianioneille (Se, Mo) sekä aineille (Eu, Th), joiden sorption avulla johdetaan muiden kolmen- ja neljänarvoisten aktinidien sorptio. Lopullinen tavoite on, että kaikille tärkeille aineille sorptio voidaan laskea termodynaamisella mallilla. Vuoden 2012 aikana testataan kirjallisuudesta saatavien savien sorptiomallien käyttöä sorption laskemiseen Olkiluodon vesiolosuhteissa.

Ehjän kiven sorptioarvot skaalattiin murskeille arvioidusta sorptiosta olettaen yksinkertaisesti, että kivimurskeessa kaikki mineraalipinnat osallistuvat sorptioon, mutta ehjässä kivessä sorptio tapahtuu vain kiillemineraaleihin. Ehjän kiven sorptioarvoja voidaan kokeellisesti määrittää kohtuullisessa ajassa diffuusiota nopeuttavan elektromigraation avulla pääasiassa cesiumille sekä maa-alkaliaineille, joille voidaan sorptiomalleilla laskea ennuste sorption suuruudesta. Tätä tutkimusta jatketaan vuonna 2012 cesiumilla. Määritettyjen arvojen epävarmuuden vaikutus kulkeutumismallinnuksen tuloksiin käsitellään todennäköisyyspohjaisella arvioinnilla.

Yhdessä pintaympäristön (biosfäärin) mallintamisen kanssa tarkennetaan päästöjen kulkeutumisreittien mallinnusta tavoitteena saada täsmällisempi kuva eri loppusijoitusrei'istä ja toisaalta yksittäisestä loppusijoitusrei'istä lähtevien päästöreittien hajonnasta tukemaan edustavien purkautumisreittien valintaa turvallisuusanalyysin laskentatapauksiksi. Koska kaikista loppusijoitusrei'istä lähteviä reittejä ei voida kerralla käsitellä pintaympäristön malleissa laskennallisten rajoitteiden vuoksi, kehitetään seulontamalli (screening model) eri purkautumispisteiden annosvaikutusten nykyistä täsmällisemmäksi arvioimiseksi. Tässä otetaan huomioon reittien hajonta, kulkeutumisajat, tyypillisten tai tiettyyn tapaukseen jo valittujen radionuklidien pidentäminen sekä pintaympäristön merkittävimmät säteilyannoksiin vaikuttavat tekijät.

5.6.4 Pintaympäristö (biosfääri)

Turvallisuusperustelutyö pintaympäristön (biosfäärin) osalta tähtää käyttöluvan hakemisen yhteydessä tehtävään turvallisuuden arviointiin. Työ jatkuu paljolti samantyyppisenä kuin rakentamislupahakemusta koskenut vastaava. Koska biosfäärianalyysin lähtötietojen hankkiminen, analysointi ja raportointi sekä sitä seuraava mallinnusketju on laaja kokonaisuus, työstä laaditaan oma suunnitelmansa, joka täydentää vuonna 2013 laadittavaa turvallisuusperustelun suunnitelman päivitystä (luku 5.6.1). Ohjelmakauden ensimmäisenä kolmivuotiskautena pääpainotus on lähtötietojen hankkimisessa ja analysoinnissa sekä mallien kehitystyössä. Vastaavasti jälkimmäisellä kaudella paino on turvallisuusperustelun edellyttämällä mallinnuksella ja raportoinnilla.

Uusista lähtötiedoista merkittävä osa kertyy monitorointiohjelman (luku 5.5) mukaisen työn tuloksena. Tämä ei kuitenkaan kata Olkiluodon ulkopuolisia tutkimuksia, joihin kuuluvat ns. referenssisoiden ja -järvien (Haapanen ym. 2011, Kangasniemi ym. 2011) sekä maataloustuotteiden (Helin ym. 2011) tutkimukset, joita jatketaan. Lisäksi toteutetaan vastaavia tutkimuksia jokiekosysteemeissä. Kokeellista sorptiotutkimusohjelmaa (Lusa ym. 2009, Virtanen 2011, Söderlund ym. 2012) jatketaan lisätiedon hankkimiseksi suoympäristöistä ja vesistöjen pohjasedimenteistä. Biosfäärikuvausraportissa (*Biosphere Description*) ja biosfäärin lähtötietoraportissa (*Data Basis for the Biosphere Assessment*) havaitut puutteet eri ekosysteemien ainetaseissa (erityisesti joet ja kaikkien ekosysteemien eläimistö) ja biosfäärimallien lähtötiedoissa on tarkoitus korjata siten, että ne kattavat säteilyannosten laskennan kannalta merkittävät alkuaineet sekä mallinnuksessa käytettävät biotoopit, niiden sisäisen vaihtelun ja kehityksen annosarvioinnin aikaskaalassa (10 000 vuotta). Näytteiksi kerättävissä kasvi- ja eläinlajeissa keskitytään biosfäärikuvausraportissa valittuihin referenssilajeihin, jotka kattavat sekä luonnonympäristön että ihmisen ravintoverkot.

Erityistehtävänä kaudella 2013–2015 kerätään muinaisten rantavaiheiden C-14-ajoitustietoja maankohoamismallia varten (ks. luku 5.5) sekä selvitetään erityyppisten kaivojen esiintymistiheyttä ja käyttöä Olkiluodon seudulla. Tällä kaudella aloitetaan myös pintaympäristöä koskevien paikkatutkimusten yhteenvetojen laatiminen siten, että ne ovat käytettävissä hyvissä ajoin käyttöluvan hakemisen yhteydessä seuraavalla kaudella tehtävää turvallisuuden arviointia varten.

Pintaympäristön mallintamisessa kehityskohteina kaudella 2013–2015 ovat maaperämallin, päästöreittien ja ilmakehän kautta tapahtuvan kulkeutumisen mallintamisen tarkentaminen sekä kirjallisuuden laajempi hyödyntäminen lähtötietojen hankinnassa. Lisäksi kasvien ja eläinten säteilyannosten arviointimenetelmien kansainväliseen kehittämiseen osallistutaan aktiivisesti kuten tähänkin asti. Tarvittaessa kehitystyötä jatketaan kaudella 2016–2018, mutta pääpaino tällöin on jo varsinaisessa turvallisuusperustelun tarvitsemassa mallinnustyössä ja sen raportoinnissa. Maaperän kerrosmallin (Mönkkönen 2012) parantamista varten hankitaan lisää maaperäkerrosten paksuushavaintoja olennaisimpien päästöreittien pintaantuloalueilta sekä kehitetään kerrospintojen interpolointimenetelmiä ja -työkaluja. Päästöreittien mallintamiseen liittyvää kehitystyötä on käsitelty edellisen luvun lopussa.

Radionuklidien mahdollista kaasuuntumista maaperästä, niiden sekoittumista latvuserroksen ilmaan ja edelleen sitä kautta tapahtuvaa kulkeutumista kasvien ravinteidenoton mukana selvitetään. Tarkastelun kohteena ovat radionuklidit, joiden ottoa lehvästön kautta kasveihin voi alustavien tietojen perusteella tapahtua (esim. C-14, I-129, Cl-36, Se-79), ja tarvittaessa parannetaan kulkeutumismallien rakennetta ja lähtötietoja. Tätä työtä tehdään ensisijaisesti kansainvälisissä yhteishankkeissa. Pintaympäristön mallien lähtötiedoiksi tarvitaan omien tutkimusten tulosten lisäksi myös kirjallisuudesta hankittuja tietoja, jotta voidaan varmistua lähtötietojen kattavuudesta ja vertailla näitä muissa vastaavissa yhteyksissä käytettyihin. Kauden 2013–2015 tavoitteena on saada hyödynnettyä valtaosa keskeisimmästä tiedossa olevasta kirjallisuusaineistosta.

5.6.5 Skenaariot ja niiden analysointi

Kuten luvussa 4.6 on esitetty, odotettavissa olevia loppusijoitusjärjestelmän kehityskulkuja on arvioitu toimintakykyanalyysien avulla ja kehityskulkujen epävarmuuksien vaikutusta turvallisuuteen ja radionuklidien vapautumiseen on arvioitu skenaarioanalyysien avulla.

Loppusijoitusjärjestelmän suunnitteluperusteet (*Design Basis*) on määritelty siten, että odotettavissa olevissa olosuhteissa (perusskenaario) toimintakykytavoitteet täyttyvät mahdollisia satunnaisia poikkeamia lukuun ottamatta. Tavoitteiden täyttyminen osoitetaan järjestelmän toimintakykyanalyysillä (*Performance Assessment*), jossa myös identifioidaan ne epävarmuudet ja poikkeukselliset tilanteet, joissa toimintakykytavoitteita ei kaikilta osin saavuteta. Tällaisten poikkeavien tilanteiden seuraukset samoin kuin seuraukset suunnitteluperusteissa huomiotta jätetyistä epätodennäköisistä häiriötapauksista tarkastellaan erikseen skenaarioraportin (*Formulation of Radionuclide Release Scenarios*) mukaisesti.

Skenaarioanalyysin on osoitettu, että yhden tai useamman vapautumisesteen turvallisuustoiminnon pettämisellä ei ole merkitystä loppusijoituksen turvallisuuden kannalta tai että niihin liittyvä riski on joka tapauksessa hyvin vähäinen ja turvallisuusvaatimusten mukaan hyväksyttävissä.

Vuoden 2012 toimintakykyanalyysin perusteella identifioituja keskeisiä vapautumisesteen toimintaan liittyviä epävarmuuksia tutkitaan seuraavan ohjelmakauden aikana (luku 5.4.2). Lisäksi käynnistetään toimintakykyanalyysit päivitetyn suunnittelu- ja tutkimustiedon pohjalta, joiden perusteella päivitetään myös käyttöluovassa esitettävässä turvallisuusarviossa käytettävät skenaariot.

5.7 Kapselointilaitoksen ydinjätehuolto

5.7.1 Tekniset ratkaisut

Kapselointilaitoksen ydinjätehuollon teknisiä ratkaisuja täsmennetään vuosien 2013–2015 aikana nestemäisten jätteiden käsittelyjärjestelmien ja matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilan yksityiskohtaisella suunnittelulla. Kapselointilaitoksen nestemäisten jätteiden kiinteytysjärjestelmä valitaan ennen kapselointilaitoksen rakentamisen aloittamista.

Matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilan teknisiä yksityiskohtia tarkennetaan laitosuunnittelun edetessä vuosina 2013–2015. Tässä yhteydessä tehdään täydentävät tarkastelut tilan lopullisesta sijainnista loppusijoituslaitoksessa. Tilan täyttämiseen ja sulkemiseen liittyvät suunnitelmat tarkistetaan yhdessä ajotunnelin ja kuilujen sulkemissuunnitelmien ajan tasalle saattamisen kanssa. Tilaan tulevien jätteiden sekalaisen luonteen takia tilan keskimääräistä vedenjohtavuutta ei todennäköisesti ole mahdollista saattaa täytön ja sulkemisen yhteydessä vastaamaan alkuperäisen kallion vedenjohtavuutta. Tämä otetaan huomioon suunniteltaessa tilan sulkevia tulppajärjestelmiä. Loppusijoitustilan toteuttaminen on suunniteltu tällä hetkellä 2020-luvulle, kun laitosjätettä alkaa syntyä.

5.7.2 Pitkäaikaisturvallisuus

Matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilan vaikutukset käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuteen arvioidaan. Työssä otetaan huomioon saadut viranomaiskommentit. Koska pitkäaikaisturvallisuuden kannalta painopisteinä ovat täyttö- ja sulkuratkaisut, tarkennetaan tilan täytölle asetettavia vaatimuksia sulkemissuunnitelman laatimisen yhteydessä. Kallion soveltuvuuskeriteereitä ei toistaiseksi ole laadittu matala- ja keskiaktiivisen jätteen tilalle. Nämä RSC-kriteerit laaditaan ennen tilan toteutussuunnittelun aloittamista ja tilan rakentamista.

5.8 KBS-3H

5.8.1 Meneillään oleva tutkimus- ja kehitystyö vuosille 2013–2015

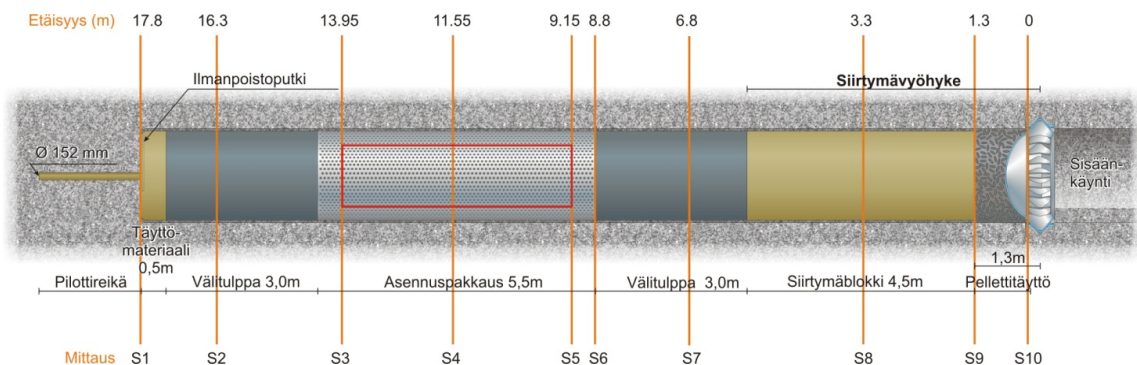
Tässä luvussa käsitellään käynnissä olevaa ja suunniteltua tutkimus- ja kehitystyötä, jonka tarkoituksena on kehittää KBS-3H-vaihtoehtoa DAWE-suunnitteluratkaisun

pohjalta siten, että 3V/3H-vaihtoehtojen vertailu ja tarvittaessa PSARin laatiminen on mahdollista. Suunnitelmaratkaisujen vertailuun sisältyvät myös ympäristöasiat, kustannukset ja turvallisuusasiat (pitkäaikais-, käyttö- ja työturvallisuus). Työ toteutetaan SKB:n ja Posivan yhteisprojektina. Yhteisprojektin "Järjestelmäsuunnitteluvaihe" ajoittuu vuosille 2011–2015.

5.8.1.1 Täyden mittakaavan demonstraatiot

Vaakasijoitusratkaisulle tehtyjen suunnitelmien mukainen toiminta varmistetaan ja demonstroidaan täyden mittakaavan testissä (Multi Purpose Test, MPT) Äspön kalliolaboratoriossa syvyystasolla -220 aiemmin vuosina 2004–2005 (Bäckblom & Lindgren 2005) täysprofiiliporauksella louhitussa 95 metriä pitkässä vaakareissä. MPT on liitetty osaksi kansainvälistä LUCOEX-projektia, jonka toiminta-aika on 2011–2014. Testin asennustyö aloitetaan vuoden 2013 alkupuolella. Kenttävaiheen kestoajaksi on suunniteltu 400 päivää.

MPT:ssä testataan tärkeimpien komponenttien valmistus, kuljetus, asennus ja valitus DAWE-suunnitteluratkaisun mukaiset tekniikat, kuten savimateriaalin keinokastelu. Testissä käytettävät komponentit ovat asennuspakkaus, kaksi välitulppaa, osastotulppa (teräksinen) ja täyttökompontit tulpan takana sekä testiosuuden takaosassa. Komponentit instrumentoidaan niiden toiminnan seuraamiseksi testin kestoajana (ks. kuvat 5-9, 5-10 ja taulukko 5-1). Mittaustuloksia verrataan MPT-testin etukäteismallinnukseen, joka on suunniteltu tehtäväksi ennen kokeen asennusta. Kenttävaiheen päätyttyä komponenttien purkutyön yhteydessä otetaan bentoniittia sisältävistä komponenteista näytteitä analysoitavaksi. Analyysitulosten myötä täydennetään kokeen aikana saatuja mittaustuloksia bentoniitin ja komponenttien käyttäytymisen arvioimiseksi.



Kuva 5-9. Periaatekuva Multi Purpose Testistä (MPT), käytettävistä komponenteista ja alustavasta instrumentointisuunnitelmasta. Komponenttien yhteispituus on vajaat 20 m. Mittausprofiilin S4 instrumentointi on esitetty jäljempänä, ks. kuva 5-10.

Taulukko 5-1. Mittausantureiden jakautuminen eri mittausprofileihin. Mittausantureista osa on langattomia ja osa kaapelilla varustettuja. Anturityyppien selitykset on annettu taulukon alla.

Anturityyppi	Mittausprofiili											Yht.
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Ulko- puolella	
TP kallio/tulppa	5	4		2			4	4	4	5		28
TP puskuri				6	4	5						15
PP kallio	1	4					4		12			21
PP puskuri		4		4	5		4			7		24
WC		6		4	5		6	7	6			34
WP		6		4	5		6	6	6			33
WF	1	2		2	2		2	2	2			13
DS					4	4						8
DB									2			2
DC											3	3
IS				2								2
IB		1					1		2			4
SG asennuspakk.			12	16	12							40
SG kupoli											20	20
FM											1	1
GP					1	1				1		3
Langaton	0	6	0	0	6	0	6	6	6	6		36
Kaapeloitu	7	21	12	40	32	10	21	13	28	7	24	215
Yhteensä	7	27	12	40	38	10	27	19	34	13	24	251

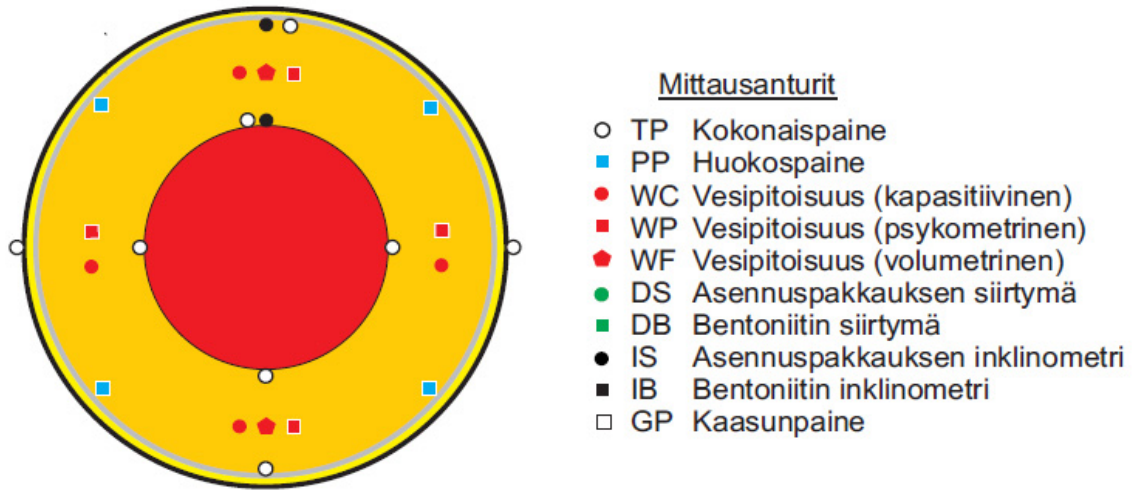
S1: yksi huokospaineanturi asennetaan pilottireikään.

S9: kolme huokospainemittaria asennetaan kuhunkin neljään kairareikään, jotka kairattu kallioon ko. profiilin kohdalle.

Selitykset Taulukossa 5-1 käytettyjen anturityyppien lyhenteistä.

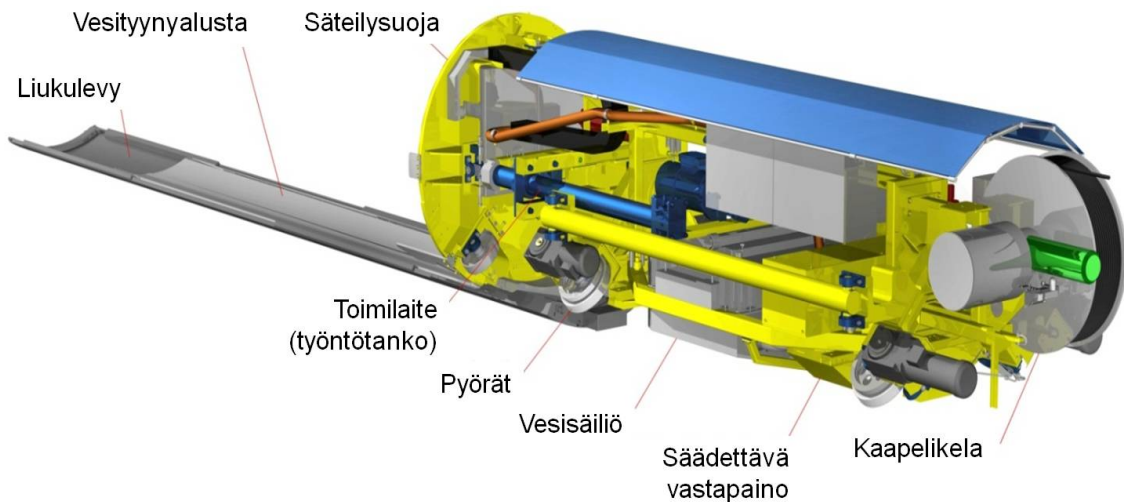
Lyhenne	Selitys	Lyhenne	Selitys
TP	Kokonaispaine	IS	Asennuspakkauksen inklinometri
PP	Huokospaine	IB	Bentoniitin inklinometri
WC	Vesipitoisuus (kapasitiivinen)	GP	Kaasunpaine
WP	Vesipitoisuus (psykrometrinen)	SG	Venymäliuska
WF	Vesipitoisuus (volumetrinen)	FM	Virtausmittari
DS	Asennuspakkauksen siirtymä	DC	Siirtymämittauksen kauluri
DB	Bentoniitin siirtymä		

S4



Kuva 5-10. Mittausantureiden sijaintipiirros profilissa S4, joka sijaitsee keskellä asennuspakkausta, ks. kuva 5-9.

MPT-testin asennuksessa käytetään aiemmassa projektivaiheessa kehitettyä asennuslaitteistoa. Laitteella on tehty noin 50 km testiajoa Äspön kalliolaboratoriossa. Laitteeseen tehdään ennen MPT-testiä teknisiä parannuksia sekä laite- että ohjelmistopuolelle.



Kuva 5-11. KBS-3H-konseptia varten kehitetty asennuslaite.

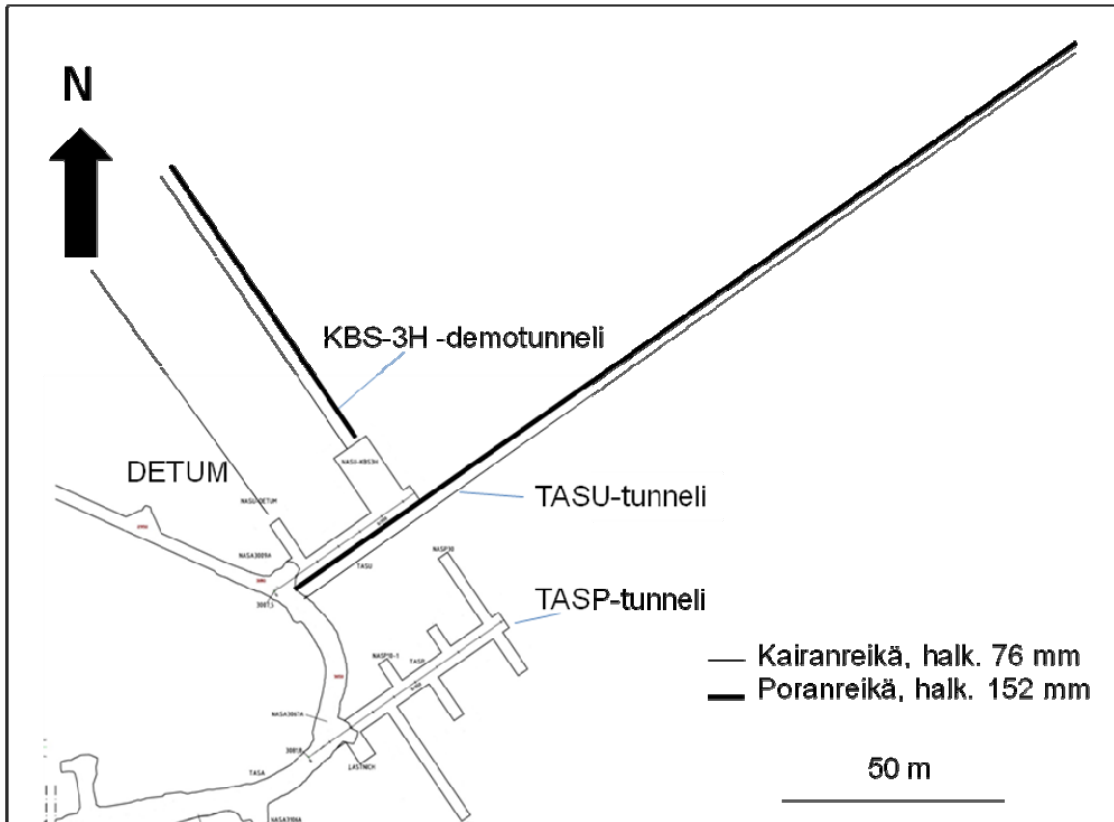
Suoran pilottireiän tekeminen ja sen avartaminen loppusijoitusreiäksi asetettujen kriteerien mukaisesti on yksi merkittävimmistä haasteista, joita ei ole vielä kyetty täysin demonstroimaan. Aiemmin vuosina 2004–2005 (Bäckblom & Lindgren 2005) porattiin Äspön kalliolaboratoriossa syvyystasolla -220 kaksi vaakareikää (halkaisija 1 850 mm). Pilottireikä tehtiin kiertomurskaukseen perustuvalla terällä ja pilottireikä avarrettiin

avarrusterällä. Toinen vaakarei'istä on 95 metrin pituinen ja toinen 15 metrin pituinen. Porauslaitteen ohjauslaite, joka aktiivisesti korjaa reiän suunnan oikeaksi välittömästi mitattuaan suunnan vääräksi, rikkoutui ja testit jouduttiin suorittamaan suunniteltua suppeampina. Tehdyn demonstraation perusteella ei voitu vielä osoittaa, että vaakareiät voidaan porata täyteen 300 metrin pituuteen saakka verrattain tiukkojen suoruus- ja geometrinen kriteerien täyttävinä, vaikkakin lyhyiksi jääneet vaakareiät ne täyttivätkin.

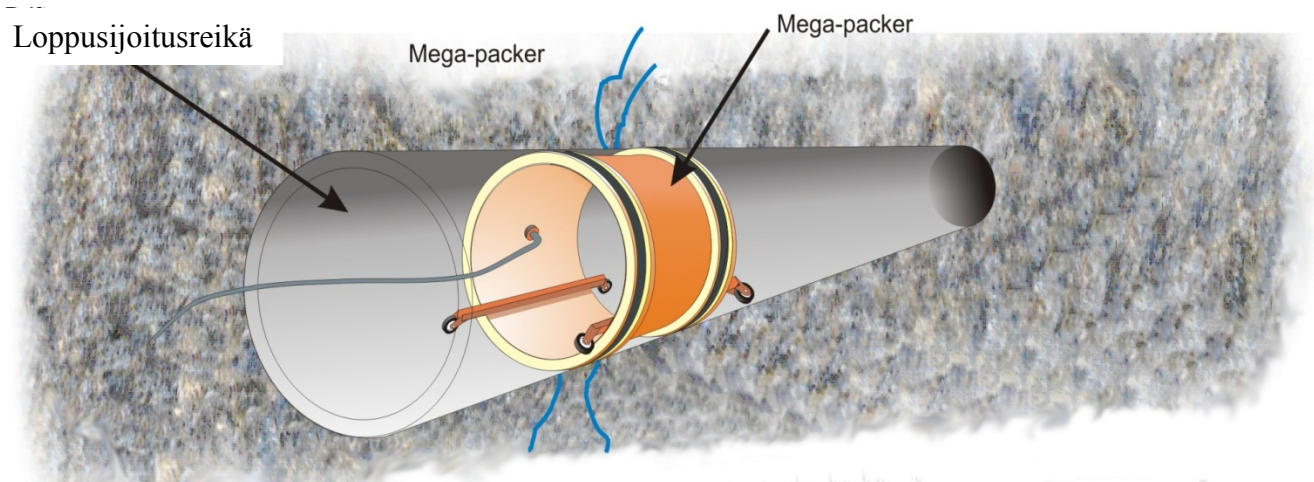
Kuluvan projektivaiheen aikana tehdään pilottireiän suoruuteen liittyviä testejä joko Äspössä ja/tai Olkiluodossa. Suoran pilottireiän edellytyksenä, käytettävästä tekniikasta riippumatta, on riittävän tarkka taipuma-/sivusuuntamittauslaitteisto, jonka avulla reiän suuntaa voidaan korjata mahdollisimman varhaisessa vaiheessa reiän poiketessa suunnitellusta suunnasta. Laitteiston testaamiseksi Äspön kalliolaboratorion läheisyyteen maanpinnalle suunnitellaan keinotekoista "koereikää", jonka sijainti mitataan tarkasti koko reiän pituudelta. Tässä reiässä testataan ja kalibroidaan vaihtoehtoisia mittauslaitteita.

Pilottireiän ensisijaiseksi testattavaksi tekniikaksi on valittu ohjattu kallionäytekairaus (halk. 76 mm) ja monivaiheinen avartaminen. Avartaminen tapahtuu aluksi porauksen pilottireiän tarvitsemaan reikähalkaisijakokoon ja sen jälkeen täyteen loppusijoitusreiän halkaisijakokoon 1 850 mm. Lopullisia reiän laatua mittaavia tekijöitä ovat geometria, suoruus, pintojen tasaisuus ja aaltoilu. Pilottireikä kairataan täyteen 300 metrin pituuteen, mutta avarrus tehdään vain noin 100 metrin matkalta. Pilottireiän testaukseen kuuluu myös reiän huolellinen karakterisointitutkimus. Näiden toteuttamiseen vaikuttaa lopulta valittava reikähalkaisija, koska halkaisijaltaan yli 76 mm reikiin tarvittavaa tutkimustekniikkaa on rajallisesti saatavilla.

Pilottireikätestausten jälkeen Äspön kalliolaboratorioon on suunnitteilla KBS-3H:lle oma testipaikka (demotunneli) syvyystasolle -420 m (ks. kuva 5-12). Testipaikan sijaintiin ja rakentamiseen vaikuttaa Äspön kalliolaboratorion meneillään oleva laajennushanke. Testipaikalle on annettu joukko tavoiteominaisuuksia, joita sen toivotaan täyttävän mm. sen johdosta, että demotunnelissa testataan myös aiemmin pohjaveden hallintaan kehitettyä Mega-Packer-nimistä jälki-injektointilaitteistoa. Laitteistosta on saatu hyviä tuloksia aiemmasta projektivaiheesta, jolloin sitä käytettiin -220-tasolla sijaitsevan 95 m pitkän vaakareiän injektoimiseen (kuva 5-13) (Eriksson & Lindström 2009). Uuden testin tavoitteena on selvittää laitteen toiminta paineolosuhteissa, jotka vastaavat loppusijoitusyvyttä.



Kuva 5-12. Suunnitellun KBS-3H:n demotunnelin alustava sijainti Äspön kalliolaboratoriossa -420-tasolla.



Kuva 5-13. Kaaviokuva Mega-Packerista ja sen käytöstä 3H-loppusijoitusreiän vuotokohdan jälki-injektoimiseksi. Injektointimateriaalina käytetään kolloidista silikaa (Autio ym. 2008).

5.8.1.2 Puskuribentoniitin tutkimukset ja suunnittelu ml. täyttökomponeentit

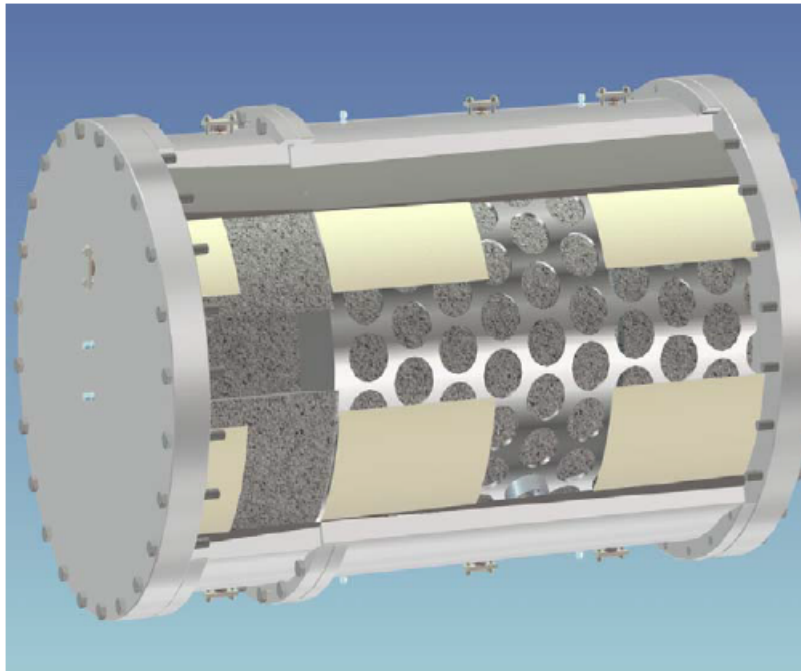
KBS-3H-vaihtoehdossa puskuriin lasketaan kuuluvaksi asennuspakkauksen sisältämän bentoniitin lisäksi myös välitulppa. Asennusvaiheessa niiden kuivatiheys ja vesipitoisuus poikkeavat toisistaan. Molempien komponenttien sisältämien bentoniittilohkojen paisuntapaineen kehitystä (paineen kasvunopeus ja paineen suuruus)

testataan laboratorio-olosuhteissa suuren mittakaavan ns. Big Bertha (BB) -laboratoriokokeissa. Kokeessa tutkittava bentoniittityyppi asennetaan teräksiseen vaakareikään ja paineen kehitystä mitataan keinotekoisen kastelun jälkeen (ks. kuva 5-14). Vaihtoehtoisesti koeolosuhteet tehdään "kuiviksi" tai "märiksi" lisäämällä vettä kokeen aikana. Kuivissa olosuhteissa vettä lisätään ainoastaan keinokastelun yhteydessä. Ensimmäinen tällainen koe tehtiin edellisessä projektivaiheessa "Täydentävät tutkimukset 2008–2010". Koe mallinnetaan ja työn tulosta käytetään hyväksi MPT:n etukäteismallintamisessa.

Asennuspakkauksen sisältämän bentoniitin paisuntaominaisuuksien kannalta oman merkityksensä asiaan tuovat suojasynterissä olevat reiät. Suojasynterin reikäisyysaste on noin 60 %. Reikien kautta bentoniitti paisuu asennuspakkauksen ja kallioseinän väliin jäävään tilaan. Bentoniitin paisumista testataan pienimuotoisessa laboratoriokokeessa, jossa tilanne on yksinkertaistettu yhden reiän tapaukseksi. Myös tämä koe mallinnetaan ja tulosta käytetään MPT:n etukäteismallintamisessa. MPT:sta saadaan myös paljon tietoa bentoniitin käyttäytymisestä asennuksen jälkeen (instrumentointi ja kokeen purkaminen lopussa).

Välitulpan paisuntaominaisuuksilla on merkitystä sen toimintaan hydraulisena tulppana kahden asennuspakkauksen välissä. Paisuntapaineen kasvunopeudella ja -paineen suuruudella on merkitystä myös kallion mahdollisen hilseilyn kannalta. Mahdollisimman nopea paisuntapaineen kasvu ja suuri paisuntapaine ovat omiaan vähentämään tai peräti estämään hilseilyn syntymistä.

Päätökset vaakareiän halkaisijan kasvattamisesta 1 850–1 855 mm:iin (halkaisijan sallittu vaihteluväli) ja asennuspakkauksen ulkohalkaisijan pienentymisestä 4 mm:llä vaikuttavat asennuspakkauksen ja reikäseinämän välisen välyksen suuruuteen (44,5–48 mm). Se otetaan huomioon koejärjestelyissä ja sillä on positiivinen merkitys asennuspakkausten asennustyön kannalta aiempaan verrattuna. Materiaalin vaihtaminen titaaniin mahdollisti suojasynterinin ohuemman seinämäpaksuuden.



Kuva 5-14. Periaatekuva Big Bertha -laitteesta, jonka sisähalkaisija on 800 mm ja maksimipituus 1 400 mm. Kuvassa olevia valkoisia levyjä voidaan käyttää, mikäli testiin tarvitaan lisää vettä kokeen aikana (SKB 2012).

Bentoniitin paisuntaominaisuuksien lisäksi edellisessä projektivaiheessa tunnistettuja tutkimuskohteita olivat mm.

- Jääkauden jälkeisten glasiaalivesien aiheuttama bentoniitin eroosio on yhteinen tutkimusaihe sekä KBS-3V- että KBS-3H-ratkaisujen kehittämisessä ja sitä tutkitaan 3V-projektissa. Eroosion kannalta 3H- ja 3V-ratkaisujen välinen ero liittyy loppusijoitusreikien erilaiseen geometriaan ja 3H:n osalta sitä selvitetään yhteisen tutkimusvaiheen tulosten pohjalta.
- Toinen KBS-3V ja -3H-ratkaisuille yhteinen bentoniittia koskeva aihe on erilaisten kompaktointitekniikoiden (isostaattinen/yksiaksaalinen) vaikutus bentoniittilohkojen ominaisuuksiin – tutkimuksia tehdään 3V-projektissa ja tulokset soveltuvat myös 3H-projektin käyttöön.
- Veden kulkeutuminen ja bentoniitin paisuminen heterogeenisessä ympäristössä.
- Veden siirtyminen asennuspakkauksessa vesipitoisuudeltaan alhaisemman bentoniitin ja välitulpan vesipitoisuudeltaan korkeamman bentoniitin välillä.
- Kalliorakojen itsestään umpeutuminen/horisontaalinen eroosio ja täyttökomponeenttien homogenisaatio vuotavan raon tapauksessa.
- Täyttökomponeentin testaus (vaihtumisvyöhykkeen mitoitus perustunut mallintamiseen ja laskentaan).

Puskuri- ja täyttökomponeenttien suunnitelmat tarkennetaan yksityiskohtaisemmiksi vuosien 2013–2015 aikana.

Puskuri- ja täyttökomponeentteja koskevista tutkimuksista, niiden tuloksista ja komponenttien suunnitelmista laaditaan raportti, jossa esitetään komponenttien päivitetty suunnitelmaversiot.

5.8.1.3 Muut komponentit

Muiden komponenttien (asennuspakkaus ja tulpat) suunnitelmia tarkennetaan yksityiskohtaisemmiksi ja ne esitetään raportissa, joka laaditaan vuosien 2013–2015 aikana.

5.8.1.4 Laitossuunnitteluun liittyvät työt

Loppusijoituslaitoksen asemointi päivitetään ajantasaisimman geologiseen mallin ja muun kallioperätiedon perusteella. Myös päivitetty loppusijoitettavien kapselien määrä ja KBS-3H-vaihtoehdon kehitystyön tulokset tullaan ottamaan huomioon aiempia suunnitelmia tarkennettaessa. Asemoinnin lisäksi suunnitellaan 3H-ratkaisun käyttövaiheen tekniikkaa ja tarvittavien tilojen vaiheittaista rakentamista Olkiluodon kallioperään. Työhön kuuluu mm. kapselien kokoonpanoaseman teknisten suunnitelmien päivittäminen ja tarvittavien maanalaisten varastotilojen suunnittelu mm. valmiille asennuspakkauksille.

Vuosien 2013–2015 aikana laaditaan järjestelmäkuvaukset ja raportti laituskuvauksesta. Niissä keskitytään 3H-ratkaisun erityispiirteisiin ja mahdolliset 3V-ratkaisun kanssa yhteiset seikat hoidetaan viittaamalla vastaavaan 3V-raporttiin. Järjestelmäkuvaukset laaditaan samanmuotoisiksi kuin 3V:ssä. Työ sisältää myös KBS-3H-ratkaisussa tarvittavat laitteet.

5.8.1.5 KBS-3H-tuotantolinjaraportit

Tuotantolinjaraportteja laaditaan kaikkiaan viisi, joista yksi toimii yhteenvetoraporttina. Neljä varsinaista tuotantolinjaraporttia ovat:

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

Tuotantolinjaraporteissa keskitytään 3H-ratkaisun erityispiirteisiin. Raportit laaditaan yhteisesti SKB:n kanssa ja raporteissa tuodaan esiin organisaatiokohtaiset eroavuudet 3H:n suunnittelussa. Yhteisten osa-alueiden (3V/3H) osalta viitataan vastaaviin 3V-raportteihin kuitenkin siten, että keskeiset asiat tulevat mainituiksi myös 3H-raporteissa.

5.8.1.6 Työ- ja käyttöturvallisuus

Edellisessä projektivaiheessa tehtiin sekä työ- että käyttöturvallisuusselvitykset, jotka perustuivat "mitä-jos"-analyysiin. Töitä jatketaan ja niissä keskitytään 3H:lle ominaisiin työvaiheisiin: loppusijoitusreiän poraaminen, vastaanottoaseman toiminta ja komponenttien asentaminen loppusijoitusreikään. Työturvallisuuteen liittyvässä työssä tuodaan esiin myös mahdolliset eroavaisuudet työturvallisuuslainsäädännössä Ruotsissa ja Suomessa.

5.8.1.7 Pitkäaikaisturvallisuus vuosina 2013–2015

Vaakasijoitusratkaisun pitkäaikaisturvallisuustutkimukset tehdään seuraavina vuosina vaiheittain. Käynnissä olevassa SKB-Posiva-yhteistyöprojektissa työ etenee siten, että ensin analysoidaan alustavassa KBS-3H-turvallisuusanalyysissä vuonna 2008 identifioitujen keskeisimmät selvitystarpeet. Selvitystarpeet liittyvät erityisesti tapauksiin, jotka voivat johtaa erilaisiin seuraamuksiin verrattuna pystysijoitusratkaisuun. Nämä

liittyvät usean kapselin rikkoutumiseen ja koskevat jääkauden jälkeisen laimean glasiaaliveden aiheuttamaa bentoniitin eroosiota ja siitä koituvaa kapselin korroosiota sekä kalliosiiroksen aiheuttamaa kapselin rikkoutumista. Arvio tehdään perustuen vertailuanalyysiin, jossa verrataan arviota vastaavaan KBS-3V-tarkasteluun. Työ tehdään valitulle DAWE-referenssiratkaisulle. Työ on käynnistynyt Forsmarkiin tehtävällä analyysillä, jossa hyödynnetään KBS-3H:n tarpeita varten päivitettävää SR-Site-aineistoa. Posivan vastaava analyysi Olkiluotoon tehdään vuosina 2013–2015. Analyysitulosten arvioimisen jälkeen tehdään tarkempi suunnitelma KBS-3H-turvallisuusarviotyölle ja tulokset käytetään hyväksi laadittaessa uutta suunnitelmaa turvallisuusperustelutyölle tulevalle ohjelmakaudelle 2016–2018.

Projektivaiheessa 2013–2015 tehtävän turvallisuusarvioinnin seuraava tavoite on saada valmiiksi toimintakykyanalyysi, jossa arvioidaan, miten turvallisuustoiminnot, toimintakykytavoitteet ja tavoiteominaisuudet täyttyvät KBS-3H-loppusijoitusreiässä odotettavissa olevan kehityskulun aikana ottaen huomioon myös alkutilaan ja kehityskulkuun liittyviä epävarmuuksia. Tämän työn lähtökohtana on laadittava *Design Basis* -raportti KBS-3H:lle, joka nojautuu olemassa oleviin KBS-3V-turvallisuustoimintoihin ja toimintakykytavoitteisiin useimpien vapautumisesteiden osalta sekä KBS-3V:lle laadittuun vastaavaan raporttiin. Työ painottuu ratkaisun erityispiirteisiin verrattuna pystysijoitusratkaisuun. Samanaikaisesti laaditaan SKB:n toimesta vastaava Design Premises -raportti vaakasijoitusratkaisulle. Näissä raporteissa otetaan huomioon myös viimeisimmät KBS-3V-analyysien tulokset (TURVA-2012 ja SR-Site) sekä alustavan KBS-3H-turvallisuusarvion tulokset vuodelta 2008.

KBS-3H-projektin aikana on jatkettu asennuspakkauksen materiaalien tarkastelua sekä arviointia (Fe, Cu ja Ti). Työn perusteella todettiin titaatin omaavan vähiten vaikutusta puskuriin ja sen ominaisuuksiin ja tehtiin päätös, että asennuspakkauksen materiaalina tullaan käyttämään titaania. Titaatin ja puskurimateriaalin välisen vuorovaikutuksen kokeellista tutkimusta jatketaan seuraavan ohjelmakauden aikana.

Loppusijoitusreiän toimintakykyanalyysien rinnalla laaditaan KBS-3H-vaihtoehdolle tuotantolinjaraportit, jotka toimivat lähtökohtana turvallisuusarvion alkutilan määrittelyssä. Seuraavan ohjelmakauden (2013–2015) aikana määritetään kallion tavoiteominaisuudet ja niistä johdetut kallion soveltuvuuskriteerit (RSC) KBS-3H-vaihtoehdolle. Tässä työssä nojaututaan pitkälti jo olemassa oleviin KBS-3V:n tavoiteominaisuuksiin ja soveltuvuuskriteereihin. Tässä työssä kiinnitetään huomiota erityisesti vesivuoto- ja mekaanisen stabiilisuuskriteerin (ns. pitkäraakokriteeri) kehitystyöhön. Nämä tulokset on tarkoitus esittää RSC-3H-raportissa, joka laaditaan vuosien 2013–2015 aikana. Aiemmat asemoinnit (layoutit) päivitetään ottaen huomioon myös KBS-3H:lle määritettävät kallion soveltuvuuskriteerit.

3H-ratkaisun turvallisuusarvioinnin tavoitteena on saavuttaa riittävä tietotaso, jonka avulla voidaan arvioida, onko vaakasijoitusratkaisu vähintään yhtä turvallinen kuin pystysijoitusratkaisu. KBS-3H:n Olkiluoto-kohtainen turvallisuusperustelu kootaan ns. raporttisalkkuun KBS-3V-turvallisuusperustelun tavoin. Salkku koostuu kokonaisuuksista, jotka on esitetty kuvassa 5-15. Kuvan mukaisesti osa 3V:tä koskevan TURVA-2012-salkun raporteista päivitetään koskemaan 3H:ta ja osa raporteista on yhteisiä 3V:lle ja 3H:lle. Keltaisella merkityt ovat KBS-3H:lle spesifisiä raportteja,

vihreät kuvaavat niitä raportteja, joissa päivitetään 3V-ratkaisulle tehdyt tarkastelut koskemaan 3H-ratkaisua. Sinisellä merkityt raportit ovat samoja kuin KBS-3V-ratkaisulle tehdyssä turvallisuusperustelussa.

Loppusijoitustilan kallion ja pintaympäristön (biosfääriin) kuvaus ja kehityskulku ovat luonnollisesti vastaavat kuin 3V-ratkaisussa ja näin ollen myös biosfääriin liittyvät mallit ja datat. Turvallisuusanalyysin tuloksia KBS-3H- ja KBS-3V-ratkaisulle voidaan verrata geo/bio-päästö määrärien perusteella. Tarvittaessa annoslaskut ajetaan biosfääriin KBS-3V:lle raportoitavana olevan referenssitapauksen mallin kautta ja tulokset raportoidaan KBS-3H Synteesiraportissa.

Päivitettävissä raporteissa uusitaan ne osuudet jotka koskevat nimenomaan KBS-3H-vaihtoehdon erityispiirteitä. KBS-3V- ja KBS-3H-vaihtoehtojen vertailuanalyysi (Gribi ym. 2007) on osoittanut, että pitkäaikaisturvallisuuden näkökulmasta suurimmat erot liittyvät KBS-3H-vaihtoehdon erityisominaisuuksiin, kuten asennuspakkaukseen ja muihin rakennekomponentteihin sekä niiden aiheuttamiin muutoksiin hydraulisisissa olosuhteissa pitkässä loppusijoitusreiässä ja sen välittömässä läheisyydessä. Ts. päivitykset koskevat pääosin KBS-3H-loppusijoitusreikää komponentteineen ja reiän lähialuetta. Näin ollen suurin osa päivitettävistä raporteista säilyy muuttumattomana.

Seuraavat raportit kirjoitetaan nimenomaan KBS-3H:lle:

- Synthesis – KBS-3H
- Design Basis – KBS-3H
- Production Lines – KBS-3H
- Performance Assessment – KBS-3H difference analysis, 3H drift analysis
- Assessment of Radionuclide Release Scenarios for the Repository System - KBS-3H.

Turvallisuusperustelu - KBS-3H	
Synthesis KBS-3H	
Yleisen metodologian kuvaus, yhteenveto kaikista turvallisuutta koskevista erilaisista perusteluista, luotettavuuden toteaminen sekä pitkäaikaisturvallisuusvaatimusten täyttymisen arviointi.	
Site Description	Biosphere Description
Loppusijoituskallion nykytilan ja menneen kehityskulun kuvaus.	Maanpintaympäristön nykytilan ja kehityskulun kuvaus.
Design Basis - KBS-3H	
Loppusijoitustilan toimintakykytavoitteet ja tavoiteominaisuudet.	
Production Lines - KBS-3H	
Teknisten vapautumisesteiden ja kalliotilojen suunnittelu, tuotanto ja alkutila.	
Description of the Disposal System - KBS-3H update	
Yhteenveto loppusijoitustilan alkutilasta ja maanpintaympäristön nykytilasta.	
Features, Events and Processes - KBS-3H update	
Yleinen kuvaus loppusijoitusjärjestelmään vaikuttavista ilmiöistä, tapahtumista ja prosesseista.	
Performance Assessment - KBS-3H	
Analyysi loppusijoitusreiän toimintakyvystä todennäköisimmän kehityskulun mukaan sekä toimintakykytavoitteiden täyttymisen arviointi.	
Formulation of Radionuclide Release Scenarios - KBS-3H update	
Ilmaston ja loppusijoitusjärjestelmän kehityskulun kuvaus sekä skenaarioiden määrittäminen.	
Models and Data for the Repository System - KBS-3H update	Biosphere Assessment Data Basis
Toimintakyvyn arvioinnissa ja päästöjen analysoinnissa käytetyt mallit ja lähtötiedot.	Biosfäärianalyysissä käytetyt lähtötiedot ja yhteenveto malleista.
Biosphere Assessment: Modelling reports	
Kuvaus malleista ja maanpintaympäristön yksityiskohtainen mallintaminen.	
Assessment of Radionuclide Release Scenarios for the Repository System, KBS-3H	Biosphere Assessment
Päästöjen analysointi ja aktiivisuusvuoarvojen laskeminen.	
	KBS-3H-kohtaiset raportit
	KBS-3H-päivitykset KBS-3V-raportteihin (loppusijoitusreitit: KBS-3H; muut osat: KBS-3V)
	KBS-3V:n kanssa yhteiset raportit

Kuva 5-15. Vaakasijoitusratkaisun turvallisuusperustelusalkku.

5.8.2 Suunnitelmat aikavälille 2016–2018

Menossa olevan projektivaiheen valmistuttua ja turvallisuusperustelun tulosten varmistaessa vaakasijoitusratkaisun vähintään yhtä turvalliseksi kuin pystysijoitusratkaisun, tehdään kokonaisarvio näiden vaihtoehtojen välillä. Valmiuden tähän on arvioitu olevan vuoden 2016 alkupuolella. Arvion perusteella tehdään päätös, miten jatkossa edetään vaihtoehtojen viemisessä kohti toteutusta. Arviota tullaan tarkastelemaan yksityiskohtaisesti vuonna 2015 laadittavassa YJH-ohjelmassa.

Samanaikaisesti menossa olevan projektivaiheen rinnalla varaudutaan loppusijoituslaitoksen suunnittelussa tarvittaviin muutoksiin siten, että vaakasijoitusvaihtoehtoon siirtyminen voi olla mahdollista. Lisäksi huolehditaan siitä, että mahdollisuudet ONKALOSSA tehtäviin suuren mittakaavan kokeisiin ja yhteistoimintakokeeseen KBS-3H-ratkaisua varten säilyvät. Mahdollisesti yhteistyötä voidaan jatkaa SKB:n kanssa ja tehdä osa työstä ONKALOSSA ja osa Äspössä.

6 KÄYTETYN YDINPOLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUKSEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS 2013–2018

6.1 Lähtökohdat

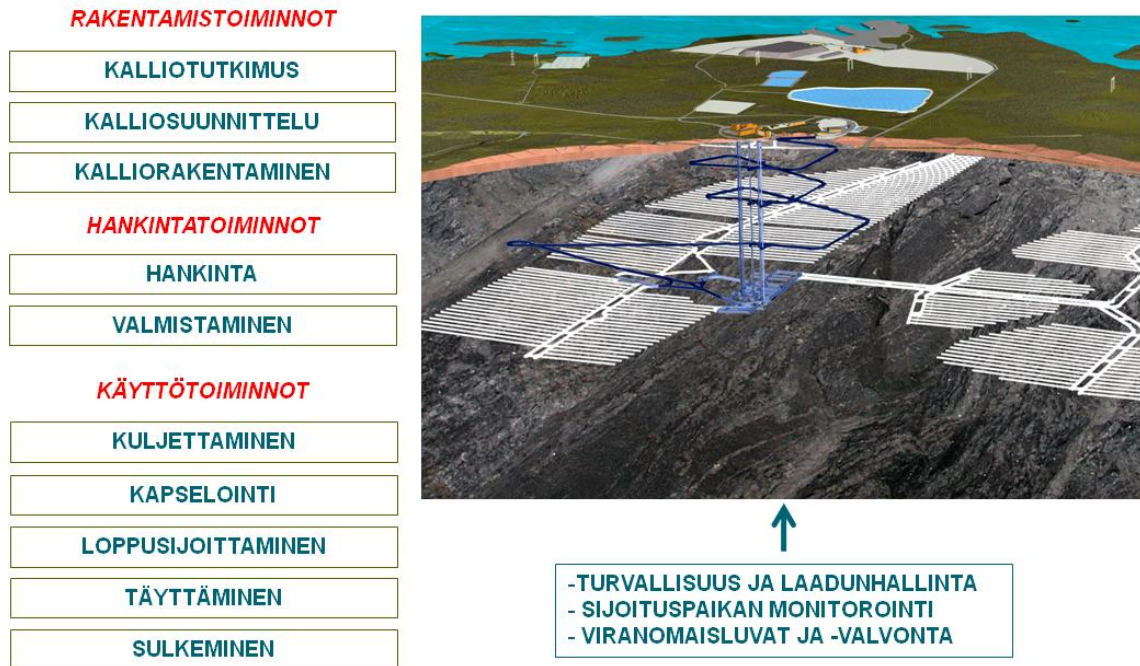
Ydinenergialainsäädännön mukaisesti Posivan laitoskokonaisuus koostuu kahdesta erillisestä ydinlaitoksesta, kapselointilaitoksesta ja loppusijoituslaitoksesta, jotka luvituksessa esitetään yhtenä kokonaisuutena.

YJH-2012-ohjelman alkuvuosien tavoitteena on viimeistellä kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen toteutussuunnitelmat siten, että valmius rakentamisen aloittamiseen on olemassa siinä vaiheessa, kun tarvittavat luvat on saatu. Myöhempinä vuosina tehtävän työn keskeisenä päämääränä on tuottaa valmiudet käyttölupahakemuksen jättämiseen. Tavoitetilana on käyttölupahakemusvalmiuden saavuttaminen siten, että loppusijoitusvalmius on saavutettu noin vuonna 2020.

Toiminnan aloittaminen edellyttää, että laitosten keskeisten järjestelmien sekä laitteiden luvitus on hoidettu asianmukaisesti ja niiden toimivuus on osoitettu yhteistoimintakokeissa sekä koekäytössä. Ennen loppusijoituksen aloittamista rakennetaan myös loppusijoitusjärjestelmän eri osien valmistamisessa tarvittavat tuotantolaitokset. Näitä ovat kapseloiden kokoonpanolaitos sekä bentoniittipuskurin ja täyttömateriaalin tuotantolaitokset. Myös raaka-aineiden ja materiaalien saatavuudesta ja hankintaketjuista on huolehdittava loppusijoitusprosessin tarpeita varten. Varautuminen polttoainekuljetuksiin edellyttää polttoainesäiliöiden ja kuljetuskaluston hankintaa ja lisensointia sekä kuljetuksen liittyvien safeguards-asioiden hoitamista. Edellä kuvatut konkreettiset rakentamis- ja hankintatoimet edellyttävät järjestelmällistä osaamisen, henkilöresurssien ja menettelytapojen kehittämistä.

Eri tuotantolaitosten kohdalla voidaan harkita vaihtoehtoisia ratkaisuja. Niiden ei tarvitse sijaita Olkiluodossa, vaan niiden sijainti voidaan päättää esimerkiksi kustannusten kannalta edullisimmalla tavalla. Ne voivat, mahdollisuuksien niin salliessa, olla SKB:n kanssa yhteisiä laitoksia tai komponenttien tuotanto voidaan kokonaisuudessaan ulkoistaa. Palveluiden saatavuus on tällöin erikseen varmistettava.

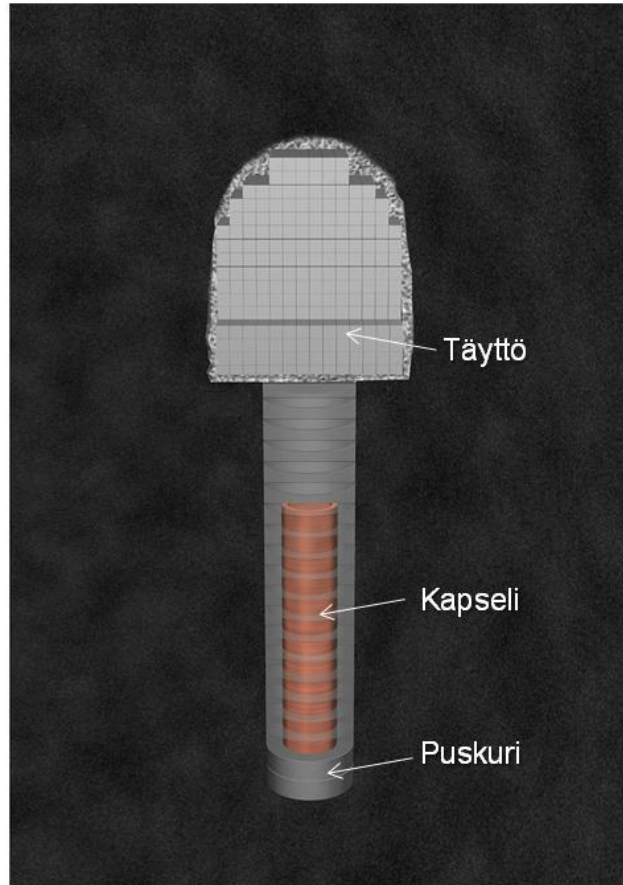
Loppusijoituksen toteutuksessa tarvittavat päätoiminnot on esitetty kuvassa 6-1. Rakentamistoimintojen avulla tuotetaan tarvittavat loppusijoitustilat. Näihin toimintoihin kuuluvat tarvittavat kalliitutkimukset sekä toteutussuunnittelu. Hankintatoimintojen avulla valmistetaan loppusijoitusjärjestelmän tekniset vapautumisesteet: kapselit, puskuri- sekä täyttökomentit. Valmistamiseen tarvitaan siinä käytettävien materiaalien toimitusketjut sekä tuotantolaitokset. Kuvassa 6-1 esitettyssä suunnitteluvaihtoehdossa savikomponenttien tuotantolaitos sijaitsisi Olkiluodon sataman läheisyydessä.



Kuva 6-1. Loppusijoituksen toteutuksen päätoiminnot. Laadunhallinta- sekä viranomaisvalvontamenettelyt kohdistuvat toimintaan sen kaikissa vaiheissa. Toteutuksen mahdollisia vaikutuksia kallioympäristössä valvotaan monitorointimenettelyjen avulla.

Käyttötoimintojen tehtävänä (kuva 6-1) on asentaa KBS-3-ratkaisu kallioon pysyvästi. Tämä on loppuunsaatettu, kun järjestelmän komponentit (kapseli, puskuri ja täyttö) on asennettu paikalleen syväälle kallioon louhittuun tilaan ja järjestelmän alkutilalle asetetut vaatimukset täyttyvät. Alkavalla ohjelmakaudella on tarkoituksena kehittää nämä toiminnot sellaiselle tasolle, että loppusijoituksen toteuttaminen on mahdollista ja sille voidaan hakea tarvittavat viranomaishyväksynät sekä käyttö lupa.

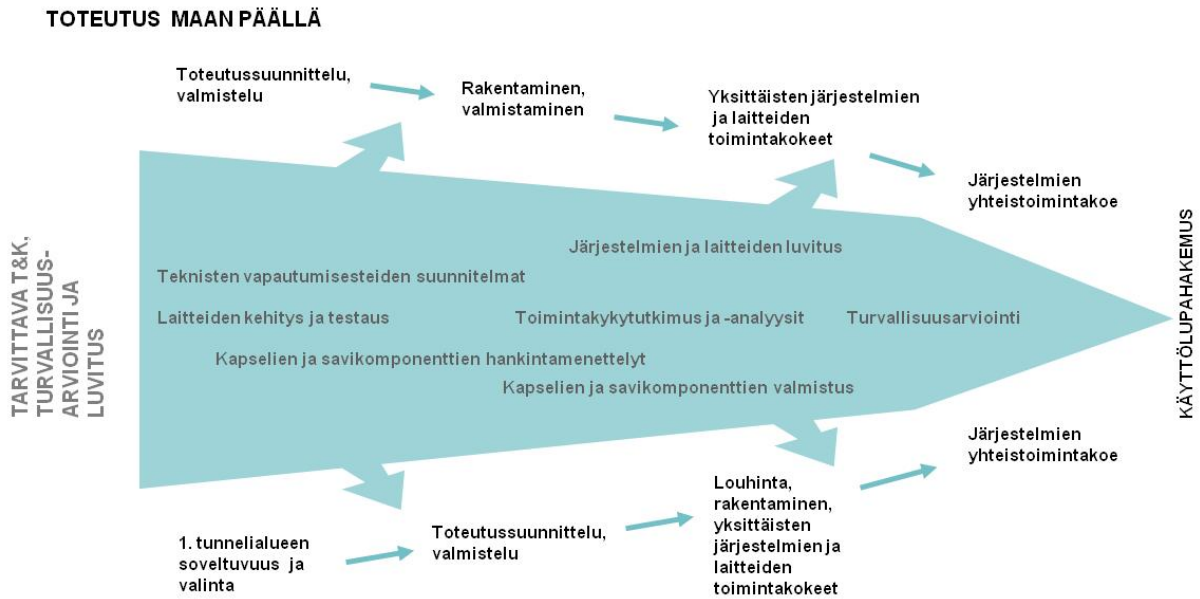
Kuvassa 6-2 on esitetty tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyön systematiikka, joka tähtää loppusijoitusratkaisun pitkäaikaisen turvallisuuden kannalta keskeisen alkutilan kuvaamiseen luvituksen ja toteutuksen lähtökohdaksi.



Kuva 6-2. KBS-3-ratkaisu. Kuvassa on esitetty tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyön kulku sen kehittämiseksi ja turvallisuuden osoittamiseksi luvitusta ja edelleen toteutusta varten.

Vaatimusten mukaisen alkutilan saavuttaminen on suunniteltu osoitettavaksi maanalaisen yhteistoimintakokeen avulla. Sillä tarkoitetaan maanalaisessa loppusijoituslaitoksessa vaatimuksien mukaisesti rakennettavaa loppusijoitustunnelia ja siihen tehtävää loppusijoitusratkaisun asennusta ilman käytettyä polttoainetta. Yhteistoimintakokeen kokoamisessa käytetään loppusijoitusta varten kehitettyjä ja hankittuja laitteita ja komponentteja, jotka on luvitettu tarkoitukseensa. Yhteistoimintakokeen avulla osoitetaan käytännössä, että toteutuksessa tarvittavat toiminnot on kehitetty riittävän valmiiksi ja että on mahdollista saavuttaa pitkäaikaisen turvallisuuden edellyttämä alkutila todistetusti ja näin ollen valmius loppusijoituksen aloittamiseen on olemassa.

Kuvassa 6-3 on esitetty suunnittelun ja toteuttamisen kannalta keskeiset päätehtävät ja niiden liittyminen käyttölupahakemusvalmiuden saavuttamiseen. Rakentamislupahakemuksen jättämisen jälkeen, vuosina 2013–2015, tavoitteena on viedä toteutussuunnittelu niin pitkälle, että rakentaminen voidaan aloittaa heti luvan myöntämisen jälkeen. Maanalaisen rakentamisen käynnistämisen kannalta on keskeistä viedä päätökseen kallion soveltuvuusluokitusta koskeva kehitystyö ja kerätä suunnittelun tarvitsemat lähtötiedot ensimmäisen loppusijoitustunnelialueen toteutussuunnitelmien tekemiseen.



Kuva 6-3. Suunnittelun ja toteutuksen keskeiset tehtäväkokonaisuudet maan päällä ja maan alla tapahtuvassa toteutuksessa käyttö lupahakemusvalmiuden saavuttamiseksi.

Jäljempänä olevissa luvuissa esitetään arvioita toteutusaikatauluista. Niiden laatimisen lähtökohtana on pyrkimys aloittaa loppusijoitustoiminta noin vuonna 2020. Jotta tämä voisi olla realistinen lähtökohta, on aikataulutarkasteluja tehtäessä oletettu, että Posivan rakentamislupahakemuksen käsittely kestäisi noin kaksi vuotta. Tämän mukaan lupa voitaisiin myöntää yhtiölle siten, että sen mukainen rakentaminen ja muu toiminta voitaisiin aloittaa vuoden 2015 kuluessa. Mikäli tässä tulisi tapahtumaan viivästymistä, myöhästäisi se tässä ohjelmassa esitettyjä toteutustoimenpiteitä. Tämän ja muiden aikataulun laatimiseen liittyvien epävarmuuksien vuoksi tarkempien aikataulujen laatiminen toteutusta varten on mahdollista esittää vuonna 2015 laadittavassa ydinjätehuollon ohjelmassa.

6.2 Kaavoitus ja aluetyöt

6.2.1 Kaavoituksen tilanne

Posiva on sopinut loppusijoituksessa tarvittavan maa-alueen hallinnasta TVO:n kanssa pitkäaikaisen maanvuokrasopimuksen muodossa. Tämä sopimus kattaa maanpinnalla alueen, joka on tarpeen 9 000 tU määrää vastaavan kapselimäärän loppusijoittamiseen loppusijoitustiloihin. Laitossuunnitelmien mukaan loppusijoittaminen tullaan tekemään noin vuodesta 2020 lähtien siten, että tilojen sulkeminen tapahtuisi noin sadan vuoden kuluttua aloittamisesta.

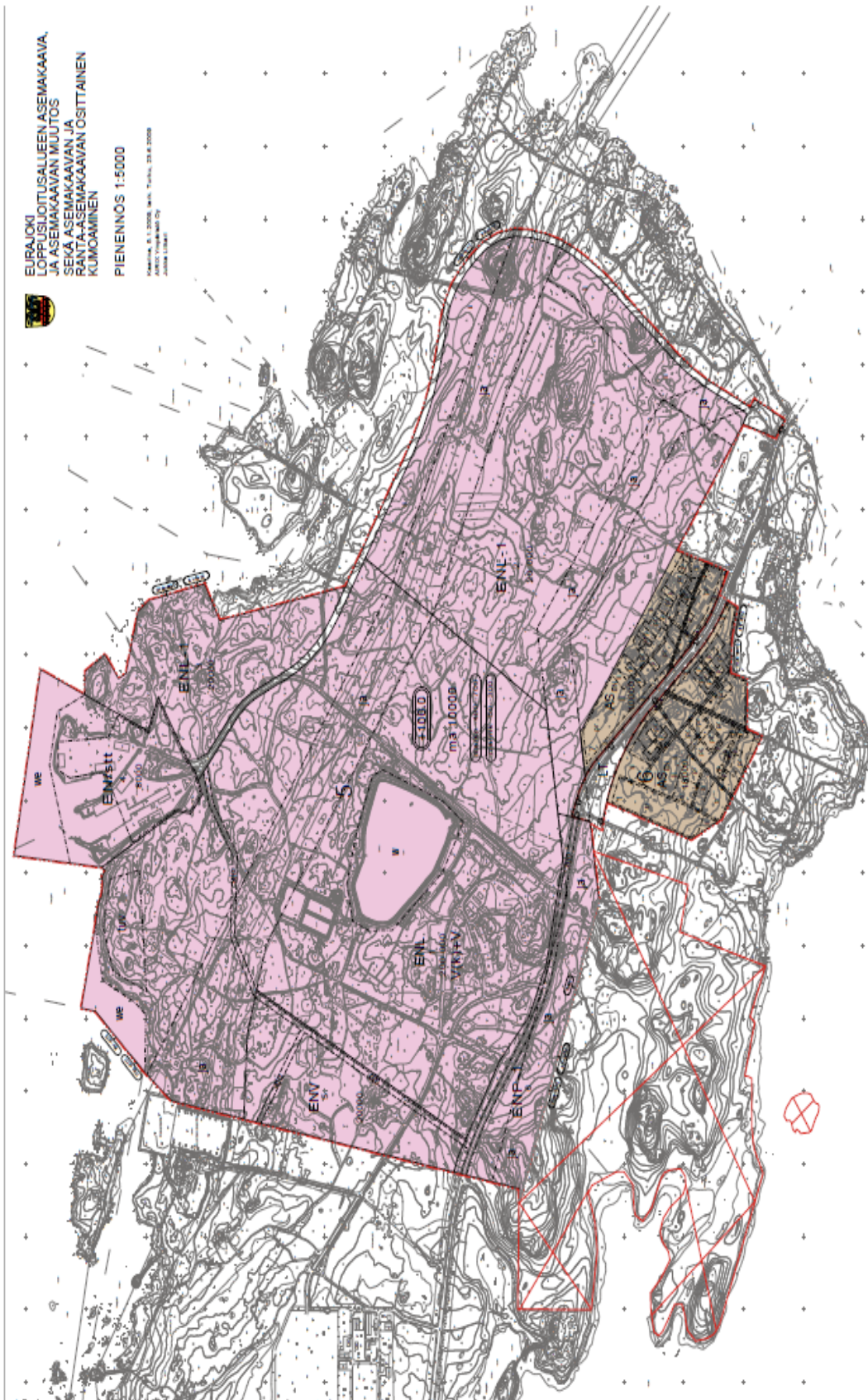
Loppusijoituslaitoksen rakentamista varten, vaikkakin se sijaitsee maan alla, tulee olla voimassaoleva asemakaava, jossa on loppusijoitukseen liittyvät tarpeelliset merkinnät. Olkiluodon alueella on voimassa yleiskaava ja useita asemakaavoja.

Posivan hallinnoimalla alueella on voimassa maaliskuussa 2011 lainvoiman saanut asemakaava (kuva 6-4, väritetty alue), joka sallii käytetyn ydinpolttoaineen

loppusijoituksen 400–700 metrin syvyyteen. Asemakaava perustuu osayleiskaavaan, joka sai lainvoiman kesäkuussa 2010 korkeimman hallinto-oikeuden päätöksen nojalla. Samassa asemakaavassa uudistettiin Olkiluodon majoituskylän kaava sekä kumottiin Liiklankarin luonnonsuojelukaava. Liiklankari kuuluu Natura 2000 -verkostoon.

Mainittu 9 000 tU käytettyä polttoainetta on mahdollista loppusijoittaa kuvassa 6-4 esitetylle kaava-alueelle. Lähtökohtana on kuitenkin se, että loppusijoitus toteutetaan turvallisesti sen kannalta edullisimpaan kallioon. Tämän mahdollistamiseksi on tarkoituksena, että mahdollisimman suuri osa Olkiluodon loppusijoituspaikasta olisi myös jatkossa merkitty kaavaan loppusijoituksen mahdollistavalla tavalla.

Olkiluodon asemakaavoitusta jatketaan ja uudistetaan Eurajoen kunnan toimesta erillisen kaavaohjelman puitteissa tulevinä vuosina.



Kuva 6-4. Loppusijoitukselle kaavoitettu alue.

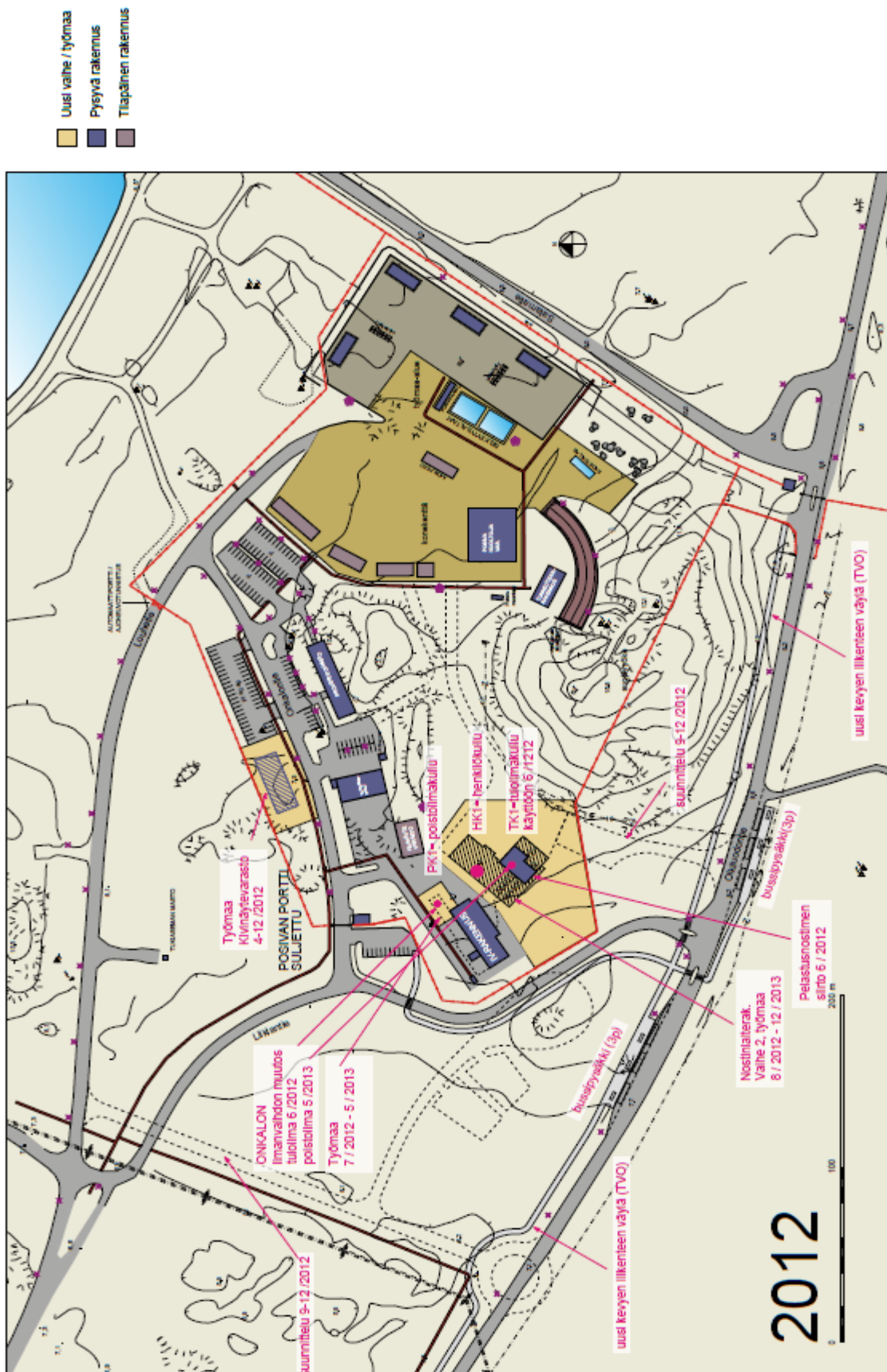
6.2.2 Aluetyöt ja alueelle toteutettavat rakennukset

Aluetyöt ja alueelle toteutettavat rakennukset -tehtäväkokonaisuus käsittää kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen maanpäällisiin rakennuksiin ja rakennelmiin kuuluvan alueen infrastruktuurin (liikennealueet, kaapeloinnit, vesi- ja viemärijärjestelmät, aidat yms.) ja kaikki maanpäälliset rakennukset.

Toteutuksen suunnittelussa on lähtökohtana, että valmius kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen yhteistoimintakokeisiin ja niiden jälkeiseen koekäyttöön saavutettaisiin vuosien 2018–2020 aikana. Vuosien 2013 ja 2018 välisenä aikana tehtävien aluetöiden suunnittelun lähtökohtana on vuoden 2012 aluesuunnitelma, joka on esitetty kuvassa 6-5. Aluetöihin liittyvät rakenteet ja rakennukset, jotka toteutetaan käyttöluupahakemuksen jättämisajankohtaan mennessä, ovat:

- Tiet, piha-alueet ja niiden rakenteet, laitos- ja työmaa-aidat, varastoalueet, kaapelivedot, viemärointi ja muu alueen infrastruktuuriin liittyvät työt. Näiden töiden toteutuksen vaiheistus on nähtävissä aluetta kuvaavissa kuvissa 6-5, 6-6, 6-8 ja 6-9.
- Kapselointilaitoksen infrastruktuuri.
- Savikomponenttien tuotantolaitos ja sen tuotteille tarvittavat varastotilat valmistaudutaan rakentamaan Olkiluotoon erikseen päätettävälle paikalle
- IV-rakennuksen valvonta-alueeseen liittyvät pohja- ja kellarirakenteet toteutetaan yhtä aikaa nostinlaiterakennuksen 2. vaiheen toteutuksen kanssa.
- IV-rakennuksen valvotun alueen rakennusosa ja IV-laitteet toteutetaan rakentamisluvan saannin jälkeen.
- Nostinlaiterakennuksen 2. vaiheen toteutus on kaavailtu toteutettavan ennen rakentamisluvan saantia.
- Kivivaraston siirto / uuden varaston toteutus.
- Sisääntuloportin (porttirakennuksen) siirto.
- Linkkimaston siirto pois kapselointilaitoksen alueelta.
- Käyttörakennus (so. toimistorakennus) suunnitellaan vuoden 2013 aikana ja sen toteuttamisajankohta sovitaan erikseen.
- Huoltohalli laitteille sekä ajoneuvoille esitetään suunniteltavaksi ja toteutettavaksi vuoden 2015 jälkeen.
- Ajoluiskan kattaminen vuoden 2015 jälkeen.
- Räjähdyssainevaraston siirto ennen loppusijoituslaitoksen rakentamista.
- Pesuhallin toteuttaminen vuoden 2015 jälkeen.

Aluesuunnitelmissa on selostettu alueelle suunnitellut valaistukseen sekä vesi- ja viemärijärjestelyihin liittyvät tehtävät. Aluesuunnitelmia laadittaessa on otettu huomioon myös Posivan yritysturvallisuuden vaatimukset siten, että alueelle vaiheittain rakennettavat tiestöt ja aitajärjestelyt täyttävät viranomaisten vaatimat turvajärjestelyt. Olkiluodon tiejärjestelyjen yhteydessä tulee huomioida käytetyn polttoaineen kuljetusreitit, joilla tulevat kulkemaan raskaat polttoainekuljetukset. Tämä vaatii sellaista teiden kantavuusmitoitusta, joka mahdollistaa erikoiskuljetukset. Posivan alueelle tehdyissä suunnitteluratkaisuissa on huomioitu TVO:n kanssa yhteistyössä toteutettavat tiejärjestelyt sekä varastotoiminto.



Kuva 6-5. Aluesuunnitelma vuodelle 2012.

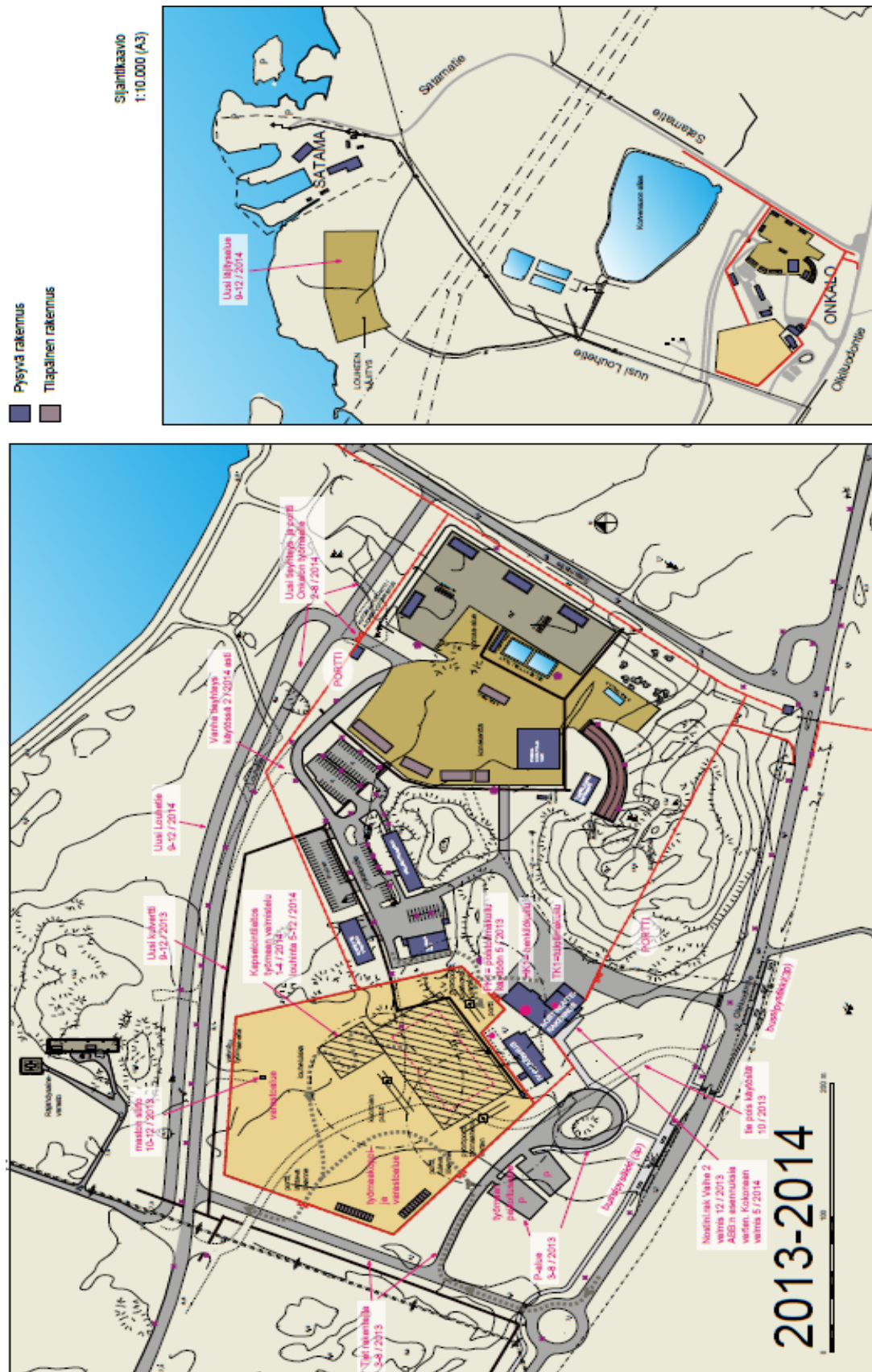
6.2.3 Aluetöiden aikataulu

Alueen tiestön ja muun infran toteutussuunnittelua laaditaan vaiheittain vuosien 2013 ja 2018 välisenä aikana, alueelle tulevien rakennusprojektien edetessä.

Nostinlaiterakennuksen 2. vaiheen rakentaminen on suunniteltu alkavaksi aikaisintaan vuonna 2013. Rakennus liittyvine järjestelmineen on suunniteltu valmiiksi vuoden 2012 aikana. Alueen järjestelyt ja piha-alueen käyttö on suunniteltu tulevan käyttötoiminnan toimintoja tukeviksi. Kivivaraston siirto toteutetaan joko nostinlaiterakennuksen 2. vaiheen toteutukseen ja pihajärjestelyihin tai kapselointilaitoksen rakentamisvalmisteluihin liittyen. Samalla toteutetaan IV-rakennuksen 2. vaiheen kellarikerroksen IV-yhteydet jo rakennettuun IV-rakennukseen.

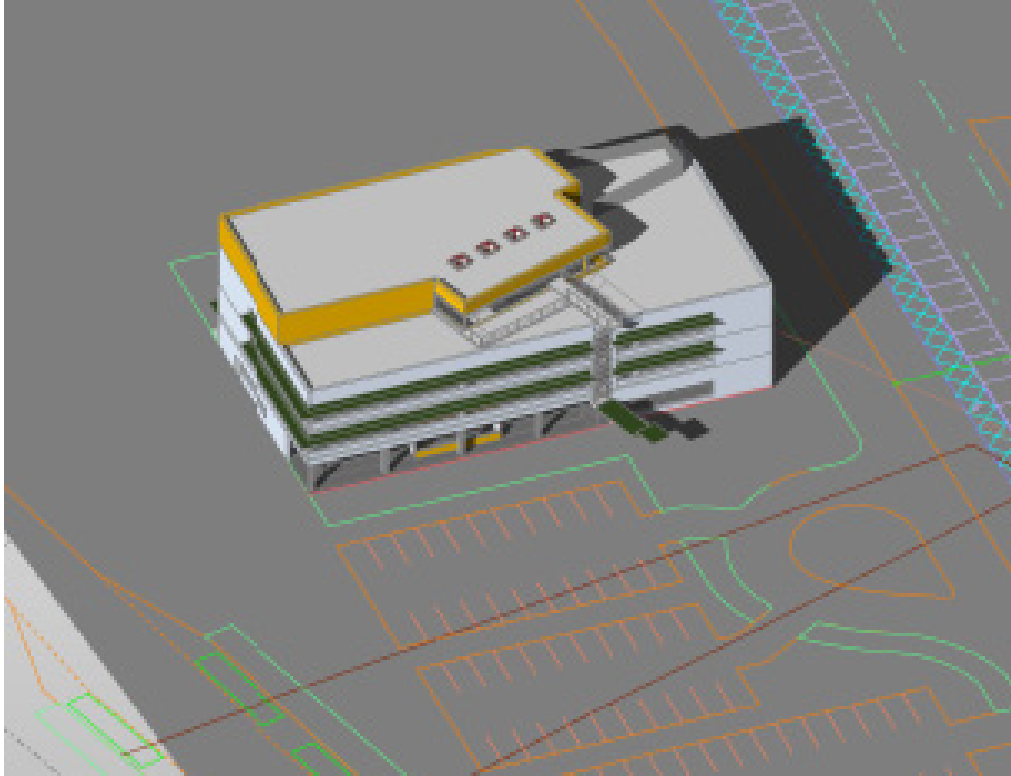
Vuosina 2013–2014 käynnistyy vuonna 2012 suunniteltu alueen tiestön ja muun infran rakentaminen kuvan 6-6 esittämässä laajuudessa. Kaavaillut tie- ja inframuutokset tukevat myöhemmin aloitettavaa kapselointilaitoksen rakennusprojektia. Alueen ajojärjestelyiden muutoksilla pystytään rauhoittamaan kapselointilaitoksen rakennustyömaa omaksi alueekseen siten, että siellä tapahtuva materiaalien käsittely ei häiritse maanalaista rakentamista ja päinvastoin. Tehtävät tiejärjestelyt mahdollistavat myös alueen osittaisen aitaamisen lopullisella laitosaitajärjestelyllä. Lisäksi tulee huomioida, että kapselointilaitoksen työmaa-alueelle jäävä linkkimasto on siirrettävä uuteen paikkaan ennen työmaan perustamista.

Kuvassa 6-6 on esitetty myös OL4-projektin käynnistyessään siirtyvän louheenläjityskentän sijoittelu lähelle satama-aluetta sekä sinne johtavan tiestö ja muu infra.



Kuva 6-6. Aluesuunnitelma vuosille 2013–2014.

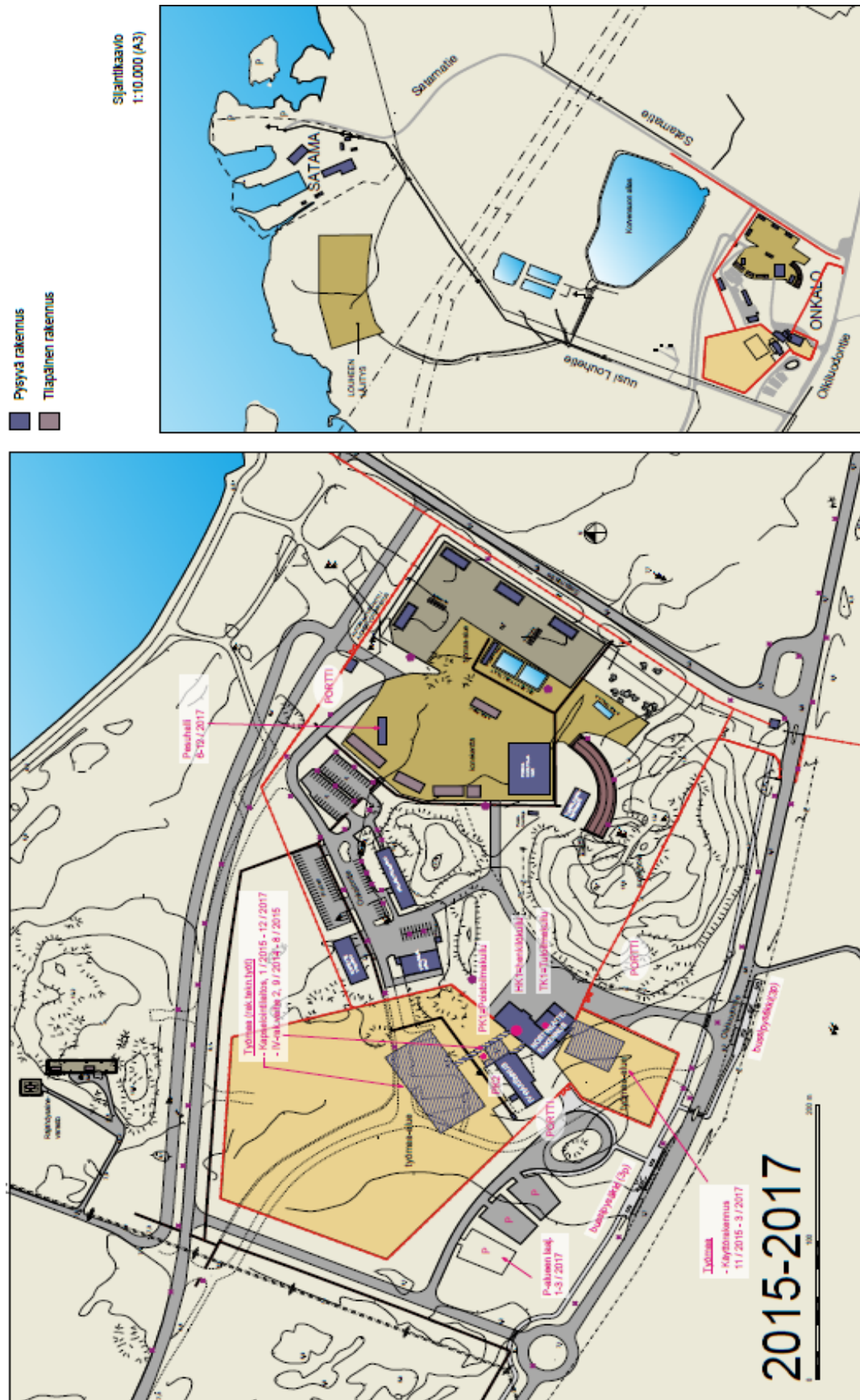
Vuoden 2013 aikana laaditaan toteutussuunnitelmat Posivan toimistorakennukselle, (kuva 6-7). Rakennus tulee palvelemaan Posivan henkilöstöä ja urakoitsijoita. Ennen toteutussuunnittelun aloittamista tehdään hankeselvitys ja yleistasoiset suunnitelmat investointipäätöksen tueksi.



Kuva 6-7. *Luonnos Posivan toimistorakennuksesta*

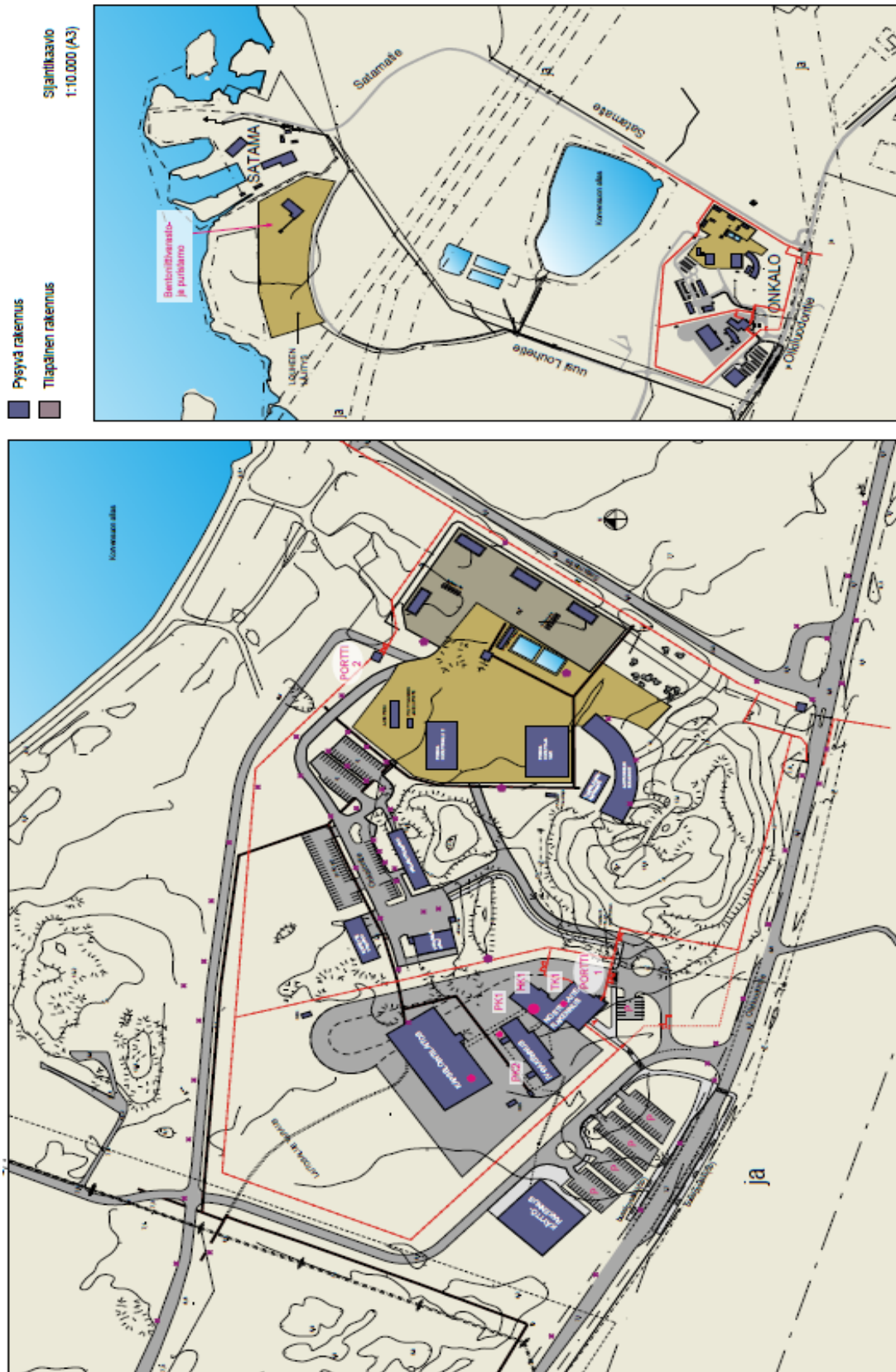
Kuvassa 6-8 esitetään vuosien 2015–2017 välinen ajanjakso, jolloin Posivan alueen länsiosassa käynnistyvät kapselointilaitoksen varsinaiset rakennustekniset työt rakentamis- ja rakennusluvan myötä. Posivan toimistorakennuksen rakentamisen on suunniteltu alkavan vuoden 2014 aikana. Samassa yhteydessä rakennetaan maanalaisen rakentamisen edellyttämä pesuhalli sekä valmistaudutaan loppusijoitustoimintaan suunnittelemalla ja toteuttamalla ajoluiskan kohdalle katosrakenne sekä aitajärjestelyt slussirakenteelle. IV-rakennuksen 3. vaiheen rakennusprojekti, joka sisältää maanalaisen loppusijoitustilan valvotun alueen ilmanvaihtolaitteet, toteutetaan vuoden 2015 alkupuolella.

Vuoden 2015 jälkeen on suunniteltava Olkiluodon sataman lähelle louhekentälle tuleva savikomponenttien tuotantolaitos, sikäli kun se päätetään toteuttaa Olkiluotoon. Laitoksen rakentaminen on ajoitettava siten, että rakennus on valmis palvelemaan maanalaista yhteistoimintakoetta.



Kuva 6-8. Aluesuunnitelma vuosille 2015–2017.

Kuvassa 6-9 on esitetty aluerakentamisen tilanne vuosina 2018–2020. Posivan maanpäällinen alue viimeistellään vastaamaan loppusijoitustoiminnan tarpeita. Alueen tulee olla valmis käyttöluvan saantia edellyttävässä laajuudessa, jotta käyttöluvan vaatimat käyttökokeet ja toiminnot voidaan toteuttaa. Tähän vaiheeseen kuuluu maanpäällisiltä osilta rakennettujen rakennusten keskinäinen toimintakyky sekä yhteydet TVO:n laitosalueella oleviin toimintoihin.



Kuva 6-9. Aluesuunnitelma vuosille 2018–2020.

6.3 Kapselointilaitos

6.3.1 Laitossuunnittelu

Laitossuunnittelun perustehtävänä on ollut kehittää kapselointilaitoskonsepti, tekniset suunnitelmat sekä niihin perustuva kapselointiprosessi ydinlaitosvaatimusten mukaiselle ja hyväksyttävälle tasolle. Suunnittelua varten ja sitä tukemaan on ylläpidetty laitostmallia, joka sisältää laitoksen rakenteet, järjestelmät ja laitteet. Laitostmallia on kehitetty jatkuvasti järjestelmä- ja laitesuunnitelmien tarkentuessa.

Kapselointilaitoksen ja -prosessin kaikkien järjestelmien periaatesuunnitelmat ovat tällä hetkellä dokumentoituina. Se on toteutettu 3D-suunnittelumallien ja Posivan työraporttien avulla.

6.3.1.1 Järjestelmäsuunnittelu ja prototyyppijärjestelmät

Kapselointiprosessiin sisältyy järjestelmiä, joita ei ole missään vielä keloistettu suunniteltuun toimintaansa, koska vastaavaa käytetyn polttoaineen kapselointilaitosta ei ole aikaisemmin toteutettu. Jotta varmistetaan suunnitelmien toimivuus ja lopullisten tuotantojärjestelmien keloistusprosessin sujuvuus, on turvallisuusmerkitykseltään tärkeimmistä kapselointiprosessin järjestelmistä suunniteltu rakennettavan prototyyppilaitteita ennen lopullisen tuotantolaitteen toteutusta. Tällaisia kapselointilaitoksen järjestelmiä ovat:

- polttoaineen siirtokone ja huoltomanipulaattori,
- kapselin siirtovaunu ja
- kapselin siirtotrukki (aiemmin vihivaunu).

Näiden prototyyppien suunnittelu on osittain aloitettu ja suunnittelu ja valmistus sekä testaus jatkuu vuoden 2015 jälkeen. Suunnitelmien toimivuuden varmistamiseksi kehitetään prototyyppien yhteydessä myös lopullisten laitteiden valmistamisen, asennuksen ja käyttöönoton laadunvarmistusmenettelyjä yhdessä viranomaisten kanssa.

Turvallisuusmerkitykseltään tärkeimpien järjestelmien vaatimusten määrittelyä varten tehdään kehitystyötä. Työn pilottivaiheessa on kehitetty menettelyt systemaattiseen vaatimustenhallintaan. Esimerkkijärjestelmänä on käytetty polttoaineen siirtokonetta. Vaatimusmäärittelyä voidaan hyödyntää järjestelmän jatkokehityksessä sekä mm. järjestelmän hankinnassa. Tarkoituksena on laatia kehitettävän menettelyn mukaisesti vaatimusmäärittelyt kaikille turvallisuusluokitelluille järjestelmille. Määrittelyssä kootaan järjestelmään liittyvät vaatimukset laeista, asetuksista, viranomaisohjeista sekä käytettävistä standardeista yhteen paikkaan (Posivan VAHA-järjestelmän laajennus), jossa niitä voidaan hallinnoida ja hyödyntää. VAHA-järjestelmästä saadaan koostettua vaatimusluettelo mm. järjestelmän jatkosuunnittelua tai valmistusta varten.

Prototyyppien suunnittelu, valmistaminen ja koekäyttö toteutetaan ja dokumentoidaan sitä koskevan turvallisuusluokan mukaisesti, ikään kuin kyse olisi lopullisesta järjestelmästä. Mikäli prototyyppilaitteita tai niiden osia käytetään lopullisten järjestelmien osana, viranomaisvalvonta tehdään samalla tavalla kuin lopullisillekin järjestelmille. Tällöin menettelyn tulee olla sovituna viranomaisten kanssa ennakoon. Lopullisten tuotantojärjestelmien suunnittelu tukeutuu prototyyppien suunnitelmiin ja

testaustuloksiin. Järjestelmien ja laitteiden valmistus ja asennukset ajoittuvat pääosin vuosille 2016–2018.

Laitoksen ja järjestelmien suunnittelussa huomioidaan järjestelmien asennus ml. järjestelmien ja laitteiden haalausreitit. Järjestelmien osalta varaudutaan siihen, että kaikki järjestelmät uusitaan useampaan kertaan laitoksen käyttöiän aikana. Tästä syystä kunnossapidon tarpeet ja haalausreitit on suunniteltava niin, että laitteet voidaan vaihtaa rakenteita purkamatta.

Kaikkien järjestelmien (myös niiden, joista ei tehdä prototyyppejä) toimivuus varmistetaan riittävän kattavilla tehdastesteillä (Factory Acceptance Tests, FAT) ennen järjestelmien toimitusta laitokselle sekä laitostesteillä (Site Acceptance Tests, SAT), joilla järjestelmien toimivuus varmistetaan lopullisessa käyttöpaikassaan. FAT- ja SAT-testien sisältö määritellään laitteiden suunnitteluvaiheessa. Muita tärkeitä kapselointilaitoksen järjestelmiä ja niiden suunnittelua ja testausta on esitelty luvussa 5.4.1.1.

6.3.1.2 Järjestelmien luvitus

Kapselointilaitoksen järjestelmien luvitus on monivaiheinen prosessi, jossa on huomioitava laitoksen ainutlaatuisuus sekä laitoksenkonseptin yksityiskohtien kehittyminen vielä rakentamislupahakemuksen jättämisen jälkeen.

Kaikista laitoksen järjestelmistä laaditaan järjestelmäkuvaukset osaksi laitoksen alustavaa turvallisuusselostetta (Preliminary Safety Analysis Report, PSAR). PSAR toimitetaan STUKille rakentamislupahakemuksen yhteydessä. Nämä kuvaukset perustuvat senhetkiseen suunnittelutilanteeseen ja painottuvat järjestelmien, niiden tehtävien sekä suunnitteluvaatimusten kuvaamiseen. Kuvauksissa esitetään järjestelmien ja niihin liittyvien laitteiden toteutus suunnitteluvaiheen edellyttämällä tarkkuudella. Yhtenä peruslähtökohtana on, että järjestelmien suunnittelu on riittävän pitkällä, jotta tilavaraukset laitoksessa ovat riittävät. Tällöin vältetään laitoksen layoutmuutoksilta, vaikka järjestelmän yksityiskohdissa tulisikin muutoksia suunnittelun edetessä. Rakentamislupahakemukseen sisältyvät alustavat järjestelmäkuvaukset tarkennetaan suunnittelun edetessä niin, että STUKin uuden YVL B.1 -ohjeen edellyttämä yksityiskohtaisuuden taso saavutetaan ennen rakentamista, arviolta vuoteen 2015 mennessä.

Varsinainen järjestelmien yksityiskohtainen toteutussuunnittelu ajoittuu rakentamislupahakemuksen jättämisen jälkeiseen aikaan. Toteutussuunnittelun tulokset esitetään järjestelmittäin käyttöluupahakemukseen sisältyvissä lopullisissa järjestelmäkuvauksissa. Toteutussuunnittelun yhteydessä valmistellaan järjestelmäkuvauksen päivityksen ohella myös järjestelmiin sisältyvien laitteiden rakennesuunnitelmat. Rakennesuunnitelmia koskevat vaatimukset on esitetty laitetyyppikohtaisesti STUKin YVL-ohjeistossa. Meneillään olevan YVL-ohjeiden uudistuksen tuloksena syntyvien laitetason ohjeiden valmistelu on vielä kesken. Laitteiden rakennesuunnitelmat käsitellään YVL-ohjeistossa kuvatuin menettelyin joko STUKissa tai STUKin hyväksymässä tarkastuslaitoksessa.

Laitteiden tarkastukset ja muu laadunvalvonta valmistuksesta käyttöönottoon kuvataan rakennesuunnitelmaan sisältyvässä laadunvalvontasuunnitelmassa. Laitteen valmistaminen aloitetaan vasta, kun sitä koskeva rakennesuunnitelma on hyväksytty.

6.3.1.3 Käyttötoiminnan suunnittelu

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. Loppusijoitustoiminnan 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 tasalaatuisia. Tällöin loppusijoitukseen soveltuvaa kallioperää käytetään optimaalisesti.

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 yhden sijoitustunnelin kapselit ovat valmiina ennen 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 yhdentyyppisiä kapseleita. Koska kuitenkin kaikki kuljetussäiliössä olevat niput pitää saada kapseloitua ennen kuljetussäiliön palautusta KPA-varastolle, välivarastoihin saattaa jäädä yksittäisiä kapseleita odottamaan loppusijoitusta pitkäksi aikaa, jos kapselimäärä ei mene tasan yhden tunnelin sijoituspaikkojen kanssa.

Tulevan ohjelmakauden aikana kapselointiprosessi suunnitellaan yksityiskohtaisemmin, jotta siihen tarvittava henkilömäärä voidaan arvioida ja tulevaa käyttöhenkilöstön koulutusta voidaan alkaa valmistella. Prosessin analysoinnilla voidaan myös selvittää, mitä työvaiheita voidaan tehdä samojen henkilöiden toimesta. Tarkempaa tietoa prosessin vaiheajoista saadaan, kun prototyyppisiä ja myöhemmin lopullisia järjestelmiä testataan ja koekäytetään.

6.3.2 Toteutussuunnittelu

Kapselointilaitoksen yksityiskohtaisissa toteutussuunnitelmissa esitetään kapselointilaitoksen rakenteiden, järjestelmien ja laitteiden valmistuksen ja toteutuksen edellyttämät tiedot. Toteutussuunnittelun pohjana on laitosmalli, jota myös ylläpidetään toteutussuunnittelun aikana kaiken aikaa laitoskonfiguraation hallitsemiseksi. Toteutussuunnittelun yksityiskohtaisilla suunnitelmilla on tarkoitus määrittää tarkemmalla tasolla rakenteiden, laitteiden ja järjestelmien toteutus- ja hankinta-aikataulu sekä esittää tarkemmin toteutettavien komponenttien vaatimusten täyttyminen.

Kapselointilaitoksen toteutussuunnittelu toteutetaan maankäyttö- ja rakennuslaissa (MRL) määritettyjen vaativien kohteiden suunnitteluperusteiden pohjalta ottaen huomioon ydinlaitoksia koskevat erityismääräykset, joita on esitetty mm.

ydinenergialaissa ja -asetuksessa, valtioneuvoston asetuksissa sekä STUKin YVL-ohjeissa.

Rakennussuunnittelu

Kapselointilaitoksen rakennussuunnitelmissa esitetään rakennuksen toiminta- ja käyttöturvallisuusasiat. Rakennussuunnitelmissa otetaan huomioon mm.

- huoneiden käyttötarkoitus,
- palo-osastoinnit,
- palokuormaryhmät,
- kellaritilojen sammutusreitit ja savunpoisto,
- palopostit,
- poistumistiet ja niiden leveydet, sekä
- rakennuksen olosuhdevaatimukset.

Rakennussuunnittelussa otetaan huomioon myös rakennuksen sijoittuminen suhteessa ympäristöön ja sitä kautta rakennuksen kulku- ja liikennöintijärjestelyt. Samalla rakennussuunnittelussa otetaan huomioon rakennuksen ulkopuolinen palo- ja pelastustoimi.

Kapselointilaitoksen rakennussuunnittelu ajoittuu vuosille 2012–2018 siten, että pääpiirustukset valmistuvat rakentamislupahakemusta varten vuoden 2012 aikana. Rakentamislupahakemuksen jättämisen jälkeen rakennussuunnitelmat, mittakuvat, työselosteet ja muut asiakirjat laaditaan siten, että rakentamiseen liittyvät suunnitelmat valmistuvat ajoissa eri urakkakyselyjä varten.

Kapselointilaitoksen toteutussuunnittelu jatkuu urakkakyselyvaiheen jälkeen tarkentavien suunnitelmien laadinnalla, jolloin otetaan huomioon toteutusvaiheeseen tulleet muutostarpeet. Laitoksen rakentamisesta laaditaan toteumapiirustukset, jotka liitetään osaksi urakoiden toteuma- ja luovutusaineistoa. Tämä työ jatkuu laitoksen käyttöönottoon saakka.

Rakennesuunnittelu

Kapselointilaitoksen rakennesuunnittelu perustuu pääpiirustuksiin ja muihin toteutussuunnitelmiin, joiden vaatimustenmukaisuudesta tulee varmistua. Rakennesuunnittelussa otetaan huomioon mm.

- rakenteiden varmuus ja kuormitus,
- käyttötilanteiden erikoiskuormitukset,
- onnettomuustilanteen kuormitukset,
- YVL-ohjeista tulevat lentokoneen törmäyskuormitus sekä maanjäristyskuormitus,
- pohja- ja perustamisolosuhteet,
- rakennukseen tulevat laitteet ja järjestelmät,
- rakennuksen kuivatus, sekä
- rakennetyypit alapohjalle, seinille, välipohjille sekä yläpohjalle.

Toteutussuunnitelmien perusteella rakentamiselle voidaan määrittää tarkempi, rakennusosa-arvioon perustuva kustannusarvio sekä laatia toteutustapasuunnitelma täytäntöönpanoa varten.

LVI-, sähkö-, automaatio- ja mekaniikkasuunnittelu

Kapselointilaitoksen lämmitys-, vesi- ja viemärintisuunnittelussa, rakennuksen ilmanvaihtosuunnittelussa, sähkösuunnittelussa, automaatio-suunnittelussa sekä mekaniikkasuunnittelussa tarkistetaan tilatarpeet ja eri järjestelmien vaatimat tekniset varaukset yksityiskohtaisella tasolla. Tilat on suunniteltu alustavasti laitossuunnittelussa, mutta toteutussuunnittelun aikana tilojen suunnitelmat laaditaan laitevalmistajien määritysten mukaisiksi siten, että laitteiden käyttöturvallisuus otetaan huomioon. Samalla huomioidaan järjestelmäkuvausissa määriteltyjen toimintojen keskinäinen yhteensovittaminen ja implementointi rakennusrunkoon.

Kapselointilaitoksen LVI-suunnittelussa huomioidaan mm.

- rakennuksen vesi- ja viemärilaitteistojen määräystenmukaisuus,
- sisäilman ilmasto ja ilmanvaihto,
- erikoistilojen ilmasto ja ilmanvaihto,
- ilmanvaihtolaitteiden sijoittelu ja toiminnallisuus, sekä
- ilmanvaihtolaitteiden tehot.

Kapselointilaitoksen sähkösuunnittelussa huomioidaan mm.

- rakennuksen sähkölaitteistojen määräystenmukaisuus,
- sähkötilojen ja -laitteiden vaadittava ympäristöluokitus,
- erikoistilojen sähköjärjestelmät,
- sähkölaitteiden sijoittelu ja toiminnallisuus,
- sähkölaitteiden tehot,
- sähkölaitteiden varajärjestelyt,
- sähkölaitteiden käyttöturvallisuus, sekä
- automaatiolaitteiden liittymismahdollisuudet.

Kapselointilaitoksen automaatio-suunnittelussa huomioidaan mm.

- laitteiden määräystenmukaisuus sekä
- laitteiden mekaaninen ja ohjelmallinen yhteensovittaminen muiden järjestelmien kanssa.

Kapselointilaitoksen mekaniikkasuunnittelussa huomioidaan mm.

- rakennuksen vesi- ja viemärilaitteistojen määräystenmukaisuus,
- mekaanisten laitteiden käyttöturvallisuus sekä
- mekaanisten laitteiden yhteistoiminta automaation kanssa tarvittavilta osin.

LVI-, sähkö-, automaatio- ja mekaniikkasuunnittelu toteutetaan yhteistyössä rakennuksen suunnittelun kanssa, jotta niiden tarvitsemat tilamääritykset tulevat otetuksi toteutussuunnittelussa huomioon.

6.3.3 Toteutus

6.3.3.1 Toteutustapa

Kapselointilaitoksen toteutus organisoidaan tämänhetkisen näkemyksen mukaan Posivan toimesta. Toteutus jakaantuu valmistelemaan osioon vuosille 2013–2015 ja toteutukseen rakentamisluvan saannin jälkeisille vuosille (2015–). Toteutuksen edellyttämät hankinnat jaetaan suunnittelun ja toteutuksen kannalta järkeviksi kokonaisuuksiksi. Toteutuksen aloituksen perusedellytys on, että hankintoihin ja toteutukseen on käytettävissä tilaajan ja tarvittavilta osin myös viranomaisten hyväksymät suunnitelmat, myös valmistelevalle vaiheelle. Toteutusvaihetta tullaan kuvaamaan yksityiskohtaisesti vuonna 2015 jätettävässä YJH-ohjelmassa.

Valmisteleva vaihe rakentamislupahakemuksen jättämisen jälkeen

Työt aloitetaan työmaa-alueen raivauksella ja alueelle tarvittavien tilojen (rakennuttajan ja urakoitsijoiden tilat) sekä tie-, aitaus- ja kulunvalvontajärjestelyiden rakentamisella.

Kapselointilaitoksen tarvitsema peruskaivanto louhitaan avolouhintana omana urakkanaan. Louheen läjitysalueen on oltava käytettävissä louhinnan alkaessa. Läjitysalueen rakentaminen ja sinne tarvittavat tiet rakennetaan aluetöiden yhteydessä.

Valmistelevalle vaiheelle, ennen kapselointilaitoksen varsinaista rakentamista, on varmistettava kapselikuilun tiiviys ja muut kuilun avaamisen aloitusedellytykset. Aloitusedellytyksillä tarkoitetaan peruskaivannon valmistuttua tehtävää kapselikuilun yläpään injektointityötä peruskaivannon tasolta +1,6 m aina tasolle -90 m saakka. Tasolle -90 m tulevan kuiluperän louhinta on myös syytä aloittaa välittömästi, kun se on mahdollista. Aloitusedellytyksillä varmistetaan kapselointilaitoksen varsinaisen rakentamisen aikataulullinen eteneminen hallitusti.

Vasta kuiluperän louhinnan ja peruskaivannon tiivistämisen jälkeen voidaan louhia (nousuporata) ylin osuus kapselikuilusta. Edellä mainittujen valmistelevien töiden ja nousuporauksen on hyvä olla valmiina ennen rakennustöiden alkua. Kyseisten töiden tekeminen ennen rakentamislupaa vaatii erillishyväksynnän viranomaisilta.

Toteutusvaihe rakentamisluvan saannin jälkeen

Rakentamisluvan saamisen jälkeen voidaan aloittaa kapselikuilun vaatimat työt -90 m:n tasolta alaspäin (injektoinnit, kuiluperät, nousuporaukset). Samalla tavalla toteutetaan myös tarvittava ilmanvaihtokuilu 2, mikäli se päätetään toteuttaa.

Varsinaisiin rakentamisluvan alaisiin rakennustöihin, (perustukset, runko ja täydentävät rakenteet) tullaan valitsemaan rakennusurakoitsija, joka toimii sekä rakennusvaiheen että tarvittaessa myös asennusvaiheen ajan pääurakoitsijana. Tarvittavat talotekniikkaan liittyvät urakat (sähkö, LVI, automaatio) hankkii tilaaja ja mahdollisesti alistaa ne pääurakoitsijalle sivu-urakoiksi.

Kapselointiprosessiin liittyvät laitteet ja järjestelmät, etenkin turvaluokitellut, Posiva hankkii itse tilaajan hankintoina. Nämä on pyrittävä hankkimaan valmiiksi asennettuna.

Asennusurakat joko alistetaan rakennusurakoitsijalle niin kauan, kuin se toimii pääurakoitsijana tai hoidetaan puhtaina sivu-urakoina.

Rakennus- ja asennustöiden keskinäistä järjestystä valvotaan tilaajan organisaation toimesta jatkuvasti, jotta töiden eteneminen ja yhteensovitus onnistuu optimaalisesti.

Toteutusorganisaatioon nimettävien henkilöiden vastuut ja toimenkuvat tarkennetaan laadittavissa projektisuunnitelmissa.

6.3.3.2 Rakennustekniset työt

Ennen ydinenergialain mukaisen rakentamisluvan saamista Posiva voi nykyisen käytännön mukaisesti tehdä kapselointilaitoksen rakentamista valmistelevia töitä. Näitä ovat irtomaan poistaminen, peruskaivannon louhinta ja maansiirtotyöt sekä kapselikuilun avaamista valmistelevat työt.

Kapselointilaitoksen perustusten arvioitu louhintatilavuus on noin 23 000 m³. Louhinnan ja lujitustöiden yhteenlaskettu kesto on alustavan arvion mukaan 6–8 kk. Mikäli kapselikuilun yläosan louhinta voidaan tehdä ennen rakentamisluvan saamista, tulisi louhinnat aloittaa niin, että kapselikuilun yläosan lujitukset ja louhinnat voidaan tehdä ennen suunniteltua rakentamisen aloittamista.

Varsinaiset kapselointilaitoksen rakenteet eli perustukset, peruslaatta ja runko tehtäneen alustavien suunnitelmien mukaisesti teräsbetonista paikallavaluna rakentamisluvan saannin jälkeen. Kokonaisbetonimäärän on arvioitu olevan noin 12 000 m³.

6.3.3.3 Asennustyöt

Kapselointilaitoksen järjestelmien asennustyöt ajoittuvat pääosin vuoden 2016 jälkeisille vuosille.

Asennustyöt on tahdistettava rakentamiseen siten, että rakennustöiden aikatauluun on asetettu tietyt valmiusvaiheet huomioiden asennustöiden tarpeet.

6.3.4 Koekäyttö ja yhteistoimintakokeet

Kapselointilaitoksen koekäyttöä varten laaditaan rakentamislupahakemuksen yhteydessä alustava koekäyttösuunnitelma, jossa esitetään koekäytön periaatteet ja alustavat suunnitelmat. Koekäyttöä suoritetaan alkuvaiheessa järjestelmäkohtaisesti ensin tehdasteisteissä (FAT) ja laitokselle asentamisen jälkeen laitoksella (SAT). Järjestelmäkohtaisen koekäytön jälkeen suoritetaan kapselointilaitoksen yhteistoimintakokeita, joilla järjestelmien keskinäinen toiminta ja laitoksen ohjausjärjestelmän toimivuus varmennetaan. Samassa yhteydessä varmistutaan käyttöohjeistuksen oikeellisuudesta ja kattavuudesta. Ei-ydintekninen yhteistoimintakoe ilman ydinpolttoainetta voidaan suorittaa tämänhetkisen aikataulun mukaan vuoden 2018 jälkeen. Ydintekninen yhteistoimintakoe käytetyllä ydinpolttoaineella suoritetaan noin vuonna 2020, kun lupa ydinpolttoaineen käsittelyyn on saatu. Hyväksytysti suoritettulla ydinteknisellä yhteistoimintakokeella osoitetaan valmius loppusijoitustoiminnan aloittamiseen kapselointilaitoksen toiminnan osalta.

6.4 Loppusijoituslaitos

6.4.1 Laitossuunnittelu

Laitossuunnittelun perustehtävänä on ollut kehittää Olkiluodon kallioperään soveltuva loppusijoituslaitoskonsepti, sille tekniset suunnitelmat sekä niihin perustuva loppusijoitusprosessi ydinlaitosvaatimusten mukaiselle ja hyväksyttävälle tasolle. Lisäksi tehtävänä on ollut sovittaa yhteen maanalaisen tutkimustila ONKALO ja loppusijoituslaitoksen maanalaiset osat. Käytännön työkaluna tässä yhteensovituksessa on 3D-laitosmalli, jota ylläpidetään jatkuvasti ja johon kaikki jatkosuunnittelu perustuu. Laitosmallissa on pyritty huomioimaan myös kaikki laitoksen käyttötoiminnan tarpeet. Laitosmalliin on viety lähtötiedoksi viimeisin tieto Olkiluodon kallioperästä ja laitoksen asemointia rajaavista rakenteista (layout determining feature, LDF) sekä Olkiluotoon kairatuista kairareijistä, joihin tunnelisto ei saa osua.

Tulevalla ohjelmakaudella 2013–2015 ylläpidetään maanalaisten tilojen laitosmallia ajan tasalla. Päivittyvät tiedot mm. Posivan omistajien käytetyn polttoaineen määrästä ja ominaisuuksista, rakennusmenetelmistä, toteutukseen ja käyttöön liittyvistä laitteista sekä Olkiluodon kallioperästä huomioidaan laitossuunnitelman päivityksissä. Seuraava laitossuunnitelman päivitys laaditaan vuoden 2015 loppuun mennessä. Tätä laitossuunnitelmaa käytetään mm. laitoksen kokonaiskustannusarvion päivitystyössä sekä pitkäaikaisturvallisuuden arviointityössä käyttölupahakemusta varten. Tätä seuraavalla ohjelmakaudella (vuodet 2016–2018) laaditaan laitossuunnitelman päivitys, jota käytetään Posivan käyttölupahakemusaineistossa kuvaamaan toteutettua laitosta.

6.4.2 Maanpäällisen laitoksen suunnittelu ja toteutus

IV-rakennuksen toteutussuunnittelu

IV-rakennuksen täydentävien osien ja laajennuksen suunnittelu on toteutettu päättävällä TKS-kaudella ensimmäisen vaiheen suunnittelun yhteydessä. Laadittujen suunnitelmien sisältö tarkistetaan rakennukseen liittyvien nostinlaiterakennuksen ja kapselointilaitosten suunnittelun yhteydessä tulleiden muutosten osalta. Muutossuunnittelu koskee lähinnä eri rakennusten välillä olevien käytäviäsuunnitelmien huomioimista.

IV- ja nostinlaiterakennuksen toteutus

IV- ja nostinlaiterakennukset sisältävät kolme eri rakentamisvaihetta. Ensimmäinen toteutusvaihe oli IV-rakennuksen valvomattoman alueen rakennustyöt sisältäen nostinlaiterakennuksen ensimmäisen vaiheen. Tämä vaihe on toteutettu TKS-kaudella 2010–2012.

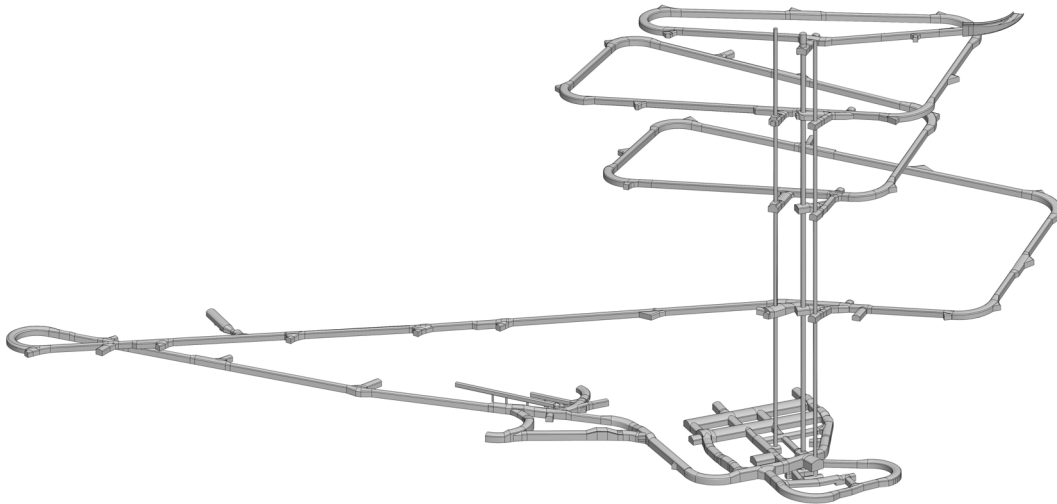
Toinen toteutusvaihe sisältää varsinaisen nostinlaiterakennuksen kokonaisuuden mukaan lukien kulkuyhteyksien ja sosiaalitilojen varsinaiset rakenteet. Toisessa vaiheessa rakennetaan IV-rakennuksen kellariin tuleva ns. "ilmastointikanaali", joka palvelee ONKALOn työnaikaista ilmanvaihtoa. Toisen vaiheen rakentaminen alkaa louhintatöillä vuodenvaihteessa 2012–2013 ja varsinainen rakentaminen alkaa mahdollisesti vuoden 2013 keväällä. Nostinlaiterakennuksen valmistumisen jälkeen

alkavat nostinlaiterakennukseen tulevan henkilönostimen asennustyöt henkilökuilun lujittamistöiden jälkeen. Henkilönostinta on tarkoitus käyttää myös henkilökuilun taloteknisten järjestelmien asennustöihin. Lisäksi ilmanvaihtorakennukseen liittyy ns. valvotun alueen osa, joka rakennetaan rakentamisluvan saannin jälkeen.

6.4.3 ONKALOn ja maanalaisen laitoksen suunnittelu ja toteutus

6.4.3.1 ONKALOn toteutuslaajuus

ONKALO saavutti loppusijoitusvyöhykkeen kesällä 2010 ja ajotunnelin louhinta valmistui vuoden 2012 keväällä (kuva 6-10). Keväällä 2012 päättyneen louhintavaiheen jälkeen louhitut tilat varustetaan ja tiloihin rakennetaan betonirakenteet ja tekniset tilat, jotka varustellaan. ONKALOn toteutuslaajuuteen kuuluvien tilojen louhintatöitä jatketaan vuosien 2013–2014 aikana, jolloin valmistaudutaan loppusijoituslaitoksen rakentamisen aloitukseen. Tulevasta ONKALOn rakentamisesta on kerrottu tarkemmin luvussa 6.4.3.3.



Kuva 6-10. Tutkimustila ONKALO (Kesäkuu 2012).

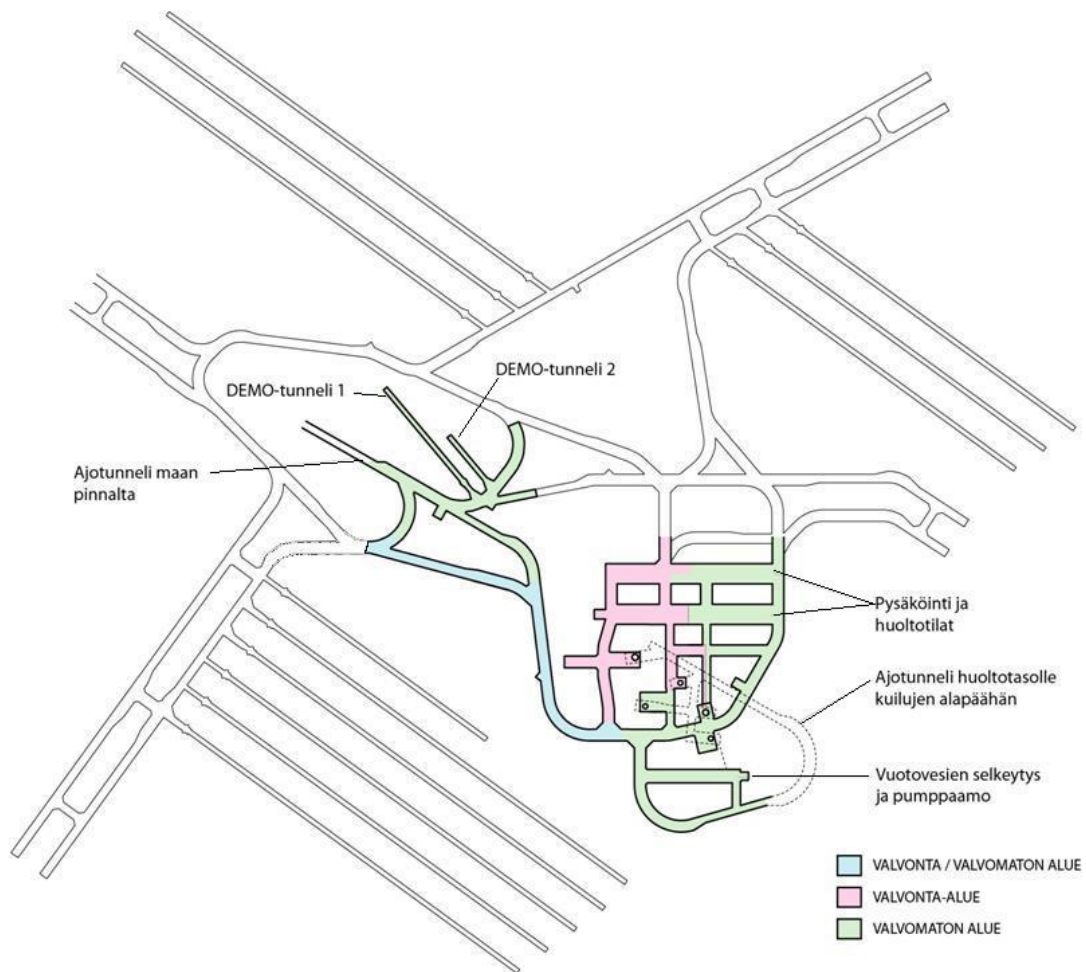
Louhittujen tilojen varustelulla ja täydentävien rakenteiden rakentamisella mahdollistetaan rakentamis- ja käyttölupahakemusten kannalta olennaisten tutkimus- ja kehitystehtävien läpivieminen. Näiden tilojen suunnittelua ovat ohjanneet seuraavat suunnitteluperiaatteet:

- Ehkäistään kaikenlaisten rakennettujen ja avoimien maanalaisten tilojen aiheuttamia häiriömahdollisuuksia.
- Maanalaista tilaa rakennetaan vain rakentamisluvan saannin kannalta olennaiseen tutkimus- ja kehitystyötarpeeseen.
- Muutosmahdollisuudet säilytetään laitossuunnitelman mahdollista myöhempää kehitystä varten.

Näistä peruseriaatteista on johdettu yksityiskohtaisempia ONKALOn suunnitteluvaatimuksia toteutussuunnittelua varten. Näiden mukaan rakennettavien tilojen tulee

mahdollistaa kallion karakterisointi ja muut tarvittavat tutkimukset loppusijoitusvyvydessä. Lisäksi tilojen tulee tarjota mahdollisuudet loppusijoitusjärjestelmän testaustoimintaan. Rakennettavien tilojen tulee täyttää myös ne tarpeet ja vaatimukset, jotka liittyvät tilojen käyttöön loppusijoituslaitoksen osana.

Kuvassa 6-11 on esitetty ONKALON toteutuslaajuus päätutkimustasolla vuoden 2012 kesällä sekä se osa, joka on vielä toteuttamatta (ONKALON lopullinen laajuus). ONKALO kytkeytyy maan päälle vuonna 2011 valmistuneeseen IV-rakennukseen ilmanvaihtokuilujen kautta. Ilmanvaihtoon liittyvät väliaikaiset järjestelyt puretaan kuilujen avaamisen jälkeen.



Kuva 6-11. ONKALON laajuus päätutkimustasolla.

6.4.3.2 ONKALON ja maanalaisen laitoksen toteutussuunnittelu

Toteutussuunnittelun tarkoituksena on kehittää laitossuunnitelmien periaateratkaisut toteutettaviksi suunnitelmiksi. Työn pohjana on laitosmalli, jota on jatkuvasti kehitetty järjestelmä- ja laitesuunnitelmien tarkentumisen myötä. Loppusijoitustilojen yksityiskohtaisen tason toteutussuunnitelmilla esitetään loppusijoitusprosessia varten laitosmalliin laaditut laitoksen rakenteet, järjestelmät ja laitteet. Toteutussuunnittelun yksityiskohtaisilla suunnitelmilla on tarkoitus määrittää tarkemmalla tasolla

rakenteiden, laitteiden ja järjestelmien toteutus- ja hankinta-aikataulu sekä esittää tarkemmin toteutettavien komponenttien vaatimusten täyttyminen.

Loppusijoituslaitoksen ja -prosessin periaatesuunnitelmat on dokumentoitu ja niiden pohjalta laaditaan yksityiskohtaiset suunnitelmat. Suunnitelmien dokumentointi on toteutettu 3D-suunnittelumallien ja Posivan työraporttien avulla.

Loppusijoitustilojen toteutussuunnittelu toteutetaan MRL:ssä määritettyjen vaativien kohteiden suunnitteluperusteiden pohjalta ottaen huomioon ydinlaitoksia koskevat erityismääräykset, joita on esitetty mm. ydinenergialaissa ja -asetuksessa sekä STUKin YVL-ohjeissa.

Rakennussuunnittelu

Loppusijoituslaitoksen rakennussuunnittelulla esitetään rakennuksen toiminta- ja käyttöturvallisuusasiat ja rakennussuunnitelmissa otetaan huomioon mm.

- huoneiden käyttötarkoitus,
- palo-osastoinnit,
- palokuormaryhmät,
- laitoksen maanpäällisten osien kellaritilojen sammutusreitit ja savunpoisto,
- palopostit,
- poistumistiet ja niiden leveydet, sekä
- rakennuksen olosuhdevaatimukset.

Rakennussuunnittelussa otetaan huomioon myös rakennuksen sijoittuminen suhteessa ympäristöön ja sitä kautta rakennuksen kulku- ja liikennöintijärjestelyt. Samalla rakennussuunnittelussa otetaan huomioon rakennuksen ulkopuolinen palo- ja pelastustoimi.

Rakennussuunnittelu ajoittuu koko valmistelu- ja rakentamisajalle. Pääpiirustukset valmistuvat rakentamislupahakemusta varten vuoden 2012 aikana. Rakentamislupahakemuksen jättämisen jälkeen rakennussuunnitelmat, mittakuvat, työselosteet ja muut asiakirjat laaditaan siten, että rakentamiseen liittyvät suunnitelmat valmistuvat ajoissa eri urakkakyselyjä varten.

Toteutussuunnittelu jatkuu urakkakyselyvaiheen jälkeen tarkentavilla suunnitelmilla, jotka ottavat huomioon toteutuksessa tulleet muutosvaatimukset. Eri toteutusvaiheiden jälkeen toteutussuunnittelussa laaditaan eri suunnittelualojen toimesta toteumapiirrokset, jotka liitetään osaksi urakoiden toteuma- ja vastaanottoaineistoa. Tämä työ jatkuu laitoksen käyttöönottamiseen saakka.

Rakennesuunnittelu

Loppusijoituslaitoksen rakennesuunnittelu perustuu laitossuunnitelmiin sekä niiden pohjalta laadittuihin pääpiirustuksiin, joiden vaatimustenmukaisuus on erikseen varmistettu. Rakennesuunnittelussa otetaan huomioon mm.

- rakenteiden varmuus ja kuormitus,
- käyttötilan erikoiskuormitukset,

- onnettomuustilanteen kuormitukset,
- pohja- ja perustamisolosuhteet,
- rakennukseen tulevat laitteet ja järjestelmät,
- rakennuksen kuivatus, sekä
- rakennetyypit alapohjalle, seinille, välipohjille sekä yläpohjalle.

Rakennesuunnitelmien perusteella rakennukselle voidaan määrittää rakennusosaperusteinen kustannusarvio sekä laatia suunnitelma toteutusta varten.

LVI-, sähkö-, automaatio- ja mekaniikkasuunnittelu

Loppusijoituslaitoksen lämmitys-, vesi- ja viemäröintisuunnittelussa, tilojen ilmanvaihtosuunnittelussa, sähkösuunnittelussa, automaatio-suunnittelussa ja mekaniikkasuunnittelussa tarkistetaan tilatarpeet ja eri järjestelmien vaatimat talotekniset varaukset yksityiskohtaisesti. Tilat on suunniteltu alustavasti laitossuunnittelussa, mutta toteutussuunnittelun aikana tilat laaditaan laitevalmistajien määritysten mukaisiksi. Samalla huomioidaan järjestelmäkuvauksissa määriteltyjen toimintojen keskinäinen yhteensovittaminen ja implementointi rakennusosiin.

Loppusijoituslaitoksen LVI-suunnittelussa huomioidaan mm.

- rakennuksen vesi- ja viemärlaitteistojen määräystenmukaisuus,
- sisäilman ilmasto ja ilmanvaihto,
- erikoistilojen ilmasto ja ilmanvaihto,
- ilmanvaihtolaitteiden sijoittelu ja toiminnallisuus, sekä
- ilmanvaihtolaitteiden tehot.

Loppusijoituslaitoksen sähkösuunnittelussa huomioidaan mm.

- rakennuksen sähkölaitteistojen määräystenmukaisuus,
- sähkötilojen ja -laitteiden vaadittava ympäristöluokitus,
- erikoistilojen sähköjärjestelmät,
- sähkölaitteiden sijoittelu ja toiminnallisuus,
- sähkölaitteiden tehot,
- sähkölaitteiden varajärjestelyt,
- sähkölaitteiden käyttöturvallisuus, sekä
- automaatiolaitteiden liittymismahdollisuudet.

Loppusijoituslaitoksen automaatio-suunnittelussa huomioidaan mm.

- laitteiden määräystenmukaisuus ja
- laitteiden mekaaninen ja ohjelmallinen yhteensovittaminen muiden järjestelmien kanssa.

Loppusijoituslaitoksen mekaniikkasuunnittelussa huomioidaan mm.

- rakennuksen vesi- ja viemärlaitteistojen määräystenmukaisuus,
- mekaanisten laitteiden käyttöturvallisuus, sekä
- mekaanisten laitteiden yhteistoiminta automaation kanssa tarvittavilta osin.

Toteutussuunnittelu tapahtuu yhteistyössä rakennuksen suunnittelun kanssa, jotta järjestelmien ja laitteistojen tarvitsemat tilamääritykset tulevat otetuiksi toteutussuunnittelussa huomioon.

6.4.3.3 Toteutus

ONKALOn loppuvaiheen toteutus vuosina 2013–2015

Jo ennen rakentamisluvan myöntämistä ONKALOon voidaan tehdä vähäisiä louhintatöitä tutkimus- ja kehitystyötarpeisiin vallitsevan käytännön mukaan STUKin valvonnassa. Louhintatyöt, joita on suunniteltu tehtäväksi ONKALOssa lähivuosina, ovat toinen pysäköintihalli sekä eräitä tutkimuksen tarvitsemia tiloja. Muita ONKALOn laajuuteen kuuluvia suurempia työkokonaisuuksia ovat ONKALOn rakennus- ja talotekniset työt. Nämä työt sijoittuvat pääosin tasolle -437 m teknisiin tiloihin sekä pumppaamoon ja ne sisältävät mm. turvatilat, jo nousuporattujen kuilujen alapäiden rakenteet, pumppaamon rakenteet, paloalueiden rajapintojen rakenteet, hallien rakenteet ja näiden vaatimat talotekniikka ja varustelut. Myös jo nousuporattujen kuilujen (henkilökuilu, poistoilmakuilu 1, tuloilmakuilu) sekä loput ajotunnelin lujitustöistä tehdään ennen vuotta 2015. Tällaisia ajotunnelin lujitustöitä ovat mm. valmistautuminen kapselointilaitoksen maanpäälliseen louhintaan sekä nostinlaiterakennuksen toisen vaiheen louhintaan.

Maanalaisen laitososan toteutus vuosina 2015–2018

Maanalaisen laitososan rakentaminen alkaa rakentamisluvan saamisen jälkeen vuonna 2015, mikäli rakentamislupa saadaan suunnitellusti. Vuoden 2015 alussa käynnistettävät työt ovat kapselikuilun ja mahdollisen toisen poistoilmakuilun avaus tiivistyksineen. Toinen suuri työkokonaisuus on louhinnat tiivistyksineen varsinaisiin loppusijoitustiloihin johtaville keskustunneleille ajoreitteineen sekä kapselikuilun (ja mahdollisen toisen poistoilmakuilun) kuiluliittymille ja tason -437 m kapselien välivarastolle. Louhintoja seuraa työnaikaiset talo- ja rakennustekniset työt aina siten, että louhittujen tilojen turvallisuus ja käyttö saadaan varmistettua.

Rakentamisluvan saannin jälkeen loppusijoituslaitoksen louhinnat alkavat keskustunnelien louhinnalla, jonka jälkeen aloitetaan loppusijoitustunneleiden louhinnat sekä maanalaisen loppusijoituslaitoksen tilojen rakennustekniset työt sisältäen talotekniikan, kapselihissin ja muut loppusijoitustiloihin tulevat järjestelmät. Suurimpia yksittäisiä työkokonaisuuksia ovat kapselikuiluun liittyvät rakenteet ja asennukset.

6.4.4 Rakennusmenetelmien kehittäminen

Rakennusmenetelmien kehittäminen jatkuu edelleen tulevilla ohjelmakausilla. Työt sisältävät sekä omaa että Posivan ulkopuolella tehtävää työtä, kuten yhteistyökumppaneiden kanssa tehtävä laitekehitystyö ja SKB-yhteistyönä tehtävät työt. Pitkäaikaisturvallisuuden kannalta merkittäviä aiheita ovat kallion louhinnan vauriovyöhykkeen (Excavation Damaged Zone, EDZ) ominaisuuksien jatkoselvitystyö ja louhinnan hallittavuuden kehitys

6.4.4.1 EDZ-tutkimukset

Louhintavauriovyöhykettä on tutkittu ohjelmallisesti usean vuoden ajan useissa T&K-ohjelmissa, joissa on selvitetty mm. louhintamenetelmien ja muodostuneen EDZ-vyöhykkeen yhteyttä sekä EDZ-vyöhykkeen karakterisointimenetelmiä. Vuonna 2012 aloitetun tutkimuksen kohteena on ollut EDZ:n hydrologinen luonne. Tutkimukset jatkuvat vuoden 2013 aikana työllä, jossa kootaan yhteen kaikki tähän mennessä tehdyt tutkimukset: tuotettavien tilojen EDZ:n muodostuminen, sen hallinta, mittaaminen sekä merkitys pitkäaikaisturvallisuudelle. Menetelmäkehitystä jatketaan laadunhallintalaitteiston ja -mittaustavan tuotteistamiseksi loppusijoitustilojen laadunvalvontaa varten. Tavoitteena on luoda helposti toistettava ja luotettava laadunhallinnan välineistö loppusijoitustunneleiden rakentamiseen.

6.4.4.2 Rakentamismenetelmät

Tämänhetkisen näkemyksen mukaan loppusijoitustiloissa käytetään kallion tiivistämisen osalta sekä matalan pH:n injektointimassaa että silikamassoja. Tunnelin silikainjektoinnin kehityö aloitettiin edellisellä ohjelmakaudella. Tulevalla ohjelmakaudella kehitetään injektointia edelleen sekä tutkitaan yhteistyössä SKB:n kanssa materiaalien (esim. silikan) pitkäaikaiskäyttämistä kalliossa.

Loppusijoitustunneleiden lattian riittävä tasaisuus on vaatimuksena tunnelin täytön asentamiselle. Tasaisuus ylipäättään helpottaa kaikkia louhinnan jälkeisiä työvaiheita. Louhinnan jälkeinen lattian tasoituksen kehittäminen on aloitettu rouhintalaitteella, jossa kaivinkoneeseen asennettavalla rouhintapäällä on tasattu tunnelin lattiaa. Rouhinnan kehitystä jatketaan edelleen demonstraatiotunnelissa 2 tehtävillä koealueiden rouhimisilla. Rouhijan kehityksessä otetaan myös huomioon muut rouhittavaksi soveltuvat kohteet, mm. ruiskubetonien poistaminen kallioseinämistä ja kalliopintojen rusnaus. SKB on puolestaan tutkinut kallion sahaamista tasaisten kalliopintojen tuottamiseksi.

Posiva on mukana suunnitteilla olevassa DOPAS-hankkeessa, jossa rakennetaan tulppa ONKALOON kaudella 2013–2015. Ennen tulpan rakentamista on rakennuspaikan tunneliseinämät käsiteltävä tulppaa varten. SKB:n Ruotsissa testaama vaijerisahaus on osoittautunut lupaavimmaksi ja tulevalla kaudella sitä tullaan testaamaan mahdollisena menetelmänä. Tulppakokeen suunnitelmista on kerrottu enemmän luvussa 5.4.1.3.

Menetelmäkehitykseen kuuluu suunnittelua palveleva materiaalien (kuten tiivistysmassan) kehitys ja mitoituslaskelmien (kuten paineseinien mitoituksen) validointi, jota pyritään tekemään mahdollisuuksien mukaan. Loppusijoitustilojen suunnitteluikä on yli sata vuotta, mikä asettaa vaatimuksia materiaalivalinnoille. Loppusijoituslaitoksessa vaikeasti huollettavia kohteita ovat pystykuilut. Materiaalitestausta tehdään mm. simuloimalla betonin pitkäaikaiskäyttämistä kuilussa. Maanalaiset tilat tulee suunnitella mahdollisimman pieniksi, joten tulevassa loppusijoitustilassa tarvittavien toimintojen (loppusijoituksen eri vaiheiden huomiointi, ilmastointi, paloturvallisuus, jne.) vaikutukset louhintatilavuuteen on arvioitu ja mitoitettu erilaisten mallinnusten avulla. Ruiskubetonoidut alueet altistuvat loppusijoitusaikana kasvaville lämpöjännityksille ja voivat vaurioitua. POSE-kokeen kolmannen vaiheen suorituksen jälkeen tutkimusreikä ONK-EH3 rusnataan ja ruiskubetonoidaan pinnaltaan ruiskubetonin termistä hilseilynkestävyyttä tutkivan

kokeen suorittamista varten. Tutkimusreiän ruiskubetonoitu pinta vastaa muodoltaan ruiskubetonoitua kuilua ja täten saadaan loppusijoitustilojen ja kuilujen lujitus suunnitteluun oleellista tutkimustietoa ruiskubetonin käyttäytymisestä kasvavassa jännityskentässä. ONKALOSSA seurataan myös muiden rakentamisessa käytettyjen materiaalien (kuten pulttien ja verkkojen) ikääntymistä.

Loppusijoituslaitoksen keskustunneleiden ja ajoneuvoyhteyksien yhtenä mitoittavana tekijänä on tunnelistossa olevien rakenteiden tilantarve. Ilmanvaihtokanavien ja sähköasennusten kiinnitysten rakenteelliseen vahvuuteen ja sitä kautta tilavaraukseen vaikuttaa niille asetettu vaatimus kestää louhintaräjähdyksistä aiheutuvia painerasituksia. Loppusijoituslaitoksessa on varauduttu tekemään samaan aikaan sekä loppusijoitustilojen louhintaa että loppusijoitusta. Koska tunnelit louhitaan poraus-räjähdyksen menetelmällä, aiheutuu räjähdyksistä paineiskuja olemassa oleville tiloille ja niissä oleville rakenteille. ONKALOSSA on tehty yksittäisiä räjähdyspainemittauksia. Räjähdyksen paineiskun vaimentamismenetelmien toimivuutta tai loppusijoitustunnelin kaltaisen tunnelin louhinnasta aiheutuvia paineiskuja ei ole aikaisemmin tutkittu. Tutkimuksella etsitään keinoja, joilla eri rakenteille kohdistuvia painerasituskuormia voidaan pienentää ja rakenteita keventää.

6.4.4.3 Rakentamisen laitekehitys

Maanalainen tuotanto eli loppusijoitus tarvitsee laitteita tutkimukseen (henkilönostimet, kairauskalusto), tuotantoon (poraus, räjäytys, louheen kuljetus, kallion tiivistys ja tukeminen, mahdollinen lattian tasaus, tilojen puhdistaminen) ja loppusijoittamiseen (tunnelin lujitusten poisto, erilliset loppusijoituskoneet). Toteutukseen valmistauduttaessa tulee seuraavan ohjelmakauden aikana määrittää loppusijoitustyössä tarvittavat laitteistot ja niiden määrä, laitteiden vaatimukset sekä tarvittavien erikoislaitteistojen kehitystarpeet. Loppusijoitustilat toteutetaan referenssisuunnitelman mukaan poraus-räjähdystekniikalla (Drill & Blast, D&B), johon on saatavilla laitteistoa markkinoilta. Joidenkin erikoiskoneiden kohdalla kehitystyötä vielä tarvitaan, tällaisia ovat tunnelilujituksen poistolaitte ja loppusijoitusreikien porakone.

Laittekehitys muille loppusijoituskoneille kallion työstöä lukuun ottamatta on kuvattu kohdassa 6.4.5. Tarvittaessa tuotantotekniikkaa kehitetään samalla, kun seurataan muiden tekniikoiden ja laitteiden, kuten kovan kiven rouhintalaitteiden, kehitystä. Samaten seurataan TBM (Tunnel boring machine) -laitteiden kehitystä maailmalla.

Demonstraatiotunneleissa tuotettiin loppusijoituskoereikiä prototyypilaitte Sannalla (kuva 6-12). Yhteistoimintakoetta varten Posivalla tulee olla loppusijoitusreikien poraamiseen tuotettu, testattu ja hyväksytty laite, joten tulevalle ohjelmakaudella aloitetaan tuotantokoneen suunnittelu- ja toteutustyö. Loppusijoitusreiän pohjan viimeistelymenetelmiä kehitetään. Ratkaisuna voi olla joko uuden työvaiheen ja kivityöstölaitteen lisääminen loppusijoitusreiän porakoneeseen tai erillisen tasauskoneen kehitys.



Kuva 6-12. Loppusijoituskoereikien prototyyppilaitte Sanna.

6.4.5 Asennus- ja siirtotekniikat

6.4.5.1 Kapselihiissi

Tulevalla ohjelmakaudella kapselihiissille laaditaan toteutussuunnitelmat. Kapselikuilun pohjalle tulevan iskunvaimentimen suunnittelua jatketaan tehtyjen pienen mittakaavan kokeiden tulosten perusteella. Vaimenninmateriaalin osalta tehdään jatkoselvityksiä optimaalisen vaimenninmateriaalin määrittelemiseksi. Selvitysten lopputuloksena saadaan määritettyä vaimenninmateriaali sekä kiinnitettyä vaimentimen mitat vaimentimen rakennesuunnitelmaa varten.

6.4.5.2 Kapselin siirto- ja asennuslaite

Kapselin siirto- ja asennuslaitteen prototyypin asennustestit käynnistyvät tulevalla ohjelmakaudella vuosina 2013–2015. Ensi vaiheessa testejä tehdään maanpinnalla. Kun laitteen toimivuus on saatu maanpintatesteissä varmistettua, siirrytään ONKALON demonstraatiotunneliin suorittamaan asennustestausta oikeissa loppusijoitusolosuhteissa. Näissä testeissä keskitytään kapselin käsittelylaitteiden toimintaan sekä kapselin asennukseen bentoniittipuskurilla vuorattuun loppusijoitusreikään mm. asennustoleranssien riittävyyden varmistamiseksi.

Tulevalla kaudella suunnitellaan ja toteutetaan myös asennuslaitteen toinen vaihe, jossa keskitytään mm. laitteen alustaratkaisun viimeistelyyn sekä suunnitellaan lopullisesti laitteen siirtoratkaisut. Lisäksi huomioidaan ensimmäisen prototyyppivaiheen testeissä

havaitut kehityskohteet. Prototyypin testauksen tulokset huomioidaan lopullisen asennuslaitteen rakennesuunnitelman laadinnassa.

6.4.5.3 Puskurin asennuslaite

Puskurin asennuslaitteen prototyyppi testataan alkuvaiheessa maan päällä ja laitteen toimivuuden varmistuttua ONKALOn demonstraatiotunnelissa. Testeillä varmistetaan laitteen suunnitelman toimivuudesta sekä saadaan hyvä käsitys asennustoleranssien riittävydestä. Myös erilaisia häiriötilanteita ja niistä selviytymistä testataan. Suoritettujen testien jälkeen tehdään johtopäätökset lopullisen asennuslaitteen mahdollisista kehityskohteista ja näiden perusteella laaditaan lopullisen laitteen rakennesuunnitelma. Puskurin kehitystyötä on kuvattu tarkemmin luvussa 5.4.1.2.

6.4.5.4 Täytön asennuslaite

Täytön asennuslaitteen prototyypin suunnittelu on aloitettu vuonna 2012 ja sitä jatketaan tulevilla ohjelmakaudella siten, että laitteen prototyypin valmistus voisi alkaa vuonna 2013. Laitteen testaustoiminta ajoittuu ohjelmakauden loppupuolelle. Ensivaiheen testit suoritetaan maanpinnalla ja jatkotestaus ONKALOn demonstraatiotunnelissa. Prototyypin suunnittelun yhteydessä tarkastellaan periaatetasolla koko täyttötoiminta, jotta riittävä täyttönopeus voidaan saavuttaa ja prosessin pullonkaulat tunnistaa. Tässä yhteydessä suunnitellaan myös täyteaineen logistiikka maan päältä sijoitustunneliin. Prototyypin testauksen tulokset huomioidaan lopullisen asennuslaitteen suunnittelussa. Täytön kehitystyötä on kuvattu tarkemmin luvussa 5.4.1.3.

6.5 Maanalainen yhteistoimintakoe

Maanalaisen yhteistoimintakokeen tarkoituksena on testata ja varmistaa maanalaisen loppusijoituslaitoksen toimivuus kokonaisuudessaan loppusijoitusvyöhykellä vallitsevissa olosuhteissa. Vuonna 2012 jätettävän rakentamislupahakemuksen yhteydessä toimitettavassa alustavassa käyttöönottosuunnitelmassa esitellään myös yhteistoimintakokeiden periaatteita.

Loppusijoitusjärjestelmän osatestauksia toteutetaan ONKALOn demonstraatiotunneleissa seuraavien vuosien aikana. Niiden yhteydessä varmistetaan koneiden, laitteiden ja työmenetelmien yksityiskohtainen toiminta. Tässä vaiheessa osatestaukset eivät ole jatkumoa loppusijoitusjärjestelmän vaiheesta toiseen. Tämän vuoksi toteutetaan loppusijoitukseen liittyvien koneiden, laitteiden ja menetelmien yhteistoimintakoe, jossa tarkastellaan osatesteissä hyväksytyjen menetelmien yhteensovitus. Tarkoituksena on todentaa loppusijoitusjärjestelmän osien saumaton yhteensopivuus ONKALOn olosuhteissa. Yhteistoimintakoe tehdään erikseen kapselointilaitokselle ja maanalaiselle loppusijoituslaitokselle. Näiden rajapintana pidetään loppusijoituskapselin siirtoa kuljetusajoneuvolla loppusijoitustunneliin. Yhteistoimintakokeet ovat osa kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamistoimintaa, jonka menettelyjä on kuvattu YVL A.5 -ohjeessa.

Posivan hakiessa käyttö lupaa tulee loppusijoitustoiminnassa käytettävien koneiden, laitteiden, menetelmien ja komponenttien valmistamisprosessien olla valmiita. Tässä yhteydessä myös yhteistoiminta tulee olla varmistettu. Järjestelmien ja laitoksen yhteistoimintakokeita tehdään erillisten koekäyttösuunnitelmien perusteella jo ennen

käyttölupahakemuksen jättämistä siinä tapauksessa, että hallinnolliset ja tekniset valmiudet koekäytölle ovat olemassa. Ns. ydintekninen koekäyttö voidaan tehdä vasta käyttölupahakemuksen perusteella todennäköisesti myönnettävän koekäyttöluvan perusteella.

Maanalainen yhteistoimintakoe käsittää seuraavat kolme vaihetta (kuva 6-13):

1. Kokeen paikan valinta soveltuvuusarviointineen ja toteutussuunnittelu sekä viranomaishyväksyntä.
2. Tarvittavien louhinta- ja poraustöiden toteuttaminen, koepaikan varustelu sekä käytettävien laitteiden ja materiaalien hankinta (mm. loppusijoitusjärjestelmän komponentit, instrumentointi ja monitorointi sekä laadun varmistus).
3. Yhteistoimintakokeen toteuttaminen Tässä vaiheessa huomioidaan myös laadunhallinta, monitorointi ja viranomaisvalvonta.

Työn tarkoitus on loppusijoitustoimintaan liittyvien töiden tekeminen kokonaisuutena sellaisessa järjestyksessä, jota noudatetaan loppusijoituksessa. Suunnittelun eri vaiheissa selvitetään tarve pitkäaikaiselle monitoroinnille ja se suunnitellaan erikseen asetettavien vaatimusten ja tarpeiden mukaisesti. Mikäli osatesteissä ei kaikkia laitteita tai komponentteja ole voitu käsitellä viranomaisen kanssa, niin tämä tehdään yhteistoimintakoevaiheessa.



Kuva 6-13. Yhteistoimintakokeen valmistelun ja toteutuksen alustavat raamit, joilla on yhteys ONKALON louhinnan toteuttamiseen ja demonstraatioissa tehtäviin töihin. Yksittäisiä testejä saattaa jatkua yhteistoimintakokeen rakentamisen aikana.

6.5.1 Alueen valinta

Yhteistoimintakokeen paikka valitaan olemassa olevien tutkimustietojen perusteella (luku 5.3.1). Tässä yhteydessä huomioidaan mallinnusten laajuus, joka nykyisen pienen mittakaavan mallin osalta kattaa ONKALON demonstraatioalueen ja teknisten tilojen lisäksi ensimmäisen loppusijoituspaneelin alueen (luku 5.3.2.4). Tarvittaessa mallinnuksia laajennetaan. Paikanvalinnassa sovelletaan kallionsoveltuvuusluokitusmenetelmää (luku 5.3.2), jonka perusteella määritellään yhteistoimintakoetta varten soveltuva kallioalue. Alue voi sijaita ONKALOSSA joko nykyisten demonstraatiotunnelien itäpuolella tai ensimmäisen loppusijoituspaneelin alueella mieluiten niin, että alueelle päästään mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Paikan valinnassa huomioidaan loppusijoitustoiminnan vaatimukset ja sen asettamat rajoitukset sekä kokeen pitkäaikainen monitorointitarve.

Paikan valinnan loppuvaiheessa työ keskittyy kallion soveltuvuusluokituksen jälkeen toteutusvaiheen suunnitteluun. Toteutussuunnittelun lähtötietoina käytetään paikatutkimusten ja mallinnusten aineistoa siten, että kaikki tarvittava tiedot on käytettävissä. Tässä vaiheessa valmistaudutaan mm. observational method -menetelmän soveltamiseen yhteistoimintakoetunnelin rakentamisen yhteydessä.

6.5.2 Kalliotilan suunnittelu ja rakentaminen

Yhteistoimintakoetunneli toteutetaan oikean loppusijoitustunnelin vaatimusten mukaisesti. Suunnittelun alkuvaiheissa määritellään vaatimukset ja tarvittavat tilat, jotta kokonaisuus saadaan toteutettua. Määrittelyissä huomioidaan mm. tunnelipituus, tarvittavien loppusijoitusreikien määrä, lujitukset ja tiivistykset. Tunneleiden louhinta- ja laadunvarmistusmenettelyt ovat käytettävissä tässä vaiheessa.

Suunnitteluvaiheissa huomioidaan myös asennettujen komponenttien palautettavuus, pitkäaikainen monitorointi ja kokeen mahdollinen vaihteittainen purkaminen.

6.5.3 Hankinnat ja komponenttien valmistaminen

Komponenttien ja laitteiden valmistaminen toteutetaan teknisten vapautumisesteiden tutkimus-, kehitys- ja testausohjelman tulosten perusteella (luku 5.4). Hankinnat toteutetaan luvussa 6.6 kuvatulla tavalla.

6.5.4 Yhteistoimintakoe

Yhteistoimintakokeen tarkoitus on loppusijoitustoimintaan liittyvien töiden tekeminen kokonaisuutena samassa järjestyksessä kuin varsinaisessa loppusijoituksessa. Eri osakomponenttien testaukset pyritään saamaan valmiiksi ennen yhteistoimintakokeen aloittamista. Osatestausten aikana varmistetaan menetelmien toimivuus loppusijoitustason olosuhteissa ja valmistaudutaan kokonaisuuden toteutukseen.

Huomiota kiinnitetään mm. toteutuksen työ- ja pitkäaikaisturvallisuuteen, laadunhallintaan, monitoroinnin toteutukseen sekä viranomaisluvitukseen ja -valvontaan. Yhteistoimintakokeeseen liitettävä KBS-3V-ratkaisun myöhempi monitorointi ja muu mahdollinen tiedonkeruu suunnitellaan ohjelmakauden aikana ja esitetään vuonna 2015 laadittavassa YJH-ohjelmassa.

6.6 Kapselien ja savikomponenttien hankinnat

Loppusijoituskapselin, puskurin ja täyttöratkaisun komponentit voidaan vaihtoehtoisesti ostaa ulkoa solmimalla sitä varten toimitussopimuksia toimittajien kanssa tai tuottaa ne itse, mahdollisesti jonkin kumppanin kanssa. Alkavalla ohjelmakaudella aloitetaan näiden hankintojen suunnittelu. Tavoitteena on tehdä asiaa koskevat ratkaisut lähivuosina ja kehittää tarvittavat menettelyt sekä tuotantotavat.

6.6.1 Kapselikomponenttien ja kapselien hankinta

Kapseleiden hankinnasta on tehty kustannus- ja riskinhallintaselvitys yhdessä SKB:n kanssa. Sen perusteella taloudellisesti edullisin vaihtoehto olisi perustaa yhteinen laitos. Laitoksessa toimittajilta hankitut puolivalmiit kapselikomponentit koneistetaan, tarkastetaan, kupariputkeen hitsataan tarvittaessa pohja ja sisäosa asennetaan kuparikapselin sisään. Selvityksen jälkeen Ruotsin loppusijoituksen aloitusajankohta on lykkääntynyt arviolta viisi vuotta Suomen aloitusajankohtaa myöhäisemmäksi. SKB on myös ilmoittanut loppusijoituspaikan valinnan yhteydessä rakentavansa kapselin kokoonpanolaitoksen Oskarshamniin. Laitoksen suunniteltu käynnistymisajankohta on tällä hetkellä sellainen, ettei Posiva voi oman aikataulutavoitteensa vuoksi tukeutua

tähän laitokseen. Tämän vuoksi tulevan ohjelmakauden aikana päivitetään kapselin hankintatapaselvitys, jonka perusteella selvitetään mahdolliset kapselitoimittajat. Posivan kapselien hankintatapa päätetään siten, että tarvittavat valmistelut ehditään saada valmiiksi kapselien tuottamiseen valittavasta ratkaisusta riippumatta.

Nykysuunnitelman mukaan loppusijoitustoiminnan ensimmäisten vuosien aikana tarvittavat kapselikomponentit hankitaan loppumittoihin koneistettuina, valmiina kapselikomponentteina: pohjallinen kuparikapseli, kuparikansi, valurautasisäosa ja teräskansi. Kun Ruotsissa aloitetaan loppusijoitustoiminta, saattaa kapselikomponenttien hankkiminen Ruotsin Oskarshamniin rakennettavasta kapselitehtaasta olla mahdollista.

Säteilyturvakeskuksen ohjeluonnoksen YVL D.5 kohdan 609 mukaan *"Loppusijoituslaitoksen käyttöluvan haltijan on valvottava riittävässä laajuudessa sellaisten loppusijoitusjärjestelmän komponenttien valmistusta (esimerkiksi puskuri- ja täyteainelohkot, loppusijoitusastiat), jotka tehdään ulkopuolisessa valmistuslaitoksessa. Jos tällaisen komponentin turvallisuusluokka on vähintään 3, käyttöluvan haltijan on pätevoidettävä komponentin valmistusmenetelmä ja sitä valmistava organisaatio."*

Kapselin sisäosa, sisäosan kansi, kuparivaippa ja kuparikansi on alustavasti luokiteltu turvallisuusluokkaan 2 kuuluviksi komponenteiksi. 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, jossa on alustavasti kuvattu kapselin valmistukseen liittyvä organisaatio, valvontamenettely, komponenttien spesifikaatiot ja piirustukset. Ohjeita ja menettelykuvauksia täydennetään kehitystyön edetessä siten, että kapselin valmistuksen laaduntarkastus-ohjelma on valmiina edellä kuvatun valmistusmenetelmien päteväntien tarpeisiin.

Ensimmäisellä suunnitellulla kolmivuotiskaudella vuosina 2013–2015 kapselikomponentteja valmistetaan koesarjoissa, joiden avulla on tavoitteena pätevoidä valmistusmenetelmät. Työ jatkuu jälkimmäisellä kolmivuotiskaudella, jolloin kapselikomponenttien koesarjavalmistus on osa kapselointilaitoksen yhteistoiminta-koetta, jonka tavoitteena on osoittaa loppusijoituksen toteutettavuus.

6.6.2 Savimateriaalien ja -komponenttien hankinta

Puskurikomponenttien hankintatavoista ei ole tehty vastaavaa selvitystä kuin kapselin osalta, joten puskurikomponenttien tuotantotavan valintaa varten tehdään selvitys, jossa tarkastellaan puskurikomponenttien valmistuskustannukset, riskit, saatavuus, henkilöstötarve, kuljetukset ja varastointi eri tuotantotavoilla sekä oman tuotantolaitoksen tapauksessa sen sijainti. 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.

Ensimmäisen kolmivuotiskauden aikana testataan puskurilohkojen valmistusta ulkopuolisen valmistajan toimesta. Toisen kolmivuotiskauden aikana käynnistetään koevermistus, jonka toteuttaja on joko ulkopuolinen toimittaja tai mikäli tarpeen, Posiva hankkii oma valmistuslaitteiston.

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 alustavasti luokiteltu kuuluvaksi turvallisuusluokkaan 3, joten sen valmistusmenetelmä tulee pätevoidä. Pätevöinti toteutetaan koevermistuksen 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 täyttöratkaisun turvallisuusmerkityksen arvioidaan olevan puskuria vähäisempi ja sen ydinturvallisuusluokaksi on tällä hetkellä määritelty EYT. Vaikka täyttölohkojen valmistusmenetelmä olisi eri kuin puskurilohkojen, kannattaa niiden valmistustavan selvitykset tehdä samanaikaisesti.

Periaatteiltaan täyttökomponenttien hankintastrategia noudattaa samaa kaavaa kuin puskurilohkojen hankinta. Ensimmäisen kolmivuotiskauden aikana täyttölohkot hankitaan ulkopuoliselta toimittajalta, jonka laitteistolla tehdään myös valmistustestaus. Jälkimmäisen kolmivuotiskauden aikana siirrytään täyttölohkovalmistuksessa koekäyttövaiheeseen. Sitä varten pitää tehdä päätös siitä, hankitaanko lohkot edelleen ulkopuoliselta toimittajalta vai hankitaanko lohkojen tuottamiseksi oma valmistuslaitos.

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

6.7 Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetukset

Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetukset on tarkoitus aloittaa Suomessa noin vuonna 2020, kun loppusijoitustoiminta alkaa.

Edellisellä kolmivuotiskaudella (2009–2012) tehtiin alustavia selvityksiä mahdollisista käytetyn polttoaineen kuljetussäiliöiden toimittajista, tutkittiin kuljetusten toteuttamismahdollisuuksia ja päivitettiin kuljetusten riskitarkastelu (Suolanen & Rossi 2012).

6.7.1 Kuljetussäiliöt

Käytettyä polttoainetta kuljetetaan KPA-varastoilta kapselointilaitokseen siihen tarkoitetuissa kuljetussäiliöissä. Loviisan polttoaineelle hankitaan kuljetuksia varten B-tyypin kuljetussäiliö. Olkiluodon polttoainetta varten joko hankitaan Posivalle oma B-tyypin säiliö tai käytetään mahdollisuuksien mukaan TVO:n säiliötä. Tämänhetkisten suunnitelmien mukaan Olkiluodon polttoaineen siirtoja varten tarvitaan yksi säiliö. Loviisan polttoaineen kuljetuksia varten hankitaan yksi tai useampia säiliöitä riippuen valittavasta kuljetusmuodosta (maantie-, rautatie- tai merikuljetus).

Vuoden 2013 aikana tehdään päätös siitä, käytetäänkö Loviisan ja Olkiluodon polttoaineiden kuljettamiseen kaasu- vai vesitäytteisiä säiliöitä. Molempien polttoaineiden kanssa ei välttämättä tarvitse päätyä samaan ratkaisuun. Säiliön täyttöratkaisu saattaa vaikuttaa merkittävästi säiliön hankinta-aikaan. Ennen päätöstä selvitetään, mitä vaikutuksia säiliön täyttöratkaisulla on KPA-varastoihin ja kapselointilaitokseen ja niiden järjestelmiin.

Tulevan kolmivuotiskauden aikana vuosina 2013–2015 selvitetään kuljetettaville polttoainetyypeille sopivat säiliöt valituilta toimittajilta. Mikäli sopivia valmiita, lisensoituja säiliöitä ei löydy, säiliöiden hankintaprosessi pitää aloittaa aikataulutavoitteen "noin 2020" kannalta viimeistään vuonna 2013. Tässä tapauksessa kauteen 2013–2015 sijoittuu säiliön suunnittelua, turvallisuusselvityksiä ja luvitusta sekä näihin liittyviä mahdollisia lisäselvityksiä ja testejä. Kaudella 2016–2018 luvitus jatkuu ja säiliöitä aletaan valmistaa.

Mikäli valmistajilta löytyy polttoaineelle sopiva, valmiiksi suunniteltu ja lisensoitu säiliö, hankintaprosessi sijoittuu pääasiassa kaudelle 2016–2018, sillä tällaisen säiliön kokonaistoimitusaika on lyhyempi ja valmiiksi lisensoidun säiliön hyväksyttäminen Suomessa vie vähemmän aikaa.

6.7.2 Kuljetusten suunnittelu

Käytetyn polttoaineen kuljetuksiin tarvitaan erillinen lupa. Kuljetuslupahakemus pitää YVL D.2 -ohjeluonnoksen mukaan toimittaa STUKille kolme kuukautta ennen ensimmäistä kuljetusta. Kuljetuslupahakemukseen liittyviä selvityksiä aletaan tarvittaessa valmistella vuoden 2018 aikana.

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 ja luvittaa Loviisan polttoaineen kuljetusmuoto STUKissa vuonna 2016. Vuosina 2013–2015, ennen kuljetusmuodon luvittamista, tehdään selvitys kuljetusmuodoista ja -reiteistä sekä kuljetuksissa tarvittavasta kalustosta ja sen hankinnasta. Samaan aikaan päivitetään kuljetusten riskiarviot, eli kuljetusten ympäristövaikutukset sekä onnettomuusriskit. Edellä mainitut selvitykset toimivat lähtötietona kuljetusmuodon luvituksessa.

Loviisasta saapuvien KPA-kuljetusten tarvitsema tila ja esim. käytettävien reittien kunto Olkiluodossa otetaan huomioon aluesuunnittelussa.

Vuosina 2016–2018 aloitetaan tarvittavien järjestelmien, ajoneuvojen jne. hankinta tai tehdään niiden käytöstä sopimukset toimittajien kanssa valitun kuljetusmuodon mukaisesti.

Olkiluodon voimalaitosten käytetyn polttoaineen siirrot

Olkiluodon voimalaitosten käytetty polttoaine siirretään KPA-varastosta maanteitse noin 2 kilometrin päässä sijaitsevaan kapselointilaitokseen. Kauden 2013–2015 aikana käydään läpi voimalaitosalueelta kapselointilaitokseen vievät tieosuudet, niiden kunto ja käyttömahdollisuudet. Kaudella 2016–2018 arvioidaan reittien kunto tarkemmin ja tarvittaessa suunnitellaan ja aloitetaan teiden parannukset. Reittien arvioinnin yhteydessä kaudella 2016–2018 tarkastellaan myös Olkiluodon sisäisten siirtojen riskit.

Kauden 2016–2018 aikana tarkastellaan siirtoihin tarvittavan kuljetusajoneuvon ja siihen kiinnitettävän lavetin tarvetta. Siirtoihin voidaan mahdollisesti käyttää TVO:n ajoneuvoa. Jos siirtoihin kuitenkin jostain syystä pitää hankkia erillinen ajoneuvo, sen suunnittelu ja hankinta aloitetaan kauden 2016–2018 aikana.

6.8 Toiminnan kehittäminen

6.8.1 Turvallisuuskulttuurin ja johtamisjärjestelmän kehittäminen

Posiva on sitoutunut kaikessa toiminnassaan korkean turvallisuuskulttuurin tinkimättömään noudattamiseen ja turvallisuuden huomioimiseen siten, että se saa kaikessa toiminnassa aina etusijan mm. ennen taloudellisia seikkoja. Turvallisuuskulttuuri pitää sisällään niin ydin-, säteily-, yritys-, kuin henkilöturvallisuudenkin. Jokainen posivalainen tietää oman työnsä turvallisuusmerkityksen ja vastaa omasta toiminnastaan huolehtien, että se on ohjeiden, vaatimusten, lakien ja säädösten mukaista sekä avointa.

Tulevina vuosina painopisteenä on menettelytapojen kehittäminen turvallisuusasioiden järjestelmällisen käsittelyn edistämiseksi. Esimerkkejä kehitettävistä asioista ovat:

- turvallisuuden kehittämisohjelman laatiminen laitoskokonaisuuden rakentamista ja käyttötoimintaa varten,
- turvallisuusteknisten käyttöehtojen kehittäminen käyttötoimintaa sekä käyttötoiminnan ja rakentamisen yhteensovittamista varten, ja
- työkalun kehittäminen turvallisuuskulttuurin arviointia varten.

Kehitettävät menettelytavat sisällytetään Posivan toimintajärjestelmään.

Posivan toimintajärjestelmän avulla varmistetaan, että yhtiön toiminnassa otetaan huomioon ydin- ja säteilyturvallisuuden, laadun, ympäristön ja yritysturvallisuuden hallinta. Toimintajärjestelmän tulee mahdollistaa systemaattiset toimet laadun ja turvallisuuden mittaamiseksi ja parantamiseksi. Toimintaa ohjaavilla mittareilla

seurataan tavoitteiden toteutumista. Ne johdetaan yhtiön strategiasuunnitelmasta ja toimintapolitiikasta.

Ydin- ja säteilyturvallisuuden, laadunhallinnan, ympäristöhallinnan sekä yritys- ja työturvallisuuden suorituskykyä kokonaisuutena parannetaan jatkuvasti. Parantaminen sisältää toiminnan suunnittelun, toteutuksen, ohjauksen, seurannan ja arvioinnin sekä kehittämisen.

Posivan toimintajärjestelmä perustuu lainsäädäntöön, ISO 9001 -laadunhallintastandardiin, ISO 14001 -ympäristöhallintastandardiin, OHSAS 18001 -työterveys ja -työturvallisuusstandardiin sekä yleisiin yritysturvallisuusjohtamisen periaatteisiin ja siinä on huomioitu STUKin YVL-ohjeet ja Kansainvälisen atomienergiajärjestön (IAEA) standardit soveltuvin osin. Toimintajärjestelmän standardienmukaisuus varmistetaan ulkopuolisen auditoijan tekemillä vuosittaisilla määräaikaissäädöillä.

Toimintajärjestelmän kehittämiseksi pidetään vuosittain sisäisiä auditointeja, joilla varmistetaan prosessien vaatimustenmukaisuus sekä pyritään kehittämään prosessien toimintaa. Poikkeamien ja muiden havaintojen pohjalta tapahtuva käyttökokemustoiminta kerää ja analysoi tietoa havaintoja monipuolisesti hyödyntäen.

Posivan toimintajärjestelmän tulee kaikissa toiminnan vaiheissa täyttää lainsäädännössä, viranomaismääräyksissä ja luvissa esitetyt vaatimukset. Koska Posivan toiminta siirtyy nykyisestä tutkimus- ja kehityspainotteisesta toiminnasta ydinjätelaitoksen rakentamisluvan myötä toteutukseen, on toimintajärjestelmää kehitettävä vastaamaan muuttuneita vaatimuksia ja organisaatiota. Myöhemmin toiminnan painopiste muuttuu käyttöön valmistautumiseen, joka tuo omat vaatimuksensa toimintajärjestelmälle.

6.8.2 Rakentamisen laatu

Rakentamisen laadunhallinnan yleiset periaatteet

Tulevaa ydinlaitosten rakentamisen laatua hallitaan toimimalla Posivan toimintajärjestelmän ohjeistuksen mukaisesti. Rakentamisen laadunhallinnan keskeiset periaatteet, tavoitteet ja menettelytavat on kuvattu toiminta- ja organisaatiokäsikirjoissa sekä laadunhallintaa koskevan prosessin kuvauksessa. Toiminta- ja muiden käsikirjojen yleiskuvauksia on tarkennettu ja sisältöä on laajennettu ns. ylhäältä alaspäin tarkentuvalla ohjeistuksella. Ohjeistus ulottuu Posivan hallinnollisen toiminnan ohjeistuksesta tutkimustoiminnan ja rakentamisen toteutusmenettelyjen kuvaamisen kautta yksityiskohtaisiin työlaji- ja tutkimustehtäväkohtaisiin menetelmäkuvauksiin ja työohjeisiin. Ohjeiden saatavuus on varmistettu tallentamalla ne Posivan sähköiseen dokumenttienhallintajärjestelmään.

Posiva on valmistautunut loppusijoituslaitoksen ja maanpäällisten rakennusten rakentamiseen vuodesta 2004 alkaen rakentamalla maanalaista tutkimustilaa ONKALOA sekä sitä palvelevia maanpäällisiä rakennuksia. Rakennustoiminnassa on noudatettu Suomen lakeja, asetuksia ja viranomaisohjeita sekä laadittuja suunnitelmia. Posiva on valvonut ONKALON ja sitä palvelevien maanpäällisten rakennusten rakentamista laadittujen ohjeiden ja suunnitelmien mukaisesti. STUK on valvonut

ONKALOn ja sitä palvelevien maanpäällisten rakennusten rakentamista erikseen sovittujen YVL-ohjeiden mukaisilla menettelyillä. Sillä, että viranomainen (STUK) on valvonut ONKALOn ja sitä palvelevien maanpäällisten rakennusten rakentamista kuten ydinlaitoksen rakentamista, on ollut tarkoitus varmistaa kyseisten kalliotilojen, järjestelmien ja rakennusten liittäminen myöhemmin erikseen sovittavassa ydinlaitosten rakentamislupa- tai käyttöluvapavaiheessa Posivan ydinlaitoksiin, loppusijoituslaitokseen ja kapselointilaitokseen.

Vuosina 2013–2015 Posivan ydinlaitosten rakentamislupahakemuksen käsittelyn aikana ONKALOA ja sitä palvelevia maanpäällisiä rakennuksia rakennetaan niiltä osin, kuin se on mahdollista ennen rakentamisluvan saantia. Rakentamisessa noudatetaan aikaisemman rakentamisen aikana käytettyjä laadunhallinnan menettelyjä ja niitä laajennetaan tarvittavilta osin kohdistumaan uusiin rakentamiskokonaisuuksiin, järjestelmiin ja laitteisiin.

Laadunvarmistus

Rakentamisen laadunvarmistusta varten Posiva nimeää rakentamisen toteutusorganisaatiosta riippumattoman vastuullisen toiminnon (QA- eli laadunvarmistustoiminta), joka varmistaa, että rakentaminen toteutetaan Posivan toimintajärjestelmän menettelyjen ja ohjeiden sekä asetettujen teknisten ja toiminnallisten vaatimusten ja ohjeiden mukaisesti ja, että lopputuote on suunnitelmien mukainen. Posivan ydinlaitosten rakentamisen laadunvarmistuksen työmenetelmiä ovat mm. työprosessien valvonta ja ohjaus, suunnitelmien ja muiden asiakirjojen sekä lopputuotteiden tarkastaminen ja hyväksyminen, sisäiset ja ulkoiset auditoinnit sekä viranomaistoimintaan ja -yhteistyöhön osallistuminen. Laadunvarmistuksen tehtävänä on myös varmistaa, että ydinturvallisuustekijät on otettu huomioon ja käsitelty riittävästi rakentamistoiminnan kaikilla osa-alueilla.

Suunnittelun ja rakentamisen valvonta

Posivan laitos- ja toteutussuunnitteluprosessit tuottavat rakentamisessa käytettävät tekniset suunnitelmat. Laitos- ja toteutussuunnittelussa lähtötietoina käytettävät suunnitteluperusteet, -vaatimukset ja tekniset ratkaisut perustuvat Posivan ja yhteistyötahojen, kuten esimerkiksi SKB:n pitkäaikaiseen tutkimus- ja kehitystyötoimintaan. Laitos- ja toteutussuunnitteluprosessit sisältävät käsittelyt ja katselmukset, joissa Posiva toteaa kunkin suunnitelman olevan ydinturvallisuuden kannalta hyväksyttävä. Posivan laitos- ja toteutussuunnittelun organisointi, tehtävät ja ohjeistus kuvataan suunnittelukäsikirjassa.

Rakentamisen toimeksiantojen laadunvalvontatehtävien hoitamiseksi Posiva laatii kulloisenkin toimeksiannon toteutus- ja toimitustapaan soveltuvan laadunvalvontasuunnitelman, jossa esitetään Posivan laadunvalvontaorganisaatio ja kuvataan Posivan laadunvalvonnan menettelytavat, tehtävät ja niiden vastuuhenkilöt (QC- eli laadunvalvontatoiminta). Käytännössä rakentamisen laadunvalvonta hoidetaan rakennuttamisprosessissa Posivan omien työntekijöiden toimesta ja TVO:n työntekijöitä käyttäen TVO:n kanssa solmitun Olkiluodon infrastruktuuri-sopimuksen palvelusuunnitelman puitteissa. Tarvittaessa laadunvalvontatyöhön palkataan lisää

laadunvalvontahenkilöstöä. Toteutuksen aikana järjestetään toimeksiannon toteutustavasta riippumatta riittävä määrä sisäisiä projekti-, toteutusvaihe- ja työvaihetarkastuksia ja -katselmointeja, joilla varmistetaan toteutuksen laadullisten, aikataulullisten ja taloudellisten tavoitteiden täyttyminen. Tarkastuksia ja katselmointeja varten laaditaan erillinen katselmointisuunnitelma toteutustapa- ja toteutuskokonaisuuskohtaisesti.

Rakentamisen aikaista laadunvalvontaa, -tarkastusta ja testausta edellyttävät vaatimukset sekä muut toteutusta ohjaavat toimet kuvataan järjestelmä-, rakenne- ja laitekohtaisissa toteutussuunnitelmissa. Toteutussuunnitelmien pohjalta laaditaan valvonta-, tarkastus- ja testausuunnitelmat sekä työajakohtaisten menetelmäkuvausten tarkastus-, testaus- ja valvontalistat.

Jokaisessa toimeksiannossa työn toteuttaja, suunnitteluyritys, urakoitsija ja yksittäinen työnsuorittaja laativat omaa työtään koskevan kirjallisen menetelmäkuvausten tai työsuunnitelman, jossa työn toteuttaja kuvaa menettelyt ja organisaation, joilla se tuottaa Posivalle suunnitelmien ja sopimuksen mukaisen tuotteen ja työsuorituksen. Toimeksiannon toteuttaja tekee myös suunnitelman teknisten suunnitelmien ja työsuunnitelmien edellyttämistä laadunvalvontatoimista työn aikana. Toimeksiannon toteuttaja toimii suunnitelmien mukaisesti sekä osoittaa toiminnan ja tuotteen suunnitelmien mukaisuuden tuottamillaan tehdyn työn kirjauksilla ja laadunvalvontadokumenteilla.

Laadunhallinnan kehittäminen

Rakentamislupahakemuksen laadinnan yhteydessä Posiva määritteli valtioneuvoston asetuksen (733/2008) 4 §:ää noudattaen loppusijoituslaitoksen ja kapselointilaitoksen turvallisuustoiminnot ja luokitteli niihin liittyvät järjestelmät, rakenteet ja laitteet niiden turvallisuusmerkityksen perusteella. Luokittelun perustaksi Posiva laati loppusijoituslaitoksen ja kapselointilaitoksen järjestelmistä järjestelmäluettelon, turvallisuustoiminnoiltaan merkittävistä järjestelmistä järjestelmäkuvaukset sekä rakenne- ja laiteluettelot. Niiden perusteella Posiva laati ehdotuksen ydinlaitostensa luokitusasiakirjasta, joka toimitetaan STUKille rakentamislupahakemuksen yhteydessä.

Turvallisuusluokituksen ja laadun välisen yhteyden toteuttamiseksi Posiva määrittelee tulevalle ohjelmakaudella vuosina 2013–2015 kullekin luokitusasiakirjassa esitetylle turvallisuusluokalle laadunhallinnan periaatteet ja standardit, joita noudatetaan turvallisuusluokkaan kuuluvan kohteen suunnittelussa, valmistuksessa, rakentamisessa, asennuksissa, käytössä ja tarkastuksissa. Samassa yhteydessä Posiva määrittelee ydinlaitosten turvallisuuden kannalta tärkeiden järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden suunnittelun, valmistuksen ja asennuksen sekä niiden käytön siten, että niiden laatutaso ja laatutason todentamiseksi tarvittavat arvioinnit, tarkastukset ja testaukset (mukaan lukien ympäristökelpoisuus) tulevat olemaan riittävät kohteen turvallisuusmerkitys huomioon ottaen. Laatutason saavuttamiseen ja todentamiseen liittyvät toimenpiteet ohjeistetaan, ja ohjeet sijoitetaan sopivina kokonaisuuksina esimerkiksi käsikirjoina Posivan toimintajärjestelmään.

Toimittajien valinta ja toimitusketjujen laadunhallinta

Rakentamisen laadunhallinnassa merkittävän osan muodostaa toimittajien valinta ja toimitusketjujen laadunhallinta. Posivan rakentamisen hankinnat ja toimittajavalinnat on tehty Posivan toimintajärjestelmän yleisten hankinta- ja toimittajavalintamenettelyjen mukaisesti. Posivan ydinlaitosten rakentamiseen ja käyttötoimintaan valmistauduttaessa tulevalla ohjelmakaudella vuosina 2013–2015 toimittajavalintaa kehitetään toimittajalle asetettuja vaatimuksia täsmentämällä ja niiden täyttymisen todentamista yhtenäistämällä. Toimittajien valintaan luodaan toimituksen turvallisuus-, talous-, aikataulu- yms. merkittävyyteen perustuva toimitus- ja toimittajaluokkajärjestelmä sekä asetettujen toimittajavaatimusten todentamisen menetelmät. Menettely otetaan käyttöön Posivan kaikissa hankinnoissa ja toimittajavalinnoissa. Toimittajalle asetetut vaatimukset ulotetaan sopimusteitse hankintaketjun kaikille toimittajille.

6.8.3 Ympäristö ja työturvallisuus

Posivassa ylläpidetään ympäristöasioiden sertifioitua johtamisjärjestelmää. Keskeistä on arvioida säännöllisesti toiminnan ympäristövaikutukset sekä niiden perusteella laatia ja toteuttaa vuosittainen ympäristöohjelma toiminnan haitallisten ympäristövaikutusten vähentämiseksi.

ONKALOn rakentamisesta syntyvän louheen läjityksen ympäristölupa päättyy vuonna 2015. Loppusijoitukseen liittyvän rakentamisen ja käytön aikana syntyvän louheen läjitys on suunniteltava ja tarvittaessa luvitettava vuoden 2013 aikana. Tämä koskee myös kapselointilaitoksen pohjan louhintaa ja kapselikuilun yläosan nousuporausta.

Loppusijoituslaitoksen rakentamisenaikainen jätehuolto on suunniteltava vuoden 2014 aikana ennen rakentamisen alkamista. Vastaavasti on suunniteltava kapselointilaitoksen ja muiden maanpäällisten rakennustöiden jätehuolto ennen rakentamisen alkamista. Ympäristönäkökohtien seuranta rakentamisen ja käytön aikana kuvataan pääosin Olkiluodon monitorointiohjelmassa. Mahdolliset muut seurattavat näkökohdat esitetään erikseen ympäristöasioiden toimintasuunnitelmissa.

Työturvallisuus- ja työterveysasioiden sertifioitua johtamisjärjestelmää ylläpidetään ja kehitetään Posivassa. Erityisenä kehitysalueena on turvallisuuskulttuurin kokonaisvaltainen kehittäminen rakentamisvaiheen aikana yhteistyössä keskeisten toimittajien kanssa. Turvallisuusorganisaation on osallistuttava tiiviisti loppusijoituksen suunnitteluun ja toteutukseen, jotta työturvallisuusnäkökohdat otetaan riittävästi huomioon.

6.8.4 Ydin- ja säteilyturvallisuus

Ydin- ja säteilyturvallisuutta koskevia hankkeita jatketaan vuosina 2013–2018. Näitä ovat mm. selvitykset ydinlaitoksen henkilökunnan säteilysuojelusta eli selosteet ydinlaitoksen säteilysuojelun yleisistä periaatteista, laitoksen rakenteellisista ominaisuuksista laitoksen henkilökunnan säteilysuojauksessa, henkilökunnan saamista säteilyannoksista laitoksen normaaleissa käyttötilanteissa sekä eräissä geneerisissä käyttöhäiriö- ja onnettomuustilanteissa. Käyttölupahakemukseen päivitetään myös selvitykset ydinlaitoksen ympäristön, väestön ja eliöstön suojelusta, mm. selosteet

ydinlaitoksen päästöistä ja väestön säteilyaltistuksesta normaalissa käyttötilanteessa, käyttöhäiriöissä ja onnettomuuksissa sekä selvitykset radioaktiivisten aineiden päästöreiteistä ja niiden säteily- ja päästövalvonnasta.

Vuosina 2013–2018 jatketaan myös säteilymittausjärjestelmien suunnittelua elinkaarimallin mukaisesti sekä muiden laitoksen rakenteiden, järjestelmien ja laitteiden järjestelmäkuvausten säteilysuojelullista arviointia siten, että lopulliset järjestelmäkuvaukset ovat valmiina viimeistään käyttöluvapahakemuksen jättämisen yhteydessä vuonna 2018. Järjestelmien toimintaa kuvaava todennäköisyysperusteinen riskianalyysi sekä rakenteiden, laitteiden ja järjestelmien turvallisuusluokat käsittävä luokitusasiakirja päivitetään vastaamaan ydinlaitoksen lopullisia järjestelmäkuvauksia.

Tulevalla ohjelmakaudella käynnistetään myös useita uusia hankkeita, joista osa mainitaan suunnitelmina rakentamislupahakemuksessa. Posiva jättää rakentamislupahakemuksensa yhteydessä suunnitelman ympäristön perustilaselvityksestä sekä suunnitelman meteorologisesta mittausjärjestelmästä ja siihen liittyvistä mittauksista. Ympäristön perustilaselvityksen ja meteorologisten mittauksen aloittamisesta suunnitelmien mukaisesti huolehditaan viimeistään ydinlaitoksen rakentamisen alkaessa, jotta voidaan mahdollistaa ydinlaitoksen ympäristön tilanteen arvioimisen ennen laitoksen toiminnan aloittamista. Perustilaselvitys on myös lähtökohta ympäristön säteilytarkkailuohjelmalle, jonka suunnitelma jätetään hyväksyttäväksi käyttöluvapahakemuksen yhteydessä. Vuosina 2013–2018 huolehditaan siitä, että meteorologista mittausjärjestelmää koskevat kuvaukset ja tiedot laitosalueen meteorologisista olosuhteista toimitetaan arvioitavaksi käyttöluvapahakemuksen jättämisen yhteydessä.

Posiva selvitti rakentamislupahakemuksen yhteydessä suunnitelmiaan kapselointi- ja loppusijoituslaitosten päästömittausjärjestelmän toimintakyvyn, mm. näytteenoton edustavuuden, osoittamiseksi tehtävistä analyyseistä ja kokeista. Tulevalla ohjelmakaudella huolehditaan siitä, että ko. kokeet ja analyysit suoritetaan ja niiden tulokset raportoidaan käyttöluvapahakemuksessa. Käyttöluvapahakemukseen sisällytetään turvallisuusteknisten käyttöehtojen määrittäminen, erityisesti ydinlaitoksen päästörajojen osalta.

6.8.5 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.

6.8.5.1 Turvajärjestelyjen perusteet

Ydinenergian käytön turvajärjestelyjä koskevat velvoitteet esitetään ydinenergialaissa (880/1987), ydinenergia-asetuksessa (161/1988) ja ydinenergian käytön turvajärjestelyjä koskevassa valtioneuvoston asetuksessa (734/2008). Ydinvoimalaitosten turvajärjestelyjä koskeva ohje YVL 6.11 on laadittu sellaisenaan sovellettavaksi vain ydinvoimalaitoksille. Se ja ydinpolttoaineen kuljetusten turvajärjestelyjä koskeva ohje YVL 6.21 ovat uudistettavina ja uusiin ohjeisiin tulevat vaatimukset huomioidaan

rakentamislupahakemuksessa siinä laajuudessa kuin ohjeuudistuksen valmistelutilanne mahdollistaa.

Posivan laitosten turvajärjestelyt suunnitellaan mainittujen säädösten mukaisiksi ja kuvataan rakentamislupahakemuksen jättämisen yhteydessä STUKille toimitettavassa, YEA 35 §:n tarkoittamassa alustavassa turvajärjestelysuunnitelmassa. Suunnitelmassa huomioidaan periaatetasolla polttoaineen kuljetukset ydinvoimalaitoksilta kapselointilaitokselle. Aineistoa koskee ydinenergilain 78 §:n vaitiolovelvollisuus.

Lainsäädännössä turvajärjestelyt määritetään toimenpiteiksi, jotka tarvitaan ydinenergian käytön turvaamiseksi lainvastaiselta toiminnalta ydinlaitoksessa, sen alueella, muussa paikassa tai kulkuvälineessä, jossa ydinenergian käyttöä harjoitetaan. Lainvastaisella toiminnalla taas tarkoitetaan tahallista toimintaa tai toimenpidettä, jonka tarkoituksena on ydinlaitoksen turvallisuuden tai ydinmateriaalin tai ydinjätteen koskemattomuuden vaarantaminen tai muun välittömän tai välillisen uhan aiheuttaminen ydin- tai säteilyturvallisuudelle, taikka ydinlaitokseen, ydinmateriaaliin tai ydinjätteeseen kohdistuvaa tuottamuksellista vahingon aiheuttamista. Uhkatilanteella tarkoitetaan tilannetta, jossa todetaan tai on syytä epäillä ydinlaitokseen taikka ydinmateriaaliin tai ydinjätteeseen kohdistuvaa lainvastaista toimintaa.

Ydinenergilain 7 §:n mukaan ydinenergian käytön edellytyksenä on, että turvajärjestelyt ja valmiusjärjestelyt sekä muut järjestelyt ydinvahinkojen rajoittamiseksi ja ydinenergian käytön turvaamiseksi lainvastaiselta toiminnalta ovat riittävät. Turvajärjestelyjä koskevan valtioneuvosten asetuksen 3 §:n mukaisesti turvajärjestelyjen suunnittelun on perustuttava turvattavaa toimintaa koskeviin riskianalyyseihin ja niiden perusteella arvioituihin suojaustarpeisiin.

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

Posiva toimittaa ydinlaitoksen rakentamislupahakemuksen yhteydessä STUKille YEA 35 §:n mukaisen alustavan turvasuunnitelman ja käyttöluupahakemuksen yhteydessä YEA 36 §:n mukaisen lopullisen turvasuunnitelman. Turvajärjestelyissä tukeudutaan TVO:n turvajärjestelyihin ja TVO huolehtii ONKALOn ulkopuolisten alueiden turvajärjestelyistä.

6.8.5.2 Rakentamislupahakemuksen käsittelyaika 2013–2014

Rakentamislupahakemuksen käsittelyvaiheessa vuosina 2013–2014 Posiva valmistautuu rakentamisen aloittamiseen ja alkaa toteuttaa alustavassa turvajärjestelmäsuunnitelmassa esitettyjä turvajärjestelyjä. Turvajärjestelyt pitävät sisällään kapselointi- ja loppusijoituslaitosten työmaa-alueen turvajärjestelyjen rakentamisen siten, että ne varsinaisessa ydinlaitoksen rakentamisvaiheessa luovat perustan toteuttaa YEL:n ja YEA:n edellyttämät turvajärjestelyt. Tässä vaiheessa luodut järjestelyt on esitetty jäljempänä varsinaisessa rakentamisvaiheen toimintaa kuvaavassa osassa.

6.8.5.3 Rakentamisvaihe 2015–2018

Posiva voi rakentaa kapselointilaitoksen ja ensimmäisen osan loppusijoituslaitoksesta valtioneuvoston myöntämän rakentamisluvan jälkeen. Näinä vuosina luodaan myös valmiudet käyttölupahakemuksen jättämiselle ja valmistellaan hakemusaineisto jätettäväksi niin, että loppusijoitus voisi alkaa noin vuonna 2020. Tähän hakemusaineistoon liitetään YEA 36§:n mukainen lopullinen turvasuunnitelma. Rakennusvaiheen aikana rakennetaan ja testataan turvajärjestelmäsuunnitelman mukaiset järjestelmät, laitteet ja rakenteet.

Rakentamisvaiheen turvajärjestelyt toteutetaan alustavaan turvasuunnitelmaan sisältyvän rakentamisaikaa koskevan suunnitelman mukaisesti. Suunnitelmaa päivitetään rakentamisen edistyessä tarpeen mukaan.

Rakentamisen aikaisten turvajärjestelyjen tarkoituksena on toteuttaa seuraavat turvallisuuteen liittyvät kohdat:

- Havaita lainvastainen toiminta ja käynnistää vastatoimenpiteet, jotka on kuvattu alustavassa 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 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.

Rakentamisvaiheen aikana Posiva laatii lopullisen suunnitelman turvajärjestelyistä ja rakentaa suunnitelmanmukaiset järjestelyt otettavaksi käyttöön laitoskokonaisuuden muun käyttöönoton yhteydessä.

6.8.5.4 Toimintaan liittyvien riskien tarkastelu

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen liittyviä riskejä voidaan tarkastella seuraavalla tavalla jaoteltuna:

- ydin- ja säteilyturvallisuus,
- ydinmateriaalivalvonta sekä
- toiminnan jatkuvuus, häiriöttömyys ja hyväksyttävyyden ylläpito.

Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitosten säteilyturvallisuutta ja säteilyannoksia normaalikäytön, käyttöhäiriöiden ja onnettomuustilanteiden aikana tarkastellaan

alustavan turvallisuusselosteen luvuissa 8 ja 9. Tarkastelujen tuloksia voidaan käyttää myös lainvastaisesta toiminnasta aiheutuvien riskien suhteuttamiseen lainsäädännössä esitettyjä säteilyturvallisuusvaatimuksia vasten.

Tarkastelujen johtopäätökset voidaan tiivistää seuraavasti: Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen normaalikäyttö, häiriötilanteet ja analysoidut onnettomuudet eivät aiheuta vaaraa laitoksen henkilöstölle eivätkä ympäristölle. Turvajärjestelymielessä tämä voidaan tulkita siten, että mikään yksittäinen tahallinen toimenpide ei pysty aikaansaamaan sellaista päästöä, jolla olisi oleellista merkitystä ympäristön turvallisuuden kannalta. Tahattomasti tai tahallisesti aiheutettujen vikojen samanaikaisuutta voidaan lisäksi ennalta ehkäistä hallinnollisilla järjestelyillä, kuten tarkastuksilla ja toimintakokeilla. Loppusijoituslaitoksen lisärakentamisessa tarvittavien räjähteiden käyttö on estettävä tiloissa, joissa käsitellään tai säilytetään polttoainetta. Tämä otetaan huomioon räjähteiden varastoinnissa ja käsittelyssä loppusijoitustilojen laajentamiseen liittyen. Vaatimus huomioidaan myös turvavyöhykkeiden rajapintojen kestävyuden mitoituksessa. Louhittava alue pidetään fyysisesti erillään valmiista loppusijoitustiloista. Töiden jaksottamista ja turvallisuusasioiden huomioonottamista ohjataan turvallisuusteknisten käyttöehtojen (TTKE) tapaisilla hallinnollisilla järjestelyillä.

6.8.5.5 Käytetyn polttoaineen kuljetusten turvallisuus

Ydinjättekuljetukset luvitetaan ydinenergialain mukaisesti erillään kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen luvituksesta. 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). Edellä mainituissa selvityksissä tarkastelut laaditaan myös turvajärjestelynäkökulmasta. Tehdyt selvitykset kattavat kaikki kyseeseen tulevat kuljetusmuodot: maantie, meri, rautatie. Päätös kuljetusmuodosta ja tehtyyn valintaan liittyvistä teknisistä ratkaisuista tehdään vuoteen 2016 mennessä.

Kuljetusten valmiusjärjestelyt toteutetaan voimassa olevien säädösten mukaisesti ja esittämään kuljetussuunnitelmaan liitettävässä valmiussuunnitelmassa.

Tehtyjen selvitysten mukaan polttoainekuljetukset edellyttävät pahimmillaankin tarvetta suojautua säteilyltä vain kuljetussäiliön välittömässä läheisyydessä, eivätkä kuljetukset siten aiheuta vaaraa muille liikkujille eivätkä kuljetusreittien varrella asuville ihmisille tai ympäristölle.

6.8.6 Valmiusjärjestelyt

"VNA:n 735/2008, 6 § mukaan ydinenergia-asetuksen (161/1988) 35 §:n 1 momentin 5 kohdassa tarkoitetulle alustavalle valmiussuunnitelmalle ja mainitun asetuksen 36 §:n 1 momentin 7 kohdassa tarkoitetulle valmiussuunnitelmalle sekä niitä koskeville muutoksille on hankittava Säteilyturvakeskuksen hyväksyntä. Valmiussuunnitelma on osa pelastuslain 9 §:n 2 momentissa tarkoitettua pelastussuunnitelmaa."

Posivan valmiusjärjestelyjen tarkoituksena on varautuminen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen henkilökuntaa, laitoksen ympäristöä ja itse laitosta mahdollisesti uhkaavien säteilyonnettomuuksien ja niiden seurausten rajoittamiseen. Valmiusjärjestelyt suunnitellaan ja toteutetaan toimintojen ohjaamiseksi valmiustilanteissa siten, että Posivalta edellytetyt toimenpiteet tulevat suoritetuiksi.

Valmiustilanteiden varalta ylläpidettäviä toimintavalmiuksia ovat:

- valmiustilanneilmoitusten tekeminen,
- tilannekuvan muodostaminen ja ylläpito analyysi- ja mittaustietojen perusteella,
- osallistuminen laitoksen alueella pelastus- ja sammutustoimintaan,
- väestön hälyttäminen tarvittaessa laitoksen lähialueella (0–5 km),
- osallistuminen säteilymittaukseen laitosalueella ja sen lähiympäristössä,
- tietojen, toimenpidesuositusten ja muun asiantuntija-avun antaminen onnettomuuden kehittyessä. sekä
- suojaväestön toimeenpano tarvittaessa laitoksen alueella pelastusorganisaation tukemana.

Suunniteltu valmius saavutetaan ja sitä ylläpidetään perus- ja jatkokoulutuksella, valmiusharjoituksilla ja tiedottamalla.

Valmiustoiminnan tarpeet otetaan huomioon jo kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen tilojen, säteilymittausjärjestelmien ja yhteydenpitovälineiden suunnittelussa ja tarvittavien päästö- ja leviämisarvioiden määrittämisessä. YVL-ohjeen C.5 mukaan valmiusjärjestelyt suhteutetaan kapselointi- ja loppusijoitustoimintaan siten, kuin laitosten mahdollisesta ydinvahingosta aiheutuva vaara edellyttää. Vastaavasti kuin ydinvoimalaitoksella valmiustoiminnan suunnitteluperusteena otetaan huomioon myös ns. vakavat onnettomuudet, joissa reaktorin sydän vaurioituu ja voi tapahtua merkittävä päästö, mitoitetaan kapselointi- ja loppusijoitustoiminnan valmiusjärjestelyt käsiteltävän polttoaineen aktiivisuussisällön ja useiden järjestelmien epäonnistuneen toiminnan mukaan. Mikäli mitoittamisen lähtökohtana pidettäisiin onnettomuusanalyysissä valittuja suunnitteluperusteetonnettomuuksia (DBA), varautuminen ja valmiustoimet koskisivat laajimmillaan vain polttoaineen loppusijoitukseen osallistuvaa henkilökuntaa.

Valmiussuunnittelussa rajoitetaan vain laitoksen käyttövaiheeseen. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamisvaiheessa, 2015–2018, nimetään ja koulutetaan valmiusorganisaatio sekä rakennetaan valmiustoiminnan edellyttämät tilat ja järjestelmät.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitos sijaitsee TVO:n ydinvoimalaitoksen välittömässä läheisyydessä, mikä mahdollistaa esimerkiksi varautumislousteisten velvoitteiden, kuten valmiusjärjestelyjen, palosuojelun ja turvajärjestelyjen, hoitamisen yhteistyössä TVO:n kanssa. Valmiusjärjestelyjen osalta tämä tarkoittaa TVO:n olemassa olevien resurssien ja infrastruktuurin hyödyntämistä mm. valvonta- ja mittaussuunnitelmien, koulutuksen, harjoittelun ja teknisen valvonnan osalta.

6.8.7 Ydinmateriaalivalvonta

ONKALOn rakentamisen aikana toteutetulla ydinsulkuvalvonnalla on luotu pohja tulevalle ydinmateriaalivalvonnalle. Loppusijoituslaitoksen rakentamisen aikana nykyinen kalliotilojen rakentamisen valvonta- ja verifiointijärjestelmä muodostaa osan uudesta järjestelmästä. Toinen osa järjestelmää on varsinaisen ydinmateriaalin ja sen kulkureittien valvontamenetelmien kehitys.

6.8.7.1 Viranomaisvaatimukset

Käytetyn ydinpolttoaineen geologista loppusijoitusta koskevat viranomaisvaatimukset ovat vielä kehitystyön alla. Tähän on koottu keskeisiä vaatimuksia päivitettävänä olevasta ydinmateriaalivalvontaa koskevasta YVL-ohjeesta sekä Euroopan komission asetuksesta.

YVL D.1 -ohjeluonnoksen mukaisesti ydinjätelaitoksen ja erityisesti siihen liittyvien maanalaisten tilojen suunnittelussa, rakentamisessa ja käytössä on otettava huomioon ydinmateriaalivalvonnan järjestäminen. Ydinmateriaalin kulkureitit, puskurivarastot, käsittelyprosessit ja valvonta on suunniteltava siten, että ydinainetiedon jatkuvuus voidaan varmistaa joka vaiheessa. Materiaalivirtojen valvonnan maanalaisiin tiloihin ja ulos niistä on oltava mahdollista.

Toiminnanharjoittajan on ilmoitettava STUKille suunnitelmat ydinjätelaitoksen rakentamisesta ja raportoitava niiden toteutuminen. Tämän lisäksi toiminnanharjoittajan on valvottava, ettei loppusijoitusalueella (periaatepäätöksessä rajatulla alueella) ole ydinmateriaalivalvonnan kannalta merkityksellistä ilmoittamatonta toimintaa. Ydinjätelaitoksen ja erityisesti siihen liittyvien maanalaisten tilojen rakentamisen aikana toiminnanharjoittajan on osoitettava, että laitos rakennetaan ilmoitusten mukaisesti.

Toiminnanharjoittajan on suunniteltava ydinjätelaitos siten, että ydinjätelaitoksen käytön aikana polttoaineyksiköt ja jätepakkaukset ovat yksilöllisesti tunnistettavissa. Jokaisen polttoaineyksikön ydinainetiedot on oltava mahdollista todentaa ainetta rikkomattomin menetelmin ennen kuin polttoaineyksiköt kapseloidaan. Polttoaineyksiköiden todentamisen jälkeen valvontatiedon jatkuvuus on voitava varmistaa. Jos jatkuvuus menetetään, polttoaineyksiköt on oltava mahdollista todentaa uudelleen.

Komission asetuksen N:o 302/2005 mukaisesti jokaisen lisäpöytäkirjan osapuolena olevan jäsenvaltion on nimettävä laitosalueen edustaja, jonka on toimitettava komissiolle laitosalueen yleisen kuvauksen sisältävä ilmoitus. Yrityksen tai henkilön, joka perustaa laitoksen, on ilmoitettava komissiolle laitoksen tekniset perustiedot (Basic Technical Characteristics). Komissio antaa teknisten perustietojen perusteella erityiset valvontasäännökset (Particular Safeguard Provisions), joissa ilmoitetaan mm. materiaalitasealueet (Material Balance Areas) ja päämittauspaikat (Key Measurement Points) ydinmateriaalivuon ja -varastojen määrittämiseksi. Lisäksi ilmoitetaan teknisiin perustietoihin tehtävät muutokset, joista on ilmoitettava etukäteen sekä menettelyt kunkin materiaalitasealueen ydinmateriaalikirjanpitoa ja raporttien laadintaa varten. Valvontasäännöksissä määritellään myös kirjanpitolaskentoihin osana

ydinmateriaalivalvontaa tehtävien varastonmäärittysten (Physical Inventory Taking) tiheys ja menettelyt.

Yrityksen on ylläpidettävä ydinmateriaalien kirjanpito- ja valvontajärjestelmää, jonka on sisällettävä kirjanpito- ja toiminta-asiakirjat ja erityisesti tiedot materiaalien määristä, luokasta, muodosta ja koostumuksesta, materiaalin sijainnista, erityisistä valvontasitoumuksista, sekä tiedot lähettäjistä ja vastaanottajasta ydinmateriaalin siirron osalta. Jokaisen materiaalitasealueen osalta on toimitettava kuukausittain ydinmateriaaleja koskevat varastomuutosraportit (Inventory Change Report). Jokaisen materiaalitasealueen osalta on toimitettava myös materiaalitaseraportit (Material Balance Report) ja varastolistaus (Physical Inventory Listing) mahdollisimman pian kalenterivuositteittain tehtävän todellisen varaston määrittelyn jälkeen (Physical Inventory Taking). Lisäksi tarvittaessa toimitetaan erikoisraportteja epätavallisista tapahtumista kuten mahdollisesta ydinmateriaalin katoamisesta ja lisääntymisestä.

6.8.7.2 Posivan suunnitelmat

Ydinmateriaalivalvontakäsikirja kehitetään ohjeistamaan kansainvälisen valvonnan edellyttämät ilmoitukset, kirjanpito, raportointi ja muut valvontavelvoitteet. Käsikirja hyväksytetään STUKissa ja pidetään ajan tasalla. Ydinmateriaalikäsikirja otetaan käyttöön viimeistään käyttölupavaiheessa vuonna 2018. Kapselointilaitoksen ja loppusijoituslaitoksen rakentamiselle ja käytölle nimetään vastuullinen johtaja ja varahenkilö sekä huolehtivat henkilöt valmiusjärjestelyille, turvajärjestelyille ja ydinmateriaalivalvonnalle.

Kapselointilaitos ja loppusijoituslaitos käsittävät joko yhden yhteisen tai useamman materiaalitasealueen, jonka sisällä on päämittauspaikkoja, kuten polttoaineen vastaanottotila, käsittelykammio, välivarastot sekä loppusijoitustila. Kapselointilaitoksen ja loppusijoituslaitoksen ydinmateriaalitase voidaan laskea tulevan ja lähtevän (loppusijoitetun) ydinainemäärän perusteella. Ydinaine verifioidaan tunnistetietojen, määrän ja mahdollisten mittautustietojen avulla. Loppusijoitustilaan siirretyn ydinaineen tasetta ei voida verifioida tuomatta kapsелеita takaisin kapselointilaitokselle.

Ydinaineen kirjanpidon lähtötiedot saadaan omistajayhtiöiltä. Jokaisen loppusijoitettavan polttoainenipun tunniste- ja sijaintitiedot varmennetaan ja kirjataan kaikissa polttoaineen käsittelyvaiheissa ydinvoimalaitoksen KPA-varastolta loppusijoitusreikään. Ydinmateriaalikirjanpito on sekä nippu- että kapselikohtaista. Varastopaikoista pidetään ajantasaisia varastokarttoja.

Käytetty polttoaine kuljetetaan kapselointilaitokselle Loviisan ja Olkiluodon ydinvoimalaitosten KPA-varastoista. Kuljetustapa on vielä avoin, mutta kuljetuksia suunniteltaessa on huomioitava paitsi turvajärjestelyt myös ydinmateriaalivalvonnan vaatimukset. Valvontaan sisältyy mm. kuljetussäiliön sinetöinti ja tarkastukset ennen latausta ja purkamisen jälkeen.

Polttoaineniput ja –kapseloinnin jälkeen tietyt niput sisältävät –kapselit on voitava tunnistaa päämittauskohdissa. Ennen nippujen siirtoa kapseliin nipuille tehdään viranomaisten toimesta verifiointimittaus, jolla varmistetaan, että ydinaine on

ilmoitettua ja että nippu on ydinmateriaalivalvontamielessä ehjä (kokonainen). Mittausmenetelmä, mittauspaikka ja otannan suuruus ovat vielä avoinna. Verifiointimittauksille on kehitettävä tulosten käsittely-, analysointi- ja hyväksyntämenettelyt. Posivan tehtävänä on järjestää tarvittavat olosuhteet viranomaisten kehittämälle laitteistolle. Lisäksi Posiva avustaa mittauksen käytännön toteuttamisessa.

Polttoaineniput on tunnistettava käsittelyn eri vaiheissa kuten siirtosäiliöstä nostettaessa, kuivausasemassa, verifiointimittauksen yhteydessä, nippuja kapseliin siirrettäessä ja lopuksi ennen sisäkannen kiinnitystä. Tunnistaminen perustuu kameralla luettavaan nippunumeroon. Kameralla luettava kapselin tunnistekoodi kaiverretaan todennäköisesti sekä kuparikanteen että sisäkanteen. Kuparikannen asennuksen ja hitsauksen jälkeen kapselin tunnistamiseen voidaan käyttää niin sanottua sormenjälkitunnistetta, joka perustuu vaihtoehtoisesti hitsauksen visuaaliseen, pyörrevirta- ja ultraäänitarkastukseen tai röntgenkuvaukseen. Kapselin tunnistena voidaan mahdollisesti käyttää myös yksilöllistä neutroni- ja gammasäteilyjälkeä. Kapseli on voitava tunnistaa kapselointilaitoksen välivarastossa, maanalaisessa välivarastossa ja loppusijoitusreikään laskettaessa.

Mahdollisiin ulosvientireitteihin kapselointilaitoksessa ja loppusijoituslaitoksessa asennetaan kameroita ja säteilyä ilmaisevia laitteita varmistamaan, että ydinainetta sisältävää kapselia tai muuta pakkausta ei viedä huomaamatta ulos. Toisaalta säteilynilmaisimia voidaan käyttää todentamaan, että ydinaine on siirretty ilmoitettua reittiä ilmoitettuun paikkaan. Posivan valvonnan tavoitteena on varmistaa, että ydinpolttoainetta sisältävää kapselia ei tuoda kapselointilaitoksesta tai maanalaisista tiloista ulos. Kapselin kulun seuranta maanalaisissa tiloissa voidaan helpottaa hyödyntämällä säteilyvalvonta-alueen rajoja. Maanalaisissa tiloissa on samanaikaisesti käynnissä sekä loppusijoitustoimintaa että loppusijoitustilan laajennusta. Alueet on erotettava toisistaan säteilyvalvontarajoilla, jolloin porteissa olevilla säteilyilmaisimilla voidaan varmistaa, että kapseleita ei siirretä kulloisenkin valvotun loppusijoitusalueen ulkopuolelle. Koko loppusijoitustilan monitoroinnilla on varmistettava, että tilaan ei rakenneta ilmoittamattomia paikkoja ja että tilaan ei tunkeuduta ulkopuolelta. Monitorointiin käytetään tällä hetkellä mikroseismistä monitorointijärjestelmää.

6.8.7.3 Rakentamisluvan käsittelyvaihe

Kapselointilaitoksen tarvitsemat aluetyöt ja peruskaivanto toteutetaan valmisteleavassa vaiheessa vuosina 2012–2014. Tulevan loppusijoituslaitoksen maanpäälliseen osaan kuuluvan IV- ja nostinlaiterakennuksen toisen vaiheen rakentaminen toteutetaan samanaikaisesti. Maanalaisissa tiloissa valmistaudutaan loppusijoituslaitoksen rakentamisen aloitukseen ja jatketaan erityisesti kallion karakterisointia ja loppusijoitusjärjestelmän testausta varten tarvittavien tilojen louhintaa. Rakennus- ja taloteknisiä töitä tehdään pääosin teknisissä tiloissa. Näiden töiden aikana vuosina 2004–2012 toteutettu valvontajärjestelmä on käytössä keskeytyksettä. Ennakko-, toteuma- ja monitorointitiedot raportoidaan STUKille kolme kertaa vuodessa. Lisäksi laaditaan vuosiraportti ja vuosittainen toimintasuunnitelma sekä toimitetaan kansainvälisen valvonnan edellyttämät ilmoitukset. Valvonta ohjeistetaan päivittämällä ydinsulkuvalvontakäsikirjaa. Ydinmateriaalivalvonnan tarpeet huomioidaan kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen suunnittelussa (safeguards by design).

6.8.7.4 Käyttölupaa edeltävä vaihe

Rakentamisluvan myöntämisen jälkeen alkaa kapselointilaitoksen rakentaminen ja loppusijoituslaitoksen valmisteleva rakennus- ja louhintavaihe. Tässä vaiheessa rakennetaan valmiiksi kapselikuilu ja tarpeen mukaan poistoilmakuilu 2, kapselin vastaanottoasema ja välivarasto sekä ensimmäisen sijoitusvaiheen edellyttämät loppusijoitus- ja keskustunnelit ajoreitteineen. Alustavasti tämä vaihe käynnistyy vuonna 2015, jotta tarvittavat tilat olisivat valmiina vuonna 2018.

Rakentamisen aikaista valvontajärjestelmää päivitetään edelleen vastaamaan valvonnan tarpeita ja samanaikaisesti kehitetään kapselointilaitoksen ja loppusijoituslaitoksen ydinmateriaalivalvontaa, joka sisältää ydinmateriaalin kirjanpito- ja raportointijärjestelmän. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen valvonta ohjeistetaan ydinmateriaalivalvontakäsikirjassa.

6.9 Lupien hakeminen

Posiva jättää kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemuksen vuoden 2012 loppuun mennessä. Valtioneuvostolle toimitettava hakemus on tarkoitus saada sisällöltään niin valmiiksi, että sitä ei ole tarpeen Posivan aloitteesta muuttaa hakemuksen käsittelyn aikana. Sen sijaan hakemuksen jättämisen yhteydessä STUKille toimitettavat selvitykset ovat luonteeltaan jatkuvasti ajan tasalla pidettäviä asiakirjoja, minkä vuoksi vähäisetkin muutokset laitoksen suunnittelutiedoissa tai turvallisuusanalyysien tuloksissa saattavat aiheuttaa tarpeen muuttaa toimitettuja selvityksiä.

STUK on ilmoittanut, että se ottaa lupapäätöstä varten valmistelemassaan turvallisuusarviossa huomioon tätä ennen toimitetut täydennykset rakentamislupahakemusaineistoon. Jo nyt on tiedossa, että alustavaan turvallisuus selvitykseen sisältyviä järjestelmä kuvauksia tarkennetaan vuoden 2013 aikana. STUKin säännöstuudistuksen keskeneräisyyden vuoksi hakemusaineistoon liitettävä vaatimuksen mukaisuustarkastelu voidaan viimeistellä vasta sen jälkeen, kun ohjeistuuudistus on valmis, tai kun YVL-ohjeista on riittävän pitkällä olevat (L4) versiot. STUKin ilmoituksen mukaan YVL-ohjeuudistus valmistuu vuoden 2012 loppuun mennessä.

Hakemusaineiston täydennystarpeita on odotettavissa myös pitkäaikaisturvallisuuden osoittamista koskeviin selvityksiin, sekä muuhun hakemusaineistoon. Myös siihen varaudutaan, että hakemuksen yhteydessä STUKille toimitettavaa aineistoa joudutaan päivittämään STUKin asiakirjatarkastusten perusteella. STUK on ilmoittanut tekevänsä hakemusaineistosta ns. kattavuustarkastuksen vuoden 2013 ensimmäisellä puoliskolla, minkä jälkeen hakemusaineiston yksityiskohtainen tarkastus tehtäisiin. Näin ollen lisäselvityspyynnöt ja päivitysvaatimukset ovat mahdollisia vuoden 2013 puolesta välistä alkaen vuoden 2014 alkupuolelle saakka. Myös työ- ja elinkeinoministeriölle hakemuksesta eri tahojen antamat lausunnot aiheuttavat vuoden 2014 aikana Posivalle työtä. TEM:n omaksuman menettelyn mukaisesti luvanhakija varautuu antamaan TEM:n saamista lausunnoista vastineet.

Loppusijoitushankkeen toteuttamisen suuntaviivat kuvataan Posivan omaan käyttöön tarkoitettussa hankesuunnitelmassa, jonka muuntuminen toteutuskelpoiseksi toimintamalleiksi käynnistyi vuoden 2011 aikana toteutetussa ja raportoidussa ns. TOVA-projektissa. Suunnitelmien ja aikataulujen täsmentymisen myötä tätä hanketta jatketaan alkuvuodesta 2012 käynnistyneen TOVA-2012-jatkoprojektin puitteissa. Jatkoprojektissa otetaan kantaa rakentamiseen valmistautumisen ohella myös varsinaisiin rakentamistoimiin aina laitoskokonaisuuden käyttöönottoon saakka. Esimerkiksi rakentamislupahakemukseen sisältyvät selvitykset rakentamisen käytännön toteutuksesta (projektisuunnitelma) sekä rakentamisenaikaisesta organisaatiosta valmistellaan TOVA-2012:n puitteissa. TOVA-2012 on tarkoitus saada valmiiksi vuoden 2012 aikana, mutta sen puitteissa määriteltyjen kehitystoimien toimeenpano tapahtuu suurelta osin vasta vuodesta 2013 alkaen.

Rakentamisen laadunhallinnan suuntaviivat esitetään rakentamislupahakemuksen yhteydessä STUKille toimitettavassa selvityksessä. Lähtökohta on, että rakentamistoimien laadunhallinta sisällytetään olemassa olevaan Posivan toimintajärjestelmään. Kattavan laadunhallinnan (laadunvalvonta ja -varmistus) aikaansaaminen edellyttää nykyisen toimintajärjestelmän merkittävää kehittämistä erityisesti ohjeistojärjestelmän osalta. Rakentamisessa tarvittava ohjeisto kuvataan vuoden 2012 aikana laadittavassa selvityksessä. Tarvittavat laatuohjeet (rakentamisen laatukäsikirja) on laadittava ainakin rakennusteknisten (kallio- ja betonirakentaminen) töiden osalta vuoden 2014 alkupuoleen mennessä. Laatujärjestelmän kehittäminen edellyttää merkittävää, ainakin tilapäistä lisäresursointia.

Rakentamisenaikaista organisaatiota koskeva selvitys toimitetaan YEA:n 32 §:n perusteella valtioneuvostolle (TEM:lle) osana rakentamislupahakemusta. Selvitys pitää sisällään esityksen siitä, että Posiva nimeää rakentamisesta vastuullisen johtajan, turva-, valmius- ja ydinmateriaalivalvonnasta huolehtivat henkilöt sekä kaikille edellä mainituille henkilöille varamiehet, ennen rakentamisluvan perusteella tapahtuvan ydinlaitosrakentamisen käynnistymistä. Nimeäminen edellyttää STUKin ennakkohyväksyntää sen määrittelemien kelpoisuusehtojen ja mm. suullisen kuulustelun perusteella. Em. asemavastuullisten henkilöiden valinta ja pätevyittäminen tehtäviinsä käynnistetään vuoden 2013 alkupuolella.

Ydinlaitoksen lisensointi tapahtuu kolmella tasolla. Laitoskokonaisuus kuvataan ja käsitellään alustavan turvallisuusselosteen (PSAR) yleisessä osassa, joka toimitetaan STUKin hyväksyttäväksi rakentamislupavaiheessa. Vaatimusten ja suunnitelmien mukainen toteutus varmistetaan laitoskokonaisuuden käyttöönotossa ja siihen sisältyvissä yhteistoimintakokeissa. Käyttöönoton eri vaiheiden tuloksista toimitetaan STUKin hyväksyttäväksi yhteenvetoreportit. Järjestelmätason lisensointi tapahtuu PSARIin sisältyvien järjestelmäkuvausten ja niiden toteutumista varmistavien järjestelmäkokeiden avulla. STUK kytkeytyy kaikkien turvallisuusluokiteltujen järjestelmien kelpoistukseen. Laite- ja rakennetasoon kuuluvien komponenttien kelpoistamiseen kuuluvia elementtejä ovat turvallisuusluokasta riippumatta rakennesuunnitelmat sekä rakenne-, asennus- ja käyttöönottotarkastukset. STUKin kytkeytyminen laite- ja rakennetasoon komponenttien kelpoistamiseen riippuu turvallisuusluokasta.

Posivan kokonaisaikataulun kannalta on oleellista, että järjestelmäkuvausten ja rakennesuunnitelmien käsittely, myös viranomaisen toimesta, tapahtuu ilman tarpeettomia viiveitä ja ko. asiakokonaisuuden aikataulumerkitys huomioiden. Heti rakentamisluvan saamisen jälkeen käynnistyville töille pyritään hankkimaan viranomaishyväksynät, tai ennakkopäätökset, mahdollisuuksien mukaan jo hakemuksen käsittelyn aikana.

7 LOVIISAN VOIMALAITOKSEN JÄTEHUOLLON TUTKIMUS- JA KEHITYSTOIMENPITEET 2013–2018

Loviisan ydinvoimalaitoksen kaupallinen käyttö alkoi vuonna 1977. Käytetyn polttoaineen ja voimalaitosjätteen varastointi- ja käsittelymenetelmät sekä voimalaitosjätteen loppusijoituslaitos ovat jo pitkään olleet käytössä Loviisan voimalaitoksella. Voimalaitoksen käytöstäpoistoa ja purkamista on suunniteltu jo vuodesta 1982 alkaen.

Loviisan voimalaitoksen yksiköiden LO1 ja LO2 sekä niiden ydinpolttoaine- ja ydinjätehuoltoon liittyvien laitosten käyttöluvut ovat voimassa LO1:n käyttämiseksi vuoden 2027 ja LO2:n vuoden 2030 loppuun saakka. Voimalaitosjätteiden loppusijoitustilan (VLJ-luola) osalta käyttöluja on voimassa vuoden 2055 loppuun asti.

Yhteenvedossa Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuoltojen toiminnasta vuonna 2011 esitetään käytetyn ydinpolttoaineen, reaktorien sisäosien sekä voimalaitosjätteiden määrät ja sijainnit vuoden 2011 lopussa (Posiva 2012b).

Loviisan voimalaitoksen käytöstäpoistosuunnitelma on päivitetty viimeksi vuonna 2008 (Kallonen ym. 2008). Seuraava päivitys tehdään vuoden 2012 aikana. Voimalaitoksen suunniteltu käyttöikä on 50 vuotta.

7.1 Käytetyn polttoaineen käsittely ja varastointi

Loviisan voimalaitoksen käytettyä polttoainetta varastoidaan vesialtaissa voimalaitoksen yksiköillä LO1 ja LO2 sekä välivarastoissa 1 ja 2. Välivaraston 2 laajennus neljällä lisäaltaalla otettiin käyttöön vuonna 2000.

Käytetyn polttoaineen varastointikapasiteetin nostoa suunniteltiin vuosina 2004–2005 ja nykyiset altaat päätettiin varustaa osittain tiheillä telineillä. Näin saadaan lisäkapasiteettia vuoteen 2020 saakka. Ensimmäiset kaksi telinettä asennettiin helmikuussa 2007, tämän jälkeen on asennettu yhteensä neljä telinettä lisää vuosina 2009 ja 2011. Loput tiheet telineet on tarkoitus asentaa vuoteen 2016 mennessä. Yhdessä tiheässä telineessä on 352 paikkaa. Yhteen varastoaltaaseen mahtuu neljä tiheää telinettä, mutta tarkoitus on sijoittaa altaisiin kaksi tiheää telinettä ja kaksi avointa telinettä, jolloin viranomaisen esittämä yhden altaan tyhjentämisvaatimus on helpompi toteuttaa. Tiheiden telineiden vaihdon yhteydessä käytöstä poistettavat polttoainetelineet on tarkoitus varastoida laitoksella.

Uusia selvityksiä vuosina 2013–2015

Käytetyn polttoaineen loppusijoituksen turvallisuuden kannalta on tärkeää, ettei loppusijoituskapselin ulkopinnan lämpötila nouse liian korkeaksi. Tähän vaikuttaa kapselien sisältämien polttoainepipujen tuottama jälkilämpöteho. Polttoainepipun jälkilämmöntuotto voidaan mitata kalorimetrisesti. Käytetyn polttoaineen jälkitechon mittaamiseen laitoksella soveltuva kalorimetrielaitteisto on suunniteltu, mutta laitetta ei ole vielä valmistettu. Kuluvalle kaudella tullaan kalorimetrielaitteiston ja laitteistolla

tehtävien mittausten suunnittelu ja luvitus viemään loppuun. Kalorimetrillä tehtäviä mittauksia voidaan käyttää laskentaohjelmien kehittämiseen ja verifiointiin.

Vuonna 2011 on luvitettu polttoaineen korkeimmaksi sallituksi palamaksi 57 MWd/kgU. Palamannosto vaikuttaa käytetyn polttoaineen jälkitechoon ja loppusijoitusta edeltävän jäähtymisajan pituuteen. Seuraavalla ohjelmakaudella tehdään selvitys siitä, miten palamannosto vaikuttaa ydinjätehuollon kokonaiskustannuksiin. Polttoainealtaiden jälkilämmön poiston varmentamista on tarkoitus myös selvittää osana Fukushima onnettomuuden jälkeisiä laitosparannuksia.

Alustavia suunnitelmia vuosille 2016–2018

Nykyisen suunnitelman mukaiset viimeiset tiheät telineet on tarkoitus asentaa KPA-varastolle vuoteen 2016 mennessä. Ohjelmakaudella jatketaan käytetyn polttoaineen pitkän aikavälin varastointivaihtoehtojen selvityksiä. Vaihtoehtoina ovat nykyisen Loviisan KPA-varaston laajentaminen tai KPA-varaston altaiden varustaminen kokonaisuudessaan tiheillä telineillä.

7.2 Voimalaitosjätteen käsittely, varastointi ja loppusijoitus

Loviisan voimalaitoksella on tehty joukko voimalaitosjätteen käsittelyyn liittyviä muutoksia TKS-2009-kaudella. Syksyllä 2007 aloitettiin matala-aktiivisten huoltojätteiden käsittely- ja varastointitilojen uusimiseen tähtäävä hanke (VAJAKO), joka valmistui TKS-2009-kaudella. Vuoden 2011 lopussa valvonta-alueen jätehuollolla oli käytössä LO1:llä uudet huoltojätteen käsittelytilat ja LO2:lla viimeistelyä vaille olevat metallijätteen käsittelytilat. Jatkossa metallijätteen käsittely tapahtuu LO2:n tiloissa ja kaikki muu huoltojäte käsitellään LO1:n tiloissa.

Muutosten seurauksena laitoksella on paremmat tilat jätteiden käsittelylle ja jätetynnyreiden varastointiin. Kaikkein aktiivisimmille tynnyreille on säteilysuoja, joka pienentää henkilökunnan säteilyaltistusta. Kemikaalijätteille on hankittu paloturvakaapit ja kemikaalitynnyreille erillinen kemikaalikontti. Jätehuoltoa varten on hankittu oma trucki, jolla tynnyreitä voidaan siirrellä. Trukkia ja jätehuoltotilan nostureita voidaan käyttää avuksi painavissa nostoissa. Metalliriromun vapautusmittausta varten on käytettävissä erillinen huone, ja metalliriromun kevytdekontaminointiin ja pilkkomiseen on nyt omat työkalut. Jätesäkkien ja metalliriromun aktiivisuusmittauksiin on otettu käyttöön Condor-työkalumonitorit. Myös huoltojätetynnyreiden gammamittauslaite uudistettiin ja otettiin käyttöön vuonna 2010. Jätepakkaamoon on rekrytoitu oma vakituinen henkilökunta.

Jätepakkaamossa on siirrytty käyttämään epoksinnoitettuja tynnyreitä, koska havaittiin, että aiemmin käytetyt tynnyrit saattavat joissakin tapauksissa ruostua puhki loppusijoitustiloissa. Asiaa selvitettiin STUKin vaatimuksesta ja tynnyreiden puhkiruostumisen havaittiin pääosin johtuvan kosteana pakatun jätteen aiheuttamasta tynnyreiden sisäpuolisesta korroosiosta. Vuoden 2012 aikana jätepakkaamoon hankitaan siiviläpuristin, jolla liuotinpitoisia rättejä voidaan kuivata ennen tynnyriin pakkaamista.

Nestemäisten jätteiden käsittelyn osalta on tapahtunut seuraavaa: matala-aktiivisia liuottimia imeytyskiinteytettiin TVO:lta lainatulla laitteistolla vuonna 2011. Matala-aktiivisen hartsin ja aktiivihiilen varastointisäiliö tyhjennettiin ja sisältö imeytyskiinteytettiin tynnyreihin TVO:n laitteistolla. Loviisaan hankitaan oma imeytyskiinteytyslaitteisto vuoden 2012 aikana. Keskiaktiivisen hartsin varastokapasiteettia lisätään muuttamalla yksi matala-aktiivisen hartsin säiliö keskiaktiivisen hartsin säiliöksi. Muutostyön arvioitu valmistuminen on vuoden 2012 lopulla. Jätehartsin pumppausjärjestelmän kehittäminen ja asentaminen TW30B01-säiliöön on suunniteltu tehtäväksi vuosina 2012–2013. Loviisan kiinteytyslaitoksen koekäytöt jatkuvat edelleen. Laitoksen henkilökunnan rekrytointi on käynnissä.

Laitoksen prosessivesien puhdistuksesta kertyy erilaisia suodattimia, jotka täytyy loppusijoittaa. Vuosien 2011–2012 aikana suodattimia varten on suunniteltu uusi betoninen jätepakkaus.

Lokakuussa 2010 aloitettiin huoltojätteiden tilan 3 (HJT3) sekä yhdystunnelin rakennustyöt niin, että louhintatyöt (noin 16 000 m³) valmistuivat vuonna 2011. Laajennuksella lisätään huoltojätetynnyrien välivarastointi- ja lajittelumahdollisuuksia. HJT3:n luvitus jätetynnyrien välivarastointikäyttöön on käynnissä. Luolan olosuhteissa tapahtuvia muutoksia valvotaan seurantatutkimuksin. Seuranta sisältää lämpötilan ja kosteuden lisäksi pohjavedessä havaittavat muutokset (vuotovesimäärät, pohjavesikemia ja makean ja suolaisen pohjaveden rajapinta) ja kalliomekaaniset mittaukset (kallion liikunnat ja rapautuminen). Luolan kuntoa seurataan myös visuaalisesti.

KJT-tilaan loppusijoitettavien betonisten jätepakkausten väliin jäävän tilan täyttööön on suunniteltu täyttövalu (manttelointi). Vuonna 2012 manttelointia on simuloitu KJT-kaukaloön sijoitetuissa muoteissa. Valuun on sijoitettu valokuitukaapeli, joka mahdollistaa manttelibetonin monitoroimisen.

Vuosina 2010–2012 on yhdessä Helsingin yliopiston radiokemian laboratorion kanssa selvitetty ongelmallisten radionuklidien selektiivistä erottamista prosessi- ja jäteliuoksista. Antimonin erotuksen osalta kehitystyössä on edetty testausvaiheeseen Loviisan laitoksella.

Selvitykset vuosina 2013–2015

Vuonna 2013 tehdään selvitys tynnyrijätteen pakkaamiseen käytettävien jätepuristimien uusinnasta. Uusien puristimien valinnassa otetaan huomioon myös räjähdysvaarallisten aineiden käsittelyä koskevat määräykset.

KJT-kaukalon täyttövalumenetelmän testaus jatkuu. Valokuitukaapeilla tehtäviä monitorointikokeita suunnitellaan edellisten tulosten perusteella.

Loviisan VLJ-luolan määräaikainen turvallisuusarvio laaditaan vuoden 2013 loppuun mennessä. Määräaikaiseen turvallisuusarvioon sisällytetään arviot laitoksen turvallisuuden tilasta ja mahdollisista kehityskohteista turvallisuuden ylläpitämiseksi ja parantamiseksi, ottaen huomioon tutkimus- ja seurantaohjelmien uusimmat tulokset.

Turvallisuusarviossa varmistetaan YeA 36 § asiakirjojen ajantasaisuus ja päivitetään ne, mikäli määräaikainen turvallisuusarvio osoittaa tähän tarvetta. Määräaikaiseen turvallisuusarvioon ei tehdä erillistä pitkäaikaisturvallisuusperustelua, vaan esitetään erilliset kannanotot vuoden 2006 analyysin valmistumisen jälkeen esille nousseisiin seikkoihin, ja esitetään suunnitelma turvallisuusperustelun laatimisesta vuodelle 2018.

TVO:n kanssa yhteistyössä tehtävä betonin pitkäaikaissäilyvyys loppusijoitusolosuhteissa -projekti jatkuu. Aiheesta on kerrottu tarkemmin luvussa 8.

Tutkittaessa betonin pitkäaikaissäilyvyyttä loppusijoitusolosuhteissa on erääksi teräsbetonirakenteiden vaurioitumismekanisminä noussut esille betonirakenteiden karbonatisoituminen eli ilman hiilidioksidin aiheuttama betoniteräksiä suojaavan betonin neutralisoituminen VLJ-loppusijoitustilan vuosikymmeniä kestävä täyttövaiheen 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 2015 ja 2020.

Puolimittakaavaisiin loppusijoitusastioihin vuonna 1987 kiinteitetyn aktiivisen ioninvaihtohartsin säilytyskoe jatkuu. Jätepakkaukset ovat olleet pohjavesisäilytyksessä Loviisan voimalaitoksella ja ovat odotusten mukaisesti edelleen hyväkuntoisia. Täysimittakaavaisen loppusijoitusastian kiinteytettiin vuonna 1980 inaktiivista Loviisan voimalaitoksella käytettyä vanhaa ioninvaihtohartsia. Loppusijoitusastiaa on säilytetty hitaasti virtaavassa makeassa vedessä Pyhäkosken voimalaitoksella. Loppusijoitusastian kuntoa on seurattu määrävälein. Näitä kokeita jatketaan edelleen.

Selektiivisten ioninvaihtomateriaalien kehitystyö jäte- ja prosessivesien puhdistamiseksi jatkuu edelleen Helsingin yliopiston radiokemian laboratorion kanssa.

Seuraavalla ohjelmakaudella tehdään selvitys vakavan reaktorionnettomuuden jälkien siivoamisesta. Selvityksessä on tarkoitus tehdä katsaus siihen, miten maailmalla vaurioituneita reaktoreita on siivottu.

Kaudella 2013–2015 myös ylläpidetään ja kehitetään mallinnustyökaluja (tilastollinen käsittely/PRONEFA, biosfäärimallinnus/AMBER, pohjaveden virtaus/FLUENT jne.) turvallisuusperustelujen tekemiseen. Lisäksi selvitetään käytetyn ydinpolttoaineen poistopalaman vaikutusta loppusijoitukseen.

Alustavia suunnitelmia vuosille 2016–2018

Vuoden 2012 jälkeen seuraava käytöstäpoistosuunnitelman päivitys tulee valmistua vuonna 2018. Tätä varten tehdään myös uusi pitkäaikaisturvallisuusperustelu. Tarkoitus on tehdä perustelu koko VLJ-luolalle, eli se tulee kattamaan sekä voimalaitos- että käytöstäpoistojätteen loppusijoituksen. Työssä huomioidaan mm. HJT3:n louhiminen, huoltojätteiden lajittelu ja kiinteytyslaitoksen kehitystyön muutokset.

7.3 Käytöstäpoisto

Loviisan voimalaitoksen käytöstäpoistoon varaudutaan erilaisilla käytöstäpoistoon liittyvillä selvityksillä. Selvitykset palvelevat käytöstäpoistojätteen loppusijoituksen turvallisuusperustelujen taustatietojen tarkentamista, teknillistä toteutussuunnittelua sekä taloudellista varautumista varten tehtäviä laskelmia.

Voimalaitoksen käyttö- ja kunnossapitohenkilökunta kerää käyttökokemustietoja (esim. komponenttien kunnostus ja vaihtaminen, käytetyt työtunnit, työmenetelmät ja kontaminaatio) ja järjestelmien, laitteiden ja rakenteiden aktiivisuuksia valvotaan normaalin toiminnan osana.

Voimalaitosjärjestelmien, laitteiden ja rakenteiden vuotuinen aktiivisuuden seuranta jatkuu seuraavalla ohjelmakaudella. Seurantaohjelma kattaa kontaminoitumisen, jätteiden kertymisen sekä eri tilojen annosnopeustasojen seuraamisen. Seurantaohjelmaa käytetään hyväksi käytöstäpoist selvitysten sekä käytöstäpoistosuunnitelmien (sisältäen purkujätteiden loppusijoituksen turvallisuusperustelut) teossa.

Käytöstäpoistovalmiutta ja turvallisuusperusteluosaamista kehitetään jatkuvasti. Työhön liittyen seurataan kansainvälistä tutkimusta erityisesti käytöstäpoiston turvallisuusperustelun parametrivalintaan vaikuttavien tekijöiden (sorption-, diffuusio- ja liukoisuusparametrit), muodostuvien korroosiokaasujen ja -tuotteiden vaikutusten, täyteaineiden välisten vuorovaikutusten sekä pohjaveden ja täyteaineiden välisten vuorovaikutusten osalta. Lisäksi seurataan kansainvälistä kehitystä käytöstäpoiston alalla (etenkin käytöstäpoistoprojekteista ja -kokemuksista, purkulaitteista, kontaminoitumisen mittauslaitteista, kustannuksista jne.) eri tietolähteistä, seminaareista ja laitostähtäyksistä. Kaikki tämä palvelee myös voimalaitosjätteen loppusijoitusta.

Loviisan voimalaitoksen käytöstäpoiston riskejä on arvioitu erillisessä raportissa sekä diplomityössä. Käytöstäpoisto sisältää teknisiä ja taloudellisia riskejä, joihin on valmistauduttava ennen varsinaisen käytöstäpoiston aloittamista. Merkittävimpiä käytöstäpoistonaikaisia riskejä ovat suuret ulkoiset ja sisäiset säteilyannokset, kontaminoituneiden nesteiden vuodot, tulipalot, räjähdykset, myrkylliset ja vaaralliset materiaalit, sähköonnettomuudet, taakkojen putoamiset, tapaturmat sekä inhimilliset virheet, joista voi aiheutua henkilövahinkoja tai ulkoisia tai sisäisiä säteilyannoksia. Purettavan materiaalin määrän ja purkuajataulun epävarmuudet aiheuttavat merkittävimmät taloudelliset riskit.

Käytöstäpoiston ja käytöstäpoistojätteen loppusijoituksen lisensointiin vaikuttavia tekijöitä on arvioitu erillisessä raportissa. Käytöstäpoiston lisensointi on viranomaismääräysten mukaista toimintaa, joka on säädetty ydinenergialaissa ja -asetuksessa, valtioneuvoston asetuksissa sekä ydinvoimalaitosohjeissa. Loviisan voimalaitoksen purkaminen on suunniteltu aloitettavaksi välittömästi käytön päättymisen jälkeen, jolloin lisensointiin on varauduttava hyvissä ajoin.

Käytöstäpoistosuunnitelman päivitystä varten arvioidaan ALARA-periaatteen (As Low As Reasonably Achievable) toteutumista käytöstäpoistosuunnittelussa, primääripiirin

dekontaminoinnin vaikutusta työntekijöiden säteilyannoksiin sekä suojavaarusteiden käyttöä eri käytöstäpoiston työvaiheissa.

Vuonna 2012 tarkennetaan Loviisan kuivasiilojen jätteiden aktiivisuusinventaaria ja suunnitelmaa jätteiden käsittelystä.

Vuosina 2011–2012 on yhteistyössä VTT:n kanssa suunniteltu aktivoituneessa jätteessä esiintyvän ^{14}C :n spesiaatiotutkimusta.

Selvitykset vuosille 2013–2015

Kaudella 2013–2015 laaditaan vastaukset viranomaisten kommentteihin vuoden 2012 lopussa jätettävästä käytöstäpoistoselvityksestä. Myös käytöstäpoiston kustannusarvio päivitetään.

Ohjelmakaudella selvitetään mahdollisuutta loppusijoittaa osa käytöstäpoistojätteestä maaperään rakennettavaan loppusijoitusrakenteeseen.

^{14}C :n spesiaatioon liittyvien kysymysten selvittämistä jatketaan yhteistyössä VTT:n kanssa pitkäaikaisturvallisuusperustelun epävarmuuksien vähentämiseksi.

Lisäksi tehdään mm. käytöstäpoistoon liittyviä selvityksiä reaktorin paineastian käsittelyyn vaikuttavista annosnopeuksista, purettavan betonin uusiokäytöstä ja kierrätyksestä sekä pölyämisestä betonia sahattaessa.

Selvitykset vuosille 2016–2018

Kaudella 2016–2018 jatketaan ja tarkennetaan aikaisemmissa käytöstäpoistosuunnitelmissa tehtyjä selvityksiä vuoden 2018 käytöstäpoistosuunnitelman päivitystä varten. Keskeinen osa työtä on käytöstäpoistojätteen pitkäaikaisturvallisuusperustelun päivitys, joka laaditaan vuoden 2018 loppuun mennessä.

Ydinjätehuollon kustannusten osalta laaditaan yhteistyössä Posivan kanssa selvitykset ydinjätehuollon kokonaiskustannusarvioista.

8 OLKILUODON VOIMALAITOKSEN JÄTEHUOLLON TUTKIMUS- JA KEHITYSTOIMENPITEET 2013–2018

8.1 Käytetyn polttoaineen käsittely ja varastointi

Olkiluodon voimalaitosten käytetty ydinpolttoaine varastoidaan voimalaitosyksiköissä OL1 ja OL2 oleviin vesialtaisiin noin neljän vuoden ajaksi sen jälkeen, kun polttoaine on poistettu reaktoreista. OL3-yksikössä tämä varastointiaika tulee olemaan noin kuusi vuotta. Tämän jälkeen polttoaine kuljetetaan voimalaitosyksiköstä käytetyn polttoaineen välivarastoon (KPA-varasto), joka sijaitsee lähellä reaktoriyksiköitä.

Olkiluodon KPA-varaston kapasiteettia nostetaan rakentamalla kolme uutta vesiallasta. Laajennuksessa otetaan huomioon myös OL3-voimalaitosyksikön tarpeet. KPA-varaston laajennus otetaan käyttöön arviolta vuonna 2014.

Vaurioituneet polttoainesauvat kapseloidaan yksitellen hermeettisesti suljettuihin kapselisiin ja ne varastoidaan voimalaitosyksiköissä sijaitsevilla vesialtailla.

Käytetyn polttoaineen käsittelyn selvityksiä vuosina 2013–2015

OL1- ja OL2-laitosyksiköillä tällä hetkellä käytössä olevan polttoaineen nippukohtainen, vuonna 2011 hyväksytty maksimipoistopalama on 50 MWd/kgU. TVO:n tavoitteena on hyväksyttävä OL1- ja OL2-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. Tämä palaman korotus ajoittunee laitosyksiköiden käyttöluvan uusimisen yhteyteen vuonna 2018.

OL3:n polttoaineelle on tällä hetkellä hyväksytty nippukohtaiseksi maksimipalamaksi 45 MWd/kgU. TVO:n tarkoituksena on kuitenkin kasvattaa poistopalamaa laitoksen käynnistymisen jälkeen tasolle 50–53 MWd/kgU, mikä on tarpeen erityisesti kaksivuotisilla käyttöjaksoilla. Palaman korottaminen edellyttää joidenkin turvallisuusanalyysien päivittämistä sekä polttoaineen tutkimusohjelman laatimista ja toteutusta.

Palaman noston teknisten ja kustannusvaikutusten arviointi edellyttää:

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

KPA-varaston laajennuksen rakentaminen jatkuu siten, että käyttöönotto tapahtuu vuoden 2014 aikana OL1:n ja OL2:n tarpeisiin. OL3-polttoaineen varastointi alkaa kuluvan vuosikymmenen jälkipuoliskolla. Uusia polttoainetelineitä BWR- ja EPR-tyypeille polttoaineille tarvitaan vastaavasti.

Tulevaisuuden OL4-laitosyksikköön on suunniteltu polttoaineen varastoaltaat, joissa käytettyä polttoainetta säilytettäisiin OL1-3-yksiköiden tapaan joitakin vuosia, minkä jälkeen polttoaine siirrettäisiin laitosalueella olevaan erilliseen käytetyn polttoaineen varastoon (KPA-varastoon). OL4-laitosyksikön käytetyn polttoaineen varastointitarve tarkastellaan erikseen, kun laitostyyppi on valittu.

Posivan käytetyn polttoaineen loppusijoituksen kriittisyysturvallisuusanalyysissä sovelletaan palamahyvitystä. Selvitykset palamahyvityksen soveltamiseksi käytetyn polttoaineen väliavarastoinnin kriittisyysturvallisuusanalyysissä saattavat myös tulla ajankohtaiseksi suunnitelmajaksolla. TVO:n edustaja on osallistunut jo useita vuosia OECD/NEA:n työryhmään Working Party on Nuclear Criticality Safety (WPNCs) ja sen asiantuntijaryhmiin. WPNCs:n Expert Group on Burnup Credit (EGBUC) -asiantuntijaryhmässä yhtenä tavoitteena on luoda perusta palamahyvityksessä käytettävälle metodiikalle. Ryhmän toiminta on painottunut laskennallisten analyysien arviointiin ja benchmark-toimintaan. Osallistumista työryhmän toimintaan jatketaan suunnitelmavuosina.

Käytetyn polttoaineen tutkimusta tehdään myös Euratomin FIRST (Fast/Instant Release of Safety Relevant Radionuclides from Spent Nuclear Fuel) -hankkeessa, joka käynnistyi vuoden 2012 alussa. TVO osallistuu hankkeeseen luovuttamalla korkeamman palaman käytetyn polttoaineen näytteitä tutkittavaksi. Tavoitteena on selvittää loppusijoitetun korkeapalamaisen UO_2 -polttoaineen radionuklidien nopeaa/välitöntä vapautumista ja näiden kulkeutumista kalliassa. TVO:n polttoainetta on mukana liukenemispohjaisissa vapautumistutkimuksissa, jossa mitattavia nuklideja ovat ^{14}C , ^{129}I , ^{135}Cs ja ^{79}Se . FIRST-projektin puitteissa polttoaineen nuklidi-inventaari lasketaan, mutta jatkossa myös analyttinen määrittäminen voi tulla kyseeseen. Hanke kestää vuoden 2015 loppuun.

Käytetyn polttoaineen käsittelyn selvityksiä vuosina 2016–2018

Kaudella 2016–2018 jatketaan selvitystä palamannoston vaikutuksista ydinjätehuoltoon ja sen kokonaiskustannuksiin jäähdytysajan ja palamannoston optimoimiseksi. Myös palamahyvitykseen liittyviä selvityksiä tehdään tarpeen mukaan käytetyn polttoaineen väliavarastoinnin kriittisyysturvallisuusanalyysihin.

8.2 Voimalaitosjätteen käsittely, varastointi ja loppusijoitus

Olkiluodon ydinvoimalaitosten käytöstä syntyy matala- ja keskiaktiivista jätettä (matala-aktiivinen jäte, MAJ, ja keskiaktiivinen jäte, KAJ). Jäte syntyy kunnossapidon ja korjaustöiden yhteydessä käsittäen erilaisia materiaaleja (muovi, paperi, metalli, puu ja erityyppiset henkilökohtaisiin suojaimiin käytetyt materiaalit). Lisäksi jätettä syntyy erilaisista vedenkäsittelyjärjestelmistä (suodatinsauvat, ioninvaihtohartsit, haihdutuksessa muodostuvat lietteet ja dekontaminointiliuokset). Tyypillinen käytöstä syntyvän jätteen vuosikertymä nykyisiltä laitoksilta on 100–200 m³. OL3:n käynnistymisen jälkeen jätteen vuosikertymä kasvaa noin kolmanneksella.

Suurin osa käytössä syntyvästä jätteestä pakataan suoraan käsiteltäväksi, varastoitavaksi ja poistettavaksi. Puristettava matala-aktiivinen jäte pakataan jätetynnyreihin

hydraulisella puristimella, minkä jälkeen tynnyrit puristetaan puoleen niiden korkeudesta, pitäen niiden halkaisija alkuperäisenä. Puristamiseen sopimaton matala-aktiivinen jäte pakataan ruostumattomiin terässäiliöihin tai betonisäiliöihin ja jätetynnyreihin. Jotkut metallikomponentit, esim. putket, voidaan puristaa kokoon ennen pakkaamista tilavuuden pienentämiseksi. Vuosina 2002–2006 jätteenkäsittelyä kehitettiin useiden teknisten parannusten avulla. Viimeisimpiä kehityskohteita olivat:

- Laitosten käytössä on ollut kevästä 2004 lähtien OL1:n dekontaminointitilaan asennettu märkäpuhalluskaappi suurten komponenttien ja laitteiden dekontaminointia varten. Dekontaminointi voidaan tehdä korkeapaineisella vedellä, mekaanisesti tai kemiallisesti puhdistamalla. Dekontaminointi laskee aktiivisuustasoa huomattavasti. Dekontaminointitiloissa olevan märkäpuhalluskaapin pesulaitteisto korvattiin teollisuusrobotilla talven 2011–2012 aikana.
- Yhden alipainehöyrystimen asennus tapahtui vuoden 2003 lopussa ja toisen vastaavaan laitteen asennus vuonna 2008. Niillä voidaan vähentää lietteiden ja seosten tilavuutta. Laitteiston maksimikapasiteetti on 500 l/päivä ja sillä voidaan pienentää jätteiden nestetilavuutta tekijällä 50–70.
- Vuonna 2009 otettiin käyttöön vuosihuoltorakennuksen pesula, jossa käsitellään OL1:n ja OL2:n valvonta-alueilta tuleva pyykki. Pesula on vähentänyt radioaktiivisten vesipäästöjen määriä entisestään.
- Käytetyt vedenpuhdistusjärjestelmien ioninvaihtohartsit, kuivatut haihdutinlietteet tai dekontaminointiliuokset kuivataan, sekoitetaan kuumennettuun bitumiin ja pakataan jätetynnyreihin. Bitumointiaseman laitteet uusittiin molempien laitosyksiköiden osalta vuoden 2006 lopulla. Erilaiset liuokset ja lietteet säiliöiden pohjista, tyhjennysaukoista tai höyrystimestä kiinteytetään betoniin tai sekoitetaan erityisiin kiinteytysaineisiin jätetynnyreissä. Tehtyjen selvitysten perusteella bitumin laatu vaihdettiin ja käsittelyn lämpötilaa laskettiin 15 °C:lla.
- ^{14}C -pitoisuuksien analysointia käytetyistä ioninvaihtohartseista tehtiin vuosina 2002–2006. Mitatut ^{14}C -pitoisuudet olivat suurempia verrattuna 1983–1985 tehtyihin analyyseihin. Voimalaitosjätteen ^{14}C -aktiivisuuden arviointi perustuu uusimpiin mittaustuloksiin.
- Vuonna 2006 tehtiin selvitys KAJ- ja MAJ-jätteiden uusista pakkaus- ja loppusijoitustekniikoista (Kekki & Tiitta 2006). Raportissa esiin nostetun maaperäloppusijoituksen mahdollisuuksien selvittämistä on jatkettu edelleen, erityisesti käytöstäpoistojätteen osalta.
- Välitulistimien paloittelu ja sulattaminen Studsvikissa 2010–2012 sujui hyvin. Studsvikissa materiaalista erotetaan keskiaktiiviseksi voimalaitosjätteeksi luokiteltava aines, joka palautetaan Olkiluotoon loppusijoitettavaksi VLJ-luolaan.
- Käytöstä poistettuja korkea- ja matalapaineturbiineja paloitettaaan ja sulatetaan Studsvikissa 2012–2013.

Olkiluodon ydinvoimalaitosten käytöstä syntyvien jätteiden käsittely, kuljetus ja sijoitus jatkuvat suunnittelukaudella kuten aiemmin. Jauhemaisten ioninvaihtohartsien vuosikulutus on ollut vuodesta 2004 saakka samansuuruista (noin 4 200 kg/vuosi) puhdistusjärjestelmien prosessilaitteparannusten ja lauhteenpuhdistusjärjestelmän suodattimien ja ioninvaihtohartsin käytön optimoinnin seurauksena.

Käytöstä syntyvät jätteet säilytetään väliaikaisesti voimalaitosyksiköiden varastoissa sekä KAJ- ja MAJ-varastoissa. Kaikilla laitosyksiköillä on myös rajoitetut väliaikaisvarastot pienemmille määrille käytettyä polttoainetta. Suuret metalliset ja matala-aktiiviset komponentit, esimerkiksi jotkut lämmönvaihtimet, varastoidaan erilliseen voimalaitosalueella sijaitsevaan rakennukseen siihen asti, kunnes niiden radioaktiivisuus on laskenut riittävästi komponenttien valvonnasta vapauttamiseksi, kierrättämiseksi tai loppusijoitusta varten.

Lopuksi jätteet kuljetetaan välivarastoista VLJ-luolaan. VLJ-luola otettiin käyttöön vuonna 1992 ja sen kaksi siiloa KAJ- ja MAJ-varastojen jätteille riittävät laitosyksiköiden alkuperäiselle suunnitellulle 40 vuoden käyttöle. Loppusijoitusluolastoa on laajennettava 2030-luvulla, koska OL1- ja OL2-laitosyksiköiden oletettu käyttöikä jätteiden kertymään varautumisessa ja käytöstäpoiston suunnittelussa on pidennetty 40:stä 60 vuoteen sekä uuden OL3-laitosyksikön tarpeita varten. Laajennus on tarpeen erityisesti OL3-laitosyksikön matala-aktiivisen jätteen loppusijoitusta varten, muut jätteet tulevat mahtumaan nykyisiin siiloihin tämän hetken arvion perusteella. Osa VLJ-luolastosta on vuokrattu sosiaali- ja terveysministeriölle erilaisten radioaktiivisten sairaalajätteiden sekä puolustusvoimien ja yliopistojen radioaktiivisten jätteiden välivarastointia varten. Näiden jätteiden kirjanpidosta vastaa STUK.

Jos jätteen aktiivisuustaso ylittää poiskuljettamiselle sallitun rajan, se sijoitetaan KAJ/MAJ-varastoihin laitosalueella tai toimitetaan asianmukaisesti jatkokäsitteltäväksi. Vuonna 2002 päätettiin jatkaa valvotulle alueelle varastoitujen öljyjen suodattamista niiden vapauttamiseksi säteilyvalvonnan alaisuudesta kierrätettäväksi. Jätteiden sijainnit, määrät ja aktiivisuustasot on esitetty vuosittaisissa raporteissa (Posiva 2012b). Jäteöljyä on poistettu valvonnasta vuosittain.

OL3-laitokselta syntyvän kuivan kiinteän jätteen, käsittäen kunnossapitojätteen ja metalliromun, on arvioitu olevan samanlaista kuin OL1- tai OL2-yksiköillä. Myös jätteen aktiivisuus ja muut ominaisuudet ovat samankaltaisia. Jätteen käsittelyyn käytetään samoja menetelmiä kuin OL1- ja OL2-laitosyksiköillä on käytössä.

Märät jätteet ovat ioninvaihtohartseja, haihdutusjätteitä, lietteitä ja suodatinpatruunoita kontaminoituneen veden käsittelystä. Suodatinpatruunat pakataan 200 litran tynnyreihin ilman jatkokäsittelyjä. Jätteen määrän minimoimiseksi ioninvaihtohartsit, haihdutusjätteet ja lietteet käsitellään in-drum-kuivausmenetelmällä suoraan 200 litran tynnyriin.

OL3-laitosyksikön matala-aktiivinen jäte pakataan loppusijoitettavaksi avoimiin betonilaatikoihin ja ne kuljetetaan VLJ-luolan MAJ-siiloon, kuten tehdään OL1/OL2-jätteillekin.

OL3-laitosyksikössä muodostuvan keskiaktiivisen jätteen käsittelylle on esitetty periaatteessa kaksi eri vaihtoehtoa, joita molempia tarkastellaan, kunnes OL3-laitoksen käyttö lupa on saatu ja toteutustapa valittu:

- välivarastointi ja loppusijoitus nykyisen VLJ-luolan laajennuksessa ja
- loppusijoitus nykyisessä KAJ-siilossa VLJ-luolassa.

Ensimmäisessä vaihtoehdossa Olkiluodossa oleva KAJ-varasto toimisi välivarastona. OL3:ssa muodostuva jäte vie enintään 583 m³ (yhden kuudesosan) varaston 3 500 m³:n tilavuudesta. VLJ-luolan laajennus olisi käytössä viimeistään vuonna 2040, jolloin nykyisen KAJ-varaston ennustetaan täyttyvän OL1/OL2-jätteistä. Toinen vaihtoehto on, että laajennus valmistuu jo vuonna 2030, jolloin nykyisen MAJ-siilon on ennustettu täyttyvän. OL3-jätteet otetaan huomioon VLJ-laajennussuunnitelmassa. Nykyinen KAJ-siilo oli alun perin suunniteltu vain bitumoidun jätteen varastointiin.

Toisessa vaihtoehdossa käytettäisiin radioaktiivisuuden leviämisen estämiseksi loppusijoituspakkausta, joka olisi vähintään yhtä tehokas kuin OL1/OL2-jätteelle käytetty bitumi. Suojaukseen on suunniteltu käytettävän jätetynnyrit täysin ympäröivää, vähintään 20 cm paksua betonia. Tämä suojaus myös määrittää tynnyrien lopulliset ulkomitat, jotka eivät mahtuisi nykyisiin betonilaatikkoihin. Tällainen pakkaaminen ja suojaaminen edellyttäisivät yksityiskohtaista laitteiden suunnittelua käsittelylle ja pakkaamiselle. Näiden pakkausten loppusijoitus käynnistyisi vuonna 2018, kun OL3-laitosyksikön tynnyrivaraston arvioidaan täyttyvän. On kuitenkin arvioitu, että tynnyrien siirtäminen KAJ-varastoon antaisi vielä huomattavasti lisää aikaa ratkaisulle. Toisen vaihtoehdon käyttöönotto aiheuttaisi edelleen muutostarpeita VLJ-luolaan:

- uusi suojalaatikko tai yksi modifioitu laatikko nykyisistä jätelaatikoista, ja
- uusi nostotyökalu tynnyrien pinoamiseen luolan nosturille vastaamaan jätetynnyrien muuttuneita mittasuhteita.

Vaihtoehdoista on tässä vaiheessa päädytty ensimmäiseen. OL3-yksikön käyttö lupaan on liitettävä selvitykset myös KAJ-varaston soveltuvuudesta. VLJ-laajennuksen tarkemmat tutkimukset tehdään lähempänä laajennusajankohtaa noin vuosina 2020–2030.

OL4-laitosyksikön voimalaitosjätteen osalta varastointi-, pakkaus- ja loppusijoitussuunnitelmien laatiminen käynnistyvät, kun laitostyyppi on valittu.

Loppusijoitusta tukeva T&K-työ

VLJ-luolan käytönaikaista kalliotilojen seurantaa on jatkettu laaditun ohjelman mukaan. Perustana on vuonna 1998 laadittu suunnitelma, joka on päivitetty vuoden 2005 lopussa ja suunniteltu vuoteen 2015 asti. Ohjelmaan kuuluvat luolassa tehtävät kalliomekaaniset, hydrogeologiset, hydrogeokemian ja ilmanlaadun tutkimukset, joita käytetään pitkäaikaisvaikutusten arviointiin. Käytönaikaista hydrogeokemiallista seurantaa on tehty luolan käyttöönotosta alkaen. Lisäksi laajempi kalliomekaaninen, hydrogeologinen ja ilman laadun seuranta raportoidaan joka kolmas vuosi ja välivuosina raportoidaan suppeasti. Viimeisimmät raportit ovat vuosilta 2011 ja 2012 (Lehtonen 2011, 2012, Johansson 2011, 2012). Mittaustulosten mukaan VLJ-olosuhteet ovat vakiintuneessa tilassa.

Matala-aktiivisen huoltojätteen mikrobiologista hajoamista loppusijoitusolosuhteissa tutkitaan suuren mittakaavan kaasunkehityskokeessa VLJ-luolan louhintatunneliin rakennetussa koelaitteistossa (kuva 8-1). Tutkimus on ollut käynnissä vuodesta 1997 lähtien. Tutkimuksella tarkennetaan huoltojätteessä muodostuvan kaasun määrä- ja

muodostumisnopeusarviota. Tätä varten parannetaan tietämystä kaasujen muodostumisesta eli mikrobien toiminnan vaikutuksesta hajoamistapahtumaan ja teräksen korroosiosta olosuhteissa, jotka vastaavat VLJ-luolan sulkemisen jälkeistä tilaa. Tuoreimmat mikrobiologiset määitykset ovat vuodelta 2005. Uusi näytteenotto toteutetaan vuonna 2012. Tutkimuksen tavoitteena on ollut 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 jätetynnyrien välisen veden pH on laskenut alkalisesta (> 10) neutraaliksi tasolle 7,5. Laskun syynä pidetään mikrobien aineenvaihduntatuotteita ja se on betonin alkalisuuden perusteella tehtyjä päätelmiä suurempi.



Kuva 8-1. Kaasunkehityskoelaitteisto Olkiluodon VLJ-luolassa.

Vuonna 2011 raportoitiiin kokeesta saatujen mittaustulosten väliarvio, jonka tarkoitus on selvittää koetankissa vallitsevien olosuhteiden muutokset sekä mahdolliset tulevaisuuden kehitys- ja toimenpidetarpeet (Nykyri 2012). Kaasunkehityskokeen jatkamiselle on STUKin myöntämä lupa, jolla poiketaan VLJ-luolan turvallisuusteknisistä käyttöehdoista vuoteen 2017 saakka. Jatkossa, viimeistään koeohjelman päättämisen yhteydessä, tulee mikrobiologinen analysointityö ajankohtaiseksi. Myös pH:n kehittymistä kokeen aikana voitaneen hyödyntää jatkossa, kun tarkennetaan arvioita voimalaitosjätteen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuudesta.

Betonirakenteiden pitkäaikaiskäyttäytymistä tutkitaan yhteistyössä Fortum Power and Heat Oy:n kanssa vuonna 1997 aloitetun Betonin pitkäaikaiskestävyys -hankkeen avulla. Vuoden 2010 joulukuuhun asti pilot-mittakaavan simuloitu koe on ollut

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 pitkäaikaiskäyttäytymisen vaikutusta radionuklidien liukoisuuteen ja kulkeutumiseen loppusijoitusolosuhteissa sekä rapautumista käyttöolosuhteita vastaavissa kalliopohjavesiolosuhteissa. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää vallitsevissa olosuhteissa parhaiten kestävät betonikoostumukset, 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 vuonna 2011 laajempaa tutkimusta ja mallinnustyötä varten sekä kansainvälisen julkaisemisen ja yhteistyön lisäämiseksi aiheesta, jonka hyödynnettävyys on VLJ-luolaa laajempaa. Pilot-kokeen lisäksi vastaavia betonikoekappaleita tutkitaan todellisissa kalliopohjavesiolosuhteissa Olkiluodon VLJ-luolassa kairarei'issä.

Purkujätemetallien liukoisuuskokeet (pitkäaikaiset hiiliterästen ja sinkitettyjen terästen sekä sinkkilevyjen korroosiokokeet) ovat käynnissä Olkiluodon VLJ-luolan kairarei'issä ja VTT:n seurantatutkimuksena laboratorio-olosuhteissa. Vuonna 1998 käynnistetyn purkujätemetallien liukenemiskokeen tarkoituksena on tutkia teräksen liukenemistä loppusijoitusolosuhteissa, jotta saataisiin realistinen kuva teräksen korroosionopeudesta Olkiluodon VLJ-luolan sulkemisenjälkeisissä olosuhteissa. Vuoden 2011 lopussa oli koepaikkoihin sijoitettuna yhteensä 79 levyä: teräslevyjä 62, sinkkilevyjä 9 ja sinkkipinnoitettuja teräslevyjä 8.

KYT2014-tutkimusohjelmassa koeaineistoon on lisätty myös ruostumattomia (rst) teräsnäytteitä hiiliteräsnäytteiden lisäksi kokeisiin, joissa ympäristönä on todellinen VLJ-luolasta otettu pohjavesi. Ensimmäisiä tuloksia rst-terästen osalta odotetaan vuoteen 2014 mennessä.

Kairareikien pohjaveden vesikemiaa seurataan säännöllisesti tehtävillä pH-, happi-, redoxpotentiaali- ja johtokykymittauksilla. Lisäksi vuosittain otetaan vesinäytteet kemiallisia analyysyjä varten. Tutkimustulokset raportoitiin viimeksi tammikuussa 2011 (Carpén 2011). Vuoden 2010 näytteenotossa hiiliteräs- ja sinkkinäytteiden pinnoilta irrotettiin mikrobiologisia näytteitä, joista tehtiin alustavia mikrobiologisia määrittäyksiä ja samassa yhteydessä osa näytteistä pakastettiin DNA-tutkimuksia varten. Näiden DNA-näytteiden analysointi on käynnissä hiiliteräsnäytteiden pinnoilla olevien bakteerisukujen määrittämiseksi kattavasti. Tulokset raportoidaan vuoden 2013 aikana. Jo tässä vaiheessa tutkimustulokset osoittavat, että sekä paikallinen vesikemia että

mikrobiologinen toiminta kairareii'issä vaikuttavat korroosionopeuteen ja siten korroosion ennustettavuuteen ja edelleen syöpymisnopeuden arviointiin.

Pakkaus- ja loppusijoitustekniikoiden tutkimuksiin liittyen VLJ-luolan käyttöluoheojen mukainen arvio VLJ-luolan turvallisuudesta ja käyttökokemuksista sekä voimalaitosjätteen uusista pakkaus- ja loppusijoitustekniikoista tehtiin 2006 lopulla. Tästä on saatu TEM:n päätös, jossa ei ole huomautuksia. VLJ-luolan lopullinen turvallisuuseloste (VLJ-FSAR) päivitettiin samassa yhteydessä. STUK on hyväksynyt kyseisen VLJ-FSARin päivityksen eräiden huomautusten käsittelyn jälkeen vuonna 2010. Päivityksessä huomiodaan OL3:n voimalaitosjätteen loppusijoitus ja kuvataan pääpiirtein OL3:n tynnyriin kuivatun jätteen väliwarastointiratkaisu.

Voimalaitosjätteen käsittelyn selvityksiä vuosina 2013–2015

Vuosien 2013–2015 aikana jatetaan edellä esitettyjä käynnissä olevia selvityksiä sekä seurataan alan kehittymistä. Lisäksi toteutetaan seuraavia T&K-toimenpiteitä tai -hankkeita:

- VLJ-luolan pitkäaikaisen kaasunkehityskokeen koetulosten ja analyysien yhteenvelo sekä päätös kokeen päättämisestä tai jatkamisesta vuoteen 2016 mennessä.
- Kaasunkehityskokeen mallinnustuloksia julkaistiin vuonna 2008 (Small ym. 2008). Mallinnustyön jatkaminen on mahdollista vuosien 2006–2011 tulosten yhteenveloraportoinnin pohjalta (Nykyri 2012) ja ajankohtaista viimeistään kokeen sulkemisen yhteydessä. Tätä varten laitteiston tiedonkeruu- ja tallennusjärjestelmät päivitetään vuosien 2013–2014 aikana.
- Kalliomekaanisen, hydrogeologisen ja hydrogeokemian tutkimusten jatkaminen pitkäaikaisvaikutusten arvioimiseksi ja mittausohjelman päivitys seuraavan laajan koevuoden (2015) jälkeen ennen ohjelman päättymistä 2017.
- Betonin liukenemiskokeiden ja teräsrakenteiden kestävyuden sekä metallisen purkujätteen liukenevuuden tutkimusten jatkaminen pitkäaikaisvaikutusten arvioimiseksi. Tutkimus tehdään yhteistyössä betonien pitkäaikaiskestävyyttä mallintavien ryhmien (VTT ja Aalto yliopisto) kanssa kootun koeaineiston analysoimiseksi.
- Betonirakenteiden vaurioitumismekanismeihin liittyvien tutkimustulosten raportointi eri betonilaatujen osalta vuosina 2012–2015, ensimmäinen osa kevään 2012 aikana (Vesikari & Koskinen 2012).
- Laitoksen turvallisuusarvioon liittyvien asioiden selvittäminen.
- Uusien laitosyksiköiden edellyttämien tutkimusaiheiden liittäminen VLJ-tutkimusohjelmaan tai toteuttaminen yhteistyössä tutkimuslaitosten kanssa. OL3:n keskiaktiivisen jätteen käsittelyyn/loppusijoitukseen liittyen tehdään OL3:n käyttönoton aikana koe, jossa käytetyt ioninvaihtohartsit ja haihdutinkonsentraatit kuivataan tynnyriissä. Kokeen tarkoituksena on selvittää eri partikkeleiden jakaantuminen jätetynnyriissä. Koe tehdään ennen polttoaineen latausta.

Voimalaitosjätteen käsittelyn selvityksiä vuosina 2016–2018

Kaudella 2016–2018 suoritetaan useita tutkimushankkeita matala- ja keskiaktiivisen jätteen sijoittamisesta, joita on lueteltu seuraavassa:

- VLJ-luolan kaasunkehityskoe ja siihen liittyvät analyysit on nyt aikataulutettu vuoteen 2017 asti. Kokeen kestosta päätettäessä hyödynnetään vuoden 2011 yhteenvetoraporttia ja tätä seurannutta kokeen päättämissuunnitelmaa.
- VLJ-luolan kemian, kalliomekaniikan, pohjaveden ja ilman seuranta jatkuu luolalle vuonna 2005 tehdyn tarkennetun maaperä- ja seurantaohjelman mukaan. Laaja raportointi tehdään kolmen vuoden välein ja suppea seuranta raportoidaan välivuosina, seuraava laaja raportointi tehdään 2015. Suunnitelma ulottuu vuoteen 2017, joten uuden suunnitelman laatiminen ja ohjelman käynnistäminen ovat ajankohtaisia viimeistään vuoden 2015 päättyessä.
- Betonin liukenemiskokeiden ja teräsrakenteiden kestävyiden sekä metallisen purkujätteen liukenevuuden tutkimusten jatkaminen pitkäaikaisvaikutusten arvioimiseksi. Kokeet päättyvät, kun altistuskokeissa olevat materiaalit on kulutettu näytteenottokampanjoissa loppuun. On myös mahdollista, että kokeita jatketaan ja koeohjelmaan lisätään uudentyyppejä betonilaatuja tai teräksiä riippuen rakenneaineiden kehityksestä ja käytön muutoksista.
- Ioninvaihtohartsin tilavuuden pienentämiseksi tehtiin VTT:llä matalalämpötilaplasmapolttokokeita vuoteen 2008. Tutkimus suuntautuu jatkossa joko korkealämpötilaisemman plasman käyttöön tai muiden polttomenetelmien käyttöön. Asiaan liittyen seurataan teknologian kehittymistä.
- Uusien laitosyksiköiden edellyttämien tutkimusaiheiden liittäminen VLJ-tutkimusohjelmaan tai toteuttaminen yhteistyössä tutkimuslaitosten kanssa.
- Selvitystä palamannoston vaikutuksista ydinjätehuoltoon ja sen kokonaiskustannuksiin jatketaan jäähdytysajan ja palamannoston optimoimiseksi.

8.3 Käytöstäpoisto

Olkiluodon ydinvoimalaitoksen käytöstäpoistosta syntyvän jätteen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuusanalyysin päivitys on viimeksi tehty vuoden 2008 aikana. YEL:n mukaisesti suunnitelman päivitetään vähintään kuuden vuoden välein eli seuraavan kerran viimeistään vuonna 2014. OL3:n mukaantulo YJH-järjestelyihin aiheuttaa kuitenkin sen, että OL3:n käyttöluvan hakemisen yhteydessä jätetään OL3:n erillinen käytöstäpoistosuunnitelma mahdollisesti vuoden 2013 aikana tämän hetken hankeaikataulun mukaan. OL4-laitosyksikön käytöstäpoisto tulee ajankohtaiseksi laitostyyppin valinnan jälkeen rakennus- ja käyttöluvahakemuksissa.

Käytöstäpoistoselvitykset tähtäävät purkusuunnitelman teknistaloudelliseen kehittämiseen ja loppusijoituksen turvallisuusarvion lähtötietojen tarkentamiseen. Reunaehdot käytöstäpoistosuunnitelmien laadinnalle asetetaan lainsäädännössä ja viranomaisohjeissa. Tärkein käytöstäpoiston suunnittelua ohjaava viranomaisohje on YVL 8.2 "Ydinjätteiden ja käytöstä poistettujen ydinlaitosten vapauttaminen valvonnasta", mutta uusien laitosten suunnitteluvaiheessa huomioidaan myös ohjeluonnos YVL D.4 "Matala- ja keskiaktiivisten ydinjätteiden käsittely ja ydinlaitoksen käytöstäpoisto". Vuonna 2008 esitetyssä suunnitelmassa on tarkasteltu myös ns. välitöntä käytöstäpoistoa verrattuna TVO:n valitsemaan viivästetyn käytöstäpoiston strategiaan.

Vuoden 2008 käytöstäpoistosuunnitelman lähtökohdat ovat laitosyksiköiden OL1 ja OL2 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. Käytöstäpoisto-jätteen loppusijoituksen turvallisuusperustelussa ja tilasuunnittelussa arvioitiin neljän laitousyksikön purkujätteet. KPA-varaston purkusuunnitelmiin vaikuttaa tuleva OL3:n käytetyn polttoaineen varastointi ennen loppusijoitusta. Mahdollisuuksia KPA-varaston purkujätteen loppusijoittamiseksi ovat, mikäli VLJ-luola ei ole enää käytettävissä, loppusijoitus kapselointilaitoksen purkujätteen loppusijoituksen yhteydessä tai maaperäloppusijoitus.

OL1:n ja OL2:n osalta vuoden 2008 jälkeen tehtyjä selvityksiä ovat purkamiseen liittyvän projektitoiminnan, suunnittelun ja käyttökustannusten uudelleenarviointi sekä käytöstäpoiston laajuuden uudelleenarviointi. Projektitoiminnan kustannuksissa tunnistettiin korotustarpeita vuonna 2008 tehtyyn arvioon ja nämä on huomioitu jätehuoltokaavioissa. Käytöstäpoiston kustannuksissa on laajuuden kasvulle ennestään varaus, joka alustavasti kattaa tiukentuneiden vapautusrajojen aiheuttaman purkulaajuuden kasvun, joten tehty selvitys ei aiheuttane korotustarpeita nykyisiin käytöstäpoiston kustannusarvioihin.

OL3:n osalta on tehty käytöstäpoiston kustannusarvio sekä arvioitu myös konventionaalisia purkukustannuksia, jotka eivät kuulu ydinenergialainsäädännön piiriin. Laitostoimittajan antamien tietojen arvioimiseksi on tehty erillinen arvio OL3:n käytöstäpoiston säteilyannoksista.

Kustannusarviota koskevien selvitysten tulokset on huomioitu ydinjätehuollon kokonaiskustannusarvioista.

KPA-varaston meneillään oleva laajennusprojekti ei sinänsä vaikuta käytöstäpoistosuunnitelmaan, koska laajennus on jo ennakoitu alkuperäisessä KPA-varaston käytöstäpoistosuunnitelmassa. KPA-varaston käytöstäpoiston osalta on vuonna 2011–2012 päivitetty jätemäärä- ja aktiivisuusarviot. Nämä ovat jonkin verran pienemmät kuin alkuperäiset KPA-varaston rakentamisen yhteydessä tehdyt arviot, mutta niiden kustannusvaikutus arvioidaan vähäiseksi.

KPA-varaston purkujätteen loppusijoittamiseksi jätemäärät on huomioitu VLJ-luolan tilasuunnittelussa, mutta aikataulullisesti KPA-varaston purkujätteen loppusijoitus VLJ-luolaan ei todennäköisesti ole tarkoituksenmukaista. Vaihtoehtona on esitetty loppusijoitus käytetyn polttoaineen loppusijoituslaitokseen, mitä on tarkoitus selvittää yhteistyössä Posivan kanssa. Tämäkin on epävarmaa, joten vuona 2011–2012 tehtiin selvitys maaperäloppusijoituksen soveltamisesta KPA-varaston purkujätteelle. Tehdyn alustavan selvityksen mukaan maaperäloppusijoitus KPA-varaston purkujätteelle voitaisiin toteuttaa turvallisesti ja kustannustehokkaasti.

Käytöstäpoiston selvityksiä vuosina 2013–2015

Vuosien 2013–2015 aikana jatketaan ja tarkennetaan aikaisemmissa käytöstäpoistosuunnitelmissa tehtyjä selvityksiä seuraavaa käytöstäpoistosuunnitelman päivitystä varten. Oleellinen osa työstä liittyy OL3:n mukaan ottamiseen koko laitosta

koskevaan käytöstäpoistosuunnitelmaan, jolloin viimeistään vuonna 2020 laadittava suunnitelma sisältää OL1-, OL2- ja OL3-yksiköitä koskevat suunnitelmat. Oletettavasti yhdistetty suunnitelma laaditaan aiemmin, koska OL3:n ensimmäinen käytöstäpoistosuunnitelma jätetään OL3:n käyttöluvan jättämisen yhteydessä ja on päivitettävä kuuden vuoden kuluessa. Lisäksi suunnitellaan selvitystyötä käytöstäpoiston kustannusarvion muokkaamiseksi OECD:n mukaiseen jaotteluun.

OL1- ja OL2-laitosyksiköiden vuosihuoltojen yhteydessä on suurten komponenttien vaihdossa saatu kokemuksia matala-aktiivisen metallijätteen sulatuksesta ulkomailta. Hyvien kokemusten pohjalta kannattaa jälleenkäsittelyn mahdollisuuksia selvittää myös käytöstäpoistosuunnitelmissa. Kun menettelyä käytetään hyvin matala-aktiiviselle jätteelle, helpottuu mm. säteilyvalvonnasta vapauttaminen, koska jälleenkäsittelyn aikana sulatettujen komponenttien aktiivisuuspitoisuus voidaan määrittää tarkasti. Menettely tuottaa lisäkustannuksia nykyiseen käytöstäpoistosuunnitelman kustannusarvioon, mutta toisaalta kustannuksia laskeva tekijä on tarvittavan loppusijoitustilan väheneminen. Uusi ajankohtaiseksi tuleva aihe on selvitystyön tekeminen KPA-telineiden käytöstäpoistosta ja loppusijoituksesta.

Käytöstäpoiston selvityksiä vuosina 2016–2018

Suunnitelma reaktoripaineastian käytöstäpoistosta yhtenä kokonaisuutena on päivitetty vuonna 2006 Olkiluodon ydinvoimalaitoksen 60 vuoden käyttöiän mukaiseksi. Tämä käsittää myös suunnitelman pakata aktivoituneet reaktorin sisäosat ja säätösauvat paineastioiden sisään. Alustava suunnitelma VLJ-luolan laajentamiseksi käytöstäpoistojätteen siiloilla ja paineastialle sopivalla kuilulla on tehty myös vuonna 2006. Hankkeen edetessä olisi tehtävä tutkimus myös paineastiakuilun täyttöö sopivan, joustavan materiaalin määrittämiseksi.

MADAC- ja DOSRAT-mittauksia, joilla kerätään tietoa kontaminoituneesta purkujätteestä, jatketaan nykyisen aikataulun mukaan. Käytetyistä ja reaktorista poistetuista sisäosista saatuja tietoja käytetään arvioitaessa aktiivisen purkujätteen määrää.

Nykyisen ohjelman mukaan näytteenottoa hiiliteräskappaleista luolan kairarei'istä ja laboratoriokokeista jatketaan ja tämän on suunniteltu olevan osana pitkäaikaisia korroosiokokeita hiiliteräkselle luolassa.

Tutkimus betonin pitkäaikaiskestävyydestä loppusijoitusolosuhteissa jatkuu tehdyn suunnitelman mukaan. Näytteenottoa kairarei'istä ja laboratoriokokeista tehdään vuosittain.

Lisäksi seurataan aktiivisesti käytöstäpoistotekniikoiden kehittymistä ja käytöstäpoistohankkeista saatavia kokemuksia.

9 VIITTEET

Safety Case -raportit

Olkiluoto Site Description 2011. POSIVA 2011-02. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-179-7. (valmisteilla)

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. (valmisteilla)

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. (valmisteilla)

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. (valmisteilla)

Safety case for the disposal of spent nuclear fuel at Olkiluoto - Olkiluoto Biosphere Description BSD-2012. POSIVA 2012-06. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-187-2. (valmisteilla)

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. (valmisteilla)

Safety case for the disposal of spent nuclear fuel at Olkiluoto - Formulation of Radionuclide Release Scenarios 2012. POSIVA 2012-08. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-189-6. (valmisteilla)

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. (valmisteilla)

Safety case for the spent nuclear fuel disposal at Olkiluoto - Biosphere Assessment BSA-2012. POSIVA 2012-10. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-191-9. (valmisteilla)

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. (valmisteilla)

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. (valmisteilla)

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. (valmisteilla)

Safety case for the disposal of spent nuclear fuel at Olkiluoto - Terrain and ecosystems development modelling in the biosphere assessment BSA-2012. POSIVA 2012-29. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-210-7. (valmisteilla)

Safety case for the disposal of spent nuclear fuel at Olkiluoto - Surface and near-surface hydrological modelling in the biosphere assessment BSA-2012. POSIVA 2012-30. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-211-4. (valmisteilla)

Safety case for the disposal of spent nuclear fuel at Olkiluoto - Radionuclide transport and dose assessment for humans in the biosphere assessment BSA-2012. POSIVA 2012-31. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-212-1. (valmisteilla)

Safety case for the disposal of spent nuclear fuel at Olkiluoto - Dose assessment for the plants and animals in the biosphere assessment BSA-2012. POSIVA 2012-32. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-213-8. (valmisteilla)

Safety case for the disposal of spent nuclear fuel at Olkiluoto - Models and Data for the Repository System 2012. POSIVA 2013-01. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Tuotantolinjaraportit

Canister Production Line 2012 – Design, production and initial state of the canister. Raiko, H. (ed.), Jalonen, T., Nolvi, L., Pastina, B., Pitkänen, J. & Salonen, T. POSIVA 2012-16, Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-197-1. (valmisteilla)

Buffer Production Line 2012 – Design, production and initial State of the buffer. Juvankoski, M., Ikonen, K. & Jalonen, T. POSIVA 2012-17. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-198-8. (valmisteilla)

Backfill Production Line 2012 – Design, production and initial state of the deposition tunnel backfill and plug. Keto, P. (ed.), Hassan, Md. M., Karttunen, P., Kiviranta, L., Kumpulainen, S., Sievänen, U., Korkiala-Tanttu, L., Koskinen, V., Koho, P. & Jalonen, T. POSIVA 2012-18. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-199-5. (valmisteilla)

Closure Production Line 2012 – Design, production and initial state of underground disposal facility closure. Sievänen, U., Karvonen, T. H., Dixon, D., Hansen, J. & Jalonen T. POSIVA 2012-19. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-200-8. (valmisteilla)

Underground Openings Production Line 2012 – Design, production and initial state of the underground openings. Mustonen, S. ym. POSIVA 2012-22. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Muut

Aalto, P. (ed.), Helin, J., Lindgren, S., Pitkänen, P., Ylä-Mella, M., Ahokas, H., Heikkinen, E., Klockars, J., Lahdenperä, A-M., Korkealaakso, J., Lamminmäki, T., Pedersen, K. & Karvonen, T. 2011a. Baseline Report for Infiltration Experiment. Working Report 2011-25. Posiva Oy, Eurajoki. 152 s.

Aalto, P. (ed.), Lahti, M., Kosunen, P., Pere, T., Toropainen, V., Tarvainen, A-M., Pekkanen, J., Pöllänen, J. & Lamminmäki, T. 2011b. Drilling and associated drillhole measurements of the pilot hole ONK-PH14. Working Report 2011-64. Posiva Oy, Eurajoki. 178 p.

Aalto, P., Aaltonen, I., Ahokas, H., Andersson, J., Hakala, M., Hellä, P., Hudson, J., Johansson, E., Kemppainen, K., Koskinen, L., Laaksoharju, M., Lahti, M., Lindgren, S., Mustonen, M., Pedersen, K., Pitkänen, P., Poteri, A., Snellman, M. & Ylä-Mella, M. 2009. Programme for Repository Host Rock Characterisation in the ONKALO (ReRoC). Working Report 2009-31. Posiva Oy, Eurajoki. 64 p. (in English)

Aaltonen, I. (ed.), Lahti, M., Engström, J., Mattila, J., Paananen, M., Paulamäki, S., Gehör, S., Kärki, A., Ahokas, T., Torvela, T. & Front, K. 2010. Geological Model of the Olkiluoto Site - version 2.0. Working Report 2010-70. Posiva Oy, Eurajoki.

Ahokas, H., ym. 2012. Quality review of transmissivity data from Olkiluoto Site - Drillholes OL-KR1–OL-KR50. Working Report 2012. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Ahokas, T. & Heikkinen, E. 2012. Mise-à-la-masse survey in the ONKALO demo area in 2010. Working Report 2012. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Ahokas, T. & Paananen, M. 2010. Updated and integrated modelling of the 1995–2008 mise-à-la-masse survey data in Olkiluoto. Working Report 2010-08. Posiva Oy, Eurajoki. 276 p.

Ahokas, T. 2010. Preliminary modelling of the 2010 MAM survey data. Working Report 2010-75, Posiva Oy, Eurajoki. 72 p.

Ahokas, T., Heikkinen, E. & Hurmerinta, E. 2011. Mise-à-la-masse survey in the HYDCO niche 2011. Working Report 2011-89. Posiva Oy, Eurajoki. 37 p.

Anttila, M. 2005a. Radioactive Characteristics of the Spent Fuel of the Finnish Nuclear Power Plants. Working Report 2005-71. Posiva Oy, Eurajoki.

Anttila, M. 2005b. Criticality Safety Calculations for Three Types of Final Disposal Canisters. Working report 2005-13. Posiva Oy, Eurajoki.

Arenius, M., Hansen, J., Juhola, P., Karttunen, P., Koskinen, K., Lehtinen, A., Lyytinen, T., Mattila, J., Partamies, S., Pitkänen, P., Raivio, P., Sievänen, U., Vuorinen, U. & Vuorio, M. 2008. R20 Summary Report: The Groundwater Inflow Management in ONKALO - the Future Strategy. Työraportti 2008-44. Posiva Oy, Eurajoki.

Ari-Lahti, E., Carpen, L., Lehtikuusi, T., Olin, M., Saario, S. & Varis, P. 2011. Sulphide induced stress corrosion cracking of copper – Final Report. VTT-R-00467-11.

Aro, L., Derome, J., Helmisaari, H-S., Huhta, A-P., Hökkä, H., Lindroos, A-J. & Rautio, P. 2011. Results of Forest Monitoring on Olkiluoto Island in 2010. Working Report 2010-61. Posiva Oy, Eurajoki.

- Aro, L., Derome, J., Helmisaari, H-S., Hökkä, H., Lindroos, A-J. & Rautio, P. 2010. Results of Forest Monitoring on Olkiluoto Island in 2009. Working Report 2010-65. Posiva Oy, Eurajoki. 68 p.
- Autio, J. & Kirkkomäki, T. 1996. Boring of Full Scale Deposition Holes Using a Novel Dry Blind Boring Method. POSIVA 1996-7. Posiva Oy, Helsinki.
- Autio, J., Anttila, P., Börgesson, L., Sandén, T., Rönnqvist, P-E., Johansson, E., Hagros, A., Eriksson, M., Halvarsson, B., Berghäll, J., Kotola, R. & Parkkinen, I. 2008. KBS-3H Design Description 2007. POSIVA 2008-01, Posiva Oy. SKB R-08-44, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Autio, J., Hassan, Md. M., Pintado, X., Keto, P. & Karttunen, P. 2012. Backfill Design 2012. POSIVA 2012-15. Posiva Oy, Eurajoki.
- Batchelder, M., Cressey, G., Mather, J.D. & Joseph, J.B. 1996. Smectite-to-illite transformation at low temperature and implications for landfill containment. Chem. Contain. Wastes Geosphere
- Brovkin, V., Ganopolski, A., Archer, D. & Munhoven G. 2012. Glacial CO₂ cycle as a succession of key physical and biogeochemical processes. *Climate of the Past*, Vol. 8, 251-264.
- Bäckblom G. & Lindgren E. 2005. KBS-3H - Excavation of two horizontal drifts at the Äspö Hard Rock Laboratory during year 2004–2005. Work description, summary of results, and experience. SKB R-05-44. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Börgesson, L., Dueck, Johannesson, L.-E. 2010. Material model for shear of the buffer - evaluation of laboratory test results. SKB TR-10-31.
- Carpén, L. 2011. Purkujättemetallien liukeneminen - Kokeelliset tutkimukset vuonna 2010. Tutkimusraportti VTT-R-10246-10.
- Cosma, C., Cozma, M., Juhlin, C. & Enescu, N. 2008. 3D Seismic Investigations at Olkiluoto, 2007. Factual Report. Working Report 2008-43. Posiva Oy, Eurajoki.
- Cosma, C., Enescu, N., Balu, L. & Jacome, M. 2011. ONKALO 3D Tunnel Seismic Investigations at Olkiluoto in 2009. Working Report 2011-21. Posiva Oy, Eurajoki. 75 p.
- Cuadros, J. & Linares, J. 1996. Experimental kinetic study of the smectite-to-illite transformation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60, 439-453.
- Cuss, R. J., Harrington, J. F. & Noy, D J. 2010. Large scale gas injection test (Lasgit) performed at the Äspö Hard Rock Laboratory. Summary report 2008. SKB TR-10-38.
- Delos, A., Trincherio, P., Richard, L., Molinero, J., Dentz, M. & Pitkänen, P. 2010. Quantitative assessment of deep gas migration in Fennoscandian sites. Report R-10-61. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. (SKB). Stockholm, Sweden. 52 p. ISSN 1402-3091.

Dight, P., Hsieh, A., Kemppainen, K., Johansson, E. & Hudson, J.A. 2012. A Test Case of the Deformation Rate Analysis (DRA) Stress Measurement Method. Working Report 2012-01. Posiva Oy, Eurajoki.

Dixon, D., Korkiala-Tanttu, L., Hansen, J., Sievänen, U. & Karvonen, T.H. 2012. Underground Disposal Facility Closure Design 2012. Working Report 2012-09. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Döse, C. & Gustafsson, J. 2011. Geological signatures of drillhole radar reflectors in ONKALO. Working report 2011-90, Posiva Oy, Eurajoki. 44 p.

Eberl, D.D., Velde, B. & McCormick, T. 1993. Synthesis of illite – smectite from smectite at Earth surface temperatures and high pH. *Clay Miner.* 28, 49– 60.

Eichinger, F., Hämmerli, J., Waber, H.N., Diamond, L.W. & Smellie, J.A.T. 2012. 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. (painossa)

Eichinger, F., Hämmerli, J., Waber, H.N., Diamond, L.W. & Smellie, J.A.T. 2010a. Characterisation of Matrix Pore Water and Fluid Inclusions in Olkiluoto Bedrock from Drilling OL-KR47. Working Report 2010-58. Posiva Oy, Eurajoki. 134 p.

Eichinger, F., Meier, D., Hämmerli, J. & Diamond, L. 2010b. Stable Isotope Signatures of Gases Liberated from Fluid Inclusions in Bedrock at Olkiluoto. Working Report 2010-88. Posiva Oy, Eurajoki.

Eichinger, F. L., Waber, H. N. & Smellie, J. A. T. 2006. Characterisation of Matrix Pore Water at the Olkiluoto Investigation Site, Finland. Working Report 2006-103. Posiva Oy, Eurajoki.

Engström, J. & Kemppainen, K. 2008. Evaluation of the geological and geotechnical mapping procedures in use in the ONKALO access tunnel. Working Report 2008-77. Posiva Oy, Eurajoki.

Engström, J. 2012. Geological Mapping of Investigation Trench OL-TK18 at the Olkiluoto Study Site, Eurajoki, SW Finland. Working Report 2012-18. Posiva Oy, Eurajoki.

Engström, J., Paananen, M. & Klint, K. E. 2012. The Greenland Analogue Project. Geomodel version 1 of the Kangerlussuaq area on Western Greenland. Working Report 2012-10. Posiva Oy, Eurajoki. 35 s.

Eriksson, M. & Lindström, L. 2009. KBS-3H Post-Grouting Mega-Packer Test at -220 m Level at Äspö HRL. Working Report 2008-11, Posiva Oy. SKB R-08-42, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Euratom Treaty. Euratomin perustamissopimus 25.3.1957 ja siihen tehdyt muutokset: Asetus N:o 5, 22.12.1958 ja asetus N:o 9, 2.2.1960.

Euroopan komissio 2005. Komission asetus (Euratom) N:o 302/2005 Euratomin ydinmateriaalivalvonnan täytäntöönpanosta, 8.2.2005.

Follin, S., Stigsson, M., Rhén, I., Engström, J. & Klint, K. E. 2011. Greenland Analogue Project – Hydraulic properties of deformation zones and fracture domains at Forsmark, Laxemar and Olkiluoto for usage together with Geomodel version 1. Stockholm, P-11-26. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. (SKB), Sweden. 56 s. ISSN 1651-4416.

Fox ym. 2012. Geological Discrete-Fracture Network Model (version 2) for the Olkiluoto Site, Finland. POSIVA 2012. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Fälth, B. & Hökmark, H. 2011. Modelling end-glacial earthquakes at Olkiluoto. Working Report 2011-13. Posiva Oy, Eurajoki.

Fälth, B. & Hökmark, H. 2012. Modelling end-glacial earthquakes at Olkiluoto. Expansion of the 2010 study. Working Report 2012-08. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Ganopolski, A., Calov, R. & Claussen, M. 2010. Simulation of the last glacial cycle with a coupled climate ice-sheet model of intermediate complexity. *Climate of the Past*, Vol. 6, 229-244.

Gascoyne, M. 2005. Dissolved Gases in Groundwaters at Olkiluoto. Working Report 2005-56. Posiva Oy, Eurajoki.

Geology of Olkiluoto. POSIVA 2013. Julkaistaan vuonna 2013.

Gribi, P., Johnson, L., Suter, D., Smith, P., Pastina, B. & Snellman, M. 2007. Safety assessment for a KBS-3H spent nuclear fuel repository at Olkiluoto - Process Report. POSIVA 2007-09, Posiva Oy. SKB R-08-36, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Gripenberg, H. 2009. Residual Stress Investigation of Copper Plate and Canister EB-Welds: Complementary Results. Working Report 2009-21. Posiva Oy, Eurajoki.

Haapanen, A. (ed.) 2009. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2008 – Environment. Working Report 2009-45. Posiva Oy, Eurajoki.

Haapanen, A. (ed.) 2010. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2009 – Environment. Working Report 2010-45. Posiva Oy, Eurajoki.

Haapanen, A. (ed.) 2011. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2010 – Environment. Working report 2011-45. Posiva Oy, Eurajoki.

Haapanen, A. (ed.) 2012. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2011 – Environment. Working report 2012-45. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Haapanen, R. & Lahdenperä, A-M. 2011. Olkiluodon maalta merelle -linjaston maaosuuden inventointi vuonna 2008 ja Olkiluodon ympäristön ruovikkotutkimukset vuosina 2007–2008. Working report 2011-67. Posiva Oy, Eurajoki.

Haapanen, R. (ed.) 2005. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2004 – Environment. Working Report 2005-31. Posiva Oy, Eurajoki.

Haapanen, R. (ed.) 2006. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2005 – Environment. Working Report 2006-68. Posiva Oy, Eurajoki.

Haapanen, R. (ed.) 2007. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2006 – Environment. Working Report 2007-52. Posiva Oy, Eurajoki.

Haapanen, R. (ed.) 2008. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2007 – Environment. Working Report 2008-25. Posiva Oy, Eurajoki.

Haapanen, R., Aro, L., Kirkkala, T., Koivunen, S., Lahdenperä, A-M. & Paloheimo, A. 2010. Potential Reference Mires and Lakes for Biosphere Assessment of Olkiluoto Site. Working report 2010-67. Posiva Oy, Eurajoki.

Haapanen, R., Aro, L., Koivunen, S., Lahdenperä, A-M., Kirkkala, T., Hakala, A., Helin, J. & Ikonen, A.T.K. 2011. Selection of real-life analogues for future lakes and mires at a repository site. Radioprotection 46(6): S647-S651.

Haaramo, M. & Lehtonen, A. 2009. Principle Plug Design for Deposition Tunnels. Working Report 2009-38. Posiva Oy, Eurajoki.

Hagros, A. 2006. Host Rock Classification (HRC) System for Nuclear Waste Disposal in Crystalline Bedrock. Helsinki, Finland: University of Helsinki Press. Publications of the Department of Geology D8, University of Helsinki. ISBN 952-10-2607-3.

Hagros, A., McEwen, T., Anttila, P. & Äikäs, K. 2005. Host Rock Classification. Phase 3: Proposed Classification System (HRC-System). Working Report 2005-07. Posiva Oy, Eurajoki.

Hakanen, M., Ervanne, H. & Puukko, E. 2012. Safety case for a spent nuclear fuel repository at Olkiluoto: Radionuclide migration parameters for the geosphere. POSIVA 2012. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Hansen, J. Korkiala-Tanttu, L., Keski-Kuha, E. & Keto, P. 2009. Deposition tunnel backfill design for a KBS-3V repository. Working Report 2009-129. Posiva Oy, Eurajoki.

Harper, J., Hubbard, A., Ruskeeniemi, T., Claesson Liljedahl, L., Lehtinen, A., Booth, A., Brinkerhoff, D., Drake, H., Dow, C., Doyle, S., Engström, J., Fitzpatrick, A., Frape, S., Henkemans, E., Humphrey, N., Johnson, J., Jones, G., Joughin, I., Klint, K. E., Kukkonen, I., Kulassa, B., Landowski, C., Lindbäck, K., Makahnouk, M., Meierbachtol, T., Pere, T., Pedersen, K., Pettersson, R., Pimentel, S., Quincey, D., Tullborg, E.-L. & van As, D. 2012a. The Greenland Project. Yearly report 2010. Working Report 2012-16. Posiva Oy, Eurajoki. 174 s.

Harper, J., Hubbard, A., Ruskeeniemi, T., Claesson Liljedahl, L., Lehtinen, A., Booth, A., Brinkerhoff, D., Chandler, D., Drake, H., Dow, C., Doyle, S., Engström, J., Fitzpatrick, A., Frape, S., Helanow, C., Henkemans, E., Humphrey, N., Johnson, E., Johnson, J., Jones, G., Klint, K.E., Kulesa, B., Landowski, C., Lindbäck, K., Luckman, A., Maddoc, L., Makahnouk, M., Meierbachtol, T., Pere, T., Pettersson, R., Pimentel, S., Quincey, D., Tullborg, E.-L. & van As, D. 2012b. The Greenland Analogue Project, Yearly report 2011. Working Report 2012-79. Posiva Oy, Eurajoki.

Hartikainen, J. 2012. Simulations of Permafrost evolution at Olkiluoto. Working Report 2012-34. Posiva Oy, Eurajoki.

Hartley, L., Appleyard, P., Baxter, S., Hoek, J., Roberts D. & Swan, D. 2012a. Development of a Hydrogeological Discrete Fracture Network Model for the Olkiluoto Site Descriptive Model 2011. Working Report 2012-32. Posiva Oy, Eurajoki.

Hartley, L. ym. 2012b. Flow modelling for AOS. Working Report 2012. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Hartley, L. ym. 2012c. Modelling of open repository conditions, update of WR2010-51. Working Report 2012. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Heikkinen, E. & Kantia, P. 2011. Suitability of ground penetrating radar for locating large fractures. Working report 2011-92. Posiva Oy, Eurajoki. 64 p.

Heikkinen, E. Ahokas, T., Heikkinen, P., Kristiansson, S., Tiensuu, K. & Pere, T. 2010. Summary of investigations in personnel shaft pre-grouting drillholes ONK-PP131, PP134 and PP137 in Olkiluoto, 2008. Working report 2010-34. Posiva Oy, Eurajoki. 126 p.

Heikkinen, E., Heinonen, S. & Ravimo, I. 2011. Semi-Automated Fracture Classification Procedure Based on Geophysical Drillhole Logging Data. Working Report 2011-88. Posiva Oy, Eurajoki.

Helin, J., Ikonen, A.T.K., & Salo, T. 2011. Crops and garden products near Olkiluoto repository site. Radioprotection 46(6): S35-S41.

Hellä, P. (ed.), Ikonen, A., Mattila, J., Torvela, T. & Wikström, L. 2009. RSC-programme - Interim Report. Approach and basis for RSC development, layout determining features and preliminary criteria for tunnel and deposition hole scale. Working Report 2009-29. Posiva Oy, Eurajoki. 118 p.

Helmisaari, H.-S., Sah, S. & Aro, L. 2009. Fine roots on intensive forest ecosystem monitoring plots FIP4, FIP10 and FIP11 on Olkiluoto Island in 2008. Working Report 2009-127. Posiva Oy, Eurajoki. 29 s.

Holmberg, J. & Kuusela, P. 2011. Analysis of Probability of Defects in the Disposal Canisters. Working Report 2011-36. Posiva Oy, Eurajoki.

- Holmström, S., Laukkanen, A. & Andersson, T. 2012a. EB-hitsatun kuparikapselin elastis-plastinen FEA-simulaatio sekä pitkäaikaisvirumiskokeiden analysointi. POSIVA 2012. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)
- Holmström, S., Salonen, J. & Kinnunen, T. 2012b. Creep Properties of EB Welded Copper Overpack at 125–175 °C. Työraportti 2012-3. Posiva Oy, Eurajoki.
- Holowick, B. E., Dixon, D. A. & Martino, J. B. 2011. Enhanced Sealing Project (ESP): Project Status and Data Report for Period Ending 31 December 2010. NWMO APM-REP-01601-0004. Nuclear Waste Management Organisation, Toronto. (draft)
- Huhta, P. 2010. Studies of Quaternary Deposits in Investigation Trench OL-TK17 on the Olkiluoto Study Site, Eurajoki, SW Finland. Working Report 2010-40. Posiva Oy, Eurajoki.
- Hultquist, G., Szakálos, P., Graham, M. J., Sproule, G. I. & Wikmark, G. 2009. Detection of hydrogen in corrosion of copper in pure water. NACE International 2009.
- Hurmerinta, E., Pekkanen, J., Komulainen, J. & Rouhiainen, P. 2012. Pressure, Flow and Hydraulic Interference Measurements in ONKALO at Olkiluoto, Drillholes ONK-PP262 and ONK-PP274. Työraportti 2011-86. Posiva Oy, Eurajoki. 66 p.
- Hökmark, H., Lönnqvist, M. & Fälth, B. 2010. THM-issues in repository rock. Thermal, mechanical, thermo-mechanical and hydro-mechanical evolution of the rock at the Forsmark and Laxemar sites. Technical Report TR-10-23. Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB). Stockholm, Sweden.
- IAEA 2006. Geological disposal of radioactive waste – Safety requirements. Safety Standards Series WS-R-4. International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria. 49 s. ISBN 92-0-105705-9, ISSN 1020-525X.
- 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. 2012. Thermal dimensioning of Olkiluoto spent fuel repository. Working Report 2012. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)
- Ikonen, K. 2009. Thermal Dimensioning of Spent Fuel Repository. Working Report 2009-69. Posiva Oy, Eurajoki.
- INFCIRC/140. Ydinsulkusopimus, Treaty on the non-proliferation of nuclear weapons (NPT), 22.4.1970.
- INFCIRC/193. EU:n ydinaseettomien jäsenmaiden, Euratomin ja IAEA:n välinen valvontasopimus, 14.9.1997. (Suomen osalta voimassa 1.10.1995 alkaen).
- INFCIRC/193/Add.8. Euroopan unionin ydinaseettomien jäsenvaltioiden, Euroopan Atomienenergiayhteisön ja IAEA:n valvontasopimuksen lisäpöytäkirja ydinaseiden

leviämisen estämistä koskevan sopimuksen III artiklan 1 ja 4 kohdan täytäntöön panemiseksi, 30.4.2004.

Inoue, A. 1983. Potassium fixation by clay minerals during hydrothermal treatment. *Clays Clay Miner.* 31, 81–91.

Inoue, A. 1995. Formation of clay minerals in hydrothermal environments. In: Velde, B. (ed.), *Origin and Mineralogy of Clays*, Springer, pp. 268-329.

Jaquet, O., Namah, R. & Jansson, P. 2010. Groundwater flow modelling under ice sheet conditions: scoping calculations. SKB R-10-46.

Johansson, E. 2011. VLJ-luolan kallioperän kalliomekaaninen monitorointi vuonna 2010. Työraportti VLJ-3/11. TVO, Eurajoki.

Johansson, E. 2012. VLJ-luolan kallioperän kalliomekaaninen monitorointi vuonna 2011. Työraportti VLJ-2/12. TVO, Eurajoki.

Joutsen, A. 2012. The Use of Geological Data from Pilot Holes for Predicting FPI (Full Perimeter Intersection) Fractures. Working Report 2012-12. Posiva Oy, Eurajoki. 52 p.

Juvankoski, M. 2009. Description of Basic Design for Buffer. Working Report 2009-131. Posiva Oy, Eurajoki.

Juvankoski, M. 2012. Buffer Design 2012. POSIVA 2012-14. Posiva Oy, Eurajoki.

Kallio, U., Nyberg, S., Koivula, H., Jokela, J. & Poutanen, M. 2011. GPS operations at Olkiluoto, Kivetty and Romuvaara in 2010. Working report 2011-75. Posiva Oy, Eurajoki. 58 p.

Kallonen, I., Eurajoki, T., Mayer, E., Ketolainen, A. & Rämä, T. 2008. Decommissioning of the Loviisa NPP. TJATE-G12-109. Fortum Nuclear Services Ltd. ISBN 978-951-591-085-4.

Kangasniemi, V., Helin, J., Kirkkala, T. & Ikonen, A.T.K. 2011. Concentration ratios to aquatic plants at and near Olkiluoto repository site. Radioprotection. 46(6): S29-S34.

Karvonen, T. H. 2012. Closure of the investigation boreholes. Working Report 2012-63. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Karvonen, T. 2011a. Olkiluoto surface and near-surface hydrological modelling in 2010. Working Report 2011-50. Posiva Oy, Eurajoki.

Karvonen, T. H. 2011b. Foreign materials in the repository - update of estimated quantities. Working Report 2011-32. Posiva Oy, Eurajoki.

Karvonen, T. 2010. Prediction of Long-Term Influence of ONKALO and Korvensuo Reservoir on Groundwater Level and Water Balance Components on Olkiluoto Island. Working Report 2010-55. Posiva Oy, Eurajoki. 86 p.

Kaukonen, V., Hakanen, M. & Lindberg, A. 1997. Diffusion and Sorption of HTO, Np, Na and Cl in Rocks and Minerals of Kivetty and Olkiluoto. POSIVA 1997-07. Posiva Oy, Helsinki.

Kekki, T. & Tiitta, A. 2006. Selvitys voimalaitosjätteiden uusista pakkaus- ja loppusijoitustekniikoista. Lokakuu 2006, VTT-R-10086-06.

Keski-Kuha, E., Nemlander, R. & Koho, P. 2012. BACEKO II, Flow-Through, Open-Front and Saturation Tests of Pre-Compacted Backfill Blocks in a Quarter-Scale Test Tunnel. Working Report 2012-41. Posiva Oy, Eurajoki.

Keto, V. 2010. Developing Two-Phase Flow Modelling Concepts for Rock Fractures. Working Report 2010-10. Posiva Oy, Eurajoki.

King, F. 2007. Mixed-potential modelling of the corrosion of copper in the presence of sulhides. Working Report 2007-63. Posiva Oy, Eurajoki.

King, F., Lilja, C., Pedersen, K., Pitkänen, P. & Vähänen, M. 2011. An Update of the State-of-the-art Report on the Corrosion of Copper Under Expected Conditions in a Deep Geologic Repository. POSIVA 2011-01. Posiva Oy, Eurajoki.

Kinnunen, P. & Varis, P. 2011. Stress Corrosion Cracking Investigation of Copper in Groundwater with Ammonium Under Potential Polarisation. Työraportti 2011-5. Posiva Oy, Eurajoki.

Kirkkala, T. & Ryömä, H. 2011. Eurajoen kasvillisuusselvitys 2009–2010. Pyhäjärvi-instituutin julkaisuja B21. Pyhäjärvi Instituutti, Eura. 29 s.

Kirkkomäki, T. & Rönnqvist, P-E., 2011. KBS-3H-tekniikka, asemointi ja vaiheittainen rakentaminen. Työraportti 2010-77. Posiva Oy, Eurajoki.

Kirkkomäki, T. 2009. Loppusijoituslaitoksen teknisten tilojen sekä matala- ja keskiaktiivisen laitosjätetilan suunnitelmaselostus. Työraportti 2009-120. Fortum Nuclear Services Oy.

Kirkkomäki, T. 2012. Loppusijoituslaitoksen asemointi ja vaiheittainen rakentaminen 2012. Työraportti 2012-69. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Kivikoski, H. & Marjavaara, P. 2011. Filling the Gap Between Buffer and Rock in the Deposition Hole. Working Report 2011-33. Posiva Oy, Eurajoki.

Kiviranta, L. & Kumpulainen, S. 2011. Quality Control and Characterization of Bentonite Materials. Working Report 2011-84. Posiva Oy, Eurajoki.

Koistinen, T. & Käyhkö, N. 2011. Eurajoen maisema- ja maankäyttöhistoria 1840–2007: paikkatietoaineistojen käsittely ja muutosten kartoitus. Työraportti 2011-82. Posiva Oy, Eurajoki.

Koivula, H., Kallio, U., Nyberg, S., Jokela, J. & Poutanen, M. 2012. GPS Operations at Olkiluoto in 2011. Working Report 2012-36. Posiva Oy, Eurajoki. 58 p.

Komulainen, J., Pöllänen, J. & Lamminmäki, T. 2012a. Electrical Conductivity and Water Sampling Measurements at the Olkiluoto Site in Eurajoki, Drillholes OL-KR50, OLKR54 and OL-KR55. Working Report 2012-30. Posiva Oy, Eurajoki.

Komulainen, J., Pöllänen, J., Hurmerinta, E. & Ripatti, K. 2012b. Difference Flow and Electrical Conductivity Measurements at the Olkiluoto Site in Eurajoki, Drillholes OL-KR54, OL-KR55, OL-KR55B and OL-KR47B. Working Report 2012-11. Posiva Oy, Eurajoki.

Korpisalo, A. & Niemelä, M. 2010. Cross-borehole research with EMRE-system: Radiofrequency measurements in drillhole section OL-KR40-OL-KR45 in Olkiluoto 2009. Working report 2010-24. Posiva Oy, Eurajoki. 88 p.

Koskinen, V. 2012. Uniaxial backfill block compaction. Working Report 2012-21. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Kristiansson, S. & Heikkinen, P. 2009. Mise-a-la-Masse Measurements in Drillholes OL-KR4, OL-KR30 and OL-KR14–OL-KR18 at Olkiluoto. Working report 2009-10. Posiva Oy Eurajoki. 240 p.

Kukkola, T. & Eurajoki, T. 2009. Kapselointilaitoksessa syntyvät radioaktiiviset jätteet. Työraportti 2009-49. Posiva Oy, Eurajoki.

Kukkola, T. 2012. Encapsulation Plant Design 2012, Repository Connected Facility. Working Report 2012-49. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Kukkonen, I., Suppala, I., Korpisalo, A. & Koskinen, T. 2011a. Measurements of Rock Thermal Properties in Olkiluoto with the TERO76 Device: Drillholes OL-KR30, OL-KR31 and ONK-PVA4. Working Report 2011-78. Posiva Oy, Eurajoki. 30 p.

Kukkonen, I., Korpisalo, A. & Koskinen, T. 2011b. Inverse Temperature Gradient Method for Estimating Thermal Conductivity in Drillholes. Working Report 2011-79. Posiva Oy, Eurajoki. 30 p.

Kukkonen, I., Kivekäs, L., Vuoriainen, S. & Kääriä, M. 2011c. Thermal Properties of Rocks in Olkiluoto: Results of Laboratory Measurements 1994–2010. Working Report 2011-17. Posiva Oy, Eurajoki. 96 p.

Kukkonen, I., Paananen, M., Elo, S., Paulamäki, S., Laitinen, J., Hire Working Group of the Geological Survey of Finland, Heikkinen, P. & Heinonen, S. 2010. HIRE Seismic Reflection Survey in the Olkiluoto Area. Working report 2010-57. Posiva Oy, Eurajoki. 62 p.

Kumpulainen, S. & Kiviranta, L. 2010. Mineralogical and chemical characterization of various bentonite and smectite-rich clay materials. Part A: comparison and development

of mineralogical characterization methods. Part B: mineralogical and chemical characterization of clay materials. Working Report 2010-52. Posiva Oy, Eurajoki.

Kumpulainen, S. & Kiviranta, L. 2011. Mineralogical, chemical and physical study of potential buffer and backfill materials from ABM test package 1. Working Report 2011-41. Posiva Oy, Eurajoki.

Kumpulainen, S., Carlsson, T., Muurinen, A., Kiviranta, L., Svensson, D., Sasamoto, H., Yui, M., Wersin, P. & Rosch, D. 2010. Long-Term Alteration of Bentonite in the Presence of Metallic Iron. Working Report 2010-71. Posiva Oy, Eurajoki.

Kurimo, M. 2009. Aerogeophysical Survey in Olkiluoto 2009. Working report 2009-67. Posiva Oy, Eurajoki. 24 p.

Kuutti, J., Hakola, I. & Fortino, S. 2012. Analyses of disposal canister falling accidents. POSIVA 2012-36. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Kuva, J., Timonen, J., Kelokaski, M., Ikonen, J., Siitari-Kauppi, M., Lindberg, A. & Aaltonen, I. 2012. Microstructure, Porosity and Mineralogy Around Fractures in Olkiluoto Bedrock. POSIVA 2012-02. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-183-4. 114 s.

Käpyaho, E. (ed.), Ahokas, H., Penttinen, T., Korkealaakso, J., Karvonen, T., Trincherro, P., Molinero, J., Luna, M., Jimenez, S., & Ruiz E. 2012. The Infiltration Experiment – Monitoring and Modelling results of 2009. Working Report 2012-31. Posiva Oy, Eurajoki.

Laakkonen, M. 2011a. Residual Stress Measurement of Electron Beam Welded Copper Plates Using Prism Hole Drilling Method. Stresstech Oy. Työraportti 2011-96. Posiva Oy, Eurajoki.

Laakkonen, M. 2011b. Strain and Stress Measurement in Four Point Bending Device Using Prism Hole Drilling Method. Stresstech Oy. Työraportti 2011-97. Posiva Oy, Eurajoki.

Lahdenperä, A-M. & Keskinen, A. 2011. Chemical and Physical Properties of the Surface Sea Sediments at the Olkiluoto Offshore, South-Western Finland. Working report 2011-80. Posiva Oy, Eurajoki.

Lahti, M. (ed.) & Siren, T. 2012. Results of monitoring in Olkiluoto 2010 - Rock mechanics. Working Report 2011-47. Posiva Oy, Eurajoki. 86 p.

Lehmuskoski, P. 2010. Precise levelling campaigns at Olkiluoto in 2008 and 2009. Working report 2010-30. Posiva Oy, Eurajoki. 252 p.

Lehtonen, A. 2011. Olkiluodon VLJ-luolan hydrologinen monitorointi vuonna 2010. Työraportti VLJ-2/11. TVO, Eurajoki.

- Lehtonen, A. 2012. Olkiluodon VLJ-luolan hydrologinen monitorointi vuonna 2011. Työraportti VLJ-3/12. TVO, Eurajoki.
- Leikko, J., Taskinen, P. & Karvinen, R. 2011. Simulation of Residual Stresses and Deformations in Electron Beam Welded Copper Test Plate. Tampere University of Technology. Työraportti 2011-94. Posiva Oy, Eurajoki.
- Leväniemi, H. 2008. Aeromagnetic Survey in Eurajoensalmi, Olkiluoto 2008. Working Report 2008-57. Posiva Oy, Eurajoki.
- Lindberg, A. 2010. Geological Mapping of Investigation Trench OL-TK17 at the Olkiluoto Study Site, Eurajoki, SW Finland. Working Report 2010-1. Posiva Oy, Eurajoki.
- Lund, B. & Schmidt, P. 2011. Stress evolution and fault stability at Olkiluoto during the Weichselian glaciations. Working Report 2011-14. Posiva Oy, Eurajoki.
- Lunkka, J. P. & Erikilä, A. 2012. Behaviour of the Lake District ice lobe during the Younger Dryas chronozone (12.8 – 11.6 ka). Working Report 2012-16. Posiva Oy, Eurajoki. 54 s.
- 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 s.
- Löfman, J. & Karvonen, T. 2012. Hydrogeological evolution at Olkiluoto. Working Report 2012. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)
- Löfman, J., Mészáros, F., Keto, V., Pitkänen, P. & Ahokas, H. 2009. Modelling of Groundwater Flow and Solute Transport in Olkiluoto - Update 2008. Working Report 2009-78. Posiva Oy, Eurajoki. 274 p.
- Löfman, J., Poteri, A. & Pitkänen, P. 2010. Modelling of salt water upconing in Olkiluoto. Working Report 2010-25. Posiva Oy, Eurajoki.
- Marjavaara, P. & Holt, E. 2012. Customized Pellets for Buffer. Working Report 2012-62. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)
- Leoni, M. 2012. 2D and 3D finite element analysis of buffer-backfill interaction. POSIVA 2012. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)
- Martino, J.B., Dixon, D.A., Holowick, B. E. & Kim, C-S. 2011. Enhanced Sealing Project (ESP): Seal Construction and Instrumentation Report. NWMO APM-REP-01601-0003. Nuclear Waste Management Organisation, Toronto. (draft)
- Martinsson & Sandström 2012. Hydrogen depth profile in phosphorous-doped, oxygen free copper after cathodic charging. (valmisteilla)

McEwen, T. (ed), Aro, S., Hellä, P., Kosunen, P., Käpyaho, A., Mattila, J., Pere, T. & RSC working group 2012. Rock Suitability Classification - RSC 2012. POSIVA 2012-24. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Meuronen, I. & Salonen, T. 2010. Welding of the Lid and Bottom of the Disposal Canister. POSIVA 2010-05. Posiva Oy, Eurajoki.

Milnes, A. G., 2011. Understanding Brittle Deformation at the Olkiluoto Site. Literature Supplement 2010: An Update of Posiva Working Report 2006-25. Working Report 2011-38. Posiva Oy, Eurajoki. 80 s.

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. 404 p.

Mykkänen, J., Kiirikki, M. & Lindfors, A. 2012. Resuspensio ja kiintoaineen kulkeutuminen Eurajoensalmessa - Vesistömittausten loppuraportti. Working report 2012. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Mönkkönen, H. 2012. Models of bedrock surface and overburden thickness over Olkiluoto Island and nearby sea area. Working report 2012-15. Posiva Oy, Eurajoki.

Mönkkönen, H., Hakala, M., Paananen, M. & Laine, E. 2012. ONKALO Rock Mechanics Model (RMM) - Version 2.0. Working Report 2012-02. Posiva Oy, Eurajoki. 94 p.

Nieminen, J. 2012. Kapselointilaitoksen ilmastointijärjestelmät. Työraportti 2012-55. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Nolvi, L. 2009. Manufacture of Disposal Canisters. POSIVA 2009-03. Posiva Oy, Eurajoki. 76 p.

Nummi, O., Kyllönen, J. & Eurajoki, T. 2012. Long-term safety of the maintenance and decommissioning waste of the encapsulation plant. POSIVA 2012-37. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Nykyri, M. 2012. Suuren mittakaavan VLJ-kaasunkehityskoe, raportointikausi 2006–2011. Työraportti VLJ-1/12. TVO, Eurajoki.

Nykyri, M., Gardemeister, A., Keto, P., Kokko, M. & Riekkola, R. 2008. VLJ-luolan laajentamisen esisuunnitelma 2008. VLJ-4/08. Teollisuuden Voima Oyj.

Olsson, M., 2010. Guidance document for tunnel blast design with focus to minimize the damage zone. Report 2010-4. Swebrec Oy.

Palmen, J., Nummela, J. & Ahokas, H. 2011. Correlation of Transmissive Fractures in Holes OL-PH1, ONK-PH2–ONK-PH7 and ONKALO Tunnel Fractures. Working Report 2011-11. Posiva Oy, Eurajoki. 36 p.

- Palmen, J., Tammisto, E. & Ahokas, H. 2010. Database for Hydraulically Conductive Fractures - Update 2009. Working Report 2010-13. Posiva Oy, Eurajoki. 64 p.
- Palomäki, J. & Ristimäki, L. 2012. Laitoskuvaus 2012. Työraportti 2012-65. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)
- Paunonen, M., Kelokaski, P., Eurajoki, T. & Kyllönen, J. 2012. Waste Streams at the Encapsulation Plant. Working Report 2012-70. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)
- Pedersen, K., Arlinger, J., Edlund, J., Eriksson, L., Hallbeck, L., Johansson, J. & Rabe, L. 2012. Sulphate Reduction Experiment – SURE-1. Working Report 2012. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)
- Pekkanen, J., Hurmerinta, E., Pöllänen, J. & Väisäsvaara, J. 2011. Difference Flow and Electrical Conductivity Measurements at the Olkiluoto Site in Eurajoki, Drillholes OL-KR51, OL-KR52, OL-KR52B, OL-KR53 and OL-KR53B. Working Report 2010-81. Posiva Oy, Eurajoki.
- Penttinen, T., Partamies, S., Lahdenperä, A-M., Sireni, S., Lehtinen, A. & Lamminmäki, T. 2012a. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2010 – Hydrogeochemistry. Working Report 2011-44. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)
- Penttinen, T., Partamies, S., Lahdenperä, A-M., Ahokas, T., Lehtinen, A. & Lamminmäki, T. 2012b. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2011 – Hydrogeochemistry. Working Report 2012-44. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)
- Pere, T. (ed.), Ahokas, H., Lindgren, S., Mattila, J., Vaittinen, T. & Wikström, L. 2012. Layout determining features, their influence zones and respect distances at the Olkiluoto site. POSIVA 2012-21. Posiva Oy, Eurajoki.
- Pimenoff, N., Venäläinen, A. & Järvinen, H. 2011. Climate scenarios for Olkiluoto on a time scale of 120 000 years. POSIVA 2011-04. 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. 2012. Inspection of Disposal Canister Components. POSIVA 2012-35. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-216-9.
- Pitkänen, P. & Partamies, S. 2007. Origin and Implications of Dissolved Gases in Groundwater at Olkiluoto. POSIVA 2007-04. Posiva Oy, Eurajoki.
- 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.
- Pitkänen, P., Korkealaakso, J., Löfman, J., Keto, V., Lehtinen, A., Lindgren, S., Ikonen, A., Aaltonen, I., Koskinen, L., Ahokas, H., Ahokas, T. & Karvonen, T. 2008.

Investigation Plan for Infiltration Experiment in Olkiluoto. Working Report 2008-53. Posiva Oy, Eurajoki.

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. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Posiva 1999a. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitos - Ympäristövaikutusten arviointiselostus. Posiva Oy, Helsinki.

Posiva 1999b. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen periaatepäätöshakemus. Posiva Oy, Helsinki.

Posiva 2003a. TKS-2003 Nuclear Waste Management of the Olkiluoto and Loviisa Power Plants: Programme for Research, Development and Technical Design for 2004-2006. Olkiluoto, Finland: Posiva Oy. 288 s.

Posiva 2003b. Programme of monitoring at Olkiluoto during construction and operation of the ONKALO. POSIVA 2003-05. Posiva Oy, Eurajoki. 92 p. ISBN 951-652-119-3.

Posiva 2008a. Periaatepäätöshakemus käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen laajentamiseksi Olkiluoto 4 -yksikköä varten. Posiva Oy, Eurajoki.

Posiva 2008b. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen laajentaminen - Ympäristövaikutusten arviointiselostus. Posiva Oy, Eurajoki.

Posiva 2008c. Safety Case Plan 2008. POSIVA 2008-5.

Posiva 2009a. Periaatepäätöshakemus käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen laajentamiseksi Loviisa 3 -yksikköä varten. Posiva Oy, Eurajoki.

Posiva 2009b. Olkiluoto Site Description 2008. POSIVA 2009-01. Posiva Oy, Eurajoki. 714 p. ISBN 978-951-652-169-8.

Posiva 2009. TKS-2009. Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuolto: selvitys suunnitelluista toimenpiteistä ja niiden valmistelusta vuosina 2010–2012. Posiva Oy, Eurajoki.

Posiva 2011. The Greenland Analogue Project. Yearly Report 2009. Working Report 2011-54. Posiva Oy, Eurajoki. 114 s.

Posiva 2012a. Monitoring at Olkiluoto - a programme for the period before repository operation. POSIVA 2012-01.

Posiva 2012b. Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuolto - yhteenveto vuoden 2011 toiminnasta. 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. 2012. Canister Design 2012. POSIVA 2012-13. Posiva Oy, Eurajoki. ISBN 978-951-652-194-0.
- Rantataro, J. & Kaskela, A. 2009. Acoustic seismic studies in the sea area close to Olkiluoto, 2008. Working Report 2009-112. Posiva Oy, Eurajoki. 84 s.
- Rautio, T. 2006. Borehole plugging experiment in OL-KR24 at Olkiluoto. Working Report 2006-35. Posiva Oy, Eurajoki.
- Ritola, J. & Peura, J. 2012. Buffer Moisture Protection System. Working Report 2012-05. Posiva Oy, Eurajoki.
- Ritola, J. & Pyy, E. 2011. Isostatic Compression of Buffer Blocks - Middle Scale. Working Report 2011-62. Posiva Oy, Eurajoki.
- Roaldset, E., Wei, H. & Grimstad, S. 1998. Smectite to illite conversion by hydrous pyrolysis. *Clay Miner.* 33, 147– 158.
- Romppanen, A.-J. & Immonen, E. 2011. Residual Stress Measurement with Contour Method. Process Flow Oy. Työraportti 2011-95. Posiva Oy, Eurajoki.
- Rouhiainen, P. 1994. Paineellisen pohjavesinäytteen otto kaasuanalyysiä varten, esiselvitys. Työraportti PATU-94-23.
- Ruotsalainen, P. (toim.), Alhonmäki-Aalonen, S., Aalto, E., Helenius, J. & Sellge, R. 1996. Paineellisten vesinäytteiden ottolaitteiston kehitys. Työraportti PATU-96-82.
- Saario, T., Ikonen, A., Keto, P., Kirkkomäki, T., Kukkola, T., Nieminen, J. & Raiko, H. 2012. Loppusijoituslaitoksen suunnitelma 2012. Työraportti 2012-50. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)
- Saari, J. & Malm, M. 2011. Local seismic network at the Olkiluoto site, Annual report for 2010. Working report 2011-73. Posiva Oy, Eurajoki. 37 p.
- Saari, J. 2012. Seismic Activity Parameters of the Olkiluoto Site. POSIVA 2012. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)
- Schatz, T. & Martikainen, J. 2011. Laboratory Studies on the Effect of Freezing and Thawing Exposure on Bentonite Buffer Performance: Closed-System Tests. POSIVA 2010-06. Posiva Oy, Eurajoki.
- Schatz, T. & Martikainen, J. 2012. Laboratory tests and analyses on potential Olkiluoto backfill materials. Working Report 2012-74. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)
- Siren, T. 2011. Fracture Mechanics Prediction for Posiva's Olkiluoto Spalling Experiment (POSE). Working Report 2011-23. Posiva Oy, Eurajoki. 30 p.
- Siren, T., Martinelli, D. & Uotinen, L. 2011. Assessment of the Potential for Rock Spalling in the Technical Rooms of the ONKALO. Working Report 2011-35. Posiva Oy, Eurajoki. 40 p.

Sireni, S. (ed.), Ahokas, T. & Paananen, M. 2011. Suitability of seismic investigations for detailed characterisation of Olkiluoto bedrock. Working report 2011-91. Posiva Oy, Eurajoki. 210 p.

Sireni, S. 2011. Applicability of reflection seismic measurements in detailed characterization of crystalline bedrock. Working report 2011-24. Posiva Oy, Eurajoki. 122 p.

SKB 2012. KBS-3H Complementary studies 2008–2010. Report TR-12-01. Svensk Kärnbränslehantering AB. (painossa).

Small, J., Nykyri, M., Helin, M., Hovi, U., Sarlin, T. & Itävaara, M. 2008. Experimental and modelling investigations of the biogeochemistry of gas production from low and intermediate level radioactive waste. *Applied Geochemistry*, Volume 23, issue 6, June 2008.

Soler, J.M. 2010. Reactive Transport Modeling of Grout-Rock Interaction at the ONKALO Site. Working Report 2010-73. Posiva Oy, Eurajoki.

Soler, J.M. 2011. Reactive Transport Modelling of Grout-Water Interaction in a Fracture at the ONKALO Site - Effect of Different Potential Groundwater Compositions. Working Report 2011-83. Posiva Oy, Eurajoki.

Stotler, R.L., Frappe, S.K., Ruskeeniemi, T., Pitkänen, P. & Blowes, D.W. 2012. The interglacial–glacial cycle and geochemical evolution of Canadian and Fennoscandian Shield groundwaters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 76, pp. 45–67.

Suikki, M. 2011. Canister transfer trolley and canister transfer corridor equipment. Working Report 2011-57. Posiva Oy, Eurajoki.

Suikki, M. 2012a. The fuel handling machine and the auxiliary systems of the fuel handling cell. Working Report 2012-54. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Suikki, M. 2012b. Remote controlled mover for disposal canister transfer. Working Report 2012-53. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Suolonen, V. & Rossi, J. 2012. Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusten riskienhallinta. Työraportti 2012-67. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

Söderlund, M. & Lehto, J. 2012. Sorption of Molybdenum, Niobium and Selenium in Soils. Working Report 2012-38. Posiva Oy, Eurajoki.

Söderlund, M., Lusa, M., Lehto, J., Hakanen, M., Vaaramaa, K. & Lahdenperä, A-M. 2011. Sorption of Iodine, Chlorine, Technetium and Cesium in Soil. Working Report 2011-04. Posiva Oy, Eurajoki. 130 s.

Söderlund, M., Lusa, M., Virtanen, S., Välimaa, I., Hakanen, M., Lehto, J. & Lahdenperä, A-M. 2012. Distribution coefficients of cesium, chlorine, iodine, niobium, selenium and technetium on Olkiluoto soils. Working Report 2012. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

- Tammisto, E. & Palmen, J. 2011. Database for Hydraulically Conductive fractures - Update 2010. Working Report 2011. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)
- Tammisto, E., Palmen, J. & Ahokas, H. 2009. Database for Hydraulically Conductive Fractures. Working Report 2009-30. Posiva Oy, Eurajoki. 110 p.
- Tarvainen, A-M. 2012. Geophysical logging and imaging of shallow drillholes ONK-PP318, 319, 320, 323, 324, 326 and 327 in the ONKALO investigation niche 5. Working report 2012. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)
- Tarvainen, A-M. & Heikkinen, E. 2011. Geophysical Drillhole Logging and Imaging of Drillholes OL-KR54, OL-KR55 and OL-KR55B at Olkiluoto in 2010 and 2011. Working report 2011-58. Posiva Oy, Eurajoki. 132 p.
- Tarvainen, A-M. 2011a. Geophysical logging and imaging of characterisation drillholes ONK-KR13, ONK-KR14 and ONK-KR15. Working report 2011-59. Posiva Oy, Eurajoki. 86 p.
- Tarvainen, A-M. 2011b. ONKALO Pose experiment- Geophysical logging and imaging of drillholes ONK-PP223, ONK-PP226, ONK-PP254, ONK-PP259-261. Working report 2011-60. Posiva Oy, Eurajoki. 140 p.
- Tarvainen, A-M. 2011c. Geophysical logging and imaging of shallow drillholes ONK-PP262 and ONK-PP274 at Olkiluoto in 2010. Working report 2011-74. Posiva Oy, Eurajoki. 140 p.
- Tarvainen, A-M. 2010a. Geophysical Drillhole Logging and Optical Imaging of the Drillholes OL-KR49, OL-KR49B, OL-KR50, OL-KR50B and complement of OL-KR45 at Olkiluoto 2009. Working report 2010-23. Posiva Oy, Eurajoki. 138 p.
- Tarvainen, A-M. 2010b. Geophysical Drillhole Logging and Imaging of Drillholes OL-KR51, OL-KR52, OL-KR52B, OL-KR53 and OL-KR53B at Olkiluoto in 2009 and 2010. Working Report 2010-74. Posiva Oy, Eurajoki. 108 p.
- Tarvainen, A-M. 2010c. Mise-à-la-masse measurements at Olkiluoto in 2010. Working report 2010-76, Posiva Oy, Eurajoki. 92 p.
- TKS-2009. Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuolto: Selvitys suunnitelluista toimenpiteistä ja niiden valmistelusta vuosina 2009–2012. Posiva Oy, Eurajoki.
- Tohidi, B., Chapoy, A., Smellie, J. & Puigdomenech, I. 2010. The potential for methane hydrate formation in deep repositories of spent nuclear fuel in granitic rock. Report R-10-58. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. (SKB). Stockholm, Sweden. 26 p. ISSN 1402-3091.
- Toropainen, V. 2012. Core drilling of HYDCO drillholes ONK-PP262 and ONK-PP274 in ONKALO at Olkiluoto. Working Report 2012. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)

- Trinchero, P., Román-Ross, G., Maia, F. & Molinero, J. 2012a. Hydrogeochemical evolution of the Olkiluoto Site. (valmisteilla)
- Trinchero, P., Molinero, J., Luna, M., Jimenez, S. & Ruiz, E. 2012b. Coupled groundwater flow and reactive transport modeling of the Infiltration Experiment. Working Report 2012. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)
- Tsutomu, S., Takashi, M., Hiroshi, I. & Toshihiko, O. 1995. Effect of crystallochemistry of starting materials on the rate of smectite to illite reaction. *Mater. Res. Soc. Symp. roc.* 353, 239–246.
- Tuisku, P. & Kärki, A. 2010. Metamorphic Petrology of Olkiluoto. Työraportti 2010-54. Posiva Oy, Eurajoki. 76 s.
- Tuominen, J. 2012. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen sähköjärjestelmät. Työraportti 2012-24. Posiva Oy, Eurajoki.
- TVO 2008. Olkiluodon ydinvoimalaitoksen käytöstäpoiston suunnitelma 2008. TVO-1/08. Teollisuuden Voima Oyj, Fortum Nuclear Services Oy, Safram Oy. ISSN 1465-1514.
- Vainio, J. 2011. Coordinate Measuring of Wire-Cut Surfaces. Tampere University of Technology. Työraportti 2011-93. Posiva Oy, Eurajoki.
- Vaittinen, T. & Pentti, E. 2012. Compilation and analysis of hydrogeological responses to field activities in Olkiluoto during 2006–2009. Työraportti 2012. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)
- Vaittinen, T., Ahokas, H. & Nummela, J. 2010a. Hydrogeological Analysis of Pressure Responses During Excavation Through HZ20 Zones. Working Report 2010-12. Posiva Oy, Eurajoki. 74 p.
- Vaittinen, T., Ahokas, H., Klockars, J., Nummela, J., Pentti, E., Penttinen, T., Tammisto, E., Karvonen, T. & Lindgren, S. 2010b. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2009, Hydrology. Working Report 2010-43. Posiva Oy, Eurajoki. 272 p.
- Vaittinen, T., Ahokas, H., Klockars, J., Nummela, J., Pentti, E., Penttinen, T., Pöllänen, J., Karvonen, T. & Lindgren, S. 2012a. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2010 – Hydrology. Working Report 2011-43. Posiva Oy, Eurajoki. 378 p.
- Vaittinen, T., Ahokas, H., Klockars, J., Nummela, J., Pentti, E., Penttinen, T., Pöllänen, J., Karvonen, T. & Lindgren, S. 2012b. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2011 – Hydrology. Working Report 2012-43. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)
- Vaittinen, T., Ahokas, H., Nummela, J. & Paulamäki, S. 2011. Hydrogeological Structure Model of the Olkiluoto Site - Update in 2010. Working Report 2011-65. Posiva Oy, Eurajoki. 329 p.

- Vahtinen, T., Nummela, J. & Ahokas, H. 2008. Compilation and analysis of hydrogeological responses to field activities in Olkiluoto. Working Report 2008-03. Posiva Oy, Eurajoki. 213 p.
- Valkiainen, M., Aalto, H., Lindberg, A., Olin, M. & Siitari-Kauppi, M. 1995. Diffusion in the matrix of rocks from Olkiluoto – the effect of anion exclusion. Report YJT-95-20. Nuclear waste commission of Finnish power companies. 38 p.
- Valli, J., Kuula, H. & Hakala, M. 2011. Modelling of the in situ Stress State at Olkiluoto. Working Report 2011-34. Posiva Oy, Eurajoki.
- Valtioneuvosto 2000. Valtioneuvoston periaatepäätös 21. päivänä joulukuuta 2000 Posiva Oy:n hakemukseen Suomessa tuotetun käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen rakentamisesta. Valtioneuvosto, Helsinki.
- Valtioneuvosto 2002. Valtioneuvoston periaatepäätös 17. päivänä tammikuuta 2002 Posiva Oy:n hakemukseen käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen rakentamisesta laajennettuna. Valtioneuvosto, Helsinki.
- Valtioneuvosto 2010. Valtioneuvoston periaatepäätös 6. päivänä toukokuuta 2010 Posiva Oy:n hakemukseen käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen rakentamisesta laajennettuna. Valtioneuvosto, Helsinki.
- Vesikari, E. & Koskinen, P. 2012. Durability of Concrete Barriers in Final Depositories of Nuclear Waste. VTT-R-01185-12. VTT, Espoo.
- Vieno, T., Lehtikainen, J., Löfman, J., Nordman, H. & Mészáros, F. 2003. Assessment of Disturbances Caused by Construction and Operation of ONKALO. POSIVA 2003-6. Posiva Oy, Eurajoki.
- Virtanen, S. 2011. Luonnon radionuklidien fraktiointi vaiheittaisten uuttojen avulla maaperä- ja sedimenttinäytteistä. Working Report 2011-55. Posiva Oy, Eurajoki. 98 s.
- 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.
- Väisäsvaara, J. 2010. Difference Flow and Electrical Conductivity Measurements at the Olkiluoto Site in Eurajoki, Drillholes OL-KR49, OL-KR50 and OL-KR50B. Working Report 2010-16. Posiva Oy, Eurajoki.
- Wersin, P., Kiczka, M. & Rosch, D. 2012a. Safety case for a spent nuclear fuel repository at Olkiluoto: Radionuclide solubility limits and migration parameters for the canister and buffer. POSIVA 2012. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)
- Wersin, P., Pitkanen, P., Snellman, M., Román-Ross, G., Smith, P., Filby, A. & Kiczka, M. 2012b. Sulphide fluxes in the spent nuclear fuel repository at Olkiluoto. Working Report 2012. Posiva Oy, Eurajoki. (valmisteilla)
- Åkesson, U. 2012. Laboratory Measurements of the Coefficient of Thermal Expansion of Olkiluoto