

# Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuolto



Yhteenveto vuoden 2001  
toiminnasta



*Etukannessa: Eduskunta vahvisti toukokuussa 2001  
periaatepäätöksen loppusijoituslaitoksen  
rakentamisesta.*

# TIIVISTELMÄ

Tämä raportti on ydinenergia-lain ja -asetuksen tarkoittama selvitys Olkiluodon ja Loviisan ydinvoimaloiden ydinjätehuollosta. Se sisältää selvityksen voimayhtiöiden ydinjätehuollon tilanteesta ja toimenpiteistä vuonna 2001, katsauksen ydinjätealan viestinnästä ja selvityksen varautumisesta ydinjätehuollon tuleviin kustannuksiin.

Käytetyn polttoaineen loppusijoitustutkimuksissa on edetty kauppa- ja teollisuusministeriön vahvistaman aikataulun mukaisesti. Vuonna 2001 alkaneen toimintajakson päätavoitteena on tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyön vieminen rakentamislupahakemuksen edellyttämälle tasolle ja edelleen rakentamisluvan saaminen valtioneuvostolta. Eduskunnan 18.5.2001 vahvistaman periaatepäätöksen mukaan loppusijoituspaikkana on Eurajoen Olkiluoto.

Maanalaisten tutkimustilojen, ONKALOn, yksityiskohtainen suunnittelu käynnistyi vuoden 2001 aikana. Vaihtoehtoisina ratkaisuina on tarkasteltu pelkästään kuiluihin sekä ajotunneliin ja kuiluun perustuvia maanpintayhteyksiä.

Sijoituspaikkatutkimuksissa keskityttiin Olkiluodon kallioperän häiriintymättömän perustilan määrittämiseen ennen ONKALOn rakentamisen aloittamista. Pääasiallinen työ tehtiin hydrologian, hydrogeokemian ja seismiikan lisätietojen hankkimiseksi.

Turvallisuustutkimuksissa pääpaino oli teknisten vapautumisesteiden toimintakyvyn selvittämisessä. Työssä keskityttiin polttoainematriisin rapautumiseen ja uraanioksidin (UO<sub>2</sub>) liukoisuuteen, kuparikapselin korroosioon, bentoniitin paisumisominaisuuksiin sekä sementin mahdollisiin vaikutuksiin.

Loppusijoitustilojen suunnittelun seuraavana välitavoitteena on Olkiluodon olosuhteisiin sovitettu esisuunnitelma. Suunnittelussa on otettava huomioon loppusijoitustilan ja ONKALOn yhteensovittaminen.

SKB:n kanssa käynnistettiin kapselien vaaka-asentoiseen sijoittamiseen perustuvan MLH- eli KBS-3H-konseptin kehitystyö. Kuparikapselin valmistamiseen, sulkemiseen ja tarkastamiseen liittyvää kehitystyötä jatkettiin.

Kapselointilaitoksen sijoitusta joko KPA-varaston yhteyteen tai

suoraan loppusijoitustilojen yläpuolelle selvitettiin saaren infrastruktuurin mahdollisimman tehokkaan hyväksikäytön kannalta.

SKB:n kanssa kesäkuussa 2001 solmitut yhteistyösopimukset erityisesti kapselointi- ja loppusijoitustekniikan alueilla toivat merkittävän lisäyksen tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyön resursseihin ja panostukseen.

Voimalaitosjätteiden osalta jatkettiin vakiintuneita seuranta- ja pitkäaikaistutkimuksia ja käytännön toimenpiteitä.

Voimalaitosjätteitä oli Olkiluodon voimalaitoksella kertynyt vuoden 2001 loppuun mennessä 4102 m<sup>3</sup> ja Loviisassa 2427 m<sup>3</sup>. Olkiluodon jätteistä 3671 m<sup>3</sup> on loppusijoitettu VLJ-luolaan. Loviisan jätteistä 1031 m<sup>3</sup> on sijoitettu Hästholmenin VLJ-luolaan.

Olkiluodon ja Loviisan voimaloiden ydinjätehuollon tutkimusohjelman kokonaiskustannukset olivat 10,5 miljoonaa euroa. Tutkimusohjelma toteutui pääosin suunnitelmien mukaisesti, merkittävin ero suunnitelmiin nähden oli kahden syvän tutkimusreiän kairaaminen Olkiluotoon.

## SISÄLTÖ

	sivu
<b>TIIVISTELMÄ</b>	<b>1</b>
<b>JOHDANTO</b>	<b>5</b>
<b>KÄYTETYN POLTTOAINEEN HUOLTO</b>	<b>6</b>
• <i>TOIMINTAPERIAATE JA AIKATAULU</i>	6
• <i>NYKYTILANNE VARASTOINNISSA</i>	6
• <i>ONKALO</i>	6
• <i>SIJOITUSPAIKKATUTKIMUKSET</i>	7
• <i>PITKÄAIKAISTURVALLISUUDEN ARVIOINTI</i>	10
• <i>LOPPUSIJOITUSTEKNIikka</i>	13
• <i>ÄSPÖN KALLIOLABORATORIO</i>	16
<b>VOIMALAITOSJÄTTEIDEN HUOLTO</b>	<b>18</b>
• <i>OLKILUODON VOIMALAITOS</i>	18
• <i>LOVIISAN VOIMALAITOS</i>	20
• <i>YHTEISET SELVITYKSET</i>	23
<b>KÄYTÖSTÄPOISTOSELVITYKSET</b>	<b>24</b>
• <i>OLKILUODON VOIMALAITOS</i>	24
• <i>LOVIISAN VOIMALAITOS</i>	24
• <i>YHTEISET SELVITYKSET</i>	25
<b>RAPORTOINTI, VIESTINTÄ JA YHTEYDENPITO</b>	<b>26</b>
<b>LAADUN JA YMPÄRISTÖN HALLINTA</b>	<b>28</b>
<b>KUSTANNUKSET</b>	<b>29</b>
<b>RAPORTTILUETTELO 2001</b>	<b>31</b>

# JOHDANTO

Suomessa on kaksi ydinenergiaa sähköntuotantoon käyttävää yhtiötä, Teollisuuden Voima Oy (TVO) ja Fortum Power and Heat Oy (jäljempänä Fortum). TVO:n ja Fortumin on ydinenergiain mukaisesti huolehdittava kaikista tuottamiensa ydinjätteiden huoltoon kuuluvista toimenpiteistä ja niiden asianmukaisesta valmistelemisesta sekä vastattava niiden kustannuksista.

Ydinenergiain mukaan kauppa- ja teollisuusministeriö (KTM) päättää niistä periaatteista, joita ydinjätehuollossa on noudatettava. Nämä periaatteet KTM on esittänyt pää-

töksissään 19.3.1991 ja 26.9.1995, ja nämä päätökset ovat lähtökohdiana sekä ydinjätehuollon käytännön toteutuksessa että tulevia toimenpiteitä koskevassa tutkimus- ja kehitystyössä.

Kumpikin yhtiö vastaa erikseen kaikista vähä- ja keskiaktiivisten voimalaitosjätteiden käsittelyyn ja loppusijoitukseen sekä voimaloiden käytöstäpoistoon liittyvistä toimenpiteistä. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen tähtäävästä tutkimus- ja kehitystyöstä samoin kuin myöhemmin itse loppusijoituslaitoksen rakentamisesta ja käytöstä hu-

lehtii yhtiöiden yhdessä omistama Posiva Oy.

Posiva huolehtii myös vuosittain tehtävien Olkiluodon ja Loviisan ydinvoimaloiden ydinjätehuollon toimintasuunnitelmien ja -kertomusten laatimisesta. Käsillä on vuoden 2001 toimintakertomus, joka sisältää ydinenergiain ja -asetuksen mukaisen selvityksen voimayhtiöiden ydinjätehuollon tilanteesta ja toimenpiteistä vuonna 2001, katsauksen ydinjätealan viestinnästä ja selvityksen varautumisesta ydinjätehuollon tuleviin kustannuksiin.

---

*Teollisuuden Voima Oy:llä on Eurajoen Olkiluodossa kaksi kiehutusvesireaktoria, joiden kummankin nimellisteho on 840 MWe (netto). Olkiluoto 1 (OL1) kytkettiin valtakunnan verkkoon ensimmäisen kerran syyskuussa 1978 ja Olkiluoto 2 (OL2) helmikuussa 1980. Vuonna 2001 OL1:n käyttökerroin oli 97,6 % ja OL2:n 95,1 %. Laitosyksiköiden OL1 ja OL2 sekä vähäaktiivisen jätteen välivaraston (MAJ-varasto), keskiaktiivisen jätteen välivaraston (KAJ-varasto) ja käytetyn polttoaineen välivaraston (KPA-varasto) käyttöluvut ovat voimassa vuoden 2018 loppuun. Olkiluodon voimalaitosjätteiden loppusijoitustilan (VLJ-luola) käyttö lupa on voimassa vuoden 2051 loppuun asti.*

*Fortum Power and Heat Oy:n Loviisan voimalaitoksella on kaksi painevesireaktoria, kumpikin nimellisteholtaan 488 MWe (netto). Loviisa 1:n (Lo1) kaupallinen käyttö alkoi toukokuussa 1977 ja Loviisa 2:n (Lo2) tammikuussa 1981. Vuonna 2001 Lo1:n käyttökerroin oli 92,1% ja Lo2:n 89,0 %. Laitosyksiköiden Lo1 ja Lo2 sekä niiden ydinpolttoaine- ja ydinjätehuoltoon liittyvien laitosten käyttöluvut ovat voimassa vuoden 2007 loppuun asti. Voimalaitosjätteiden loppusijoitustilan (VLJ-luola) käyttö lupa on voimassa vuoden 2055 loppuun asti.*

# KÄYTETYN POLTTOAINEEN HUOLTO

## TOIMINTAPERIAATE JA AIKATAULU

Ydinenergialain ja KTM:n päätösten mukaisesti kaikki Olkiluodon laitoksen käytetty polttoaine sekä Loviisan laitoksella nykyisin oleva ja tämän jälkeen kertyvä käytetty polttoaine valmistaudutaan loppusijoittamaan Suomen kallioperään. Valmisteluissa noudatetaan aikataulua, jonka mukaan käytetyn polttoaineen loppusijoitus on voitava aloittaa vuonna 2020. Tätä ennen käytettyä polttoainetta varastoidaan väliaikaisesti voimalaitosalueilla.

Joulukuussa 2000 valtioneuvosto teki periaatepäätöksen käytetyn polttoaineen loppusijoituksesta Eurajoen Olkiluotoon. Eduskunta vahvisti päätöksen lähes yksimielisesti toukokuussa 2001. Loppusijoituslaitos, joka koostuu kapselointilaitoksesta ja loppusijoitustiloista, rakennetaan 2010-luvulla. Periaatepäätöksen mukaan loppusijoituslaitoksen rakentamislupaa on haettava viimeistään vuonna 2016.

## NYKYTILANNE VARASTOINNISSA

Olkiluodon käytettyä polttoainetta varastoidaan väliaikaisesti voimalaitosyksiköillä ja voimalaitosalueella olevassa käytetyn polttoaineen välivarastossa (KPA-varasto). Kertomusvuonna Olkiluoto 1:ssä vaihdettiin polttoainetta 22. kerran ja Olkiluoto 2:ssa 20. kerran. Vuoden lopussa käytettyä polttoainetta oli varastoituna yhteensä 5274 nippua vastaten 923 tonnia tuoretta uraania (arvioitu käytön jälkeisestä uraanimäärästä noin 897 tonnia). KPA-varastossa oli 4264 nippua, Olkiluoto 1:n vesialtaissa 487 nippua ja Olkiluoto 2:lla vastaavasti

523 nippua. KPA-varastoon mahtuu laitosyksiköiden noin 30 vuoden toiminnasta kertyvä polttoainemäärä ja varastoa voidaan tarvittaessa laajentaa. KPA-varaston kolmesta varastoaltaasta kahteen on toistaiseksi asennettu polttoainetelineet.

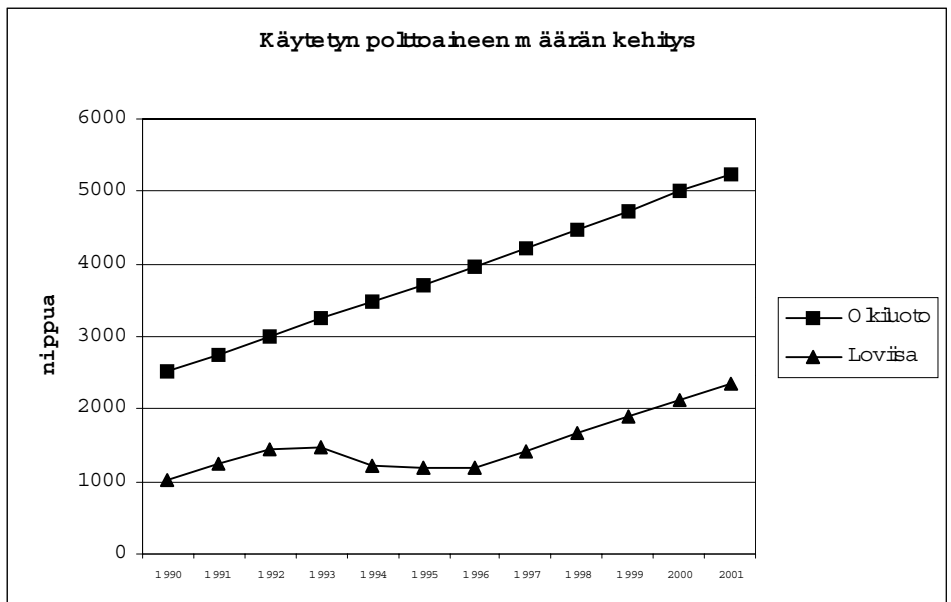
Loviisan polttoaineen paluukuljetukset Venäjälle päättyivät vuoden 1996 lopussa ydinenergialakiin tehdyn muutoksen johdosta. Käytetyn polttoaineen varastointikapasiteettia on sen jälkeen lisätty niin, että kapasiteetti riittää nykyisillä telineillä vuoteen 2008. Kapasiteettia on tulevaisuudessa mahdollista lisätä merkittävästi käyttämällä tiheitä telineitä. Vuoden 2001 lopussa laitoksella oli yhteensä 2335 käytettyä polttoainennippua, mikä vastaa noin 279 tonnia tuoretta uraania (arvioitu käytön jälkeisestä uraanimäärästä noin 268 tonnia). Polttoainepuista oli Lo1:llä 174 kpl ja Lo2:lla 223 kpl. Käytetyn polttoaineen varastoissa 1 ja 2 oli 390 ja 1548 nippua vastaavasti.

## ONKALO

Ennen kuin loppusijoitustilojen rakentamisesta päätetään, tehdään

Olkiluodossa täydentäviä kallioperätutkimuksia tilojen toteutussuunnittelua varten. Tutkimusta ja suunnittelua varten rakennetaan maanalaisten tutkimustila eli ONKALO. ONKALON tarkoituksena on myös hankkia kokemusta Posivalle syvien kalliotilojen tutkimisesta, suunnittelusta, rakentamisesta ja käytöstä itse loppusijoituksen toteutusta varten. Rakentaminen on suunniteltu aloitettavaksi vuoden 2004 aikana.

Vuonna 2001 käynnistettiin ONKALON yksityiskohtainen suunnittelu ja vaikutusten arviointi. Selvitettäviä kohteita ovat muun muassa olleet asemointi Olkiluodon kallioperään ja tutkimustasojen syvyysasemat, maanpintayhteydet, liittymisen tulevaan loppusijoitustilaan, vesivuotojen vaikutukset ja rajoittaminen, kallion tiivistäminen ja sementtin käyttö sekä täyttö ja sulkeminen. Vuosina 2001–2002 varmistetaan, että loppusijoitustilojen ja ONKALON tekniset suunnitelmat ovat yhteensopivia. ONKALON suunnittelussa varaudutaan siihen, että tilat voivat olla aikanaan osa loppusijoitustiloja.



## **SIJOITUSPAIKKA- TUTKIMUKSET**

Vuonna 2001 on jatkettu Olkiluodon kallioperän karakterisointia entistä yksityiskohtaisemman tiedon hankkimiseksi. Tutkimuksia on suoritettu paitsi tietovarannon kasvattamiseksi myös erityisesti maanalaisen tutkimustilojen suunnittelun tarpeita varten.

Olkiluodon ja sen ympäristön karakterisointi maanpinnalta käsin sekä kartoituksin että geofysikaalisin menetelmin ja kairaustutkimuksin on tarkentanut kalliomallia ja antanut lisätietoa rikkonaisten vyöhykkeiden ja kallioperän yleisistä ominaisuuksista. Päivityksestä on laadittu raportti. Olkiluodon alueen ruhjetulkintaa on päivitetty uusien merialueen luotausten tulosten perusteella.

Olkiluodon geologisen taustan ymmärtämiseksi on selvitetty koko eteläisen Satakunnan laajuudelta kallioperän rakennetta ja sen kehityshistoriaa. Työn tuloksena on kuva kallioperässä esiintyvistä kivilajeista, niiden keskinäisistä ikäsuhteista ja kallioperän rakenteeseen vaikuttaneista eri deformaatiovaiheista tarkentunut.

Yksityiskohtaisia kairaustutkimuksia on tehty mahdollisen maanalaisiin tutkimustiloihin johtavan kulkuyhteyden ajatellulla paikalla. Neljä keskisyvää (125-233 m) reikää kairattiin vuoden 2001 loppupuolella ja niissä saatiin jo osa perusmittauksistakin suoritettua. Tutkimuksen tarkoituksena on pienen alueen hyvin yksityiskohtainen karakterisointi.

### ***Olkiluodon tutkimukset***

#### ***Tiedon hankinta kallioperän rakenteesta sekä perustilasta***

Olkiluotoon on ONKALON sisäänkäyntipaikan selvittämiseksi kairattu kaksi syvää ja neljä mata-

lampaa reikää, joten alueella on kaikkiaan 18 kairattua tutkimusreikää (120–1000 m). Niiden avulla on saatu tarkempaa tietoa alueesta, jolle loppusijoitustilat suunnitellaan sijoitettavaksi. Kaikissa kairanrei'issä on tehty geofysikaalisia ja hydrogeologisia mittauksia sekä vesinäytteiden ottoa ja analysointia. Vanhoissa tutkimusrei'issä tehtyjä mittauksia on täydennetty vielä reikä-TV-kuvauksin ja seismisin VSP-mittauksin. Gravitaatiomittauksia suoritettiin rapakivimassivien esiintymisen tarkentamiseksi Olkiluodon alueella. Akustis-seismisillä luotauksilla tutkittiin ruhjevyöhykkeiden esiintymistä Olkiluotoa ympäröivällä merialueella ja samalla saatiin tietoja merenpohjan sedimenttien paksuuksista ja laadusta.

Ennen ONKALON rakentamista määritetään alueen nk. perustila eli häiriintymätön tila mahdollisten rakentamisen aiheuttamien häiriöiden havaitsemiseksi myöhemmin. Olkiluodon perustilan kuvaamiseksi jo olemassa olevien tietojen kokoaminen on aloitettu ja täydentävien tietojen tarve on tunnistettu. Tutkimuksia lähinnä hydrologisten ja hydrogeokemiallisten lisätietojen hankkimiseksi käynnistettiin vuoden 2001 aikana.

Seismisten mittausten kannalta häiriintymättömän perustilan määrittelyä varten on suunniteltu alueellinen mikroseisminen asemaverkosto, hankittu laitteisto ja perustettu mittauspaiikat jo vuoden 2001 aikana. Laitteiston asennus ja käyttöönotto suoritetaan vuonna 2002. Seismisten tapahtumien rekisteröintiä voidaan jatkaa rinnan maanalaisen rakentamisen kanssa.

Hydrologisten seurantamittausten suorittamiseksi on vuonna 2001 kunnostettu ja uusittu laitteistoja pohjaveden painekorkeuden havainnointia varten. Erilaisten pohjavesiympäristöjen, kuten syvän suolaisen pohjaveden, meriveden ja suotautuvan meteorisen veden keskinäisten yhteyksien selvittämiseksi on vuonna 2001 ollut käynnissä pitkäaikai-

nen pumppauskoe reiässä KR6. Seuraamalla KR6:n lähistöllä olevien reikiä vesipintojen korkeuksia saadaan samalla arvioitua mahdollisen hydraulisen häiriön kehittymistä ja voimakkuutta. Hydrauliset ja kemialliset tulokset osoittavat alustavasti pohjavesisysteemin vakaata käyttäytymistä. Tähän mennessä on havaittu pumppausreikään tulevan veden suolaisuuden vähäistä nousua.

### ***Pohjavesikemian tutkimukset***

Vuonna 2001 toteutetuilla vesinäytteenotoilla on täsmennetty suolaisuuden alueellista jakaumaa ja tutkimusalueen pohjavesikemian perustilaa ennen maanalaisen tilojen rakennustöiden käynnistämistä. Niiden avulla on hankittu lisää tietoja happi- ja redoxtekijöistä sekä loppusijoitusvyvydellä esiintyvien vesien suolaisuudesta. Paleohydrogeologisten kehityskulkujen ja syvien pohjavesien kemian selvittämiseksi tarvittava tietoaineisto on täydentynyt. Vesinäytteitä syvistä rei'istä on otettu yhteensä 13 kappaletta ja kaasunäytteitä kuusi kappaletta.

Olkiluodon tutkimusalueen kalliioon kairatuista matalista kairanrei'istä ja maaperään asennetuista siiviläputkista on otettu kattavasti näytteitä lähellä pintaa tapahtuvien geokemiallisten prosessien määrittämiseksi ja perustilan kannalta oleellisten seikkojen ymmärtämiseksi. Analyysit on saatu suurelta osin valmiiksi vuoden 2001 aikana ja tulkintatyö tehdään alkuvuonna 2002. Vesinäytteenotot suoritettiin yhteensä 11 maaperän pohjavesiputkesta ja kahdeksasta matalasta kalliorei'istä.

Suolaisten pohjavesien sähköjohtavuusmittausten lämpötilakorjauskertoimien määrittämistä sekä TDS-arvojen laskemista koskeva työ on tehty ja raportoidaan alkuvuonna 2002.



*Olkiluotoon asennettiin syksyllä 2001 kahdeksaan paikkaan yhteensä 16 siiviläputkea maapeitteeseen liittyvien hydrologisten ja kemiallisten ilmiöiden tutkimiseksi.*

### **Geologiset kuvaukset**

Kallioperätutkimusten tuloksia on koottu yhteen ja tulkittu maanalaisten tutkimustilojen suunnittelun ja ajattelun loppusijoitustila-alueen yksityiskohtaisen karakterisoinnin tarpeita varten. Mallinnusmenetelmiä ja tulosten esittämistapoja on kehitetty. Mittausmenetelmien, kuten tutkan kykyä mitata kallion piirteitä Olkiluodon olosuhteissa, ominaisuuksia on selvitetty.

Pohjaveden virtausmallinnuksen kehitystyö on ollut käynnissä vuonna 2001. Tämän työn tavoitteena on tutkimuspaikan hydrologian realistinen kuvaaminen eri tilanteissa. Tällaisia tilanteita ovat mm. pohjaveden pinnan käyttäytyminen kuilun vaikutuksia simuloivan pumppauskokeen aikana sekä maanalaisiin tiloihin tapahtuvien vuotojen esiintyminen ja vaikutukset. Vuonna 2001 on tarkasteltu huokoisen ja halkeileen väliaineen mallinnuskonseptien yhdistämistä aidosti samaan malliin. Tähän mennessä saatu kokemus osoittaa mallinnustavan edut ja jatkokkehityksen tarpeet.

Tutkimuksissa kertynyttä geofyysikaalista mittausaineistoa on analysoitu edelleen ja tulkintoja on verrattu olemassaoleviin rakennemalleihin. Kansainvälisesti tunnettujen asiantuntijoiden avulla on tarkasteltu geologisen tiedon keräämisen, käsittelyn ja mallintamisen menettelytapoja. Kairansydänaineistoa on käyty uudelleen läpi valituilta osin tulkintojen varmistamiseksi. Esille on tullut tarve saada parannettua kokonaisnäkemystä kallioperän eri piirteiden ja ominaisuuksien esiintymisestä ja vaihtelusta. Eri tarkastelumenetelmiä mahdollisimman monipuolisesti rinnakkain käyttäen, esimerkiksi tulkittujen reikäkuvien ja kairansydämien avulla, voidaan saada entistä parempi lopputulos.

### **Loviisan tutkimukset**

Hästholmenin kenttätutkimukset päättyivät käytännössä vuonna 2000. Alkuvuodesta 2001 saatettiin loppuun viimeisten reikätkätkimusten raportointi (vesinäytteenotto ja analysointi sekä virtausmittaukset).

Niinikään julkaistiin Hästholmenin pohjaveden geokemiallisen mallinnuksen loppuraportti.

Tutkimusreiässä KR1 säilytettiin valmius vesinäytteenottoon reikään jätetyn monitulppalaitteiston avulla, lähinnä vertailunäytteiden saamiseksi Olkiluodon suolaisen pohjaveden tutkimuksia varten.

### ***Laitte- ja menetelmäkehitys***

Vuonna 2000 aloitettu vedenjohtavuuden mittaustilteiston (ns. HTU-laitteiston) mittaushjelmiston päivittäminen 32-bittiseksi Windows 95 -versioksi saatiin valmiiksi. Myös mitta-antureissa käytettävät uudet elektroniikkakortit valmistuivat. Toimintakertomusvuonna aloitettiin laitteistoon lisättävän yksipistevastusmittausominaisuuden (Single Point –mittaus) kehittäminen. Kyseisellä mittauksella voidaan korvata vedenjohtavuusmittausten yhteydessä tehtävä syvyyskorjaukseen käytettävä rakohakumittaus. Käytännössä mitattava kohta (rako) voidaan hakea Single Point –mittauksen avulla.

Laitteistoon hankittiin uusi mitaustietokone ja tehtiin uudistuksen vaatimat ohjelmiston muutostyöt. Uuden lämpöpulssianturin rakentaminen aloitettiin. Lämpöpulssianturin uudelleen suunnittelulla ja rakentamisella pyritään kehittämään mittausherkkyyttä ja -aluetta. Kehitystyö jatkuu vuoden 2002 puolella.

Kallion lämpöominaisuuksien in situ –mittaamiseen tarkoitettun laitteiston kehittämistyöt ovat vuoden aikana keskittyneet tulkinta- ja mallinnusmenetelmien sekä kalibrointimenetelmän kehittämiseen. Teoreettisilla tarkasteluilla on tuettu uuden anturin suunnittelua. Lisäksi on selvitetty vaihtoehtoisia lämmitysvasituksen sijoittamistapoja ja materiaaleja. Kalibroinnin hyvä tarkkuus on ensisijaisen tärkeä tekijä erityisesti lämmön diffusiviteetin määrittämi-

sessä. Tulosten pohjalta voidaan vuonna 2002 aloittaa uuden prototyypianturin rakentaminen.

Uuden virtauseromittauslaitteiston rakentaminen aloitettiin. Siihen kuuluu eromittauslaitteisto vinsseineen, kaapeleineen ja työkaluineen. Mitta-antureita ja muita reikään asennettavia laitteiston osia tehtiin kahdet, sekä 56 mm reikään että 76 mm reikään sopivat. Uudessa laitteistossa muutettiin mitta-anturin elektroniikkaa ja parannettiin laitteiston mittausalueen alarajan herkkyyttä. Jälkimmäinen toteutettiin yhdistämällä jäähtymismenetelmä ja pulssimenetelmämittaukset. Jäähtymismenetelmän vakioteholämmitystä käytetään pulssimenetelmän pulssina. Tämän ansiosta mittausnopeutuu, käytetty kokonaislämmitysenergia pienenee, virtauksen suunnan määrittäminen paranee ja jäähtymismenetelmästä tulee huomattavasti herkempi kuin aikaisemmin. Mittausalueen alarajan herkkyyden parantamiseen liittyvät selvitystyöt tehtiin jo vuoden 2000 aikana, mutta itse parannus päätettiin toteuttaa vasta uudessa mittalaitteessa. Parannustyö aiheutti myös muutostöitä ohjelmistoon. Todennäköistä on, että vanhoihin mitta-antureihin tullaan asentamaan uudet elektroniikkakortit, jolloin uuden laitteen mittausohjelmaa voidaan käyttää suoraan vanhoissakin laitteissa.

Vuonna 2000 aloitetut PAVE- ja Pove-venttiileiden muutostyöt jatkuivat vuoden 2001 aikana. Näiden venttiileiden tilalle on asennettu kolme sarjaan kytkettyä palloventtiiliä, jotka toimivat varmemmin kuin aikaisemmin käytössä olleet venttiilimallit. Tämän työn ohella käynnistettiin PAVE-laitteiston näytteenotossäiliöiden asentamista (näyttesäiliöiden kiinnitys itse laitteistoon) helpottava kehitystyö. Aikaisemmin käytössä olleet venttiilien kierrelitokset korvattiin pikaliitännöillä. Tämä yhdenmukaistaa laitteistoja ja mahdollistaa säiliöiden käytön missä tahansa PAVE-yksikössä. Aikaisemmin säiliöt on nimetty PAVE-

laitteiden mukaan. Kuluneen vuoden aikana valmistettiin myös neljä tilavuudeltaan pienempää säiliötä kaasunäytteiden purkamisen helpottamiseksi.

PAVE-laitteiston reikään asennuksissa käytetään moottoroitua letkukelaa, jossa laitteistoa kannatteleva vajeri, kalvopumpun työpaineletku, tulppien paineletku ja näyteletku ovat kelalla. Loppuvuonna 2001 rakennettiin toinen tällainen letkukela.

Pohjavesinäytepumppauksissa vesi johdetaan maan päällä läpivirtauskennostoon, jossa sijaitsevat pH-, sähkönjohtavuus-, redox- ja happielektrodit. Näitä mittakennostoja on ollut käytössä kaksi kappaletta, mikä on rajoittanut näytteenotosten määrää. Kolmannen kennoston rakentaminen aloitettiin laitehankinnoilla. Kennoston kokoaminen toteutetaan vuonna 2002.

Vesinäytteenottojen yhteydessä tehtiin laitetestausta maan päällä pumpatusta pohjavedestä suoritettavia kaasunäytteenottoja varten. Tarkoituksena on kehittää maanpäälliseen kaasunäytteenottoon soveltuva

laitteisto. Alustavissa kokeiluissa on käytetty säiliönä PAVEn näyttesäiliötä, johon on imetty tyhjä. Näytteenoton jälkeen säiliöstä analysoidaan kaasut samalla tavoin kuin reissäkin täytetyistä näyttesäiliöistä. Testejä tullaan jatkamaan ja näytteenottoon kehitetään mahdollisesti oma laitteistonsa.

Kallion jännitystilamittauksiin liittyen käynnistettiin SKB:n kanssa kehitystyö, jonka puitteissa kehitetään irtikairausmenetelmän laadunvarmistusmenetelmiä ja itse mittauksen suoritusapua.

Uuden lyhytkapillaarielektroforeesilaitteiston kehittämiseen tähtäävä hanke, jossa pyritään pohjavesinäytteiden kationien ja anionien analytiikan parantamiseen, on edennyt suunnitelmien mukaisesti. Tavoitteena kolmivuotisessa hankkeessa on on-line -laitteiston prototyypin rakentaminen. Menetelmälle on ominaista hyvin vähäinen näyttemäärän tarve, mikä mahdollistaa myös esimerkiksi bentoniitin tai kiven huokosvesien paremman tutkimisen.



*Virtausmittauslaitteiston kehittämishankkeita on ollut käynnissä lähinnä virtauseromittauslaitteiston elektroniikan parantamiseksi ja mittausalueen laajentamiseksi erityisesti entistä pienempien virtausten mittaukseen. Kuvassa on virtausmittauslaitteistojen käytössä olevat reikäänturit.*

# PITKÄAIKAIS- TURVALLISUUDEN ARVIOINTI

## Teknisten päästöesteiden toimintakykytutkimukset

Toimintakykyanalyysien tavoitteena on tutkia teknisten päästöesteiden toimintaa ja sovittaa loppusijoitusratkaisun yksityiskohdat Olkiluodon oloihin. Samalla tuotetaan tausta-aineistoa ja lähtötietoja tuleviin turvallisuusarviointeihin sekä loppusijoitusjärjestelmän suunnitteluun. Käytetyn polttoaineen, kapselin ja bentoniitin ohella on tarkasteltu vaatimuksia, joita tarvitaan suunniteltaessa loppusijoitustiloja ja tunnelleita, kuiluja ja täyteaineita ja sulkurakenteita. Tutkimuksia tehdään paljolti kansainvälisenä yhteistyönä. EU:n tutkimusohjelmassa on käynnistynyt kapselin sisäisiä ilmiöitä tutkiva hanke sekä useita bentoniitin ja muiden täyteaineiden käyttäytymistä tutkivia kokeellisia ja mallinushankkeita. Posivan omissa ja kahdenvälisissä tutkimuksissa SKB:n kanssa selvitetään erityisesti suolaisen pohjaveden vaikutuksia kuparin korroosioon ja puristetun bentoniitin ja vaihtoehtoisten tunnelitöytäytteiden toimintaan. Teknisten päästöesteiden toimintakykytutkimuksia on käsitelty myös luvuissa Loppusijoitustekniikka ja Äspön kalliolaboratorio.

EU:n hankkeessa “Rates and mechanisms of radioactive release and retention inside a waste disposal canister (IN CAN PROCESSES)” tutkitaan kapselin sisäisiä ilmiöitä radionuklidien mahdollisessa vapautumisessa käytetystä polttoaineesta. Tutkimus kohdistuu polttoainematriisiin rapautumisnopeuden selvittämiseen sekä hapettavissa olosuhteissa että raudan puskuroimissa pelkistävissä olosuhteissa. Suomessa käynnistyneissä kokeissa selvitetään erityisesti raudan vaikutusta

U(VI):n pelkistymiseen. Kahdenvälisenä yhteistyönä SKB:n kanssa tutkitaan kontrolloidusti  $UO_{2,4}$ -muotoon hapetetun  $UO_2$ :n liukenemismekanismeja. Tutkimuksessa selvitetään myös uraanin hapettumista pinnalta sisäänpäin. Posivan toimesta vuosina 1996–1998 suoritettua  $UO_2$ :n liukenemismekanismien mallintamista hapettomissa ja pelkistävissä olosuhteissa on täydennetty hapellisten olosuhteiden mallinnuksella vuonna 2001.

Posiva järjesti syyskuussa kansainvälisen “Spent fuel workshop”-työkokouksen, jossa keskusteltiin meneillään olevista ja suunnitelluista käytetyn polttoaineen ja  $UO_2$ :n liukoisuustutkimuksista ja mallinushankkeista. Työkokoukseen osallistui noin 50 asiantuntijaa.

Radionuklidien liukoisuusarvojen tarkentamiseksi realistisempaan suuntaan on käynnistetty kokeellisia mittauksia, joissa olosuhteet vastaavat suunnitellun suomalaisen loppusijoituksen oloja. Tutkimus on aloitettu thoriumilla ja nikkelillä. Vuonna 2001 on tutkittu erityisesti thoriumin liukoisuutta erilaisissa simuloituissa pohjavesissä ja Olkiluodon eri suolaisuutta omaavissa pohjavesissä. Kokeet mallinnetaan EQ3/6-mallilla. Posiva on myös osallistunut NEAn TDB-II projektiin (Thermochemical Database Project).

Yhteistyössä SKB:n kanssa laadittiin raportti tämänhetkisestä tietämyksestä kuparin korroosiosta loppusijoitusolosuhteissa. Yhteenvedossa arvioitiin myös jatkotutkimustarpeet. Loppuvuodesta laadittiin tutkimussuunnitelma suolaisen pohjaveden vaikutuksesta kuparin korroosioon.

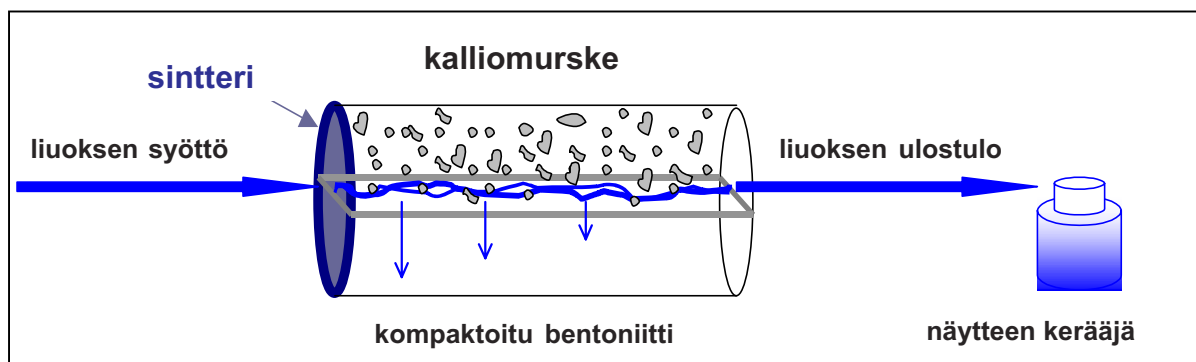
Bentoniitille on ominaista, että suolaisessa vedessä sen paisuntapaine ja paisuntakapasiteetti pienenevät. Riittävän paisuntapaineen varmentamiseksi on bentoniitti alun perin kompaktoitava kyllin tiheäksi. Vuosien 2000–2001 aikana on Posivan ja SKB:n yhteistyönä tutkittu nykyisten mallien kykyä selittää teoreettisesti kokeissa mitattuja bento-

niitin paisuntapaineita. Tutkimuksessa on mitattu paisuntapaineita Na-bentoniitissa tiheyden ja NaCl-liuoksen ionivahvuuden funktiona ja tulkittu tuloksia termodynaamisen mallin pohjalta. Suomen osuudessa on selvitetty bentoniitin huokosvesikemiaa, joka osaltaan vaikuttaa paisuntapaineen muodostumiseen. Raportti kokeista valmistuu v. 2002. Saatujen tulosten pohjalta arvioidaan tarve tutkimuksen jatkamiseen.

Posivan järjestämässä ns. Crystalline-ryhmän kokouksessa tarkasteltiin sementin käyttöä maanalaisissa tiloissa ja sen mahdollisia lyhyt- ja pitkäaikaisia vaikutuksia kallio-perään, pohjaveteen ja täyteaineisiin. Posivan ja SKB:n välisenä yhteistyönä käynnistettiin alhaisemäksisten sementtien kehitystyö, jonka tavoitteena on varmistua siitä, että pohjaveden pH ei sementin käytön vaikutuksesta nouse yli 11:n. Sementin mahdollisesta vaikutuksesta pohjavesikemiaan on myös laadittu yhteenvedo kanadalaisessa maanalaisessa tutkimuslaboratoriossa (URL, AECL) saatujen kokemusten perusteella.

Posiva osallistuu vuosina 2000–2003 EU:n hankkeeseen “Effects of cement on clay barrier performance – Phase II (ECOCLAY)”. Hankkeessa tutkitaan bentoniitin ja sementin vuorovaikutusilmiöitä savi-muodostumissa ja kiteisen kallion ympäristössä, erityisesti geokemiallisia reaktioita, vaikutuksia radionuklidien sorptioon, sekä kytkeytyjä geokemiallisia ja kulkeutumisilmiöitä. Vuonna 2001 käynnistettiin kokeet, joissa tarkastellaan bentoniitin, sementin ja kiteisen kallion muodostamaan systeemiin liittyviä reaktioita ja ilmiöitä.

EU:n Nuclear Fission Safety ohjelmaan (1994–1998) sisältyi FEBEX-projekti (Full-Scale Engineered Barriers Experiment), jossa demonstroitiin loppusijoitusratkaisun rakentamista ja tutkittiin bentoniitissa tapahtuvia termo-hydro-mekaanisia ja termo-hydro-geokemiallisia prosesseja. Hankkeeseen sisäl-



*Kaavio sylinterimäisestä näytekappaleesta, jossa alkalinen liuos läpivirtaa bentoniitin ja kivimurskeen rajapinnan suuntaisesti. Kokeessa tutkitaan suolaisen betoniveden aiheuttamia muuntumisia bentoniitissa ja kalliomurskeessa sekä niiden välisellä rajapinnalla, ja seurataan alkalisen virtausrintaman etenemistä.*

tyi täyden mittakaavan koe Sveitsissä Grimselin kalliolaboratoriossa (in-situ test), suuren mittakaavan laboratorioskoe Espanjassa (mock-up test) sekä näitä kokeita tukevat laboratoriotutkimukset. Tutkimuksia on jatkettu EU:n puiteohjelmassa vuosina 2000–2003. Jatkohankkeeseen sisältyy in-situ kokeen osittainen lopetus kesällä 2002 ja sen jatkaminen pienennetyssä koossa, mock-up kokeen jatkaminen sekä näitä tukevat laboratoriotutkimukset ja mallinnus. Posiva osallistuu uuteen FEBEX II –hankkeeseen tutkimalla in-situ kokeen näytteistä betonin aiheuttamia kemiallisia vaikutuksia bentoniitissa näiden materiaalien rajapinnan läheisyydessä. Vuoden 2001 aikana tehtiin suunnitelma in-situ kokeen näytteenotosta ja analyyseistä. In-situ kokeen lopetus siirtyi vuodelle eteenpäin, joten näytteiden tutkimus siirtyi vuoteen 2002. Tutkimuksessa käytetty espanjalainen Ca-Mg-Na-bentoniitti poikkeaa koostumukseltaan Suomessa yleisimmin tutkitusta Na-bentoniitista ja avartaa siten käsitystä vaihtoehtoisten bentoniittilaatujen käyttömahdollisuuksista.

Vuonna 2000 käynnistyi kolmi-vuotinen EU-hanke “Bentonite barriers in integrated performance assessment (BENIPA)”. Posivan osuudessa keskitytään erityisesti bentoniittipohjaisiin täyteaineisiin

vaikuttaviin ilmiöihin ja tapahtumiin (FEPit) sekä bentoniittia koskevan tieteellisen ja kokeellisen tietokannan keräämiseen hankkeessa suoritettavien mallinnustarkastelujen pohjaksi. Tietokannan kokoamiseksi käydään muun muassa lävitse Posivan, STUKin, SKB:n ja SKI:n raportisarjoissa vuosina 1996–2001 (ja tarvittaessa aikaisemminkin) julkaistut tutkimukset.

Termo-hydro-mekaanisten ja kemiallisten (THM(C)) ilmiöiden käsittelyä turvallisuusarviossa (safety case) esiteltiin DECOVALEX III ja BENCHPAR -hankkeiden yhdistetyssä työkokouksessa, jonka STUK järjesti Naantalissa. Posiva on myös osallistunut hankkeiden kotimaisen seurantaryhmän työhön.

Kaasun kulkeutumista puristetun bentoniitin lävitse kuvaavan mallin kehitystä jatkettiin “GAMBIT Club” yhteistyöryhmässä. Hankkeen toisessa vaiheessa kehitettiin ja arvioitiin mallia, jossa kaasun oletetaan kulkeutuvan bentoniittiin muodostuvan mikrorakoilun kautta siten, että kaasun paine vaikuttaa kulkureittien avaumiin. Lisäksi tarkasteltiin vaihtoehtoista mallia, jossa kaasun kulkeutuminen keskimääräistetään tarkastelutilavuudessa ilman yksittäisten kulkureittien kuvausta. Vaihtoehtoisten mallien kehitys ja testaus jatkuu hankkeen kolmannessa vaiheessa.

### ***Kallioperän toiminta vapautumisestaan***

Kallioperässä kulkeutumisen ja pidättymisen mallinnustapoja ja konsepteja tarkastellaan v. 2001 käynnistyneessä EU-projektissa RETROCK. Projektissa tarkastellaan turvallisuusanalyyseissä käytettyjä malleja, konsepteja ja niiden tieteellistä taustaa. Tavoitteena on muodostaa yhtenäinen käsitys mallien ja konseptien soveltumisesta kulkeutumisen kuvaamiseen pitkäaikaturvallisuutta arvioitaessa.

Kulkeutumislmiöiden tutkimuksia käytännön kokein on jatkettu yhteistyössä muiden jätehuolto-organisaatioiden kanssa Äspön kalliolaboratoriossa. Kotimaassa tehtävä työ on ollut tulosten mallintamista ja tulkintaa. Näitä yhteistyöprojekteja kuvataan kohdassa Äspön kalliolaboratorio.

Sorptiokokeiden rinnalla on jatkettu työtä sorption mekanistisen ja teoreettisen ymmärtämisen lisäämiseksi. Tämän perusteella voidaan arvioida aineiden sorptiokäyttäytymisen riippuvuutta vallitsevista oloista. Vuonna 2001 on jatkettu tutkimusta, jolla tähdätään mitattujen parametrien tuottamiseen kaoliniitille. Tutkimusten radionuklideina käytetään europiumia ja amerikumia. Posiva on myös osal-

listunut NEA:n Sorptioforum II-projektiin.

GTK:n johdolla on käynnistetty v. 2001 useiden jätehuolto-organisaatioiden yhteistyönä hanke, jossa tutkitaan ikiroudan mahdollista vaikutusta loppusijoitukseen. Tutkimuksen alkuvaiheessa selvitetään Kanadan ikirouta-alueella esiintyvän Lupin-Mine kaivoksen hyödyntämismahdollisuutta ikiroudan hydrogeologisten ja hydrogeokemiallisten vaikutusten ja prosessien ymmärtämisessä. Vuonna 2001 laadittiin yhteenveto ikiroudan esiintymisestä ja fysikaalis-kemiallisista prosesseista.

Olkiluodon tutkimusalueen hydrogeokemiallisen 3D-mallin laatimiseksi käynnistettiin työ. Lisäksi käynnistettiin Olkiluodon hydrogeo-

kemiallisen perustilan kuvaukseen tähtäävä työ sekä selvitystyö tulevan maanalaisen tutkimusvaiheen hydrogeokemiallisen häiriön arvioimiseksi.

### ***Biosfääritutkimus***

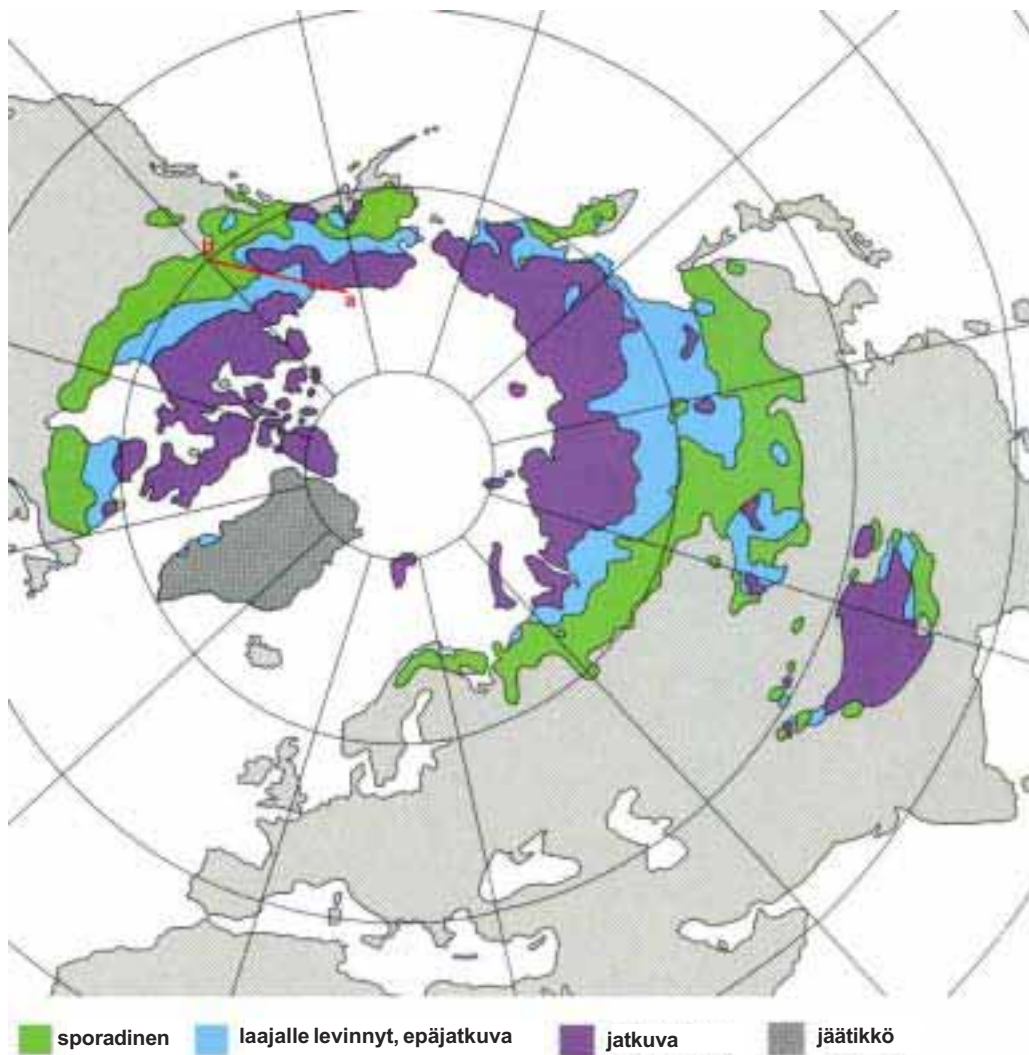
Posivan turvallisuustutkimuksen puitteissa selvitettiin radionuklidien kulkeutumista suoympäristössä sekä tutkittiin umpeenkasvaneen Olkiluodonjärven ominaisuuksia maaperä- ja vesinäytteistä. Kosteikon alueella suoritettiin myös maatutkaluotaus maakerrosten paksuuden selvittämiseksi.

Maapeitteessä olevan pohjaveden hydrologisten ja kemiallisten ominaisuuksien ja kallion yläosan

kemiallisten ominaisuuksien selvittämiseksi sekä kausittaista vaihtelua kartoittavat vesinäytteet käynnistettiin. Näytteet otettiin uusista ja aiemmin tehdyistä pohjavesiputkista sekä matalista kalliorei'istä.

Posiva tukee Studsvik Eco & Safety AB:n osallistumista EU:n "Biosphere Models for Safety Assessment of radioactive waste disposal based on the application of the Reference Biosphere Methodology (BioMoSA)" -projektiin. Tämän lisäksi Posiva on seurannut kansainvälisten biosfäärimallinnukseen liittyvien projektien etenemistä (BIO-MASS, FASSET, BIOCLIM).

Loppuvuodesta 2001 Posiva teetti Metsäntutkimuslaitoksella suunnitelman Olkiluodon kasvillisuuden, puuston ja maaperän perus-



*Ikiroudan esiintyminen pohjoisella pallonpuoliskolla (IPA 1995, POSIVA 2001-05).*

inventoinnista sekä metsäekosysteemien intensiiviseurannasta, jota ryhdytään toteuttamaan vaiheittain kevästä 2002 alkaen Olkiluodon biosfäärin vallitsevan tilanteen tarkkaa kartoittamista ja ainekierron selvittämistä varten.

## ***Pitkäaikaisturvallisuuden arviointi***

Posiva on tukenut VTT Energian osallistumista vuosina 2000–2002 toteutettavaan EU-hankkeeseen “Testing of safety and performance indicators (SPIN)”, jossa tutkitaan loppusijoituksen vaihtoehtoisia toimintakyky- ja turvallisuusmittareita. VTT:n osuudessa havainnollistetaan TILA-99 turvallisuusanalyysin väli- ja lopputuloksia (mm. radionuklidien aktiivisuusvirtoja ja säteilymyrkyllisyyttä loppusijoitusjärjestelmän eri osissa). Vuonna 2001 hankkeessa on laadittu kaksi yhteisraporttia, joissa esitetään kirjallisuuskatsaus aiheeseen sekä esitellään testattaviksi valitut mittarit ja turvallisuusanalyysien mallit ja laskentatapaukset. Yhtenä testitapauksena kaikki osallistujat vertaavat laskemiaan päästönopeuksia YVL 8.4 ohjeen mukaisiin pitkän aikavälin päästörajoihin kallio-perästä biosfääriin. SPIN-hanke toteutetaan yhteistyössä IAEA:n koordinoiman “The use of selected safety indicators (concentrations; fluxes) in the assessment of radioactive waste disposal” tutkimushankkeen kanssa. SPINin työkokous järjestettiin Helsingissä.

ONKALON yksityiskohtainen suunnittelu ja vaikutusten arviointi käynnistettiin. Vaikutusten arviointi pitkäaikaisturvallisuuden kannalta tehdään tiiviissä yhteistyössä loppusijoitustekniikan kanssa. Tutkimus on kuvattu tarkemmin luvussa Loppusijoitustekniikka.

Posiva ja VTT osallistuvat syksyllä 2001 käynnistyneeseen kolmi-vuotiseen EU-hankkeeseen GAS-NET (A thematic network on gas is-

sues in safety assessment of deep repositories for nuclear waste), jossa arvioidaan kaasunkehitystä, kaasujen kulkeutumista sekä niiden käsitelyä turvallisuusanalyysissä.

Yhteistyötä ja tiedonvaihtoa jatkettiin muun muassa OECD/NEA:n ja kansainvälisen Crystalline-ryhmän puitteissa. OECD/NEA:n puitteissa Posiva osallistui muun muassa “Integration Group for Safety Case (IGSC)”-ryhmän työhön sekä “FEP database”, “Thermodynamic Database (II)” ja “Sorption Forum II” hankkeisiin. IGSC:n “Topical Session”issa esiteltiin Posivan biosfääritutkimusten suunnitelmia.

## ***LOPPUSIJOITUS-TEKNIikka***

### ***Loppusijoitustilojen suunnittelu***

Loppusijoitustilojen suunnittelun seuraavana välitavoitteena on Olkiluodon olosuhteisiin sovitettu esisuunnitelma. Vuoden 2001 aikana on käynnistetty KBS-3-tyyppisten loppusijoitustilojen tekninen suunnittelu valvomattoman alueen tilojen ja järjestelmien osalta. Suunnittelu on tehty työkuiluvaihtoehdon pohjalta ja on käsittänyt yhteen ja kahteen kerrokseen sijoitetut tilat. Järjestelmäsuunnittelun pääpaino on ollut LVI-, palontorjunta- ja kuljetusjärjestelmien suunnittelussa. Ensimmäisessä suunnitteluvaiheessa tutkittiin yksi- ja kaksikerrosratkaisussa niiden aputilojen ja toimintojen sijaintia, joilla on vaikutusta ONKALON suunnitteluun. Toisessa vaiheessa syksyn 2001 aikana laadittiin vaihtoehtoisia layout-suunnitelmia, joista valittu suunnitelma on toiminut myös ONKALON luonnos-suunnitelmien pohjana. Loppusijoitustilojen sisäänkäyntiyhteyksistä laadittiin vaihtoehtoisia ratkaisuja, joissa loppusijoitustiloista poistuminen esimerkiksi tulipalon sattuessa perustuisi pääasiassa henkilö- ja pe-

lastautumishissien käyttöön. Suunnitelmat ovat toimineet lähtötietoina ONKALON eri vaihtoehtoissa ja ne pohjustavat tulevia pelastautumisselvityksiä.

SKB:n kanssa on käynnistetty MLH-konseptin eli KBS-3H-konseptin kehitystyö. Tavoitteena on kehittää MLH-konseptia siten, että se voidaan kuvata esisuunnitelmasa ja että valinta KBS-3- ja MLH-konseptin välillä voidaan tarvittaessa tehdä ennen rakentamisluvan hakemista.

Vuoden aikana tehtiin loppusijoitustilojen lämpöteknistä mitoitus-ta Olkiluodon kallio-perän mittauksiin perustuvilla kallon lämpöteknisillä ominaisuuksilla ja työ raportoidaan vuoden 2002 alussa. Työssä arviointiin KBS-3-tyyppisen ratkaisun mukaisten kapselien tarvittavat etäisyydet toisistaan ja kaksikerrosratkaisussa eri kerrosten välinen etäisyys erilaisilla käytetyn polttoaineen määrän ja jälkijäätymisajan olettamuksilla. Samalla arviointiin loppusijoitustoiminnan mahdollisten häiriöiden ja muutosten lämpöteknistä vaikutusta ja niihin varautumista loppusijoitustilan käytössä ja mitoituksessa.

### ***Kapselin rakenne ja valmistustekniikka***

Ydinjättekapselin vaurioitumismekanismia käsittely- ja kuljetus-onnettomuuksissa on tarkasteltu energialaskuilla ja dynaamisilla FE-analyysillä ja tarkastelujen tulokset on raportoitu vuoden 2001 aikana. Kapselin kuparivaipan seinämän ohentamisen merkitystä muihin osaluoksiin on selvitetty. Selvityksen perusteella kuparivaipan seinämäpaksuuden ohentamisella saavutetaan valtaosin teknillisiä ja välillisesti myös kustannusetuja, mutta toisaalta ohentaminen saattaa myös vaikeuttaa kuparivaipan valmistusta. Ratkaiseva tekijä kuitenkin on pitkäaikaisturvallisuus, johon liittyvien tutkimusten edistyessä ohenta-

misen vaikutusten arviointia jatketaan.

Kuparivaipan ja valurautaisen sisäosan väliin jää sisäkkäin asentamisen helpottamiseksi noin 1 mm rako. Pohjaveden hydrostaattisen paineen, kapselia ympäröivän bentoniitin turpoamisesta aiheutuvan paineen ja kapselin suhteellisen korkean lämpötilan johdosta kuparivaipassa tapahtuu virumista, minkä johdosta rako pienenee, kunnes se on kokonaan sulkeutunut. Tätä sekä erityisesti kuparivaipan hitsisaumojen virumista loppusijoituksen alkuvuosikymmeninä on tarkasteltu vuoden 2001 aikana.

Posiva ja Outokumpu Poricopper Oy ovat jatkaneet yhteishankkeena kuparikapselin vaipan valmistamiseen liittyvää kehitystyötä. Vuoden 2000 aikana valmistettiin Posivan ensimmäinen saumaton loppusijoituskapselin kuparivaippa nk. pisto- ja vetomenetelmällä Vallourec & Mannesmann Tubes –putkitehtaalla Saksassa. Vuoden 2001 aikana kuparivaippa paloiteltiin useaan kappaleeseen materiaalin tarkempia tutkimuksia varten. Tulokset olivat lupaavia, minkä johdosta

menetelmän kehittämistä jatketaan. Vuoden 2001 keväällä solmitun SKB-Posiva –yhteistyösopimuksen myötä mm. pisto- ja vetomenetelmää kehitetään yhdessä SKB:n kanssa. Kuparikapselin eri valmistusmenetelmien teknis-taloudellisesta soveltuvuudesta tehtiin alustava selvitys.

Kapselin sulkemiseen suunnitellun elektronisuihkuhitsausmenetelmän (EB-hitsaus) kehitystyötä on jatkettu vuoden 2001 aikana. Hitsauskokeiden avulla on haluttu soveltaa aiemmin hyväksi havaitut parametrit toiseen, paksun kuparin hitsaukseen paremmin soveltuvaan EB-hitsauslaitteistoon. Nykyisellä laitteistolla myös aiemmin ongelmalliset hitsin aloitus ja lopetus sekä hitsatun pinnan uudelleen sulttamisella hitsin pinnan laatu on saatu virheettömiksi.

Vuonna 2000 aloitettu kirjallisuusselvitys ultraäänitekniikoiden soveltuvuudesta kuparikapselin tarkastukseen saatiin päätökseen. Kuparikapselin hitsisauman tarkastuksessa käytettäväksi suunnitellun ultraäänimenetelmän soveltuvuutta ja erotuskykyä on vuoden 2001 aikana

arvioitu EB-hitsauskokeista saatujen koekappaleiden tarkastuskokeilla.

## ***Kapselointilaitoksen suunnittelu***

Vuoden 2001 aikana kapselointilaitoksen sijoitusvaihtoehtoja Olkiluodossa on tarkasteltu. Kapselointilaitoksen sijoituksessa joko KPA-varaston tai loppusijoitustilojen yhteyteen on pyritty hyödyntämään saaren infrastruktuuri mahdollisimman tehokkaasti. Kummastakin vaihtoehdosta on laadittu laitoskuvaus, jossa on myös arvioitu vaihtoehtojen toimivuutta eri näkökannoilta. Vaihtoehtojen kustannusarviot laaditaan vuoden 2002 aikana.

## ***Loppusijoitustekniikka***

Olkiluodon kallion rakoiluominaisuuksia analysoitiin tilastollisesti 300 – 600 m syvyysvälillä kallion stabiilisuuteen ja pohjaveden virtaukseen vaikuttavien ominaisuuksien osalta. Rakoilun vaikutusta kalliotilojen suuntaukseen arvioitiin Key-Block –ohjelmalla tehtyjen laskelmien avulla.

Anisotrooppisen gneissimäisen kiven murtumista ja sen aikana tapahtuvaa rakojen syntymistä ja etenemistä on mallinnettu kolmiulotteisesti käyttäen partikkelimekaanista PFC3D-ohjelmaa. Työssä kehitettiin puristusmurtolujuuden määrittämisessä käytettyjä anisotrooppisia kivinäytteitä simuloiva malli, jota käyttäen verrattiin mallinnettuja ja kivinäytteille kokeellisesti todettuja lujuuksia, mikrorakoiluja ja muodonmuutoksia.

TKK:n Kalliotekniikan laboratoriossa käynnistyi loppusijoitustilojen kalliomekaniikkaan liittyvä diplomityö, jossa keskitytään erityisesti akustisen emission käyttöön kalliotilojen louhinnan yhteydessä tehtävissä seurantamittauksissa. Työ valmistuu vuonna 2002.



*Kapselin veto Vallourec & Mannesmann Tubes –putkitehtaalla Saksassa.*

Kalliotilojen vuotovesien hallintaan tähtäävä suunnittelu- ja kehitystyö käynnistettiin vuonna 2001. Tiivistystapojen suunnittelua varten tarkasteltiin loppusijoitustilojen tiivistämisen toimintavaatimuksia ja niihin pohjautuvia suunnitteluperusteita. Vuotovesien rajoittamiseksi tarvittavia tiivistysmenetelmiä suunniteltiin alustavasti. Tärkeimpiä menetelmiä ovat kalliotilojen sijoittaminen mahdollisimman ehjään kalliolohkoon, vettäjohtavien rakojen tiivistäminen injektioimalla ja vettäjohtavien rakenteiden tiivistäminen vedenpainerakentein. Toimintavaatimuksia, suunnitteluperusteita ja tiivistysmenetelmiä käsiteltiin yhdessä ruotsalaisten asiantuntijoiden kanssa Posivan ja SKB:n yhteisessä workshopissa "Grouting to limit water inflow to the deep repository during the pre-closure stage", joka järjestettiin lokakuussa Olkiluodossa.

Kalliotiloihin tulevien vesivuotojen ja injektoitavuuden arviointimenetelmiä kartoitettiin kirjallisuusselvityksen avulla. Työn ensimmäisessä vaiheessa keskityttiin matemaattisiin menetelmiin ja arvioitiin niiden soveltuvuutta. Toisessa vaiheessa pohdittiin geologisten tekijöiden vaikutusta injektointityöhön ja kartoitettiin käytössä olevat menetelmät, joilla voidaan arvioida ja luokitella kallion, rakovyöhykkeen tai raon injektoitavuutta. Injektointitöiden suunnittelua varten kartoitettiin suomalaisia ja ruotsalaisia injektointikokemuksia.

Dynaamisen injektointipaineen tuottavan laitteiston prototyyppi valmistettiin ja sen toimintaa testataan vuoden 2002 alussa pilottikokeella kalliotunnelin seinään porattavissa rei'issä.

Vuonna 2001 suunniteltiin yhteistyössä KTH:n (Kungliga Tekniska Högskola) kanssa koeohjelma sementtipohjaisten injektointiaineiden laboratorikokeita varten. Suunnittelua edelsi kaupallisesti saatavissa olevien injektointiaineiden kartoitus, jonka perusteella testattavat materi-

aalit on valittu. Laboratorikokeet tehdään vuonna 2002 VTT:llä.

Posivan ja SKB:n välisenä yhteistyönä on käynnistetty matalan pH:n tuottavien sementtipohjaisten aineiden kehitystyö. Tavoitteena on varmistua siitä, että pohjaveden pH ei sementin käytön vaikutuksesta nouse yli 11:n. Vuonna 2001 tehtiin esiselvitys, jonka perusteella käynnistettiin vuoden 2002 loppuun ulottuva injektointiaineiden, kalliopulttien juotoslaastin ja sideaineiden valmistustekniikan kehitystyö. Työ tehdään pääasiassa CBI:ssä (Cement och Betong Institutet) ja KTH:ssa.

Loppusijoitustilojen alustavat asemointitarkastelut valmistuivat vuonna 2001. Niissä tarkasteltiin 18 esimerkin avulla käytetyn polttoaineen (4000 tU) loppusijoitustilojen asemointia Olkiluodon kalliooperään 400–500 m syvyyteen. Esimerkit käsittivät sekä KBS-3- että MLH-tyyppisiä yksi- ja kaksikerrosratkaisuja. Loppusijoitustilojen sijoitukseen vaikuttavina tekijöinä tarkasteltiin maanpintaolosuhteita, kalliomallia, kallion rakennettavuutta, pohjavesiolosuhteita ja käytettävissä olevia kallioresursseja. Tilojen suuntaukseen vaikuttavina tekijöinä tarkasteltiin pääjännityksen suuntaa, liuskeisuutta ja rakoilua.

Kalliotilojen rakentamisen aikaisen suunnittelun, tutkimusten ja rakentamisen yhteensovittamista on suunniteltu ns. observational metod (OM-menetelmä) –periaatteen mukaan. Vuoden 2001 aikana on tarkasteltu sekä OM-menetelmän periaatteita että kuilunajon aikana tapahtuvaa lujitusten suunnittelua.

Vuoden 2001 aikana on suunniteltu ja arvioitu loppusijoitustunnelien täytön vaihtoehtoisia ratkaisuja kuten täyttöä murskeella ja bentoniitilla, osastoitua mursketäyttöä ja täyttöä paisuvahilaisella luonnonsavella. SKB:n kanssa yhteistyössä on myös testattu Friedland-saven tiivistämistä ja asennettavuutta Äspön kalliolaboratoriossa. Kokeessa käytettiin samoja menetelmiä kuin asen-

nettaessa murskebentoniittiseoksia. Kertomusvuoden lopussa aloitettiin laboratorikokeet, joilla selvitetään Friedland-saven kokoonpuristuvuutta.

Vuoden 2001 aikana jatkettiin osittain Posivan ja SKB:n välisenä yhteistyönä ja osana SKB:n Äspö kalliolaboratorioprojektia sekä poraus-räjätysmenetelmällä että mekaanisesti (TBM = Tunnel Boring Machine) louhittujen kalliotilojen häiriövyöhykkeiden ominaisuuksien tutkimista. Samoin jatkettiin loppusijoitusreikien porauksen aiheuttaman häiriön tarkastelua Olkiluodon tutkimustunneliin porattujen täyden mittakaavan loppusijoitusreikien ympärillä, tutkimustunnelin karakterisoinnin yhteenvetoraportin laadintaa sekä tutkimustunnelissa suoritettavan in-situ murtokokeen valmistelua, jolla tutkitaan kiven murtumisen numeerisen mallinnuksen ja todellisten kiveen syntyvien murtumien yhteensopivuutta.

Posiva järjesti Crystalline-ryhmän kansainvälisen työkokouksen, jossa tarkasteltiin sementin käyttöä maanalaisissa tiloissa sekä alhaisemäksisten sementtilaatuksen kehitystyötä. SKB:n kanssa pidettiin kahdenvälinen työkokous vuotovesien hallinnasta ja kallion tiivistämisestä. Yhdessä SKB:n kanssa järjestettiin myös kansainvälinen työkokous loppusijoitustilojen täytöstä ja sulkemisesta. Kokouksessa käsitellyt asiat tullaan julkaisemaan Äspön kalliolaboration julkaisusarjassa. Ryhmä Posivan asiantuntijoita vieraili Kanadassa URL-kalliolaboratoriossa, jossa heille järjestettiin työkokous ja tutustuminen kalliolaboration suunnitteluun, rakentamiseen ja siellä tehtyihin tutkimuksiin sekä kanadalaisiin suunnitelmiin loppusijoitustilojen täytöstä ja sulkemisesta.

ONKALOA koskevien selvitysten tulokset sekä yksityiskohtaiset suunnitelmat julkaistaan vuosina 2002 ja 2003. Vuonna 2001 on julkaistu työraportit mm. ulkomaisista kalliolaboratorioista, vesivuotojen

arviointimenetelmistä ja kallion tiivistämisestä, kallion anisotrooppisten lämmönjohtavuusominaisuuksien vaikutuksista sekä bentoniittipohjaisten täyteaineiden ominaisuuksista ja niiden kokeellisesta määrittämisestä.

## ***Teknisten päästöesteiden toimintakykytutkimukset***

Teknisen suunnittelun pohjaksi tarvittavaa tietoa saadaan osallistamalla LOT-kokeeseen, FEBEX-projektin toisen vaiheen tutkimuksiin sekä CROP-projektiin. Lisäksi on käynnissä BENIPA-projekti, jossa tarkastellaan bentoniittipäästöesteiden roolia PA-tarkasteluissa. Teknisiin päästöesteisiin liittyviä toimintakykytutkimuksia on käsitelty kohdissa Pitkäaikaisturvallisuus ja Äspön kalliolaboratorio.

Posiva osallistuu EU:n "Cluster Repository Project – A Basis for Evaluating and Developing Concepts of Final Repositories for High-level Radioactive Waste (CROP)" hankkeeseen, johon EU-maiden lisäksi osallistuvat Japani, Kanada ja Yhdysvallat. Hankkeessa kerätään ja arvioidaan kokemuksia maanalaisten tutkimustilojen rakentamisesta ja niissä tehdyistä tutkimuksista ja kokeista. Vuonna 2001 Posiva laati katsaukset Olkiluotoon rakennettavan loppusijoitustilan teknisistä vapautumisesteistä sekä VLJ-luolan tutkimustunnelissa tehdyistä kokeista.

## ***ÄSPÖN KALLIO-LABORATORIO***

Posiva solmi kesäkuussa SKB:n kanssa kattavan yhteistyösopimuksen, joka sisältää puitteet tutkimus- ja kehitysohjelmalle kapselin ja kapselointitekniikan, loppusijoitustekniikan ja paikkatutkimusten sekä paikanarvioinnin osalta sekä kaupallisten palvelujen hyödyntämisel-

le. Uusi yhteistyösopimus lisää kahdenvälisiä projekteja Posivan ja SKB:n välillä. Osa Äspön kalliolaboratorion tutkimuksista jatkuu käytännössä edellisvuosien tapaan, mutta uusia yhteistyöprojekteja ei koordinoita Äspö-ohjelman kautta. Tutkimusten painopiste säilyy edellisten vuosien kaltaisena: Olkiluodossa keskitytään pääasiassa kallioperäolosuhteiden tutkimukseen sekä paikkaspesifisten tai paikasta riippuvien tekijöiden arviointiin, Äspössä tehdään teknisiin päästöesteisiin ja loppusijoitustekniikkaan liittyvä yleinen testaus ja demonstrointi. Äspön kalliolaboratorio-yhteistyöhön kuului kahdenkeskisiä (Posiva-SKB) tutkimuksia, kuten pohjavesikemian stabiilisuus -projekti ja kansainvälisiä EU-hankkeita, kuten prototyypin loppusijoitus (Prototype Repository) -koe. Lisäksi Posiva osallistui erillisen sopimuksen puitteissa suuren mittakaavan TRUE (Tracer Retention Understanding Experiment in Block Scale) -kokeeseen yhdessä Nirexin, ANDRAN, ENRESAn, JNC:n ja SKB:n kanssa.

Äspön kalliolaboratorion kansainvälisen yhteistyön puitteissa tehtävät tutkimukset on ryhmitelty seuraavasti:

- Kallioperän tutkimusmenetelmät ja niiden soveltaminen loppusijoituspaikan mallintamiseen,
- Kallioperän päästöesteominaisuuksia kuvaavien mallien testaaminen,
- Loppusijoituskonseptin teknologian ja toimivuuden osoittaminen käytännössä.

SKB:n kanssa yhteistyönä toteutettu hydrokemian stabiilisuusprojekti saatettiin loppuun. Projektissa selvitettiin mm. ilmastomuutosten vaikutusta hydrologiaan ja kemiaan kuten pH- ja redoxolosuhteisiin sekä teoreettisen tarkastelun että mallinnuksen avulla. Pohjavesikemian koostumusta tarkasteltiin kolmena eri jaksena, 1000 vuotta sulkemisen jälkeen, 1000 - 10 000 vuoden jälkeen ja 10 000 - 100 000

vuoden jälkeen. Projektin loppuraportti ilmestyi vuonna 2001.

Äspön kalliolaboratoriossa käynnistettiin vuonna 2000 kolloidien stabiilisuutta ja liikkuvuutta tarkasteleva COLLOID-projekti. Projektin avulla selvitetään bentoniitin roolia kolloidien muodostajana, kolloidien määrää Äspön syvässä pohjavesissä sekä kolloidien muodostumista ja kulkeutumista pohjavesiolosuhteissa. Posiva liittyi projektiin vuoden 2001 aikana. Posivan intressinä on vertailla eri näytteenottotapoja ja analyysimenetelmiä laadunvalvontaa silmälläpitäen sekä kerätä kokemuksia kolloidien ja syvien pohjavesien näytteenotosta maanalaisissa olosuhteissa. Lisäksi vertaillaan SKB:n ja Posivan näytteenottomenetelmien vaikutusta kolloidien analyysituloksiin. Pohjavesien näytteenottokampanja järjestettiin syksyllä. Tuloksia arvioidaan SKB:n kolloidi-workshopissa keväällä 2002.

Äspön kalliolaboratoriossa 450 metrin syvyydellä on menossa vesinäytteenoton kehitystyö ja näytteenotto erittäin vähän vettäjohtavasta kalliosta, nk. matriksinestenäytteenotto. Matriksineste todennäköisesti vaikuttaa syvien suolaisten pohjavesien geokemiaan ja siksi sen alkupe-  
rän, iän ja syntyvän määrittäminen on tärkeää. Suomessa selvitetään matriksinestetutkimukseen liittyen mineraaleissa esiintyviä neste-sulkeumia; niiden sisältöä, alkupe-  
rää ja geokemiaa.

Posiva osallistui pohjaveden virtausta ja kulkeutumista selvittävän Task Force -ryhmän tehtäviin. Vuoden 2001 aikana jatkettiin Task 5-tehtävän mallinnusta ja raportointia, jossa pyrittiin yhdistämään pohjaveden virtausmalli ja geokemiallinen malli. Suomesta mallinnukseen osallistui kolme ryhmää VTT:ltä. Vuoden 2001 aikana suoritettuna Task 6-tehtävän tarkoituksena oli yhdistää paikanarviointi- ja mallinnusprosessit liittyen nesteiden liikkumiseen rakenteissa kalliiossa. Posivan kannalta on erittäin hyödyllistä selvittää

paikkatutkimusten tulosten ja mallinnettujen kulkeutumisreittien yhteensopivuutta.

Suuren mittakaavan (10–50 m) TRUE Block Scale -kokeessa päämääränä oli oppia ymmärtämään paremmin pohjaveden virtauksia ja merkkiaineen kulkeutumista rakoverkostossa. Posiva osallistui kokeeseen laatimalla kulkeutumisenusteita tietyille kokeen osille. Samaa mallia käytettiin Phase C -merkkiainekokeen onnistumisen arvioinnissa. Samaan projektiin liittyen tutkittiin Äspön kivilajien huokoisuutta ja mikrorakoilua käyttäen <sup>14</sup>C-PMMA menetelmää. Posiva osallistui myös TRUE Block Scalen loppuraportin kirjoittamiseen.

Posiva osallistuu SKB:n Äspön kalliolaboratoriossa toteutettavaan "Prototype Repository" -projektiin, joka on hyväksytty EU:n tutkimuspuiteohjelmaan vuosina 2000-2003. Projektissa testataan ja demonstroidaan KBS-3-loppusijoitusratkaisua rakentamalla täyden mittakaavan pitkäaikaiskoe suljetulle loppusijoitustunnelille. Vuoden 2001 aikana neljään täyden mittakaavan loppusijoitusreikään sijoitettiin lämmittimil-

lä varustetut kapselimallit, jotka ympäröitiin kompaktoidulla bentoniitilla. Lisäksi tilat instrumentoitiin ja niihin rakennettiin myös näytteenottojärjestelmät. Lopuksi tunneli täytettiin murskeen ja bentoniitin seoksella sekä suljettiin jykevällä betonirakenteella. Posiva osallistui mm. koejärjestelyiden ja rakenteiden suunnittelun ja asentamisen arviointiin sekä tunnelipohjavesinäytteiden oton ja analysoinnin valmisteluun sekä tulosten arviointiin. Lähialueella mallinnetaan pohjaveden tasapainoa bentoniitin ja kallion rajapinnalla. Vuoden 2001 aikana kiinnitettiin mallinnustapa ja tehtiin alustavia laskelmia.

Posiva osallistuu Äspön kalliolaboratoriossa tehtävään LOT-kokeeseen (Long Term Test of Buffer Material), jossa pyritään validoimaan puskurimateriaalissa tapahtuvien pitkäaikaisprosessien hypoteeseja ja malleja sekä niihin läheisesti liittyviä prosesseja koskien mikrobiologiaa, radionuklidien kulkeutumista, kuparin korroosiota ja kaasun kulkeutumista. Kokeet tehdään noin puolen kilometrin syvyydellä, tunnelin pohjaan poratuissa, halkai-

sijaltaan 30 cm:n ja syvyydeltään 4 metrin mittaisissa rei'issä. Viidesä eri reiässä tehtävät kokeet aloitettiin kesällä 1999 ja niiden kestoksi on suunniteltu 1, 5 ja 20 vuotta. Testissä olleen materiaalin fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia, mineralogialta ja mikrorakennetta on tarkoitettu verrata kokeen lopussa referenssimateriaalin vastaaviin ominaisuuksiin. Suomessa selvitetään bentoniitissa tapahtuvia kemiallisia prosesseja sekä huokosveten ja bentoniittiin muodostuvia kemiallisia olosuhteita. Ensimmäiset yksivuotiset bentoniittinäytteet toimitettiin Suomeen tutkittaviksi ja alustavien tulosten mukaan näytteessä on tapahtunut huokosveden puristumista kyllästymisvaiheen edetessä. Tulokset raportoidaan vuoden 2002 aikana.

Posivan ja SKB:n välisenä yhteistyönä testattiin saksalaisen Friedland-saven tiivistymistä ja käytettävyyttä tunnelin täyteaineena pienessä kenttäkokeessa Äspö-laboratorion Method-tunnelissa. Kokeessa käytetyt tiivistysmenetelmät ja -tekniikat olivat samat kuin Prototype Repositoryssa käytetyt.

# VOIMALAITOSJÄTTEIDEN HUOLTO

Runsasaktiivisen käytetyn polttoaineen lisäksi Olkiluodon ja Loviisan voimalaitoksilla kertyy käytön aikana keski- ja vähäaktiivisia ydinjätteitä, joita ovat käytetyt reaktorin sisäosat (esim. säätösauvat ja sydäninstrumentit) ja voimalaitosjätteet (esim. ioninvaihtohartsit ja huoltojäte). Käytettyjen reaktorin sisäosien huoltoa käsitellään luvussa "Käytöstäpoistoseelvitykset" ja voimalaitosjätteiden huoltoa tässä luvussa.

## OLKILUODON VOIMALAITOS

### Toimintaperiaate ja aikataulu

Voimalaitosjätteistä pääosa pakataan heti käsittelyä, varastointia ja loppusijoitusta varten. Prosessivesien puhdistukseen käytetyt keskiaktiiviset ioninvaihtohartsit kiinteitetään bitumiin ja seos valetaan terästynnyreihin. Osa vähäaktiivisista jätteistä (kokoontuiva sekalainen huoltojäte) tiivistetään terästynnyreihin hydraulisella puristimella ja osa (metalliromu ja suodatinsauvat) pakataan sellaisenaan teräs- ja betonilaatikoihin sekä terästynnyreihin. Kokoontuivaa jätettä sisäl-

tävät tynnyrit kompaktoidaan siten, että tynnyreiden lopullinen korkeus on noin puolet alkuperäisestä korkeudesta ja halkaisija ei muutu. Myös metalliromua voidaan kompaktoida ennen pakkaamista. Sekalaiset nestemäiset jätteet ja lietteet kiinteitetään sekoittamalla jätettä ja sideainetta toisiinsa tynnyrissä, joka jää kiinteystuotteen pakkaukseksi.

Voimalaitosjätteitä varastoidaan väliaikaisesti voimalaitosyksiköillä, keskiaktiivisen jätteen välivarastossa (KAJ-varastossa), vähäaktiivisen jätteen välivarastossa (MAJ-varastossa), aidatulla varastointialueella sekä vähän myös KPA-varastossa Olkiluodon voimalaitosalueella.

Voimalaitosjätteiden loppusijoituslaitoksen (VLJ-luolan) nykyisiin jätesiiiloihin loppusijoitetaan voimalaitoksen käytön aikana kertyvät keski- ja vähäaktiiviset jätteet. Hyvin vähäaktiiviset jätteet vapautetaan valvonnasta ja viedään Olkiluodon voimalaitosalueella sijaitsevalle kaatopaikalle tai luovutetaan muualle esim. käsiteltäväksi uusiokäyttöä varten.

### Nykytilanne varastoinnissa ja loppusijoituksessa

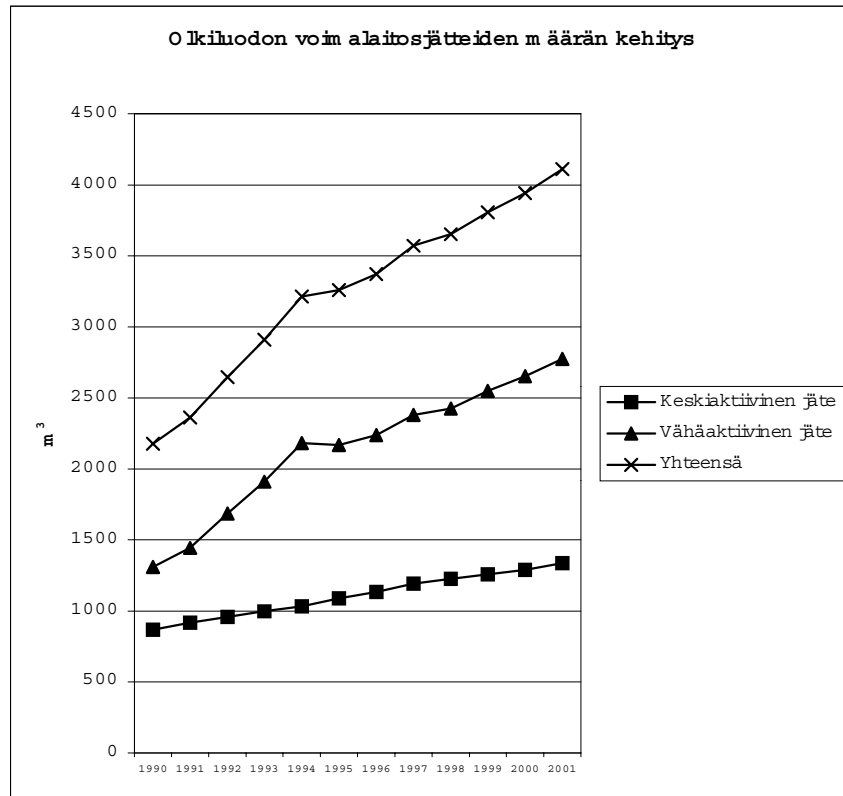
Vuoden 2001 lopun varasto- ja loppusijoitustilanne selviää alla ole-

vasta taulukosta. Jätteet on pakattu tynnyreihin (à 200 l tai kompaktoituna noin 100 l), teräslaatikoihin (à 1,3 tai 1,4 m<sup>3</sup>) ja betonilaatikoihin (à 5,2 m<sup>3</sup> netto). Lisäksi TVO:lla oli Studsvik Energiteknik AB:n varastossa Studsvikissa 5 tynnyriä koe-poltossa muodostunutta vähäaktiivista tuhkaa. Tynnyreitä ja laatikoita varastoidaan tarvittaessa laitosyksiköiden varastotiloissa ja KAJ-varastossa ennen loppusijoitusta VLJ-luolaan. Tynnyrit ja teräslaatikot sijoitetaan ennen VLJ-luolaan vientiä isoihin (à 5,2 m<sup>3</sup> netto) ja pieniin (à 3,9 m<sup>3</sup> netto) betonilaatikoihin siten, että isoon betonilaatikkoon sijoitetaan 16 tynnyriä tai 7 tynnyriä ja 2 teräslaattikkoa ja pieneen betonilaatikkoon 12 tynnyriä. Kompaktoituja tynnyreitä sijoitetaan betonilaatikoihin vastaavasti kaksinkertainen määrä.

KAJ-varastossa ja sen viereen rakennetulla aidatulla varastointialueella säilytetään suuria kontaminoituneita metallikomponentteja. Käytettyjä ilmastointisuodattimia ja muita pakkaamattomia voimalaitosjätteitä varastoidaan lisäksi laitosyksiköillä. Pakkaamattomissa oli mukana myös bitumoimattomat hartsit sekä jäteöljy. Osa metalliromusta pakataan VLJ-luolassa käytettäviin betonilaatikoihin. Osa pakkaamattomista jätteistä on tarkoitus

### Olkiluodon voimalaitoksen voimalaitosjätteet

	Kokonaisjättemäärä		KAJ-siilo (kpl)	VLJ-luolassa	
	(kpl)	(m <sup>3</sup> )		MAJ-siilo (kpl)	Yhteensä (m <sup>3</sup> )
Bitumoitu jäte	6684	1336	6291		1258
Muu voimalaitosjäte					
- tynnyreissä	5839	1050		5617	1004
- teräslaatikoissa	454	629	2	450	624
- betonilaatikoissa	157	816		151	785
- pakkaamaton		271			
<b>Yhteensä</b>		<b>4102</b>			<b>3671</b>



myöhemmin vapauttaa valvonnasta uusiokäyttöä tai kaatopaikalle viennin varten. Esimerkiksi hyvin vähäaktiivinen jäteöljy, jota oli vuoden 2001 lopussa yhteensä 13 m<sup>3</sup>, voitaneen vapauttaa myöhemmin valvonnasta uusiokäyttöä varten.

Voimalaitosyksiköiden jäterakennuksiin mahtuu nykyisin noin 1000 tynnyriä kumpaankin. MAJ-varastossa varastoidaan enimmäkseen vain hyvin vähäaktiivisia huoltojättesäkkejä ja romua, jotka on tarkoitettu vapauttaa valvonnasta. KAJ-varastoon voidaan sijoittaa tynnyreitä, laatikoita ja suurikokoisia kontaminoituneita metallikomponentteja noin 6000 tynnyriä vastaava määrä. VLJ-luolan keskiaktiivisten jätteiden siilon kapasiteetti tynnyreinä (200 l) on 17 360 tynnyriä ja vähäaktiivisten jätteiden siilon 24 800 tynnyriä eli yhteensä noin 8400 m<sup>3</sup> tynnyreihin pakattuja voimalaitosjätteitä, joka vastaa Olki-

luodon kahden laitosesikön 40 vuoden käytöstä kertyvää jätemäärää. Alueen kallioperään voidaan tarpeen vaatiessa rakentaa lisää loppusijoitustiloja VLJ-luolan laajenuksena.

Säteilyturvakeskuksen hallussa olevat ns. pienjätteet varastoidaan erillisen sopimuksen nojalla Olkiluodon VLJ-luolaan. Pienjätteet koostuvat lähinnä sairaaloissa, tutkimuslaitoksissa ja teollisuuslaitoksissa käytetyistä radioaktiivisista aineista. Tähän mennessä on VLJ-luolaan kertynyt 41 m<sup>3</sup> pienjätettä.

### ***Voimalaitosjätteisiin liittyvät tutkimukset***

Vähäaktiivisen huoltojätteen mikrobiologista hajoamista tutkitaan suuren mittakaavan kokeessa VLJ-luolan louhintatunnelissa. Hanke oli osa EC:n ydinfissioturvalli-

suusohjelman PROGRESS-projektia vuosina 1997-1999. Tutkimuksella tarkennetaan huoltojätteessä muodostuvan kaasun määrärviota ja parannetaan tietämystä koko hajoamistapahtumasta VLJ-luolan sulkemisen jälkeisessä tilanteessa. Lisäksi työssä seurataan aktiivisuuden siirtymistä jätetynnyreistä ympäröivään veteen. Kahdenkymmenen kuutiometrin suuruudessa terästankissa on yksi VLJ-luolan betonilattikko kompaktointua huoltojätettä sisältävänä tynnyreinen. Koe on käynnistetty elokuussa 1997. Tynnyreissä aluksi olleen ilman poistutua on kaasunkehitys ollut vähäistä verrattuna turvallisuusanalyysissä käytettyyn arvoon. Kaasunkehitysnopeuden keskiarvo on ensimmäisen koevuoden jälkeen ollut noin 70 dm<sup>3</sup>/kuukaudessa, kun VLJ-luolan FSAR-turvallisuusanalyysissä käytetty arvo oli kokeen mittakaavaan suhteutettuna noin 900 dm<sup>3</sup>/kuukau-

nessa.

Vesikemian, mikrobi- ja kaasuanalyysien mukaan koeolosuhteet ovat selvästi anaerobiset. Anaerobisten bakteerien määrä on kasvussa, veden sulfidi- ja rautapitoisuudet ovat myös voimakkaasti kasvaneet ja metaani on dominoiva kaasu. Mitatut kemianparametrit ja mikrobit osoittavat selvästi, että säiliön pohjalla ja tynnyrien kansitasolla vallitsevat varsin erilaiset kemialliset ja mikrobiologiset olosuhteet.

Tutkimukset etenevät laaditun tutkimussuunnitelman mukaisesti. Kennostoa on uusittu osittain v. 2001, vaihtamalla teräksinen kenno lasikennoksi. Seurannan analyysiohjelmaa on arvioitu v. 2001 laaditussa yhteenvetoraportissa. Arvion perusteella on tarkastettu sekä analysoitavia parametreja, näytteenottpisteitä että näytteenottoväliä vesikemian, kaasujen ja mikrobien osalta.

### ***VLJ-luolan käytönaikaiset tutkimukset***

VLJ-luolan kalliotilojen käytönaikainen seuranta (kalliomekaniikka, hydrogeologia, pohjavesikemia, luolan ilma) jatkui vuonna 2001 aiemmin laaditun tutkimus- ja seurantaohjelman mukaisesti.

Olkiluodon VLJ-luolan alueen pohjavesikemiaa on seurattu 1980-luvulta lähtien. Luolan kolmelta pohjavesiasemalta on rakentamisen ja käytön aikana otettu vesinäytteitä analysoitavaksi. VLJ-luolan monitorintiohjelman mukaisesti näytteenottoa on edeltänyt veden pH:n, sähkönjohtavuuden, redox-potentiaalin (Eh), liunneen hapen ja lämpötilan seuranta.

Vuonna 2001 suoritettiin kenttämittaukset pohjavesiasemalta PVA2. Tulosten perusteella mittauspisteessä vallitsevat pelkistävät ja lievästi emäksiset olosuhteet.

Sinkkipinnoitteen korroosiokeotutkimuksen tavoitteena on saada

tietoa sinkittyjen kallion lujituspulttien korroosionkestosta Olkiluodon VLJ-luolan olosuhteissa sillä oletuksella, että kalliopultteja suojaavan sementtilaastin oletetaan täysin menettäneen suojausominaisuutensa.

Sinkityn teräksen korroosioikäyttyymistä VLJ-luolaan poratusta kairanreiässä tutkittiin vuonna 1998 aloitetulla kokeella. Näytteet sinkityistä teräslevyistä otettiin vuonna 2001. Aiempien näytteenottojen perusteella sinkkipinnoitteen syöpymistä tapahtui jo ensimmäisen koevuoden aikana, ja toisen koevuoden jälkeen sinkkipinnoite oli liuennut pois lähes kaikista tutkituista levyistä. Kairanreikään asennettiin kesällä 2000 betonisylintereitä, joiden avulla pyritään säätämään pohjaveden pH:ta emäksisemmäksi ja näin ollen jäljittelemään lujituspulttien todellista ympäristöä käyttötilanteessa. Kesällä 2000 asennettiin myös reikään sinkkilevyjä, joista jatkossa pystyttäen sinkkipinnoitettuja levyjä paremmin määrittämään sinkin syöpymisnopeus kyseisissä olosuhteissa. Vuoden 2001 näytteiden perusteella on sinkkilevyjen korroosio ollut vähäistä. Tähän on vaikuttanut mm. reiän vesikemiasa ja olosuhteissa tapahtuneet muutokset. Koejärjestelyitä pyritään muuttamaan vuonna 2002.

Vuonna 1999 laaditussa Olkiluodon VLJ-luolan kallioperän tutkimus- ja seurantaohjelmassa on määritelty tarve suorittaa tarkentavia ja täydentäviä vedenjohtavuuden mittauksia sekä pohjaveden virtausmittauksia VLJ-luolan alueella. Vuonna 1999 aloitetut mittaukset valmistuivat toimintakertomusvuonna. Kallion vedenjohtavuusprofiili mitattiin Posivan eromittauslaitteistolla tutkimusrei'issä YD5-YD7 ja YD13. Poikkivirtausmittauksia tehtiin rei'issä YD6 ja YD7. Mittausten perusteella laadittiin rei'ille YD5-YD7 tulppaussuunnitelmat monitulppalaitteistojen uudelleen asentamiseksi reikiin. Asennustyöt tehtiin vuonna 2001.

Monitulppalaitteistot sisältävät automaattiset pohjaveden hydraulisen painekorkeuden mittaus- ja tiedonkeruujärjestelmät. Painekorkeutta mittaavien painelähettimien tiedot kerätään GWMS 2001 –tiedonkeruulaitteisiin, joista ne edelleen lähetetään GSM-modeemin välityksellä Posivan mittaustietokoneelle. Mittaustiedot kootaan tiedostoiksi ja toimitetaan tulosten raportoinnista vastaavalle konsultille.

## ***LOVIISAN VOIMALAITOS***

### ***Toimintaperiaate ja aikataulu***

Keski- ja vähäaktiivinen voimalaitosjäte käsitellään ja varastoidaan voimalaitoksella. Käytetyt ioninvaihtohartsit ja haihdutusjätteet varastoidaan toistaiseksi kiinteyttämättä säiliövarastossa. Hyvän varastotilanteen takia kiinteytyslaitoksen rakentamiseen ei vielä ole ollut tarvetta.

Vuoden 1997 lopulla aloitettiin sementointiin perustuvan kiinteytyslaitoksen alustavan turvallisuusselostuksen (PSAR) laadinta. Suunnitelman mukaan kiinteytyslaitoksen rakentaminen voidaan aloittaa STUKin hyväksytyä alustavan turvallisuusselostuksen. Alustava turvallisuusselostus toimitettiin hyväksyttäväksi 3.1.2000 ja se hyväksyttiin 30.3.2001.

Fortum on panostanut voimakkaasti uusien käsittelymenetelmien kehittämiseen. Tämän tuloksena on otettu käyttöön menetelmä, jolla kesium voidaan erottaa haihdutusjätteestä hyvin pieneen jätetilavuuteen. Haihdutusjäte saadaan kesiumin erotuksella niin puhtaaksi, että aiempaa suurempi osa nesteestä voidaan vapauttaa valvonnasta kasvatamatta kuitenkaan vuosittaisia aktiivisuuspäästöjä.

Voimalaitoksen huolto- ja korjaustöissä syntyvä kuiva huoltojäte pakataan 200 litran terästynnyreihin. Puristuva jäte prässäetään tynnyreihin jätepuristimella, jolloin yhteen tynnyriin saadaan mahtumaan 3–4 kertaa enemmän jätettä kuin ilman tiivistystä.

Loviisan voimalaitoksen käytöstä kertyvät keski- ja vähäaktiiviset jätteet loppusijoitetaan laitosalueen kallioperään rakennettuihin tiloihin. Loppusijoitustila otettiin välivarastokäyttöön keväällä 1997. Käyttölupa loppusijoitustilalle saatiin keväällä 1998 ja tila on käytössä huoltojätteiden loppusijoitustilana vuoden 1999 kesästä alkaen.

### ***Nykytilanne varastoinnissa***

Vuoden 2001 lopun varasto- ja loppusijoitustilanne selviää alla olevasta taulukosta.

### ***Loppusijoitustila***

Loviisan voimalaitoksella syntyvä keski- ja vähäaktiivinen voimalaitosjäte loppusijoitetaan Hästholmenin saaren kallioperään rakennettuihin tiloihin. Loppusijoitustila otettiin välivarastokäyttöön keväällä 1997 ja loppusijoituskäyttöön kesällä 1999.

Loppusijoituslaitos muodostuu noin 1100 m pitkistä ajotunnelista ja noin 110 m:n syvyyteen rakennettavista tunneli- ja hallitiloista sekä porras- ja ilmastointikuiluista. Laitos toteutetaan kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä rakennusvaiheessa louhittiin kaikki tilat ja kulkuyhteydet valmiiksi. Huoltojätteelle louhittiin kaksi loppusijoitustunnelia sekä kiinteytetylle jätteelle loppusijoitus-halli. Valmiiksi saakka rakennettiin tässä vaiheessa vain yksi huoltojätetunneli ja koko loppusijoituslaitosta palvelevat järjestelmät. Toisessa rakennusvaiheessa tehdään toisen huoltojätetunnelin ja kiinteytetyjen jätteiden tilan rakennus- ja asennustyöt. Toisen vaiheen toteutusajan-kohta määräytyy kiinteytyslaitoksen rakennusaikataulun perusteella, ja ajoittuu nykyarvion mukaan vuosille 2003–2005.

Käytönaikaisista tutkimuksista on laadittu erilliset tutkimusohjelmat sekä ajotunnelin että hallitilojen osalta.

### ***Kesiumin erotuslaitos***

Kesiumin erotuslaitoksella on vuoden 2001 loppuun mennessä puhdistettu yhteensä yli 900 m<sup>3</sup> haihdutusjätettä 14:llä ioninvaihtokolonnilla, joiden kunkin tilavuus on 8 l. Kesiumin tehokas erottaminen haihdutusjätteestä on voimalaitoksella jo normaali käyttötoimi.

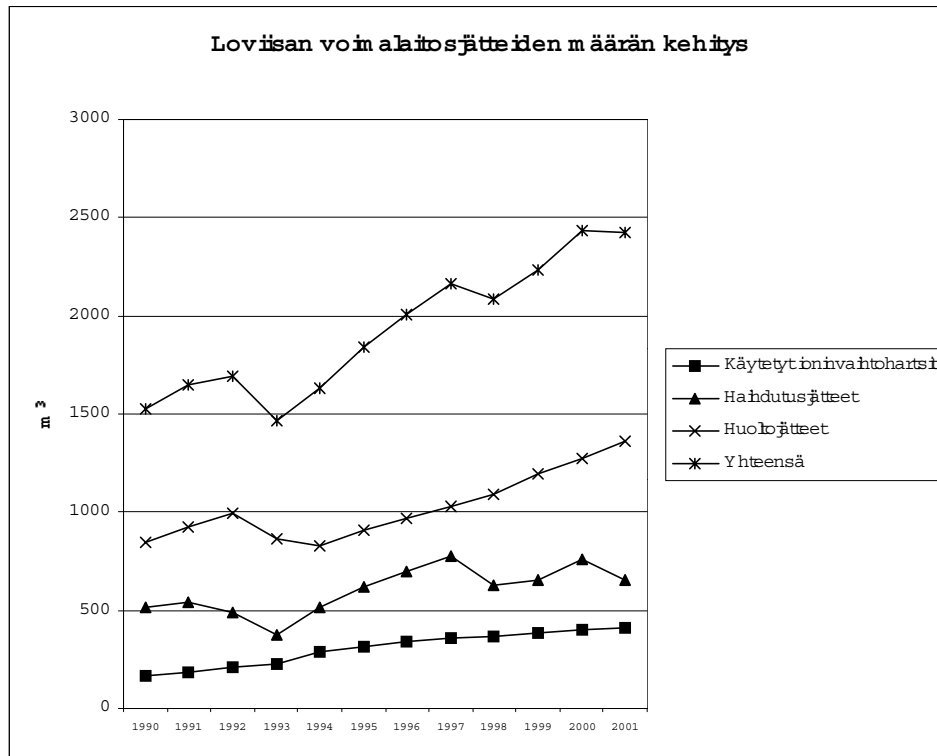
## ***Kiinteytysmenetelmien tutkimukset***

Loviisan märkien voimalaitosjätteiden peruskäsittelymenetelmäksi on valittu sementtikiinteytys. Kertomusvuoden aikana jatkettiin pohjasakkojen kiinteytysreseptien tarkistusta uusilla rakennussementeillä sekä jatkettiin vastaavilla kokeilla myös ioninvaihtohartsin kiinteytystuotteelle, jonka kiinteytysreseptiin kuuluva vesijohtovesi oli korvattu haihdutusjätteellä. Lisäksi saatiin koetuloksia pitkäaikaisäilytyksessä olevista loppusijoitusastioista sekä kiinteytystuotekappaleista, joista vanhimmat ovat jo yli 18 vuoden ikäisiä.

Eurooppalaisen sementtistandardin voimaantumisen sekä samanaikaisesti tapahtuneen ainoan kotimaisen sementtivalmistajan toteuttaman sementtiklinkkerin polttoprosessin, jauhatuksen ja raaka-ainepohjan muutostyön myötä kotimaiset rakennussementtityypit ovat merkittävästi muuttuneet. Vuonna 2000 saatiin päätökseen kartoitus näiden uusien sementtien soveltuvuudesta haihdutusjätteen ja ylivuotosäiliön pohjasakoille kehitettyihin kiinteytysresepteihin. Materiaalikoeket, esikoeket ja varsinaiset kiinteytyskokeet käsittäneen kehitystyön myötä on em. jätteiden kiinteytyskoostumukset saatu tarkistettua siten, että tuoreen ja kovettuneen lopputuotteen

### **Loviisan voimalaitoksen voimalaitosjätteet**

	Kokonaisjättemäärä		Osuus varastokapasiteetista	Aktiivisuus
	Laitoksella/ varastorakennuksissa	Loppusijoitustilassa		
	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(%)	(GBq)
Käytetyt ioninvaihtohartsit	409		48	17070
Haihdutusjätteet	655		63	495
Huoltojätteet	332	1031		230
<b>Yhteensä</b>	<b>1396</b>	<b>1031</b>		<b>17795</b>



ominaisuudet vastaavat asetettuja tavoitteita. Kertomusvuoden aikana jatkettiin vastaavanlaista kartoitustyötä myös ioninvaihtohartsin kiinteytyskoostumuksille, joissa massan notkeuden säätöön käytettävä vesijohtovesi oli korvattu haihdutusjätteellä, sekä jatkettiin turvallisuusanalyysien vaatimien materiaaliominaisuuksien testauksia uusille pohjassakkojen kiinteytysresepteille.

Puolimittakaavaisiin loppusijoitusastioihin vuonna 1987 kiinteytetyn aktiivisen ioninvaihtohartsin säilytyskoe jatkui. Jätepakkaukset ovat olleet pohjavesisäilytyksessä Loviisan voimalaitoksella jo 13 vuotta ja ovat odotusten mukaisesti edelleen hyväkuntoisia. Astioiden betonipinnoissa ei ole havaittu rakenteellista vaurioitumista ja säilytysveden koostumus on ollut suhteellisen vakaa. Säilytysveden aktiivisuusmittauksissa ei myöskään ole havaittu merkkejä nuklidien vapautumisesta

betoniastioiden sisältämästä kiinteytystuotteesta.

### ***VLJ-luolan käytönaikaiset tutkimukset***

VLJ-luolan käytönaikaisia tutkimuksia jatkettiin vuonna 2001 seurantaohjelman mukaisesti. Ohjelman tavoitteena on selvittää ja seurata loppusijoitustilojen ja sen lähiympäristön pohjaveden ja kallioperän ominaisuuksissa ja käyttäytymisessä tapahtuvia muutoksia pitkällä aikavälillä.

Seurantaohjelma on sisältänyt maanpinnalla olevien tutkimusreikien pohjavesipintojen seurantaan kerran kuukaudessa. Makean ja ns. suolaisen pohjaveden sijainti mitattiin rei'issä neljästi kuluneen vuoden aikana. Loppusijoitustiloissa on mitattu pohjaveden johtokykyä, painetta ja vuotoveden määrää kerran

kuukaudessa, paineen ja vuotovesimäärän osalta myös jatkuvasti. Mittaukset ovat keskittyneet vuotovesialtisiin ja varta vasten rakennettuun viiteen pohjavesiasemaan. Pohjavesiasemista otettiin loppuvuodesta vesinäytteet kemiallisia analyysejä varten. Kallioperäseurantaa on tehty pääosin automatisoidulla kalliomekaanisella mittausjärjestelmällä. Vuonna 2001 tehtiin myös tilojen kalliotekninen kuntokartoitus.

Vuoden 2001 havaintojen mukaan pohjaveden pinta seuraa melko tarkasti meriveden korkeusvaihteluja. Rakennusaikana pohjaveden pinta laski joitakin metrejä tilojen lähi-alueella, mutta tilojen valmistumisen jälkeen on ollut havaittavissa selvää kohoamista, mikä jatkui myös kuluneena vuonna. Makean ja suolaisen veden rajapinta vastaavasti on lievässä laskussa ollen tilojen alueella noin tasovälillä -5...-80 m eli selvästi tilojen yläpuolella.

Vuotovesien johtokykymittaukset osoittavat, että vesi on edellisvuotista vähän makeampaa johtokyvyn vaihdellessa tilojen eri osissa välillä 700–1500 mS/m.

Pohjaveden painearvoissa näkyy selvästi merenpinnan korkeusvaihteluiden vaikutus. Paine vaihtelee viidellä eri pohjavesiasemalla välillä 1...11 bar.

Vuotovesien määrämittauksia tehtiin yhteensä seitsemässä pisteessä eri puolilla loppusijoitustiloja. Louhintojen valmistuttua vuonna 1996 oli kokonaisvuoto suurimmillaan noin 300 l/min, mistä se on tasanaisesti laskenut, ja näyttäisi nyt vaikiintuneen tasolle 131–141 l/min. Vuotomäärästä noin puolet tulee ajotunnelista ja puolet muista tiloista. Huoltojätetilat ovat mittaustulosten perusteella käytännössä kuivia.

Pohjavesiasemien vedet ovat ns. suolaisia Na-Cl- ja Na-Ca-Cl-vesiä tai osin makeampia ns. välikerroksen Na-Ca-Cl/Na-Cl-vesiä. Vedet ovat lievästi pelkistäviä ja emäksisiä.

Kalliomekaanisten mittausten tulokset osoittavat hyvin stabiileja olosuhteita. Kalliotilojen katoissa ja seinissä tapahtuneet siirtymät ovat edellisvuosien tapaan erittäin pieniä, alle 0,1 mm:n luokkaa.

Kalliotilat ovat tehdyn kartoituksen perusteella hyvässä kunnossa. Salaojien toimivuutta parannettiin huuhtomalla ne puhtaiksi niihin vuosien mittaan kertyneestä sakasta.

### ***Voimalaitosjätteen loppusijoituksen turvallisuus selvitykset***

Kertomusvuoden aikana tehtiin soveltuvuus selvitys käytössä olevan FLUENT-virtauslaskentaohjelman käytettävyydestä loppusijoitustilan pohjavesi- ja turvallisuusanalyysiin ensisijaisesti lähialuemallinnukseen.

## ***YHTEISET SELVITYKSET***

TVO:n ja Fortumin yhteishankkeena tutkitaan betonin pitkäaikais säilyvyyttä loppusijoitusolosuhteissa Olkiluodon VLJ-luolassa ja Con-testa Oy:n (entinen Fortum Teknologian) betonilaboratoriossa. Tutkimushanke koskee sekä voimalaitosjäte- että käytöstäpoistojätehuoltoa. Tutkimusta käsitellään kohdassa Käytöstäpoistuselvitykset (sivu 25).

# KÄYTÖSTÄPOISTOSELVITYKSET

## **OLKILUODON VOIMALAITOS**

Olkiluodon voimalaitoksella kertyy käytön aikana keski- ja vähäaktiivisia ydinjätteitä, joita ovat käytetyt reaktorin sisäosat (esim. säätösauvat, sydäninstrumentit ja sydänritilät, moderaattoritankin kannet sekä höyrynerottimet). Koska ne loppusijoitetaan käytöstäpoiston yhteydessä, asiaa käsitellään tässä kohdassa.

Vuoden 2001 loppuun mennessä Olkiluodon voimalaitoksella oli kertynyt säätösauvoja 230 kpl, sydäninstrumentteja 204 kpl ja sydänritilöitä 2 kpl sekä 2 kpl moderaattoritankin kansia höyrynerottimiseen. Käytettyjä reaktorin sisäosia säilytetään laitosyksiköiden vesialtaissa.

Olkiluodon voimalaitoksen käytöstäpoiston suunnitelma saatetaan ajan tasalle viiden vuoden välein. Viimeksi ajan tasalle saatettu suunnitelma esitettiin 1998. Purkusuunnitelmien mukaan voimalaitosyksiköiden reaktoripaineastiat paloitellaan käytöstäpoiston yhteydessä. Suunnitelmassa on myös esitetty vaihtoehto, jossa reaktoripaineastiat irrotetaan ja loppusijoitetaan kokonaisina. Suunnitelma perustuu voimalaitosten noin 40 vuoden käyttöön ja noin 30 vuoden valvottuun säilytykseen ennen purkua. Lopullinen käytöstäpoistosuunnitelma laaditaan hyvissä ajoin ennen voimalaitosyksiköiden käytön päättymistä. Käytöstäpoistosta syntyvät keski- ja vähäaktiiviset jätteet sekä voimalaitoksen käytön aikana kertyneet käytetyt reaktorin sisäosat loppusijoitetaan nykyisen suunnitelman mukaan VLJ-luolan laajennusosaan.

Vuoden 2001 aikana on selvitetty reaktoripaineastioiden täyttämistä betonilla ennen niiden purkamista kokonaisena.

Voimalaitoksen purkujätteen aktiivisuusinventaarin kehittämiseksi jatkettiin aktiivisuusmittauksia laitoksen eri järjestelmistä. Aktivoituneen käytöstäpoistojätteen aktiivisuusinventaarien ja säteilytasojen laskentatyö aloitettiin.

Ydinvoimalaitoksen käytöstäpoistojätteen vapautusrajoja on tutkittu ja aiheesta on laadittu selvitys, jossa Olkiluodon reaktorien olosuhteet on erityisesti huomioitu. Seuraavaa purkusuunnitelman päivittämistä varten on valmisteltu jätemäärien tarkistus.

Pitkäaikaiset hiiliteräksen korroosiokeet VLJ-luolan louhintatunnelissa käynnistyivät loppuvuodesta 1998. Kokeet toteutetaan yhdessä betonitutkimuksen kanssa siten, että osa hiiliteräspaloista on sijoitettu samaan kairanreikään betonikoekappaleiden kanssa. Laboratoriokokeet betonivesi- ja kalliopohjavesiympäristössä käynnistyivät keväällä 1998. Hiiliteräsnäytteiden korroosionopeus määritetään painohäviöstä ja vetykaasun volymetrinen mittauksen avulla. Vuonna 2001 asetettiin uudet hiiliteräskoekappaleet uuteen kairanreikään.

Purkujättemetallien turvallisuusanalyysin kannalta tärkeän nikkelin (Ni-59) liukoisuutta on tutkittu vuosina 1999–2001 tarkastelemalla liukoisuuteen vaikuttavien keskeisten parametrien, kuten raudan ja sulfidin vaikutusta betoni- ja pohjavesiympäristössä. Tutkimustulokset raportoitiin vuonna 2001.

## **LOVIISAN VOIMALAITOS**

Loviisan voimalaitoksella kertyy käytön aikana keski- ja vähäaktiivisia ydinjätteitä, jotka loppusijoitetaan vasta käytöstäpoiston yhteydessä. Tällaisia ovat esimerkiksi käytetyt suojaelementit, absorbaattorit, neutronivuoanturit, säätösauvojen välitangot ja fissiokammiot.

Vuoden 2001 loppuun mennessä Loviisan voimalaitoksella oli käytettyjä suojaelementtejä 146 kpl, absorbaattoreita 185 kpl, neutronivuoantureita 165 kpl, välitankoja 128 kpl ja fissiokammioita 9 kpl. Näistä suojaelementit olivat laitoksen altaissa käytetyn polttoaineen varastossa ja absorbaattorit ja fissiokammiot on varastoitu tarkoitusta varten tehtyihin kanaviin käytetyn polttoaineen varastossa. Neutronivuoanturit ja välitangot ovat varastoituina reaktorihalleissa sijaitsevissa vastaavissa kanavissa. Lisäksi reaktorihallin kanavissa on varastoituna 31 purkillista materiaalinäyteketjuja ja muuta vastaavaa.

Vuonna 1987 Fortum teki Loviisan voimalaitoksen käytöstäpoistosuunnitelman ja käytöstäpoiston kustannusarvion. Käytöstäpoistosuunnitelmat saatettiin ajan tasalle vuonna 1993. Suunnitelman lähtökohtana oli voimalaitoksen 30 vuoden käyttö, joka vastaa laitoksen alunperin suunniteltua käyttöikää. Ydinvoimalaitoksen käyttöikä on kuitenkin mahdollista pidentää teknisillä toimenpiteillä. Vuoden 1998 lopussa valmistui uusi selvitys, jossa tarkasteltiin sekä muuttuneen käytetyn polttoaineen huollon että voimalaitoksen modernisointihankkeen

vaikutuksia käytöstäpoiston suunnitelmiin ja aikatauluihin. Myös voimalaitoksen käyttöikä on suunniteltu pidennettäväksi noin 45 vuoteen ja tämä otettiin tarkastelussa huomioon. Uuden käytöstäpoistosuunnitelman lähtökohtana on purkaa välittömästi käytön päättymisen jälkeen ne aktiiviset osat, joita ei tarvita muun Hästholmenille jäävän ydinteknisen toiminnan (käytetyn polttoaineen varastointi, märkien jätteiden kiinteytyminen sekä vähä- ja keskiaktiivisten jätteiden loppusijoitus) jatkamiseksi.

Suunnitelmat tarkistetaan viiden vuoden välein. Kertomusvuoden aikana jatkettiin varautumista seuraavaan käytöstäpoistosuunnitelman päivitykseen, joka on tarkoitus tehdä vuonna 2003. Kertomusvuoden aikana tarkennettiin käytöstäpoistosuunnitelmaan kuuluvien jätteiden sijoitusta loppusijoitustiloissa ja tarkennettiin loppusijoitustiloihin suunniteltujen nosturien kustannusarviot sekä nosturiradat. Biologisen suojan aktivoitumisen arviointia tarkennettiin sekä eräitä aktivoitumislaskennan lähtötietojen epävarmuuksia kartoitettiin. Tämän lisäksi seurattiin ulkomailla käynnissä olevista käytöstäpoistoprojekteista (mm. Greifswald) saatuja kokemuksia, sekä osallistuttiin IAEA:n VVER-440-laitosten käytöstäpoistokustannusten selvitystyöhön, jonka lopputuloksena IAEA julkaisee TEC-DOC-raportin vuonna 2002.

Päätös käytöstäpoistosta tai käytön jatkamisesta on tarkoituksemukaista tehdä vasta suunnitellun käyttöiän loppuvaiheessa. Samoin lopullinen kannanotto siihen, puretaanko laitos välittömästi tai viivästetysti, on syytä tehdä vasta laitoksen käytön päättyessä ennen käytöstäpoiston alkamista.

## ***YHTEISET SELVITYKSET***

TVO:n ja Fortumin yhteishankkeena tutkitaan betonin pitkäaikais-säilyvyyttä loppusijoitusolosuhteissa Olkiluodon VLJ-luolassa ja Con-testa Oy:n (entinen Fortum Teknologian) betonilaboratoriossa. Posivan koordinoima tutkimushanke koskee sekä voimalaitosjäte- että käytöstäpoistojätehuoltoa. Tutkimustuloksia käytetään voimalaitos- ja purkujätteiden loppusijoituksen turvallisuusanalyysissä. Tutkimuksen tarkoituksena on pyrkiä arvioimaan realistisesti betonin pitkäaikaiskäyttäytymistä ja rapautumista käyttöolosuhteita vastaavissa kallio-pohjavesiolosuhteissa. Tavoitteena on selvittää nykyaikaisen betonimateriaalitekniikan keinoin suunniteltujen, koostumukseltaan erilaisten betonien säilyvyyttä ja käyttöikää todellisissa loppusijoitusolosuhteissa ja kiihdytetyissä laboratorio-olosuhteissa. Erityisesti pyritään selvittä-

mään vallitsevissa olosuhteissa parhaiten säilyvät betonikoostumukset, joilla pystytään täyttämään asetetut käyttöikävaatimukset.

Kenttäkokeet ja laboratoriokokeet on aloitettu vuonna 1998. Vuosien 1999–2001 aikana on suoritettu vesikemian määrääkäsanalyysit koekappaleiden säilytysliuoksille ja kairanreikien pohjavedelle. Koekappaleille on suoritettu myös aggressiivisten ainesosien tunkeutumasyvyyden määrääkäsanalyysit. Vuonna 2001 kenttäkokeen näytteenoton yhteydessä betonikoekappaleet pestiin mustan kerrostuman vuoksi. Musta kerrostuma sisälsi mm. sulfaattia pelkistäviä bakteereita (SRB). Vuonna 2001 mallinnettiin laboratoriokokeiden ja säilytysliuosten välistä vuorovaikutusta sekä aggressiivisten aineosien tunkeutumista koebetoneihin. Kokeita jatketaan vuonna 2000 julkaistun Posivan T&K-raportin mukaisesti.

# RAPORTOINTI, VIESTINTÄ JA YHTEYDENPITO

Vuonna 2001 julkaistiin kuusi POSIVA-raporttia. Luettelo raporteista on liitteenä. Lisäksi valmistui yhtiökohtaisia työraportteja tutkimusten tuloksista.

Kotimaassa on jatkettu kiinteää yhteistyötä niiden tutkimuslaitosten, korkeakoulujen ja konsulttiyritysten kanssa, jotka osallistuvat ydinjätealan tutkimuksiin. Kertomusvuoden aikana informoitiin valvovia viranomaisia kauppa- ja teollisuusministeriössä ja Säteilyturvakeskuksessa ydinjätehuollon toimenpiteistä ja tutkimusten edistymisestä.

Kotimaassa pidettiin esitelmää sekä asiantuntija- että yleisötilaisuuksissa. Voimayhtiöiden ja Posivan edustajia osallistui asiantuntijoina julkisrahoitteisten ydinjätetutkimusten johtoryhmän ja yhteistyöryhmän työskentelyyn.

Posiva on tehnyt ja tuottanut yhteistyökumppaneidensa kanssa materiaalia, jolla on jaettu informaatiota, herätetty yhteiskunnallista keskustelua ja reagoitu mediassa esillä olleisiin, ydinjätehuoltoa koskeviin aiheisiin. Tavoitteena on ollut tuottaa kansalaisille ja päätöksentekijöille tietoa mielipiteen muodostamiseen ja päätöksenteon pohjaksi.

Posivan ja Eurajoen välistä yhteistyötä jatkettiin.

Olkiluodossa ydinjätehuoltoon ja Posivan tutkimuksiin kävi tutustumassa toimintavuoden aikana 65 vierailuryhmää, joista yli puolet oli ulkomaisia.

Pohjoismaissa ydinjätetutkimusta harjoittavien muiden organisaatioiden kanssa on jatkunut kiinteä yhteistyö suoran yhteydenpidon ja erilaisten yhteistyöryhmien puitteissa.

Ydinjätealan kansainvälisiä tutkimushankkeita on seurattu osallistumalla konferensseihin ja yhteistyöhankkeisiin. Tiivistä yhteistyötä on tehty mm. Äspö-kalliolaboratorioprojektissa.

Eri maiden tutkimusohjelmien edistymistä on seurattu. Ydinjätealan kansainvälisissä kokouksissa on pidetty esitelmää Suomen ydinjätehuolto-ohjelmasta ja tutkimusten tuloksista. OECD/NEA:n asiantuntijatyöryhmissä on osallistuttu mm. sijoituspaikka- ja turvallisuustutkimuksia sekä voimalaitosten käytöstäpoistoa koskevaan keskusteluun ja arviointiin.



*Brasilialaisryhmän vierailu Olkiluodossa toukokuussa 2001.*

**YDINJÄTEHUOLTOTOIMINTAAN VUONNA 2001  
OSALLISTUNEET TUTKIMUSLAITOKSET,  
KORKEAKOULUT JA KONSULTIT**

*AEA Technology (Iso-Britannia)*  
*AECL (Kanada)*  
*Alan Auld Associates (Iso-Britannia)*  
*ALARA Engineering AB (Ruotsi)*  
*Astroock Oy*  
*Australian National University (Australia)*  
*Ayotte Consulting and Management Services  
(Kanada)*  
*Cando Contracting Ltd (Kanada)*  
*Clay Technology Lund HB (Ruotsi)*  
*Computer-aided Fluid Engineering AB (Ruotsi)*  
*Conterra AB (Ruotsi)*  
*Contesta Oy*  
*Diskurssi Oy*  
*Duke Engineering & Services Inc. (Kanada)*  
*Electrowatt Ekono Oy*  
*EnvirosQuantiSci (Espanja, Iso-Britannia)*  
*Evata Finland Oy*  
*Fintact Oy*  
*Fortum Nuclear Services Oy*  
*Fortum Power and Heat Oy*  
*Fortum Energy Solutions*  
*Fortum Engineering Oy*  
*Gascoyne Geoprojects Inc. (Kanada)*  
*GEA Consulting (Ruotsi)*  
*Geodeettinen laitos*  
*Geodevelopment AB (Ruotsi)*  
*Geokema AB (Ruotsi)*  
*Geologian tutkimuskeskus (GTK)*  
*Etelä-Suomen aluetoimisto*  
*Geopalvelukeskus/Merigeologia*  
*Väli-Suomen aluetoimisto*  
*Ydinjätteiden sijoitustutkimukset*  
*Geopoint AB (Ruotsi)*  
*Geopros Oy*  
*Golder Associates Inc. (USA)*  
*Gridpoint Finland Oy*  
*G.R. Simmons & Associates Consulting  
Services Ltd (Kanada)*  
*Helsingin yliopisto*  
*Farmasian laitos*  
*Kemian laitos*  
*Insinööri-toimisto Esko Hämäläinen Oy*  
*Insinööri-toimisto Tauno Nissinen Oy*  
*Insinööri-toimisto Paavo Ristola Oy*  
*Insinööri-toimisto Saanio & Riekkola Oy*  
*Inspecta Testing Oy*

*Integrity Corrosion Consulting Ltd (Kanada)*  
*Jyväskylän yliopisto*  
*Fysiikan laitos*  
*Kaisaniemen Dynamo Oy*  
*Kivitieto Oy*  
*Kungliga Tekniska Högskolan (Ruotsi)*  
*Laine & paloturvallisuus suunnittelutoimisto Oy*  
*Lapela Oy*  
*Libenter Oy*  
*Metsäntutkimuslaitos*  
*Parkanon tutkimusasema*  
*Monitor Scientific (USA)*  
*Outokumpu Mining Oy*  
*Outokumpu Poricopper Oy*  
*PRG-Tec Oy*  
*Robertson Geologging Ltd (Iso-Britannia)*  
*Rock Engineering Consultants (Iso-Britannia)*  
*Rollcon Oy*  
*Safety Assessment Management SAM  
(Iso-Britannia)*  
*Safram Oy*  
*Serco Assurance (Iso-Britannia)*  
*Sidney Whitaker (Kanada)*  
*Streamflow AB (Ruotsi)*  
*Studsvik Eco & Safety AB (Ruotsi)*  
*Suomen Malmi Oy*  
*Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) (Ruotsi)*  
*Swedish Corrosion Institute (Ruotsi)*  
*SwedPower AB (Ruotsi)*  
*Teknillinen korkeakoulu (TKK)*  
*Kalliotekniikan laboratorio*  
*Materiaalitekniikan laboratorio*  
*Terralogica AB (Ruotsi)*  
*Turvatekniikan keskus TUKES*  
*Tutkimuskeskus Vinco Oy*  
*TVO Nuclear Services Oy*  
*University of Waterloo (Kanada)*  
*Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT)*  
*Automaatio*  
*Bio- ja elintarviketekniikka*  
*Energia*  
*Kemiantekniikka*  
*Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka*  
*Valmistustekniikka*  
*VBB Viak (Ruotsi)*  
*Vibrometric Oy*  
*Viestintä-Paprico Oy*

# LAADUN JA YMPÄRISTÖN HALLINTA

Posivan toiminta tähtää ydinjätehuollon turvalliseen toteuttamiseen omistajien ja muiden asiakkaiden tarpeiden mukaisesti, ympäristöä suojellen ja yhteiskunnan asettamat vaatimukset täyttäen. Posiva on kehittänyt ydinjätehuollon laatujohtamista yhtiön perustamisesta lähtien. Laatujohtamisen tarkoituksena on varmistaa toiminnan järjestelmällisyys Posivassa ja se on kansainvälisen ISO 9001 periaatteiden mukainen.

Vuoden 2001 kehittämisen painopiste on ollut toimintajärjestelmän kehittämisessä ISO 9001:2000 standardin suuntaan ottaen huomioon myös ympäristöstandardin vaatimukset. Sen lisäksi on selvitetty turvallisuuskulttuurin merkitystä ja edellytyksiä Posivan toiminnassa.

Vuoden aikana järjestelmän toi-

mivuutta ja luotettavuutta suhteessa tavoitteisiin on arvioitu Posivan sisäisissä tarkastuksissa, joihin osallistui koko henkilöstö. Arvioinnissa on käytetty yhtenä pohjana myös eurooppalaisia laatupalkintokriteerejä (EFQM).

Vuoden aikana arvioitiin useiden alihankkijoiden kykyä suoriutua teknisistä, taloudellisista, laatu- ja ympäristövaatimuksista. Käytössä olevat toimintajärjestelmät ja niiden kehityksen näkymät kartoitettiin. Lisäksi joidenkin organisaatioiden toimintaa arvioitiin tarkastuskäynnin avulla.

Tutkimuksen ja kehitys- ja suunnittelutyön laadun varmistavaa ohjeistusta on tarkennettu. ONKALOn rakentamisen ohjeistuksen suunnittelu aloitettiin. IAEA:n ydinturvallisuutta koskevia vaatimuksia

käytiin läpi ja arvioitiin niiden vaikutusta Posivan toimintaan.

Asiantuntemuksen kehittämiseksi kartoitettiin henkilöstön osaaminen ja koulutustarpeet sekä loppusijoituksen tehtäväkokonaisuuksien kannalta että Posivan toimintajärjestelmän kannalta. Ammatillisen koulutuksen lisäksi järjestettiin henkilöstön yhteistä koulutusta toimintajärjestelmistä ja kielistä. Uusille posivalaisille järjestettiin perehdytyskoulutusta. Vuosittaiset kehityskeskustelut toteutettiin.

Turvallisuuskulttuurin kehittämiseksi selvitettiin toiminnan luonteen asettamat vaatimukset toiminnan turvallisuudelle ja edellytykset vaatimusten saavuttamiseksi Posivassa. Selvitystyön perusteella kehitetään jatkossa hyvään turvallisuuskulttuuriin kuuluvia toimintatapoja.

# KUSTANNUKSET

## *TUTKIMUKSET*

Ydinjätehuollon tutkimusohjelman kokonaiskustannukset olivat noin 10,5 miljoonaa euroa. Vuoden

2001 tutkimusohjelmassa kustannuksiksi arvioitiin noin 8,7 miljoonaa euroa. Ohjelma toteutui pääosin suunnitelmien mukaisesti, merkittävien ero suunnitelmiin nähden oli kahden syvän tutkimusreiän kairaa-

minen Olkiluotoon.

Edellä esitettyihin kustannuksiin eivät sisälly Tekesin tukemat Posivan tutkimustoimeksiannot.

## YHTEENVETO TUTKIMUSTEN KUSTANNUKSISTA VUONNA 2001

---

Tutkimuskohde	Kustannukset (milj. euroa)
Suunnittelu, koordinointi ja tiedotus sekä yleisselvitykset	0,7
Käytetyn polttoaineen ja runsasaktiivisen jätteen huolto	9,3
Keski- ja vähäaktiivisen jätteen huolto	0,3
Käytöstäpoisto ja purkujäte	0,2
Yhteensä	10,5

---

## ***VARAUTUMINEN YDINJÄTEHUOLLON KUSTANNUKSIIN***

Ydinjätehuoltoon tarvittavat varat kerätään erilliseen valtion ydinjätehuoltorahastoon. Rahastotavoite määrätään kunakin vuonna erikseen vahvistettavan ydinjätehuollon vastuumäärän perusteella. Ydinjäte-

huollon vastuumäärä sisältää kaikkien kyseisen vuoden loppuun mennessä kertyneiden ydinjätteiden huoltoon tarvittavien toimenpiteiden tulevat kustannukset. Vastuumäärän ja rahastotavoitteen välinen erotus katetaan vakuuksilla.

TVO:n ydinjätehuollon vuoden 2001 rahastotavoite oli 656,2 miljoonaa euroa ja Fortumin rahastotavoite vastaavasti 485,6 miljoonaa euroa.

TVO:n ydinjätehuollon vastuumääräksi vuoden 2001 lopussa vahvistettiin 693,2 miljoonaa euroa ja sen perusteella vuoden 2002 rahastotavoitteeksi 693,2 miljoonaa euroa. Fortumin ydinjätehuollon vastuumääräksi vahvistettiin 515,2 miljoonaa euroa ja vuoden 2002 rahastotavoitteeksi 515,2 miljoonaa euroa. Siten rahastotavoitteet nousivat ensimmäisen kerran vastuumäärien tasolle.

# RAPORTTILUETTELO 2001

## **POSIVA 2001-01**

Geochemical modelling of groundwater evolution and residence time at the Hästholmen site

*Petteri Pitkänen, Ari Luukkonen*

VTT Communities and Infrastructure

*Paula Ruotsalainen*

Fintact Oy

*Hilkka Leino-Forsman, Ulla Vuorinen*

VTT Chemical Technology

January 2001

ISBN 951-652-102-9

## **POSIVA 2001-02**

Modelling gas migration in compacted bentonite: GAMBIT Club Phase 2

Finat report - A report produced for the members of the GAMBIT Club

*B.T. Swift, A.R. Hoch, W.R. Rodwell*

AEA Technology, United Kingdom

January 2001

ISBN 951-652-103-7

## **POSIVA 2001-03**

Modelling of the UO<sub>2</sub> dissolution mechanisms in synthetic groundwater solutions – Dissolution experiments carried out under oxic conditions

*Esther Cera, Mireia Grivé, Jordi Bruno*

EnvirosQuantiSci, Spain

*Kaija Ollila*

VTT Chemical Technology

February 2001

ISBN 951-652-104-5

## **POSIVA 2001-04**

Experimental study of Ni solubility in sulphidic groundwater and cement water under anoxic conditions

*Torbjörn Carlsson, Ulla Vuorinen,*

*Tommi Kekki, Hannu Aalto*

VTT Chemical Technology

June 2001

ISBN 951-652-105-3

## **POSIVA 2001-05**

Permafrost: occurrence and physicochemical processes

*Lasse Ahonen*

Geological Survey of Finland

October 2001

ISBN 951-652-106-1

## **POSIVA 2001-06**

Hydrochemical stability of groundwaters surrounding a spent nuclear fuel repository in a 100,000 year perspective

*Ignasi Puigdomenech* (Editor), KTH, Stockholm, Sweden

*Ioana Gurban*, DE&S, Ottawa, Canada

*Marcus Laaksoharju*, Geopoint AB, Stockholm, Sweden

*Ari Luukkonen*, VTT Communities and Infrastructure

*Jari Löfman*, VTT Energy

*Petteri Pitkänen*, VTT Communities and Infrastructure

*Ingvar Rhén*, VBB Viak, Göteborg, Sweden

*Paula Ruotsalainen*, TUKES: Safety Technology Authority, Helsinki

*John Smellie*, Conterra AB, Uppsala, Sweden

*Margit Snellman*, Posiva Oy

*Urban Svensson*, Computer-aided Fluid Engineering AB, Norrköping, Sweden

*Eva-Lena Tullborg*, Terralogica AB, Gråbo, Sweden

*Bill Wallin*, Geokema AB, Lidingö, Sweden

*Ulla Vuorinen*, VTT Chemical Technology

*Peter Wikberg*, SKB, Stockholm, Sweden  
December 2001

ISBN 951-652-107-X

Teollisuuden Voima Oy  
27160 OLKILUOTO  
puh. (02) 83811

Fortum Power and Heat Oy  
PL 10  
00048 FORTUM  
puh. 010 4511



POSIVA OY, Töölönkatu 4, 00100 Helsinki  
puhelin (09) 2280 30, fax (09) 2280 3719  
<http://www.posiva.fi>