

Suomen geologisen seuran Ydinjätteiden loppusijoitusseminaari Arppeanumissa, Helsingissä 7.4.2011

TONI EEROLA

Maamme on käyttänyt ydinvoimaa neljä vuosikymmentä. Sen tuloksena syntyy korkea-aktiivista ydinjätettä, joka on suunniteltu loppusijoitettavaksi Olkiluodon kallioperään. Aihe on herättänyt runsaasti julkista keskustelua, koska jäte muuttuu vaarattomaksi vasta varsin pitkän ajan kuluessa.

Geologialla on merkittävä asema aiheen tutkimuksissa ja loppusijoituksen turvallisuuden varmistamisessa. Suomen geologinen seura järjesti 7.4.2011 seminaarin, jossa esiteltiin ydinjätteiden loppusijoitustutkimuksia. Ehdotus seminaariin tuli Suomen geologisen seuran jäseneltä, Pertti Koivistoiselta.

Arppeanumissa pidetyssä kokouksessa oli tilaisuus kuunnella alan asiantuntijoiden ja viranomaisten esityksiä ja keskustella aiheesta. Kokoukseen osallistui 73 henkeä, joista 38 oli Suomen geologisen seuran jäseniä. Kuten odottaa saattoi, keskustelu oli vilkasta ja seminaariin varatut neljä tuntia kuluivat niin nopeasti, että aika oli loppua kesken.

Kokouksessa pidettiin seuraavat esitelmät:

- Geologiset ja geofysikaaliset tutkimukset ydinjätteiden loppusijoituksessa. Seppo Paulamäki, GTK
- Kallion soveltuvuusarvio osana käytännön loppusijoitustoimintaa. Paula Kosunen, Posiva
- Ydinjätteiden loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden arviointiin liittyvät tutkimukset. Timo Ruskeenieniemi, GTK
- Ydinjätteet loppusijoitusta valvovan viranomaisen näkökulmasta. Ari Luukkonen, STUK.

Esitelmistä koottiin oheiset lyhennelmät.

seminaari



Geologiset ja geofysikaaliset tutkimukset ydinjätteiden loppusijoituksessa

SEPPO PAULAMÄKI

Teollisuuden Voima Oy (TVO) ja Fortum Power and Heat Oy valmistautuvat käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen syvälle Suomen kallioperään. Sijoituspaikan aluevalintatutkimusten alkuvaiheessa 1970-luvun lopussa ja 1980-luvun alussa Geologian tutkimuskeskus (GTK) teki laajaan arkistomateriaaliin perustuvan selvityksen tekijöistä, joita on otettava huomioon ydinjätteen loppusijoituspaikan valinnassa. Lähtökohтана olivat IAEA:n kansainväliset suositukset sovellettuina Suomen olosuhteisiin. Selvityksen loppupäätelmä oli, että Suomesta on geologisin menetelmin löydettävissä mahdollinen, turvallisuuskriteerit täyttävä sijoituspaikka.

GTK:n vuosina 1983–1985 tekemien koko maan kattaneiden geologisten aluevalintatutkimusten perusteella seuloitui esiin 101 mahdollista loppusijoituspaikkaa. Erityisen soveltuvuustutkimuksen perusteella myös Olkiluodon saari, jossa TVO:n ydinvoimalaitos sijaitsee, lisättiin mahdollisten loppusijoituspaikkojen joukkoon. Näiden joukosta TVO valitsi viisi paikkaa alustaviin sijoituspaikkatutkimuksiin: Kuhmon Romuvaara ja Hyrynsalmen Veitsivaara arkeisen pohjakompleksin alueella, Sievin Syyry proterotsooisella gneissialueella, Konginkankaan/Äänekosken Kivetty proterotsooisella granitoidialueella ja Eura-joen Olkiluoto proterotsooisella migmatiittialueella. Alustavat sijoituspaikkatutkimukset vuosina 1987–1992 käsittivät syväkairauksia ja erilaisia geologisia, geofysikaalisia, hyro-

geologisia ja hydrogeokemiallisia tutkimuksia. Joka alueelle laadittiin konseptuaalinen kalliomalli, joka käsitti kivilajien, rakoilun, rako-
vyöhykkeiden ja hydrogeologisten olosuhteiden mallinnusta. Mallinnuksen päätavoitteena oli ruhjavyöhykkeiden paikantaminen ja niiden ominaisuuksien, erityisesti vedenjohtavuuden arvioiminen.

Alustavien sijoituspaikkatutkimusten perusteella TVO valitsi Romuvaaran, Kivetyyn ja Olkiluodon yksityiskohtaisiin sijoituspaikkatutkimuksiin vuosiksi 1993–2000. Esiselvitystutkimusten perusteella Hästholmenin alue, jossa sijaitsee Fortum Oy:n ydinvoimalaitos, lisättiin mahdollisten loppusijoitusalueiden joukkoon ja siellä tehtiin samat tutkimukset kuin muilla alueilla vuosina 1987–1992. Yksityiskohtaisten sijoituspaikkatutkimusten aikana kerättiin alueilta lisää kallioperätietoa konseptuaalisten kalliomallien täydentämiseksi ja varmentamiseksi, tutkittiin kallioperän kalliomekaanisia ominaisuuksia ja arvioitiin paikkojen rakennettavuutta ja yleistä soveltuvuutta teknisten ja turvallisuusnäkökohtien pohjalta.

Yksityiskohtaisten sijoituspaikkatutkimusten jälkeen käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta vastaava, TVO:n ja Fortumin vuonna 1995 perustama ja yhdessä omistama Posiva Oy päätyi esittämään loppusijoituslaitoksen sijoittamista Olkiluotoon. Vuoden 2000 lopussa valtioneuvosto teki myönteisen periaatepäätöksen, jonka eduskunta vahvisti



toukokuussa 2001 äänin 159 puolesta 3 vastaan.

Olkiluodon geologisten ja geofysikaalisten tutkimusten pohjalta on laadittu geologinen 3D-malli, jossa mallinnetaan kallioperän kivilajeja ja rakenteita ja selvitetään niiden kehityshistoriaa. Olkiluodon alueen geologinen malli koostuu neljästä osamallista: kivilajimalli, duktiilin deformaation malli, hauraan deformaation malli ja muuttuneisuuden malli. Ensimmäinen aluemalli valmistui vuonna 2006, toinen vuoden 2007 lopussa ja tämän päivitys vuonna 2008. Uusin malli julkaistiin 2010 lopussa. Geologinen malli luo kehukset muille kallioperän malleille, kuten hydrogeologinen malli, hydrogeokemiallinen malli ja kalliomekaniikan malli. Kaikkia näitä malleja

käytetään turvallisuusarvioissa, loppusijoituspaikan suunnittelussa ja lopulta itse loppusijoituksen toteutuksessa. Vuodesta 2004 lähtien Olkiluodossa on louhittu ydinjätteiden loppusijoituslaitoksen maanalaista kalliotutkimustilaa, ONKALOA. ONKALOn tarkoituksena on tutkia kallioperää loppusijoitusvyödyssä ja testata sijoitustekniikoita todellisissa syväkallio-olosuhteissa. Lopulta se tulee olemaan osa loppusijoituslaitosta.

SEPPO PAULAMÄKI
Geologian tutkimuskeskus
PL 96, 02151 Espoo
seppo.paulamaki@gtk.fi

Kallion soveltuvuuden arviointi osana käytännön loppusijoitustoimintaa

PAULA KOSUNEN

Posiva Oy suunnittelee parhaillaan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitosta Olkiluotoon, Eurajoelle, minne aloitettiin maanalaisen tutkimustilan, ONKALON, rakentaminen vuonna 2004. ONKALON pää-tutkimustaso sijaitsee 420 metrin syvyydessä, lähellä suunnitellun loppusijoituslaitoksen syvyyttä. ONKALO valmistuu vuonna 2012, jolloin Posiva suunnittelee jättävänsä loppusijoituslaitosta koskevan rakentamislupahakemuksen.

Posivan loppusijoitussuunnitelmat perus-

tuvat Ruotsin ydinjätehuollosta vastaavan yhtiön SKB:n (Svensk Kärnbränslehantering AB) kehittämään KBS-3V -konseptiin, missä toteutuksen lähtökohtana on ns. moniesteperiaate. Käytetyt polttoaineniput suljetaan kaasutiiviisiin, pallografiittirauta-sisuksilla vahvistettuihin, hapettomissa olosuhteissa korroosiota hyvin kestäviin kuparikapseleihin, jotka sijoitetaan kallioperään n. 420 metrin syvyyteen louhittuihin loppusijoitustiloihin. Kukin kapseli sijoitetaan lähes vaakasuoran loppusijoitustunnelin lattiaan porattuun pystysuoraan



reikään ja ympäröidään bentoniittisavella, joka paisuessaan suojaa kapselia kallion mahdollisilta liikkahduksilta sekä vähentää veden liikumista kapselin läheisyydessä. Kapseleiden sijoittamisen jälkeen jokainen loppusijoitus-tunneli täytetään bentoniittilohkoilla ja suljetaan tiiviillä tulpparakenteella.

Loppusijoituslaitosta ympäröivän kallio-perän tulee eristää loppusijoitustila biosfääristä, antaa suoja maanpinnalla tai sen läheisyydessä tapahtuvia prosesseja vastaan, sekä taata suotuisat ja ennustettavissa olevat geologiset, kalliomekaaniset, hydrogeokemialliset ja hydrogeologiset olosuhteet teknisten vapautumissesteiden (mm. kapselin ja bentoniitin) toimimiselle. Näin ollen tulee loppusijoituslaitoksen pitkäaikaisturvallisuuden varmistamiseksi loppusijoitustunneleiden ja varsinkin loppusijoitusreikien asemoinnissa välttää kallio-perän piirteitä, jotka saattaisivat vaarantaa teknisten vapautumissesteiden toimintakyvyn. Tällaisia rakenteita ovat esim. yksittäiset laajat raot, hauraat deformaatiovyöhykkeet vaikutusalueineen ja korkean hydraulisen johtavuuden omaavat rakenteet vaikutusalueineen.

Kallioperän soveltuvuutta loppusijoitustunneleiden ja -reikien sijoittamiseen tullaan arvioimaan iteratiivisesti loppusijoituslaitoksen rakentamisen edetessä ja alueelta saatavan tutkimustiedon lisääntyessä ja tarkentuessa. Ennen loppusijoitustunneleiden louhimista tietylle alueelle, tutkitaan alueen kallio-perän piirteitä mm. jo louhitusta keskustunnelista (esim. geologinen tunnelikartoitus, seismiset tunnelitutkimukset, vuotovesimittaukset) sekä suunniteltujen loppusijoitustunneleiden sisä-

puolelle kairatuista pilottirei'istä (esim. kairasydänten geologinen loggaus, geofysikaaliset ja hydrogeologiset reikämittaukset). Tutkimustulosten perusteella alueen kallio-perän merkitävät piirteet mallinnetaan mahdollisimman yksityiskohtaisesti, suunniteltujen tunnelipaikkojen soveltuvuus arvioidaan ja tarvittaessa tunneleiden asemointia päivitetään. Loppusijoitusreikien paikat valitaan kussakin louhituksa loppusijoitustunnelissa tehtyjen tutkimusten ja niitä seuranneen kallio-perän soveltuvuusarvion perusteella; huomiota kiinnitetään erityisesti mahdollisten merkittävien rakenteiden jatkumiseen tunneleiden lattian alla. Valittujen loppusijoitusreikäpaikkojen soveltuvuus varmennetaan kairaamalla kullekin paikalle pystysuora pilottireikä; pilottireikä tutkimusten ja seuranneen soveltuvuusarvion tulosten perusteella tehdään päätös loppusijoitusreikien poraamisen aloittamisesta tai uudelleenaseinnista. Kallioperän soveltuvuus arvioidaan viimeisen kerran kussakin poratussa loppusijoitusreiässä tehtyjen geologisten, geofysikaalisten ja hydrogeologisten tutkimusten perusteella: mikäli loppusijoitusreiän kallio-perälle asetetut kriteerit täyttyvät, voidaan kyseinen reikä – mikäli se täyttää myös ns. tekniset vaatimukset, kuten esim. reiän suoruus ja pinnan sileys – hyväksyä loppusijoituskäyttöön.

PAULA KOSUNEN

Posiva Oy

Olkiluoto

FI-27160 Eurajoki

paula.kosunen@posiva.fi

Ydinjätteen loppusijoituksen pitkäaikais- turvallisuuden arviointiin liittyvät tutkimukset

TIMO RUSKEENIEMI

Suomessa valmistellaan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta Olkiluodon kallioperään noin 400 m syvyyteen rakennettavaan tilaan, alun perin ruotsalaisten kehittämän KBS-3 -menetelmän mukaisesti. Siinä käytetty ydinpolttoaine pakataan kuparikapseliin, joka sijoitetaan tunneliin porattuun reikään. Kanisteri ympäröidään esipuristetuilla bentoniittiblokeilla ja myös tunnelin täytössä käytetään paisuvahilaista bentoniittia palauttamaan tilan vedenjohtavuusominaisuudet louhintaa edeltävälle tasolle. Näistä ns. teknisistä vapautumisesteistä kuparikapseli on tärkein. Ympäröivän kallioperän tehtävänä on varmistaa mekaanisesti ja geokemiallisesti vakaiden olosuhteiden säilyminen pitkälle tulevaisuuteen siten, että teknisten vapautumisesteiden toimintakyky säilyy ennakoitulla tavalla. Loppusijoitustilan sijoittamisella kallioperään pyritään myös vähentämään tahallisen tai tahattoman tunkeutumisen riskiä.

Käytetyn ydinpolttoaineen geologisen loppusijoituskonseptin keskeinen käsite on pitkäaikaisturvallisuus. Nykyisen ajattelun mukaan se tarkoittaa sitä, että loppusijoituksen suunnittelussa tulee varautua seuraavien satojen tuhansien vuosien aikana tapahtuviin muutoksiin loppusijoitustilassa ja sen ympäristössä. Oleellista on, että luonnon omat mekanismit yhdessä teknisten vapautumisesteiden kanssa kykenevät kaikissa olosuhteissa estämään radioaktiivisten aineiden kulkeutumisen elollisen luonnon piiriin siinäkin tapauk-

ssa, että jokin loppusijoituskapseli alkaisi vuotaa. Turvallisuusperustelussa (Safety Case) kuvataan järjestelmän alkutila ja tarkastellaan sen toimivuutta kaikissa ajateltavissa olevissa tulevaisuuden kehityskuluissa, myös hyvin epätodennäköisissä. Tämän arvioimiseksi sekä loppusijoituksesta vastaavat yhtiöt että viranomaiset tarvitsevat tuekseen monipuolista tutkimustietoa. Vastuu tutkimustiedon hankinnasta ja analysoinnista on loppusijoitusyhtiöllä. Johtopäätökset arvioi ja hyväksyy viranomainen (Säteilyturvakeskus) ja tämän jälkeen luvat myöntää eduskunta tai valtioneuvosto. Koko prosessi on läpinäkyvä ja tiedeyhteisön arvioitavissa, koska kaikki tutkimusaineisto ja sen perusteella tehtävät tulkinnot ovat julkisia.

Geologisen tutkimuksen kannalta tämä tarkoittaa sitä, että geotieteilijöiden vuosikymmeninä keräämä monipuolinen tietovaranto on arvossaan. Lisäksi on tarvittu ja edelleenkin tarvitaan täydentävää perustutkimusta pohjavesien geokemiallisista ja fysikaalisista ominaisuuksista, pohjaveden virtauksesta, kallioperän rakenteista, radioaktiivisten aineiden geokemiallisesta käyttäytymisestä, sekä muista aiheista, joihin ei ole aiemmin ollut tarvetta paneutua kovin yksityiskohtaisesti. Keskeisten kysymysten ymmärtämiseksi on kuluneen 20–30 vuoden aikana tehty paljon yhteistyötä kotimaisten ja kansainvälisten kumppanien kanssa. Monessa tapauksessa on jouduttu lähettämään liikkeelle aivan alusta, näytteenottoon



ja menetelmiin liittyvästä kehitystyöstä.

Luonnonanalogioiden tutkimus on osoittautunut tehokkaaksi tavaksi kerätä geologista tietoa pitemmän aikavälin muutoksista. Luonnonanalogialla tarkoitetaan luonnossa olevaa kohdetta, joka vastaa ominaisuuksiltaan jotakin loppusijoitusjärjestelmän osaa. Esimerkiksi Länsi-Uudellamaalla sijaitsevaa Palmotun uraaniesiintymää on tutkittu uraanipolttoaineen liukenemisen ja kulkeutumisen analogiana. Näiden tutkimusten etuna lyhytkestoihin ja yksinkertaistettuihin koejärjestelyihin verrattuna on se, että voidaan tehdä havaintoja myös erittäin hitaasti etenevistä ilmiöistä ja nähdä prosessien yhteisvaikutusten lopputulos. Kehityskulkujen riittävän tarkka hahmottaminen ja tulosten kvantitatiivinen tulkinta on kuitenkin toisinaan haasteellista ja se vaikeuttaa analogiatutkimusten käyttöä. Tämä johtuu siitä, että turvallisuusanalyysissä viime kädessä lasketaan säteilyannosnopeuksia, joten tutkimustieto pitää pystyä ilmaistamaan numeerisessa muodossa.

Suomen kallioperän oloissa mahdollisesti loppusijoitustilan geokemialliseen tai rakenteelliseen pysyvyyteen vaikuttavien muutosten arvellaan liittyvän tuleviin jääkausiin. Edellisen jääkauden jälkeiset kallioliikunnat, postglasiaalisiirokset, sekä ikiroudan ja sulamisvesien vaikutukset pohjavesiin ovat olleet viime vuosien tärkeimpiä tutkimusteemoja. GTK on ollut mukana tutkimassa edellä mainitun Palmotun uraaniesiintymän lisäksi Hyrkkölän metallista kuparia, ikiroutaa Kanadassa ja parhaillaan on käynnissä hanke Grönlannissa, jossa selvitetään jäätikön sulamisvesien muodostumista ja tunkeutumista kallioperään. Hankkeista ja muustakin loppusijoitukseen liittyvästä on lisää tietoa GTK:n [www-sivuilla](http://www.gtk.fi/tutkimus2/tutkimusohjelmat/energia/ydinjatteen.html): www.gtk.fi/tutkimus2/tutkimusohjelmat/energia/ydinjatteen.html.

TIMO RUSKEENIEMI
Geologian tutkimuskeskus
PL 96, 02151 Espoo
timo.ruskeeniem@gtk.fi

Ydinjätteet loppusijoitusta valvovan viranomaisen näkökulmasta

ARI LUUKKONEN

 Säteilyturvakeskus (STUK) on Suomen säteilyturvallisuudesta vastaava viranomainen. STUK:n tehtävä on suojella ihmisiä, yhteiskuntaa ja ympäristöä säteilyn haitallisilta vaikutuksilta. Suojelutarkoituksessa STUK:ssa tehdään myös tutkimustyötä, joka liittyy säteilyn määrään ja säteilyturvallisuu-

teen ympäristössä ja yhteiskunnassa sekä myös säteilyn havaitsemiseen ja mittaamiseen. STUK on lisäksi asiantuntijalaitos, joka kouluttaa, informoi ja neuvoo säteilysuojeluasioissa sekä tarjoaa asiantuntijapalveluitaan sekä valtiorahallinnolle että mm. Euroopan unionille.



Vuonna 1983, muutamia vuosia Loviisan ja Olkiluodon voimalaitosten käyttöönoton jälkeen valtioneuvosto teki periaatepäätöksen käytetyn polttoaineen loppusijoituspaikan etsimisestä. Tästä lähtien Suomessa on tehty sijoituspaikkatutkimuksia. Ydinlaitosten lupakäsittelyt Suomessa ovat kolmivaiheisia (periaatepäätös sijoituspaikasta, rakentamislupa ja käyttölupa). Käsittelyt perustuvat hakijan hakemukseen. Työ- ja elinkeinoministeriö johtaa lupapäätösvalmistelua ja valtioneuvosto tekee päätökset. STUK tekee hakemusaineistojen perusteella turvallisuusarvioita lupakäsittelyjen jokaisessa vaiheessa ja kaikissa vaiheissa sillä on käsittelyyn myös turvallisuusperusteinen veto-oikeus. Periaatepäätösvaiheissa keskeisiä päättäjiä ovat lisäksi laitoksen sijoituskunta (veto-oikeus) sekä eduskunta, joka vahvistaa valtioneuvoston periaatepäätökset. Tällä hetkellä periaatepäätöksiä käytetyn polttoaineen sijoittamisesta Olkiluotoon on tehty Loviisan kahden ja Olkiluodon neljän voimalaitosyksikön osalta, joista Olkiluoto 3 ja 4 eivät ole vielä toiminnassa.

Vuonna 2001 tehtyyn Olkiluodon loppusijoituslaitoksen ensimmäiseen periaatepäätökseen sisältyy vaatimus maanalaisen tutkimustoiminnan aloittamisesta. Maanalaisten tutkimustilojen (ONKALO) rakentamislupa on käytännössä myös rajoitettu esilupa loppusijoitustilojen ajotunnelin ja kuilujen rakentamisen aloittamiseen. Esilupa oikeuttaa STUK:n valvomaan tilojen rakentamista. Lisäksi lupa velvoittaa Posivan mm. jatkuvaan sijoituspaikan monitoroinnin. Tällä hetkellä STUK valvoo ONKALON rakentamista 1) suunnitelluasiakirjojen, 2) johtamisjärjestelmän, 3) rakentamisen ja 4) tutkimuksen tarkastusohjelmilla. Tarkastuksista monet ovat etukäteis- tai aloitustarkastuksia ja myös toteutuneen lop-

putuloksen tarkastuksia. ONKALON tutkimushankkeita seurataan jatkuvasti. STUK toteuttaa myös omalta osaltaan säännöllistä työmaavalvontaa.

Posiva suunnittelee loppusijoitustilojen rakentamislupahakemuksen jättämistä vuoden 2012 lopussa. Varsinaisen rakentamisluvan mahdollisen myöntämisen jälkeen STUK:n turvallisuusperusteisen valvonnan taso kohoaa. Tästä syystä STUK:ssa parhaillaan mietitään, miten valvontatehtäviä lisätään ja painotetaan uudelleen. Tärkeitä kysymyksiä ovat esimerkiksi miten jatkossa tarkistetaan ennakolta 1) kallioperän suotuisten ominaisuuksien säilyminen riittävällä varmuudella, 2) varoetäisyyksien säilyminen rikkonaisuusvyöhykkeisiin ja 3) valmius suunnitelmien muuttamiseen yllättävien tilanteiden varalta. Lisäksi STUK tulee tarkastamaan ja ottamaan kantaa siihen, millä edellytyksillä toteutuneet yksittäiset sijoitustunnelit ja -reiät ovat loppusijoitukseen hyväksyttäviä.

Korkea-aktiivisen jätteen lisäksi Suomessa syntyy myös matala- ja keskiaktiivista jätettä. Tämän jätteen loppusijoittamisessa noudatetaan samanlaista lupamenettelyä kuin korkea-aktiiviselle jätteelle. Matala- ja keskiaktiivisten jätteiden loppusijoituslaitokset toimivat sekä Olkiluodossa että Loviisassa. Valvontamenettelyt ovat samantapaisia kuin käytetyn polttoaineen loppusijoituksessa, mutta löyhempiä johtuen jätteiden alhaisemmasta aktiivisuudesta.

ARI LUUKKONEN

Säteilyturvakeskus
PL 14, 00881 Helsinki
ari.luukkonen@stuk.fi