

Olkiluodon kertomaa:

Tutkimuksista turvalliseen loppusijoitukseen

Lähes neljän vuosikymmenen ajan käynnissä ollut tutkimustyö on tuottanut kattavasti tietoa, jota hyödynnetään tällä hetkellä käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen rakentamisessa Olkiluodossa. Loppusijoituksen on määrä alkaa 2020-luvun alkupuolella, ja työ jatkuu siitä yli sata vuotta eteenpäin.



Ilmakuva Olkiluodon saaresta. Etualalla majoituskylä, keskellä ONKALO:n alue ja ajotunnelin sisäänkäynti, taustalla ydinvoimalaitokset.

Käytetyn ydinpolttoaineen muodostuminen ja loppusijoituksen haaste

NOORA RIIHILUOMA, JOHANNA SAVUNEN, JUSSI MATTILA ja ISMO AALTONEN

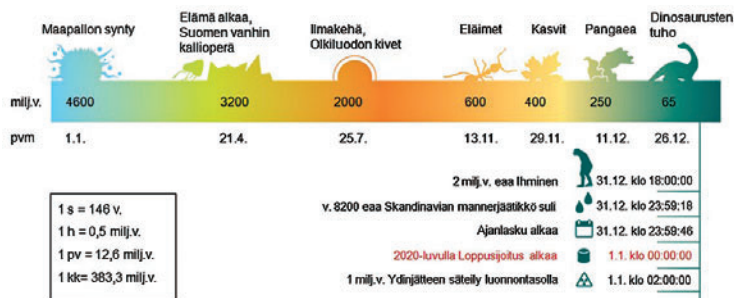
Ydinenergian tuottamiseen liittyvä vastuullinen toiminta jatkuu vielä vuosikymmeniä ja -satoja ydinlaitosten sulkemisen jälkeen. Suomessa vastuu ydinjätehuollosta,

eli käytetyn ydinpolttoaineen välivarastoinnista ja loppusijoituksesta, kuuluu ydinvoimayhtiöille, joiden on huolehdittava tuottamansa käytetyn ydinpolttoaineen huoltoon kuuluvista toimenpiteistä ja vastattava niiden kustannuksista.

Korkea-aktiivinen käytetty ydinpolttoaine muodostuu, kun polttoainesauvat ovat olleet ydinlaitoksessa tuottamassa sähköä muutaman vuoden ajan. Tämän jälkeen ne siirretään käytetyn polttoaineen välivarastoon jäähtymään usean kymmenen vuoden ajaksi, jonka jälkeen ne voidaan loppusijoittaa kallioperään. Loppusijoituksen pitkäaikais-
turvallisuus täytyy osoittaa jopa miljoona vuotta eteenpäin, jolloin käytetyn ydinpolttoaineen säteilytaso saavuttaa luonnon taustasäteilyn tason, eikä ole enää vaaraksi ympäristölle (kuva 1). Turvallisuuden osoittamiseksi tehdään mallinnusta ihmisten, eläinten ja kasvien saamien mahdollisten säteilyannosten laskemiseksi pitkälle tulevaisuuteen.

Suomessa aloitettiin korkea-aktiivisten ydinjätteiden geologisen loppusijoituksen paikanvalintaan tähtäävät tutkimukset vuonna

1983. Tuolloin valtioneuvosto hyväksyi periaatepäätöksen ydinjätehuollon periaatteista ja aikatauluista, jotka määrittivät mm., että geologinen loppusijoitus on Suomelle sopiva ratkaisu ja että loppusijoitusvalmiuteen täh-



Kuva 1. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus suhteessa maapallon kehitysvaiheisiin.

dätään vuonna 2020. Lisäksi vuonna 1994 ydinenergiakiaa muutettiin siten, että ydinjätteiden vienti ja tuonti kiellettiin.

Loppusijoitusta suunnittelemaan

Näiden päätösten seurauksena ydinvoimayhtiöt perustivat uuden yhtiön, Posivan, huolehtimaan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta. Vuonna 1983 asetetussa alkuperäisessä aikataulussa on pysytty, ja tämänhetkisen suunnitelman mukaan ensimmäisten käytetyllä ydinpolttoaineella täytettyjen kapselien loppusijoitus on tarkoitus alkaa vuonna 2024.

Tutkimusten alussa ajatuksena oli, että työtä tehdään yhteistyössä muiden maiden

kanssa ja jopa muiden maiden ratkaisuja seuraten. Useissa muissa maissa loppusijoitus-hankkeet ovat lykkääntyneet tai keskeytetty, mikä on osaltaan johtanut siihen, että Suomi on toiminut loppusijoituksen yhtenä edelläkävijänä ja ratkaissut itse monia siihen liittyneitä teknisiä ja luonnontieteellisiä kysymyksiä. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus ei ole mahdollista ilman yhteiskunnan hyväksyntää, minkä vuoksi toiminta on aina pyritty pitämään avoimena ja yhteistyö viranomaisten kanssa tiiviinä.

Loppusijoituspaikan valinta aloitettiin aikoinaan käymällä läpi koko Suomen kallio-perä. Tässä työssä huomioitiin kallio-perässä esiintyvät siirrosvyöhykkeet ja pyrittiin valitsemaan sopivan kokoisia lohkoja ja kallio-perän rakenteen perusteella potentiaalisia alueita jatkotutkimuksia varten. Vuoteen 1986 mennessä oli valittu 101 kallio-perälohkoa, joista valittiin yhä pienempi joukko alueita tarkempiin tutkimuksiin.

Alustavat paikkatutkimukset tehtiin vuosina 1987–1992 viidellä vaihtoehtoisella alueella, jolloin myös kairattiin ensimmäiset syvät kairareiät kyseisille tutkimusalueille. Tutkimusmenetelmiä jouduttiin kehittämään vielä työn edetessä, ja siksi työn sivutuotteena on vuosien saatossa kertynyt poikkeuksellista osaamista mm. kallioalueiden pohjavesien tutkimuksesta.

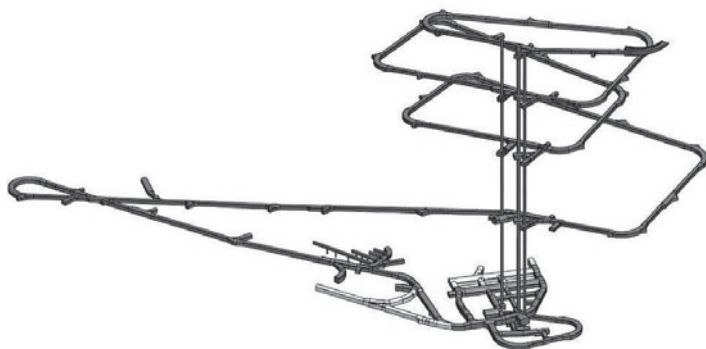
Vuosina 1993–2000 tehtiin yksityiskohtaisia paikkatutkimuksia neljällä alueella (Eurajoen Olkiluoto, Loviisa, Kuhmo ja Äänekoski), ja vuonna 1999 Posiva teki päätöksen ehdottaa Olkiluotoa loppusijoituspaikaksi. Ehdotus vahvistettiin valtioneuvoston periaatepäätöksellä, jonka eduskunta sinetöi äänestyksellä vuonna 2001. Kaikki neljä

aluetta olisivat tutkimusten perusteella soveltuneet loppusijoituspaikaksi, joten paikallinen hyväksyntä ja sijainti ydinvoimalaitosten läheisyydessä Olkiluodossa, jossa sijaitsivat myös suurimmat käytetyt ydinpolttoainemäärät, olivat tärkeitä tekijöitä lopullisessa valinnassa.

ONKALOa rakentamaan

Olkiluodon maanalainen tutkimustila ONKALO™ on ollut rakenteilla vuodesta 2004 lähtien. Loppusijoitussyvyys, noin 420 metriä meren pinnan alapuolella, saavutettiin vuonna 2010 (kuva 2).

ONKALO on alun perin toiminut loppusijoituksen tutkimus- ja testikäytössä, mutta nykyään se on lisäksi osa loppusijoituslaitosta. Maanpinnalta on kairattu 58 syvää tutkimusreikää, joiden yhteenlaskettu pituus on noin 35 kilometriä. Kairausten suunnittelussa on täytynyt huomioida riittävän tiheän tutkimustiedon kerääminen, mutta myös rajoittaa kairareikämäärää siksi, että kallio-perään halutaan aiheuttaa mahdollisimman vähän häiriötä. Näissä ja ONKALOon tehdyissä muissa kairareikäisissä sekä tutkimustiloissa on tehty monenlaisia eri tieteenalojen tutkimuksia, mm. kallion mekaanisten ja pidätysominaisuuksien selvittämiseksi.



Kuva 2. ONKALOn tämänhetkinen havainnekuva. Ajotunnelin pituus on yhteensä noin 5 kilometriä, ja syvimät tunnelit sijaitsevat noin 450 metrin syvyydessä. Noin 400–450 metrin syvyydessä sijaitsevat tunnelin tekniset tilat sekä useita testitunneliteita.



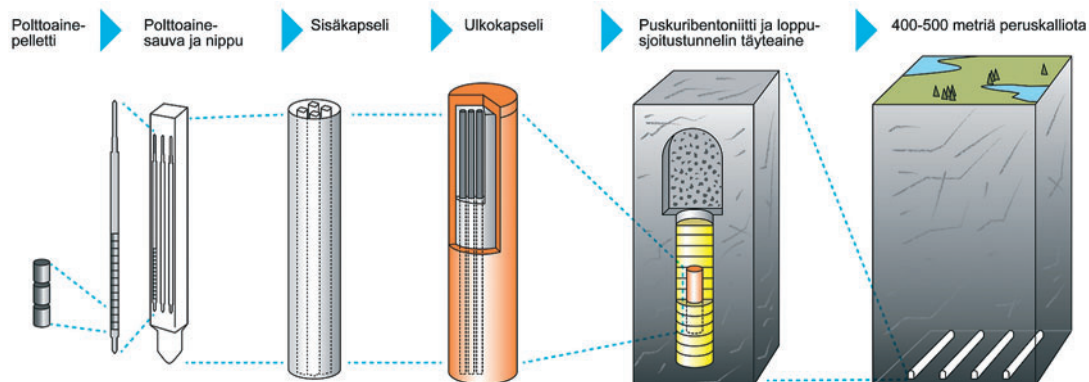
Kuva 3. Tutkimuksia jäätiköitymisen vaikutuksesta loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuteen tehtiin myös Grönlandissa mannerjäätikön reunalla.

Olkiluodon lisäksi kairauksia ja muita tutkimuksia on tehty viime vuosina muun muassa Saimaalla ja Grönlandissa (kuva 3). Tutkimukset ovat liittyneet jääkauden eri vaiheiden vaikutusten arvioimiseen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden näkökulmasta. Nämä tutkimusalueet toimivat ns. luonnon-analogiana – niiden avulla on ollut mahdollista tutkia sellaisia olosuhteita, jotka ovat odotettavissa myös Olkiluodossa seuraavien kymmenien tuhansien vuosien kuluessa. Esimerkiksi Grönlandin mannerjäätikön alueella voidaan perehtyä samantyyppiseen tilanteeseen

kuin mikä tulee vallitsemaan Suomessa seuraavan jääkauden aikana.

Loppusijoituspaikan olosuhteita on seurattu säännöllisesti jo ennen ONKALON louhimisen aloitusta, ja tämä työ jatkuu edelleen. Tähän seurantaohjelmaan kuuluvat kalliomekaniikan, hydrogeologian, hydrogeokemian ja pintaympäristön tutkimukset. Tarkoitus on seurata niissä tapahtuvia muutoksia ja varmistaa, että pitkäaikaisturvallisuus ei vaarannu sekä tarkkailla rakentamisen ja muun ihmisen toiminnan vaikutuksia näihin.

Valtioneuvosto myönsi marraskuussa



Kuva 4. Loppusijoituksessa käytettävän moniesteperiaatteen vapautumisesteet: polttoaine, kuparikapseli, bentoniittipuskuri sekä 400 metriä peruskalliota.

2015 Posivalle käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen rakentamislupa, joka oli ensimmäinen laatuaan maailmassa. Lupa myönnettiin Säteilyturvakeskuksen lausunnon perusteella, jossa todettiin, että Posivan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitos voidaan rakentaa turvallisesti. Rakentamislupa oli kuitenkin ehdollinen, ja lisäselvitystyöt ovat parhaillaan käynnissä eri aihealueilla, kuten paikatutkimuksiin, teknisiin vapautumisesteisiin ja turvallisuusperusteluun liittyen. Näillä näkymin käyttöluvahakemus jätetään vuodelle 2021.

KBS-3-loppusijoituskonsepti

Ydinjätteen loppusijoituskonsepti Suomessa perustuu niin sanottuun moniesteperiaatteeseen. Posiva käyttää ns. KBS-3-konseptia, jota se on kehittänyt yhdessä Ruotsin ydinjätehuollosta vastaavan yhtiön, SKB:n (Svensk Kärnbränslehantering AB), kanssa. Moniesteperiaatteessa radioaktiivinen jäte on useiden toisiaan varmentavien vapautumisesteiden sisällä, jolloin yhden esteen vahingoittuminen ei vaaranna loppusijoituksen turvallisuutta. Konseptissa käytettävät vapautumisesteenä ovat: polttoaineen olomuoto, loppusijoituskapseli, bentoniittipuskuri ja kallioperä (kuva 4).

Tämän hetkisten suunnitelmien mukaan loppusijoituskapselit tullaan loppusijoittamaan loppusijoitustunneleissa sijaitseviin pystyasentoihin loppusijoitusreikiin (KBS-3V; ks. kuva 5). Tässä ratkaisussa kapselit tullaan vuoraamaan bentoniittisavesta valmistetulla puskurilla, jonka tehtävänä on suojata loppusijoituskapselia mekaanisesti ja kemiallisesti sekä tiivistää loppusijoitusreikä. Toinen mahdollisuus on sijoittaa loppusijoituskapselit vaakasentoon (KBS-3H; kuva 5). Tässä tapauksessa sekä kapseli että bentoniitti sijoitetaan aluksi ns. ”superkapseliin”. Näitä superkapseleita sijoitetaan useita peräkkäin ja ne erotetaan toisistaan bentoniittilohkoilla.

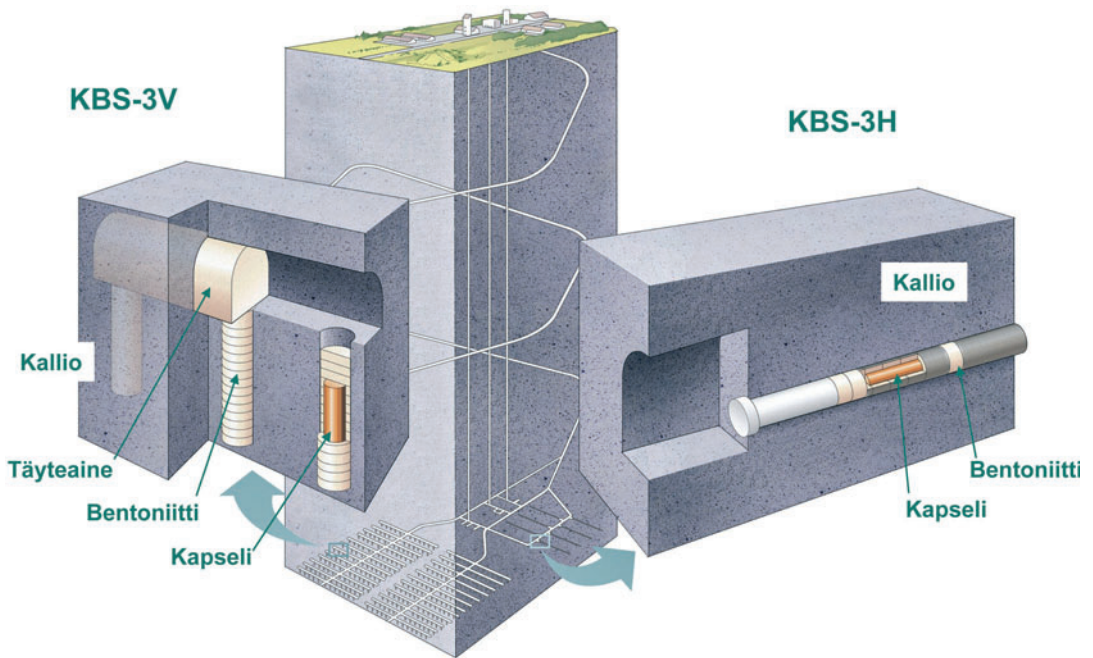
Kallioperä vapautumisesteenä ja kallioperän soveltuvuus loppusijoitukseen

Käytetty ydinpolttoaine tullaan Olkiluodossa loppusijoittamaan noin 420 metrin syvyyteen, joten kallioperätutkimukset ovat merkittävässä osassa myös tuotantovaiheessa. Kallion tehtävänä on ensisijaisesti eristää jätteet elollisesta luonnosta sekä tukea teknisten vapautumisesteiden, kuten kapselin ja puskurin, oikeanlaista toimintaa.

Kallion tulee olla mekaanisesti stabiili, kemiallisten olosuhteiden tulee olla suotuisia ja hydrogeologisten olosuhteiden tulee rajoittaa radionuklidien kulkeutumista maanpinnalle. Kallion tulee mahdollisuuksien mukaan myös itse pidättää radionuklideja sekä hidastaa niiden kulkeutumista biosfääriin. Kallion tulee saavuttaa nämä turvallisuustoiminnot siitä huolimatta, että siihen louhitaan loppusijoituslaitoksen tiloja.

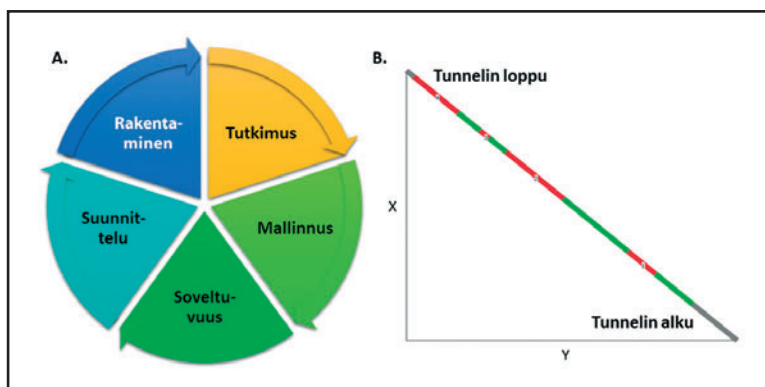
Kallioperästä tulee määritellä loppusijoitukselle soveltuvat tilavuudet niin, että loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuus voidaan taata. Käyttämällä tietoa kairasydäntarkoituksesta, tunnelikartoituksesta, hydrogeologisista ja geokemiallisista olosuhteista sekä mallintamalla saatujen tietojen avulla geologisia 3D-malleja Olkiluodon hauraista rakenteista, voidaan niin sanotun kallion soveltuvuusluokittelun (RSC = Rock Suitability Classification) avulla määrittää nämä soveltuvat kalliotilavuudet jokaisesta loppusijoitustunnelista.

Soveltuvuusluokittelu perustuu pitkäaikaisturvallisuusarvioinnissa määritelyihin yksityiskohtaisiin kriteereihin, joita käyttämällä voidaan varmistaa loppusijoituksen turvallisuus. Luokittelun kriteerit tiukentuvat luokittelun edetessä isommasta mittakaavasta pienempään. Kyseessä on ydinvoimalaitoksille tyypillinen, ns. vaihteittainen lähestymistapa, jolloin arvioinnin kriteerit tiukentuvat lähes-



Kuva 5. Yllä: KBS-3-konseptin vaaka- sekä pystysijoitusvaihtoehdot esitettyinä kaavakuvana. Kuva: Jan Romar, SKB

Alla: Koeloppusijoitusreikä täytettynä ONKALOn tunnelitöissä ja tutkimuksissa käytettävällä vihreällä eli merkatulla vedellä. Merkkaamalla töissä käytetty vesi on se mahdollista erottaa luonnollisista vesistä.



Kuva 6. (A) RSC-prosessin kulku läpi käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen. (B) ONKALON demonstraatiotunneli soveltuvuusluokiteltuna; vihreät tunnelitilavuudet ovat soveltuvia loppusijoituskapselien asemointiin, punaiset tunneliosuudet eivät ole.

tyttäessä ydinturvallisuuden kannalta merkittävempiä järjestelmiä. Soveltuvuusluokittelu jatkuu vaiheittain läpi koko loppusijoitusprosessin (kuva 6).

Loppusijoituksen tulevaisuudennäkymät

Rakentamisluvan saamisen jälkeen Posivalla on ollut käynnissä muun muassa siihen liittyvät lisäselvitykset, loppusijoituslaitoksen ensimmäisten tunnelien louhinnat ja niihin liittyvät geologiset kartoitukset ja hydrogeologiset tutkimukset sekä ympäristön seurantaohjelma. Ennen tuotantovaihetta suoritetaan myös viimeisimpiä laitekehityksen testejä ja tulevana vuonna järjestetään ensimmäinen täyden mittakaavan järjestelmäkoee, jossa testataan kaikkia loppusijoituksen toimintoja yhdessä. Näissä testeissä lämmittimillä varustetut loppusijoituskapselit ja bentoniittipuskuri asetetaan koeloppusijoitusreikiin, tunneli täytetään ja lopulta suljetaan tulpalla. Tämän jälkeen testit jatkuvat edellä mainittujen vapautumisesiteiden toimintakykyä seuraten.

Lähes neljän vuosikymmenen ajan käynnissä olleet paikatutkimukset ovat tuottaneet kattavasti tutkimustietoa, joihin myös nykyiset loppusijoituksen turvallisuusperustelut pohjautuvat. Vaikka turvallisuuden osoittamisen kannalta avoimet asiat saadaan ratkaistua ennen loppusijoituksen aloittamista, tuotan-

totyypiset tutkimukset kuitenkin jatkuvat osana käyttötoimintaa. Kallioperän soveltuvuusarviointia tehdään ja ympäristön tilaa seurataan koko loppusijoituslaitoksen käyttövähen ajan.

Kun viimeiset käyttöluvhakemusta varren tehtävät loppusijoituksen toimivuutta tukevat tutkimukset ja menetelmätestit on suoritettu hyväksytysti ja hakemus on hyväksytty, alkaa Suomessa ensimmäisenä maailmassa ydinjätteen loppusijoitus noin vuonna 2024. Tämänhetkisen suunnitelman mukaan loppusijoitus jatkuu noin sata vuotta ja laitos on tarkoitus sulkea 2120-luvulla.

Kirjoittajat työskentelevät Posivan palveluksessa (N.R. ja J.S. geologeina, J.M. ja I.A. tutkimuspäällikköinä).

Lisätietoa:

Lisätietoja Posivan tutkimuksista ja ajankohtaisista asioista löytyy yhtiön verkkosivuilta: <http://www.posiva.fi>

Posiva Oy ja SKB, 2017. Safety functions, performance targets and technical design requirements for a KBS-3V repository. Posiva SKB Report 2017-01, 116 s. <http://www.posiva.fi/files/4568/Posiva-SKB-Report-01.pdf> [27.10.2017]