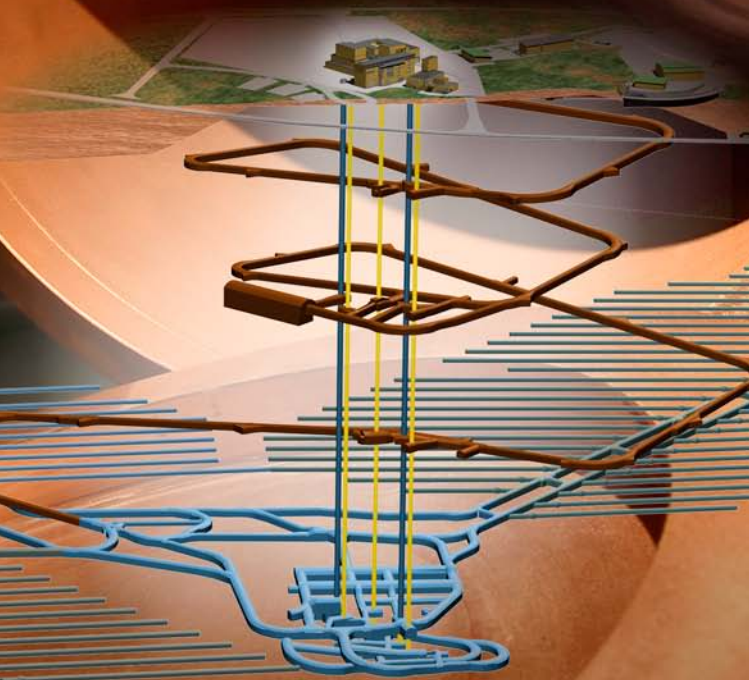
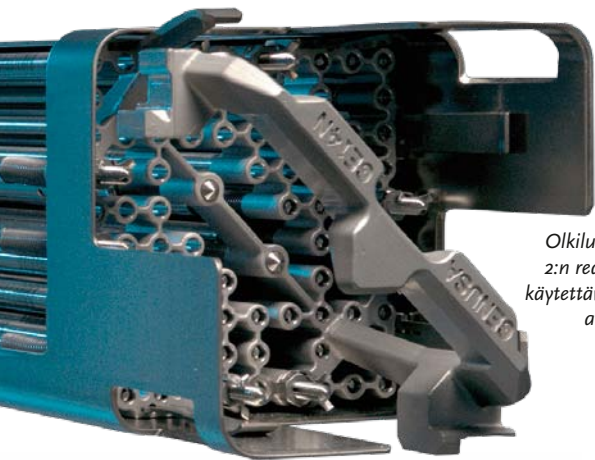


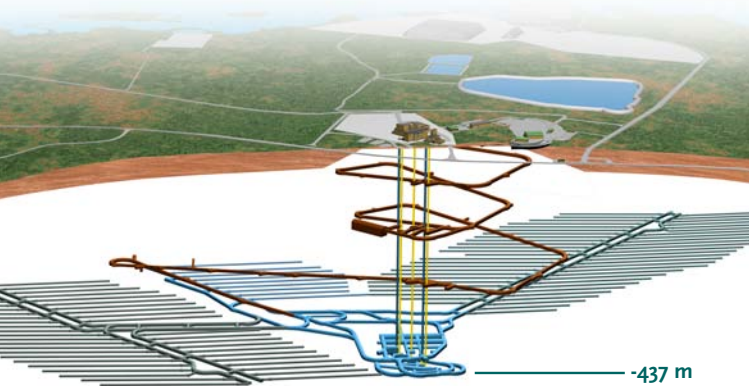
POSIVA

# Käytetyn ydinpolttoaineen turvallinen loppusijoitus





*Olkiluoto 1:n ja  
2:n reaktoreissa  
käytettävä poltto-  
ainenippu.*



*Käytetty ydinpolttoaine sijoitetaan noin 400 metrin syvyyteen. Jo kaksi metriä  
kalliota riittää vaimentamaan säteilyn luonnon taustasäteilyn tasolle.*



# Tutkimalla turvallista

Ydinvoimalat käyttävät polttoaineenaan uraania, joka muuttuu käytön aikana voimakkaan radioaktiiviseksi. Radioaktiivisuutensa vuoksi käytetystä polttoaineesta on huolehdittava niin, ettei siitä aiheudu pitkälläkään aikavälillä haittaa elolliselle luonnolle. Loppusijoitus perustuu radioaktiivisten aineiden eristämiseen ihmisten elinpiiristä. Radioaktiivisuus vaimenee ajan myötä: vuodessa se vähenee sadasosaan ja 40 vuodessa tuhanteen osaan siitä, mitä se oli reaktorista poiston hetkellä.

Vastuu ydinjätehuollosta kuuluu voimayhtiöille. Suomalaiset ydinvoimayhtiöt Teollisuuden Voima Oyj ja Fortum Power and Heat Oy ovat osoittaneet käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen liittyvät tehtävät Posiva Oy:lle.

Posiva tutkii Olkiluodon kallioperää sekä kehittää turvallista loppusijoitusratkaisua. Tutkimus- ja kehitystyön tavoitteena on varmistaa, että kaikki asetetut vaatimukset täyttyvät ja loppusijoituslaitokselle voidaan myöntää rakentamis- ja käyttöluvut.

## Periaatepäätös tehty vuonna 2000

Valtioneuvosto on tehnyt periaatepäätökset nykyisten neljän (OL1, OL2, Lo1 ja Lo2) laitosisyksikön sekä rakenteilla olevan OL3 -yksikön käytetyn ydinpolttoaineen loppu-

sijoittamisesta Eurajoen Olkiluotoon.

Lisäksi Posiva on jättänyt periaatepäätöshakemukset omistajiensa suunnitteleminen Olkiluoto 4 ja Loviisa 3 -yksiköiden käytetylle ydinpolttoaineelle.

## Olkiluodon kallioperä ja olosuhteet tunnetaan

Olkiluodon kallioperä on 1800–1900 miljoonaa vuotta vanhaa kiillegneissistä ja graniitista koostuvaa seoskiveä. Loppusijoituksen toteutuksessa tarvitaan tutkimustietoa kallioperän rakenteesta, pohjavesikemiasta sekä virtausolosuhteista. Näitä tietoja hyväksi käyttäen tehdään malleja, joiden avulla arvioidaan loppusijoitusratkaisun toimivuutta ja turvallisuutta.

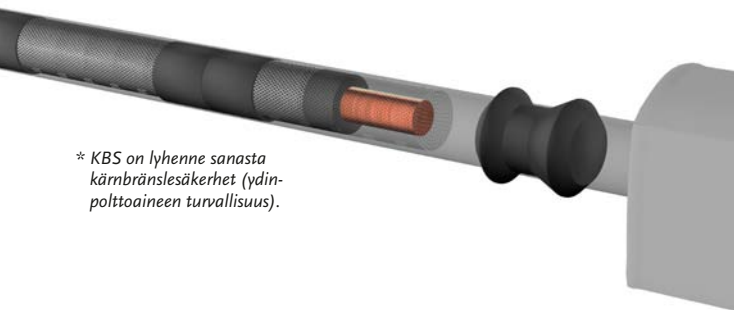
Olkiluodon kallioperää on tutkittu syväkairauksin 1980-luvulta lähtien. Tutkimukset osoittavat, että pohjavesi on satojen metrien syvyydessä hapetonta ja sen virtaukset vähäisiä.

Vuonna 2004 aloitettiin maanalaisen tutkimustilan, ONKALON, louhiminen. Tutkimustilasta hankittavan tiedon perusteella voidaan varmistaa Olkiluodon kallioperän soveltuvuus loppusijoitukseen, testata teknisiä ratkaisuja ja näin hankkia luottamus loppusijoituksen turvallisuuteen. ONKALO tarjoaa mahdollisuuden kehittää kalliorakentamis- ja loppusijoitustekniikkaa aidoissa olosuhteissa.



*Posivan loppusijoitusratkaisu perustuu Svensk Kärnbränslehantering AB:n kehittämään malliin, joka tunnetaan nimellä KBS-3\*. Loppusijoitustilojen*

*suunnitelmat perustuvat kapselien pystysijoitusratkaisuun (KBS-3V). Sen ohella kyseeseen voi tulla vaakasijoitusratkaisu (KBS-3H).*



*\* KBS on lyhenne sanasta kärnbränslesäkerhet (ydinpolttoaineen turvallisuus).*

## Loppusijoitusratkaisu

Loppusijoitettaessa käytetty ydinpolttoaine kapseloidaan ja sijoitetaan kallioperään.

Loppusijoituslaitos muodostuu maanpäällisestä kapselointilaitoksesta sekä syvällä kalliassa olevasta loppusijoitustilasta.

ONKALO on tulevaisuudessa osa loppusijoituslaitosta. Sen ajotunnelia sekä kuiluja käytetään loppusijoitustiloja rakennettaessa ja käytettäessä.

Suunnitelmien mukaan loppusijoitustunnelit raken-

netaan noin 400 metrin syvyyteen.

Käytetty polttoaine pakataan loppusijoituskapseleihin kapselointilaitoksessa. Kapselit sijoitetaan loppusijoitustunnelin lattiaan porattuihin pystysuoriin reikiin (KBS-3V-ratkaisu), joissa kapselin ja kallion välisenä puskurimateriaalina käytetään kovaksi puristettua bentoniittia. Tunnelleita täytetään saviharkoilla sitä mukaa kun kapseleita loppusijoitetaan.



*Savessa erilaiset materiaalit säilyvät muuttumattomina jopa miljoonia vuosia. Esimerkiksi unkarilaisesta kaivoksesta löytyi 8 000 000 vuotta vanha, savessa hyvin säilynyt sypressimetsä.*

◀ *Puhtaan luonnonkuparin esiintymät maapallolla ovat osoittaneet loppusijoituskapselissakin käytettävän kuparin voivan säilyä muuttumattomana kalliassa erittäin pitkiä aikoja. Kuvan metallinen kupari on yli 50 000 000 vuotta vanhaa. Sen pinta on patinoitunut, mutta sisäosa on säilynyt ennallaan.*



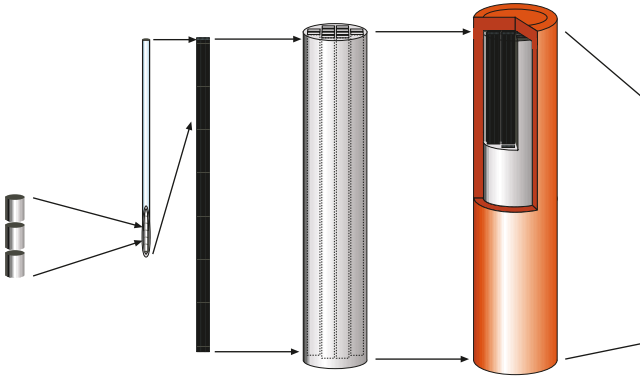
## Luonnonalogiat turvallisen ratkaisun tukena

Kenttätutkimusten sekä teoreettisten analyysimallien ja laskelmien lisäksi loppusijoituksen turvallisuutta voidaan arvioida myös niin kutsuttujen luonnonalogioiden avulla.

Nämä ovat eri puolilta maailmaa löydettyjä esimerkkejä siitä, miten luonnossa olevat materiaalit ovat käyttäytyneet erilaisissa olosuhteissa pitkien aikojen kuluessa.

Luonnolliset kuparimuodostumat ovat kestäneet eri puolilla maailmaa jopa miljoonia vuosia, mitä voidaan pitää todisteena kuparikapselien pitkäaikaisesta kestävyydestä syvällä kalliassa. Esimerkiksi Hyrkkölässä ja Askolassa kuparia esiintyy graniittikivissä alkuperäisessä muodossaan, vaikka kupari on altistunut sulfidipitoiselle pohjavedelle hapettavissa olosuhteissa.

*Useat toisiaan varmentavat vapautumisesteet takaavat pitkäaikaisturvallisuuden.*



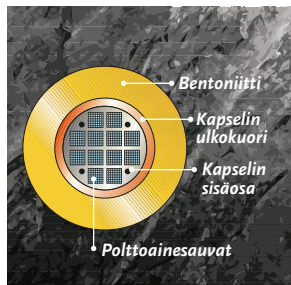
- 1 Polttoainepelletti
- 2 Polttoainerippu
- 3 Kapselin sisäosa
- 4 Kapselin ulkokuori

## Moniesteperiaate takaa turvallisuuden

Loppusijoitus toteutetaan moniesteperiaatteen mukaisesti. Moniesteperiaatteessa käytetty ydinpolttoaine eristetään syväälle kallioon useilla, toisiaan täydentävillä vapautumisesteillä. Periaatteenä on, että yhden vapautumisesteen toimintakyvyn vajavuus ei vaaranna pitkäaikaisturvallisuutta.

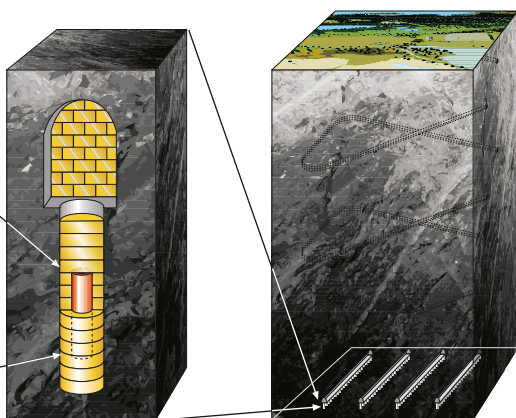
Vapautumisesteitä ovat loppusijoituskapseli, bentoniittipuskuri, loppusijoitustunnelien täyteaine sekä ehyt kallio loppusijoitustilojen ympärillä. Loppusijoituksen turvallisuus perustuu

luonnonmateriaaleihin sekä kallioperässä vallitseviin vakaisiin ja ennustettaviin olosuhteisiin.



*Loppusijoitetun polttoaineen ympärillä on useita vapautumisesteitä (vaakaleikkaus).*





5 Bentoniitti ja tunnelien täyteaine

6 400–700 metriä peruskalliota

### 1 Polttoainepelletti

Käytetyn polttoaineen uraani on keraamisessa ja erittäin hitaasti liukenevassa muodossa.

### 2 Polttoainenippu

koostuu kaasutiiviistä metallizirkoniumsauvoista, joiden sisällä uraanipolttoaine on keraamisina pelletteinä. Olkiluodon nykyisten reaktoreiden polttoainenippu koostuu noin 100 sauvasta.

### 3 Kapselin sisäosa

Polttoaineniput ovat massiivisessa pallografiittivalurautaisessa sisäosassa. Sisäosa suojaa nippuja syvällä kalliolla tapahtavalta mekaaniselta rasitukselta.

### 4 Kapselin ulkokuori

on korroosiota hyvin kestävää kuparia.

### 5 Bentoniitti

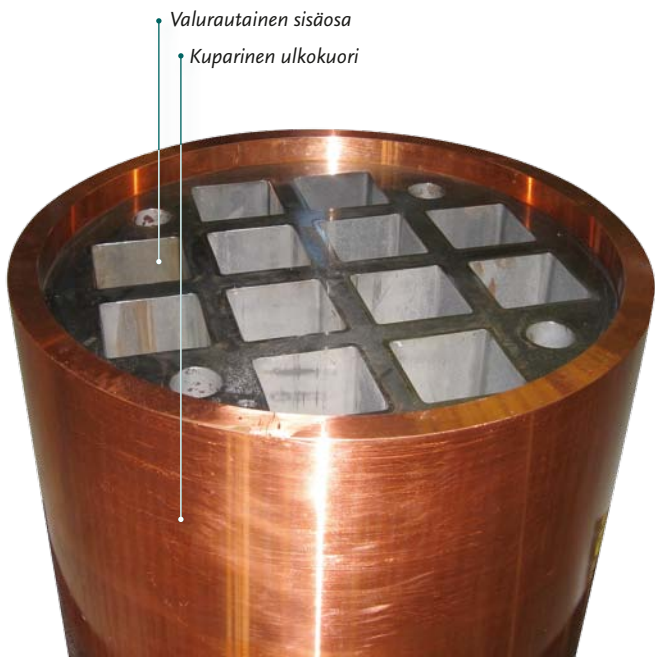
toimii puskurina eristäen loppusijoituskapselin sitä ympäröivästä kalliosta. Bentoniitti paisuu joutuessaan kosketuksiin veden kanssa ja estää veden liikkeen kapselin ympärillä.

#### Tunnelien täyteaineen

tarkoituksena on estää veden virtaus, pitää puskurimateriaali paikallaan sekä säilyttää tunnelien mekaaninen vakaus.

### 6 400–700 metriä peruskalliota

eristää loppusijoitetun polttoaineen elollisesta ympäristöstä. Sijoittamalla polttoaine tähän syvyyteen vältetään maanpäällisten muutosten vaikutus loppusijoituskapseleiden lähiympäristöön.



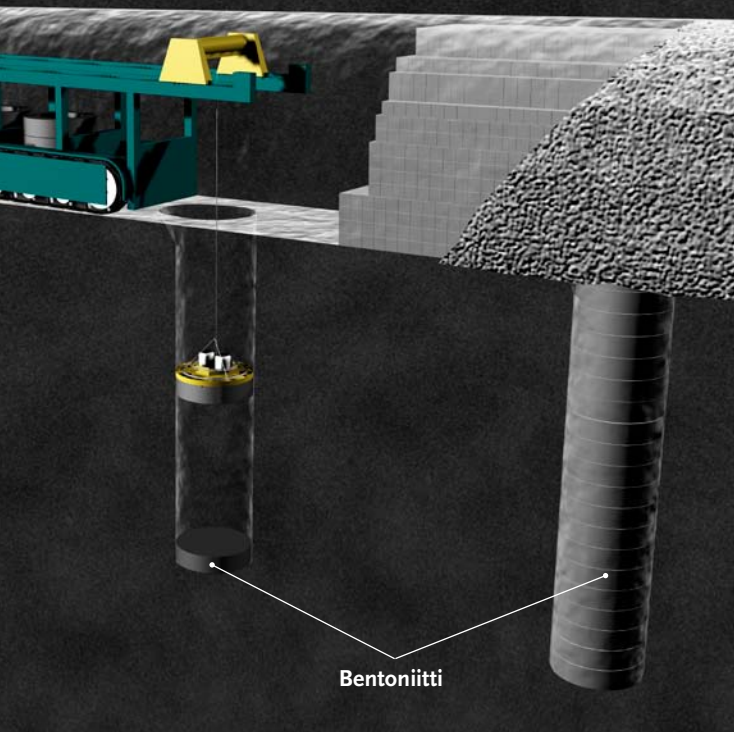
## Loppusijoituskapseli kestää aikaa

Usean kymmenen vuoden vä-livarastoinnin jälkeen käytetyt polttoaineput pakataan kaa-su- ja vesitiiviiseen kupari-valurautakapseliin. Kapselin sisätila täytetään suojakaasulla, jotta kosteuden ja säteilyn aiheuttama sisäinen korroosio jää merkityksettömäksi.

Valurautaisen sisäosan ansiosta kapseli kestää kallioperässä vallitsevia mekaanisia rasituksia, kuten mahdollisia maanjäristyksiä ja mannerjään aiheuttamaa painetta.

Kuparinen ulkokuori suo-jaa kapselia pohjaveden syövyttävältä vaikutukselta. Syvällä kallioperässä pohjavesi on tutkimusten mukaan hapetonta ja siksi sen kyky syövyttää kuparia on heikko. Kuparikapseli säilyttää tiiviy-tensä loppusijoitusolosuh-teissa jopa miljoonia vuosia.





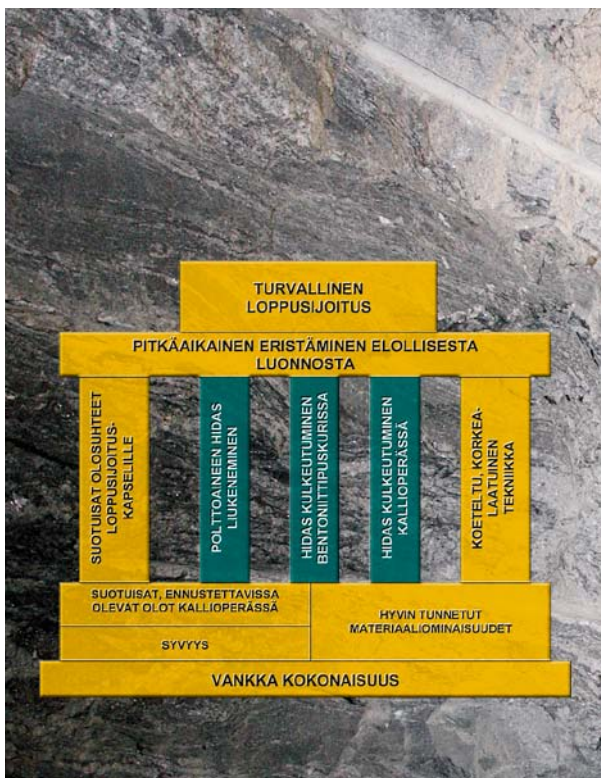
## Bentoniitti – tiivis ja joustava puskurimateriaali

Bentoniitti on luonnonsavea, joka on syntynyt tulivuoren purkausten tuhkasta. Sitä esiintyy yleisesti eri puolilla maailmaa.

Vedeneristysominaisuksiensa ansiosta bentoniittia on käytetty pitkään erilaisissa maarakentamisen sovelluksissa. Tiiviys ja pitkäikäisyys tekevät bentoniittisavesta soveliaan materiaalin loppusijoitukseen.

Kovaksi puristettua bentoniittia käytetään polttoai-

nekapselia suojaavana puskurina. Kallioperän pohjavesi imeytyy bentoniittiin, joka paisuu ja muodostaa kuparikapselin ympärille tiiviin, joustavan ja pitkäikäisen eristeen. Bentoniitin tiiviys estää haitallisten aineiden kulkeutumisen ja joustavuus suojaa kapselia kallion mahdollisilta liikunnoilta esimerkiksi maanjäristysten seurauksena.



## Turvallisuusperustelu

Ydinenergia-asetuksen mukaan ”Pitkääikaisturvallisuutta koskevien säteilyturvallisuusvaatimusten täyttyminen sekä loppusijoitusmenetelmän ja loppusijoituspaikan soveltuvuus on osoitettava turvallisuusperustelulla, jossa on tarkasteltava sekä todennäköisinä pidettäviä kehityskulkuja että pitkäikaisturvallisuutta heikentäviä epätodennäköisiä tapahtumia”.

Turvallisuusperustelua koskeva vaatimus täytetään raporttiaineistolla, jossa tar-

kastellaan loppusijoituspaikan ja -tilojen sekä teknisten vapautumisesteiden toimintakykyä. Tarkastelujakso ulottuu noin 250 000 vuoden päähän, ainakin yhden jääkausijakson yli. Tällöin loppusijoitetun polttoaineen radioaktiivisuus on samaa tasoa kuin laajan uraaniesiintymän.

Tähän mennessä tehtyjen tutkimusten ja selvitysten perusteella käytetyn polttoaineen loppusijoituksesta ei tule aiheutumaan merkittäviä haittavaikutuksia ihmisille tai luonnolle.

# Yhteiskunta asettaa loppusijoitukselle tiukat säteilyrajat

Loppusijoituksen turvallisuusmääräyksissä pitkäaikaisturvallisuuden vaatimukset on luokiteltu erikseen: 1. ennustettavissa olevalle, seuraavien tuhansien vuosien ajanjaksolle ja 2. pidemmälle ulottuvalle, suuria ilmastomuutoksia kattavalle ajanjaksolle.

Ennustettavissa olevalla ajanjaksolla ihmiselle loppusijoituksesta aiheutuvan vuotuisen säteilyannoksen ylärajaksi on asetettu **0,1 mSv**.

Yksittäiselle ihmiselle koituvien säteilyannosten arviointi on sitä vaikeampaa, mitä kaukaisemmasta tulevaisuudesta on kysymys. Siksi pitkällä aikavälillä ihmisiin ja ympäristöön kohdistuvien vaikutusten arviointiperusteena käytetään säteilyannosten sijasta loppusijoitustiloista elolliseen luontoon vapautuvien radioaktiivisten

aineiden määrää aktiivisuuksina (yksiköissä Bq/vuosi ilmaistuna).

Säteilyturvakeskus edellyttää ohjeissaan, että skenaarioanalyysin tulee käsittää sekä todennäköisinä pidettävät kehityskulut että pitkäaikaisturvallisuutta heikentävät epätodennäköiset tapahtumat.

Skenaariot muodostetaan pitkäaikaisturvallisuuden kannalta mahdollisesti merkityksellisistä ilmiöistä, tapahtumista ja prosesseista. Epätodennäköisinä tapahtumina otetaan huomioon muun muassa:

- syvän porakaivon tekeminen loppusijoituspaikalle
- kallionäytekairaus, joka osuu loppusijoituskapseliin
- huomattavan suuri kallio liikunto loppusijoitustilan lähiympäristössä.

## Tietoa säteilyn lähteistä ja säteilyannoksista Suomessa

Loppusijoituksesta sallittavan säteilyannoksen ylärajaksi on asetettu **0,1 mSv**.



Puolet suomalaisten keskimäärin saamasta säteilyannoksesta eli noin **2 mSv** on peräisin huoneilman radonista.

Luonnosta saatava säteilyannos Suomessa on noin **1 mSv**. Lääketieteellisistä toimenpiteistä saamme keskimäärin noin **0,5 mSv**.

# Usein kysyttyä

**Kun Suomi hoitaa ydinjätteen loppusijoituksen, eikö ole vaarana, että muualta maailmasta tuodaan ydinjätettä tänne varastoitavaksi?**

– Samalla kun ydinenergia-laki edellyttää, että suomalaiset ydinjätteet on loppusijoitettava Suomeen, siinä kielletään ulkomaisten ydinjätteiden tuonti tänne.

**Mitä seuraa mahdollisten uusien ydinvoimalaitosyksiköiden (OL4 ja LO3) käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamisesta Olkiluotoon?**

– Loppusijoitettavien kapselien määrä kasvaa. Tällöin myös viallisten tai loppusijoitustiloissa mahdollisesti vioittuvien kapselien määrän arvioidaan kasvavan. Tästä aiheutuvalla päästöjen kasvulla ei ole kuitenkaan merkittäviä vaikutuksia ihmisille tai muulle elolliselle ympäristölle, koska tällöinkin mahdolliset säteilyannokset jäisivät viranomaisten asettamia annosrajoja pienemmiksi.

**Onko ikiroudan ja jääkauden vaikutukset otettu riittävällä tavalla huomioon loppusijoituksen suunnittelussa?**

– Ikiroudan ja jääkauden vaikutuksia loppusijoitusratkaisuun on tutkittu Suomes-

sa ja muualla maailmassa. Posiva tekee tutkimusyhteistyötä näissä kysymyksissä mm. ruotsalaisen ydinjäteyhdistö SKB:n kanssa.

Tutkimustulokset viittaa siihen, että Olkiluodossa ikiroudan ja jään muodostumisella sekä jäätikön edestakaisilla liikehännöillä on vain vähän vaikutusta loppusijoitusyvytydellä olevaan lämpötilaan. Toisaalta Posiva on myös selvittämässä mitä todella tapahtuu loppusijoitustiloissa, mikäli kallion lämpötila laskee alle veden jäätymispisteen.

**Mitä seuraa, jos loppusijoituskapseli vastoin odotuksia syöpyy puhki loppusijoitustiloissa?**

– Mikäli loppusijoituskapseli syöpyy puhki, voi pohjavesi päästä kosketuksiin kapselin sisällä olevien polttoainepujujen kanssa. Uraanipolttoaine on kuitenkin hyvin korroosiota kestävien zirkonium-metallisten sauvojen sisällä. Lisäksi polttoaine on kiinteässä ja vaikealiukoisessa muodossa. Näin ollen polttoaineen liukenemiseen tai kemialliseen muuntumiseen ja siten radioaktiivisten aineiden vapautumiseen kuuluu todennäköisesti miljoonia vuosia.

### **Mitä tapahtuisi suuren maanjärjestyksen kohdistuessa loppusijoitustilaan?**

– Maanjärjestykset otetaan huomioon loppusijoitustilaja suunniteltaessa.

Hyvin pessimistisessä tapauksessa, jossa ei oteta huomioon mahdollisuutta välttää suurempia rakoja, voisi useita kapseliteita vaurioitua kalliosiiroksessa. Tällöinkin suurin mahdollinen yksilön vuotuinen säteilyannos olisi vain noin tuhannesosa suomalaisen keskimäärin kaikesta säteilystä saamasta vuosiansiannoksesta.

### **Kuinka paljon loppusijoitus tulee maksamaan ja kuka vastaa kustannuksista?**

– Nykyisten ydinvoimalaitosyksiköiden ja rakenteilla olevan OL3-yksikön käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus maksaa nykyarvion mukaan noin 3 miljardia euroa. Kustannuksista suurimman osan, runsaat kaksi miljardia, aiheuttaa loppusijoituslaitoksen noin sata vuotta kestävä käyttö.

Loppusijoituksen kustannuksista vastaavat ydinvoimayhtiöt. Ydinjätehuollon kustannukset on huomioitu ydinsähkön hinnassa.

### **Milloin loppusijoitus alkaa?**

– Valtioneuvoston aikanaan päättämän aikataulun mukaisesti loppusijoituksen määrä alkaa vuonna 2020. Loppusijoituksen suunnittelu on edennyt tämän aikataulun mukaisesti.

### **Miten kauan käytetyn polttoaineen loppusijoitus kestää?**

– Nykyisten ydinvoimalaitosyksiköiden ja rakenteilla olevan Olkiluoto 3 -yksikön käytetyn polttoaineen loppusijoitus kestää noin sata vuotta.

### **Missä käytetyt ydinpolttoaineniput ovat ennen kuin ne viedään loppusijoitustiloihin?**

– Käytetty ydinpolttoaine on heti käytön jälkeen voimakkaasti radioaktiivista. Reaktorista poiston jälkeen sitä säilytetään ensin muutama vuosi reaktorihallin vesialtaissa. Tämän jälkeen polttoaineniput siirretään käytetyn polttoaineen välivarastoon vesialtaisiin.

Nykyisten voimalaitosyksiköiden käytetty polttoaine on välivarastoissa vähintään 20 vuotta ja rakenteilla olevan Olkiluoto 3 -yksikön polttoaineniput noin 60 vuotta. Välivarastointia tarvitaan muun muassa siksi, että polttoainenippujen lämmöntuotto laskee loppusijoituksen edellyttämälle tasolle.

# Posiva lyhyesti

Posiva on vuonna 1995 perustettu ydinjätehuollon asiantuntijaorganisaatio, jonka palveluksessa on noin 80 henkilöä. Posivan tehtävänä on valmistella loppusijoitusta omistajayhtiöidensä käytetylle ydinpolttoaineelle. Posiva vastaa käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustutkimuksista, loppusijoituslaitoksen rakentamisesta ja käytöstä sekä laitoksen sulkemisesta käytön jälkeen.

Posiva tekee yhteistyötä lukuisien suomalaisten ja ulkomaisien eri alojen asiantuntijaorganisaatioiden kanssa ja tilaa ydinjätehuoltoon liittyviä tutkimuksia yliopistoilta, korkeakouluilta, tutkimuslaitoksilta ja konsulttiyrityksiltä.

## **Posivan omistajat**

Posivan omistajat Teollisuuden Voima Oyj (60 %) ja Fortum Power and Heat Oy (40 %) vastaavat ydinjätehuollon kustannuksista. Posiva huolehtii omistajiensa ydinvoimalaitosten, Olkiluodon ja Loviisan, käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta.

Posiva Oy  
Olkiluoto, 27160 EURAJOKI  
Puh. (02) 8372 31  
Faksi (02) 8372 3809  
[www.posiva.fi](http://www.posiva.fi)