



Käytetyn ydinpolttoaineen  
loppusijoitus Olkiluodossa



Olkiluodon kallioperää tutkitaan kairaamalla maan pinnalta pisimmillään noin kilometrin pituisia reikiä. Kairasydännäytteestä selvitetään kalliossa olevat rakenteet sekä kivilajit.



## Sisällys

|  |    |
|--|----|
| Mitä loppusijoitus on? .....                           | 4  |
| Uraanin matka voimalaitoksesta loppusijoitukseen ..... | 6  |
| Moniesteperiaate varmistaa turvallisuuden .....        | 8  |
| Loppusijoituksen vaiheita .....                        | 10 |
| Loppusijoituksen vastuut.....                          | 12 |

# Mitä loppusijoitus on?

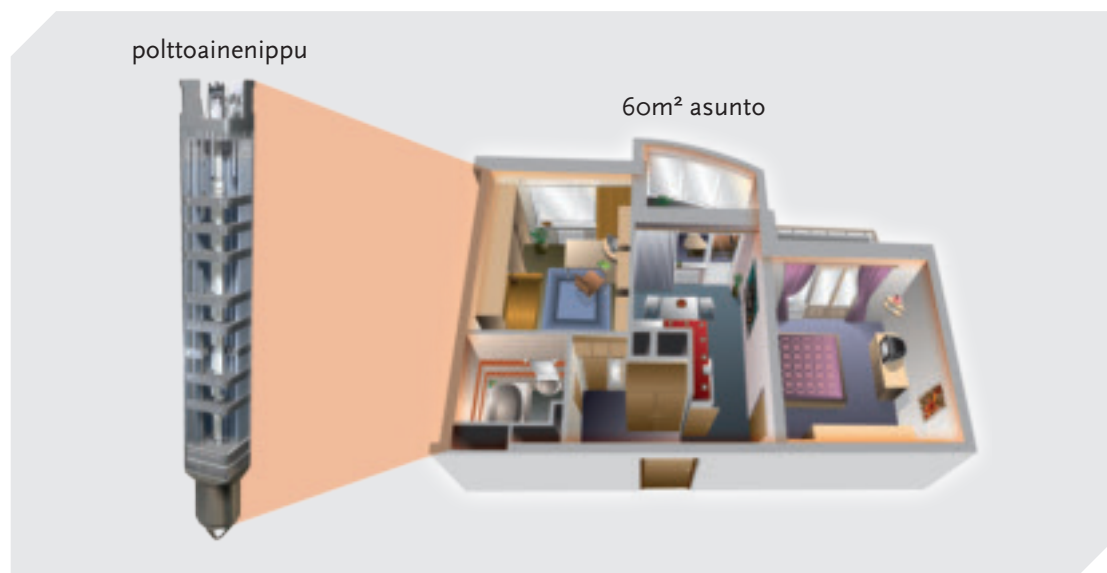
Kaikilla energiantuotantomuodoilla on ympäristövaikutuksia. Ydinvoiman ympäristövaikutukset ovat vähäisiä, merkittävien niistä on lämmön tuotto merialueelle. Osa jätteestä on radioaktiivista, ja se pitää eristää elollisesta luonnosta niin pitkäksi aikaa, että sen radioaktiivisuus on vähentynyt merkityksettömälle tasolle. Tätä eristämistä kutsutaan loppusijoitukseksi.

Suomessa ydinsähkön tuottajat vastaavat kaikilta osin ydinjätehuollostaan. Teollisuuden Voima Oyj (TVO) ja Fortum Power and Heat Oy ovat huolehtineet ydinjätteistä toiminnan alusta lähtien.

Ydinvoimalaitoksessa syntyy valvonnasta vapautettua jätettä, matala- ja keskiaktiivista voimalaitosjätettä, korkea-aktiivista käytettyä polttoainetta sekä käytöstäpoisto-jätettä. Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten käytön aikana ja huolloissa syntyvä matala- ja keskiaktiivinen jäte varastoidaan

laitosalueilla sijaitseviin voimalaitosjätteen loppusijoitustiloihin.

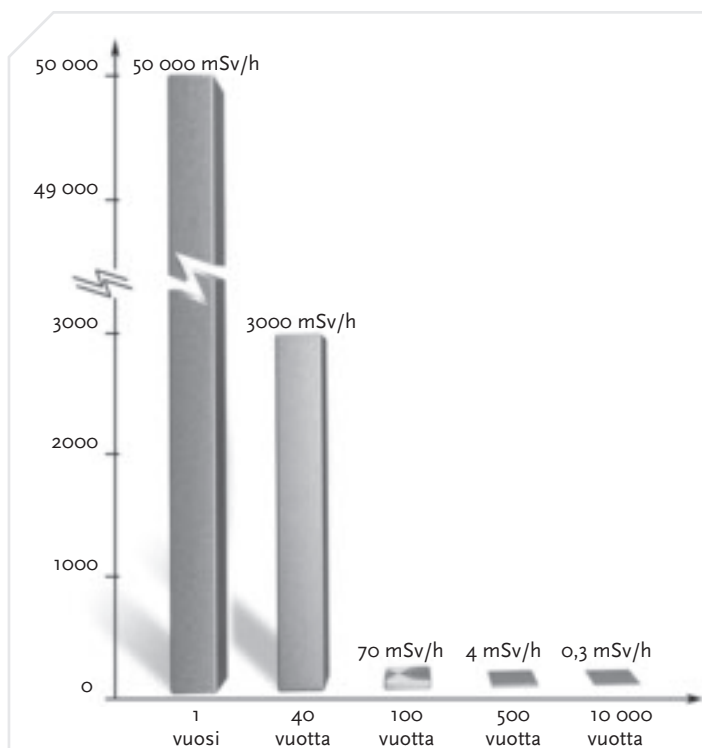
Korkea-aktiivinen käytetty polttoaine on tällä hetkellä varastoituna voimalaitosalueilla sijaitsevilla vesiallasvarastoissa, joista se myöhemmin loppusijoitetaan Olkiluodon kallioperään. TVO ja Fortum ovat perustaneet Posiva Oy:n huolehtimaan Suomessa tuottamansa käytetyn polttoaineen loppusijoitustoiminnasta ja siihen liittyvästä tutkimustyöstä. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustoiminnan on tarkoitus alkaa noin vuonna 2020.



Yhden voimalaitosyksikön käyttökänsä aikana tuottaman käytetyn polttoaineen saisi määränsä puolesta mahtumaan vaikkapa 60m<sup>2</sup> huoneistoon. Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosyksiköistä syntyy kaikkiaan 9 000 tonnia käytettyä polttoainetta.

## Tiesitkö, että...

Loppusijoitusta on tutkittu ja kehitetty Suomen olosuhteissa jo 1970-luvulta saakka ja sen tutkimus- ja kehitystyötä jatketaan edelleen.



### 1 vuosi / 50 000 mSv/h:

Käytöstä poistetun polttoainepin säteilytaso pienenee vuodessa lähes sadasosaan

### 40 vuotta / 3000 mSv/h:

1 000 mSv aiheuttaa äkillisesti saatuna säteilytautiin ja 8 000 mSv kuolemaan

### 100 vuotta / 70 mSv/h:

Säteilytyössä työntekijän annosraja viidessä vuodessa on 100 mSv

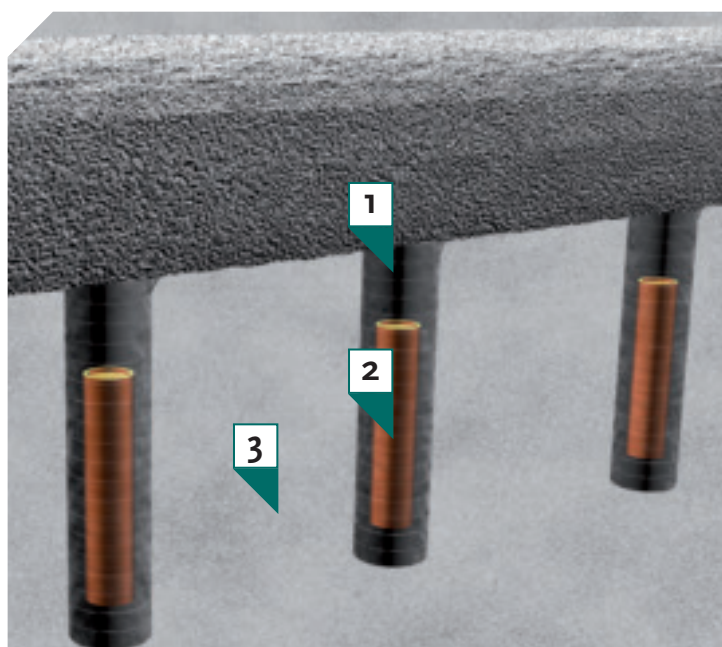
### 500 vuotta / 4 mSv/h:

Suomalaisen keskimääräinen säteilyannos on noin 4 mSv vuodessa

### 10 000 vuotta / 0,3 mSv/h:

Mammografia-röntgen-tutkimuksen säteilyannos on noin 0,3 mSv

Käytetyn ydinpolttoaineen säteily polttoainepinnoilla ilman suojakapselia.



1. Bentoniittipuskuri vaimentaa säteilytason loppusijoitustunnelissa luonnon taustasäteilyn tasolle.

2. Säteilytaso loppusijoitusreiässä kapselin pinnalla on 40 vuoden kuluttua 59 mSv tunnissa, 500 vuoden kuluttua 0,4 mSv tunnissa ja 10 000 vuoden kuluttua 0,1 mSv tunnissa.

3. Kaksi metriä kalliota vaimentaa säteilytason luonnon taustasäteilyn tasolle.

Suomessa taustasäteily vaihtelee välillä 0,00004-0,0003 mSv tunnissa.

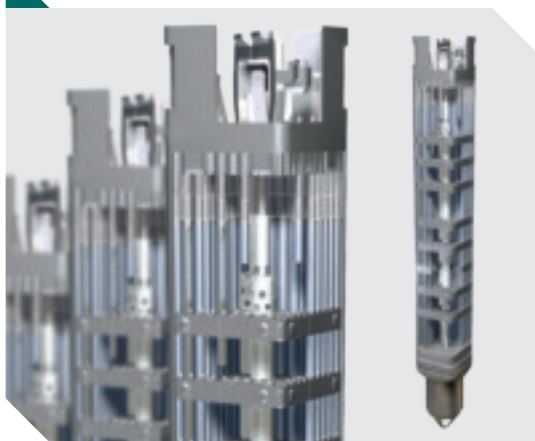
Säteilyarvoja loppusijoitustiloissa.

# Uraanin matka voimalaitoksesta loppusijoitukseen

Jokaisessa ydinpolttoaineen käsittelyvaiheessa on moninkertaiset turvallisuusjärjestelmät polttoaineen käsittelyä, säilytystä, jäädytystä ja kuljetusta varten sekä onnettomuuksien varalta.

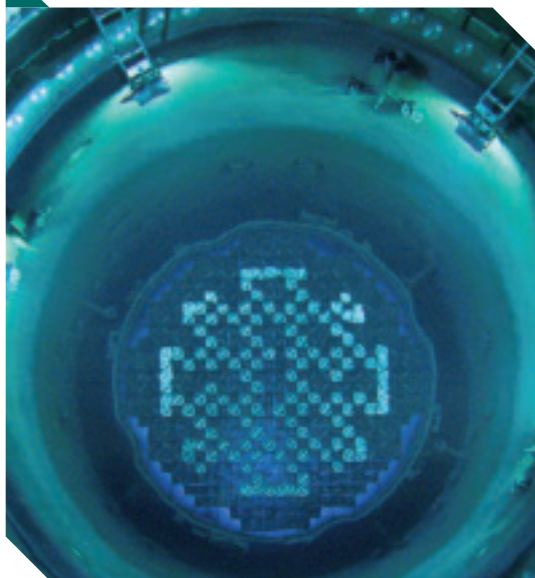
Polttoaineen valmistus ► Voimalaitos ► Välivarastointi ► Kapselointilaitos ► Loppusijoitus

## Polttoaineen valmistus



Polttoaineen valmistus on monivaiheinen prosessi, jota edeltää uraanimalmin louhinta, uraanin rikastaminen malmista, rikasteen konversio (muuttaminen uraaniheksafluoridiksi), väkevöinti U-235-isotoopin suhteen ja muutos takaisin jauhemaiseksi uraanidioksidiksi. Polttoainetehtaalla uraanidioksidi puristetaan pieniksi tableteiksi, jotka sintrataan korkeassa lämpötilassa ja ladotaan zirkoniummetallisten polttoainesauvojen sisään. Sauvat kootaan nipuiksi, joita on helppo käsitellä. Uraanidioksidi on keraami, jonka sulamislämpötila on korkea, noin 2800 °C.

## Voimalaitos



Reaktorissa polttoaineen uraani-235 ytimen halkeamisessa, fissiona, vapautuu energiaa ja polttoaine lämpenee. Lämpö otetaan talteen veteen, joka höyrystyy ja kehittää turbiinin ja generaattorin avulla sähköä.

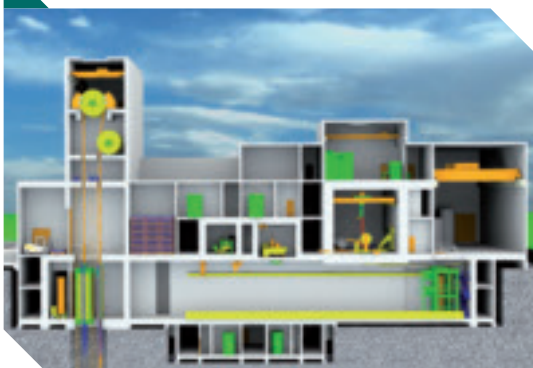
Polttoaine on reaktorissa noin viisi vuotta. Tänä aikana noin 3 % polttoaineesta muuttuu uraanin hajoamistuotteiksi ja prosentti plutoniumiksi. Loppu, 96 %, on samassa muodossa kuin reaktoriin laitettaessa. Joka vuosi osa polttoaineesta vaihdetaan uuteen. Käytettyjä polttoainenippuja jäädytetään ydinvoimalaitosyksikön reaktorihallin vesialtaissa muutaman vuoden ajan. Voimalaitoksissa on polttoaineen käsittelyä, säilytystä ja jäädytystä varten olemassa moninkertaiset turvallisuusjärjestelmät.

## Väli­varas­tointi



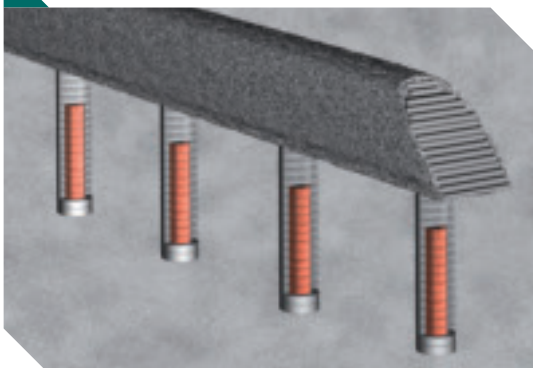
Kun käytetty polttoaine on jäähtynyt tarpeeksi reaktorihallin vesialtaissa, polttoaineniput siirretään kuljetussäiliön avulla voimalaitos­alueella sijaitsevan väli­varas­ton vesialtaisiin. Polttoainetta jäähdytetään väli­varas­ton jäähdytysaltaassa useita vuosikymmeniä ennen loppusijoitusta. Polttoainealtaissa nippujen päällä on noin kahdeksan metriä vettä. Vesi sekä pysäyttää käytetyn polttoaineen lähettämän säteilyn että jäähdyttää polttoainetta edelleen.

## Kapselointilaitos



Kapselointilaitoksessa polttoainesauvat suljetaan jyrkeihin kupari-valurautakapseleihin, jotka suojaavat polttoainetta ulkoisilta tekijöiltä kuten pohjaveden ja paineen vaikutuksilta ja estävät radioaktiivisten aineiden kulkeutumisen ympäristöön.

## Loppusijoitus



Suojakapselit sijoitetaan syvälle kallioperään porattuihin loppusijoitusreikiin, jotka tiivistetään lujalla, mutta joustavalla bentoniittisavella. Tunnelit ja niihin johtavat väylät täytetään lopuksi savilohkoilla ja -pelleteillä.

## Tiesitkö, että...

Käytetyn polttoaineen radioaktiivisuus ja lämmöntuotto vähenee vuodessa noin sadasosaan ja neljässä-kymmenessä vuodessa alle tuhannesosaan alkuperäisestä.

Käytettyä polttoainetta säilytetään kymmeniä vuosia vesialtaissa ennen kuin se loppusijoitetaan. Väli­varas­toinnin jälkeen polttoaine loppusijoitetaan kupari-valurautakapseleissa Olkiluodon peruskallioon noin 420 metrin syvyyteen.

# Moniasteperiaate varmistaa turvallisuuden

Loppusijoitus toteutetaan moniasteperiaatteen mukaisesti. Näin varmistetaan, että vaikka joidenkin suojakapselien eristyskyky menetettäisiin, muut esteet rajoittavat ja hidastavat radioaktiivisten aineiden vapautumista kapselissa olevasta polttoaineesta. Seuraukset ihmisille tai ympäristölle jäisivät tällaisessakin tapauksessa merkityksettömiksi.

Polttoaine ► Suojakapseli ► Bentoniittisavi ► Täytesavi ► Peruskallio

## Polttoaine



Polttoaine, uraanidioksidi, puristetaan tableteiksi, jotka pakataan zirkoniummetallisiin, nipuiksi koottaviin polttoainesauvoihin. Polttoainetabletti sitoo pitkäikäiset radioaktiiviset aineet tiukasti itsensä eikä päästä niitä helposti liukenemaan ympäristöön. Polttoainetabletti liukenee hyvin niukasti jopa kiehuvaan veteen ja erityisen niukasti pohjaveteen syvällä kalliossa vallitsevissa olosuhteissa.

## Suojakapseli



Käytetyt polttoaineniput kapseloidaan massiiviseen valuraudasta ja kuparista valmistettuun suojakapseliin. Kapselin vahva, valurautainen sisäosa antaa sille vaadittavan lujuuden ja suojaa polttoainetta mekaaniselta rasitukselta ja paineelta. Puhtaan kuparin taas tiedetään säilyttävän ominaisuutensa hyvin kallioperän hapettomissa olosuhteissa, ja sen ansiosta kapseli säilyy tiiviinä. Suojakapseli upotetaan syvälle kallioon porattuun loppusijoitusreikään.



### Bentoniittisavi



Suojakapseli eristetään kalliosta lujalla mutta joustavalla bentoniittisavella, joka eristää vettä, estää pohjaveden kulkeutumista kapselin pinnalle ja suojaa kapselia kallion mahdollisilta liikkeiltä.

### Täytesavi



Loppusijoitustunnelit täytetään bentoniittipuskurin paikallaan pitävillä ja pohjaveden virtauksen estävillä savilohkoilla. Tämän jälkeen tunnelit suljetaan huolellisesti.

### Peruskallio



Ehjiin, vakaisiin kalliolohkoihin sijoitettujen loppusijoitustunneleiden ja elollisen ympäristön välillä on yli 400 metriä peruskalliota. Kallio toisaalta varmistaa, että olosuhteet kapseleiden ympäristössä säilyvät loppusijoituksen kannalta edullisina ja toisaalta kykenee pidättämään mahdollisesti vapautuneita aineita, hidastaen niiden kulkeutumista pois loppusijoitustiloista.

### Tiesitkö, että...

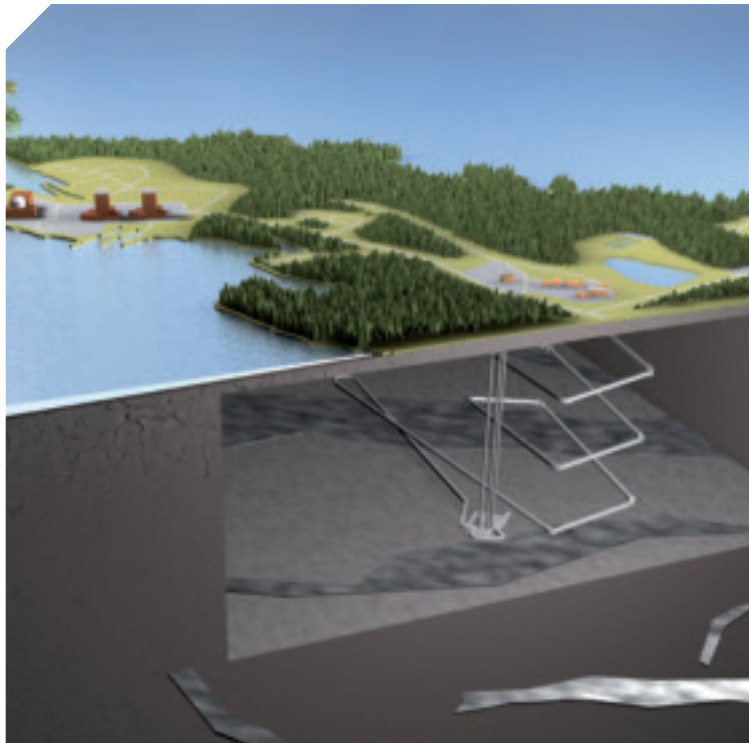
Vaikka käytetty polttoaine sijoitetaan satojen metrien syvyyksiin kalliin sisään, jo kahden metrin paksuinen kerros loppusijoituksessa käytettyjä eristysmenetelmiä estäisi loppusijoitettavan polttoaineen säteilyn ympäristöönsä.

Useimmat polttoaineeseen muodostuneet radioaktiiviset halkeamistuotteet ovat lyhytikäisiä.

Luja suojakapseli suojaa käytettyä polttoainetta maanjäristyksien tai jopa kilometrien paksuisen jäätikön aiheuttamalta rasitukselta.

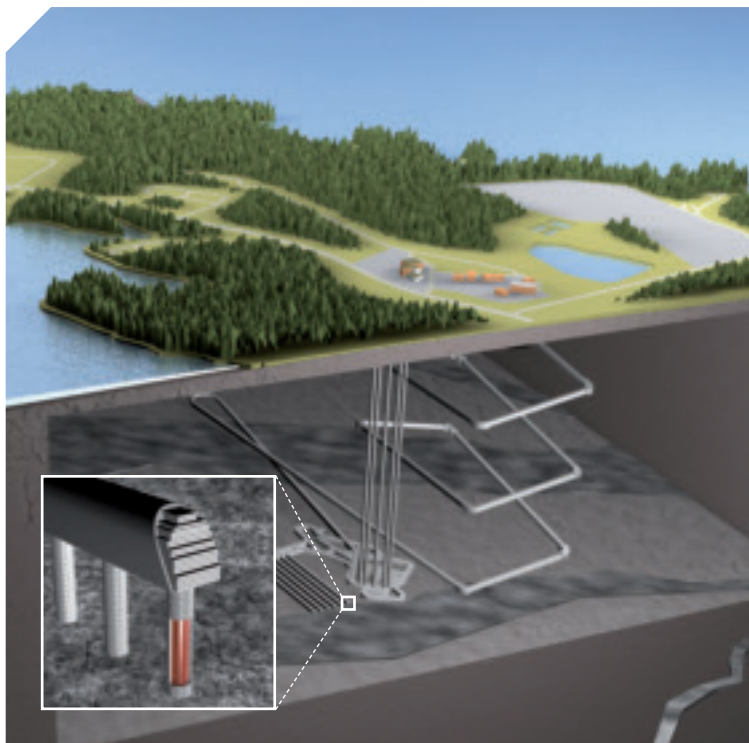
Suojakapseli säilyy tiiviinä loppusijoitusolosuhteissa jopa miljoonia vuosia.

# Loppusijoituksen vaiheita



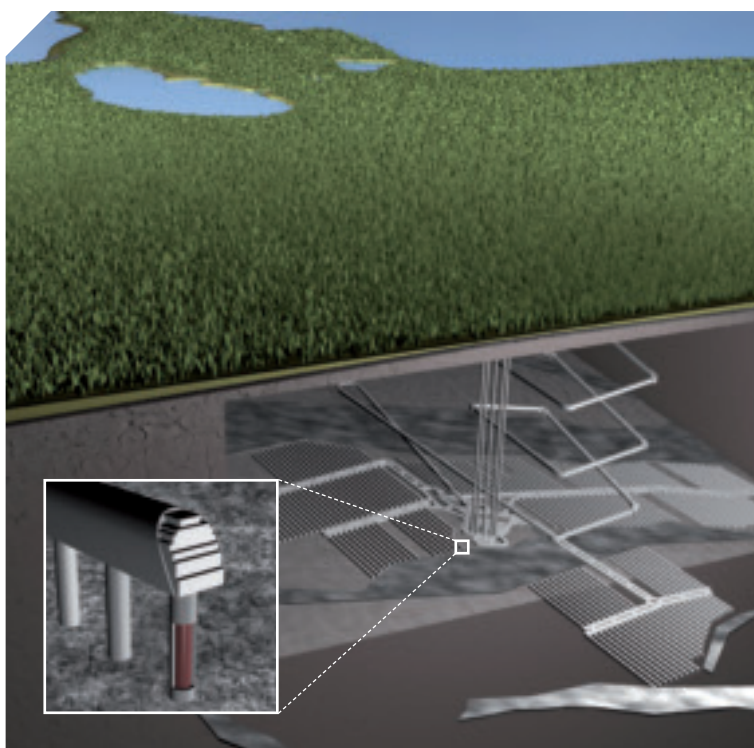
## Tilanne nyt:

Olkiluotoon rakennettu ONKALO on laaja kallio-perän tutkimustila, jonka rakentaminen aloitettiin vuonna 2004. Tällä hetkellä valmiina on henkilö- ja ilmastointikuiluja, ajo-tunneleita ja teknisiä tiloja. ONKALOssa loppusijoitustekniikkaa voidaan tutkia ja kehittää aidoissa olo-suhteissa, ja se tulee myöhemmin toimimaan myös osana loppusijoituslaitosta.



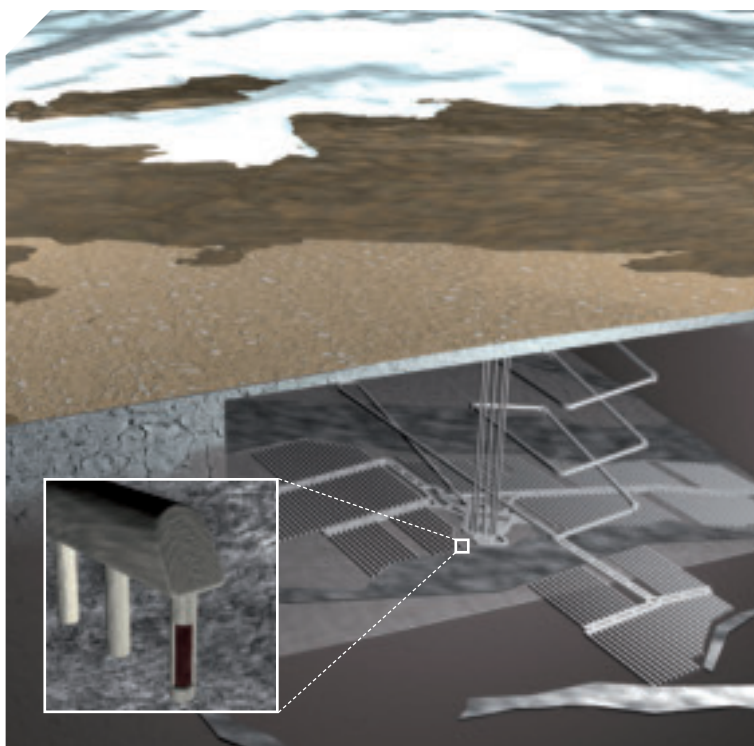
## Tilanne 2020-luvun alussa:

Käytetyn polttoaineen kapsleihin sulkemista varten tarkoitettu kapselointilaitos on rakennettu. Myös nostinlaiterakennus on valmistunut. Loppusijoitustunneleiden rakentaminen on aloitettu, ensimmäiset kapselit loppusijoitettu ja tunnelit täytetty.



### Tilanne noin 4000 vuoden kuluttua:

Loppusijoitus Olkiluodossa on päättynyt 2100-luvulla. Käytettyä polttoainetta sisältävät suojakapselit ovat paikoillaan, tunnelit ja ajoväylät on täytetty ja koko loppusijoituslaitos on suljettu. Maanpäälliset rakennukset on purettu ja loppusijoitusalue on palautunut luonnontilaan. Maankohoamisen vuoksi Olkiluodon saarta ei enää ole vaan se on osa mannterta. Loppusijoitusreikien ja tunnelien täytemateriaalit ovat jo suureksi osaksi vettyneet ja paisuneet yhdeksi massaksi.



### Tilanne 100 000 vuoden kuluttua:

Ilmasto-olosuhteet maan päällä ovat radikaalisti muuttuneet. Jääkausi on päättymässä ja sen aikana maankamara on vajonnut ja on taas kohoamassa. Kallion pintaosa on myös ikiroudassa. Loppusijoitusvyödyllä maanalaiset tilat säilyvät kuitenkin ennallaan. Loppusijoitusreikien ja -tunnelien täyteaineet ovat täysin vettyneet ja kapselin pinta on patinoitunut.

### Tiesitkö, että...

Useimmat polttoaineeseen muodostuneet radioaktiiviset halkeamistuotteet ovat lyhytikäisiä. Ensimmäisten kymmenien vuosien aikana merkittäväntä on läpitukeva säteily. Pitkällä aikavälillä, kun käytetty polttoaine on jo loppusijoitettu, merkityksellistä on uraanin kaltaisten raskaiden aineiden lähettämä säteily, joka ei ole läpitukevaa. Nämä jäljelle jääneet radioaktiiviset alkuaineet ovat ihmiselle myrkyllisiä vain syötynä tai hengitettynä.

.....

Mikäli kapseli ei olisi turvallisesti sijoitettuna kallion uumeniin, 500 vuoden kuluttua kapselin kanssa tunnin ajan lähikosketuksiin joutuvan ihmisen saama säteily olisi samaa luokkaa kuin neljästä keuhkoröntgenistä saatu säteilyannos.

.....

# Loppusijoituksen vastuut

Ydinsähkön tuottajat ovat vastuussa koko polttoaineketjusta, myös ydinjätehuollosta. Ydinjätteen käsittelyä säädellään ydinenergialaissa, ydinenergia-asetuksessa ja valtioneuvoston asetuksissa.

Vuonna 1994 muuttuneen ydinenergialain mukaan Suomessa tuotettu käytetty polttoaine on loppusijoitettava Suomen kallioperään. Sama laki kieltää myös ulkomaisten ydinjätteiden tuonin ja sijoituksen Suomeen.

Suomen laki määrää myös, että kukin ydinsähkön tuottaja on vastuussa ydinjätehuollostaan. Teollisuuden Voima Oyj ja Fortum Power and Heat Oy ovat perustaneet Posiva Oy:n, joka huolehtii loppusijoituksesta niin tutkimuksen kuin toteutuksenkin osalta. Ydinjätehuollon ylin johto ja valvonta kuuluvat työ- ja elinkeinoministeriölle (TEM), ja sosiaali- ja terveysministeriön alainen Säteilyturvakeskus (STUK) valvoo ydinvoiman turvallisuutta.

Eduskunnan vahvistamien periaatepäätösten mukaan Olkiluodon laitosyksiköiden 1-4 ja Loviisan laitosyksiköiden 1 ja 2 tuottama polttoainejäte loppusijoitetaan Eurajoen Olkiluotoon rakennettuihin loppusijoitustiloihin.

Tavoiteaikataulu loppusijoituksen aloittamiselle on vuosi 2020.

Koska vain turvallinen loppusijoitus on mahdollinen, kallioperän, loppusijoituksessa käytettävien materiaalien sekä teknisten ratkaisujen toimivuutta tutkitaan jatkuvasti. Tarkastelut ulottuvat pitkälle tulevaisuuteen, ja niissä otetaan huomioon muun muassa ilmaston muuttuminen sekä paksun jäätikön muodostuminen siihen liittyvine mahdollisine kallion liikahteluineen. Turvallisen loppusijoituksen mahdollistavat tekijät säilytetään tunnelin rakennusvaiheessa niin täydellisinä kuin mahdollista.

Rahat loppusijoitukseen saadaan keräämällä ne jo etukäteen sähkön hinnassa. Näin yhteiskunnalla on varmuus siitä, että loppusijoituksen hoitamiseen on aina varaa, talouden heilahteiluista huolimatta. Ydinjätehuoltoa varten on perustettu oma rahastonsa, joka on riippumaton valtion talousarviosta.





Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustila sijaitsee Olkiluodossa.

### Tiesitkö, että...

Ongelmatilanteita kartoittavia laskelmia tehtäessä yliarvioidaan riskejä ja käytetään pessimistisesti valittuja lähtöarvoja, jotka liioittelevat tulokseksi saatavia vaikutuksia.

Ydinsähkön tuottajat asettavat itse itselleen viranomaisia tiukempia tavoitteita ja päästörajoja.

## Yhteistyössä

Loppusijoituksen tekniikan ja turvallisuuden tutkimusta on tehty Suomen olosuhteissa jo kymmeniä vuosia.

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



Posivan henkilöstö.





[www.tvo.fi](http://www.tvo.fi)



[www.fortum.com](http://www.fortum.com)



[www.posiva.fi](http://www.posiva.fi)