



VTT

Pienreaktorien ydinjätehuolto

Paula Keto & Sami Naumer

04/09/2024 VTT – beyond the obvious

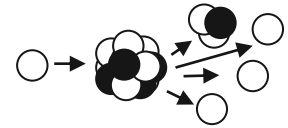
Esitys pyrkii vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

- Mitä ydinjäte on ja kauanko se on vaarallista?
- Mitkä ovat ydinjätehuollon pääperiaatteet Suomessa?
- Onko loppusijoitus turvallista ja miten ydinjätehuolto toteutetaan nykyisille reaktoreille?
- Miten pienreaktoreissa tuotettu jäte eroaa nykyisistä jätteistä?
- Ydinjätehuollon vaihtoehtoja



Ydinreaktorin tuottama ydinjäte

- Ydinjätettä syntyy ydinreaktorien käytön aikana hallitussa ketjureaktiossa (fissio), jossa neutroni törmää uraani-isotoopin (U-235) ytimeen ja halkaisee sen. Tämä reaktio tuottaa sekä energiaa, että ydinjätettä.



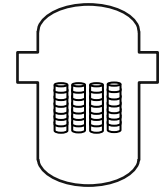
- Ydinjäte jaetaan luokkiin sen aktiivisuuden mukaan:

- Korkea-aktiivinen jäte (HLW):

- Käytetty ydinpolttoaine.
- Vaatii jäähdytyksen ennen kuljetusta ja loppusijoitusta.
- Tulee eristää ihmisistä, eläimistä ja luonnosta satojen tuhansien vuosien ajan.

- Matala- ja keski-aktiivinen jäte (LILW):

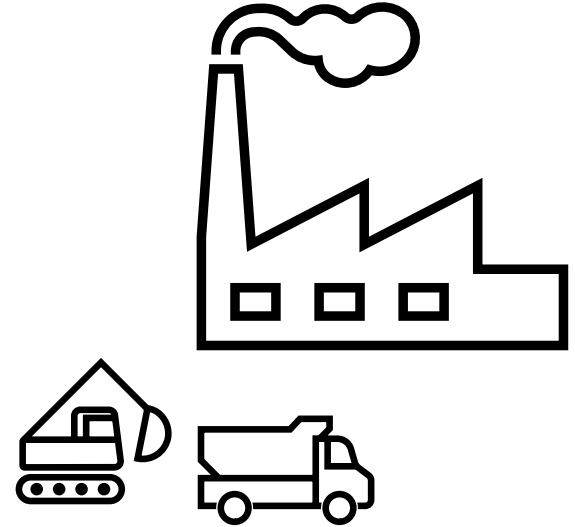
- Käyttö- ja huoltojäte, kuten suojavaatteet, metalli ja muut käytön aikana syntyvät jätteet.
- Purkujäte kuten reaktoriteräs ja betoni.
- Matala-aktiivinen eristettävä satojen vuosien ja keski-aktiivien tuhansien vuosien ajan.



- Ennen loppusijoitusta välivarastointi, käsittely (LILW) ja pakkaaminen.

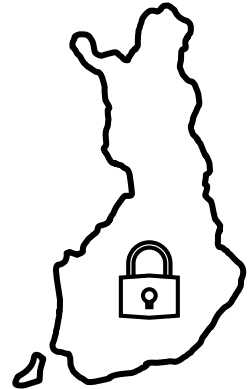
Muu radioaktiivinen jäte

- Pieniä määriä ydinjätettä syntyy lääketieteessä, tutkimuslaitoksissa ja palovaroittimissa (säteilylähteet).
- Teollisuus tuottaa myös jonkin verran radioaktiivista jätettä:
 - Säteilylähteitä käytetään mittauksissa ja materiaalien kuvantamisessa
 - NORM (naturally occurring radioactive material) eli esimerkiksi kaivosteollisuuden sivukivikasat, jossa on luonnostaan radioaktiivisia aineita mukana. NORM jätteen loppusijoitus ei kuulu ydinenergialain alaisuuteen, koska se ei ole syntynyt ydinenergian käytön yhteydessä.
- Lähinnä keski- ja matala-aktiivista jätettä.



Ydinjätehuollon pääperiaatteet Suomessa

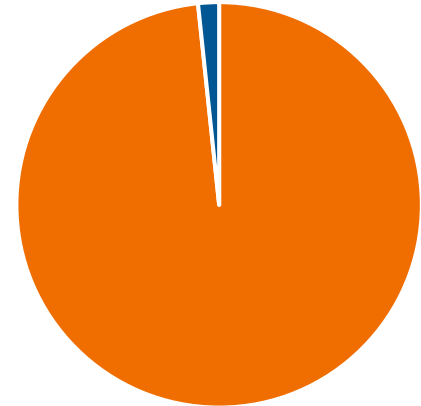
- Ydinenergian käytössä syntynyt radioaktiivinen jäte tulee [1]:
 - Loppusijoittaa Suomeen pysyvästi.
 - Loppusijoittaa turvallisesti siten, että siitä ei ole haittaa nyt tai tulevaisuudessa.
 - Mahdollisen ulkomailla tapahtuvan käsittelyn jälkeen palauttaa Suomeen.
- Ydinjätehuolto on ydinlaitoksen luvanhaltijan vastuulla ja sama taho on vastuussa myös ydinjätehuollon kustannuksista. Varoja kerätään lisäksi ydinjäterahastoon [2].



Loppusijoituksen turvallisuus

- Loppusijoituksen säteilyturvallisuus [3]:
 - Suomalaisten keskimääräinen säteilyannos 5,9 millisievertiä.
 - Loppusijoituksesta aiheutuva säteilyannos ei saa ylittää 0,1 millisievertiä vuodessa (edustava henkilö, joka asuu loppusijoituspaikan lähiympäristössä ja johon kohdistuu suurin säteilyaltistus). Muulle väestölle merkityksettömän pieni annos.
- Turvallisuus varmistetaan lainsäädännöllä [4]:
 - Ydinenergialaki. *Lain kokonaisuudistus käynnissä.*
 - Ydinenergia-asetus.
 - Säteilyyn liittyvät lait ja asetukset.
 - Säteilyturvakeskuksen määräykset ja ohjeet, esimerkiksi YVL-D5 ja YVL-D7.
- Turvajärjestelyt ja ydinmateriaalivalvonta ovat osa myös ydinjätehuoltoa [5].

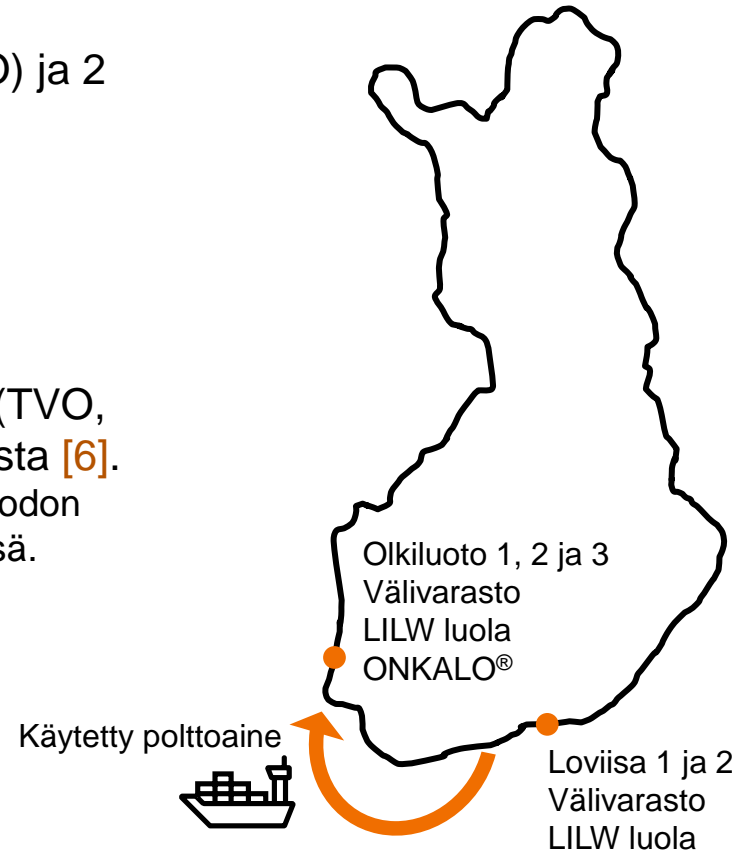
Suomalaisen keskimääräinen säteilyannos vuodessa



- Muut säteilyannokset, kuten radon ja kosminen säteily
- Sallitu loppusijoituksesta aiheutuva säteilyannos

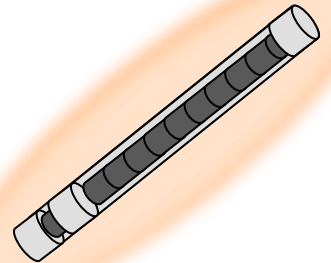
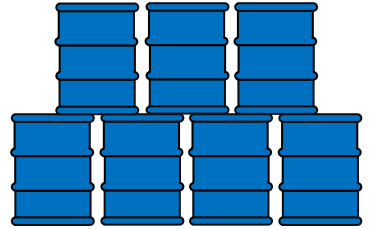
Nykyisten reaktoreiden ydinjätehuolto

- Suomessa 3 isoa ydinreaktoria Olkiluodossa (TVO) ja 2 Loviisassa (Fortum) [6].
 - Vesijäähdytteisiä reaktoreita (kevytvesireaktori).
 - Jätteille on välivarastot molemmilla laitosalueilla.
 - Molemmissa myös matalan- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitusluolat noin 60-100 metrin syvyydessä.
- Posiva Oy:n tehtävänä on huolehtia omistajiensa (TVO, Fortum) käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta [6].
 - Käytetty ydinpolttoaine tullaan loppusijoittamaan Olkiluodon kallioperään. ONKALO® sijaitsee 400 metrin syvyydessä.
 - Käytetty ydinpolttoaine tullaan kuljettamaan Loviisasta Olkiluotoon meriteitse.



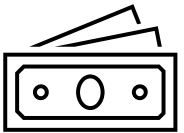
Miten pienreaktoreissa tuotettu ydinjäte eroaa nykyisistä jätteistä

- Tuotetun jätteen määrä on olettavasti pienempi,
 - Riippuu yksiköiden määrästä, tehosta (10 MW - 300 MW) ja käyttöiästä (esimerkiksi 60 v).
- Kevytvesireaktorien (esim. LDR-50) jätteet muistuttavat nykyisissä ydinvoimalaitoksissa tuotettavaa jätettä. Jotain eroja voi olla koskien [7]:
 - Ydinpolttoaineen palamaa (esim. matalampi lämpötila).
 - Jätteen fyysistä muotoa/kokoa (lyhyempi polttoainenippu / kapseli).
 - Nuklidikoostumusta (pitkäaikaisturvallisuus).
- Uudet neljännen sukupolven reaktorit tuottavat erilaista käytettyä polttoainetta, esimerkiksi TRISO tai sulasuola. Näiden loppusijoittaminen vaatii kansainvälistä kehitys- ja tutkimustyötä.



Pienreaktorien ydinjätehuolto

- Samat säädökset ja vaatimukset jätehuollolle kuin mille tahansa muulle reaktorille.
- Jo pienreaktoria luvittaessa on oltava suunnitelma miten jätehuolto järjestetään. Vaatimus myös laitoksen rahoitukselle (EU).
- Loppusijoituslaitos on ydinlaitos, luvitusprosessi tällä hetkellä:
 - YVA ja **periaatepäätös**, tässä vaiheessa **kunnalla veto-oikeus**.
 - Omat päätösvaiheensa rakentamiselle, käytön aloittamiselle ja sulkemiselle.
 - Kuulemiset eri vaiheissa, sidosryhmät ja järjestöt.
 - Välivarastot tällä hetkellä luvitettu osana ydinvoimalaitosta, mutta voidaan periaatteessa luvittaa myös erikseen.
- *Luvitukseen voi tulla päivityksiä osana ydinenergialain kokonaisuudistusta.*

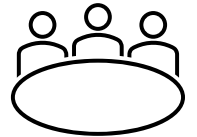


Pienreaktoreiden ydinjätehuollon vaihtoehtoja

- Loppusijoitus ja välivarastointi:
 - Keskitetty, paikallinen tai hybridi.
 - Keskitetyssä huomioitava kuljetukseen liittyvät seikat.
- SMR laitoksen luvanhakija (tuleva luvanhaltija) esittää osana luvitusta vaihtoehtoja jätehuollon ratkaisuksi, esimerkiksi [8]:
 - Ydinjätehuollon järjestäminen yhteistyössä nykyisten toimijoiden kanssa.
 - Pienreaktorien luvanhaltijoiden yhteistyönä järjestämä jätehuolto.
 - Muut mahdolliset ratkaisut, esimerkiksi kansallinen ydinjäteyhtiö.
 - Luvanhaltija vastaa ydinjätehuollon kustannuksista huolehtimisesta.
 - Valtioneuvosto / TEM päättävät.

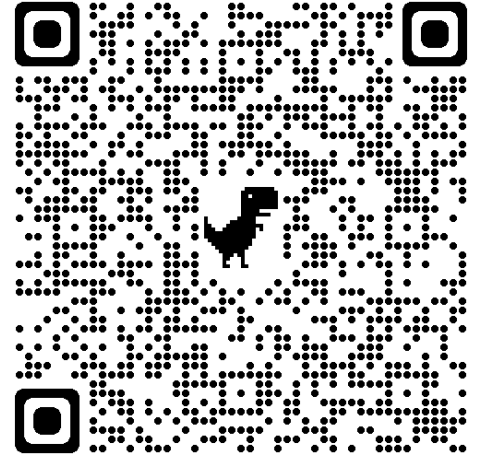
Yhteenveto

- Perusperiaatteet pienten ydinreaktorien ydinjätehuollolle samat kuin isojen reaktorien tuottamille jätteille.
- Ydinjätehuollon suunnitelma on osa pienreaktorien luvitusta. Varsinainen loppusijoituslaitos ja sen käyttöönotto luvitetaan erikseen.
- Kuntalaisilla on mahdollisuus vaikuttaa asiaan kuntapäätäjien kautta. Myös muita sidosryhmiä ja järjestöjä kuullaan luvitusvaiheessa.



Lisätietoa/lähteet

- 1) Käytetyn ydinpolttoaineen ja radioaktiivisen jätteen huolto Suomessa. TEM 2022:18. Linkki QR-koodi →
- 2) Vastuut: <https://tem.fi/ydinjatehuolto>
- 3) Loppusijoituksen turvallisuus: <https://stuk.fi/ydinjatteen-loppusijoitus> ja STUK YVL ohje D.5 <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLD-5>
- 4) Ydinenergialaki 990/1987
- 5) Turvajärjestelyt ja ydinmateriaalivalvonta <https://tem.fi/turvajarjestelyt-ja-ydinmateriaalivalvonta>
- 6) Posivan loppusijoitusratkaisu <https://www.posiva.fi/loppusijoitusratkaisu.html>
- 7) SMR jäte "Waste Management of Small Modular Reactors in Finland": https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/72298483/VTT_R_00076_22.pdf
- 8) Edellytykset pienreaktorien turvalliselle käytölle. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-309-451-2>



Kiitos mielenkiinnostanne!

bey⁰nd

the obvious

Thank you!

vttresearch.com