

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

BH10A0300 Ympäristötekniikan kandidaatintyö ja seminaari

**MATALA- JA KESKIAKTIIVISEN
VOIMALAITOSJÄTTEEN HUOLTO SUOMEN
YDINVOIMALAITOKSISSA**

**Low and intermediate level waste management
in Finnish nuclear power plants**

Työn tarkastaja: Professori Mika Horttanainen

Työn ohjaaja: Laboratorioinsinööri Juhani Vihavainen

Lappeenrannassa 24.1.2011

Ellen Hakala

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLI JA LYHENNELUETTELO	2
1 JOHDANTO	3
2 JÄTTEEN SYNTY	5
2.1 Matala-aktiivinen jäte	7
2.2 Keskiaktiivinen jäte	7
2.3 Valvonnasta vapautuva jäte	8
3 SÄÄDÖKSET VOIMALAITOSJÄTTEEN KÄSITTELYSTÄ	9
3.1 Jätteenkäsittelyn määräykset	11
3.2 Aktiivisuusmittaus	13
4. VALVONNASTA VAPAUTUVA JÄTE	15
5 KIIINTEÄN JÄTTEEN KÄSITTELY	17
5.1 Olkiluodon voimalaitokset	20
5.2 Loviisan voimalaitokset	21
6 NESTEMÄISEN JÄTTEEN KÄSITTELY	22
6.1 Olkiluodon voimalaitokset	24
6.2 Loviisan voimalaitokset	25
7 LOPPUSIJOITUS	28
7.1 Olkiluodon loppusijoituslaitos	28
7.2 Loviisan loppusijoituslaitos	32
8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	36
LÄHTEET	40

SYMBOLI JA LYHENNELUETTELO

Bq	Aktiivisuuden yksikkö, becquerel. 1 Bq = 1 radioaktiivinen hajoaminen /s
BWR	Kiehumisvesireaktori
Ci	Aktiivisuuden yksikkö, curie. 1 Ci = 37 GBq
IAEA	International Atomic Energy Agency, Kansainvälinen atomienergiajärjestö
IVO	Imatran voima, nykyisin Fortum
PWR	Painevesireaktori
Sv	Sievert, säteilyannoksen yksikkö
TVO	Teollisuuden voima
YVL	Ydinvoimalaitos (ohje)

1 JOHDANTO

Tämä tekniikan kandidaatin työ selvittää ydinvoimalaitosten voimalaitosjätteen käsittelyä Suomessa. Työssä tarkastellaan matala- ja keskiaktiivisen voimalaitosjätteen käsittelyä ja loppusijoitusta kaikissa Suomen ydinvoimalaitoksissa. Säteilyturvakeskuksen ydinvoimalaitoksia koskeva ohje, YVL 8.3, määrittelee, ettei voimalaitosjätteisiin sisälly käytetty ydinpolttoaine, ydinvoimalaitoksen purkamisjätteet eivätkä ydinvoimalaitoksen päästöt ilmaan ja veteen (YVL 8.3 2006, 3). Kandidaatintyön sisältö rajataan tämän ohjeen mukaisesti koskemaan vain laitoksen käyttöaikana syntyvää voimalaitosjätettä.

Lähes kaikissa ydinvoimamaissa matala- ja keskiaktiivinen voimalaitosjäte loppusijoitetaan. Loppusijoitusmahdollisuuksia on käytössä kaksi, loppusijoittaminen betonibunkkeriin maan pintakerrokseen tai louhittuun, keskisyvyydellä sijaitsevaan luolastoon. Keskisyvyyteen loppusijoitettu voimalaitosjäte on paremmin talletettu kuin pintakerrokseen sijoitetut jätteet. Pintakerroksen betonibunkkerissa on jatkuva valvonnan tarve, sillä jäte on saavutettavissa maan pinnalta käsin. Keskisyviin luolastoihin sijoitettaessa jäte on fyysisesti eristettynä maan ja betonirakenteiden toimesta sekä kemiallisesti stabiilimmassa ympäristössä. (Kyrki-Rajamäki 2010a, 26.)

Loppusijoitusvaihtoehto määräytyy usein maan kallioperän sijoitussoveltuvuuden perusteella. Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa voimalaitosjäte loppusijoitetaan kiteiseen kallioon louhittuun luolastoon. Saksassa loppusijoitus tapahtuu vastaavanlaiseen luolastoon, joka sijaitsee suolamuodostumassa. Muutamissa maissa, kuten Japanissa, Tšekissä, Espanjassa sekä osassa Ranskaa, loppusijoitus tapahtuu betonibunkkereihin maan pintakerrokseen. (Kyrki-Rajamäki 2010a, 30.)

Vuonna 2010 Suomessa on toiminnassa 4 ydinvoimalayksikköä, Fortum Power and Heat Oy:n kaksi reaktoriyksikköä Loviisan Hästholmenin saarella sekä kaksi Teollisuuden voiman (TVO) reaktoriyksikköä Eurajoella, Olkiluoto I ja II. Tämä työ käsittelee näiden neljän reaktoriyksikön voimalaitosjätehuoltoa. Sekä Loviisan, että Olkiluodon molempien reaktoriyksiköiden jätehuoltoratkaisut ovat toisiinsa nähden identtiset, joten

työssä puhutaan Loviisan jätehuollosta sekä Olkiluodon jätehuollosta. Työ ei käsittele Otaniemessä sijaitsevan kooreaktorin jätteiden käsittelyä, eikä esimerkiksi sairaalassa syntyvän säteilyaktiivisen jätteen käsittelyä.

Työn tavoitteena on selvittää matala- ja keskiaktiivisen jätteen käsittely Suomen ydinvoimalaitoksissa, Olkiluodossa sekä Loviisassa. Tavoitteena on saada selkeä kuva sekä kiinteän että nestemäisen jätteen elinkaaresta ydinvoimalaitoksissa. Laitteistojen teknisiä ja toiminnallisia yksityiskohtia ei esitetä työssä, vaan tarkoituksena on kartoittaa voimalaitosjätteen syntyvät, käytännön käsittelyprosessin kulku, loppusijoitusratkaisut sekä asiaan liittyvät viranomaismääräykset.

2 JÄTTEEN SYNTY

Ydinvoimalaitoksissa syntyy vuosittain huomattavat määrät keski- ja matala-aktiivista jätettä. Tätä voimalaitosjätteeksi kutsuttavaa jätettä syntyy huolto- ja korjaustöissä sekä niistä komponenteista, joilla käsitellään radioaktiivisia nesteitä ja kaasuja. Suurin osa tästä jätteestä sisältää niin paljon radioaktiivisuutta, että jäte täytyy käsitellä voimalaitosalueella. Jätteen yhteenlaskettu aktiivisuus on luokkaa 1 TBq jokaista reaktorivuotta kohden. (YVL 8.3, 3.)

Olkiluodon ja Loviisan reaktorit ovat eri reaktorityyppejä, Olkiluodon reaktorit ovat kiehutusvesireaktoreita (BWR) ja Loviisan painevesireaktoreita (PWR). IAEA on julkaissut tuloksia erityyppisissä reaktoreissa vuodessa syntyvien jätteiden tilavuudesta ja radioaktiivisuuden määrästä (IAEA 1983, 6).

Kiehutusvesireaktoria käyttävässä voimalaitoksessa syntyy enemmän jätettä kuin painevesireaktoria käyttävässä. PWR -voimalaitosten jäte on keskimäärin yli kaksi kertaa aktiivisempaa kuin BWR -voimalaitosten jäte. (IAEA 1983, 6.) Suomen ydinvoimaloiden jättemäärät vastaavat IAEA:n julkaisemia määriä. Olkiluodossa loppusijoitettavaa voimalaitosjätettä kertyy vuodessa 150–200 kuutiometriä ja Loviisassa 100–150 kuutiometriä (Posiva 2010). Vuoden 2010 Olkiluodon vuosihuoltojen aikana valvonta-alueelta kertyi 21 000 kilogrammaa huoltojätettä ja 45 000 kilogrammaa metalliromua. Puhdistettua, ulospumpattavaa vettä syntyi noin 3800 kuutiometriä. (TVO 2010, 16.)

Voimalaitoksilla syntyvä jäte jaotellaan eri luokkiin. Luokittelu tapahtuu yleensä joko aktiivisuuden mukaan valvonnasta vapautettaviin, keskiaktiivisiin ja matala-aktiivisiin jätteisiin tai ainefaasin mukaisesti nestemäisiin ja kiinteisiin jätteisiin.

Luokittelu ainefaasien mukaisesti johtuu jätteen käsittelyprosesseista. Nestemäiselle jätteelle on erilliset käsittelyprosessit kuin kiinteälle jätteelle. (IAEA 1987, 2.) Tässä työssä jätehuollon elinkaaret ovat esitettyinä erikseen kiinteille ja nestemäisille jätteille.

Nestemäisiä jätteitä on kahta tyyppiä, orgaanista nestemäistä jätettä ja vesiliuosjätettä. Jätteen käsittelyn kannalta nestemäisen jätteen tärkeimmät aineominaisuudet ovat kiinteän jätteen pitoisuus nesteessä, pH-arvo, johtavuus, tiheys, viskositeetti, nesteeseen liunneen kiintoaineen määrä sekä aktiivisten nuklidien määrä ja tyyppi. (IAEA 1987, 2.)

Kiinteät voimalaitosjätteet jaotellaan palavaan ja ei-palavaan jätteeseen sekä kokoonpuristuviin ja ei-kokoonpuristuviin jätteisiin (IAEA 1987, 2). IAEA on tehnyt tutkimusta siitä, mitä materiaaleja kiinteä jäte keskimäärin sisältää. Suurin osa kiinteästä jätteestä on muovia (37 %), kangasta (26 %) ja puuperäistä jätettä (16 %). Paperia (7 %), kumia (5 %) ja ei-palavia jätteitä (7 %) syntyy vähemmän. (IAEA 1983, 35.) Seuraavissa kappaleissa on tarkemmin esitelty, mitä jätekomponentteja voimalaitosalueella syntyy.

Jätteen aktiivisuuteen perustuva jaottelutapa johtuu ensinnäkin säteilysuojelullisista syistä. Voimalaitoksissa työskentelevien työntekijöiden säteilysuojelutoimet määrittymen mukaan, kumman aktiivisuustason jätettä he käsittelevät, matala- vai keskiaktiivista. Toisaalta, aktiivisuuden mukaan jaottelu on tärkeää siksi, että sillä saadaan eroteltua valvonnasta vapautettava jäte muusta jätteestä. Ei-valvonnasta vapautettava voimalaitosjäte on jätettä, joka vaatii käsittelyä ja loppusijoitusta.

Seuraavissa kappaleissa esitellään voimalaitoksilla syntyvää jätettä, sen määriä, aktiivisuusrajoja ja syntytapoja. Jätteen käsittelyosioissa, kappaleissa 5 Kiinteän jätteen käsittely sekä 6 Nestemäisen jätteen käsittely selvitetään tarkemmin eri jätteenkäsittelyprosesseja ydinvoimalaitoksilla. Suomessa säteilyturvakeskuksen YVL-ohje 8.3 määrää, että kemiallisesti, aktiivisesti ja nuklidikoostumukseltaan erilaiset jätteet pitää käsitellä erikseen (YVL 8.3, 4). Tästä syystä yhdellä tavalla samankaltaiset jätteet käsitellään erikseen, mikäli ne eroavat jollain muulla tavalla toisistaan.

2.1 Matala-aktiivinen jäte

Matala-aktiivinen jäte on aktiivisuudeltaan alle 1 MBq/kg, mutta yli 1 kBq/kg. Tämän tyyppinen jäte tarvitsee käsitellä ja loppusijoittaa voimalaitosalueella, mutta sen käsittely ei vaadi erityisiä säteilysuojelutoimia. (YVL 8.3, 8.) Matala-aktiivisen jätteen haitallisuuden aiheuttaa pääsääntöisesti kadmium, elohopea, beryllium ja seleeni (IAEA 2007, 16). Suomessa suurin osa matala-aktiivisista jätteistä lajitellaan heti synnyn jälkeen ja toimitetaan eteenpäin esikäsittelyyn ja loppusijoitettavaksi.

Matala-aktiivinen jäte on pääosin jätettä, joiden pintaan on tarttunut radioaktiivisia nuklideja eli jäte on kontaminoitunutta. Matala-aktiivista, kiinteää jätettä syntyy huolto- ja korjausseisokkien aikana (TVO 2007, 41). Tätä jätettä ovat muun muassa huoltotöissä käytetyt suojamuovit, työkalut, suojavaatteet ja pyyhkeet (Posiva 2010). Näiden jätteiden massasta suojamuovi muodostaa lähes 40 % ja suojavaatteet lähes 30 % (IAEA 1983, 35). Huoltojätteen lisäksi matala-aktiivista jätettä ovat voimalaitoksesta poistetut koneenosat ja putket sekä vastaava sekalainen metalliromu, joka on kontaminoitunut käytön aikana (Posiva 2010). Matala-aktiivista jätettä ovat myös nestemäisen jätteen käsittelyssä käytetyt suodattimet ja suodatinsauvat (Viitanen 2007, 7.2.3).

Matala-aktiivista nestemäistä jätettä syntyy huomattavasti vähemmän kuin matala-aktiivista kiinteää jätettä. Ydinvoimalaitoksilla syntyvistä nestemäisistä ioninvaihtohartseista osa on matala-aktiivista. (Ropponen 2010, 48.)

2.2 Keskiaktiivinen jäte

Keskiaktiivinen jäte on aktiivisuudeltaan yli 1 MBq/kg, mutta alle 10 MBq/kg. Keskiaktiivisen jätteen käsittely vaatii tarkemmat ja tehokkaammat säteilysuojelumenetelmät kuin matala-aktiivisen jätteen käsittely. Tämä johtuu jätteen suuremmasta aktiivisuuspi-toisuudesta ja haitallisuudesta. (YVL 8.3, 8.)

Voimalaitoksilla syntyvästä keskiaktiivisesta jätteestä suurin osa on nestemäistä. Keskiaktiivista nestemäistä jätettä on vesienkäsittelystä kertyneet konsentraatit, kuten käytetty ioninvaihtohartsi, haihdutusjäte ja korroosioliete sekä kontaminaation poistosta eli dekontaminaatiossa syntynyt liete (YVL 8.3, 8). Haihdutusjätteessä haitallisuuden aiheuttaa cesium ja boori, ioninvaihtohartseissa kromi ja nikkeli (IAEA 2007, 16). Keskiaktiivinen nestemäinen jäte esikäsitellään ja imeytetään ennen loppusijoitusta.

Ydinvoimalaitoksilla syntyvä kiinteä jäte on pääosin matala-aktiivista. Reaktorin paineastiassa aktivoituneet metallijätteet voidaan kuitenkin laskea keskiaktiivisiin kiinteisiin jätteisiin. Metallijätteen aktivoitumisen aiheuttaa paineastiassa neutronisäteily. Aktivoitunut metallijäte omaa usein keskiaktiivista jätettä suuremman aktiivisuuden, mutta pakkauksen tai välivarastoinnin jälkeen ne voidaan luokitella keskiaktiivisiksi. (YVL 8.3, 8.)

2.3 Valvonnasta vapautuva jäte

Ydinenergialain 3§ määrittelee voimalaitos- ja ydinjätteeksi radioaktiivisesti vaaraa aiheuttavan aineen, joka täytyy käsitellä ydinvoimalaitosalueella. Ydinvoimalaitosten valvonta-alueilla syntyy kuitenkin myös jätettä, joka on aktiivisuudeltaan niin vähäistä, ettei sitä voida luokitella haitalliseksi. (YVL 8.2, 3.) Tämän jätteen aktiivisuus on alle 1 kBq/kg ja se voidaan vapauttaa valvonnasta. (Posiva 2009, 486.)

Valvonnasta vapautettava jäte kuljetetaan pois ydinvoimalaitosalueelta ja toimitetaan normaalin jätehuollon käsiteltäväksi. (Posiva 2009, 486.) Jätteen valvonnasta vapauttaminen on luvanalaista toimintaa, jossa voimalaitosalueelta poistettavan aktiivisuuden määrää tarkkaillaan. Kappaleessa 4 Valvonnasta vapautuva jäte kerrotaan tarkemmin valvonnasta vapauttamisprosessista.

3 SÄÄDÖKSET VOIMALAITOSJÄTTEEN KÄSITTELYSTÄ

Suomessa ydinvoimalaitosten valvonnasta vastaa Säteilyturvakeskus (STUK). Vuonna 2006 voimaan astui uusi, päivitetty ydinvoimalaitosohje, YVL-ohje 8.3. Tässä ohjeessa STUK määrittelee säännöt keski- ja matala-aktiivisen jätteen käsittelyn ja varastoinnin suunnittelusta ja toteutuksesta Suomen ydinvoimalaitoksissa. Ydinvoimayhtiöiden on noudatettava näitä säädöksiä, jotta vaadittu turvallisuustaso ja sitä kautta toimiluvat, saavutetaan. YVL-ohjeissa annetaan yleiset turvallisuusperiaatteet, hyväksytyt jätteenkäsittelymenetelmät, aktiivisuusrajat, varastointi- ja kuljetusohjeet sekä muut vastaavat viranomaismääritykset, joita ydinvoimayhtiöiden on noudatettava voimalaitosjätehuollossaan. (YVL 8.3, 1.)

Keski- ja matala-aktiivista voimalaitosjätettä syntyy radioaktiivisten kaasujen ja nesteiden käsittelyssä sekä huolto- ja korjaustöissä valvonta-alueella. Suurin osa tästä jätteestä sisältää niin paljon radioaktiivisuutta, että jäte täytyy käsitellä, varastoida ja loppusijoittaa. (YVL 8.3, 3.)

Yleisissä turvallisuusperiaatteissa määrätään, että syntyvälle voimalaitosjätteelle on varattava voimalaitosalueelta riittävät tilat, joissa on turvalliset käsittely-, siirto- ja mittausjärjestelmät. Nämä tilat kuuluvat valvonta-alueeseen. Tilojen suunnittelu ja säteily-suojelu on toteutettava YVL-ohjeiden 7.9, 7.11 ja 7.18 määräämällä tavalla. Tilojen palosuojelu ja ilmastointi on suunniteltava YVL-ohjeiden 4.3 ja 5.6 mukaisesti. (YVL 8.3, 3.)

Voimalaitoksen jätehuollolle tulee olla tehtynä yleissuunnitelma voimalaitoksen käyttöluvan haltijan, nyt TVO:n tai Fortumin toimesta. Suunnitelmassa täytyy olla huomioituna seuraavat turvallisuusperiaatteet. Jättemäärää ja – aktiivisuutta tulee vähentää korjaus- ja huoltotöiden suunnittelulla, dekontaminoinnilla, tilavuutta pienentämällä sekä vapauttamalla tarpeeksi alhaisen aktiivisuuden omaavia jätteitä valvonnasta. Jätteiden lajittelu ja luokittelu on suunniteltava mahdollisimman tarkoituksenmukaisesti ja tehokkaasti jatkokäsittelyn, varastoinnin ja loppusijoituksen kannalta. Loppusijoitettavat jät-

teet on käsiteltävä ja pakattava loppusijoitusvaatimusten mukaisesti ja niiden määritellyt ominaisuudet on tallennettava ja säilytettävä. Työntekijöille aiheutuva säteily määräytyy minimoida. Onnettomuus ja häiriötilanteisiin on myös varauduttava ja radioaktiivisten päästöjen leviäminen estettävä. (YVL 8.3, 3.)

Yleissuunnitelman mukaisessa jätehuollossa on käytettävä toiminta- ja laatu järjestelmää. Vastuut, toimintaohjeet sekä huoltokäytännöt tulee olla selkeästi määriteltynä ja niitä tulee korjata tarvittaessa sekä päivittää tekniikan kehittyessä. (YVL 8.3, 3.)

Jätteenkäsittelystä ja varastoinnista aiheutuvasta säteilyhaitasta on tehtävä turvallisuusseloste. Säteilyvaikutusten suuruus on määriteltävä sekä laitoksella työskenteleville, että lähialueen väestölle. Haittavaikutukset on määriteltävä erikseen normaaliajon, häiriötilanteiden sekä mahdollisten onnettomuustilanteiden ajalta. Haittavaikutukset on arvioitava sekä aiheutuvan päästön aktiivisuutena, että säteilyannoksina. Tällä turvallisuusselosteella selvitetään, voidaanko vaaditut turvallisuustavoitteet saavuttaa. Turvallisuusseloste tehdään kokemuksen, suunnitteluperusteiden sekä käyttöön aiottujen huoltojärjestelmien perusteella. (YVL 8.3, 6.)

YVL-ohjeessa selvitetään myös tyypillisiä voimalaitosjätehuoltoon liittyviä käyttöhäiriöitä ja onnettomuustilanteita. Tyypillisiä, odotettavissa olevia häiriöitä ovat järjestelmien vikaantumiset sekä tulipalot. Järjestelmähäiriöitä ovat esimerkiksi nestesäiliöiden vuoto, ali- tai ylipaineen menettäminen, voiman menetys tai jätepakkausten siirrossa esiintyvä häiriö. Oletettavia onnettomuuksia sen sijaan ovat varmentamattoman järjestelmän vikaantuminen tai kahden, toisiaan varmistavien järjestelmien yhtäaikainen hajoaminen, suunnittelumaanjärjestykset ja lentokoneen törmäys voimalaitosalueelle. (YVL 8.3, 7.)

STUK valvoo voimalaitoksilla radioaktiivisen jätteen käsittelyä, varastointia ja käsittelyjärjestelmiä. Voimalaitosjätehuollon valvonnassa noudatetaan YVL-ohjetta 2.0. Jätehuollon eri osien turvallisuusluokitukset ovat YVL-ohjeesta 2.1. Nämä turvallisuusluokitukset ja STUK:n tarkastusmenettelyt valitaan niiden merkityksestä jätteiden käsittelylle, varastoinnin turvallisuudelle ja jätepakkausten pitkäaikaisominaisuuksille.

STUK tekee jätehuoltoon liittyviä tarkastuksia ilmoitetun tarkastusohjelman mukaan. (YVL 8.3, 7.)

YVL-ohje määrää, että laitoksella väliaikaisesti varastoituna olevista, käsittelemättömistä jätteistä on tehtävä selkeä kirjanpito, josta käy ilmi jätelaji, sen määrä, aktiivisuus sekä erityispiirteet ja varastointisijainti. Nämä jätteet siirretään lopulta pitkäaikaisvarastoon tai loppusijoitettavaksi, mutta sitä ennen aktiivisuus on uudelleenmitattava. Nämä tiedot on raportoitava YVL-ohjeessa 1.5. määrättyllä tavalla. (YVL 8.3, 6.)

3.1 Jätteenkäsittelyn määräykset

Säteilyturvakeskuksen YVL-ohje 8.3 määrää, että kemiallisesti, aktiivisesti ja nuklidikoostumukseltaan erilaiset jätteet tulee käsitellä erikseen. Kaikelle jättemateriaalille on oltava varattuna tarpeeksi varastointitilaa huoltojärjestelmien häiriöiden varalle. (YVL 8.3, 4.) YVL-ohjeessa on tarkat määritelmät nestemäisen ja kiinteän jätteen käsittelylle Suomessa. Ohjeissa annetaan suoria raja-arvoja prosessiparametreille, lisättävien aineiden pitoisuuksille ja aktiivisuuksille sekä tarkkoja ohjeita valvontaa, näytteenottoa, paloturvallisuutta, prosessien turvallisuutta ja laadunvarmistusta varten. (YVL 8.3, 4.)

Nestemäisiä jätteitä käsitellessä tulee ottaa huomioon aktiivisuuden heikkeneminen varastoinnin aikana. Varastointivaiheessa on tärkeää estää mahdolliset haittailmiöt, kuten säiliöiden syöpyminen tai vuoto, jätteen koostumuksen muuttuminen esimerkiksi kiteytymällä tai palavien yhdisteiden muodostuminen säiliössä. Nestemäisen jätteen hyväksytyt huoltovaihtoehdot ovat kiinteyttäminen, sidosaineen käyttö, kuivaus tai imeytys. Valittaessa menetelmää tulee käyttöturvallisuus ja loppusijoitusvaatimukset ottaa huomioon. (YVL 8.3, 4.) Näistä jätehuoltovaihtoehdoista kerrotaan tarkemmin nestemäisen jätteen käsittely kappaleessa.

Kiinteän jätteen määrää tulee vähentää ja se tapahtuu helposti rajoittamalla valvontaluueelle tuotavan materiaalin määrä minimiin. Materiaali on käytön jälkeen kerättävä välittömästi ja lajiteltava. Erikseen on tärkeä lajitella ainakin radionuklidikoostumuksel-

taan poikkeava jäte. Varastointia tai loppusijoitusta varten jäte on tilavuutta pienentäen pakattava eristettyyn astiaan. Astian tulee olla kuljetuskelpoinen, estää kontaminaatio ympäristöön ja vähentää palovaaraa. Helposti syttyvän kuivajätteen pitkäaikaisvarastointia on vältettävä ja suuren säteilynopeuden aiheuttava jäte on varastoitava säteilysuojattuun tilaan. Säteilytasoa on valvottava jokaisessa käsittelyvaiheessa. (YVL 8.3, 4.)

Aktiivoitunut metallijäte tulee eristää esimerkiksi vesialtaisiin ennen käsittelyä ja radioaktiivisen aineen leviäminen on estettävä käsittelyvaiheessa. Kontaminoitunut metallijäte on dekontaminoitava, jos se vähentää aktiivisuutta merkittävästi ja jos siitä ei aiheudu merkittävää säteilyaltistusta työntekijöille. Dekontaminoitu jäte voidaan parhaassa tapauksessa vapauttaa valvonnasta. Metallijätteen tilavuutta pitää pienentää ja pakata käsittelyä tai loppusijoitusta varten. Suuret metallijätteet voidaan eristää esimerkiksi muovilla, jos niitä ei ole mielekästä paloitella pakattavaksi tynnyreihin. (YVL 8.3, 5.)

Kontaminoitunut nestemäinen jäte, kuten öljyt ja kemikaalit, joihin on tarttunut aktiivisuutta, tulee säilöä kestäviin astioihin. Näitä jätteitä ei tule varastoida kuin poikkeuksellisesti, sillä ne ovat usein helposti vapautuvassa muodossa. Valvonnasta vapauttaminen sopii sellaiselle matala-aktiiviselle nestemäiselle jätteelle, jonka aktiivisuus laskee varastoinnin aikana tarpeeksi alhaiseksi tai joka voidaan puhdistaa. Muu nestemäinen jäte tulee kiinteyttää tai imeyttää ja sulkea loppusijoitusta varten umpinaiseen astiaan. (YVL 8.3, 5.)

Pakattujen jäteastioiden varastointitapa ja –vaatimukset määräytyvät astian aktiivisuuden perusteella. Matala-aktiivista jätettä sisältävien tynnyreiden varastossa pakkausten siirtäminen voi tapahtua myös lähisiirtelyllä, mutta keskiaktiivisen jätteen varastossa vain kauko-ohjatusti, näin minimoiden työntekijöille aiheutuva säteilyannos. Varastoympäristö ei saa aiheuttaa haittoja jättepakkauksille, joten varasto-olosuhteita tulee valvoa ja paloturvallisuus on otettava huomioon. Mahdolliset kunnoltaan heikentyneet pakkaukset täytyy poistaa varastosta ja jäte tulee pakata uudelleen. Varasto on pidettävä lukittuna ja varastossa käyvien henkilöiden määrä tulee rajoittaa mahdollisimman pieneksi.

Dekontaminaatio eli kontaminaation puhdistaminen jätepakkauksen pinnalta ei ole yleensä tarpeellista jätepakkauksille ennen varastoimista, vaan kontaminaation muodostuminen pyritään estämään käsittely ja varastointivaiheissa. Varastoitaessa jätepakkausia, tulee niistä tallentaa tiedot jätelajista ja määrästä, käsittelytavasta, pakkaustavasta ja – vuodesta, eniten esiintyvien nuklidien aktiivisuuksista sekä kirjata ylös pakkauksen tunnus ja varastointipaikka sekä mahdollinen pintakontaminaatio. (YVL 8.3, 6.)

Voimalaitosjätteen aiheuttama säteily tulee pitää mahdollisimman alhaisena. STUK on määrännyt laitosalueelle ja sen ulkopuolelle säteilyrajat, jotka tulee huomioida toiminnassa. Voimalaitosjätteen käsittelyä koskevat säteilyrajat on annettu YVL-ohjeessa 7.9. Ohjeesta löytyy jättevarastojen ja -pakkausten säteilypitoisuuden raja-arvot. (YVL 8.3, 5.)

3.2 Aktiivisuusmittaus

Radioaktiivisen jätteen ytimien hajoaminen aiheuttaa jätteen säteilyn. Yleisimmät säteilylajit ovat alfa-, beeta- ja gammasäteily. Alfa-säteilyssä säteilevä ydin lähettää alkuaine heliumin ytimen kaltaisen hiukkasen, alfahiukkasen. Alfahiukkanen on massaltaan suuri ja pysähtyy helposti, ilmassa alfahiukkanen kulkee vain muutamia senttimetrejä. Alfa-hiukkaset ovat vaarallisia hengitettyinä. Alfahajoamista tapahtuu raskaissa ytimissä, jotka pyrkivät säteilemällä stabiiliin tilaan. (Finergy 2003, 5.)

Beetasäteilyssä hajoava ydin lähettää elektronin tai vastaavan kokoisen positiivisen varauksen omaavan hiukkasen, jota nimitetään beetahiukkaseksi. Beetahiukkanen on massaltaan pieni ja kulkee ilmassa jopa metrien matkan. Kudoksessa beetahiukkanen sen sijaan kulkee vain millimetrejä, eikä säteily näin ollen ole läpätunkevaa. Beetasäteilyltä voi suojautua suhteellisen helposti esimerkiksi vaatteiden tai muovin avulla. (Finergy 2003, 5.)

Gammasäteily on säteilytyypeistä vaarallisinta ja sitä esiintyy usein alfa- ja beetasäteilyn yhteydessä. Gammasäteily koostuu ytimestä lähtevästä sähkömagneettisesta aallosta, eikä sillä ole sähköistä varausta tai massaa. Gammasäteily on hyvin läpikäyvä ja kulkee ilmassa jopa satoja metrejä. Gammasäteilyltä pystyy suojautumaan veden, betonin, lyijyn tai teräksen avulla. Gammasäteily on ihmisille haitallista. (Finergy 2003, 6.)

Voimalaitosjätteen huollossa aktiivisuusmittauksilla on tärkeä osa. Niiden avulla määritetään esimerkiksi jätteen aktiivisuusluokka ja sitä kautta käsittely sekä haitallisuus. Säteilyturvakeskuksen hyväksymät menetelmät jätteen aktiivisuuden määrittämiseen voimalaitoksilla ovat gammaspektrometria, annosnopeusmittaus, alkuperätiedot, näytteenotto sekä laskennalliset menetelmät varmuusmarginaaleja käyttäen. Alkuperältään ja nuklidikoostumukseltaan samanlaisia jätteitä ei kaikkia tarvitse mitata erikseen, tilastollisesti edustavan määrän mittaaminen riittää. (YVL 8.3, 6.)

Annosnopeus- ja pintakontaminaatiomittaus soveltuvat lähinnä varmentaviksi mittausmenetelmiksi. Gammaspektrometrinen mittaus sopii parhaiten epätasaisen aktiivisuusjakauman omaaviin jätteisiin. Näytteenotto ja näytteiden analysointi sopii jätteelle, jossa radioaktiiviset aineet ovat jakautuneet tasaisesti tai joiden aktiivisuusjakaumat tunnetaan. (YVL 8.2, 6.)

Jätepakkausten gamma-aktiivisuus mitataan jätepakkausista gammaspektrometrisilla mittauksilla. Nestemäiset jätteet voidaan mitata myös ennen loppukäsittelyä ja pakkaamista. Jätteen aktiivisuutta arvioidaan myös alkuperän perusteella sekä käyttäen näytteenanalysointimenetelmää, gammaspektrometrimittausta, annosnopeusmittausta tai laskentamenetelmiä. (YVL 8.3, 6.)

Lähes puhtaiden alfa- ja beetasäteilijöiden tai heikkojen gammasäteilijöiden aktiivisuusmittaus voidaan toteuttaa epäsuoria menetelmiä käyttäen. Tällöin aktiivisuus voidaan esimerkiksi suhteuttaa sopivaan gammasäteilijään varmuusmarginaalien ja verrannollisuuskertoimien avulla. (YVL 8.3, 6.)

4. VALVONNASTA VAPAUTUVA JÄTE

Voimalaitosjätteen käsittelyn ensimmäinen prosessi on aktiivisuuden mittaaminen. Tarpeeksi alhaisen aktiivisuuden omaavaa jätettä ei käsitellä laitosalueella, vaan aktiivisuusmittauksen jälkeen se vapautetaan valvonnasta.

Valvonnasta vapautuva jäte eroaa muusta voimalaitosjätteestä monella tavalla. Valvonnasta vapautuva jäte kuljetetaan käsiteltäväksi normaalin yhdyskunta- tai teollisuusjätteen kanssa, eivätkä voimalaitosjätettä koskevat määräykset ole voimassa vapauttamisen jälkeen. Jäte voidaan vapauttaa valvonnasta jätehuollon eri vaiheissa, kun saavutetaan tarpeeksi alhainen aktiivisuustaso. Dekontaminoitu metallijäte on hyvä esimerkki tästä, koska joskus dekontaminaatio laskee aktiivisuutta niin paljon, että jäte voidaan vapauttaa valvonnasta. (YVL 8.3, 5.)

Voimalaitosjäte voidaan ydinenergia-asetuksen 10§ mukaisesti vapauttaa valvonnasta joko yleisellä tai tapauskohtaisella valvonnasta vapauttamismenettelyllä (YVL 8.2, 3). Yleisessä vapauttamismenettelyssä ei määritellä jätteen määränpäättä ja käsittelytapaa tai ne määritellään yleispätevästi. Tapauskohtaisessa vapauttamismenettelyssä jätteen vastaanottaja ja käsittelytapa määritellään. (YVL 8.2, 3)

Yleistä valvonnasta vapauttamismenettelyä voidaan soveltaa ydinlaitoksen käytön aikaiselle jätteelle. Menettelyhakemus voidaan hyväksyttävä STUK:lla jopa ennen toiminnan aloittamista. Hakemuksessa kuvataan jätteiden alkuperä, laatu ja kertymisnopeus sekä aktiivisuuden toteamiseen käytettävät menetelmät. Yleinen menettely ei sovi helposti haihtuvalle tai syttyvälle tai muulla tavoin haitalliselle tai säteilyaltistusta aiheuttavalle jätteelle. (YVL 8.2, 5.)

Yleinen valvonnasta vapauttamismenettely noudattaa YVL-ohjeessa 8.2 määriteltyjä nuklidikohtaisia aktiivisuusrajoja tai massakohtaisia aktiivisuusrajoja. Seuraavat aktiivisuusrajat ovat voimassa, mikäli ydinvoimalaitoksen valvonnasta vapautettavan jätteen

yhteen laskettu massa alittaa 100 tonnia vuodessa ja jäte viedään kaatopaikalle tai kierrätysmetallin sulatukseen. (YVL 8.2, 4.)

Tavanomaisille kaatopaikoille kuljetettavan jätteen aktiivisuusrajat ovat esitetty taulukossa 1. Jätteen aktiivisuuspitoisuus lasketaan keskiarvona enintään 500 kilogramman painoisesta jäte-erästä. Erässä ei saa kuitenkaan olla yksittäistä, alle 30 kilogramman painoista jätepakkausta tai partikkelia, jonka aktiivisuuspitoisuus ylittää taulukossa annetun aktiivisuuspitoisuudenrajan. (YVL 8.2, 4.)

Taulukko 1: Aktiivisuusrajat valvonnasta vapautettavalle jätteelle (YVL 8.2, 4)

Taulukko 1. Valvonnasta vapauttamisessa sovellettavat nuklidiryhmäkohtaiset aktiivisuuspitoisuusrajat ja aktiivisuuskaterajat (korkeintaan 100 tonnia vuosittain yhtä ydinlaitosta kohti).

Nuklidiryhmä	Aktiivisuuspitoisuus	Aktiivisuuskate
Alfasäteilijät	0,1 Bq/g	0,4 Bq/cm ²
Merkittävät gamma- ja beetasäteilijät *	1 Bq/g	4 Bq/cm ²
Heikot gamma- ja beetasäteilijät **	10 Bq/g	40 Bq/cm ²

* Esimerkiksi ⁵⁴Mn, ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ⁶⁵Zn, ⁹⁰Sr, ¹⁰⁶Ru, ^{110m}Ag, ¹²⁴Sb, ¹²⁵Sb, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ¹⁴⁴Ce ja säteilyenergialtaan vastaavanlaiset nuklidit

** Esimerkiksi ³H, ¹⁴C, ⁵¹Cr, ⁵⁵Fe, ⁶³Ni ja säteilyenergialtaan vastaavanlaiset nuklidit

Kierrätykseen vapautettavan metallin aktiivisuusrajat noudattavat taulukon 1 mukaisia aktiivisuusrajoja, joita minkään nuklidin aktiivisuuskate ei saa ylittää. Aktiivisuuskate on irtoavien ja irtoamattomien aineiden summa, joka määritellään keskiarvona maksimissaan 0,1 neliömetrin kokoiselta pinnalta. (YVL 8.2, 4.)

Tapauskohtaisessa valvonnasta vapauttamisessa tehdään ydinenergia-asetuksen 48 §:n mukainen luovutuslupa, kun jätteen haltija vaihtuu eli kun voimalaitosyhtiö luovuttaa jätteen jätehuoltoyritykselle. Luovutuslupahakemukseen merkitään tieto jätteen alkuperästä ja laadusta, kuvaus aktiivisuuden mittaussmenettelystä, jätteenkäsittely- tai loppusijoitustapa sekä jätteestä aiheutuva säteilyaltistus. Mikäli jätteen haltija ei vaihdu, STUK:lle on toimitettava hakemus, josta selviää edellä mainitut seikat. (YVL 8.2, 5.)

Jäte voidaan vapauttaa tapauskohtaisella valvonnasta vapauttamismenettelyllä, mikäli jätteen aktiivisuus alittaa STUK:n tapauskohtaisesti hyväksymät raja-arvot ja noudattaa ydinenergia-asetuksen 10 §:n asettamia rajoja. 10 § määrää, että vapautettavassa jäte-

erässä keskimääräinen ominaisaktiivisuus täytyy olla alle 10 kBq/kg ja että jätteen vastaanottajan hallussa olevien ydinvoimalasta peräisin olevien jätteiden yhteenlaskettu aktiivisuus on alle 1 GBq ja alfa-aktiivisuus alle 10 MBq. (YVL 8.2, 4.)

Valvonta-alueella syntyvää valvonnasta vapautettavaa jätettä poistetaan alueelta kampanjoissa. Ennen vapauttamista jätettä varastoidaan laitosalueen välivarastoihin, joista jäte kuljetetaan suurissa erissä jätehuoltoon. Voimalaitosalueiden porteilla varmistetaan vielä koko kuljetusajoneuvon aktiivisuus- ja annosnopeus porttimonitoreilla. (Posiva 2009, 483.)

5 KIINTEÄN JÄTTEEN KÄSITTELY

Kiinteän jätteen ominaisuudet on mitattava ennen jätteen käsittelyä. Jätteen ominaisuudet kuten aktiivisuus, kokoonpuristuvuus ja nuklidikoostumus määräävät jätteen käsiteltävän. Suomessa hyväksytyt aktiivisuuden määrittämenetelmät ovat esitelty kappaleessa 3.2 Aktiivisuusmittaus. Aktiivisuus mitataan jokaisen jätteen käsittelyvaiheen jälkeen. Näin toimitaan, jotta YVL-ohjeen 8.3 määräykset toteutuvat. Ohje määrää myös, että ominaisuuksiltaan erilaiset jätteet pitää käsitellä erikseen.

Kiinteää voimalaitosjätettä voidaan käsitellä monella eri tavalla. Kiinteän jätteen käsittely alkaa heti jätteen muodostuttua sen keräämisellä ja lajittelulla. Suomessa käytössä olevat esikäsittelyprosessit ovat alkukarakterisointi, kerääminen, lajittelu, kemiallinen säätö ja dekontaminointi. Pääprosessit ovat esikäsittely, tilavuuden pienentäminen, pakkaus sekä loppusijoitus. (Kyrki-Rajamäki 2010a, 27.)

Alkukarakterisointi tarkoittaa jätteen ominaisuuksien määrittelyä, eli se tehdään ensimmäisenä jätteen keräämisen jälkeen, osittain samanaikaisesti lajittelun kanssa. Seuraava käsittelyvaihe määräytyy alkukarakterisoinnin perusteella. Tätä kutsutaan integroiduksi jätteenkäsittelyksi. (IAEA 1983, 15.) Matala-aktiivinen huoltojäte lajitellaan usein manuaalisesti. Jätteestä erotellaan myrkylliset, räjähdysherkät sekä korroosiota aiheuttavat materiaalit. Jäte lajitellaan tulevien toimintojen mukaisesti, esimerkiksi alfa- tai be-

tasäteileviin, helposti syttyviin tai palamattomiin materiaaleihin. Samalla kerätään mahdollisimman paljon informaatiota jätteestä. Mikäli on tarvetta, jäte voidaan peittää lajittelevaiheessa muovilla tai jätteet voidaan lajitella jätesäkkeihin tai pakata säiliöihin. (IAEA 1983, 16.)

Dekontaminaatiossa jätteestä poistetaan sen pinnalle kerääntynyt kontaminaatio eli epäpuhtaus. Dekontaminointi perustuu jätteen pinnalla olevan hapettuneen kerroksen poistoon. Dekontaminoinnissa tämä radioaktiivinen aines poistetaan kemiallisesti tai mekaanisesti, jolloin dekontaminoitujen jätteiden aktiivisuus on matalampi ja poistetut epäpuhtaudet voidaan käsitellä erikseen. Dekontaminointia tehdään Suomen ydinvoimaloissa kaikilla mahdollisilla tarkoitukseen sopivilla tavoilla. (Ropponen 2010, 38.) Käytettävä dekontaminointiprosessi valitaan poistettavan kontaminaation, dekontaminoitavan materiaalin, dekontaminoitujen jätteen seuraavan käsittelymenetelmän, jätteen sijainnin, turvallisuuden sekä taloudellisuuden perusteella. (IAEA 1994b, 63.)

IAEA:n hyväksymät dekontaminaatioprosessit ovat manuaalinen harjaus, jauhanta, paloittelu, värinäpuhdistus, vesi- ja höyrysuihkulla puhdistus, kemiallinen käsittely ja happokylpy sekä sähkökemiallinen dekontaminointi (IAEA 1987, 9). Mekaaniset dekontaminaatiomenetelmät, eli harjaus, jauhanta ja paloittelu, voidaan toteuttaa erilaisilla laitteistoilla. Mekaaninen dekontaminaatio sopii matala-aktiivisille jätteille varmentavana menetelmänä voimakkaamman dekontaminointiprosessin jälkeen (IAEA 1994b, 63). Metallikomponenttien mekaaninen dekontaminointi voidaan tehdä esimerkiksi värinäpuhdistuksella. Puhdistus perustuu laitteiston tärisevään liikkeeseen. (IAEA 1994b, 64.)

Suihkupuhdistus tapahtuu erilaisten vesitykkien tai paineistetun höyryn avulla. Suihkupuhdistus sopii hyvin ensimmäiseksi prosessiksi dekontaminointiketjussa. Suihkupuhdistuksen etuja ovat helppo käytettävyys, pienet kustannukset sekä liikuteltavuus. Suihkulla voidaan myös puhdistaa muilla tavoin vaikeasti tavoitettavia komponentteja, kuten putkien sisäpintoja. Suihkupuhdistuksessa muodostuu paljon nestemäistä jätettä ja kontaminaatio saattaa levitä ilmateitse. (IAEA 1994b, 65.)

Dekontaminointi kemiallisten käsittelyjen avulla tarkoittaa kontaminaation poistamista komponentin pinnalta kemikaaliyhdisteiden avulla. Kemikaaliliuos tai -geeli koostuu orgaanisista tai mineraali yhdisteistä, jotka irrottavat muutamassa tunnissa kontaminaation komponentin pinnalta. Kemikaalit ja kontaminaatio poistetaan komponentin pinnalta vesisuihkulla. Kemiallisesti dekontaminoitu komponentti dekontaminoidaan usein vielä varmentavalla metodilla. Kemiallinen käsittely soveltuu suurille pinnoille, eikä siihen tarvita suuria määriä kemikaaleja. Kemiallinen dekontaminointi voidaan tehdä myös hapon avulla. Tällöin käytetty happo, esimerkiksi rikkihappo, syövyttää kontaminaation komponentin pinnalta. (IAEA 1994b, 66–67.)

Sähkökemiallinen dekontaminointi perustuu elektrolyysiin. Dekontaminoinnin suorittamiseksi tarvitaan erillinen laitteisto, jolla metallikomponentteja voidaan dekontaminoida. Tekniikan etuja ovat hyvä kontaminaation poistokerroin, paikallinen kontaminaation poistokyky, liikuteltavuus sekä helppo prosessin kontrolloiminen. Haittoja sen sijaan ovat mm. laitteiston kallis hinta, sekundäärijätteen hankala käsittely, vedyn muodostuminen prosessissa sekä tarve koulutetulle operaattorille. (IAEA 1994b, 70.)

Jätteen tilavuuden pienentäminen on tärkeä prosessi jätteenkäsittelyssä. Jätteen tilavuuden pienentyessä seuraaviin vaiheisiin menevät jätevirrat pienenevät ja jätteen vaatima loppusijoitustila vähenee. Tämä vähentää jätteenkäsittelyn kustannuksia. Jätteen tilavuutta ja kokoa pienennetään mekaanisilla käsittelymenetelmillä, joista Suomessa käytössä ovat kokoonpuristus, paloittelu ja sulattaminen (Kyrki-Rajamäki 2010a, 27).

Käytettävä tilavuuden pienennysprosessi valitaan jätteen keskimääräisen tiheyden perusteella. Paloittelutekniikat perustuvat rakennus- ja purkutyömailla käytettäviin tekniikoihin sekä erilaisiin saha- ja leikkurityyppisiin. Kokoonpuristus tapahtuu puristimilla, joita on käytössä neljää eri perustyyppiä: rumpupuristin, laatikkopuristin, paalauspuristin ja ruuvipuristin. Jätteen sulattaminen tapahtuu sulatuslaitteistolla, joka sulattaa jätteen ja kerää haihtuvat radioaktiiviset aineet talteen. Sulatuslaitteistoja on erityyppisiä, erikseen metallijätteelle ja muulle jätteelle. Keskiaktiivisen jätteen mekaaninen käsittely tapahtuu kauko-ohjatuilla laitteilla voimalaitoksen henkilökunnan säteilyannoksen minimoimiseksi. (IAEA 1994b, 6-7.) Suomen voimalaitoksilla on päätetty, ettei voimalai-

tosjätettä polteta, vaikka se periaatteessa olisi mahdollinen prosessi jätteen tilavuuden pienentämiseksi (TVO 2011).

Kemiallinen säätö on prosessi, jonka tarkoitus on muuttaa jätteen kemialliset ominaisuudet halutuiksi. Voimalaitosjätettä säädetään usein kemiallisesti neutraalimmaksi eli muuttamalla sen pH-arvoa emäksisestä tai happamasta neutraaliksi. Jätettä voidaan myös hapettaa, syövyttää tai käsitellä elektrolyysillä tai fotolyysillä. (IAEA 1994b, 54–60.)

Esikäsitelyprosessien ja tilavuuden pienentämisen jälkeen jätteet pakataan tynnyreihin. Pakkausvaiheessa loppusijoitettavan jätteen määrää pienennetään vielä kokoonpuristamalla jätteet. Kasaan puristamisen jälkeen jätepakkaukset loppusijoitetaan. (Posiva 2009, 486–494.) Näistä prosesseista löytyy tarkemmat, voimalaitoskohtaiset selostukset seuraavista alakappaleista sekä kappaleesta 7 Loppusijoitus.

Säteilyturvallisuussyistä jäte-eristä pidetään mahdollisimman tarkkaa kirjaa. Jätteen alkuperä, aktiivisuus, nuklidikoostumus, käsittelyvaiheet, erän/pakkausten tilavuus, paino ja muut tärkeät ominaisuudet kirjataan ylös. Nämä tiedot auttavat säteilytasojen hallitsemisessa ja jätteenkäsittelyn myöhemmissä vaiheissa. (IAEA 1983, 14.)

5.1 Olkiluodon voimalaitokset

Olkiluodon voimalaitosalueella kiinteä voimalaitosjäte käsitellään kiinteän jätteen käsittelyjärjestelmällä. Järjestelmä sisältää matala-aktiivisen jätteen käsittelyn ja kokoonpuristamisen sekä keskiaktiivisen nestemäisen jätteen kiinteyttämisen.

Olkiluodossa kiinteä jäte käsitellään, kuten STUK:n YVL-ohje 8.3 määrää. Jäte kerätään, alkukarakterisoidaan, lajitellaan, dekontaminoidaan sekä säädetään kemiallisesti. Tämän esikäsitelyn jälkeen jätteen tilavuutta pienennetään ja jäte siirretään seuraavaan vaiheeseen, eli pakattavaksi. (Kyrki-Rajamäki 2010a, 27.)

Esikäsitteilyn ja tilavuuden pienennyksen jälkeen jäte pakataan 200 litran peltitynnyreihin, jotka puristetaan noin puoleen alkuperäisestä tilavuudesta. Kokoonpuristaminen tapahtuu hydraulisella puristimella. Puristus pienentää jätetynnyrin korkeutta, mutta pitää halkaisijan alkuperäisenä. (Posiva 2009, 486.)

Kokoonpuristetut tynnyrit viedään välivarastoon ennen loppusijoitusta. Olkiluodon ai-datulla laitosalueella on väliaikaisvarastot erikseen keski- ja matala-aktiiviselle jätteelle sekä erillinen varasto suurille jätekomponenteille. Erilliseen varastoon viedään suuret metalliset komponentit, joiden aktiivisuus on matala. Tällaista jätettä ovat mm. voimalaitoksen lämmönvaihtimet. Jätettä säilytetään varastossa enne loppusijoitukseen kuljetamista. Jäte voidaan myös vapauttaa valvonnasta, mikäli sen aktiivisuus laskee tarpeeksi välivarastoinnin aikana. (Posiva 2009, 486.) Jätettä vapautetaan väliaikaisvarastoista valvonnasta vapautus-kampanjoiden yhteydessä.

Kokoonpuristamiseen sopimaton jäte pakataan ruostumattomiin teräslaatikoihin, betonitynnyreihin tai -arkkuihin. Laitosalueella syntyy paljon kokoonpuristumatonta jätettä, koska voimalaitoksessa on paljon vaihdettavia metallikomponentteja. Putket ja muut vastaavat ontot kappaleet voidaan puristaa kokoon ennen pakkaamista kokoonpuristumattoman jätteen arkkuihin. Kokoonpuristamattomat, pakatut jätteet loppusijoitetaan sellaisenaan ilman jätepakkauksen hydraulista litistämistä. (Posiva 2009, 486.) Osa metalliromusta pakataan avonaisiin laatikoihin, jotka loppusijoitetaan ilman kantta (Viitonen 2007, 7.4.1).

5.2 Loviisan voimalaitokset

Loviisan voimalaitoksella kiinteä jäte käsitellään samoin periaattein kuin Olkiluodossa, noudattaen YVL-ohjetta 8.3. Kiinteä jäte esikäsitellään samoin kuin Olkiluodossa. Jäte siis kerätään, alkukarakterisoidaan, lajitellaan, dekontaminoidaan sekä säädetään kemiallisesti. Tämän esikäsitteilyn jälkeen jätteen tilavuutta pienennetään ja jäte kuljetetaan pakattavaksi. (Kyrki-Rajamäki 2010a, 27.)

Esikäsitelty jäte puristetaan 200 litran tynnyreihin, jotka ovat valmistettu teräksestä. Kokoonpuristuva jäte puristetaan jätepuristimella tynnyreihin. Prässäysmenettelyllä yhteen tynnyriin saadaan mahtumaan 3-4 kertaa enemmän jätettä kuin ilman puristusta. (Posiva 2009, 493.) Kokoonpuristumaton jäte pakataan teräksestä tai betonista valmistettuihin laatikoihin tai tynnyreihin ja viedään loppusijoitettavaksi (Posiva 2010).

Kokoonpuristumaton jäte pakataan 1 kuutiometrin kokoisiin betonitynnyreihin, samantyyppisiin joihin nestemäinen jäte Loviisassa kiinteytetään. Tämän jälkeen jätteellä on kaksi huolto- ja loppusijoitusvaihtoehtoa. Pakkaamisen jälkeen betonitynnyriin jäänyt tyhjä tila täytetään betonilla tai jättepakkaukset voidaan loppusijoittaa huoltojätetiloihin ilman betonointia, mikäli niiden karakteristiset ominaisuudet eivät poikkea liikaa muusta loppusijoitetusta materiaasta. (Fortum 2007, 11.9.9.2.)

6 NESTEMÄISEN JÄTTEEN KÄSITTELY

Säteilyturvakeskuksen YVL-ohje 8.3 määrää, että kemiallisesti, aktiivisesti ja nuklidikoostumukseltaan erilaiset jätteet pitää käsitellä erikseen. Nestemäisen jätteen ominaisuudet on mitattava ennen jätteen käsittelyä. Nämä ominaisuudet, kiinteän jätteen pitoisuus nesteessä, pH-arvo, johtavuus, tiheys, viskositeetti, nesteeseen liuenneen kiintoaineen määrä sekä aktiivisten nuklidien määrä ja tyyppi määräävät jätteen käsittelytavan.

Nestemäisten jätteiden esikäsitteilyn päätarkoituksena on jakaa ne kierrätettäviin, valvonnasta vapautettaviin ja loppusijoitettaviin jätteisiin. Loppusijoitus vaatii loppukäsittelyn, johon sisältyy kiinteyttäminen ja pakkaaminen. (Kyrki-Rajamäki 2010b, 1.) Loppusijoitusprosessina Suomessa on kiinteytys betoniin tai bitumiin ja pakkaaminen kalliin louhittuun loppusijoitusluolastoon (Kyrki-Rajamäki 2010a, 27).

Ennen loppusijoitusta nestemäiset jätteet on tärkeää saattaa mahdollisimman pieneen tilavuuteen. Jätteen tilavuutta pienennetään Suomen voimalaitoksilla ioninvaihdolla, haihduttamalla, suodattamalla, linkoamalla sekä selektiivisellä nuklidierotuksella. (Kyrki-Rajamäki 2010a, 27.) Prosesseissa radioaktiiviset nuklidit pyritään erottamaan muus-

ta jätteestä. Jäteneste puhdistetaan aktiivisista nuklideista, jolloin jäljelle jää puhdistettu, valvonnasta vapautettavaksi kelpaava neste sekä suurimman osan alkuperäisestä aktiivisuudesta sisältävä jäännös. Tämä kontaminoitunut, aktiivisia nuklideja sisältävä jäännös ohjataan loppusijoitukseen.

Haihduutusprosessissa erotetaan aktiiviset aineet sisältävä jäteliuos muusta, lähes puhtaasta vedestä. Haihdutus tapahtuu haihduuttimien avulla, jolloin radioaktiivinen aines ei haihdu vaan konsentroituu haihdutusjätteeseen. Haihdutusjätteellä tarkoitetaan sitä jäteliuosta, joka jää jäljelle haihduutusprosessista. Aktiivinen haihdutusjäte loppusijoitetaan ja muu, lähes puhdas vesi voidaan päästää mereen laboratoriotutkimusten jälkeen. Näin loppusijoitettavan jätteen määrä pienenee huomattavasti. (Ropponen 2010, 44.) Haihdutuksella puhdistettua vettä voidaan käyttää myös korvaamaan vesijohtovettä voimalaitoksella.

Nestemäisestä jätteestä poistetaan kiintoainetta linkoamalla ja suodattamalla. Linkouksessa kiintoainepartikkelien erotus perustuu sentrifugilaitteiston pyörivään liikkeeseen, jolloin kiintoainepartikkelit kerääntyvät painonsa vuoksi sentrifugin ulkoreunoille. Suodatuksessa nestemäinen jäte ohjataan kiintoaineen suodatusfiltterin läpi. Tällöin mahdollinen nesteessä oleva kiintoaine jää suodattimeen ja voidaan käsitellä erikseen. Filttereitä on kahta eri päätyyppiä, huopakerros- ja verkkokerrosfilttereitä. Usein käytettävänä olevissa suodattimissa on näitä molempia kerroksia toistuvasti peräkkäin. (Ropponen 2010, 41.)

Ioninvaihto voidaan tehdä orgaanisilla tai epäorgaanisilla ioninvaihtimilla. Ioninvaihdossa ei-toivotut, varautuneet ionit muutetaan halutuiksi, varauksettomiksi ioneiksi. Ioninvaihtimet ovat kationi- tai anionihartseja tai sekavaihtimia. Orgaaniset hartsit koostuvat polystyreenistä tai fenoli formaldehydeista sekä funktionaalisesta ryhmästä. Hartsin funktionaalinen ryhmä valitaan aina käsiteltävän nesteen sisältämien ionien perusteella. Epäorgaaniset hartsit koostuvat mineraaleista tai synteettisistä materiaaleista. Ioninvaihdossa hartsi on joko kiinteänä partikkelina tai jauheena suodattimessa. Käsiteltävä neste lasketaan useasti kiinteän partikkelin läpi tai kertaalleen suodattimen läpi. Jäljelle jää aktiivinen jäännös, joka kiinteitetään. Puhdistettu neste voidaan johtaa vesis-

töön laboratoriotestien jälkeen. (IAEA 1994a, 4-5.) Myös ioninvaihtohartsit ohjataan käytön jälkeen jätehuoltoon käsiteltäväksi loppusijoitettavaksi.

Loviisan voimalaitoksella on käytössä myös selektiivinen nuklidierotus. Selektiivisessä nuklidierotuksessa nesteestä erotetaan tietyt haitalliset nuklidit menetelmää varten suunnitellulla laitteistolla. Loviisassa on käytössä kaksi erillistä laitteistoa: cesiuminerotuslaitteisto ja NURES-laitteisto. Kappaleessa 6.2 Loviisan voimalaitokset löytyy tarkemmat esittelyt laitteistoista.

6.1 Olkiluodon voimalaitokset

Nestemäisen jätteen käsittelyprosessit, joita käytetään Olkiluodon laitoksissa, ovat mekaaninen suodatus, ioninvaihto, haihdutus sekä linkouserotus. Loppukäsittelyprosessina on bitumointi. (Kyrki-Rajamäki 2010b, 1.) Olkiluodossa nestemäinen voimalaitosjäte käsitellään kiinteän jätteen käsittelyjärjestelmällä. Järjestelmä sisältää matala-aktiivisen jätteen käsittelyn, lajittelun ja kokoonpuristamisen sekä nestemäisenjätteen kiinteyttämisen. (TVO 2007, 41.)

Hiukkasmaisia epäpuhtauksia sisältävät nestemäiset jätteet puhdistetaan linkoamalla, ioninvaihdolla tai haihdutuksella. Nämä matala-aktiiviset vedet ovat lähtöisin mm. lattiakaivoista ja aktiivipesulasta. Puhdistuksen jälkeen jäljelle jääneet nesteet loppusijoitetaan mereen ja erotetut jätepartikkelit bitumoidaan peltitynnyyriin. (TVO 2007, 41.)

Nestemäiset prosessijätteet kerätään suuriin säiliöihin useilla eri järjestelmillä. Kemiallisesti puhtaat vedet käsitellään erikseen suodattimissa ja ioninvaihtimissa. Nämä vedet palaavat uudelleenkiertoon prosessivedeksi. Loppusijoitukseen menevät keskiaktiiviset vedenpuhdistusmassat pakataan terästynnyreihin bitumiin kiinteytettynä ja loppusijoitetaan. (Posiva 2010.)

Ioninvaihtohartsit sekä haihdutinkonsentraatti, jotka ovat keskiaktiivista nestemäistä jätettä, esikäsitellään kuivaamalla. Kuivauksen jälkeen jätteet johdetaan bitumointiprosessiin. (TVO 2007, 41.)

Loppukäsittelynä Olkiluodon laitoksilla käytetään bitumointia. Bitumoinnissa ioninvaihtohartsit, haihdutuslietteet, dekontaminaatioliuokset ja muut vastaavat nestemäiset jätteet käsitellään keskiaktiivisen jätteen loppusijoitusta varten. Bitumoitavaa jätettä kuivataan, jonka jälkeen se sekoitetaan kuuman bitumin kanssa. Seos valetaan huolellisen sekoittamisen jälkeen 200 litran hiiliterästyntyreihin, jotka loppusijoitetaan. Bitumoidussa jätetyntyryssä noin puolet painosta on bitumia, puolet jätettä. Bitumoitua jätettä loppusijoitetaan n.150 tynnyriä vuosittain. (Viitanen 2007, 7.2.2.) Bitumoinnin etuna on se, että bitumointi hidastaa nuklidien vapautumista jätepakkauksesta veteen loppusijoitusluolan sulkemisen jälkeen (Viitanen 2007, 7.2.6).

6.2 Loviisan voimalaitokset

Nestemäisen jätteen käsittelyprosesseista ioninvaihto, suodatus, haihdutus ja selektiivinen nuklidierotus ovat käytössä Loviisan voimalaitoksella. Loviisassa nestemäiset jätteet kiinteytetään esikäsitellyn jälkeen Loviisan kiinteytyslaitoksella, LOKIT:lla. Loppusijoituskäsittelymetodin voimalaitosjätteelle on betonointi. (Kyrki-Rajamäki 2010b, 1.)

Keskiaktiiviset vedenpuhdistusmassat, joihin lasketaan ioninvaihtohartsit ja haihdutusjätteet varastoidaan nestemäisten jätteiden varastoon, 300 kuutiometrin kokoisiin säiliöihin. Varastosäiliöiden pohjalle muodostuu sakkaa, joka erotetaan ja kiinteytetään erikseen. Varastoidut nestemäiset jätteet puhdistetaan ja käsitellään kampanjoissa. (Roppo- nen 2010, 44.)

Ioninvaihtohartsijätettä muodostuu vuosittain n. 10–15 kuutiometriä. Ioninvaihtojätettä varten on kolme varastosäiliötä, kaksi keskiaktiivisille ja yksi matala-aktiivisille ionin-

vaihtohartseille. Hartsit kiinteitetään kiinteytyslaitoksella sementtiin betoniastioissa ja loppusijoitetaan loppusijoitusluolaan. (Ropponen 2010, 48.)

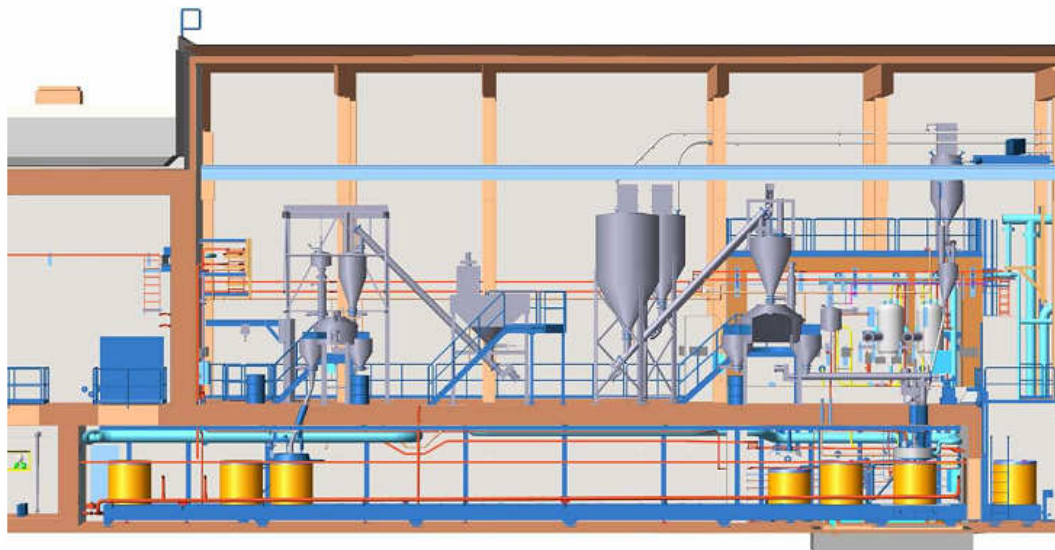
Haihdutusjätettä syntyy ydinvoimalaitoksella haihdutusprosessien jätteenä vuosittain 30–70 kuutiometriä ja ne varastoidaan neljään varastosäiliöön. Loviisassa on ollut vuodesta 1991 asti käytössä Fortumin ja HYRL:n kehittämä järjestelmä, jolla erotetaan cesiumia nestemäisestä haihdutusjätteestä. Cesiumin erotus tapahtuu kampanjoissa. Järjestelmä perustuu Cs-Treat-Fortumin kehittämään selektiiviseen ioninvaihtomassaan. Haihdutusjätteen aktiivisuus koostuu pääosin cesiumista, siksi se pyritään poistamaan. Cesiumin erotuksen jälkeen jäljelle jäävä puhdistettu neste voidaan laboratoriotutkimusten jälkeen laskea mereen. Yhteensä Cesiumin erotuslaitoksella on puhdistettu yli 1200 kuutiometriä haihdutusjätettä. Erotuksen jälkeen jäljelle jäävä, cesium-pitoinen jäte sisältää liuenneita suoloja, natriumia, kaliumia, booridioksidia, nitraattia ja hydroksia sekä korroosio- ja fission tuotteita. Tämä jäte ohjataan kiinteytyslaitokselle, jossa se kiinteitetään betoniin ja kuljetetaan loppusijoitettavaksi. (Ropponen 2010, 44–45.)

Loviisassa nestemäisen jätteen tilavuuden pienennykseen ja nuklidierotukseen käytetään Fortumin kehittämää NURES-laitteistoa. Kuvassa 1 on NURES-laitteisto, joka on rakennettu rekalla kuljetettavaan konttiin. Laitteisto pystyy poistamaan jätevedestä haluttuja radioaktiivisia nuklideja, kuten cesiumia, kobolttia, strontiumia ja antimonia. Järjestelmä koostuu karkeasta esisuodattimesta, aktiivihiilisuodattimesta, hienosta esisuodattimesta sekä selektiivisistä ioninvaihtimista cesiumille ja strontiumille. (Fortum 2010.)



Kuva 1: NURES-laitteisto (Kyrki-Rajamäki 2010a, 29)

Vuonna 2009 Loviisassa otettiin tuotantokäyttöön kiinteytyslaitos LOKIT. Kuvassa 2 on esitettyä laitoksen poikkileikkaus. Kiinteytyksessä nestemäinen jäte sekoitetaan sementin ja masuunikuonajauheen kanssa ja sijoitetaan betonitynnynriin.



Kuva 2: Loviisan kiinteytyslaitos LOKIT (Ropponen 2010, 54)

Kiinteytyslaitoksen tuotantokapasiteetti on kolme tynnyriä päivässä. Betonitynnynri on halkaisijaltaan ja korkeudeltaan 1,2 metriä, sen sisätilavuus on kuutiometrin ja ulkotilavuus 1,7 kuutiometriä. Yhteensä tynnyriin menee 0,5 kuutiometriä jätenestettä. Tynnyrin painaa keskimäärin 4 500 kilogrammaa. (Fortum 2007, 11.9.8.2.)

Kiinteytyslaitoksen kiinteytysprosessi tapahtuu seuraavasti, kuvasta 2 katsoen vasemmalta oikealle. Jäte pumpataan kiinteytyslaitoksen vieressä sijaitsevasta varastorakennuksesta putkia pitkin kiinteytyslaitoksen sekoitussäiliöön, jonka tilavuus on 4,5 kuutiometriä. Jäte sekoitetaan ja siitä otetaan näyte. Näytteen perusteella jäte ja jätemäärään kiinteyttämiseen tarvittava kiinteytysaine sekoitetaan betonitynnynriin ja siirretään linjalle odottamaan. Kiinteytyksen jälkeen, aikaisintaan 24 tunnin kuluttua tynnyriin valetaan kansi ja valupää pestään. Tämän jälkeen kannen pinnalle laitetaan topcoat hidastamaan

kuivumista ja tynnyri siirretään kuukausivarastoon odottamaan kuljetusta loppusijoitus-tilaan. (Ropponen 2010, 52.)

Loviisan voimalaitoksella syntyy myös hyvin pieniä määriä matala-aktiivista nestemäistä jätettä. Loviisan laitoksilla on tähän mennessä syntynyt yhteensä n. 15 kuutiometriä matala-aktiivista liuotinjätettä, pääosin moottorinpesuainetta. Tämä jäte kiinteytetään kampanjanomaisesti, kun jätettä on kertynyt tarpeeksi. Jäte kiinteytetään 200 litran tynnyreihin ja loppusijoitetaan. (Posiva 2009, 493.)

7 LOPPUSIJOITUS

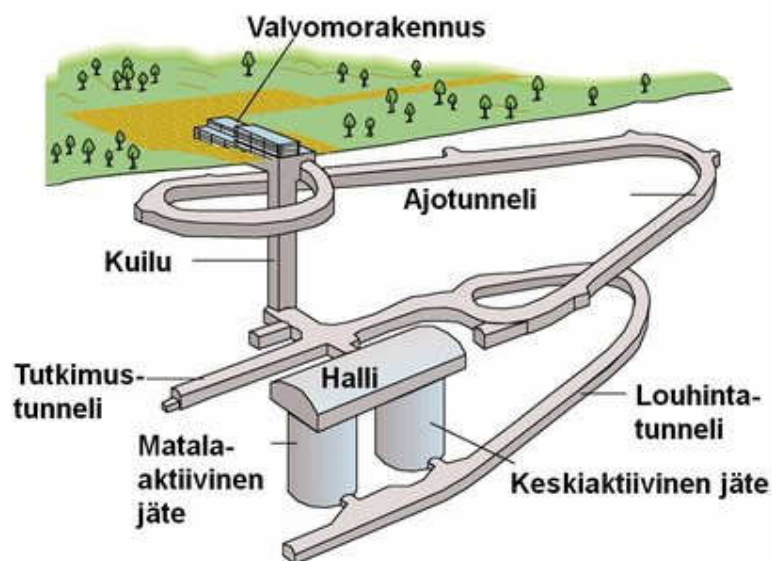
Suomessa voimalaitosjätteen lopulliseksi perushuoltoratkaisuksi on valittu loppusijoittaminen kallioon (YVL 8.1, 3). YVL-ohjeen 8.1 määäämät tutkimukset sopivan loppusijoituskallioperän valinnasta on tehty ja loppusijoitustilat ovat rakennettu nykyisin toimivien voimaloiden voimalaitosjätteelle, molempien voimalaitosalueiden yhteyteen.

7.1 Olkiluodon loppusijoituslaitos

Olkiluodon voimalaitosjätteen loppusijoituslaitos ja loppusijoitusluola eli VLJ luola sijaitsee Olkiluodon ydinvoima-alueen ulkopuolella, Ulkopään niemellä. VLJ-luola on sijoitettu lähes kokonaan niemen tonaliittikallioon. Jätettä on loppusijoitettu tilaan vuodesta 1992 lähtien. (Viitanen 2007, 2.1.) Tällä hetkellä valmiiksi louhittu tila riittää Olkiluoto I ja II laitoksilla käytössä syntyvälle jätteelle 40 vuoden käyttöään ajaksi (Posiva 2009, 486–487). Arvioitu loppusijoitettavan voimalaitosjätteen kokonaismäärä OL I ja II laitoksilta on 8800 kuutiometriä. Tiloja tullaan kuitenkin laajentamaan OL I ja II aktivoitunutta metallijätettä ja purkujätteitä sekä Olkiluoto 3-laitosyksikön voimalaitos- ja purkujätettä varten. (Viitanen 2007, 5.1.)

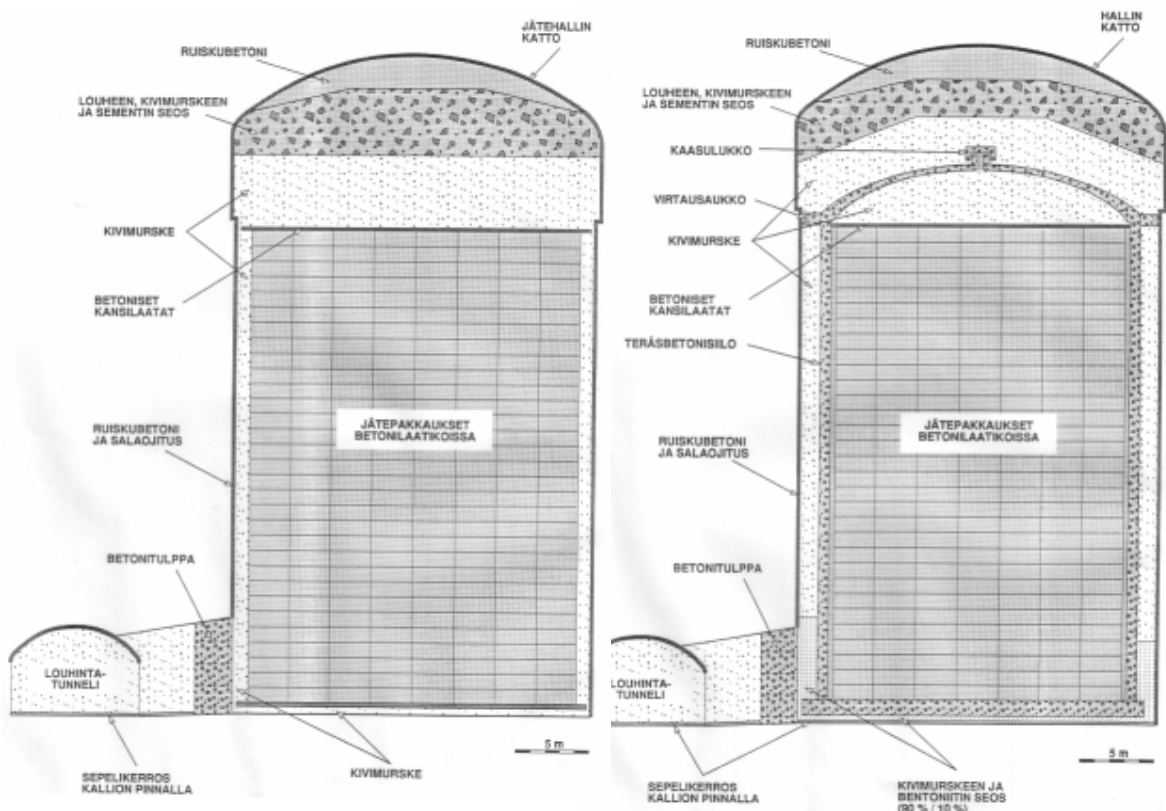
Loppusijoituslaitos jakautuu neljään pääosaan: valvomo- ja järjestelmätilaan, tunnelitiloihin, jätehalliin ja –siiloihin sekä pienjätevarastoon. Valvomorakennus sijaitsee osit-

tain maan pinnalla. (Viitanen 2007, 2.2.) Kuvassa 3 on yleiskuva Olkiluodon VLJ-laitoksesta.



Kuva 3: Olkiluodon VLJ-laitos (Posiva 2010)

Voimalaitosjäte loppusijoitetaan kahteen erilliseen betonisiiloon 60 metrin syvyyteen. Matala- ja keskiaktiivinen jäte sijoitetaan omiin siiloihinsa. Jättesiilot ovat tilavuudeltaan 15 000 kuutiometriä, halkaisijaltaan 24 metriä ja korkeudeltaan 34 metriä. Siilojen sisällä on erilliset, teräsbetonista valmistettu siilot, joihin jätteen pakataan. Teräsbetonisiilon korkeus on 32 metriä, halkaisija 20 metriä ja tilavuus 10 000 kuutiometriä. Molempien siilojen päällä on erillinen teräsbetonista valmistettu väliaikaiskansi. (Viitanen 2007, 2.2–2.3.) Siilojen väliaikaiskannet sijaitsevat siilohallissa, josta jätteet täytetään siiloihin ylhäältä päin. Kuvassa 4 näkyy keski- ja matala-aktiivisen jätteen siilot suljettuina. Kun VLJ luolat suljetaan lopullisesti, siilojen aukot täytetään kivimurskeella ja sementillä ja päällystetään ruiskubetonilla.



Kuva 4: Matala-aktiivisen jätteen siilo suljettuna (vasemmalla) ja keskiaktiivisen jätteen siilo suljettuna (oikealla) (Viitanen 2007)

Keskiaktiivista jätettä sisältäviä 200 litran tynnyreitä mahtuu keskiaktiivisen jätteen siiloon 17 360 kappaletta. Yhteensä keskiaktiivista jätettä voidaan loppusijoittaa siiloon 6400 kuutiometriä. Matala-aktiivisen jätteen siiloon mahtuu 24 800 tynnyriä, yhteistilavuudeltaan jätettä mahtuu 9100 kuutiometriä. (Viitanen 2007, 2.2–2.3.)

Jätepakkaukset kuljetetaan 660 metriä pitkää ajotunnelia pitkin alas siilojen tasolle. Jätepakkaukset kuljetaan siirtolaitteistolla kaksi jätepakkausta kerrallaan alas siilohalliin. Siirtolaitteisto koostuu hydraulisesta nostoalustasta, joka kulkee vetoajoneuvon avulla sekä kuljetussuojasta, jossa on jalat. Jättesiilojen yläpään aukot sijaitsevat hallissa, jonne ajoneuvo ajetaan. Kuljetussuojassa olevat jätteet lasketaan pakkauksen jaloille siilohallin lattialle ja ajoneuvo ajetaan pois. Siilohallissa on automatisoitu siltanosturi jätepakkausten siiloihin siirtoa varten. Siirtely tapahtuu maan pinnalla sijaitsevasta valvomosta

käsin, kauko-ohjatusti. (Viitanen 2007, 2.2–2.3.) Näin minimoidaan työntekijöiden saama säteilyannos ja noudatetaan STUK:n antamia ohjeita. YVL-ohje 8.3 määrää, että keskiaktiivisia jätteitä sisältäviä pakkauksia saa siirrellä vain kauko-ohjatusti. Kaikki VLJ-luolassa tehtävät toimenpiteet on suunniteltu niin, että säteilyannokset alittavat YVL-ohjeessa 8.3 annetut raja-arvot (Viitanen 2007, 5.2.1).

Loppusijoitusluola on suunniteltu eristetyksi ja kemiallisesti stabiiliksi tilaksi. Sen suunnittelussa on noudatettu moninkertaisen vapautumisesteen periaatetta. (Viitanen 2007, 5.2.2.) VLJ-luolan kalliotilat on suunniteltu täyttämään turvallisuusehdot ja stabiiliusvaatimukset sekä ydinjätelainsäädännön että turvallisen työympäristön vaatimusten kannalta (Viitanen 2007, 5.3). Sijaintipaikan kallioperä on tutkittu huolella 10 vuoden aikana ennen VLJ-luolan rakentamisen aloittamista ja tutkimuksia jatketaan edelleen (Viitanen 2007, 6.12).

Betonisiilot ovat suunniteltu kestämaan sekä ulkoiset että sisäiset rasitukset. Kallioperän mahdollisen liikkumisen tai lohkeilun vaikutus minimoidaan jätehallin täytöllä ja sulkemisella. Siilot ovat mitoitettu kestämaan myös jätepakkausten, kuljetusten sekä täytön aiheuttamat rasitukset (Viitanen 2007, 5.3). Bitumoidun jätteen paisuminen vedessä on otettu huomioon jättämällä siiloihin tarpeeksi tilaa jokaiselle pakkaukselle. Tynnyreiden korroosion, radiolyysin ja mikrobiologian seurauksena loppusijoitustiloissa syntyy kaasua. Siiloon on jätetty aukko syntyvälle kaasulle, eikä ylipainetta pääse muodostumaan. (Viitanen 2007, 5.5.1.)

Tulipalovaara on myös otettu huomioon VLJ-luolaa suunnitellessa. Jätepakkaukset itessään ovat huonosti syttyviä, vaikka sisältäisivät palavaa jätettä. Jätepakkauksen syttyminen tarvitsisi suuren ulkoisen tulipalon ja betonisiilot antavat jätepakkauksille tarpeellisen suojan tulipaloa vastaan. Palavaa materiaalia sisältävät tilat on varustettu paloilmoitusjärjestelmällä. (Viitanen 2007, 5.5.2.)

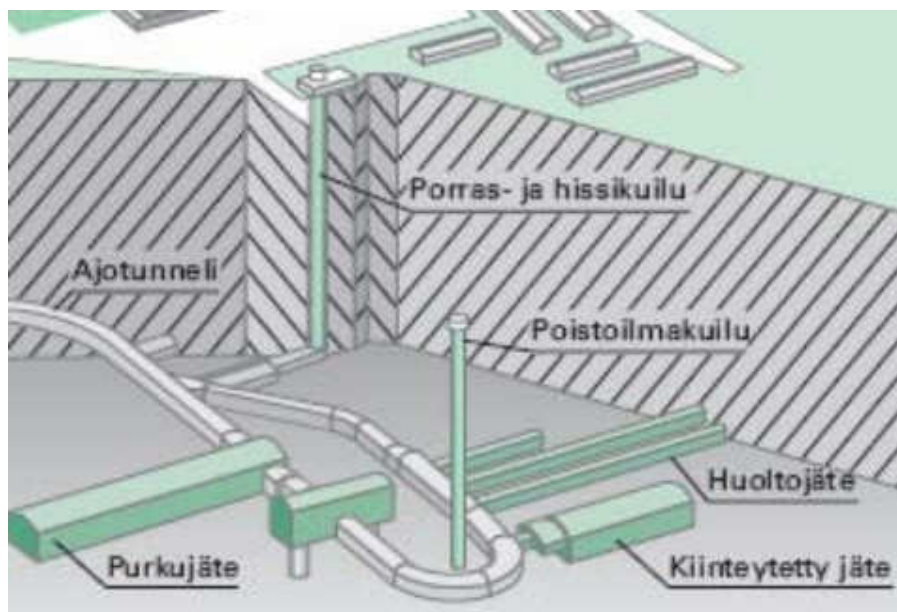
VLJ-luolassa on varustettu kalliovesien pumppausjärjestelmä. Tämä järjestelmä estää luolaston tulvimisen täyttöaikana. Louhitun tunnelin pohjalle, syvään kallioperään, on jätetty avoin tila, joka toimii suurena vara-altaana, ettei tulvimistilanteessakaan (pump-

pauskatkon aikana) vesi pääsee nousemaan jätesiiilojen tasolle. (Viitanen 2007, 5.4.4.) Sulkemisen jälkeen luolasto annetaan täyttyä vedellä kun poispumppaus lopetetaan (Viitanen 2007, 6.3.3).

VLJ-luolan aktiivisuutta täytyy tarkastella jatkuvasti. Matala-aktiivisessa siilossa avoimet ja umpinaiset betonilaatikat aiheuttavat yhtä suuren aktiivisuuden. Keskiaktiivisen jätteen siilossa 45 % aktiivisuudesta on bitumoidussa jätteessä, 45 % umpinaisissa pakkauksissa ja 10 % avoimissa betonilaatikoissa. Ympäristölle on laskettu aiheutuvan 0,037 mSv odotettu säteilyannos. Lain määräämä annosraja on 0,1 mSv eli raja alittuu selvästi. (Viitanen 2007, 7.4.1.)

7.2 Loviisan loppusijoituslaitos

Loviisan loppusijoituslaitos sijaitsee Hästholmenin saarella. Voimalaitosjätettä on sijoitettu luolaan vuodesta 1998 asti. Valvonta- ja huoltoilat sijaitsevat samalla tasolla kuin huoltojätetunnelit, 110 metrin syvyydessä. (Kyrki-Rajamäki 2010a, 33–34.) Kuvassa 5 on esitettyä Loviisan loppusijoituslaitos.



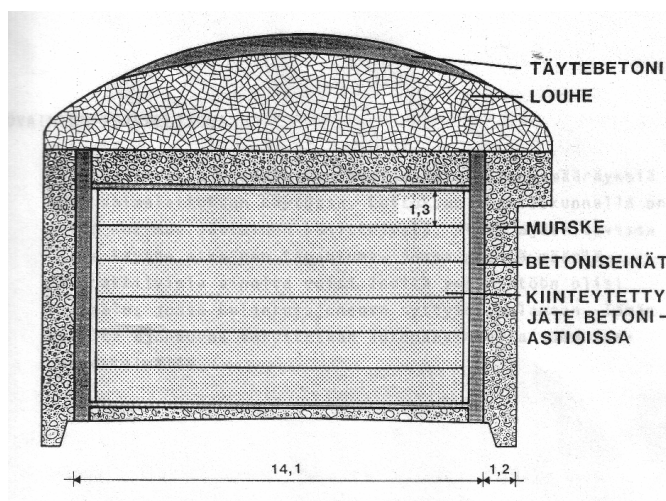
Kuva 5: Loviisan loppusijoituslaitos (Kyrki-Rajamäki 2010a, 33)

Loviisassa on louhittu loppusijoitustilat käytön aikana syntyvälle jätteelle, mutta ei voimalaitoksen purkujätteelle. Kuvasta 5 näkyvistä osista ovat rakennettuna ja louhittuna muut, paitsi purkujätteen halli, joka louhitaan lähempänä laitoksen käyttöiän loppua ja laitoksen purkua. (Kyrki-Rajamäki 2010a, 33.) Kolmannen huoltojätteen hallin louhimiseen on varauduttu ja sille on varattu tila toisten huoltojätehallien vierestä (Fortum 2007, 11.9.2.2.5.).

Tällä hetkellä kallioon on louhittu kaksi vierekkäistä loppusijoitushallia huoltojätteelle. Ensimmäinen huoltojätehalli otettiin käyttöön 1998, toinen 2004. Jätettä sijoitetaan halleihin sitä mukaan kuin niitä syntyy. (Fortum 2007, 11.9.9.4.) Huoltojätehallit sijaitsevat 120 metrin syvyydellä maanpinnasta. Yhden huoltojätehallin tilavuus on 3 180 kuutiometriä, leveys on 5,5 metriä, korkeus 5,7 metriä ja pituus 106 metriä. (Fortum 2007, 11.9.2.2.5.) Loviisan voimalaitoksella käytettäviä, 200 litran loppusijoitustynnyreitä mahtuu yhteen loppusijoitushalliin 6000 kappaletta. Tynnyrit kasataan 5 kerrokseen ja kerrosten väliin sijoitetaan erikoisvalmisteinen vesivanerilevy eristämään kerrokset toisistaan. (Fortum 2007, 11.9.2.2.5.)

Tynnyrit siirretään loppusijoitushalleihin sähkökäyttöisen vastapainotrukin avulla, kauko-ohjatusti. Huoltojätetilän täyttö aloitetaan jätehallin perältä. Tynnyrit sijoitetaan huomioiden jokaisen tynnyrin annosnopeus, niin että yleinen säteilytaso pysyy alle 1mSv/tunti. Jätepakkausten sisällön laatu ja sijainti dokumentoidaan erityisellä LaM-DA-järjestelmällä. (Fortum 2007, 11.9.7.2.)

Kiinteytetty jäte loppusijoitetaan Loviisassa toisessa käyttövaiheessa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jätetynnyrit odottivat varastossa loppusijoitusta vuoteen 2004 asti, jolloin kiinteytetyn jätteen loppusijoitus aloitettiin. Huoltohallien läheisyydessä, maanpinnasta 121 metrin syvyydessä sijaitsee kiinteytetyn jätteen loppusijoitushalli. Kuvassa 6 on esitetty kiinteytetyn jätteen halli. Halli on 17,7 metriä leveä, 16,7 metriä korkea ja 84 metriä pitkä. Koko hallin tilavuus on 25 500 kuutiometriä. Halliin on tehty teräsbetoninen kaukalo, jonne kiinteytetyn jätteen tynnyrit sijoitetaan. (Fortum 2007, 11.9.2.2.8.)



Kuva 6: Kiinteytetyn jätteen tila Loviisan voimalaitosjätteen loppusijoitusluolassa (IVO 1986, 10)

Kaukalon korkeus on 11,1 metriä, leveys 14,1 metriä ja pituus 70,8 metriä. Kaukaloon mahtuu yhteensä 5 040 jätetynnyriä, jotka asetetaan 8 kerrokseen. Betonitynnyreiden väliin jäävä tila valetaan umpeen ohuella betonikerroksella. Kaukalon lisäksi hallissa on jätteen vastaanotto-tila, siltanosturi, siltanosturin suojattu ohjaustila, sähkötila sekä viemäröinti. Kiinteytetyn jätteen tynnyrit nostellaan yksitellen, kauko-ohjatusti siltanosturilla kaukaloon. Kun kiinteytetyn jätteen tila suljetaan, valetaan kaukalon päälle 6 metriä paksu betonikansi. (Fortum 2007, 11.9.2.2.8.)

Huoltojäte ja kiinteytetty jäte kuljetetaan loppusijoitustiloihin ajotunnelia pitkin. Ajo-luiska lähtee pihatasolta ja päättyy loppusijoitustunnelin suuaukole. Jätteen kuljetusautona käytetään dieselkäyttöistä kuorma-autoa tai traktoria. (Fortum 2007, 11.9.7.2.) Jätteet ovat kuljetettaessa erityisellä kuljetusalustalla. Kuljetusalustat ovat erilliset huolto- ja kiinteytetyn jätteen astioille, sillä astiat vaativat erilaiset kiinnitysmekanismit ja niiden massat eroavat toisistaan. Huoltojätettä kuljetetaan 20 pakkauksen erissä, kun taas kiinteytetty jäte kuljetetaan suojattuna pakkaus kerrallaan loppusijoitustilaan. (Fortum 2007, 11.9.8.2.)

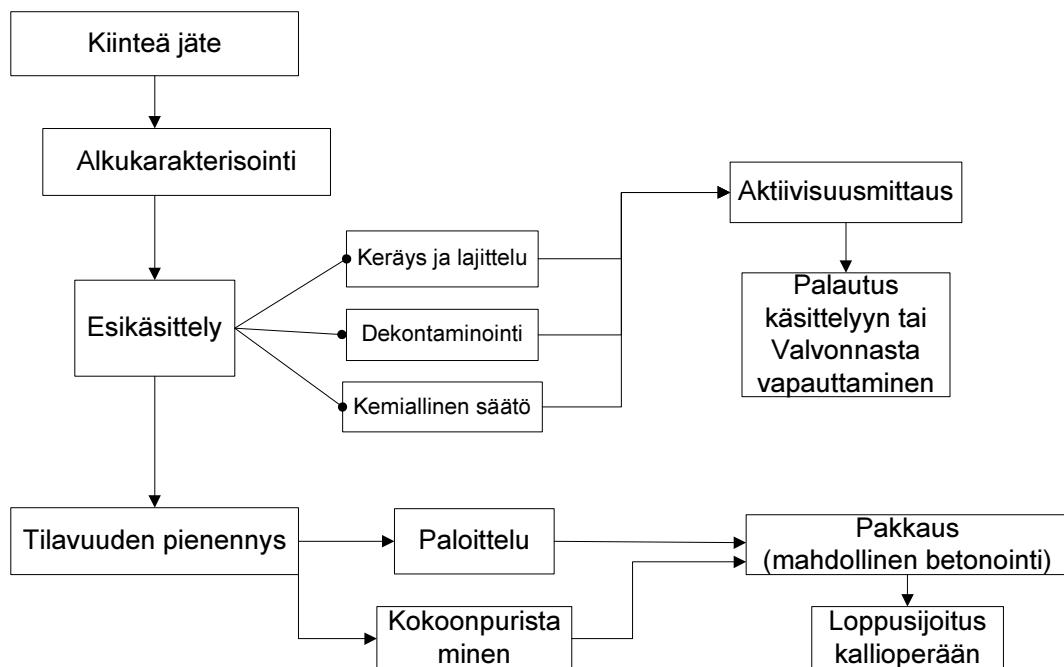
Kuten Olkiluodossa, myös Loviisassa loppusijoitustilat on suunniteltu tarkasti. Loppusijoitustilat on suunniteltu stabiileiksi, kestäviksi ja aktiivisuustasoltaan hyväksyttäviksi. Loppusijoitustilojen sulkeminen ja sen jälkeinen aika on myös suunniteltu ja arvioitu tarkkaan. Yleiset määräykset loppusijoitusiloista ja niiden turvallisuudesta on määrätty lailla ja kirjattu YVL ohjeeseen 8.1.

Loviisan loppusijoitustila on suunniteltu niin, ettei sitä tarvitse valvoa tai turvata aktiivisesti sulkemisen jälkeen. Säteilytaso tulee pysymään alle raja-arvon, 0,1 mSv/a, myös tulevaisuudessa. Käyttöaikanaan säteilytasot eivät nouse, eikä työntekijöiden säteilyannos ylitä lain mukaista raja-arvoa. Myös muu radioaktiivisten aineiden leviäminen on estetty loppusijoitustilamateriaalien avulla. Loppusijoitustilan suunnittelussa on käytetty todennäköisyyspohjaista riskiarviointia. (Fortum 2007, 11.9.5.1.)

8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Ydinvoimalaitoksissa syntyvää keski- ja matala-aktiivista jätettä huolletaan Suomessa tarkasti. Molempien Suomessa toimivien ydinvoimayhtiöiden keski- ja matala-aktiivisen jätteen huolto noudattaa mallia erottelu, alkukarakterisointi, esikäsitteily, tilavuuden pienennys, loppusijoituskäsittely ja loppusijoitus.

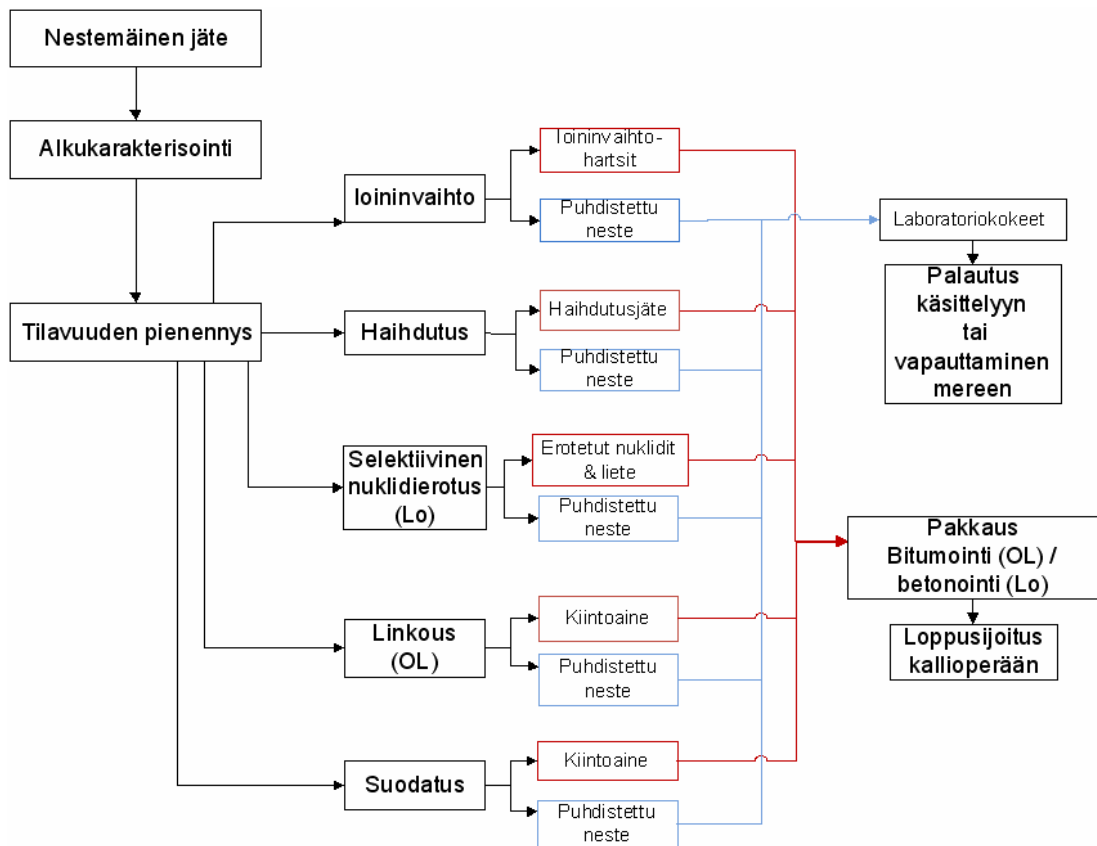
Kuvassa 7 on yhteenveto Suomen ydinvoimaloiden kiinteän voimalaitosjätteen elinkaaresta eli jätehuollosta jätteen alkukarakterisoinnista loppusijoitukseen. Kuvassa on esitetty molempien ydinvoimayhtiöiden kiinteän jätteen huolto, koska pääperiaatteet ovat molemmilla voimalaitosyhtiöllä yhtenevät. Kuvan prosessi ei ole yksiselitteinen, esikäsitteily ja tilavuuden pienennysprosessit voivat olla päällekkäisiä, esimerkiksi dekontaminointi ja paloittelu voivat tapahtua yhtäaikaaisesti. Kuvassa ei ole esitetty jätteenkäsittelyprosessin välivarastointivaiheita.



Kuva 7: Kiinteän voimalaitosjätteen käsittelyprosessi Suomen ydinvoimalaitoksissa

Dekontaminoinnin voisi luokitella myös tilavuuden pienennysmenetelmäksi, sillä dekontaminoidusta jätteestä pakkaukseen ja loppusijoitettavaksi menee vain osa dekontaminoitavaksi tulleesta jätemassasta. Loppusijoitukseen menee poistettu kontaminaatio, samalla kun puhdistunut jätekomponentti voidaan vapauttaa valvonnasta.

Kuvassa 8 on esitettyä Suomen voimalaitoksilla käytössä oleva nestemäisen voimalaitosjätteen käsittelyprosessi. Kuvan kaaviossa on esitetty nestemäisen jätteen käsittelyn elinkaari, aina alkukarakterisoinnista loppusijoitukseen. Kuvassa ei ole esitetty jätehuolto-prosessin varastointivaiheita. Kuvan tilavuuden pienennysprosessien tuotteet ovat värjätty periaatteellisen aktiivisuussisällön mukaisesti. Prosesseissa jätenesteestä erotettava aktiivinen osa on merkitty kuvassa punaisella. Sinisellä merkityt nesteet ovat puhdistettua vettä, josta on poistettu aktiiviset nuklidit ja neste voidaan päästää mereen.



Kuva 8: Nestemäisen voimalaitosjätteen käsittelyprosessi Suomen ydinvoimalaitoksilla

Jätehuolto prosessit voivat nestemäisen jätteen käsittelyprosessissa olla päällekkäisiä ja usein jätenestettä puhdistetaan usealla tilavuudenpienennysmenetelmällä. Laboratorio-tutkimusten jälkeen jäteneste päästetään mereen tai palautetaan tarvittavaan tilavuudenpienennysprosessiin. Yksi vaihtoehto käytettävän hanaveden määrän minimoimiseksi on käyttää puhdistettua vettä hanaveden sijaan. Tätä kierrätysprosessia käytetään joissain tapauksissa Suomen voimalaitoksilla.

Suomessa lainsäädäntö antaa tiukat ohjeet voimalaitosjätteiden käsittelylle. Säteilyturvakeskus valvoo ja säätää lait, joiden mukaan Suomen ydinvoimalaitoksissa toimitaan. Jätteen käsittelyprosessit noudattavat tarkasti STUK:n ohjeita molemmissa ydinvoimalaitoksissa. Tämä siksi, että YVL-ohjeiden mukaan tulee toimia, jotta energiantuotanto ja laitoksen käyttäjä sallitaan viranomaistahon puolesta.

Voimalaitosjätteen huoltoratkaisut ovat syntyneet lakien ja käytössä olevan tekniikan mukaan. Suomessa huolehditaan tarkasti jätteen aiheuttaman säteilyn haittavaikutuksista. Jätettä dekontaminoidaan kaikilla käytettävissä olevilla keinoilla säteilyannoksen minimoimiseksi. Toinen tärkeä osa jätehuoltoa on jätteen tilavuudenpienennys, jolla säästetään käsittely- ja loppusijoituskustannuksia.

Suomessa on päädytty voimalaitosjätteen loppusijoitukseen kallioon pitkäaikaisratkaisuna. Taloudellisesti tämä ei ole välttämättä kaikkein kannattavin menetelmä, varsinkin lyhyillä varastoimisajoilla rajoitettuna. Jäte on kuitenkin näin turvallisesti eristettyä ja huollettuna niin, ettei sitä tarvitse valvoa tai käsitellä enää tulevaisuudessa. Suomessa lainsäädäntö tähtää juuri tähän konservatiivisuuteen, välittämättä niinkään siitä mikä on taloudellisesti kannattavin ratkaisu. Toki osa jätteen loppusijoituskuluista voitaisiin välttää, mikäli Suomessa olisi enemmän käytössä Viivästä ja vähennä – periaate Tiivistä ja Tallenna – periaatteen sijaan. Tällöin voimalaitosalueella voisi säilyttää enemmän ja pidempiä aikoja matala-aktiivista jätettä, jolloin sen aktiivisuus ehtisi laskea tarpeeksi alhaiseksi valvonnasta vapauttamista varten.

Suomessa voimalaitosjätteen käsittely on pitkälle kehitettyä ja päätettyä jopa maailmanlaajuisesti katsottuna. Loppusijoitusluolastot ovat käytössä ja voimalaitosjätteen käsitte-

lysuunnitelmat ovat valmiina kaikkien laitosten käytön ajaksi. Voimalaitosjätteen kohdalla tämä on hyvä merkki, huolletaan matala- ja keskiaktiivista jätettä sitä mukaan kuin sitä syntyy. Loppusijoitus on hyvä ratkaisu tämän tyyppiselle jätteelle, josta ei edes ydintekniikan kehittyessä voida saada minkäänlaista hyötyä.

LÄHTEET

Finergy, Energia-alan keskusliitto ry. 2003. Hyvä tietää säteilystä. Helsinki. ISBN 952-440-018-9.

Fortum. 2007. LO1&LO2 FSAR. (Loviisa 1 ja Loviisa 2. Final Safety Analysis Raport). Asiakirjakokonaisuus.

Fortum. 2010. Fortum ja Ydinvoima: tuotteet. [Viitattu 19.11.2010.]

Saatavilla: <http://www.fortumnuclear.fi/fi/asiantuntijapalvelut/tuotteet/?id=209>

International Atomic Energy Agency. 1994 a. Advances in Technologies for the Treatment of Low and Intermediate Level Radioactive Liquid Wastes. Technical reports series no. 370. Vienna. ISBN 92-0-104194-2 / ISSN 0074-1914.

International Atomic Energy Agency. 2007. Consideration for Waste minimization at the design Stage of Nuclear Facilities. Technical reports series no. 460. Vienna. ISBN 978-92-0-105407-4.

International Atomic Energy Agency. 1994 b. Status of Technology for Volume Reduction and treatment of Low and Intermediate Level Solid Radioactive Waste. Technical reports series no. 360. Vienna. ISBN 92-0-100494-X / ISSN 0074-1914.

International Atomic Energy Agency. 1987. Techniques and Practices for pretreatment of Low and Intermediate Level Solid and Liquid Radioactive Waste. Technical reports series no. 272. Vienna. ISBN 92-0-125087-8.

International Atomic Energy Agency. 1983. Treatment of Low and Intermediate-Level Radioactive Wastes. Technical reports series no. 223. Vienna. ISBN 92-0-125183-1.

Kyrki-Rajamäki Riitta. 2010. Luentomateriaalit: Ydinjätehuolto BH30A1100. 185s.

- a. Luentokalvot
- b. Nestemäisten jätteiden käsittely ja varastointi

Posiva Oy. 2009. Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten jätehuolto: Selvitys suunnitelluista toimenpiteistä ja niiden valmisteluista 2010-2012. TKS-2009.

Posiva Oy. Voimalaitosjäte. [Viitattu 20.10.2010].

Saatavilla: http://www.posiva.fi/ydinjatehuolto/mita_on_ydinjate/voimalaitosjate

Ropponen I. 10.3.2010. Fortum. Loviisan voimalaitoksen prosessikemia ja käytöstä syntyvät nestemäiset jätteet. Ydinjätehuolto BH30A1100-luentokalvot.

TVO. 2007. Ydinvoimalaitosyksiköt Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2. EuraPrint. 48. Esite. [Viitattu 26.9.2010] Saatavilla: [http://www.tvo.fi/uploads/File/yksikot-OL1-OL2\(1\).pdf](http://www.tvo.fi/uploads/File/yksikot-OL1-OL2(1).pdf)

TVO. 2011. Voimalaitosjäteluola. [Viitattu 18.1.2011] Saatavilla: <http://www.tvo.fi/www/page/3499/>

TVO. 2010. Vuosihuolto 2010. 22. Esite. [Viitattu 26.9.2010]
Saatavilla: http://www.tvo.fi/uploads/File/TVO_VH10final.pdf

Viitanen Pekka (FSAR), 2007, Lopullinen turvallisuusseloste. TVO. Asiakirjakokonaisuus.

YVL 8.1. / 10.9.2003. Voimalaitosjätteiden loppusijoitus.

YVL 8.2. / 18.2.2008. Ydinjätteiden ja käytöstä poistettujen ydinlaitosten vapauttaminen valvonnasta.

YVL 8.3. / 1.1.2006. Keski- ja matala-aktiivisten jätteiden käsittely ja varastointi Ydinvoimalaitoksessa.