LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

Annamaria Mustonen

Operatiivinen säteilysuojelu Posivan kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella

Työn tarkastajat: Professori Juhani Hyvärinen

DI Mikko Kärkkäinen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

Annamaria Mustonen

Operatiivinen säteilysuojelu Posivan kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella

Diplomityö

2016

116 sivua, 29 kuvaa, 5 taulukkoa, 2 liitettä

Työn tarkastajat: Professori Juhani Hyvärinen

DI Mikko Kärkkäinen

Hakusanat: operatiivinen säteilysuojelu, kapselointilaitos, loppusijoituslaitos, käytetty ydinpolttoaine

Keywords: operative radiation protection, encapsulation plant, final disposal facility, spent nuclear fuel

Olkiluodon ja Loviisan ydinvoimalaitoksilla syntyvä käytetty ydinpolttoaine tullaan kapseloimaan ja loppusijoittamaan Posiva Oy:n kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella, joka rakennetaan Olkiluotoon. Käytetyn polttoaineen käsittelyssä on huomioitava säteilytyöhön liittyviä säteilysuojelunäkökohtia. Kapseloinnissa ja loppusijoituksessa käsitellään vaarallisia säteilylähteitä, joista merkittävimmät ovat käytetty ydinpolttoaine ja täyden loppusijoituskapselin röntgentarkastuslaitteisto. Posivan laitosten käyttötoiminnalle muodostetaan tässä diplomityössä säteilysuojelun vaatimusmäärittely.

Kapseloinnin ja loppusijoituksen säteilytyövaiheet käsitellään yksitellen säteilysuojelun näkökulmasta. Työvaiheille määritetään tarpeelliset säteilysuojelutoimenpiteet ja työvaiheiden suorittamisen säteilysuojeluvaatimukset. Molempien laitosten valvonta-aluejärjestelyjä ja säteilyolosuhteiden vyöhykejakoa tarkennetaan. Työssä määritetään vyöhyke- ja aluerajoilla vaadittavat säteilysuojelutoiminnot sekä kontaminaationhallinnan laatuvaatimukset. Työssä käsitellään myös operatiivisen säteilysuojelun toimenpiteiden laatuvaatimuksia ja tarvittavaa säteilysuojelun sisäistä ohjeistoa.

Työn tuloksena on kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttötoiminnan operatiivisten säteilysuojelutoimenpiteiden kuvaus. Kapselointi- ja loppusijoituslaitosten säteilysuojelua toteutetaan käyttövaiheen työnsuunnittelulla, operatiivisilla säteilysuojelutoimilla ja rakenteellisin keinoin. Työntekijöiden säteilyannokset minimoidaan välttämällä oleskelua kohonneen säteilytason alueilla. Kapselin röntgentarkastuslaitteiston käytön säteilyturvallisuus on varmistettava ja laitosten käyttötoiminta ei saa aiheuttaa työntekijöille sisäistä säteilyannosta. Useista työvaiheista ja käyttötoiminnan poikkeustilanteista on tehtävä jatkoanalyyseja työntekijöiden säteilysuojelun näkökulmasta.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology

School of Energy Systems

Degree Program of Energy Technology

Annamaria Mustonen

Operative radiation protection at Posiva encapsulation plant and final disposal facility

Master's Thesis

2016

116 pages, 29 figures, 5 tables, 2 appendices

Examiners: Professor Juhani Hyvärinen

MSc. (Tech.) Mikko Kärkkäinen

Keywords: operative radiation protection, encapsulation plant, final disposal facility, spent nuclear fuel

Encapsulation and final disposal of spent nuclear fuel from nuclear power plants in Loviisa and Olkiluoto will be carried out at an encapsulation plant and a final disposal facility. The plant and the facility will be built in Olkiluoto by Posiva Oy. Several radiation protection aspects need to be taken into account during the encapsulation and final disposal of spent nuclear fuel. High levels of ionizing radiation are emitted by spent nuclear fuel. A high-intensity x-ray inspection device is operated during the encapsulation process. The aim of this Master's Thesis is to determine the operative radiation protection measures that are required during the operational cycle of Posiva's facilities.

A radiation protection evaluation is carried out for each sub-process of the encapsulation and final disposal process, and relevant auxiliary processes. The radiation protection requirements and necessary radiation protection measures of each sub-process are determined. Radiation controlled area borders, radiation level zones and contamination zones are re-iterated. Radiation protection related exit protocols of the radiation controlled area and the contamination zones are determined. Quality standards are outlined for several radiation protection measures and radiation protection related documentation.

As a result of this study, the outline of operative radiation protection at Posiva's facilities is established. During plant operation design, structural radiation protection and optimization of task planning are also required. The radiation doses of the personnel are minimized by eliminating unnecessary stay in the high level radiation zones. Radiation safety during the x-ray inspections of the canister is crucial for personnel safety. Operating the facilities must not cause internal contamination to the employees. Further analysis of several sub-processes and abnormal operation conditions needs to be carried out. The analyses need further attention on personnel radiation protection.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö kirjoitettiin Vuojoen kartanolla loppuvuoden 2015 ja kevään 2016 aikana. Haluan kiittää Posivan ydinturvallisuusyksikköä ja turvallisuuspäällikkö Kari Kaukosta työni mahdollistamisesta. Kiitän myös professori Juhani Hyväristä työni ohjaamisesta ja tarkastamisesta. Suuri kiitos kuuluu myös DI Mikko Kärkkäiselle työni ohjaamisesta ja kommentoinneista.

Diplomityöni valmistuminen päättää myös opiskeluni Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa. Valmistumisen vihdoin koittaessa tahdon kiittää kaikkia opiskelunaikaisia ystäviäni ja tuttaviani, yliopistolta ja työelämästä. Kiitos ystävät, teekkariajoissa riittää muisteltavaa.

Suurin kiitos kuuluu kuitenkin perheelleni ja läheisilleni. Kiitos jatkuvasta tuestanne ja huutonaurusta.

Eurajoella 21.3.2016

Annamaria Mustonen

SISÄLLYSLUETTELO

Symboliluettelo 7
1 Johdanto 8
1.1 Käyttötoiminnan säteilysuojeluvaatimukset 10
2 Kapselointi- ja loppusijoituslaitosten säteilylähteet 12
2.1 Käytetyn ydinpolttoaineen suorasäteily 12
2.2 Polttoaineperäinen kontaminaatio 16
2.3 Loppusijoituskapselin röntgentarkastuslaitteiston säteilyvaara 17
2.4 Aktivoitumisen aiheuttama säteilyvaara 18
3 Valvonta- ja tarkkailualueiden vyöhykejako 19
3.1 Valvonta- ja tarkkailualueiden vyöhykkeet Posivan laitoksilla 20
3.2 Kulunvalvonta ja pintakontaminaatiomittaukset valvonta-alueen rajalla 23
3.3 Säteilevien tilojen ja säteilylähteiden merkintävaatimukset 24
4 Kapselointilaitoksen valvonta-alue ja vyöhykejako 25
4.1 Kapselointilaitoksen pääkenkäraja ja tarkkailualue 26
4.2 Kapselointilaitoksen kiinteät lisäkenkärajat 27
4.3 Nostinlaiterakennuksen tarkkailualue 34
5 Loppusijoituslaitoksen valvonta-alue ja vyöhykejako 36
5.1 Loppusijoituslaitoksen valvonta-alue 37
5.2 Loppusijoituslaitoksen teknisten tilojen valvonta-alue 39
5.3 Loppusijoituslaitoksen pääkenkäraja ja tarkkailualue 41
5.4 Kontaminaatio loppusijoituslaitoksella 43
5.5 Maanalainen laitosjätetila 43
6 Kapselointiprosessin säteilytyövaiheet 45
6.1 Polttoaineen kuljetussäiliön vastaanotto ja telakointi käsittelykammioon 48
6.2 Polttoaineen käsittelykammio 56
6.3 Polttoaineen kuivaus ja kapselointi 58
6.4 Täyden kapselin kontaminaatiomittaus ja siirto hitsauskammioon 60
6.5 Kapselin hitsin tarkastukset ja röntgentarkastuslaitteisto 63
6.6 Kapselin siirto kapselivarastoon ja käytävän kontaminaatiomittaus 64
6.7 Kapselin siirto loppusijoituslaitoksen kapselivarastoon 67
7 Loppusijoitusprosessin säteilytyövaiheet 68
7.1 Kapselin lastaus ja siirto loppusijoitustunneliin 69
7.2 Kapselin asennus ja loppusijoitusreiän täyttö 73

8 Polttoaineen kapseloinnin apujärjestelmät ja tukitoiminnot 75
8.1 Polttoaineen kuivausjärjestelmä 75
8.2 Valvonta-alueen viemärivesien keruu- ja käsittelyjärjestelmä 77
8.3 Valvonta-alueen poistoilmajärjestelmä 79
8.4 Kiinteät säteilymittausjärjestelmät 80
9 Dekontaminointikeskus ja aktiivikorjaamo 82
10 Kapselointilaitoksen jätteenkäsittelytilat 84
10.1 Aktiivisten viemärivesien kuivausjärjestelmä 85
10.2 Muut jätteenkäsittelytoiminnot 87
10.3 Jätteenkäsittelytilojen kontaminaatiovyöhykkeet 90
11 Säteily- ja kontaminaatiomittausten laatuvaatimukset 93
11.1 Suorasäteilymittarit 93
11.2 Pintakontaminaation mittausmenetelmät ja analysointivaatimukset 94
11.3 Ilmakontaminaation mittausmenetelmät ja analysointivaatimukset 95
12 Operatiivinen kontaminaationhallinta 96
12.1 Kontaminaatiomittausten perusmenettely 96
12.2 Kontaminaationhallinnan toimenpiteet valvonta-alueen rajalla 97
12.3 Säteilyvalvonnan ohjeistamat dekontaminoinnit 98
12.4 Kontaminaation seurantakierrokset 99
13 Työkohteiden operatiivisen säteilysuojelun laatuvaatimukset 101
13.1 Operatiiviset säteilymittaukset ja väliaikaiset säteilysuojaukset 101
13.2 Kontaminaatiolta suojautuminen työkohteilla 102
13.3 Valvonta-alueen töiden säteilytyöluvat 104
14 Työntekijöiden säteilyannosten seuranta 105
14.1 Gamma- ja neutroniannoksen mittaamiseen soveltuvat dosimetrit 106
14.2 Säteilyannosten osalta kriittiset työt 107
15 Säteilysuojelusuunnittelun jatkotoimenpiteet 109
15.1 Posivan säteilysuojeluorganisaation sisäiset ohjeet 109
15.2 Säteilysuojelun jatkoselvityksiä vaativat normaalityöt 110
15.3 Poikkeustilanteiden säteilysuojeluanalyysi 111
16 Yhteenveto 112
Lähdeluettelo 114
Liitteet

Liite I: Kapselointilaitoksen lisäkenkärajojen yhteenveto

Liite II: Kontaminaatioseurannan kohteita kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella

SYMBOLILUETTELO

Latinalaiset

A	aktiivisuus	[Bq]
D	absorboitunut annos	[Gy]
E	efektiivinen annos	[Sv]

Lyhenteet

ALARA	As Low As Reasonably Achievable, säteilynkäytön optimointiperiaate
BWR	boiling water reactor, kiehutusvesireaktori
EPR	European Pressurized Water Reactor, eurooppalainen painevesireaktori
IAEA	International Atomic Energy Agency, kansainvälinen atomienergiajärjestö
NDT	rikkomaton aineenkoetus
ST	säteilyturvallisuus
STUK	Säteilyturvakeskus
TTKE	turvallisuustekninen käyttöehto
TVO	Teollisuuden Voima Oyj
VVER	Vodo-vodjanoi energetitšeski reaktor, venäläinen painevesireaktori
YVL	ydinvoimalaitos

1 JOHDANTO

Posiva Oy toteuttaa käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen omistajayhtiöidensä Teollisuuden Voima Oyj:n ja Fortum Power and Heat Oy:n ydinvoimalaitoksilta. Posivan kapselointi- ja loppusijoituslaitos rakennetaan Eurajoelle Olkiluotoon. Käytetty ydinpolttoaine kuljetetaan Olkiluodon ja Loviisan ydinvoimalaitosten käytetyn polttoaineen varastoilta Posivan kapselointilaitokselle kapseloitavaksi. Kapselointilaitoksella polttoaineniput siirretään kuljetussäiliöistä loppusijoituskapseleihin, minkä jälkeen kapselit suljetaan ja siirretään maanalaiselle loppusijoituslaitokselle. Loppusijoituslaitoksella kapselit siirretään kallioon porattuihin loppusijoitusreikiin. Loppusijoitusreiät ja loppusijoitustunnelit täytetään bentoniitilla ja suljetaan.

Tässä työssä kuvataan Posivan kapselointi- ja loppusijoituslaitosten operatiiviset säteilysuojelutoimet käytetyn ydinpolttoaineen kapselointiprosessissa, loppusijoitustoiminnassa sekä määrätyissä kapseloinnin tukitoiminnoissa. Ydinpolttoaineen kapselointiprosessissa on voimakkaan ionisoivan säteilyn vaaratekijöitä sekä polttoaineperäisen kontaminaation leviämisriski. Molemmilla näistä on potentiaalisia terveyshaittoja työntekijöille. Haittavaikutukset ja riskit minimoidaan operatiivisen säteilysuojelun toimilla jokaisessa työvaiheessa, jossa käsitellään käytettyä ydinpolttoainetta tai radioaktiivisia järjestelmiä. Operatiivisten säteilysuojelutoimien määrittely perustuu työvaiheiden kuvauksiin, jotka on muodostettu Posivan laitosten järjestelmäkuvausten sekä muun suunnitteludokumentaation pohjalta. Työvaihekuvaukset ja niissä vaadittavat säteilysuojelutoimet käydään tässä työssä läpi yksitellen.

Säteilytyönä tehtäville työvaiheille on laadittava säteilysuojelun vaatimusmäärittely, joka tulee huomioida laitoksen käyttöönottoon tähtäävissä jatkosuunnitelmissa. Säteilysuojelun vaatimusmäärittely laaditaan työvaihe- ja järjestelmätasolla. Säteilysuojeludokumentaatiota tarkennetaan työohjetasolle laitoksen suunnittelun edetessä. Vaatimusmäärittelyiden pohjana ovat Säteilyturvakeskuksen YVL -ohjeissa (ydinvoimalaitosohje) määritellyt vaatimukset sekä yksilönsuojaan, säteilynkäytön optimointiin ja säteilynkäytön oikeutukseen perustuvat säteilysuojeluperiaatteet. Säteilysuojelun vaatimusmäärittelyä noudattamalla suunnitteluvaiheessa voidaan varmistaa, että käyttöönoton lähestyessä laitostoiminnan voidaan todeta täyttävän YVL -ohjeiden säteilysuojelulliset vaatimukset. Näin varmistetaan myös säteilysuojeluperiaatteiden toteutuminen Posivan laitosten käyttötoiminnassa.

Työvaiheiden operatiivisella säteilysuojelulla tarkoitetaan toimia, jotka suoritetaan säteilysuojeluhenkilöstön toimesta kapseloinnin ja loppusijoituksen työvaiheiden yhteydessä. Säteilysuojeluhenkilöstön suorittamat mittaukset edeltävät useita työvaiheita ja tällöin hyväksyttävä työskentelytapa määritetään säteily- ja kontaminaatiomittaustulosten perusteella. YVL -ohjeen C.2 mukaan säteilysuojeluhenkilöstöllä on oltava riittävät valtuudet keskeyttää työnteko säteilysuojelullisin perustein (STUK 2014, 407.). Säteilysuojeluhenkilöstöllä on lisäksi oltava valtuudet toteuttaa henkilöstön säteilyannosten rajoittamiseen tähtääviä toimenpiteitä.

Osa kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen säteilysuojelusta toteutetaan muilla säteilysuojelufunktioilla kuin operatiivisen säteilysuojelun toimilla. Merkittäviä yksittäisiä tekijöitä ovat laitoksen rakenteiden ja laitoskomponenttien rakenteellinen säteilysuojelusuunnittelu.

Osa kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen operatiivisesta säteilysuojelusta perustuu henkilökulun rajoittamiseen. Kulkurajoituksilla estetään työntekijöiden tarpeeton säteilyaltistus. Sähköinen kulunvalvontajärjestelmä ei ole säteilysuojeluorganisaation hallinnoima. Säteilysuojelullisten kulkurajoitusten toteutuminen tuleekin varmistaa yhteistyössä kulunvalvontaa hallinnoivan turvaorganisaation kanssa. Tässä työssä määritetään ainoastaan säteilysuojelullisia kulkurajoitusvaatimuksia.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitosten suunnittelu on osittain keskeneräistä, eikä kaikkien työvaiheiden tai järjestelmien kattavaa kuvausta ole tätä työtä kirjoittaessa saatavilla. Näissä tapauksissa määritetään, mitkä säteilysuojelulliset vaatimukset työvaiheen tai järjestelmän tulee suunnittelun tuloksena täyttää. Työn loppuun on kerätty työvaihekuvauksista tunnistettuja jatkoselvitystarpeita. Useita suunnitteluanalyyseja on laajennettava ja työvaiheiden suoritustapoja tarkennettava, ennen kuin työohjetason säteilysuojeludokumentaatiota voidaan kirjoittaa.

1.1 Käyttötoiminnan säteilysuojeluvaatimukset

Säteilyn käytössä on noudatettava yksilönsuojaperiaatetta, optimointiperiaatetta ja oikeutusperiaatetta (STUK 2014, 103.). Säteilynkäytön oikeutusperiaate toteaa säteilyn käytön olevan oikeutettua, jos sillä saavutettava hyöty on suurempi kuin sen aiheuttama haitta. Optimointiperiaate sanelee, että säteilynkäytön aiheuttamat säteilyannokset on pidettävä niin pieninä kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista. Yksilönsuojaperiaate velvoittaa huolehtimaan siitä, että yksilöiden säteilyannokset eivät ylitä niille säteilyasetuksessa vahvistettuja raja-arvoja. Nämä säteilysuojeluperiaatteet kääntyvät suoraan kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen säteilysuojeluvaatimuksiksi.

Ydinlaitoksia ja ydinjätelaitosta koskevat viranomaisvaatimukset ovat laaja-alaiset. Posivan laitosten normaalin käyttötoiminnan ja operatiivisen säteilysuojelun laatutasojen on oltava sellaiset, että

- Työntekijöiden annosrajat eivät ylity (STUK 2014, 303.; Säteilyasetus 1991, 3§).
- Säteilyannokset minimoidaan henkilötasolla ja kollektiivisella tasolla (STUK 2014, 103., 308.; Säteilylaki 1991, 2§).
- Säteilyaltistusta seurataan yksilötasolla ja kollektiivisesti (STUK 2014, 308., 701.).
- Laitoksilla on käytössä säteilyolosuhteisiin perustuva alue- ja vyöhykejako (STUK 2014, 501. - 511.).
- Valvonta-alueen rajoilla monitoroidaan henkilöiden ja tavaroiden kontaminaatiotasoja (STUK 2014, 520.- 522.).
- Kontaminoituneet ja säteilevät kohteet varustetaan asianmukaisin merkinnöin (STUK 2014, 512.).
- Ydinlaitoksilla on käytössä on säteilytyöluvat valvonta-alueen töille (STUK 2014, 523.).
- Häiriöttömässä käytössä ympäristöön aiheutuvat radioaktiiviset päästöt ovat merkityksettömän pieniä (Valtioneuvosto 2008, 3§).
- Poikkeustilanteissa polttoainetta pystytään käsittelemään henkilöitä vaarantamatta ja ympäristövaikutuksille asetettuja rajoja ylittämättä (Valtioneuvosto 2008, 3§).

Polttoaineen käsittelyn säteilytyövaiheissa tulee suojautua käytetyn ydinpolttoaineen erittäin voimakkaalta ionisoivalta säteilyltä. Toinen laitoksella esiintyvä voimakas säteilylähde on kapselointiprosessissa käytettävä röntgentarkastuslaitteisto, jonka käytössä ja turvatoimissa on myös noudatettava viranomaisohjeita ja säteilysuojeluperiaatteita. STUK:n ST -ohjeista (säteilyturvallisuusohje) erityisesti 5. -sarjan ohjeet käsittelevät Posivalla käsiteltäviä säteilylähteitä. Laitosten kolmas säteilysuojelunäkökohta on polttoaineperäinen kontaminaatio, joka voi levitä pintakontaminaationa tai ilmassa. Lisäksi polttoaineen säteilylle jatkuvasti altistuvissa tiloissa voi laitoksen käyttöiän aikana esiintyä rakenteiden aktivoitumista.

Käytännössä säteilyannosten minimoimiseksi ja kontaminaation hallitsemiseksi kapseloinnin ja loppusijoituksen työvaiheet on suunniteltava siten, että

- Paljaan polttoaineen käsittely on kaukokäyttöistä ja kapselin käsittely on kaukokäyttöistä tai säteilysuojattua.
- Kapselin röntgentarkastuslaitteiston käyttö on poikkeuksetta kaukokäyttöistä.
- Kontaminaatiotasoja pystytään seuraamaan suorasti tai epäsuorasti kaikissa vaiheissa.
- Kontaminaatio ei leviä kapselointilaitoksella.
- Kontaminaatio ei leviä loppusijoituslaitokselle.

YVL -ohjeen C.2 mukaan ydinlaitoksella on oltava säteilyturvallisuudesta vastaava johtaja sekä käytännön säteilysuojelusta vastaava yksikkö, jota johtaa säteilysuojelupäällikkö (STUK 2014, 401. - 402.). Käytännön säteilysuojeluun ja sen suunnitteluun liittyvät tehtävät ovat ydinlaitoksen säteilysuojelusta vastaavan yksikön vastuulla (STUK 2014, 401. - 410.). Posivalla on näiden vaatimusten nojalla oltava säteilysuojeluorganisaatio, jolla on oma ohjeisto. Posivan säteilysuojelu on toteutettava laadukkaasti ja Posivan säteilysuojelupäällikön on oltava käytettävissä säteilysuojelutoiminnan kehittämiseen. Säteilysuojelupalveluita voidaan tilata toimeksiantona TVO:lta ja toimintoja yhdistää, mutta Posivalla tulee tästä huolimatta olla säteilysuojeluorganisaatio.

2 KAPSELOINTI- JA LOPPUSIJOITUSLAITOSTEN SÄTEILYLÄHTEET

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella esiintyy voimakasta ionisoivaa säteilyä. Tietyissä kapselointilaitoksen tiloissa esiintyy lisäksi polttoaineperäistä kontaminaatiota. Tässä luvussa käsitellään Posivan laitoksilla esiintyvät säteilylähteet, joista käytetty polttoaine on myös kontaminaation lähde.

2.1 Käytetyn ydinpolttoaineen suorasäteily

Käytetty ydinpolttoaine on erittäin voimakas säteilylähde vielä pitkän jäähtymisajan jälkeen. Työntekijän vuosiannosraja 20 mSv tulisi täyteen muutamassa sekunnissa metrin etäisyydellä paljaasta polttoaineesta. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella tehtävässä käytetyn polttoaineen käsittelyssä on eri tason riskejä verrattuna ydinvoimalaitoksiin, joiden tavanomaiset säteilysuojelutoimet liittyvät useimmiten vähemmän voimakkaisiin säteilylähteisiin.

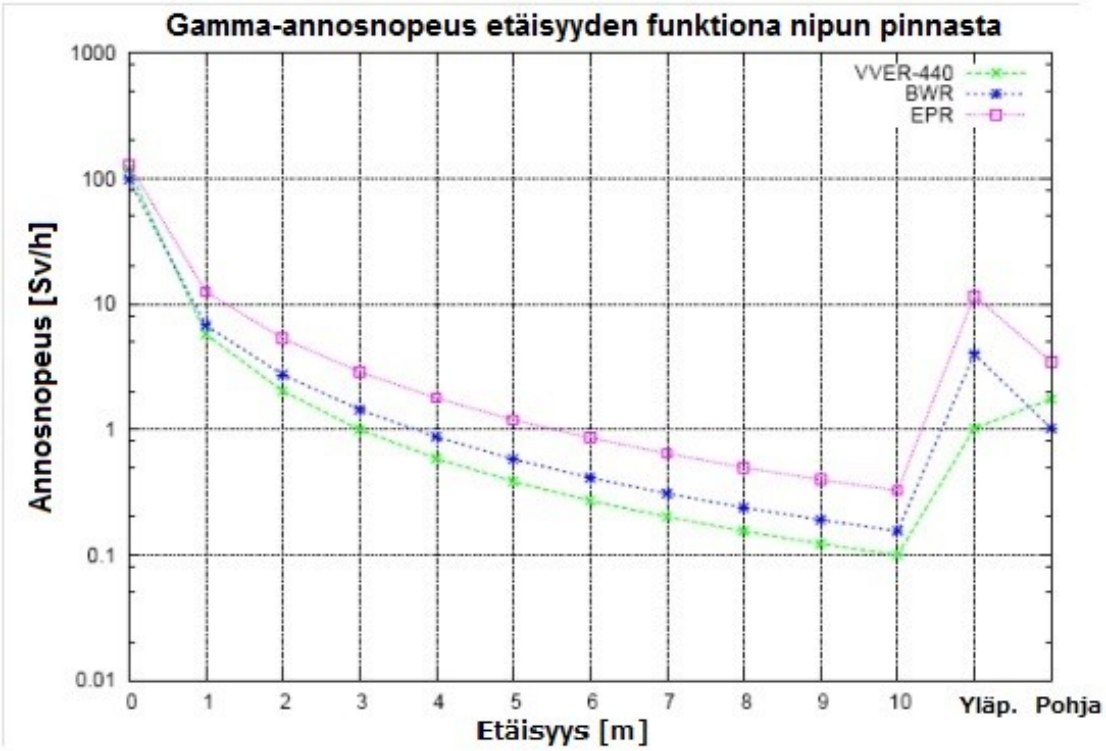
Säteilysuojelun tarve kapselointi- ja loppusijoituslaitoksilla on pääasiassa käytetystä polttoaineesta johtuvaa, kun taas ydinvoimalaitoksilla käytetty polttoaine ei ole normaalisti luokse päästävissä ja sitä siirretään vain suojattuna. Ydinvoimalaitoksilla lähestytään tavanomaisesti korkeintaan primääripiirissä aktivoituneita komponentteja, jotka säteilevät huomattavasti vähemmän kuin käytetty polttoaine. Ydinvoimalaitosten työntekijöillä ei ole siten käytännön vaaraa joutua vahingossa polttoaineen lähelle ja altistua vaarallisen voimakkaalle säteilykentälle. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella on korkeampien säteilyannosten riski.

Käytetty polttoaine emittoi pääasiassa gamma- ja neutronisäteilyä, minkä lisäksi se sisältää alfahajoavia nuklideja (Anttila 2005, 13, Liite 2). Alfasäteilyn kantama on kuitenkin lyhyt ja se ei ole läpitunkevaa (Jevremovic 2009, 238). Gammafotonit ja neutronit ovat molemmat erittäin läpitunkevia (Jevremovic 2009, 84, 202). Suorasäteilyn ja ulkoisen säteilyannoksen kannalta gamma- ja neutronisäteilyltä suojautuminen on merkittävin säteilysuojelunäkökohta.

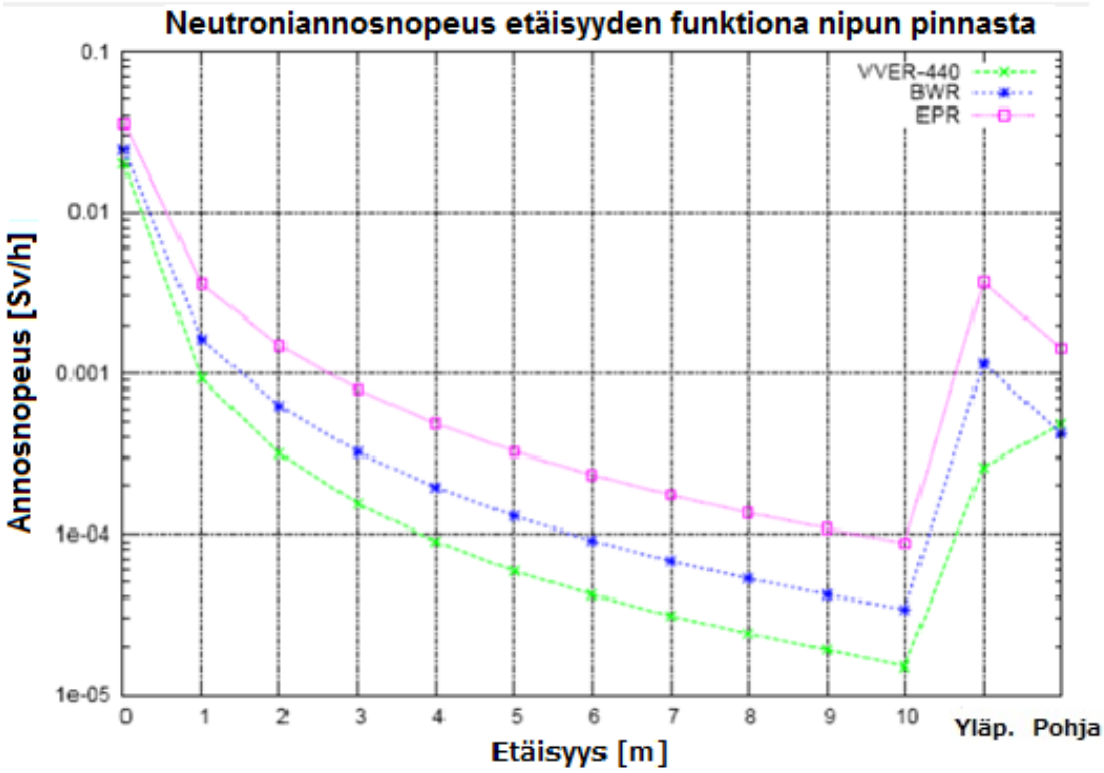
Posivalla käsiteltävät niput ovat VVER-, BWR-, ja EPR -laitosten polttoainenippuja. Polttoainetyypin lisäksi käytetyn polttoaineen gamma- ja neutroniannosnopeudet riippuvat niiden poistopalamasta (GWd/tU) ja jäähtymisajasta reaktorista poistamisen jälkeen. Polttoaineen aktiivisuus kasvaa poistopalaman funktiona ja pienenee jäähtymisajan pidentyessä (Xu et al 2005, 265; Anttila 2005, Liite 2).

Posivalle tehdyissä polttoaineen annosnopeuslaskuissa on käytetty konservatiivisia arvoja polttoaineen poistopalamalle ja jäähtymisajalle. Polttoainenippujen annosnopeuksien laskennassa on käytetty poistopalamaa 60 GWd/tU ja 20 vuoden jäähtymisaikaa. Palaman 60 GWd/tU on arvioitu olevan riittävän konservatiivinen kaikille Posivalla käsiteltäville nipputyypeille. Kapselointilaitokselle ei tuoda alle 20 vuotta jäähtyneitä nippuja ja todellisten jäähtymisaikojen voidaan olettaa olevan pidempiä (Hilden 2014, 11). Näin ollen todelliset annosnopeudet tulevat olemaan pienempiä kuin konservatiivisissa laskutuloksissa.

Kuvissa 1 ja 2 on esitetty käytetyn polttoaineen gamma- ja neutroniannosnopeudet eri etäisyyksillä suojaamattoman nipun pinnasta. Annosnopeudet on laskettu poistopalamalla 60 GWd/tU ja 20 vuoden jäähtymisajalla (Ranta-aho 2008, 11 - 26).



Kuva 1. Käytetyn polttoaineen gamma-annosnopeudet, esitetty etäisyyden funktiona paljaan nipun pinnasta. Annosnopeudet on laskettu poistopalamalla 60 GWd/tU ja 20 vuoden jäähtymisajalla. (Ranta-aho 2008, 34)

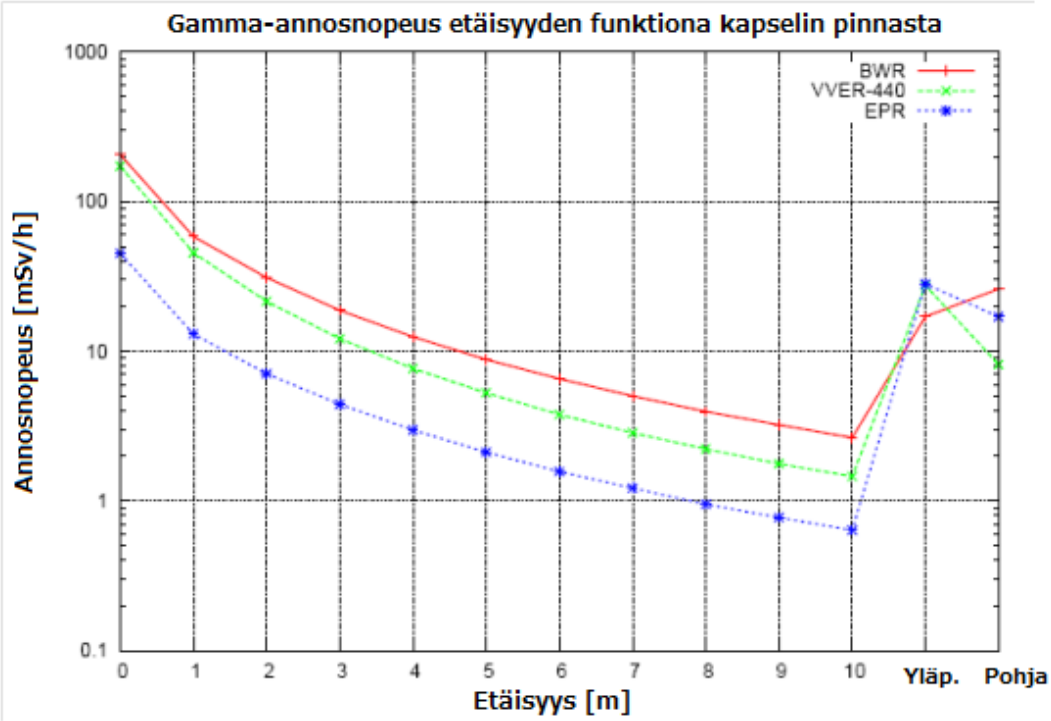


Kuva 2. Käytetyn polttoaineen neutroniannosnopeudet, esitetty etäisyyden funktiona paljaan nipun pinnasta. Annosnopeudet on laskettu palamalla 60 GWd/tU ja 20 vuoden jäähtymisajalla (Ranta-aho 2008, 34).

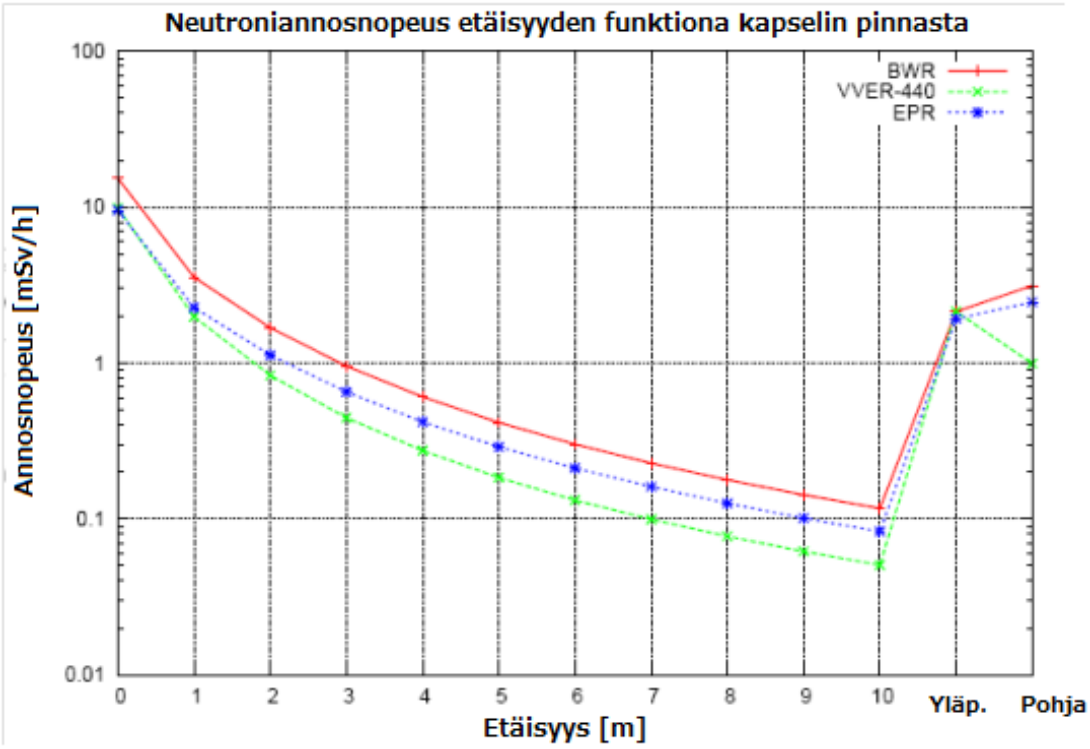
Kuvista nähdään, että annosnopeudet nippujen pinnasta ovat luokkaa 100..130 Sv/h kaikilla nipputyypeillä. Esimerkiksi paljaan EPR -polttoaineen pintaan kiinni joutuvalle työntekijälle aiheutuisi 36 mSv:n gammasäteilyannos sekunnissa. Etäisyyden kasvaessa nipputyyppien säteilytasojen välillä on enemmän eroja. Kauempana pinnasta EPR -niput säteilevät eniten ja VVER -niput vähiten.

Neutronisäteilyn sironnan ympäröivistä rakenteista on arvioitu voivan nostaa neutronisäteilytasot jopa kaksinkertaisiksi verrattuna alustaviin laskelmiin (Eurajoki 2012, 5). Gammasäteilyllä sironnan annosnopeutta nostava vaikutus on muutamia kymmeniä prosentteja (Eurajoki 2012, 5). Kuvista 1 ja 2 kuitenkin nähdään, että gammasäteily aiheuttaa suurimman osan kokonaissäteilystä. Säteilysuojelutoimenpiteet ovat sironnasta riippumatta samat eli aika, suoja sekä etäisyys.

Kuvissa 3 ja 4 on esitetty täytettyjen loppusijoituskapselien gamma- ja neutroniannosnopeudet etäisyyden funktiona kapselin pinnasta. Kuvien annosnopeudet pitävät paikkansa kapselin kansien ollessa paikallaan.



Kuva 3. Gamma-annosnopeudet etäisyyden funktiona suljetun täyden kapselin pinnasta. Annosnopeudet on laskettu palamalla 60 GWd/tU ja 20 vuoden jäähtymisajalla. (Ranta-aho 2008, 42)



Kuva 4. Neutroniannosnopeudet etäisyyden funktiona suljetun täyden kapselin pinnasta. Annosnopeudet on laskettu palamalla 60 GWd/tU ja 20 vuoden jäähtymisajalla. (Ranta-aho 2008, 42)

Kuviin 1 ja 2 vertaamalla voidaan todeta kapseli vaimentavan käytetyn polttoaineen säteilyä merkittävästi, mutta gamma-annosnopeudet kapselin pinnan läpi ovat tästä huolimatta korkeimmillaan noin 200 mSv/h. Tällä annosnopeudella työntekijän vuosiannosraja täyttyisi kuudessa minuutissa. Metallinen kapseli vaimentaa neutronisäteilyä suhteessa huomattavasti vähemmän kuin gammasäteilyä.

2.2 Polttoaineperäinen kontaminaatio

Kapselointilaitoksella esiintyy polttoaineperäistä kontaminaatiota polttoaineen käsittelykammiossa ja muissa tiloissa, joissa käsitellään polttoaineen kontaminoimia osia. Lisäksi osa kapselointilaitoksen järjestelmistä kontaminoituu polttoaineen käsittelyn seurauksena. Paljaan polttoaineen käsittely kapselointilaitoksella suoritetaan tiiviissä kammiossa. Kontaminaation esiintyminen on siten normaalisti toimivassa kapselointiprosessissa rajatumpaa ja hallitumpaa kuin ydinvoimalaitoksilla. Häiriötilanteissa kontaminaatiota voi levitä käsittelykammion ulkopuolelle.

Polttoaineen käsittelykammion kontaminaatiotasojen karkeana vertailukohtana voidaan käyttää sveitsiläisen Zwilagin kapselointilaitoksen kuumakammiota. Zwilagin käyttökokemuksen mukaan polttoaineen siirtoreittien kontaminaatiotasot ovat luokkaa 800 Bq/cm^2 ja siirtoreitin ulkopuolella luokkaa 5 - 30 Bq/cm^2 (Nurminen 2014, 4). Zwilagissa käsitellyn polttoaineen palamahistoriasta ja jäähtymisajoista ei kuitenkaan ole annettu tietoa, joten tuloksia voidaan käyttää ainoastaan suuntaa-antavina arvioina. 800 Bq/cm^2 on huomattavan korkea kontaminaatiotaso, mutta samanlaisia ja huomattavasti korkeampia kontaminaatiotasoja esiintyy myös ydinvoimalaitosten eniten kontaminoituneissa järjestelmissä.

Kontaminaationhallintaan liittyy kuitenkin erilaisia näkökohtia kuin ydinvoimalaitoksilla. Ydinvoimalaitoksella esiintyvä kontaminaatio on useimmiten crudia, joka koostuu polttoaineen pinnasta irronneista aktivoituneista korroosiotuotteista. Kapselointilaitoksella suoritettavassa polttoainenippujen käsittelyssä on crudin aiheuttaman kontaminaation lisäksi myös erittäin aktiivisten polttoainehippujen irtoamisen riski. Polttoainehiput aiheuttavat suorasäteilyvaaran ja voivat aiheuttaa iholle tai kehoon joutuessaan merkittävää paikallista kudostuhoa. Tästä syystä myös kontaminaationhallinnassa on näkökohtia, joita ei tarvitse useimmissa töissä huomioida ydinvoimalaitoksilla.

2.3 Loppusijoituskapselin röntgentarkastuslaitteiston säteilyvaara

Kapselin hitsin tarkastuksissa käytetään röntgentarkastuslaitetta, joka aiheuttaa vaarallisen korkea säteilytason. Tämänhetkisen suunnitelman mukainen röntgentarkastuslaitteisto aiheuttaa tilaan maksimiannosnopeuden 30 Gy/min ja aiheuttaa suoran keilan lisäksi myös vuotosäteilyä laitteen kylkien läpi (Varian 2012, 1).

Käytön suunnittelussa on syytä tiedostaa, että näin voimakas röntgenlähde on esimerkiksi käytettyä polttoainetta lähes 20 kertaa voimakkaampi, hengenvaarallinen säteilylähde. Todennäköisesti kuoleman aiheuttava säteilyannos koko keholle on 7 Gy. Kyseinen annos tulisi täyteen 14 sekunnissa suoraan röntgenlaitteiston keilassa olevalle ihmiselle.

Tarkastustilassa ei siis missään tilanteessa voi olla ihmisiä laitteen ollessa päällä. Laitteen käynnistyminen vahingossa ei missään tilanteessa saa olla mahdollista, sillä hitsin tarkastushuoneeseen on odotettavissa henkilökäyntejä laitoksen käyttövaiheessa.

2.4 Aktivoitumisen aiheuttama säteilyvaara

Käytetyn polttoaineen neutronisäteily voi aiheuttaa rakenteiden aktivoitumista tiloihin, jotka altistuvat jatkuvasti käytetyn polttoaineen säteilylle. Jatkuvasti altistuvia tiloja ovat polttoaineen käsittelykammion lisäksi kapselivarastot kapselointilaitoksella ja loppusijoituslaitoksella. Kapselin hitsin tarkastuslaitteiston röntgenkuvauslaitteen keila voi myös aktivoida rakenteita. Mahdollinen aktivoituminen aiheuttaa tarpeen seurata säteilytasoja kyseisissä tiloissa, sillä voimakkaasti aktivoituneet rakenteet voivat aiheuttaa säteilytasojen nousua tiloissa.

Aktivoitumisen seurauksena tiloihin saattaa myös syntyä irtoavaa kontaminaatiota, jos aktivoituneiden rakenteiden pintakerros alkaa ikääntymisen myötä rapistua ja irrota. Sadan vuoden käyttöiän aikana ei voida sulkea pois aktivoitumisen eikä irtoavan kontaminaation mahdollisuutta kyseisissä tiloissa. Aktivoitumisesta on tehty alustavaa analyysia ja aktivoitumisen määrään vaikuttaa säteilytysaikojen lisäksi kyseisten tilojen materiaalivalinnat (Hyvärinen & Hilden 2016, 56).

3 VALVONTA- JA TARKKAILUALUEIDEN VYÖHYKEJAKO

Kapselointi- ja loppusijoituslaitos on jaettava säteilyolosuhteisiin perustuvan alue- ja vyöhykejaon mukaisiin alueisiin. Ydinlaitoksella sijaitseva alue on määriteltävä vähintään tarkkailualueeksi, jos säännöllisestä työstä aiheutuva säteilyannos voi ylittää seuraavat raja-arvot (STUK 2014, 502.):

- efektiivinen annos yli 1 mSv vuodessa
- silmän ekvivalenttiannos yli 15 mSv vuodessa
- käsien, jalkojen tai ihon ekvivalenttiannos yli 50 mSv vuodessa

Tarkkailualue on valvonta-alueen ja valvomattoman alueen välissä sijaitseva vyöhyke. Tarkkailualueella on suoritettava työolojen tarkkailua sekä tarvittaessa annostarkkailua. Alueella sijaitsevat säteilylähteet on merkittävä ja työntekijöitä on ohjeistettava tarkkailualueella työskentelystä. Tämän lisäksi luokittelun asianmukaisuutta on tarkkailtava. (STUK 2014, 505. - 507.)

Valvonta-alueeksi on määriteltävä alue, jolla suorasäteilyn annosnopeus voi ylittää arvon 3 µSv/h tai jossa 40 tunnin viikoittainen oleskelu voi aiheuttaa yli 1 mSv:n sisäisen säteilyannoksen vuodessa (STUK 2014, 508.). Suorasäteilyn lisäksi valvonta-alueella esiintyy myös polttoaineesta peräisin olevaa kontaminaatiota. Kontaminaatio tulee rajata valvonta-alueelle ja valvonta-alueelta poistuvat henkilöt ja tavarat mitataan pintakontaminaatiomittauksella. Poistuvat henkilöt mitataan tämän lisäksi sisäisen kontaminaation varalta.

Kontaminaation vapaarajojen alittuminen todennetaan valvonta-alueen rajalla ja tarkkailualueen rajalla sijaitsevilla henkilömonitoreilla, joiden kautta valvonta-alueelta poistuminen tapahtuu. Valvonta-alueelta poistumiseen liittyviä kontaminaatiomittauskäytäntöjä käsitellään tarkemmin luvussa 3.2.

Valvonta-alueen työskentelyllä on useita erityispiirteitä. Säteilyaltistusta aiheuttavat työt määritellään säteilytyöksi, joilla on säteilytyölupa. Valvonta-alueella on kulkurajoituksia ja valvonta-alueella liikkuvien henkilöiden on käytettävä erityisiä suojavarusteita (STUK 2014, 518). Valvonta-alueella syöminen, juominen ja tupakointi on kielletty (STUK 2014, 519.). Tämän lisäksi käytössä on oltava henkilökohtaiset säteilyannosmittarit, joiden käyttö on voitava todentaa helposti (STUK 2014, 517., 702.). Mainittuja seikkoja käsitellään tarkemmin omissa luvuissaan.

3.1 Valvonta- ja tarkkailualueiden vyöhykkeet Posivan laitoksilla

Valvonta-alueen tiloissa on oltava käytössä tilojen säteilyolosuhteisiin perustuva vyöhykejako (STUK 2014, liite A). Vyöhykejako on määritetty erikseen tilojen ulkoiselle annosnopeudelle, pintakontaminaatiolle ja tiloissa esiintyvälle radionuklidien ilmakonsentraatiolle. YVL -ohjeen mukaista vyöhykejakoa noudatetaan suomalaisilla ydinvoimalaitoksilla ja vyöhykejako tulee voimaan myös kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle.

Normaalin vyöhykejaon korkein suorasäteilyvyöhyke on vyöhyke 3, johon luokitelluissa tiloissa annosnopeus voi olla yli 1 mSv/h (STUK 2014, liite A). Posivan laitoksilla esiintyy erittäin paljon tätä korkeampia säteilytasoja, joten ulkoiselle annosnopeudelle otetaan käyttöön suorasäteilytason lisävyöhykkeitä. Lisävyöhykkeillä korostetaan sitä, että kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella esiintyy erittäin korkean säteilytason tiloja, joissa oleskelu voi aiheuttaa suoria terveyshaittoja.

Taulukossa 1 on esitetty kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen valvonta-alueen vyöhykejako ulkoiselle säteilylle ja vyöhykkeitä vastaavat värikoodit. Värikoodeja käytetään huonetilojen luokituskylteissä. Tarkkailualueelle ei ole aikaisemmissa Posivan dokumenteissa määritelty värikoodia, mutta tarkkailualue on YVL -ohjeen mukaan merkittävä. Tarkkailualueen kylteille voidaan ottaa käyttöön esimerkiksi vaaleansininen tunnusväri, joka on käytössä myös Loviisan ydinvoimalaitosten tarkkailualueilla.

Taulukko 1. Valvonta-alueen vyöhykejako ulkoiselle säteilylle Posivan laitoksilla (Matikainen 2016, 7).

Vyöhyke	Ulkoinen annosnopeus [mSv/h]	Värikoodi
0	<0,003	
1	<0,025	
2	0,025...1	
3	1...50	
4	50...250	
5	>250	

Pintakontaminaation ja ilmakontaminaation suhteen ei ole oletettavissa niin korkeita kontaminaatiotasoja, että olisi tarvetta määrittää YVL -ohjeen C.2 vaatimaa kolmea vyöhykettä korkeampia luokkia. Polttoaineen käsittelykammiossa, jossa polttoaine kuivataan ja kapseloidaan, voi esiintyä huomattavan korkeita kontaminaatiotasoja. Kontaminaation lisävyöhykkeillä ei kuitenkaan saavutettaisi mitään käytännön hyötyä, sillä korkean kontaminaatiotason vyöhykkeellä käytettävä suojavarustus määritetään aina tapauskohtaisesti. Taulukossa 2 on esitetty kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella käytettävä standardivyöhykejako, joka on määritettävä erikseen pintakontaminaatiolle ja radionuklidien ilmakonsentraatiolle (YVL C.2, liite A).

Taulukko 2. Kontaminaatiovyöhykejako ydinlaitoksilla.

Vyöhyke	Pintakontaminaatio, [Bq/cm^2]	Ilmakonsentraatio, [DAC]	Värikoodi
1	$\beta \leq 4$, $\alpha \leq 0{,}4$	$\leq 0{,}3$	
2	β 4...40, α 0,4...4	0,3...30	
3	$\beta \geq 40$, $\alpha \geq 4$	≥ 30	

Vyöhykejaon perustelemiseksi tulee suorittaa järjestelmällisesti suorasäteilymittauksia sekä pinta- ja ilmakontaminaatiomittauksia (STUK 2014 C.2, 501.). Tämä tulee toteuttaa käyttötoiminnassa säännöllisillä huoneluokitusmittauksilla ja kontaminaatioseurannalla.

Erityislukitut korkean annosnopeuden tilat

Valvonta-alueen tilojen tulee olla lukittuja tai valvottuna, jos niissä esiintyvä annosnopeus voi olla yli 25µSv/h (STUK 2014, 515.). Tämän seurauksena vihreää vyöhykettä korkeampien annosnopeuksien alueet ovat rutiininomaisesti lukittuina. Erittäin korkean annosnopeuden tiloihin on perusteltua ottaa normaalin lukituskäytännön lisäksi käyttöön erityislukituksia, sillä kapselointi- ja loppusijoituslaitoksilla esiintyy vaarallisia säteilytasoja. Erittäin korkean annosnopeuden tilat ovat erityislukituksen tai tehostetun kulunvalvonnan alaisia myös ydinvoimalaitoksilla.

Olkiluodon ydinvoimalaitoksilla tilat, joissa voi esiintyä yli 30 mSv/h annosnopeuksia, ovat niin sanottuja PP -lukittuja tiloja, joiden avaimen saa ainoastaan vuoropäälliköltä (Grönman 2015, 3). Säteilyvalvojat noutavat avaimen vuoropäälliköltä paikalla ollessaan ja avainten käytöstä pidetään päiväkirjaa. Samanlainen käytäntö voidaan ottaa käyttöön myös Posivan laitoksilla. Annosnopeusrajaksi voidaan ottaa Posivan vyöhykejaon neljännen vyöhykkeen raja 50 mSv/h tai sama annosnopeusraja kuin TVO:n laitoksilla.

Fyysisen lukituskäytännön lisäksi tiloissa, joissa käsitellään paljasta polttoainetta tai käytetään röntgenlaitteistoa, on syytä olla käytössä myös hallinnollisia kulunvalvontamenetelmiä. Kulunvalvonnan avulla pääsy kriittisiin tiloihin voidaan estää haluttuina aikoina kokonaan ja henkilötunnistukseen perustuvalla kulunvalvonnalla voidaan tarvittaessa selvittää, ketkä ovat käyneet kriittisissä tiloissa. Kulunvalvontajärjestelmän toteuttaminen ei oletettavasti ole säteilysuojeluorganisaation vastuulla, mutta kyseisten tilojen kulunvalvonnan varmistamiseen on myös säteilysuojelullinen syy.

3.2 Kulunvalvonta ja pintakontaminaatiomittaukset valvonta-alueen rajalla

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen valvonta-alueen rajoilla eli pääkenkärajoilla on toteutettava kulunvalvontaa ja pääsyä valvonta-alueelle on valvottava (STUK 2014, 515.) Käytännössä valvonta-alueelle pääsee ainoastaan porteista, jotka aukeavat henkilökohtaiseen käyttöön kirjatuilla elektronisilla dosimetreilla. Näin varmistetaan, että kaikilla valvonta-alueelle kulkevien henkilöiden pääsy alueelle on valvottua ja valvonta-alueen työntekijöiden reaaliaikainen säteilyaltistuksen seuranta toteutuu.

Valvonta-alueelta poistuttaessa suoritetaan koko kehon kontaminaatiomittaukset. Näin toimitaan joka kerta tarkkailualueelle siirryttäessä ja luokittelemattomalle alueelle siirryttäessä. Ensimmäinen mittaus tehdään valvonta-alueen rajalla ja toinen mittaus tarkkailualueen rajalla. Kaksivaiheista monitorointikäytäntöä kutsutaan kaksoismonitoroinniksi ja se on käytössä myös suomalaisilla ydinvoimalaitoksilla. Valvonta- ja tarkkailualueen välistä rajaa kutsutaan myös 1. rajaksi ja tarkkailualueen ja puhtaan puolen rajaa 2. rajaksi.

Kontaminaatiomittauksilla toteutetaan työntekijöiden säteilysuojelua ja samalla varmistetaan, ettei radioaktiivisia aineita leviä tätä kautta valvonta-alueen ulkopuolelle. Taulukossa 3 on esitetty ÝVL -ohjeiden määrittämät pintakontaminaatiorajat valvonta-alueelta pois vietäville työkaluille sekä työntekijöiden vaatteille ja iholle (STUK 2014, liite A). Pintakontaminaatiorajojen lisäksi noudatetaan periaatetta irtoavan kontaminaation minimoimisesta. Tavoite on, että valvonta-alueelta pois vietävissä tavaroissa ei ole irtoavaa kontaminaatiota.

Taulukko 3. Pintakontaminaation vapaarajat valvonta-alueelta poistumiseen.

	Pintakontaminaatio, työkalut ja materiaalit [Bq/cm^2]	Pintakontaminaatio, työntekijän vaatteet [Bq/cm^2]	Pintakontaminaatio, työntekijän iho [Bq/cm^2]
Alfasäteilijät	0,4	0,4	2
Muut nuklidit	4	4	0,2

Tarkkailualueen rajalla tehtävä 2. rajan mittaus on koko kehon ihomittaus, johon on mentävä alusvaatteisillaan. Vapaarajana on 2 Bq/cm^2 koko kehon alueelta. 2. rajan henkilömonitoreissa on lisäksi yläkehoa mittaava gammadetektori, jolla pystytään todentamaan mahdollisesti kehon sisälle joutuneet radionuklidit eli sisäinen kontaminaatio.

3.3 Säteilevien tilojen ja säteilylähteiden merkintävaatimukset

Valvonta- ja tarkkailualueella sijaitsevat säteilylähteet tulee merkitä (STUK 2014, 506.; STUK 2013, 3). Valvonta-alueen tilat tulee merkitä luokituskylteillä vyöhykejaon mukaiseksi (STUK 2014, 513.). Valvonta-alue varustetaan merkintälapuilla tai -tarroilla, joita käytetään säteilevien tai kontaminoituneiden komponenttien merkitsemiseen valvonta-alueen sisällä. Kaikki kontaminoituneet ja säteilevät komponentit tulee merkitä. Valvonta-alueelta ulos vietäville tavaroille tulee olla omat merkintälappunsa, joihin on todennettava kappaleen kontaminaatiotason alittavan vapaarajan.

Polttoaineen käsittelyn aikana polttoaineen käsittelykammion eteistiloihin on hyvä kehittää näkyvä varoitusmerkintätapa, kuten vilkkuvalo tai äänimerkki, joka ilmaisee polttoaineen käsittelyn olevan menossa. Näin edesautetaan sitä, ettei kukaan mene epähuomiossa edes käsittelykammion eteishuoneisiin aiheettomasti polttoaineen käsittelyn aikana.

Olkiluodon voimalaitoksella käytössä olevissa huoneluokituskylteissä on esitetty luokitukset säteilytasolle, pintakontaminaatiolle ja ilmakontaminaatiolle tilassa. Samanlaiset kyltit soveltuvat myös Posivan tarkoituksiin, jos kylttivalikoimaan otetaan korkeamman säteilytason vyöhykkeille värikoodattuja kylttejä.

4 KAPSELOINTILAITOKSEN VALVONTA-ALUE JA VYÖHYKEJAKO

Kapselointilaitoksen valvonta-alueella käytetty ydinpolttoaine kapseloidaan loppusijoituskapseleihin. Tämän lisäksi kapselointilaitoksella suoritetaan kapseloinnin tukitoimintoja. Kapselointilaitoksella polttoaineen käsittelyyn liittyviä kriittisiä tiloja ovat polttoaineen käsittelykammio, hitsauskammio ja hitsin tarkastushuone sekä polttoaineen kuivauskammiot.

Polttoaineen siirtoreittejä kapselointilaitoksella ovat polttoaineen kuljetussäiliön siirtokäytävä ja kapselin siirtokäytävä. Polttoaine vastaanotetaan polttoaineen vastaanottotilassa ja täytetyt, suljetut kapselit varastoidaan kapselivarastoon. Kapselointilaitoksella on lisäksi jätteenkäsittelytilat sekä dekontaminointikeskus. Kapselointilaitoksen tiloja käsitellään yksityiskohtaisemmin kapseloinnin työvaiheiden kuvauksien sekä kapseloinnin tukitoimintoja kuvaavien lukujen yhteydessä.

Valtaosa kapselointilaitoksen tiloista on valvonta-aluetta ja huonetilojen jako on hieman erilainen kerroksesta riippuen. Valvonta-alueeksi on luokiteltu tilat, joissa säteilytaso voi olla yli 3 µSv/h. Tilat, joiden seinän toisella puolella on suoraan korkea säteilytaso, on syytä luokitella tarkkailualueeksi. Kapselointilaitoksen valvonta-alueelle kuljetaan nostinlaiterakennuksen kautta.

Kapselointilaitoksella on myös huonetiloja, joiden valvonta-alueelle kuulumisesta ei ole vielä tehty lopullisia päätöksiä. Esimerkiksi kapselihissin konehuone C05.039 on tarkoitus luokitella valvomattomaan alueeseen kuuluvaksi, mutta kapselisiirrot nostavat konehuoneen säteilytasoja hissin vaijereiden läpivienneistä. Kapselisiirtojen aikana konehuoneessa on valvonta-alueen rajaarvon 3 µSv/h ylittävä säteilytaso. Kulku hissin konehuoneeseen tapahtuu valvomattoman alueen puolelta, mutta konehuone on luokiteltava säteilytasonsa vuoksi vähintään tarkkailualueeksi. Tilan lukitsemisella on huolehdittava siitä, että tilaan ei ole pääsyä kapselisiirtojen aikana.

4.1 Kapselointilaitoksen pääkenkäraja ja tarkkailualue

Kapselointilaitoksen valvonta-alueen ja tarkkailualueen välinen henkilökulkuraja on kapselointilaitoksen kerroksessa +6.100. Valvonta-alueen rajalla on oltava henkilömonitorit ja henkilödekontaminointiin varatut peseytymistilat sekä kontaminaation mittauskaappi työkaluille. Valvonta-alueen rajalla sijaitsee myös säteilyvalvojan päivystyspiste. Kuvassa 5 on esitetty kapselointilaitoksen valvonta-alueen ja tarkkailualueen välinen raja. Kuvassa näkyvät henkilömonitorointipisteet ja henkilödekontaminointiin varatut tilat. Henkilömonitorin vieressä on työkalumonitori ulosvietävän pientavaran mittaamiseen. Kuvassa näkyy lisäksi säteilyvalvonnan päivystyspiste.

Kuva 5. Kapselointilaitoksen pääkenkäraja.

Tarkkailualue jatkuu valvonta-alueen rajalta nostinlaiterakennuksen puolelle. Tarkkailualueen rajalla on 2. rajan henkilömonitorointi, dosimetrien säilytystaulut ja työntekijöiden pukuhuoneet. Säteilyolosuhteiden kannalta on riittävää ja luontevaa luokitella tarkkailualueeksi ainoastaan valvonta-alueen rajaavien 1. rajan monitorien ja nostinlaiterakennuksen pukuhuoneissa sijaitsevien 2. rajan monitorien välinen alue. Tämän lisäksi tarkkailualueeksi luokitellaan kapselointilaitoksen huonetiloja, joiden seinän takana on suoraan korkea säteilytaso.

Myös polttoaineen käsittelykammion läheisyydessä sijaitseva kapselointiprosessin ohjaamo on tarkkailualuetta. Työntekijät kulkevat sinne valvomattoman alueen kautta, nostinlaiterakennuksen valvomattoman alueen pukutiloista. Ohjaamotyöntekijöillä on oltava henkilökohtaiset dosimetrit, sillä seinän toisella puolella olevien polttoaineen käsittelytilojen takia annosseuranta tässä tarkkailualueen tilassa on perusteltua.

Säteilysuojelullisesti ei ole tarpeellista määrittää tarkkailualueeksi piha-alueita tai kaikkia kapselointilaitoksen valvomattoman alueen huonetiloja, sillä näihin ei ole oletettavissa luonnonsäteilystä poikkeavia säteilytasoja. Piha-alueella tapahtuvat polttoaineen vastaanottokuljetukset eivät vaadi piha-alueiden luokittelemista tarkkailualueeksi.

4.2 Kapselointilaitoksen kiinteät lisäkenkärajat

Kapselointilaitoksen valvonta-alueen sisälle perustetaan lisäkenkärajoja kontaminaation leviämisen estämiseksi tiloista, joissa esiintyy polttoaineperäistä kontaminaatiota. Loppusijoituslaitoksella ei oleteta olevan kontaminaatiota ja siellä ei normaalitilanteessa ole lisäkenkärajojen tarvetta.

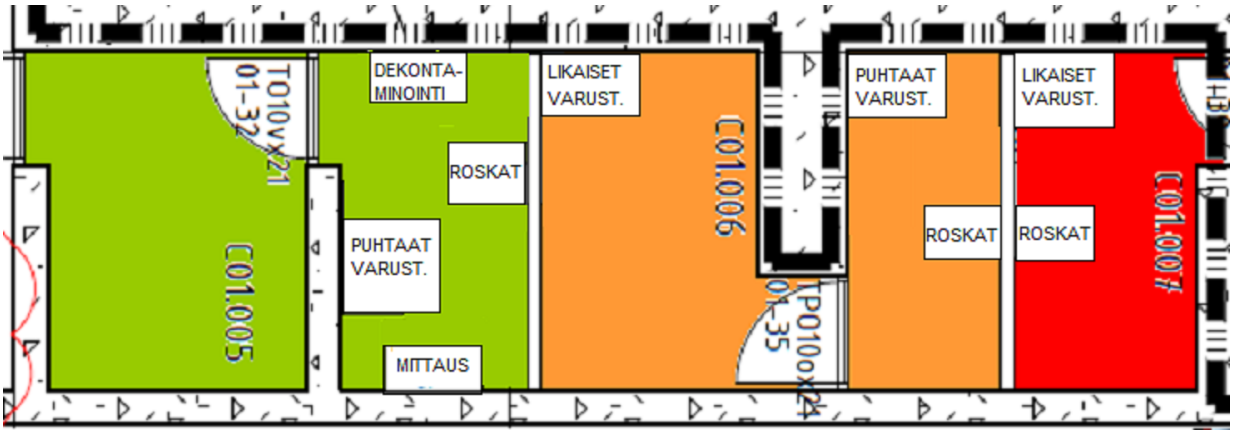
Kapselointilaitoksen lisäkenkärajojen luokittelu on laitoksen kontaminaatiotasojen vyöhykejaon mukainen. Kiinteillä lisäkenkärajoilla varustettavia tiloja ovat polttoaineen käsittelykammion eteishuoneet, dekontaminointikeskus sekä valvonta-alueen jätteiden käsittelytilat. Kiinteiden lisäkenkärajojen lisäksi perustetaan väliaikaisia lisäkenkärajoja työkohteille, joilla on kontaminaation leviämisen riski. Tällaisia kohteita on oletettavasti ainakin dekontaminointikeskuksessa. Oranssille vyöhykkeelle perustettavat lisäkenkärajat ovat luokitukseltaan punaisia. Taulukossa 4 on esitetty valvonta-alueen kiinteät lisäkenkärajat, korkeamman kontaminaatiotason alueet ja niiden vyöhykkeiden värikoodit.

Taulukko 4. Kapselointilaitokselle perustettavat kiinteät lisäkenkärajat ja korkeampien kontaminaatiovyöhykkeiden tilat.

Tilan nimi	Tilan huonekoodi	Kenkärajan tai huonetilan vyöhyke
Polttoaineen käsittelykammio	C01.008	punainen
Käsittelykammion eteinen	C01.101	punainen
Pesuhuone (käsittelykammion eteishuone)	C01.007	punainen / oranssi
Säteilyannoksen mittaushuone (käsittelykammion eteishuone)	C01.006	vihreä / oranssi
Dekontaminointikeskuksen kenkäraja	C03.008	vihreä / oranssi
Dekontaminointikeskus ja aktiivikorjaamo	C03.002; C03.005; C03.060	oranssi
Jätteen lajitteluhuone	C01.035	vihreä / oranssi
Tyhjien tynnyreiden varastohuone	C01.038	oranssi
Gammaspektrometri ja tynnyreiden välivarasto	C01.026	vihreä / oranssi
Viemärivesien kiinteytyslinja	C01.026	oranssi
Kiinteytysprosessin ohjaamon edusta	C01.026	vihreä / oranssi

Polttoaineen käsittelykammion lisäkenkärajat

Polttoaineen käsittelykammio on punaisen kenkärajan sisällä. Punaiselle kenkärajalle kuljetaan tilassa C01.006 alkavan oranssin kenkärajan kautta. Käsittelykammion eteishuoneiden kenkärajajärjestelyt on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Polttoaineen käsittelykammioon johtavat lisäkenkärajat.

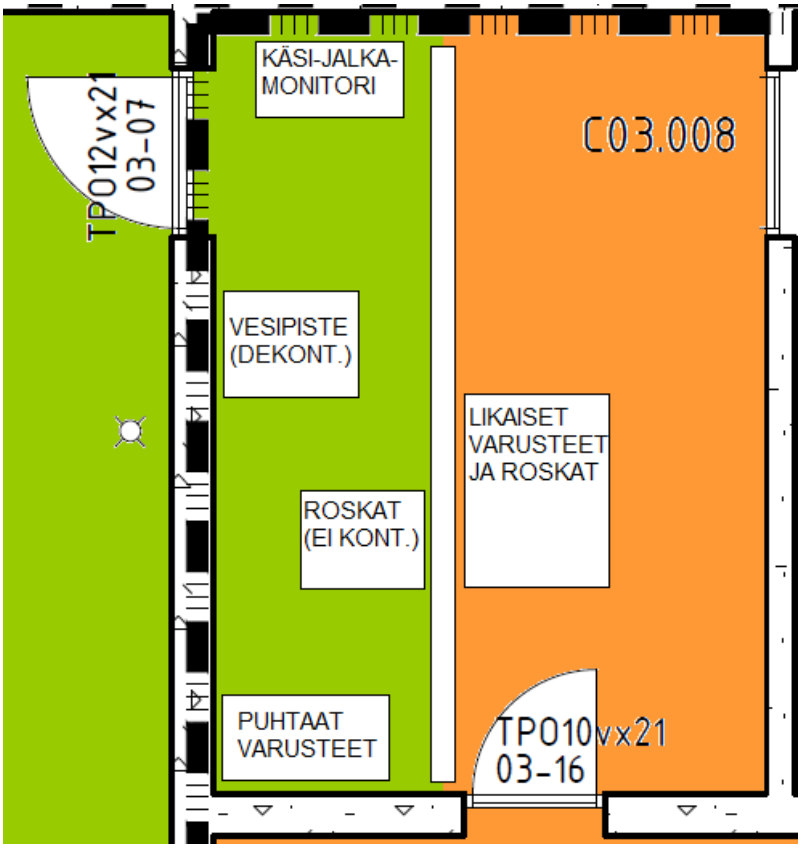
Käsittelykammioon päin mentäessä huonetilan C01.006 kenkärajalla puetaan oranssit kengänsuojat ja puuvillakäsineet. Jos mennään käsittelykammioon asti, puetaan huonetilasta C01.007 alkavan punaisen kenkärajan varustus jo huoneen C01.006 oranssin kenkärajan vihreällä puolella. Näin varmistetaan varusteiden puhtaus. Punaisen vyöhykkeen töihin puetaan työstä riippuvat lisävarusteet, jotka ovat minimissään punaiset kengänsuojat, puuvillahansikkaat, lisähaalarit, puolinaamari ja kumikäsineet.

Punaiselta vyöhykkeeltä oranssille puolelle siirryttäessä, käytetyt punaisen alueen varusteet riisutaan ennen kenkärajapenkin ylittämistä. Oransseissa kengänsuojissa ja puuvillakäsineissä jatketaan huonetilan C01.006 kenkärajalle asti. Oranssilta vihreälle puolelle mentäessä riisutaan oranssit kengänsuojat ja puuvillakäsineet. Vihreällä vyöhykkeellä suoritetaan kontaminaatiomittaus käsi-jalkamonitorissa.

Käsittelykammion kenkärajalla voidaan dekontaminoida kontaminoituneet kädet. Jos laitoshaalarissa on kontaminaatiota, se vaihdetaan puhtaaseen. Kontaminoituneiden kenkien päälle laitetaan vihreät kengänsuojat. Huonetilan C01.006 puhtaiden varusteiden korissa on pidettävä puhtaita varusteita myös tähän tarpeeseen. Muualla kehossa olevan kontaminaation dekontaminointi suoritetaan valvonta-alueen rajalla. Tässä tapauksessa käsittelykammion kenkärajalta lähtiessä kontaminoituneet alueet on suojattava niin, että kontaminaatiota ei leviä työntekijästä laitoksen tiloihin tämän siirtyessä valvonta-alueen rajalle.

Dekontaminointikeskuksen lisäkenkärajat

Dekontaminointikeskuksen sisäänkäynnin kenkärajajärjestelyt on esitetty kuvassa 7. Tilassa C03.008 sijaitsevan kenkärajan vihreälle puolelle tulee varata paikat puhtaiden varusteiden kärryille, puhtaille roskille ja käsi-jalkamonitorille.



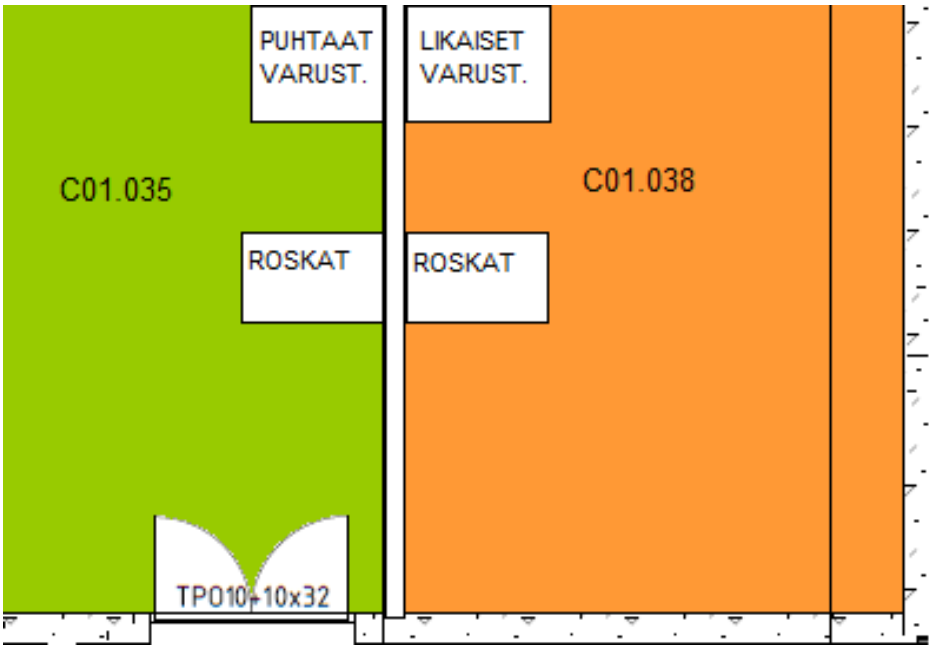
Kuva 7. Dekontaminointikeskuksen kenkärajajärjestelyt.

Kenkärajapenkin oranssilla puolella on oltava kärryt likaisille varusteille sekä kontaminoituneen puolen roskille. Tilassa on oltava myös lavuaari käsien dekontaminointia varten ja puhtaita varusteita muiden kontaminoituneiden kehonosien suojaamiseen.

Kenkärajan ylittäminen tapahtuu niin, että likaiset varusteet jätetään kenkärajan oranssille puolelle. Käsi-jalkamonitorissa on suoritettava kontaminaatiomittaus aina kenkärajan yli oranssilta vihreälle puolelle tultaessa.

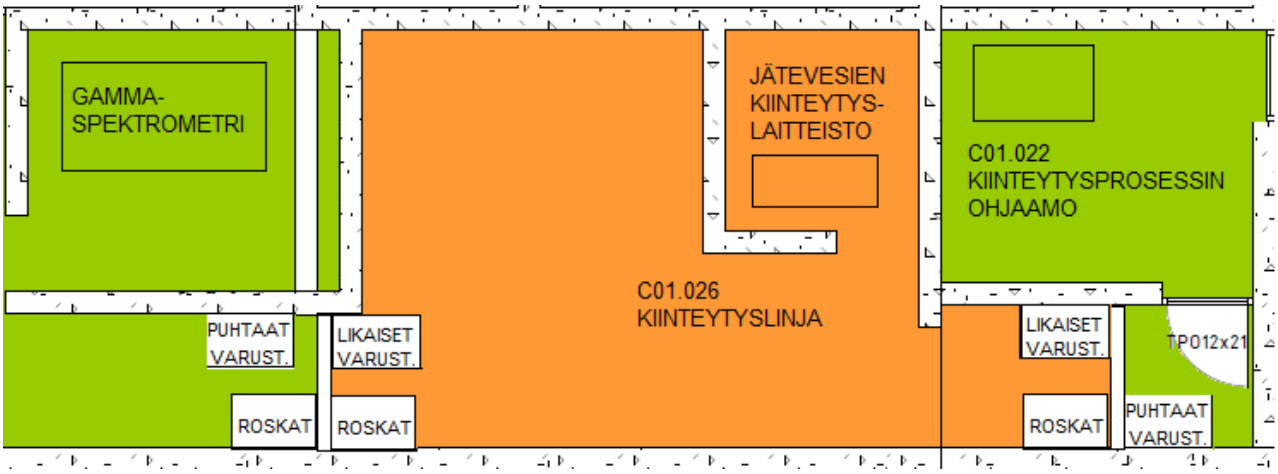
Jätteenkäsittelytilojen lisäkenkärajat

Jätteenkäsittelytiloihin tulee kaksi oranssia kenkärajaa, jotka perustellaan tarkemmin jätteenkäsittelytoimintojen kuvauksen yhteydessä luvussa 10. Molempien oranssien kenkärajojen perusvarustuksena ovat oranssit kengänsuojat ja puuvillakäsineet. Oranssien kengänsuojien vaihtoehdoksi voidaan ottaa erilliset laitoskengät, joita käytetään ainoastaan oranssin kenkärajan sisäpuolella. Huoltojätteen lajitteluhuoneen kenkärajajärjestelyt tilassa C01.035 on esitetty kuvassa 8. Oranssin kenkärajan ylittäminen tapahtuu samalla tavalla kuin edellisissä luvuissa on kuvattu.



Kuva 8. Kapselointilaitoksen jätteen lajitteluhuoneen oranssi kenkäraja.

Aktiivisten viemärivesien kiinteytysjärjestelmä on oranssin kenkärajan sisällä huonetilassa C01.026. Kuvassa 9 on esitetty huonetilaan tarvittavat kenkärajajärjestelyt. Kiinteytysprosessin ohjaamo on vihreää vyöhykettä ja kulkeminen vyöhykkeiden välillä tapahtuu samalla tavalla kuin muillakin kenkärajoilla. Oranssin vyöhykkeen perusvarustus on tälläkin kenkärajalla oranssit kengänsuojat ja puuvillakäsineet.



Kuva 9. Aktiivisten viemärivesien kiinteytyslaitteistotilan kenkärajajärjestelyt.

Kaikille jätteenkäsittelytilojen kenkärajoille on varattava oransseja kengänsuojia ja puuvillakäsineitä. Jätteenkäsittelytiloihin perustetaan tarvittaessa punaisia lisäkenkärajoja. Jätteenkäsittelytiloihin on varattava tästä syystä varustepiste, jolla pidetään punaisen kontaminaatiotason lisäsuojavarusteita. Punaisen kontaminaatiotason varusteita ovat erilaiset lisähaalarit, kumikäsineet ja hengityssuojaimet.

Lisäkenkärajojen suojavarustevalikoima

Lisäkenkärajojen sisällä ja kontaminoituneilla kohteilla tehtävien töiden suojavarustuksen määrittävät työn säteilytyölupaa käsittelevät säteilyvalvojat. Kontaminoituneilla kohteilla ja vyöhykkeillä varustus noudattaa yleisperiaatteiltaan seuraavaa kuvausta. Kapselointilaitoksen kiinteille lisäkenkärajoille varattavien varusteiden ja tarvikkeiden yhteenvetotaulukko on esitetty liitteessä I.

Kenkärajoilla puettavat kengänsuojat vastaavat kunkin kenkärajan kontaminaatiovyöhykkeen väriä: oranssille alueelle oranssit kengänsuojat ja punaiselle punaiset. Laitosalueen vihreällä alueella käytetään joko vihreitä kengänsuojia tai laitoskenkiä, joita ei käytetä missään muualla. Erittäin kontaminoituneilla kohteilla käytetään kankaisten kengänsuojien päällä kertakäyttöisiä muovikengänsuojia tai vaihtoehtoisesti kumisaappaita.

Hengityssuojaimet on varustettava oikeanlaisella suodattimella ilmakontaminaatiolta suojautumiseksi. Hiukkassuodatin suojaa aerosolimuodossa olevalta kontaminaatiolta ja myös radioaktiiviselta jodilta suojaavia suodattimia on saatavilla. Kun työskennellään liuottimien kanssa kontaminoituneilla kohteilla, on käytössä oltavassa hengityssuojaimessa oltava aerosolisuojan lisäksi liuotinsuodatin. Tapauskohtaisesti voidaan käyttää raitisilmalaitteistoa tai puhaltimeen kytkettyä hengityssuojainta.

Kontaminoituneilla kohteilla käytetään kengänsuojien ja käsineiden lisäksi lisähaalareita ainakin punaisten kenkärajojen sisällä. Näin toimitaan myös oranssin alueen työkohteilla tarvittaessa, säteilyvalvojan ohjeiden mukaisesti. Lisähaalarien soveltuvuus työkohteelle on varmistettava haalarin tiiveyden, hankauksen kestävyyden ja vedenkestävyyden suhteen.

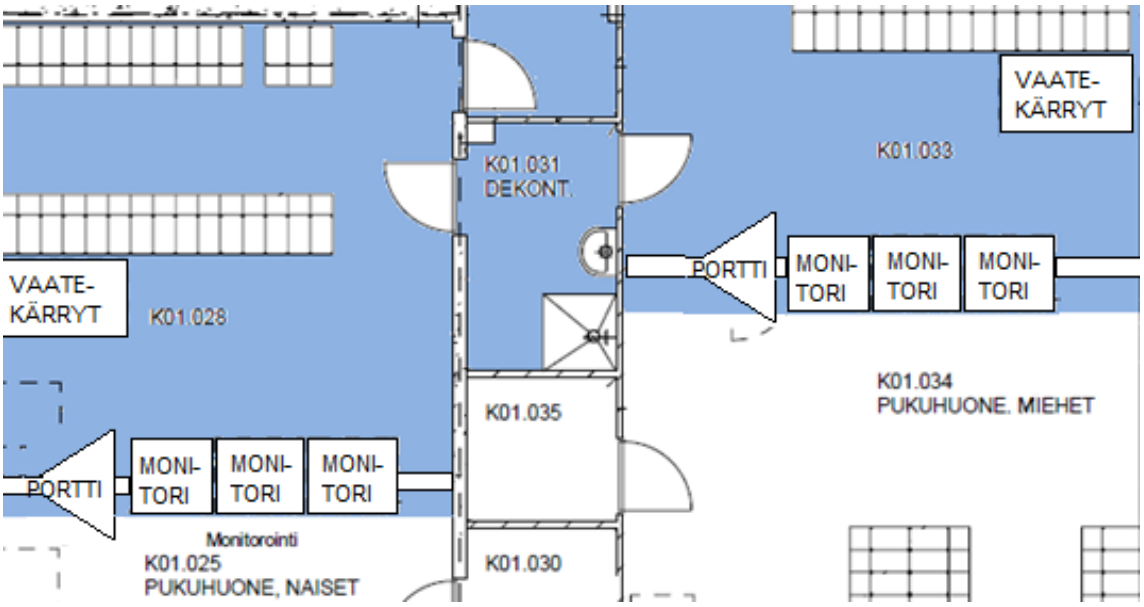
Lisäkäsineet valitaan työkohteen mukaan. Kontaminaatiolta suojaudutaan kumihanskoilla, lisäkenkärajojen perusvarustukseen kuuluvat puuvillahansikkaat eivät ole riittävä suoja. Kenkärajoille on varattava kumikäsineitä pitkällä ja lyhyellä varrella. Mitkään kankaiset työkäsineet eivät yleisesti ottaen ole tarpeeksi tiiviit suojaamaan punaisen tason kontaminaatiolta. Työkohteilla, joita on käsiteltävä työturvallisuussyistä nahkaisin tai kankaisin hanskoin, on työkäsineiden alle laitettava kontaminaatiolta suojaavat lisäkäsineet. Säteilyvalvoja määrittää suojavarustuksen tapauskohtaisesti.

Erittäin kontaminoituneilla kohteilla käytetään teippauksia suojavarustuksen tiiveyden varmistamiseksi. Kontaminaatiosuoja varmistetaan teippaamalla lisähaalarin hupun reuna kiinni hengityssuojaimeen. Samoin kumihansikkaiden reunat teipataan kiinni lisähaalarin hihoihin.

4.3 Nostinlaiterakennuksen tarkkailualue

Nostinlaiterakennukselta on yhteys sekä kapselointilaitokselle että maanalaiselle loppusijoituslaitokselle. Molempien laitosten tarkkailualue on yhteinen nostinlaiterakennuksen 2. rajan kenkärajalle asti. Henkilökulku molempien laitosten valvomattomille alueille tapahtuu myös nostinlaiterakennuksen kautta. Kulkureitit valvomattoman alueen ja valvonta-alueen tiloihin on erotettu toisistaan.

Kapselointilaitokselle kuljetaan nostinlaiterakennuksen tarkkailualueen pukutilojen kautta. Tarkkailualueelta puhtaalle puolelle siirryttäessä suoritetaan 2. rajan henkilömonitorointi tarkkailualueen rajalla. Tarkkailualueella on pesutilat henkilödekontaminointia varten 2. rajan mittauksessa ilmenevien kontaminaatiotapausten varalta. Siviilivaatteet puetaan ja riisutaan tarkkailualueen ulkopuolella olevissa pukutiloissa. Nostinlaiterakennuksen tarkkailualue monitoreineen on esitetty kuvassa 10. Kuvassa sinisellä tunnusvärillä merkityt alueet ovat tarkkailualuetta ja puhtaan puolen pukuhuoneet jatkuvat kuvan ulkopuolelle.

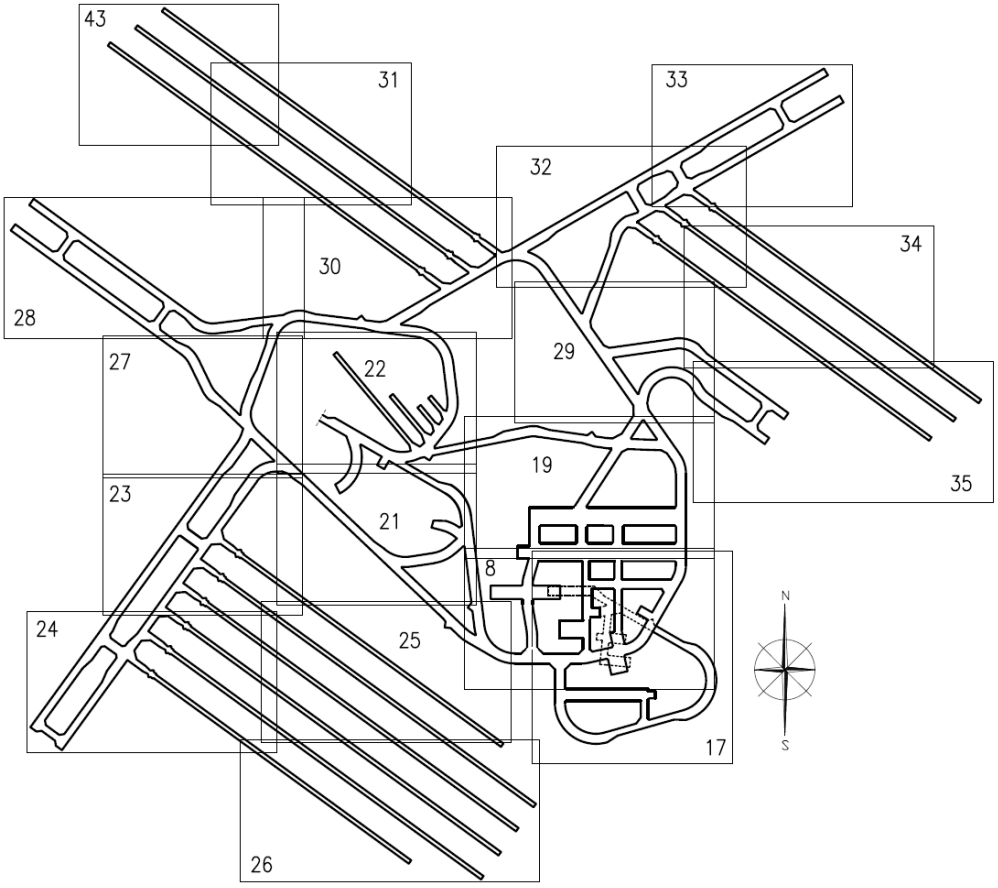


Kuva 10. Nostinlaiterakennuksen tarkkailualueen raja ja 2. rajan monitorointijärjestelyt.

Nostinlaiterakennuksesta kuljetaan loppusijoituslaitokselle kaksikerroksisella hissillä, joista toinen kerros on varattu valvonta-alueelle kulkemiseen ja toinen loppusijoituslaitoksen valvomattomalle puolelle kulkemiseen. Samalla hissillä voidaan kulkea myös maanalaisen laitosjätetilan tasolle. Nostinlaiterakennuksen tarkkailualue on samaa tarkkailualuetta maanalaisen loppusijoituslaitoksen ja laitosjätetilan valvonta-alueiden rajoille asti. Maanalaisille valvonta-alueille menevät työntekijät ottavat tällöin dosimetrinsa nostinlaiterakennuksen dosimetritauluista.

5 LOPPUSIJOITUSLAITOKSEN VALVONTA-ALUE JA VYÖHYKEJAKO

Täydet loppusijoituskapselit siirretään kapselointilaitokselta kapselikuiluhissillä maanalaiselle loppusijoituslaitokselle. Loppusijoituslaitoksen layout on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Loppusijoituslaitoksen layout loppusijoitustoiminnan alkuvaiheessa. Loppusijoitustiloja laajennetaan loppusijoituksen edetessä.

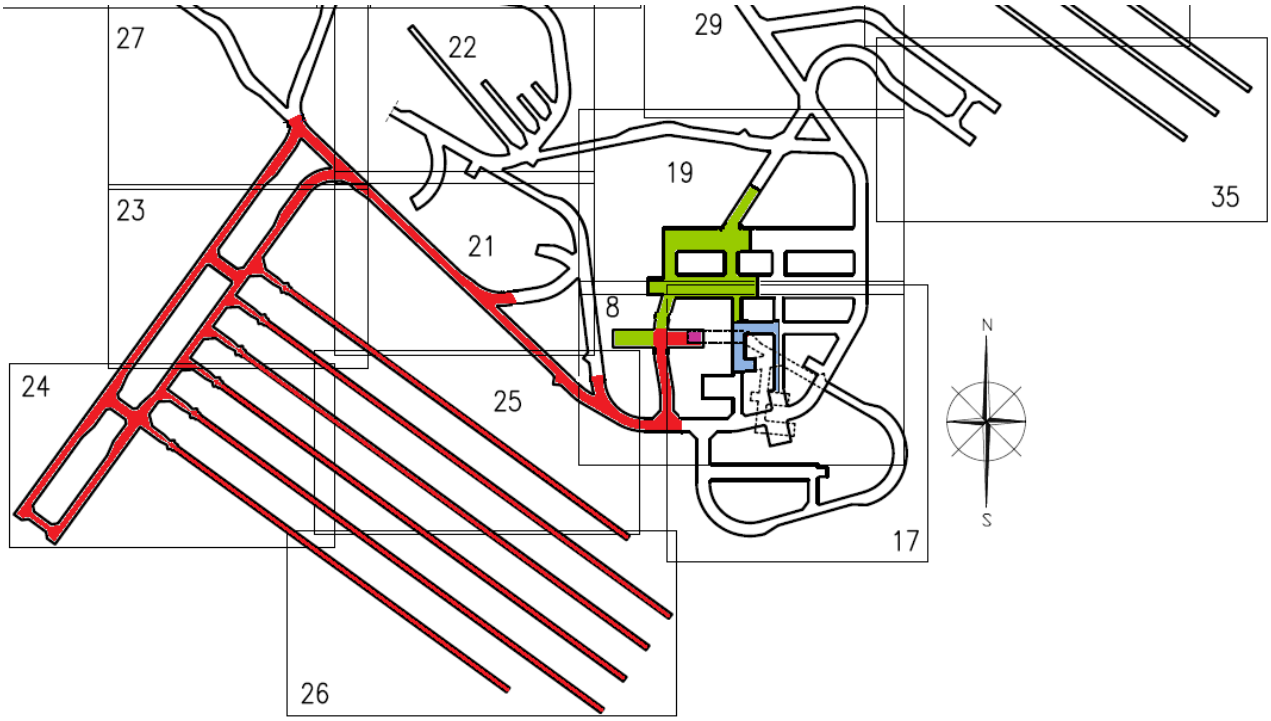
Loppusijoituslaitoksella on kapselivarasto, johon kapselit siirretään hissistä odottamaan loppusijoitusta. Kapselit kuljetetaan loppusijoitukseen yksitellen. Kapseli siirretään kapselin siirto- ja asennusajoneuvolla tunnelistoa pitkin loppusijoitustunneliin ja loppusijoitusreikään. Kapselin käsittely on polttoaineen säteilytason vuoksi säteilytyötä ja valvonta-alueen työtä.

5.1 Loppusijoituslaitoksen valvonta-alue

Valvonta-alueen rajauksissa on huomioitava loppusijoitustoiminnan luonne. Toiminta on luonteeltaan syklistä ja tunneleita täytetään järjestelmällisesti yksi tunneli ja tunnelisto kerrallaan. Tunnelistoista luokitellaan valvonta-alueeksi kerrallaan vain se osa ja reitti, jolla loppusijoitusta on käynnissä. Täytettyjä, valmiita tunneleita voidaan vapauttaa valvonta-alueluokituksesta, sillä säteilytasot eivät täytön jälkeen poikkea luonnon taustasäteilystä. Näin ollen loppusijoituslaitoksen valvonta-alueen rajat muuttuvat laitoksen käyttöiän aikana.

Loppusijoituslaitoksella suunnitellaan tehtävän louhintatöitä vielä loppusijoitustoiminnan käynnistyttyä. Louhintatöitä ei ole tarvetta tehdä valvonta-alueen töinä. Loppusijoituslaitoksen alueita on siis jaettava säteilysuojelullisesti luokiteltuihin ja luokittelemattomiin alueisiin. Louhintatyön alueet erotellaan myös turvaluokitukseltaan loppusijoitustoiminnasta.

Valvonta-alueeksi luokitellaan riittävällä turvamarginaalilla aina se tunnelisto, jossa loppusijoitustoiminta on käynnissä. Tämän lisäksi valvonta-alueeksi luokitellaan kapselin siirtoreitti kyseisen tunneliston ja loppusijoituslaitoksen teknisten tilojen välillä. Kuvassa 12 on esitetty väritettynä loppusijoituslaitoksen valvonta-alue eteläisten tunnelien täytön aikana sekä tilojen alustava vyöhykejako. Muihin tunnelistoihin siirryttäessä valvonta-alueeksi rajataan tekniset tilat ja kyseessä oleva tunnelisto vastaavalla tavalla. Kuvaan on merkitty lisäksi loppusijoituslaitoksen tarkkailualue sinisellä tunnusvärillä.



Kuva 12. Loppusijoituslaitoksen valvonta- ja tarkkailualue eteläisen tunneliston täytön aikana.

Periaatteessa säteilysuojelullisesti olisi mahdollista luokitella osa kapselien siirtoreiteistä ainoastaan väliaikaisesti valvonta-alueeksi. Tällöin valvonta-alueluokitusta purettaessa olisi toimittava johdonmukaisesti niin, että valvonta-alueella työskennelleet henkilöt ovat poistuneet alueelta ennen kuin valvonta-alueen rajaukset puretaan. Tämän lisäksi kontaminaation poissaolo olisi varmistettava mittauksin ennen väliaikaisen valvonta-alueen rajausten purkamista. Valvonta-alue tulisi rajata ja purkaa samalla protokollalla jokaisen kapselisiirron yhteydessä. Säteilysuojelun näkökulmasta on kuitenkin johdonmukaisinta rajata valvonta-alue jatkuvasti kattamaan koko se tunnelisto, jossa loppusijoitustoiminta on käynnissä.

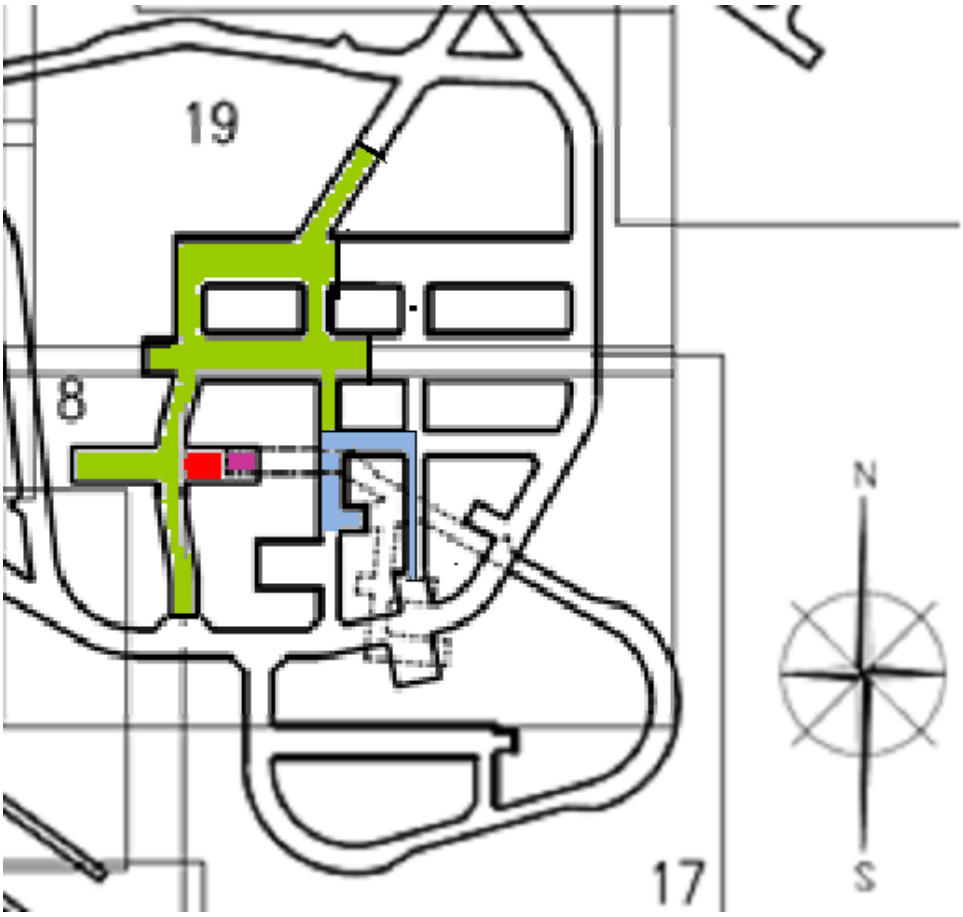
Loppusijoituskapselien siirtämiseen käytettävä kapselikuilu on yhteydessä kapselikuilun kuiluliittymiin tasoilla -90, -180, -290 ja -455 loppusijoituslaitoksen ajotunnelin varrella. Tiloissa esiintyy kohonneita säteilytasoja kapselikuljetusten aikana. Henkilöiden pääsy tiloihin on estettävä kapselikuljetusten aikana ja kapselikuilun viereiset tilat on syytä pitää lukittuna jatkuvasti vahinkoannosten välttämiseksi.

5.2 Loppusijoituslaitoksen teknisten tilojen valvonta-alue

Säteilysuojelun näkökulmasta valvonta-alueen rajaamiseen loppusijoituslaitoksen teknisissä tiloissa on teoriassa käytettävissä useampi vaihtoehto. Teknisten tilojen rajausvalinta vaikuttaa säteilysuojelun näkökulmasta henkilömonitoreiden paikkoihin ja määrään, dosimetrikäytäntöihin ja henkilökulkuun.

Suunnittelun pohjana olevassa teknisten tilojen valvonta-alueratkaisussa kapselivarasto ja merkittävä osa teknisistä tiloista on luokiteltu pysyvästi valvonta-alueeksi. Henkilökulku loppusijoituslaitoksen valvonta-alueelle tapahtuu maan päältä nostinlaiterakennuksen kenkärajan kautta, josta laskeudutaan hissillä teknisiin tiloihin.

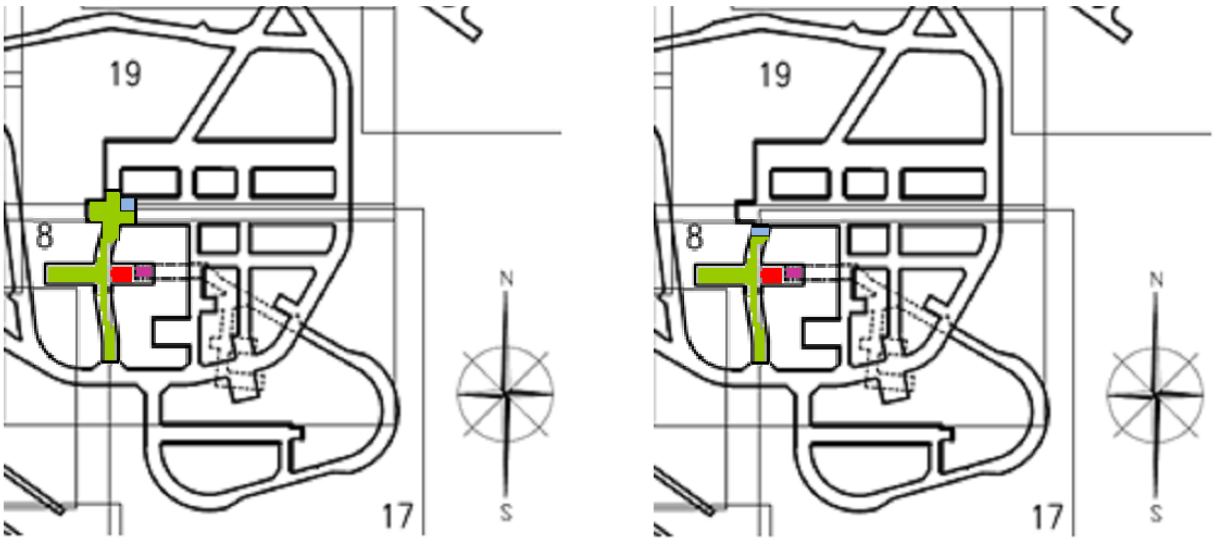
Teknisissä tiloissa sijaitsee valvonta-alueen ja tarkkailualueen välinen 1. raja. Tarkkailualue jatkuu maan pinnalle nostinlaiterakennuksen tarkkailualueen rajalle asti, jossa poistuminen tarkkailualueelta tapahtuu 2. rajan mittauksen kautta. Teknisten tilojen vyöhyke- ja aluejako on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Loppusijoituslaitoksen teknisten tilojen laaja valvonta-alue, vyöhykejako ja tarkkailualue.

Loppusijoituslaitoksen kapselivarasto ja kapselihissi ovat korkean säteilytason vyöhykkeitä. Parkkihalleissa osa alueista on valvonta-aluetta ja osa valvomatonta aluetta. Polttoaineen siirtoreitit on mahdollista toteuttaa teknisistä tiloista eteläistä ja pohjoista reittiä pitkin.

Suppean valvonta-alueen ratkaisussa ainoastaan kapselivaraston alue olisi rajattu pysyvästi valvonta-alueeksi. Tällöin sekä valvonta-alueen että tarkkailualueen rajat olisivat teknisissä tiloissa ja suurin osa teknisistä tiloista olisi valvomatonta aluetta. Valvonta-alueen raja voidaan puhtaasti säteilyolosuhteiden perusteella asettaa teknisten tilojen parkkihalliin tai sen eteläpuolelle. Kuvassa 14 on esitetty teknisten tilojen suppean valvonta-alueen vaihtoehdot. Kapselivarasto ja sen yläkerta sekä kapselihissikuilu olisivat kuvan mukaisesti korkean säteilytason vyöhykkeitä.



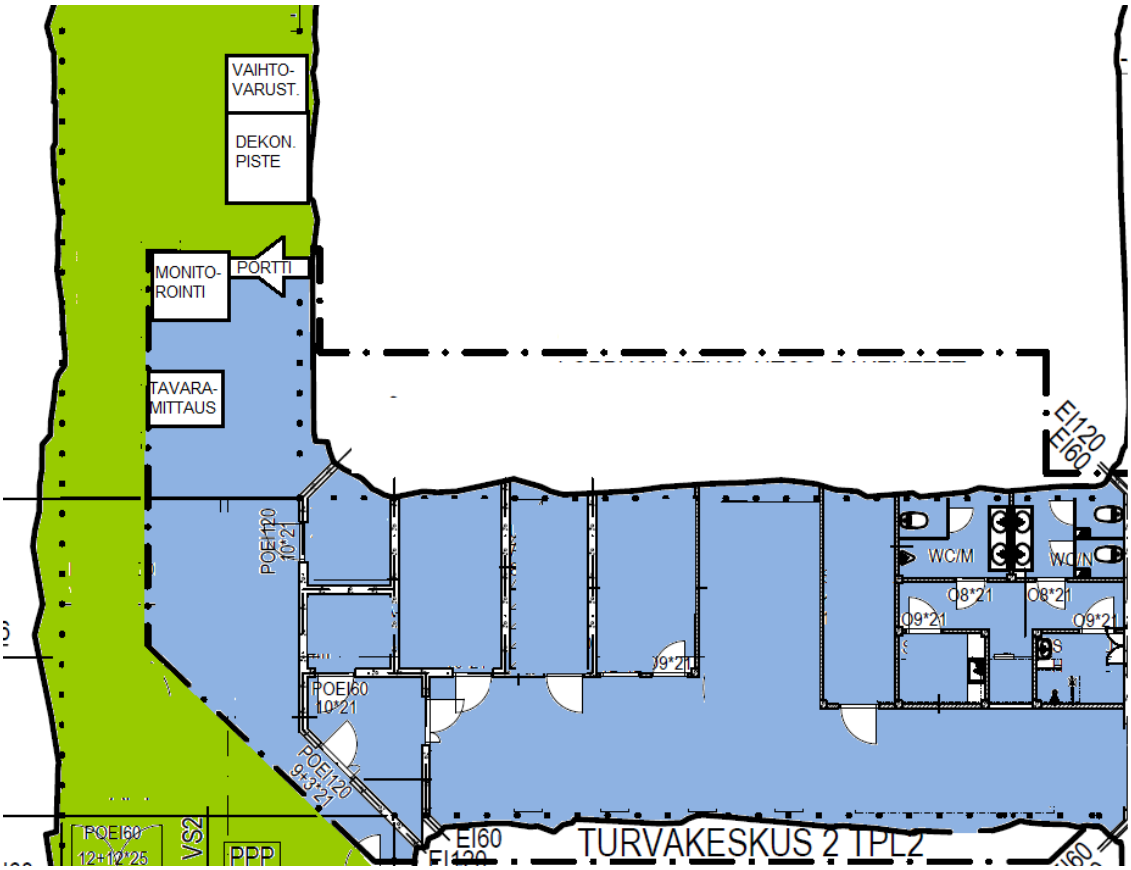
Kuva 14. Loppusijoituslaitoksen suppean valvonta-alueen vaihtoehdot. Vasemmanpuoleisessa ratkaisussa kapselin kuljetusreitit voidaan toteuttaa etelään ja pohjoiseen. Oikeanpuoleisessa ratkaisussa kuljetusreitti on mahdollinen ainoastaan etelään.

Suppean vaihtoehdon säteilysuojeluvaatimuksena on, että teknisiin tiloihin on pystyttävä järjestämään valvonta- ja tarkkailualueiden poistumisprotokollan mukaiset toiminnot. Tarvittavat järjestelyt käsitellään tarkemmin seuraavassa luvussa.

Vaihtoehtoja punnitessa on otettava huomioon myös se, että ylemmällä tasolla olevalle laitosjätetilan valvonta-alueelle kuljetaan samalla henkilöhissillä kuin loppusijoituslaitokselle. Laajan valvonta-alueen ratkaisussa kaikki valvonta-alueille johtavat henkilökulkureitit ovat johdonmukaisesti saman tarkkailualueen sisällä. Laajan valvonta-alueen ratkaisu optimoi myös tilankäyttöä ja vähentää tarvittavien henkilömonitorien ja kenkärajajärjestelyjen määrää.

5.3 Loppusijoituslaitoksen pääkenkäraja ja tarkkailualue

Loppusijoituslaitoksen valvonta-alueen rajalla suoritetaan henkilöiden ja tavaroiden kontaminaatiomittaukset normaalin valvonta-alueen poistumiskäytännön mukaisesti. Kenkärajalle on lisäksi varattava työntekijöille pesutilat dekontaminointitarkoituksiin ja tilaa puhtaille vaihtovarusteille. Teknisten tilojen kenkärajajärjestelyt on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Loppusijoituslaitoksen pääkenkärajan mittausjärjestelyt.

Kuvaan 15 katkoviivalla merkitty valvonta-alueen ja tarkkailualueen välinen raja voidaan toteuttaa esimerkiksi verkkoaidalla. Monitorien ja dekontaminointipisteen paikkoja voi siirtää tilatarpeiden tai sähkö- ja vesikytkentöjen mukaan, kunhan dekontaminointipiste pysyy valvonta-alueen puolella. Aitaa voi siirtää, kunhan monitorit ja kulunvalvontaportti pysyvät valvonta- ja tarkkailualueiden rajapintana.

Jos valvonta-alueeksi rajataan teknisistä tiloista suppeampi vaihtoehto, tulee valvonta-alueen rajalle sijoittaa samat säteilysuojelutoiminnot kuin laajassa vaihtoehdossa. Maanalaiselle tarkkailualueen rajalle on sijoitettava samat säteilysuojelutoiminnot kuin nostinlaiterakennuksen 2. rajalle. Suppealle tarkkailualueelle olisi järjestettävä laitosvarusteiden säilytys- ja vaihtopiste, vaihtovarusteita, 2. rajan henkilömonitorointi ja dekontaminointipiste.

Lisäksi tarvittaisiin elektronisten dosimetrien ja henkilökohtaisten dosimetrien säilytystaulut sekä elektronisen dosimetrin luentalaite. Muussa tapauksessa loppusijoituslaitoksen puhtaalta puolelta valvonta-alueelle siirtyvien työntekijöiden olisi käytävä maan pinnalla nostinlaiterakennuksen rajalla hakemaan dosimetrit. Käytännössä teknisten tilojen suppean vaihtoehdon säteilysuojeluvaatimusten täyttäminen voi osoittautua hyvinkin epäkäytännölliseksi.

5.4 Kontaminaatio loppusijoituslaitoksella

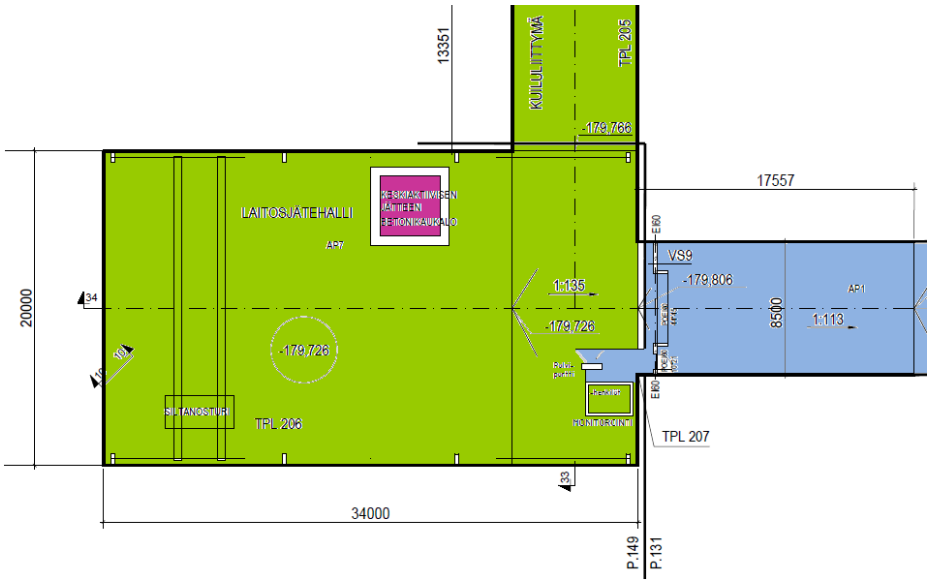
Laitossuunnittelussa ja alustavissa säteilysuojeluanalyyseissa on oletettu, että loppusijoituslaitoksella ei esiinny kontaminaatiota, koska kapselointiprosessin oletetaan olevan tiivis. Ydinlaitoksella on kuitenkin varauduttava jollain tavalla kontaminaation hallitsemiseen ja rajaamiseen. Loppusijoituslaitoksen valvonta-alueelta poistuvien työntekijöiden ja tavaroiden kontaminaatiomittaukset ovat osa kontaminaatiotilanteen seurantaa. Lisäksi loppusijoituslaitoksen valvonta-alueella on tehtävä säännöllistä kontaminaatioseurantaa. Operatiivista kontaminaationhallintaa käsitellään tarkemmin luvussa 12.

Loppusijoituslaitoksen puolelle voi levitä kontaminaatiota, jos kapselointilaitoksen kontaminaationhallinta pettää. Häiriö voi tapahtua itse kapselointiprosessissa tai muualla kapselointilaitoksella. Toinen mahdollinen syy loppusijoituslaitoksen kontaminoitumiselle on rakenteiden aktivoituminen loppusijoituslaitoksen kapselivarastossa. Aktivoituneista rakenteista saattaa ajan myötä irrota kontaminoitunutta pölyä loppusijoituslaitokselle. Vaikka kapselointilaitoksen kontaminaationhallinnan oletettaisiin toimivan aina, ei voida täysin sulkea pois kontaminaation joutumista loppusijoituslaitokselle sen sadan vuoden käyttöiän aikana.

5.5 Maanalainen laitosjätetila

Posivan laitoksilla syntyvät laitosjätteet sijoitetaan joko maanalaiseen luolaan tai Olkiluodon voimalaitosjätteen loppusijoitusluoliin. Jos Posivalle rakennetaan oma laitosjätteiden loppusijoitustila, tulee sen sijainti olemaan maan alla 180 metrin syvyydessä. Laitosjätetila on loppusijoituslaitoksen ajotunneliston varrella ja siihen on yhteys myös kapselihissikuilusta.

Laitosjätetilaan sijoitetaan aktiivisia jätteitä ja polttoaineen kuivauksesta syntyneiden viemärivesien kiinteytysjätetynnyreitä. Tila on säteilytasonsa vuoksi määriteltävä valvonta-alueeksi. Laitosjätetilan kenkärajajärjestelyt on esitetty kuvassa 16, vyöhykejaon mukaisesti värikoodattuna. Kuvassa violetiksi luokiteltu alue on keskiaktiivisten jätetynnyreiden loppusijoituskaukalo. Kuvaan sinisellä merkitty tarkkailualue jatkuu 1. rajan monitorilta kuvan ulkopuolelle, 2. rajan monitoroinnille asti.



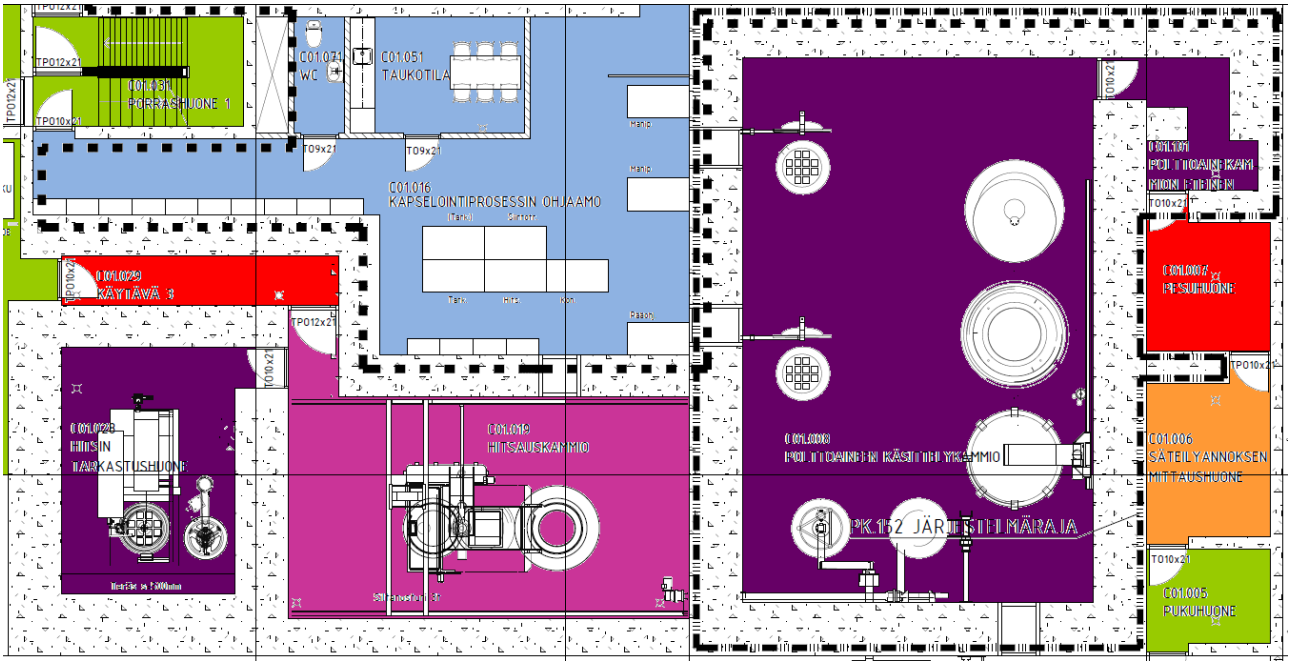
Kuva 16. Laitosjätetilan valvonta-alue on jaettu alueiden säteilytasojen mukaisiin vyöhykkeisiin.

Kuvan yläreunassa näkyy kapselikuilun liittymä. Jos laitosjäteluolan kapselikuiluliittymä luokitellaan valvonta-alueeksi, voidaan siellä tarvittaessa käydä laitosjäteluolan kautta. Kulku kuiluliittymälle tulee kuitenkin estää säteilytasoa nostavien siirtojen ajaksi.

6 KAPSELOINTIPROSESSIN SÄTEILYTYÖVAIHEET

Kapselointiprosessin työvaiheisiin liittyy useita säteilysuojelullisia näkökohtia. Säteilysuojelun tarpeen aiheuttavat käytetyn polttoaineen voimakas säteilytaso, hitsin tarkastuslaitteiston säteilyvaara ja polttoaineen käsittelyn aiheuttama kontaminaatioriski. Paljasta polttoainetta käsitellään polttoaineen käsittelykammiossa. Tässä luvussa kuvataan valvonta-alueella tehtävän polttoaineen kapseloinnin työvaiheet ja niiden säteilysuojeluvaatimukset. Säteilysuojelutoimia vaativat työvaiheet käydään läpi tarkemmin ja niille määritellään tarvittavat säteilysuojelutoimet.

Kapselointilaitoksen työvaiheet polttoaineen siirtosäiliön vastaanottamisesta ja käsittelykammioon telakoimisesta eteenpäin suoritetaan kaukokäyttöisesti. Prosessia ohjataan kapselointiprosessin ohjaamosta. Polttoaineen käsittelykammio, hitsauskammio, hitsin tarkastushuone ja kapselointiprosessin ohjaamo on esitetty kuvassa 17. Kuvaan on merkitty tilojen säteilytason mukainen vyöhykejako.



Kuva 17. Polttoaineen käsittelykammio (oikealla), hitsauskammio (keskellä), hitsin tarkastushuone (vasemmalla alhaalla) ja kapselointiprosessin ohjaamo (vasemmalla ylhäällä). Kuva on värikoodattu säteilytasojen mukaisella vyöhykejaolla.

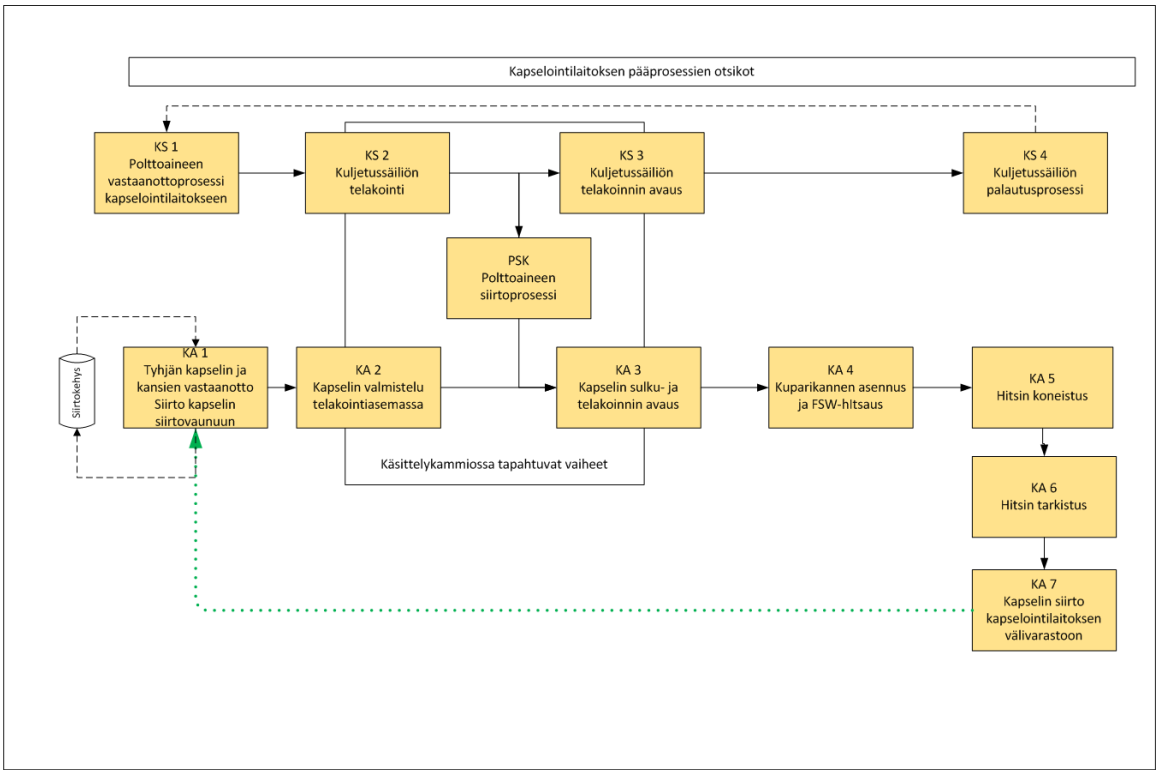
Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttötoiminta on suunniteltava niin, että ihmisten pääsy vahingossa käytetyn polttoaineen tai täyden kapselin lähelle estetään. Näin minimoidaan käytetyn polttoaineen aiheuttamat vahinkoannokset. Lisäksi on estettävä henkilöiden joutuminen kapselihitsin röntgentarkastuslaitteen keilaan, joka on vaarallisen voimakas. Laitosten rakenteet suunnitellaan siten, että ne tarjoavat riittävän säteilysuojan kaukokäyttöisissä vaiheissa seinien läpi. Polttoaineen ja kapselin siirtoreitit eristetään ja tyhjennetään ihmisistä etäisyydellä, jolla säteilytaso on kohonnut.

Lähityövaiheisiin sovelletaan ALARA -periaatetta eli pyritään pitämään henkilöiden säteilyaltistus mahdollisimman vähäisenä. Lähityönä suoritetaan normaalisti ainoastaan polttoaineen vastaanoton ja telakointiasemaan siirtämisen aputoimet. Säteilyaltistus pidetään mahdollisimman vähäisenä minimoimalla henkilöiden altistusaika, pitämällä mahdollisimman suuri etäisyys polttoaineen kuljetussäiliöön ja estämällä tarpeeton oleskelu polttoaineen säteilyn vaikutusalueella.

Kapseloinnin kontaminaatiohallinnan vaatimukset ovat, että kapselin sisäkansi on suljettu tiiviisti, kontaminaatiota ei leviä kapselin ulkopinnoille ja käsittelykammion ja siirtokäytävien ilmatilat eivät sekoitu. Kontaminaatio ei saa levitä käsittelykammiosta kuljetussäiliön siirtokäytävään tai kapselin siirtokäytävään. Kapseli suunnitellaan tiiviiksi ja sen tiiveys varmistetaan kapseloinnin jälkeen hitsin NDT -tarkastuksilla. Kapselin tiiveys on edellytys sille, että kontaminaatio ei leviä laitoksilla. Kapselin ulkopinnan puhtaus varmistetaan kontaminaatiomittauksilla kaukokäyttöisen robotin avulla.

Täytetyn ja suljetun kapselin käsittelyn työvaiheissa säteilysuojeluvaatimukset liittyvät suorasäteilyltä suojautumiseen ja prosessin kaukokäyttöisyyteen. Normaalitilanteessa täyden kapselin lähelle ei tarvitse mennä.

Kapselointilaitoksen pääprosessien työvaiheet on esitetty lohkokaaviona kuvassa 18. Kaavioon on merkittynä myös tyhjän kapselin valmistelutoimenpiteet, jotka eivät vaadi säteilysuojelullisia toimenpiteitä.



Kuva 18. Kapselointilaitoksen pääprosessin vaiheet (Suikki 2015).

Kapselointiprosessin säteilysuojelunäkökohtia sisältävät työvaiheet etenevät prosessikuvauksen työvaihenumerointia mukaillen seuraavasti:

KS 1 Polttoaineen vastaanottoprosessi kapselointilaitokseen

KS 2 Kuljetussäiliön (polttoaineen siirtosäiliön) telakointi käsittelykammioon

KS 3 Kuljetussäiliön telakoinnin avaus

KS 4 Kuljetussäiliön palautusprosessi

PSK Polttoaineen siirtoprosessi

- Polttoainenipun nosto ja siirto kuivausasemaan
- Polttoaineen kuivaus (Olkiluodon polttoaine)
- Polttoaineen nosto ja siirto loppusijoituskapseliin

KA 3 Kapselin sulku ja telakoinnin avaus

Kapselin kaasunvaihto ja sisäkannen sulku

Telakoinnin avaus

Täyden kapselin pintakontaminaatiomittaus

KA 4 Kapselin kuparikannen asennus ja hitsaus

KA 5 Hitsin koneistus

KA 6 Hitsin tarkastus

Kapselin siirto tarkastushuoneeseen

Hitsin tarkastukset

KA 7 Kapselin siirto kapselointilaitoksen välivarastoon

Kapselin siirto kapselinsiirtovaunusta siirtotrukin päälle

Kapselin siirto kapselointilaitoksen kapselivarastoon

Seuraavissa luvuissa kuvataan kapselointiprosessin kulku ja työvaiheiden säteilysuojelutoimenpiteet. Polttoaineen käsittelykammio on operatiivisen säteilysuojelun kannalta kriittinen kohde ja siihen liittyvät operatiiviset säteilysuojelutoimet kuvataan omassa luvussaan.

6.1 Polttoaineen kuljetussäiliön vastaanotto ja telakointi käsittelykammioon

Polttoaine saapuu kapselointilaitokselle polttoaineen vastaanottotilaan. Polttoaine saapuu polttoaineen kuljetussäiliössä, joka tuodaan kapselointilaitokselle kuljetusajoneuvolla. Polttoaineen vastaanoton telakoinnin ja sen purun työvaiheet ovat tiivistettyinä seuraavat:

- Kuljetussäiliön sääsuojan huuhtelu (Loviisan polttoainekuljetus)
- Polttoaineen vastaanottotilan valmistelut
- Kuljetussäiliön ja kuljetusajoneuvon ajaminen vastaanottotilaan
- Säteilysuojelun vastaanottotarkastus kuljetussäiliölle

- Täyden kuljetussäiliön työvaiheet:
    - Nostotyökalujen kiinnitys ja nostovalmistelut
    - Kuljetussäiliön nosto ja siirto polttoainesäiliön siirtokäytävään tai välivarastopaikalle
    - Kuljetussäiliön pinnan dekontaminointi siirtokäytävällä (tarvittaessa)
    - Nostotyökalujen irrotus ja telakointivalmistelut siirtokäytävällä
    - Kuljetussäiliön ilmatilan paineentasaus ja ilmankontaminaationäyte
    - Kuljetussäiliön säteilysuojakannen pulttien avaus
    - Nostovalmistelut ja kuljetussäiliön nosto telakointiin
- Tyhjän kuljetussäiliön työvaiheet:
    - Telakoinnin purku ja nosto polttoaineen siirtokäytävälle
    - Kuljetussäiliön kannen ja telakoinnin sovitusrenkaan kontaminaatiomittaus
    - Kuljetussäiliön kannen ja sovitusrenkaan dekontaminointi (tarvittaessa)
    - Kuljetussäiliön kansien kiinnitys
    - Kuljetussäiliön siirto vastaanottotilaan
    - Kuljetussäiliön ja siirtolavetin ulosmittaus
    - Kuljetussäiliön siirto ulos

Kuljetussäiliölle tehtävissä työvaiheista säteilyaltistusta aiheuttavia työvaiheita ovat kuljetussäiliön nostoja edeltävät nostotyökalujen kiinnitykset, kuljetussäiliön säteily- ja kontaminaatiomittaukset, kuljetussäiliön mahdollinen dekontaminointi sekä kuljetussäiliön kansien avaukset ja kiinnitykset. Huomioitavia näkökohtia ovat kuljetussäiliön suorasäteily ja mahdollinen kontaminaatio. Kontaminaatiota voi olla säiliön pinnalla, säiliön kannen alla tai ilmakontaminaationa polttoaineen ilmatilassa.

Kuljetuksen vastaanottamisen valmistelevat toimet

Ensimmäinen työvaihe on Loviisan polttoaineen siirtosäiliön sääsuojan sekä renkaiden huuhtelu tarvittaessa. Tämä suoritetaan ulkona tai erillisessä puhtaan puolen pesuhallissa ennen säiliön tuomista polttoaineen vastaanottotilaan.

Ennen kuljetuksen vastaanottamista polttoaineen vastaanottotilaan perustetaan puhtaaksi luokiteltu alue valvonta-alueen sisälle. Polttoaineen kuljetussäiliö ja sen siirtoajoneuvo ajetaan tälle väliaikaiselle puhtaalle alueelle, joka on rajattu puhtaalla kenkärajalla. Näin toimimalla kuljetusajoneuvoa ei tarvitse ulosmitata kokonaan ennen sen ajamista takaisin ulos. Kyseinen käytäntö nopeuttaa ja yksinkertaistaa toimintaa.

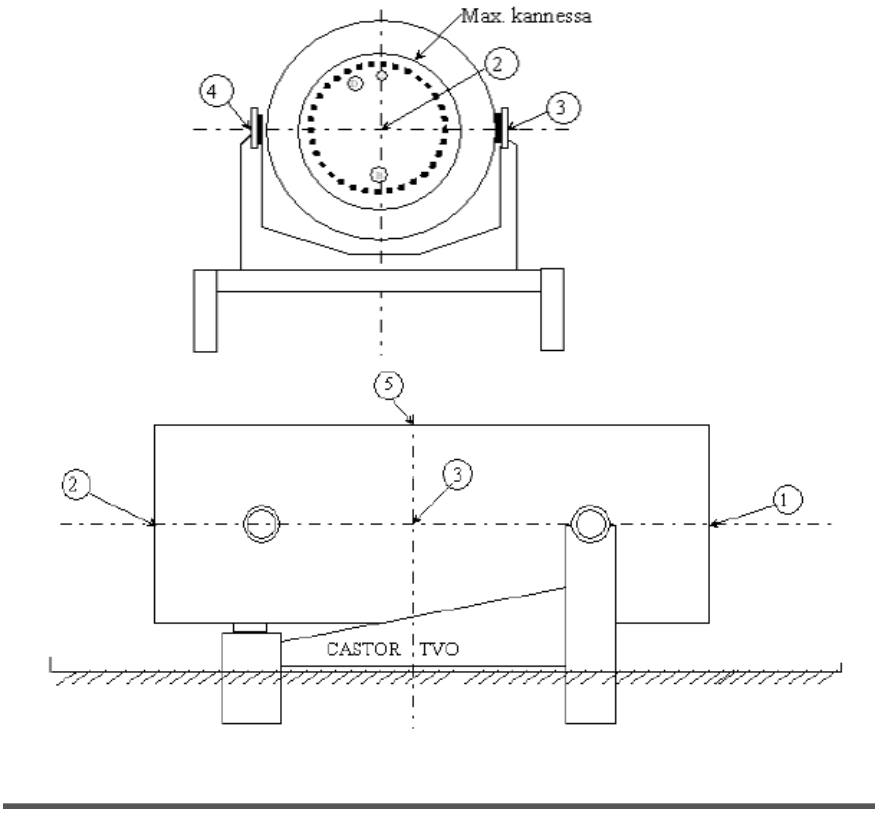
Puhdasalueen perustamisessa ja toiminnassa voidaan noudattaa TVO:n ohjetta 115813, joka käsittelee puhtaan alueen perustamista ja toimintaa sen sisällä (Hietalahti 2011). Vastaanottotilan lattian puhtaus todennetaan kontaminaatiomittauksilla. Puhdasalueen rajaaminen ja kenkärajan perustaminen suoritetaan ennen vastaanottotilan ovien avaamista.

Kuljetussäiliön vastaanotto sekä säteilytaso- ja kontaminaatiomittaukset

Vastaanottotilan puolella kuljetussäiliölle tehdään sääsuojan poistamisen jälkeen säteilytaso- ja kontaminaatiomittaus. Kontaminaatio- ja säteilytasomittaukset voidaan suorittaa kuljetussäiliön ollessa siirtolavetin päällä tai vastaanottotilan välilaskupaikalla. Mittaus suoritetaan ennen muita kuljetussäiliölle tehtäviä toimenpiteitä, jotta mahdollinen kontaminaatio ei ropise siirtoreitille ja säteilytaso on tiedossa ennen säiliön lähestymistä.

Säteilytaso mitataan suorasäteilymittareilla. Kuljetuksen säteilytason voidaan olettaa noudattavan IAEA:n (International Atomic Energy Agency) ohjeistusta, jonka mukaan suurin sallittu säteilytaso kuljetuspakkauksen läpi tavanomaisilla turvajärjestelyillä lähetettävällä kuljetuksella on 2 mSv/h (IAEA 2008, 107).

Jos kuljetussäiliölle lähtöpisteessä suoritetuista säteilymittauksista on saatavilla mittauspöytäkirja, voidaan sen tietoja hyödyntää ja suorittaa säiliölle varmentava mittaus. Kuvassa 19 on esitetty Olkiluodon polttoaineen kuljetussäiliölle käytetyn polttoaineen varastolla suoritettavan mittauksen mittauspisteet, joista mitataan sekä gamma- että neutroniannosnopeudet (Tammela 2013, liite 2).



Kuva 19. Olkiluodon polttoaineen kuljetussäiliön säteilymittauspisteet.

Vaikka kuljetukselle on suoritettu lähtöpisteessä säteilymittaukset, on kuitenkin aiheellista suorittaa tarkemmat mittaukset säiliön nostovalmisteluissa käsiteltäville kohteille. Säiliön nostovalmistelut suoritetaan lähityöskentelynä.

Kuljetussäiliön kontaminaatiotaso mitataan pyyhkäisynäytteillä, jotka analysoidaan analysointilaitteessa. Jos siirtosäiliön pinta osoittautuu kontaminoituneeksi, se nostetaan alemmalla tasolla sijaitsevaan kuljetuskäytävään dekontaminoitavaksi. Tämän jälkeen pinnoille suoritetaan uusi mittaus. Kuljetussäiliön ollessa kontaminoitunut, myös vastaanottotilan puhtaaksi luokitellulle alueelle ja siirtolavetille on suoritettava kontaminaatiomittaukset ennen siirtoajoneuvon ajamista ulos.

Kuljetussäiliöille on polttoaineen vastaanottotilassa varastointitila, joka on säteilysuojattu ja huomioi jälkilämmönpoiston. Jos säiliö ei ole kontaminoitunut, se voidaan nostaa joko vastaanottotilan varastopaikalle tai suoraan kuljetussäiliön siirtokäytävään. Jos kuljetussäiliö nostetaan vastaanottotilan varastopaikalle, myöhemmin tapahtuva nosto kuljetussäiliön siirtokäytävään tapahtuu samoilla nostotoimenpiteillä kuin suoraan vastaanottopaikalta.

Kuljetussäiliön nostovalmistelut, nosto ja siirto

Kuljetussäiliön nostovalmistelujen työvaiheessa säiliöön kiinnitetään nostotyökalut. Nostotyökalujen kiinnittämisestä aiheutuu jonkin verran säteilyaltistusta työntekijöille. Työn kesto on kuitenkin niin lyhyt, että estettä työn tekemiselle ei ole. Jos kuljetussäiliö siirretään varastointitilan kautta, nostovalmistelujen työvaiheet on suoritettava kahteen kertaan. Nostotyökalut voidaan kiinnittää lähityöskentelynä myös vastaanottotilan varastointitilassa, jossa nostotyökalujen kiinnittämistä edeltää säteilyvalvoja suorittamat säteilytasomittaukset.

Nostotyökalujen kiinnityksessä käytetään suojavarustusta, jos säiliön pinta on kontaminoitunut nostotyökalujen kiinnityskohtien läheltä tai kiinnityskohdista. Säteilyvalvojan määrittää suojavarustuksen. Nostotyökalujen kiinnittämisen jälkeen kuljetussäiliö nostetaan ja siirretään vastaanottotilan siltanostimella.

Kuljetussäiliön siirtokäytävässä polttoaineen kuljetussäiliö lasketaan kuljetussäiliön siirtovaunun päälle. Nostovälineiden irrotus tehdään luultavasti henkilötyönä, joten siitäkin aiheutuu jonkin verran säteilyaltistusta. Työvaiheen voidaan olettaa olevan suhteellisen nopea, joten se voidaan tässäkin vaiheessa tehdä henkilötyönä.

Kuljetussäiliön ilmatilan kontaminaatiomittaus

Kuljetussäiliön ilmatilasta otetaan ilmanäyte ennen kuljetussäiliön pulttien avaamista. Ilmanäyte otetaan säiliön ollessa kuljetussäiliön siirtokäytävässä ja samalla tasataan kuljetussäiliön paine. Ilmanäytteestä havaitaan mahdollinen kuljetussäiliön sisällä oleva ilmakontaminaatio.

Kuljetussäiliöiden tarkempaa rakennetta ei vielä tiedetä. Jos säiliössä on useampi kaasutila, tulee ilmanäyte pystyä ottamaan polttoainesäiliön varsinaisesta ilmatilasta. Ilmanäyte on otettava polttoaineen ilmatilasta, jotta polttoaineesta mahdollisesti vapautuneet radionuklidit havaitaan ennen säiliön sisäkannen avaamista. Ilmanäyte tulee lisäksi pystyä ottamaan niin, että mahdollinen ilmakontaminaatio ei leviä näytteenoton yhteydessä siirtokäytävän ilmatilaan

Ilmakontaminaatio aiheuttaa suojautumistarpeen hengityssuojaimin ja jatkotoimenpiteet riippuvat radionuklidien ilmakonsentraatiosta. Jos ilmanäytteessä on havaittu lievää ilmakontaminaatiota ja pultteja avataan kuljetussäiliön siirtokäytävällä, pulttien avaajat ja lähellä oleskelevat käyttävät hengityssuojaimia. Jos säiliön ilmatilassa on merkittävästi kontaminaatiota, ei säiliötä voi avata kuljetussäiliön siirtokäytävällä.

Ilmakontaminaatio säiliön ilmatilassa on indikaatio polttoaineen rikkoutumisesta. Tähän liittyen on tehtävä jatkoselvityksiä siitä, miten rikkoutuneen polttoaineen tapauksessa toimitaan ja millaisilla ilmakontaminaatiorajoilla normaalia kapselointiprosessia voidaan jatkaa.

Säteilysuojakannen pulttien avaus ja kuljetussäiliön telakointi käsittelykammioon

Ilmanäytteen ottamisen jälkeen siirtosäiliön säteilysuojakannen pultit on tarkoitus avata kuljetussäiliön siirtokäytävällä. Pulttien avaaminen käsin kuljetussäiliön siirtokäytävän puolella aiheuttaa säteilyaltistusta työn suorittajille ja työssä on kontaminaatioriski. Jos avataan säiliötä, jonka ilmatila on lievästi kontaminoitunut, pulttien avaaminen käytävällä aiheuttaa ilmakontaminaation leviämisriskin tilaan, jossa on ihmisiä.

Säteilysuojelullisesti paras vaihtoehto olisi avata kaikki pultit kaukokäyttöisesti käsittelykammion manipulaattoreilla telakoinnin jälkeen. Jos tämä ei ole käytännön toimenpitein mahdollista, voidaan ainakin viimeiset pultit jättää käsittelykammion manipulaattoreilla avattavaksi. Jos polttoaineen siirtosäiliössä on useampi kansi, on ulomman kannen alta ja säiliön sisäpuolen pinnoilta otettava pintakontaminaationäytteitä ennen seuraavan kannen avaamista. Jos näytteissä havaitaan kontaminaatiota, säteilyvalvoja määrää suojavarusteet kuljetussäiliötä käsitteleville työntekijöille. Kontaminoituneita pintoja pyyhitään tarvittaessa.

Sisemmän kannen pulttien avaamisen jälkeen säiliö nostetaan siirtolaitteistolla käsittelykammion telakointiasemaan ja säiliö telakoidaan tiiviisti käsittelykammioon. Tiiviin telakoinnin ansiosta kontaminaation leviämistä käsittelykammion ja siirtokäytävän välillä ei pitäisi tapahtua. Polttoaineen siirtosäiliön telakointi ja seuraavissa työvaiheissa suoritettavat käsittelykammion suojakansien avaamiset on suoritettava niin, että ilmayhteyttä käsittelykammion ja siirtokäytävien välillä ei synny.

Mahdollisesti käsittelykammion puolella avattaville pulteille on suunniteltava laskupaikka. Kun käsittelykammion puolella olleita pultteja lasketaan takaisin siirtokäytävän puolella, niille on suoritettava kontaminaatiomittaukset.

Tyhjän kuljetussäiliön telakoinnin purku ja siirto vastaanottotilaan

Kapselointiprosessin lopussa polttoaineen kuljetussäiliön säteilysuojakansi nostetaan takaisin polttoaineen kuljetussäiliön päälle. Tyhjä kuljetussäiliö irrotetaan käsittelykammion telakoinnista ja se lasketaan takaisin siirtokäytävän puolelle. Jos säteilysuojakannen pultit on avattu käsittelykammiossa, on pulttien kiinnitys järkevää tehdä kaukokäyttöisesti käsittelykammion puolella. Näin työntekijöiden ei tarvitse käsitellä mahdollisesti kontaminoituneita pultteja.

Kuljetussäiliön säteilysuojakannen alatiivistepinta on oletettavasti pyyhittävä ennen sen kiinnittämistä säiliön päälle. Pyyhintä on paras suorittaa käsittelykammion puolella, mieluiten manipulaattorien avulla. Teoriassa on myös mahdollista mennä käsittelykammioon suorittamaan pyyhintä kapseloinnin päätyttyä, jos siirtosäiliön säteilysuojakannen alapinta on käsipyyhinnällä tavoitettavassa asemassa. Rutiininomaista käsipyyhintää ei kuitenkaan ole säteilysuojelullisesti perusteltua suorittaa kammiossa ennen kuin täysi kapseli on siirretty pois omasta telakointiasemastaan.

Kun kuljetussäiliö on laskettu kuljetussäiliön siirtokäytävälle, säteilysuojakannen yläpinnoille ja telakointiaseman sovitusrenkaalle suoritetaan kontaminaatiomittaukset. Varmistustoimenpiteenä säteilyvalvoja mittaa kontaminaatiomittauksen yhteydessä myös tyhjän säiliön suorasäteilyn. Käsittelykammiossa kontaminoituneet kappaleet dekontaminoidaan pyyhkimällä ja mitataan uudestaan. Mittaus ja dekontaminointi suoritetaan ennen muita työvaiheita. Jos kuljetussäiliön säteilysuojakannen pultit kiinnitetään vasta käytävällä, se tehdään mittausten jälkeen.

Jos jossain tilanteessa säteilysuojakansi joudutaan nostamaan kokonaan pois säiliön päältä ja ihmisen on mentävä avoimen siirtosäiliön suuaukolle, säteilyvalvoja mittaa säteilytasot avoimelta suuaukolta ennen työn suorittamista.

Kansien kiinnityksen jälkeen säiliö siirretään takaisin vastaanottotilaan samoilla siirto- ja nostotoimenpiteillä kuin kammioon päin siirrettäessä. Tyhjän kuljetussäiliön ei pitäisi juurikaan säteillä, joten siirrossa ei ole säteilysuojelunäkökohtia kansien sulkemisen jälkeen.

Kuljetussäiliö lähetetään takaisin Loviisaan tai Olkiluotoon polttoaineen vastaanottotilasta. Ennen kuljetussäiliön siirtämistä valvonta-alueen ulkopuolelle on suoritettava säiliön ulosmittaus. Ulosmittaus sisältää kontaminaatiomittauksen, säteilytasomittauksen ja tarvittavien merkintöjen tekemisen radioaktiiviselle kuljetukselle tai siirrolle.

6.2 Polttoaineen käsittelykammio

Polttoaineen kapselointi suoritetaan polttoaineen käsittelykammiossa, joka on ulkoisen säteilyn suhteen tummanviolettia vyöhykettä 5. Henkilökulkua käsittelykammion eteishuoneisiin polttoaineen kapseloinnin aikana on rajoitettava. Käsittelykammion eteishuoneiden kenkärajajärjestelyt ja kenkärajaylitysten toimintamalli käsiteltiin luvussa 4.2. Eteishuoneen C01.006 oranssin kenkärajan rajapinta on säteilytason suhteen oranssia vyöhykettä kapseloinnin aikana. Huoneen C01.007 punainen kenkäraja on punaisella vyöhykkeellä säteilytason suhteen. Tarpeeton kulku eteishuoneisiin on syytä estää kokonaan kapseloinnin ajaksi.

Tyhjän käsittelykammion säteilytasojen ei ole syytä olettaa olevan mainittavasti koholla. Tyhjällä käsittelykammiolla tarkoitetaan tilannetta, jossa sekä kammio että kaikki polttoaineen käsittely- ja kapselointiasemat ovat tyhjinä.

Polttoaineen kuivaus- ja kapselointiasemien sekä siirtosäiliön telakointiaseman kannet toimivat säteilysuojina käsittelykammioon päin. Kannet on tarkoitus suunnitella poikkeustilanteiden varalta niin, että lyhyet käynnit kammiossa ovat mahdollisia myös kapseloinnin aikana. Käyntien edellytyksenä on, että polttoainenippuja ei ole ilmassa ja kaikkien käsittelyasemien kannet ovat kiinni. Henkilökäyntejä kapseloinnin aikana on kuitenkin pyrittävä välttämään, jos kaukokäyttöisiä vaihtoehtoja on olemassa. Gamma- ja neutronisäteilyn yhteenlaskettu annosnopeus kuivausaseman kannen läpi on säteilytasolaskelmien mukaan noin 300µSv/h (Kärkkäinen 2015b). Tällainen säteilytaso mahdollistaa lyhyen työskentelyn.

Gammasäteilyä vaimentavilla ja neutroneita absorboivilla materiaaleilla voidaan tarvittaessa rakentaa väliaikaisia säteilysuojia. Käsittelykammion menoa edeltävät aina säteilyvalvojan suorittamat säteily- ja kontaminaatiomittaukset. Lisäksi käytetään säteilyvalvojan määrittämää, punaiselle vyöhykkeelle soveltuvaa suojavarustusta.

Käsittelykammioon on tämänhetkisten suunnitelmien mukaan tulossa materiaaliluukku kammion sisäänkäynnille johtavalle käytävälle, tilaan C01.006 tai C01.007. Jos kapseloinnin aikana on päästävä materiaaliluukulle, säteilytasot luukulla on tarkistettava ennen sen lähestymistä. Käsittelykammion katosta on luukkuyhteys dekontaminointikeskukseen. Materiaaliluukkujen kautta kammion ulkopuolelle siirrettäville tavaroille on suoritettava kontaminaatio- ja säteilytasomittaukset. Materiaaliluukun säteilysuojauksesta on huolehdittava ja säteilytasot on mitattava, jos luukulla käydään dekontaminointikeskuksen puolelta kapseloinnin aikana.

Käsittelykammion telakointiasemien kannet pitävät käsittelykammion tiiviinä myös silloin kun telakointiasemissa ei ole kuljetussäiliötä tai kapselia. Jos kontaminaatiota kuitenkin jostain syystä leviää käsittelykammion telakoinneista tai kapselista kammion ulkopuolelle, käsittelykammioon yhteydessä olevat käytävät eristetään lisäkenkärajojen sisään.

Henkilökäynnit ja käsittelykammion dekontaminointi

Säteilyvalvoja käy mittaamassa käsittelykammion kontaminaatio- ja säteilytasot ennen kaikkia polttoaineen käsittelykammion henkilökäyntejä. Säteilytasomittauksessa mitataan kammion säteilyn yleistaso, säteilytaso työkohteella ja työkohteen säteilytasoihin vaikuttavat kuumat pisteet. Jos kapselissa, kuivausasemissa tai kuljetussäiliössä on polttoainetta, säteilyvalvoja mittaa säteilytasot myös kyseisten asemien säteilysuojakansien läpi. Säteilyvalvoja mittaa kohteilta sekä gamma- että neutronisäteilytasot Pintakontaminaationäytteitä otetaan kammiossa tehtävän työn kannalta relevanteilta pinnoilta ja työntekijöiden suojavarustus määritetään mittaustulosten perusteella. Ilmakontaminaationäytteitä otetaan säteilyvalvojan harkinnan ja tilanteen mukaan. Mittaustulokset merkitään käsittelykammion mittauspöytäkirjaan.

Polttoaineen käsittelykammio vaatii säännöllistä dekontaminointia. Polttoaineen siirtoreitin lisäksi polttoaineen siirtosäiliön säteilysuojakannen suojakansi ja loppusijoituskapselin suojakaulus voivat kontaminoitua voimakkaasti. Dekontaminointi tapahtuu manuaalisesti ja se suoritetaan rättipyyhinnällä, jotta viemärijärjestelmää ei kontaminoida tarpeettomasti.

Käsittelykammio on syytä dekontaminoida jokaisen siirtosäiliön tyhjennyksen jälkeen, jotta kammion kontaminaatiotasot pysyvät hallinnassa. Pintojen säännöllisellä pesulla kontaminaatio ei myöskään pinty pinnoille ja on helpompi puhdistaa. Kontaminaatiotasoja seurataan tiiviisti erityisesti käytön alkuvaiheessa ja dekontaminointi voidaan suorittaa myös joka kapselin jälkeen, jos kontaminaatiotasot ovat odotettuja korkeampia.

Kontaminoituneen käsittelykammion perussuojavarustukseen kuuluvat tiivis lisähaalari, puuvilla- ja kumikäsineet, oranssit ja punaiset kenkäsuojat, kertakäyttökengänsuojat ja hengityssuojain. Säteilyvalvoja määrittää suojavarustuksen kuitenkin tapauskohtaisesti ja työstä riippuen. Käsittelykammion dekontaminointitöissä on syytä pitäytyä täysvarustuksessa vedenpitävillä muovihaalareilla.

6.3 Polttoaineen kuivaus ja kapselointi

Kun polttoaineen siirtosäiliö on telakoitu käsittelykammioon, aloitetaan polttoaineen käsittely. Polttoaineen kuivaus- ja kapselointiprosessit voidaan jakaa seuraaviin vaiheisiin:

- Kuljetussäiliön telakointiaseman toimenpiteet
    - Telakoinnin suojakannen avaus
    - Kuljetussäiliön säteilysuojakannen nosto
    - Säteilysuojakannen lasku kammion lattialle
- Polttoaineen käsittelyprosessi (jokaiselle nipulle)
    - Polttoainenipun nosto ja siirto kuivausasemaan
    - Polttoaineen kuivaus (Olkiluodon polttoaine)
    - Polttoaineen siirto loppusijoituskapseliin
- Kapselin täytön jälkeiset toimenpiteet
    - Crudin pyyhintä kapseliin
    - Täyden kapselin kaasunvaihto
    - Kapselin sisäkannen sulku

- Kapselin telakoinnin avausvalmistelut
- Kapselin telakoinnin avaus
- Kapselin irrotus telakoinnista
- Kapselin lasku kapselinsiirtokäytävälle

Normaalitilanteessa kammioon ei mennä polttoaineen käsittelyn aikana. Näin ollen normaalin kapseloinnin aikana ei suoriteta myöskään operatiivisia säteilysuojelutoimenpiteitä käsittelykammiossa. Kapselointiprosessin aikaisten poikkeuksellisten henkilökäyntien säteilysuojelutoimet kuvattiin edellisessä luvussa.

Polttoaineen siirto- ja kuivausprosessi

Polttoaineen kaukokäyttöinen käsittelyprosessi alkaa kuljetussäiliön telakoinnin ja säteilysuojakannen pulttien avaamisen jälkeen nostamalla kuljetussäiliön säteilysuojakansi käsittelykammion puolelle. Säteilysuojakansi lasketaan käsittelykammion lattialle välitukien päälle. Käsittelykammion kiinteään laitteistoon kuuluva telakointiaseman suojakansi nostetaan säteilysuojakannen päälle, jotta vältetään säteilysuojakannen kontaminoituminen. Tästä huolimatta on mahdollista, että säteilysuojakansi kontaminoituu kammiossa ollessaan.

Polttoaineen kuivaus suoritetaan nostamalla polttoaineniput yksitellen polttoaineen kuivauskammioiden polttoainetelineisiin, joissa ne kuivataan tyhjökuivauksella. Voidaan olettaa, että polttoainesiirtojen aikana nippujen pinnasta karisee polttoaineen siirtoreitille aktiivista crudia.

Loviisan polttoaine saapuu tämänhetkisen tiedon mukaan kuivakuljetuksena ja Olkiluodon polttoaine märkäkuljetuksena. Näin ollen polttoaineen kuivaus suoritetaan ainoastaan Olkiluodon polttoaineelle. Kuivauksen jälkeen niput voidaan siirtää kapseliin.

Kapselin täyttö, sulkeminen ja telakoinnin avaus

Kuivatut niput nostetaan kapseliin ja kun kapseli on täynnä, polttoainesiirtojen akana karissut crud pyyhitään kapselin sisäpuolelle. Pyyhintä tehdään käsittelykammion etäkäyttöisillä manipulaattoreilla. Tämän jälkeen kapselin sisätilalle suoritetaan kaasunvaihtokuvun avulla kaasunvaihto. Tämän jälkeen kapselin sisäkansi suljetaan. Jos kapselille ei suoriteta varsinaista tiiveystarkastusta, on sen sulkeminen toteutettava sellaiseen tiiveyteen, ettei mahdollinen kapselin sisällä oleva ilmakontaminaatio lisää kapselointilaitoksen päästöjä.

Kapselin sisäkannen sulkemisen jälkeen telakointi avataan ja kapselin irrotetaan telakoinnista. Telakoinnin avauksessa käytetään erotuskantta, joka edesauttaa sitä, että kontaminaatiota ei leviä kapselin ulkoreunoille tai kapselin siirtokäytävään. Tämän jälkeen kapseli nostetaan kaukokäyttöisesti käsittelykammion alapuolella olevalle kapselin siirtokäytävälle. Normaalitilanteessa näissä työvaiheissa ei tarvita operatiivisen säteilysuojelun toimia.

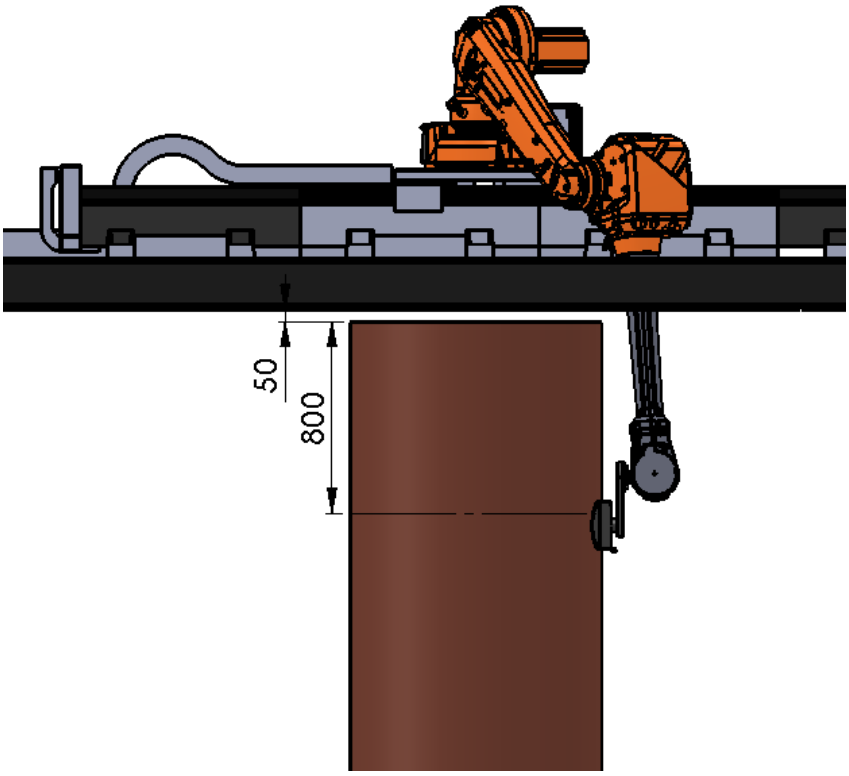
6.4 Täyden kapselin kontaminaatiomittaus ja siirto hitsauskammioon

Täysi loppusijoituskapseli siirretään kaukokäyttöisesti kapselin siirtokäytävää pitkin hitsauskammion alapuolelle. Kapselin ulkopinnoilta otetaan kontaminaationäytteet näytteenottorobotilla ennen kapselin nostoa hitsauskammion telakointiin. Kapseli voidaan nostaa telakointiin, jos se ei ole kontaminoitunut. Kapselin siirron ja näytteenoton työvaiheet ovat normaalitilanteessa seuraavat:

- Kapselin siirto hitsauskammion alapuolelle
- Kapselin kontaminaationäytteenotto
    - Kontaminaationäytteen analysointi
- (Kontaminoituneen kapselin toimenpiteet)
- Puhtaan kapselin nosto hitsauskammion telakointiin

Ennen kapselin nostoa otettavilla pyyhintänäytteitä todetaan kapselin yläosan ulkopinnan puhtaus tai käsittelykammiosta levinnyt kontaminaatio. Näytteenottorobotti on hitsauskammion puolella oleva manipulaattori, joka yltää 80 cm kapselin kylkeä pitkin siirtokäytävän puolelle. Normaalitilanteessa ainoa tarvittava säteilysuojelutoimenpide on kapselin kontaminaationäytteiden analysointi. Kapselin ulkopinnan kontaminaatiotapaus on säteilysuojelutoimenpiteisiin johtava poikkeustilanne.

Näytteenottorobotti ottaa kontaminaationäytteet kapselin ulkopinnoilta ja tuo ne hitsauskammion seinässä olevalle luukulle, josta se käydään noutamassa mittaukseen. Näytteiden mittaus suoritetaan käsikäyttöisellä analysointilaitteella. Mittauslaite voidaan sijoittaa esimerkiksi polttoaineen käsittelykammion vihreän vyöhykkeen etuhuoneeseen. Mittaustulokset merkitään mittauspöytäkirjaan. Kuvassa 20 on esitetty näytteenottolaitteisto ja näytteenoton periaatekuva (Grönlund 2015, 17).



Kuva 20. Loppusijoituskapselin ulkopinnan kontaminaatiomittaus.

Jos missään näytteessä ei ole kontaminaatiota, voidaan olettaa kapselin olevan alempaakin puhdas, sillä vain kapselin yläreuna on käsittelykammion puolella kapseloinnin aikana. Jos jokin näytteistä on kontaminoitunut, toimenpiteet riippuvat siitä, voidaanko luotettavasti todeta kontaminaation olevan rajoittunut vain kapselin yläosaan. Kontaminoituneen kapselin tapaus käsitellään seuraavassa luvussa.

Jos kapselin ulkopinta voidaan todeta puhtaaksi, kapseli nostetaan ja telakoidaan hitsauskammioon, minkä jälkeen kapselin kuparikansi hitsataan kiinni. Kapselin hitsi koneistetaan hitsauskammion koneistusasemassa. Hitsaus ja koneistus eivät vaadi säteilysuojelutoimenpiteitä. Hitsin koneistuksen jälkeen kapseli irrotetaan hitsauskammion telakoinnista ja lasketaan takaisin siirtokäytävään.

Kontaminoitunut loppusijoituskapseli

Kapselin ulkopinnan ollessa kontaminoitunut, kapselia voidaan dekontaminoida näytteenottorobotilla kaukokäyttöisesti 80 cm matkalta kapselin kylkeä pitkin. Robottipyyhintä on riittävä, jos kontaminaatio on lievää ja voidaan olla täysin varmoja siitä, että kontaminaatio on rajoittunut ainoastaan aivan kapselin yläreunaan. Tällaisessa tapauksessa puhtaiden uusintanäytteiden jälkeen voidaan jatkaa hitsaukseen.

On kuitenkin huomioitava kaukokäyttöisen näytteenoton rajalliset mahdollisuudet, jos kontaminaatiota havaitaan alempaa kuin aivan kapselin yläreunasta. Kaukokäyttöisesti on hyvin vaikea varmistaa luotettavasi, että kontaminaatiota ei ole levinnyt alemmas. Jos ei voida luotettavasti todeta kontaminaation rajoittuneen pelkästään alueelle joka voidaan dekontaminoida robotilla, kapseli on tyhjennettävä jatkotutkimuksia varten. Tyhjennyksen jälkeen kapselista otetaan kontaminaationäytteet käsin ja tyhjän kapselin ulkopinta voidaan pyyhkiä käsin puhtaaksi.

Kontaminaation rajoittumista arvioitaessa on oltava konservatiivinen ja otettava huomioon, että kyseessä on suora polttoaineperäinen kontaminaatio. Polttoaineperäisessä kontaminaatiossa on aina olemassa kuumien hippujen eli erittäin aktiivisten, sähköisesti varattujen hiukkasten riski. Hiput voivat siirtyä pitkiäkin matkoja ja niitä on vaikea saada kiinni. Näin ollen niiden esiintymistä on hyvin hankala sulkea täydellä varmuudella pois tilanteessa, jossa näytteitä ei päästä ottamaan käsin.

Lisäksi kontaminaatiotapauksen laajuuden selvittämiseksi tulee päästä ottamaan kontaminaationäytteitä koko siirtoreitiltä. Näytteitä on otettava kapselin telakointiaseman ja hitsausaseman väliltä, kapselin telakointiasemasta ja itse kapselista. Kontaminaation leviäminen kapselin ja kammion ulkopuolelle on aina häiriötilanne jonka syy tulee selvittää ja korjata. On punnittava huolella, tulisiko kapseli systemaattisesti tyhjentää kontaminaatiotapauksissa. Näin toimimalla päästään tutkimaan kapselin telakointiaseman lisäksi esteettä myös koko kapselin pintaa.

Kontaminoituneen loppusijoituskapselin tapauksesta on syytä tehdä tarkempi säteilysuojeluanalyysi. On muodostettava systemaattinen toimintamalli sille, kuinka alas levinnyt ja kuinka voimakas kontaminaatio johtaa aina kapselin tyhjentämisen.

6.5 Kapselin hitsin tarkastukset ja röntgentarkastuslaitteisto

Hitsauksen ja koneistuksen jälkeen kapseli siirretään kapselin siirtokäytävää pitkin hitsin tarkastushuoneen alapuolelle. Kapseli nostetaan hitsin tarkastushuoneen telakointiin. Siirto ja nosto tapahtuvat edelleen kaukokäyttöisesti kapselinsiirtovaunulla. Kapselin hitsi tarkastetaan visuaalisesti, ultraäänellä, pyörrevirtatarkastuksella sekä röntgenkuvauksella. Tarkastuksista säteilysuojelunäkökohtia on ainoastaan röntgentarkastuksessa. Röntgentarkastuksen aikana tilassa ei saa olla ihmisiä.

Laitokselle suunnitellun röntgentarkastuslaitteiston käyttö aiheuttaa tilaan hengenvaarallisen säteilykeilan. Hitsin tarkastusten ehdoton säteilysuojeluvaatimus on, että hitsin röntgentarkastuslaitteisto ei voi mennä erehdyksessä tai käyttöhäiriön vuoksi odottamatta päälle. Teollisuusradiografian laitteiden turvallisuusvaatimuksia on esitetty STUK:n ST -ohjeessa 5.6 ja niitä on noudatettava laitoksen suunnittelussa (STUK 2012).

Röntgenlaitteiston lineaarikiihdytin voi aktivoida materiaaleja voimakkaasti, joten tilassa saattaa esiintyä säteilyä ja kontaminaatiota kapselitarkastusten välissä. Käytön aikana on seurattava tilannetta. Seurannan perusteella on määritettävä hitsin tarkastushuoneen säteily- ja kontaminaatiotasoon perustuvat säteilysuojelutoimenpiteet mahdollisia henkilökäyntejä varten. '

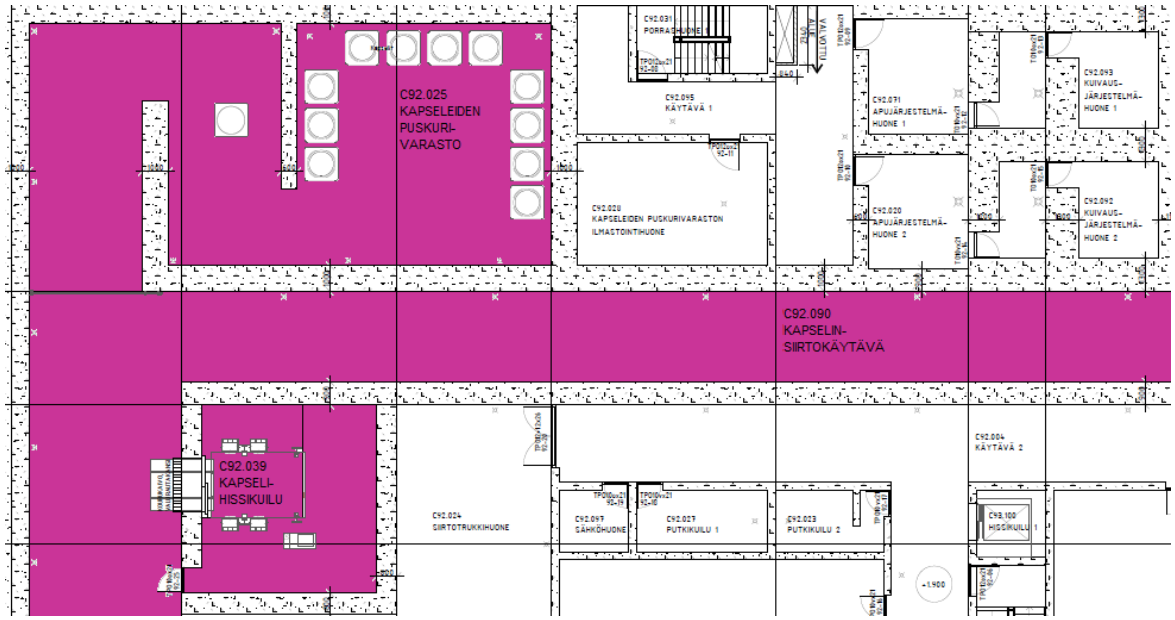
Hitsin tarkastusten jälkeen kapseli irrotetaan tarkastusaseman telakoinnista. Jos kapselin hitsin tarkastuksia ei hyväksytä, on säteilysuojelullisesti hyväksyttävä toimintamalli siirtää kapseli kaukokäyttöisesti takaisin hitsauskammioon.

6.6 Kapselin siirto kapselivarastoon ja käytävän kontaminaatiomittaus

Hyväksyttyjen tarkastusten jälkeen kapseli siirretään kapselointilaitoksen kapselivarastoon. Kapselin siirto on edelleen kaukokäyttöistä. Näiden työvaiheiden säteilysuojelutoimenpiteet koostuvat normaalitilanteessa kapselin siirtokäytävän ja kapselinsiirtovaunun kontaminaatioseurannasta. Kapselin siirto kapselivarastoon koostuu seuraavista työvaiheista:

- Kapselin irrotus hitsin tarkastushuoneen telakoinnista
- Kapselin siirto kapselinsiirtovaunun kyydistä siirtotrukin päälle
- Kapselin siirto kapselivaraston labyrintille
- Kontaminaationäytteenotto kapselinsiirtokäytävältä ja kapselinsiirtovaunusta
- Puhtaan kapselin siirto kapselivarastoon

Kapseli siirretään telakoinnin purkamisen jälkeen kapselinsiirtovaunun kyydistä kapselin siirtotrukin päälle. Tämän jälkeen kapseli voidaan siirtää kapselinsiirtokäytävää pitkin kapselivaraston labyrinttirakenteen suulle. Henkilökulku kapselinsiirtokäytävällä ja sen ympäristössä on estetty siirron aikana kapselin säteilyn vaikutusalueella. Kapselinsiirtokäytävä, kapselivarasto ja kapselihissikuilu on esitetty vyöhykejaon mukaan värikoodattuna kuvassa 21.



Kuva 21. Kapselinsiirtokäytävän, kapselivaraston ja kapselihissikuilun säteilytasovyöhyke.

Kuvassa näkyy myös kapseleiden sijainnit kapselivarastossa ja yksi kapseli labyrintissa odottamassa. Kapseli on jätettävä labyrinttiin odottamaan kontaminaationäytteenoton tuloksia, ennen kuin sen voi siirtää varaston puolelle.

Kapselinsiirtokäytävän kontaminaatioseuranta

Kapselinsiirtokäytävältä C92.090 voidaan käydä ottamassa kontaminaationäytteitä, vaikka kapseli onkin kapselivaraston sisäänkäynnin labyrinttirakenteen sisällä. Kapseli voidaan siirtää siirtotrukilla kuvan 21 vasemmassa ylänurkassa näkyvän labyrinttirakenteen sisään odottamaan kontaminaationäytteiden tuloksia.

Kontaminaationäytteenotto on oleellinen työvaihe, sillä normaalitilanteessa kapselin ulkopinnasta on tarkastettu ainoastaan kapselin yläosa. Kapselinsiirtovaunun tai -käytävän mahdollinen kontaminaatio antaa indikaation kapselin kontaminaatiotilanteesta ja se on suoritettava jokaisen kapselisiirron yhteydessä.

Pyyhkäisynäytteet otetaan käsin kapselinsiirtokäytävän lattiapinnoista ja kapselinsiirtokäytävälle jäävästä kapselinsiirtovaunusta. Säteilyvalvoja tarkkailee näytteenoton aikana ympäristönsä säteilytasoa ja ottaa näytteitä alueelta, jolla ei altistu tarpeettomasti säteilylle. Jos kontaminaationäytteet ovat puhtaita, voidaan kapseli siirtää kapselivarastoon tilaan C92.025. Kapselit siirretään myöhemmin kapselivarastolta kapselihissikuilun hissillä loppusijoituslaitokselle. Kun kapseli on siirretty varastoon asti, säteilyvalvoja ottaa kontaminaationäytteet vielä käytävän loppuosasta ja labyrinttirakenteen matalan säteilytason alueelta.

Jos käytävän tai kapselinsiirtovaunun kontaminaationäytteistä löydetään kontaminaatiota, tilanne on tutkittava kuten luvussa 6.4 käsitellyssä kontaminoituneen kapselin tapauksessa. Kun kontaminaation laajuus on selvitetty, kontaminoituneet pinnat dekontaminoidaan rättipyyhinnällä. Jokaisen kapselin jälkeen tehtävä kontaminaatioseuranta auttaa selvittämään kontaminaatiotapauksissa sen, missä prosessivaiheessa kontaminaationhallinta on pettänyt.

Kapselointilaitoksen kapselivarasto

Kapselointilaitoksella sijaitseva kapseleiden puskurivarasto on kontaminaation suhteen vihreää aluetta. Myös kapselin siirtoreitti kapselinsiirtokäytävältä kapselivarastoon ja kapselihissikuilulle on pidettävä puhtaana, jotta kontaminaatiota ei leviä loppusijoituslaitokselle. Kapselivarasto on suorasäteilyn suhteen violettia vyöhykettä 4. Tilassa ei voi oleskella silloin kun varastossa on kapseleita ja se on pidettävä lukittuna. Labyrinttirakenteen ulkopuolella voi tarvittaessa oleskella.

Käyttötoiminnan aikana kapselivarasto on syytä järjestää säännöllisesti tyhjäksi, jotta varastosta voidaan käydä ottamassa pintakontaminaationäytteitä. Kapselit varastoidaan kapselivarastossa siirtopalettien päällä. Myös kapselin siirtopaletista otettavilla kontaminaationäytteillä voidaan tarkkailla kapseleiden kontaminaatiotasoa epäsuorasti.

Kapselivaraston rakenteiden aktivoituminen on mahdollista. Jos varastossa esiintyy kohonneita säteilytasoja myös sen ollessa tyhjä, on säteilytasot huomioitava myös tyhjän kapselivaraston henkilökäynneissä. Säteilytaso huomioidaan oleskeluaikaa rajoittamalla. Jos aktivoituneista rakenteista irtoaa ikääntymisen seurauksena kontaminaatiota, aiheuttaa se muutoksia toimintaan, sillä irtonainen kontaminaatio voi levitä helposti myös kapseleihin. Myös tästä syystä on oleellista seurata kapselivaraston kontaminaatiotilannetta säännöllisesti.

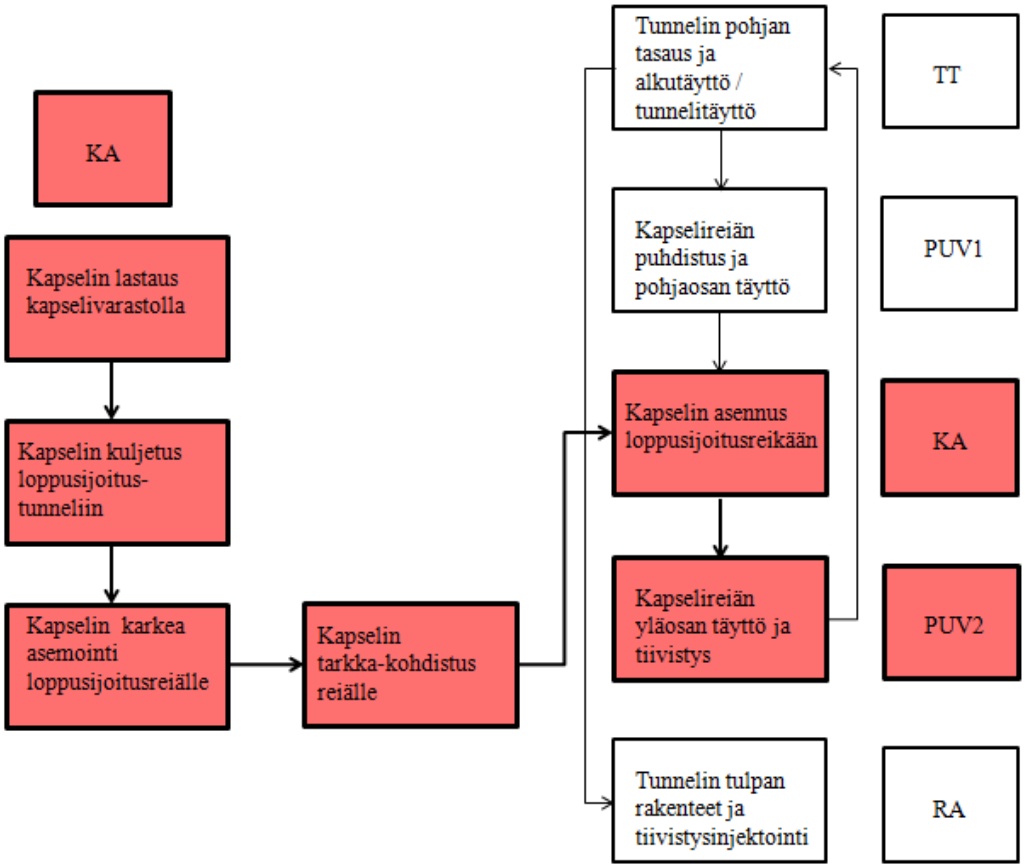
6.7 Kapselin siirto loppusijoituslaitoksen kapselivarastoon

Kapseli siirretään kapselointilaitoksen kapselivarastosta siirtotrukilla kapselihissiin. Kapselihissillä on suora yhteys maanalaiselle loppusijoituslaitokselle. Kapseli kulkee hissimatkan aikana loppusijoituslaitoksen kapselin vastaanottoaseman yläkerran ohi. Säteilytasot nousevat vastaanottoaseman yläkerrassa ja vastaanottotilan ulkopuolisessa käytävässä siirron aikana. Mainittujen tilojen täytyy olla tyhjennettyinä ihmisistä kapselin hissisiirron aikana.

Hissistä kapseli siirretään kauko-ohjatusti loppusijoitustason kapselivarastoon odottamaan loppusijoitusta. Kapselivaraston ovi on säteilytason vuoksi pidettävä lukittuna. Loppusijoituslaitoksen kapselivarasto on luokitukseltaan alempaa violettia vyöhykettä 4. Loppusijoituslaitoksen kapselivaraston ovella on labyrinttirakenne vahinkoannosten minimoimiseksi.

7 LOPPUSIJOITUSPROSESSIN SÄTEILYTYÖVAIHEET

Loppusijoitusprosessissa kapseli siirretään kapselin siirto- ja asennusajoneuvon avulla kapselivarastolta loppusijoitustunneliin ja asennetaan bentoniitilla esitäytettyyn loppusijoitusreikään. Tämän jälkeen loppusijoitusreiän yläosa täytetään bentoniitilla. Prosessitasolla kapselointi- ja loppusijoitusprosessien rajapinta on loppusijoituslaitoksen kapselivarastolla. Loppusijoitusprosessin työvaiheet seuraavat kuvassa 22 esitettyä kaaviota. Kaavioon punaisella merkityt työvaiheet ovat kapselin säteilytason vuoksi valvonta-alueen työtä. Kuvan kirjainlyhenteet mukailevat loppusijoituksen osaprosessien nimilyhenteitä (Niemitalo 2015).



Kuva 22. Kapselin loppusijoitusprosessin kulku, säteilytyövaiheet on merkitty punaisella.

Loppusijoituslaitokselle oletetaan siirrettävän ainoastaan ulkopinnaltaan puhtaita kapseleita ja kapseleiden tiiveys on tarkastettu kapselointiprosessin aikana. Tästä seuraa, että normaalitoiminnassa loppusijoituslaitoksen työvaiheiden säteilysuojelulliset näkökohdat liittyvät käytetyn polttoaineen suorasäteilyyn.

Loppusijoituksen operatiivista säteilysuojelua toteutetaan varmistamalla työntekijöiden riittävä etäisyys loppusijoituskapseleihin. Mahdollisissa lähityövaiheissa rajoitetaan työntekijöiden oleskeluaikaa säteilysuojatun kapselin lähellä. Kapselin loppusijoitusprosessin säteilytyövaiheet etenevät seuraavasti:

KA Kapselin asennus

- Kapselin lastaus asennusajoneuvon kyytiin kapselivarastolla
- Kapselin kuljetus kapselivarastolta loppusijoitustunneliin
- Kapselin asemointi loppusijoitusreiälle
- Kapselin asennus loppusijoitusreikään

PUV2 Kapselireiän yläosan täyttö ja tiivistys

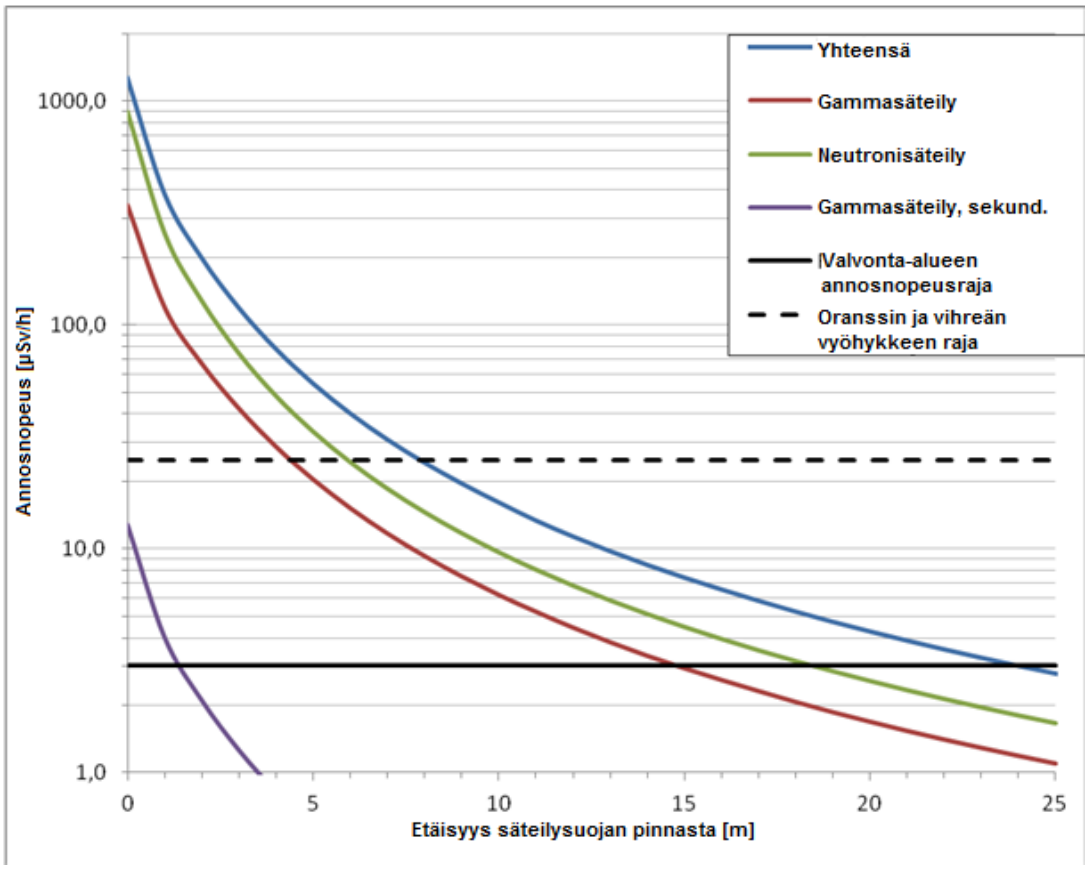
Kapselireiän yläosan täytön ja tiivistyksen jälkeiset työvaiheet eivät vaadi säteilysuojelutoimia, sillä reiän bentoniittitäytön jälkeinen säteilytaso tunnelissa on alle valvonta-alueen raja-arvon 3 µSv/h.

7.1 Kapselin lastaus ja siirto loppusijoitustunneliin

Kapselin loppusijoituksen työvaiheet ja niiden aikana tehtävät säteilysuojelutoimenpiteet kuvataan tässä luvussa aikajärjestyksessä. Kaikissa työvaiheissa on pidettävä riittävä etäisyys kapseliin. Lähemmäs meneminen tapahtuu aina säteilyvalvojan luvalla ja säteilytasomittausten jälkeen. Tämä pätee kaikkiin työvaiheisiin ja säteilymittaukset sisältävät gamma- ja neutronisäteilytasojen mittauksen.

Kapselin siirto- ja asennusajoneuvo

Kapselin siirto ja asennus tapahtuvat erityisellä kapselin siirto- ja asennusajoneuvolla. Ajoneuvon kyydissä kapselin ympärillä on säteilysuoja, jossa on sekä gammasäteilyä vaimentavaa että neutroneja absorboivaa materiaalia (Tanskanen 2012, 18). Säteilytasot kapselin siirto- ja asennusajoneuvon säteilysuojan pinnasta on esitetty kuvassa 23 etäisyyden funktiona.



Kuva 23. Kapselin siirto- ja asennusajoneuvon säteilysuojan läpi tunkeutuvat säteilytasot.

Kuvasta nähdään, että kapselin kokonaissäteilytaso suunnitelman mukaisen säteilysuojaputken läpi on alle 2 mSv/h. Punaisen säteilytason vyöhykeraja ylittyy kapselin välittömässä läheisyydessä. Kuvaan on merkitty myös etäisyydet, joilla oranssin vyöhykkeen sekä valvonta-alueen säteilytasojen rajat alittuvat.

Oranssin vyöhykkeen rajan ylittävä säteilytaso vaatii oleskelurajoituksia ja turhaa oleskelua on vältettävä myös tätä matalammassa säteilykeilassa. Kapselin annosnopeus alle 8 metrin päässä säteilysuojan pinnasta ylittää arvon 25 µSv/h ja annosnopeus alle 25 metrin etäisyydellä ylittää arvon 3 µSv/h (Kärkkäinen 2015a, 90).

Kapselin lastaus kapselivarastolla

Loppusijoituksen säteilytyö alkaa kapselin nostolla ja lastauksella kapselin siirto- ja asennusajoneuvon kyytiin. Nosto tehdään loppusijoituslaitoksen kapselivaraston katossa olevasta nostoaukosta. Kapselin siirto- ja asennusajoneuvo asemoidaan nostoaukolle ja asennusajoneuvon suojaputki lasketaan alas. Kapseli tuodaan saattonosturin avulla säteilysuojaputken sisään ja nostetaan siirto- ja asennusajoneuvon kyytiin. Kapselin siirtäminen nostaa säteilytasoa nostoalueen yläpuolella olevassa kerroksessa hetkellisesti. Kohonneen säteilytason alueet eristetään noston ajaksi ja kulku on kielletty niin kauan kuin kapselisiirto on menossa.

Tämänhetkisen suunnitelman mukaan kapselin siirto- ja asennusajoneuvon hydrauliset vinssit toimivat ulkoisella sähköllä. Ajoneuvo on kytkettävä ulkoiseen sähkönsyöttöön ennen lastausta ja irrotettava lastauksen jälkeen. Kytkennät on ajateltu tehtävän käsin. Sähkökaapelin kytkentä tehdään ennen kapselin tuomista saattonostimelle ja irrotetaan kapselin lastauksen jälkeen. (Niemitalo 2015)

Kapselin siirto- ja asennusajoneuvon sähkönsyötön kytkentäpiste on prototyypissä noin 5...6 metrin päässä kapselin säteilysuojasta (Niemitalo 2015). Säteilytaso tällä etäisyydellä kapselin säteilysuojasta on loppusijoitustunnelin geometrialla tehtyjen laskujen mukaan korkeintaan luokkaa 40...55 µSv/h (Kärkkäinen 2015a, 90). Loppusijoituslaitoksen säteilymitoituslaskennan mukaan annosnopeus kapselivaraston katon läpi ei ole merkittävä (Kärkkäinen 2016, 5). Tällaisilla säteilytasoilla ja lyhytkestoisina töinä sähkökaapelien kytkennät voidaan suorittaa käsin, mutta etäisyyden muutokset vaikuttavat nopeasti säteilytasoihin. Säteilyvalvoja mittaa joka tapauksessa kohteen säteilytasot säteilymittauksin ennen työn suorittamista.

Kun kapseli on lastattu kapselin siirto- ja asennusajoneuvon kyytiin, tulee edelleen huomioida säteilysuojatun kapselin aiheuttama annosnopeus. Työvaiheeseen osallistuvien työntekijöiden on pidettävä kapseliin 25 metrin etäisyys, jollei työn suorittamisen vuoksi ole täysin välttämätöntä mennä lähemmäs. Säteilyvalvoja suorittaa säteilymittauksia.

Kapselin siirto- ja asennusajoneuvon säteilysuojaputkesta voidaan ottaa kontaminaationäytteitä sen ollessa tyhjänä. Näin voidaan epäsuorasti tutkia loppusijoituslaitoksen kapselivaraston kontaminaatiotilannetta. Loppusijoituslaitoksen kapselivarasto on hyvä tyhjentää ajoittain kokonaan kapselointia ja loppusijoitusta rytmittämällä. Tällöin säteilyvalvonta pääsee ottamaan kontaminaationäytteitä suoraan kapselivarastosta. Näin voidaan seurata myös mahdollisen aktivoitumisen aiheuttamaa irtokontaminaatiota.

Kapselin kuljetus loppusijoitustunneliin

Kapseli ajetaan kapselin siirto- ja asennusajoneuvolla tunnelistoja pitkin oikeaan loppusijoitustunneliin. Siirto- ja asennusajoneuvoa on tämänhetkisen suunnitelman mukaan tarkoitus vetää traktorilla, jota operoi kuljettaja. Jos näin tehdään, kuljettajan hytti vaatii massiivisen säteilysuojan. Kuljettajan hytin säteilytason tavoitetasona on perusteltua pitää annosnopeutta 2,5 µSv/h. Tällaisen suojan painoarvio on alustavissa laskelmissa ollut noin 7000 kg (Tanskanen 2012, 33). Suunnittelussa on otettava huomioon kapselista suoraan tulevan säteilyn lisäksi tunnelin seinämistä ja rakenteista siroava säteily.

Säteilysuojan rakentaminen kevyemmäksi ottamalla tavoitetasoksi vihreän vyöhykkeen raja-arvo 25µSv/h on teoriassa YVL -ohjeiden puitteissa mahdollista. On kuitenkin huomioitava, että ajoneuvon kuljettajalle kertyy vuoden aikana merkittävä määrä työtunteja. Oleskelu 25µSv/h säteilytasossa täyttäisi Posivan laitoksille suunnitellun 5 mSv:n vuosiannosrajan 200 työtunnissa. Ratkaisu ei ole optimaalinen. Ei myöskään ole säteilysuojeluperiaatteiden mukaista ottaa tavoitteeksi suurinta mahdollista säteilytasoa, joka ei vaadi oleskelurajoituksia.

Miehitetyn asennusajoneuvon käytössä on lisäksi olemassa vahinkoannosten mahdollisuus. Säteilysuojelullisesti olisikin varmempaa suorittaa loppusijoitus kaukokäyttöisellä ajoneuvolla. Vähintään on osoitettava, että säteilysuojeluperiaatteet voidaan täyttää miehitetyllä ajoneuvolla. Miehitetyn ajoneuvon tapauksessa kuskin on pysyttävä hytissä säteilysuojan sisällä koko kapselisiirron ja -asennuksen ajan.

Kapselisiirron aikana kuljetusreitille asetetaan kulkurajoituksia siten, että ylimääräisiä ihmisiä ei pääse kapselin läheisyyteen. Myös kapselisiirtoon osallistuvat työntekijät, kuten säteilyvalvoja, minimoivat säteilyannoksensa pysymällä vähintään 25 metrin päässä ajoneuvosta. Säteilyvalvoja tarkkailee säteilytasoja työntekijöiden oleskeluetäisyydellä.

7.2 Kapselin asennus ja loppusijoitusreiän täyttö

Loppusijoitustunnelissa kapseli asemoidaan oikean loppusijoitusreiän yläpuolelle, johon on ennen kapselia laskettu bentoniittipuskurilohkot. Kapselin asennus- ja siirtoajoneuvo on liitettävä ulkoiseen sähkönsyöttöön ennen kapselin asemointia loppusijoitusreiän päälle. Työvaihe voidaan suorittaa käsin samoin oletuksin kuin kapselivarastolla suoritettava sähkönsyötön irrotus. Säteilyvalvoja mittaa säteilytasot työkohteella.

Sähkönsyötön kytkemisen jälkeen kapseli lasketaan loppusijoitusreikään siirto- ja asennusajoneuvon avulla. Normaalikäytössä kapselin laskeminen ei aiheuta säteilysuojelullisia toimenpiteitä. Kapselin asennuksen jälkeen siirto- ja asennusajoneuvon sähkönkytkentä on irrotettava. Kaapeli voidaan irrottaa manuaalisesti.

Kulkurajoitukset kapselireiän läheisyydessä ovat kuitenkin edelleen voimassa. Säteilytaso paljaan reiän reunalla ylittää punaisen vyöhykkeen rajan. Reiän yläpuolinen säteilytaso on luokkaa 2,5 mSv/h puolen metrin korkeudella loppusijoitustunnelin lattiatasosta ja laskee alle arvon 25 µSv/h noin 4 metrin etäisyydellä avoimesta reiästä (Tanskanen 2012, 30). Loppusijoitusreikää ei normaalitilanteessa tarvitse lähestyä ja häiriötilanteissa säteilyannosta aiheuttavien korjaustoimien suorittaminen tulee harkita tapauskohtaisesti. Säteilyvalvoja mittaa säteilytasot ennen kapselireiän lähestymistä.

Viimeisenä säteilytyövaiheena kapselin päälle lasketaan päällimmäiset bentoniittilohkot, joilla loppusijoitusreikä täytetään loppusijoitustunnelin lattiatasoon asti. Bentoniittilohkot toimivat säteilysuojana loppusijoitustunnelin suuntaan. Kapselin asennuksen ja bentoniittilohkojen paikalleen saamisen välisen aikaikkunan on arvioitu olevan noin 15 minuuttia (Niemitalo 2015). Tällä aikavälillä oleskelua reiän läheisyydessä on edelleen vältettävä.

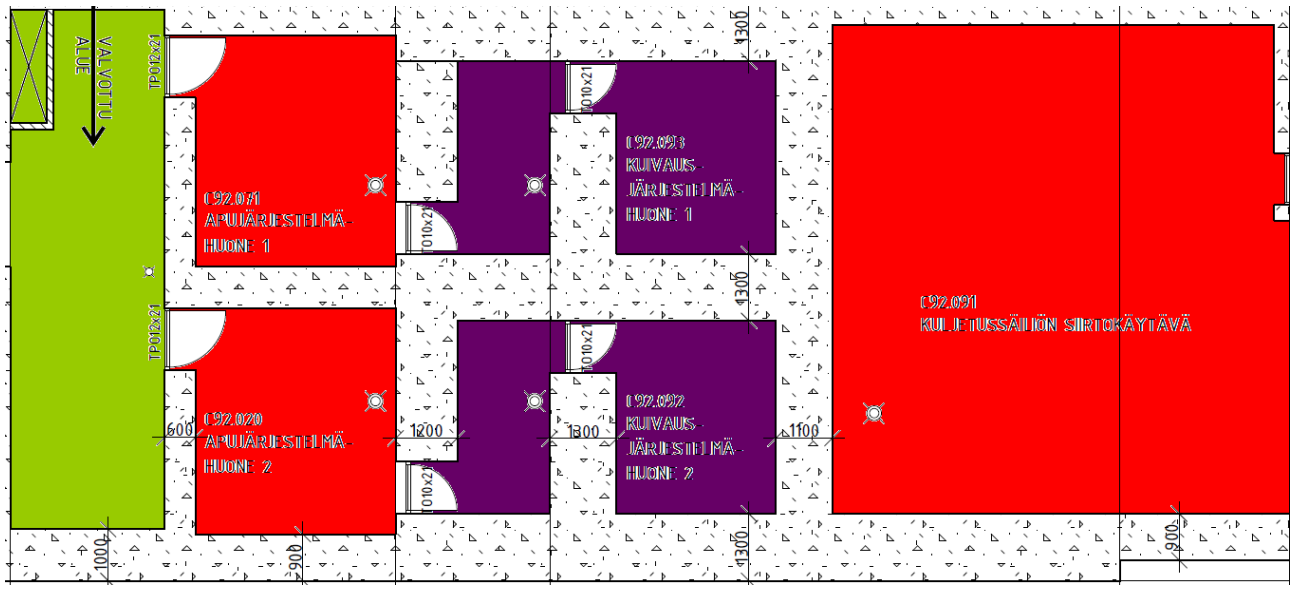
Bentoniittilohkojen yhteispaksuus vaimentaa säteilyn alle valvonta-alueen raja-arvon. Lohkojen asennuksen jälkeen säteilysuojelulliset kulkurajoitukset voidaan purkaa. Loput tunnelissa tehtävät täyttö- ja tulppaustyövaiheet eivät vaadi säteilysuojelullisia toimenpiteitä.

8 POLTTOAINEEN KAPSELOINNIN APUJÄRJESTELMÄT JA TUKITOIMINNOT

Osa kapselointiprosessin apujärjestelmistä kontaminoituu tai aktivoituu käyttötoiminnan tuloksena. Järjestelmän komponenteille tehtävissä huoltotoimenpiteissä ja töissä tulee huomioida säteilysuojelulliset näkökohdat. Edellä käsiteltyjen työvaiheiden aiheuttamat oleskelurajoitukset tulee myös huomioida. Kapselointilaitoksella tehdään useita avustavia töitä, joista aiheutuu säteilyannosta ja joissa on kontaminaation leviämisriski.

8.1 Polttoaineen kuivausjärjestelmä

Polttoaineen kuivausjärjestelmähuoneet jatkuvat polttoaineen käsittelykammion alapuolisiin tiloihin. Kuivausjärjestelmähuoneiden säteilytaso on tummanvioletin vyöhykkeen 5 tila (Matikainen 2016, liite 1). Kuivattavan polttoaineen säteilytaso vaikuttaa kuivauskammioiden lisäksi myös järjestelmän apujärjestelmähuoneisiin. Apujärjestelmähuoneissa ei voi oleskella kuivauksen aikana. Polttoaineen kuivauskammioiden, apujärjestelmähuoneiden ja polttoaineen siirtokäytävän vyöhykejako on esitetty kuvassa 24.



Kuva 24. Polttoaineen kuivausjärjestelmähuoneiden ja ympäröivien tilojen vyöhykejako.

Annosnopeus kuivauksen aikana on yli 100 mSv/h polttoaineen kuivaushuoneessa ja osassa kuivaushuoneiden sisäänkäynnillä olevaa labyrinttirakennetta. Apujärjestelmähuoneissa annosnopeus korkeintaan noin 100 µSv/h ja huoneen ovella säteilytaso on alle tavoitetason 2,5 µSv/h (Kärkkäinen 2015a, 62 - 64). Kaikki yllä mainitut tilat pidetään lukittuina. Kuivauskammiohuoneiden seinät polttoaineen siirtokäytävän suuntaan ovat tarpeeksi paksut vaimentamaan polttoaineen säteilyn. Kuvassa 24 oikealla näkyvän kuljetussäiliön siirtokäytävän punainen luokitus johtuu polttoaineen kuljetussäiliön säteilytasosta.

Kuivauskammiot ovat olettavasti erittäin kontaminoituneita sisältä ja saattavat sisältää crudin lisäksi polttoainehippuja. Kuivauskammioihin ei pitäisi olla tarvetta mennä ollenkaan ja poikkeustilanteissakin huoltotoimet tulee pystyä suorittamaan etäkäyttöisesti. Normaalikäytössä kontaminaatiota ei leviä polttoaineen kuivausjärjestelmästä järjestelmän ulkopuolelle. Kontaminaatiota voi levitä, jos kuivausjärjestelmän alipainelaitteiston tiiveys pettää. Tällöin kontaminaation leviäminen laitostiloihin on pyrittävä minimoimaan vuotoa rajoittamalla, huonetilojen vuotovesiä rajaamalla, kulkurajoituksin ja tiloja dekontaminoimalla.

Kuivauskammiot on liitetty valvonta-alueen viemärijärjestelmään. Kuivauskammioita ei dekontaminoida rutiininomaisesti ilman syytä. Dekontaminointi voi olla aiheellista ennen polttoaineen kuivaustelineiden nostoja tai muita kammioille tehtäviä huoltotoimenpiteitä, riippuen niille tehtävistä toimenpiteistä. Dekontaminointi on suoritettavaa kaukokäyttöisesti ja se on säteilysuojelullisesti perusteltua suorittaa imuroimalla. Imurointi vähentää huomattavasti kapselointilaitoksen aktiivisten viemärivesien määrää verrattuna vesihuuhteluun. Näin ollen viemärijärjestelmän kontaminoitumisaste pienenee. Kiinteän imurointijätteen käsittely ja loppusijoitus on huomattavasti pienempi toimenpide kuin erittäin aktiivisten viemärivesien käsittely.

Operatiiviset säteilysuojelutoimet ovat normaalikäytössä kuivausjärjestelmän apuhuoneissa suoritettavia säteily- ja kontaminaatiomittauksia. Vuototapauksissa säteilyvalvoja määrittää myös dekontaminointisiivousten ja rajaustoimien suojavarusteet. Apujärjestelmähuoneita voidaan joutua dekontaminoimaan, jos aktiivisia nesteitä tai kiintoaineita on levinnyt huonetiloihin.

8.2 Valvonta-alueen viemärivesien keruu- ja käsittelyjärjestelmä

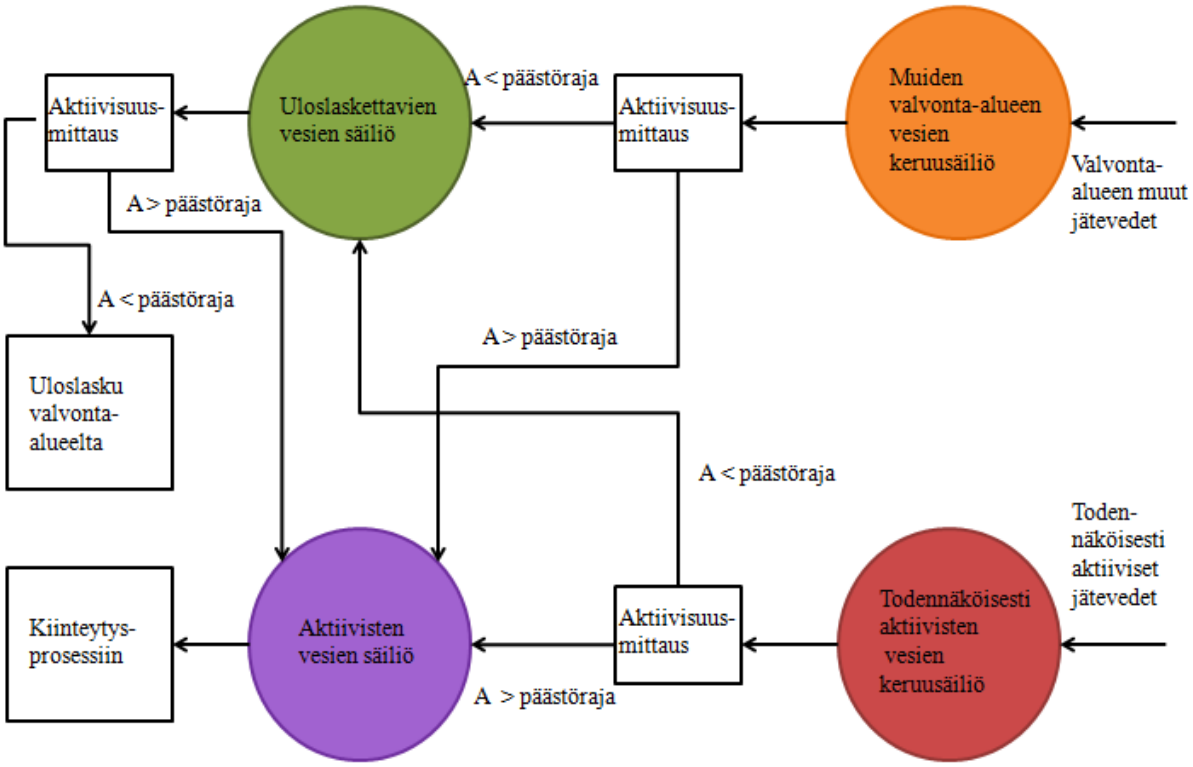
Valvonta-alueen viemärivesien keruu- ja käsittelyjärjestelmä kerää ja siirtää kapselointilaitoksen viemärivedet jatkokäsittelyyn tai ulos laskettavaksi. Vedet ohjataan jatkokäsittelyyn ja uloslaskuun niiden aktiivisuuden perusteella. Järjestelmä on jaettu kahteen osajärjestelmään: "todennäköisesti aktiivisuuksia sisältävä osajärjestelmä" ja "muiden valvonta-alueen vesien osajärjestelmä".

Järjestelmän säteilysuojelulliset näkökohdat liittyvät kontaminaation leviämisriskiin mahdollisissa vuototapauksissa sekä tankkien säteilytasojen nousuun, aktiivisuuden kertyessä järjestelmään. Manuaalisissa näytteenotoissa on varauduttava hallittuun vuodonkeruuseen ja asianmukaisten suojavarusteiden käyttöön.

Järjestelmän yleiskuvaus

Todennäköisesti aktiivisten vesien keruusäiliöön kerätään viemärivedet aktiivisiksi oletetuista tiloista. Näitä ovat polttoaineen käsittelykammion viemäröinti, polttoaineen kuivausjärjestelmän viemäröinti, dekontaminointikeskus ja polttoaineen siirtokäytävän viemäröinti. Muiden valvonta-alueen vesien osajärjestelmään kerätään niiden huonetilojen vedet, joiden ei oleteta sisältävän merkittäviä määriä aktiivisuutta.

Keruusäiliöt sijaitsevat kapselointilaitoksen tasolla -2.90. Vedet johdetaan keruusäiliöistä manuaalisten aktiivisuusmittausten perusteella joko aktiivisten vesien säiliöön tai uloslaskettavien vesien säiliöön. Järjestelmän toimintaperiaate on esitetty kuvassa 25. (Nieminen 2014, 6 - 7)



Kuva 25. Kapselointilaitoksen valvonta-alueen viemärivesien keruu- ja käsittelyjärjestelmän osajärjestelmät ja toiminta-periaate ovat esitettynä kuvassa. Kuvassa symboli A on veden aktiivisuus.

Puhtaat viemärivedet lasketaan ulos valvonta-alueelta uloslaskettavien vesien säiliöstä. Osajärjestelmässä on jatkuvatoiminen säteilymittaus ennen uloslaskua. Jos aktiivisuusraja ylittyy mittauksessa, vedet johdetaan aktiivisten vesien säiliöön. (Nieminen 2014, 8)

Päästörajan ylittävät viemärivedet johdetaan aktiivisten vesien säiliöön. Sieltä vesi johdetaan joko kapselointilaitoksen aktiivisten viemärivesien kuivausjärjestelmään tai siirretään Olkiluodon voimalaitoksella kiinteytettäväksi (Nieminen 2014, 9). Kapselointilaitokselle suunniteltu aktiivisten nesteiden kuivausjärjestelmäkonsepti kuvataan seuraavassa luvussa.

Järjestelmän yhteydessä on vuodonkeruusyvennys ja pumppaustila keruusäiliöiden vuotojen varalta. Mahdolliset vuodot kaikista neljästä tankista johdetaan vuodonkeruusyvennykseen ja pumpataan takaisin järjestelmään (Paunonen et al 2015, 13).

Järjestelmän operatiiviset säteilysuojelutoimet

Järjestelmän laitteita huollettaessa ja prosessia avatessa tulee huolehtia suojavarustuksesta töiden aikana. Tankkien lähellä työskennellessä säteilyvalvojan on tarkistettava kohteen säteilytasot. Jos säteilytasot tankeissa lähtevät huomattavaan nousuun, on järjestelmä syytä dekontaminoida säännöllisesti. Aktiivisuuden kertymisen määrä riippuu vielä avoinna olevista tekijöistä, kuten polttoaineen kuivauskammion dekontaminointitavasta.

Jos järjestelmän vuodonkeruusyvennys on avoinna keruusäiliöiden huonetiloihin, kontaminaation leviäminen kaukalosta eteenpäin tulee estää. On lisäksi tarkkailtava, että vuodonkeruupumppauksessa ei leviä kontaminaatiota. Lisäksi tulee varmistaa, että syvennys on eristetty ja merkitä se kontaminoituneeksi tai mahdollisesti kontaminoituneeksi. Myös vuotovesipumpun säteilytasoa tulee seurata, jos sillä pumpataan aktiivisia vesiä säännöllisesti.

8.3 Valvonta-alueen poistoilmajärjestelmä

Valvonta-alueelta ulos laskettava ilma suodatetaan valvonta-alueen poistoilmajärjestelmällä säteilymittauksen perusteella. Järjestelmä on erityisen tärkeässä asemassa tilanteissa, joissa polttoaineen tiiveys on menetetty. Mahdollisia skenaarioita ovat radioaktiivinen päästö polttoaineen käsittelykammiosta tai kuljetussäiliön siirtokäytävästä.

Normaalitoiminnassa järjestelmän toiminta ei edellytä vaativia säteilysuojelutoimia. Järjestelmän huoltotoimissa tulee huomioida suojavarustus kontaminoituneiden osien käsittelyssä. Lisäksi on huomioitava suodatusjärjestelmään kertyvän aktiivisuuden aiheuttamat paikalliset säteilytasot.

Valvonta-alueen poistoilmajärjestelmään liittyy kiinteitä ilma-aktiivisuusmittareita. Suodattimien annosnopeus voi kasvaa, jos niihin kertyy tarpeeksi aktiivisia hiukkasia. Suodattimia tulee vaihtaa joko niiden tukkeutuessa tai säännöllisesti. Suodattimien vaihtovälit riippuvat muun muassa suodattimen tyypistä, ilmavirtauksen määrästä ja laitoksen käyttötoiminnan turvallisuusteknisistä käyttöehdoista (TTKE).

Suodattimien aktiivisuuden kertymisnopeudesta ei ole tähän mennessä tehty tarkempaa analyysia, joten ei voida sanoa varmasti, tulevatko aktiivisuudet aiheuttamaan annosnopeutta. Mahdollinen annosnopeus todetaan suodattimia lähestyttäessä suorasäteilymittareilla. Käsin vaihdettavien suodattimien vaihtotoimenpiteiden aikana kontaminaatiolta suojaudutaan kumikäsineitä käyttämällä. Suodattimien aktiivisuustasoja voidaan määrittää karkeasti pintakontaminaatiomittareilla. Käytetty suodatin hävitetään hallitusti ja siirretään tiiviisti pakattuna.

8.4 Kiinteät säteilymittausjärjestelmät

Kapselointilaitoksella on kiinteitä säteilymittausjärjestelmiä, joilla tarkkaillaan suorasäteilytasoja huonetiloissa. Lisäksi kapselointilaitoksella on ilmamonitorijärjestelmät ilma-aktiivisuuden tarkkailuun ja vesiaktiivisuusmittauksia aktiivisten jätevesien järjestelmälle. Näistä oleellisia ovat päästömonitorit valvonta-alueen päästöjen seurannassa.

Kaikkien monitorien hälytysrajat on asetettava niin, että ne hälyttävät vähintään normaalitoiminnan säteilytasosta poikkeavista säteilyolosuhteista. Normaalit annosnopeusrajat kuhunkin työvaiheeseen ja tilaan voidaan määrittää siinä vaiheessa, kun laitoksen järjestelmät ja toimintamallit ovat paremmin selvillä. Esimerkiksi kapselivaraston säteilytasoon vaikuttaa varastossa olevien kapselien määrä ja polttoaineen käsittelykammion monitorille tulevaan säteilytasoon vaikuttaa polttoaineen siirtoreitti.

Tiloihin jo suunniteltujen monitorien lisäksi polttoaineen käsittelykammioon on säteilysuojelullisesti perusteltua sijoittaa myös neutronisäteilyä mittaava kiinteä säteilymittaus kriittisyysonnettomuuden varalta. Polttoaineen kriittisyys kuivaustelineessä olisi myös säteilysuojeluongelma.

Polttoaineen käsittelystä on syytä varoittaa jonkinlaisella ääni- tai valohälytyksellä käsittelykammion eteishuoneissa. Tämä voidaan toteuttaa joko kiinteän säteilymittausjärjestelmän mittarilla tai jatkuvatoimisilla, siirrettävillä säteilymittareilla.

Kiinteistä mittauksista on huomattava, että ne eivät ole kelpoisia korvaamaan operatiivisen säteilysuojelun käsin tehtäviä mittauksia. Työskentelykohteen säteilyolosuhteet on aina tarkistettava säteilyvalvojan toimesta ennen työn aloittamista, sillä paikalliset säteilyolosuhteet saattavat vaihdella hyvinkin merkittävästi. Esimerkiksi pienen polttoainekappaleen aiheuttama säteily vaimenee hyvin lyhyellä matkalla kappaleen pienten dimensioiden vuoksi. Näin ollen aluemonitori ei välttämättä hälyttäisi vaikka tilassa olisi irrallaan rikkoutunutta polttoainetta.

Analogisesti edellisen kappaleen kanssa, kiinteät ilma-aktiivisuusmonitorit eivät korvaa käsin tehtäviä ilmakontaminaatiomittauksia. Kiinteillä ilmamonitoreilla havaitaan ainoastaan detektorille asti levinnyt ilmakontaminaatio. Ilmakontaminaatiota epäillessä ei kiinteän ilmamonitorin hälyttämättömyydestä voida luotettavasti päätellä, ettei tilassa ole paikallisesti ilmakontaminaatiota.

9 DEKONTAMINOINTIKESKUS JA AKTIIVIKORJAAMO

Dekontaminointikeskuksen ja aktiivikorjaamon tiloissa käsitellään aktiivisia, mahdollisesti säteileviä laitteita tai osia. Tilat ovat kiinteän oranssin kenkärajan takana, jonka periaatepiirros on esitetty kuvassa 26. Henkilökulku tapahtuu huoneesta C03.008, kuvan vasemmasta alakulmasta. Dekontaminointikeskuksen tarkemmat kenkärajajärjestelyt käsiteltiin kapselointilaitoksen kiinteiden kenkärajojen kuvauksessa.

Kuva 26. Dekontaminointikeskus ja aktiivikorjaamo ja tilojen kontaminaatiovyöhykkeet.

Tarvittaessa huone C03.060 voidaan eristää kenkärajan vihreällä puolelle tai valvomattomaksi alueeksi, jos laitossuunnittelussa tapahtuu muutoksia. Jos sekä huoneet C03.008 että C03.060 ovat valvotulla alueella ja oranssin kenkärajan sisällä, on syytä pitää näiden tilojen välinen ovi lukittuna. Tämä selkeyttää kenkärajakäytäntöjä.

Dekontaminointikeskuksen vihreän käytävän puoleinen pariovi on tarkoitettu tavaraliikenteelle ja kaikki henkilökulku tapahtuu kenkärajan kautta. Polttoaineen käsittelykammio sijaitsee suoraan dekontaminointikeskuksen alapuolella. Tilojen välisestä materiaaliluukusta voidaan nostaa dekontaminoitavia tavaroita.

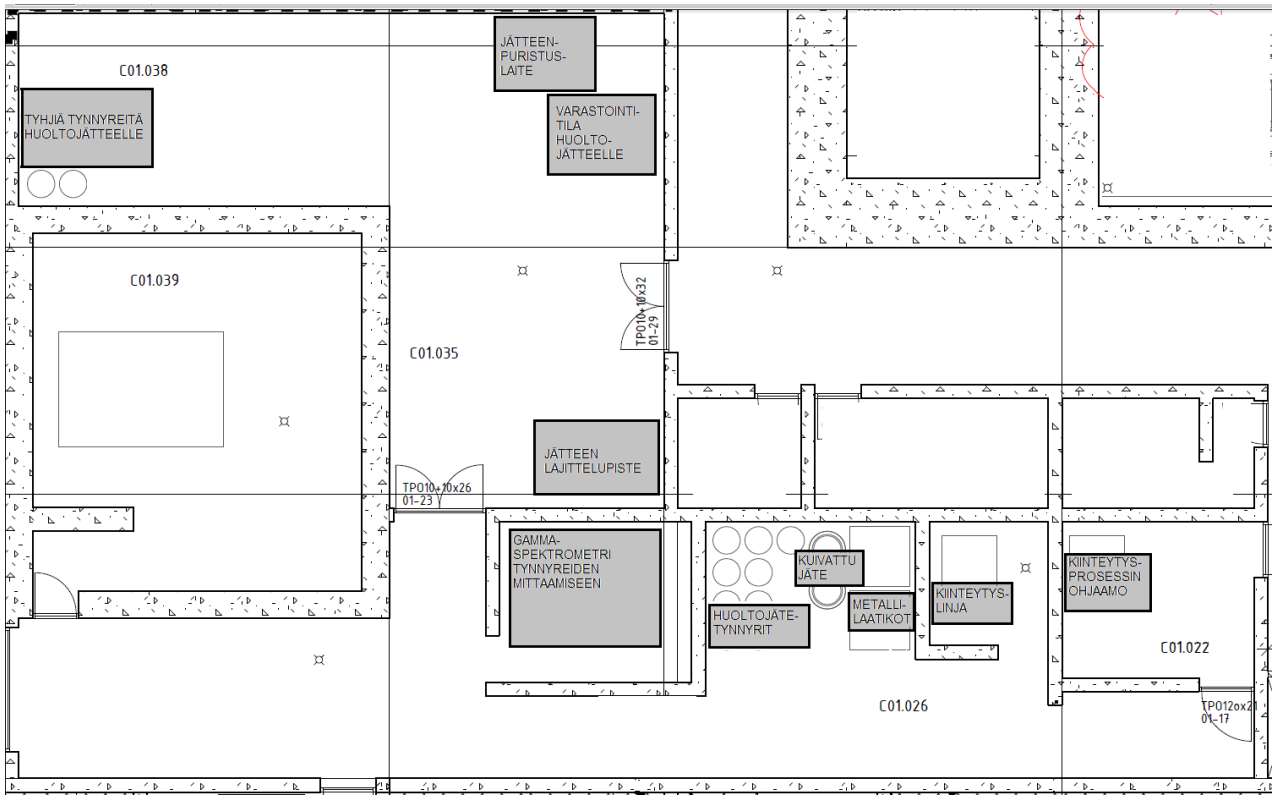
Oranssista luokituksestaan huolimatta dekontaminointikeskuksen kulkureitit ja perustilanne pyritään pitämään kontaminaation suhteen vihreänä. Kontaminoituneet kappaleet ja työkohteet on eristettävä ja vaativille kohteille on perustettava punaisia lisäkenkärajoja. Säteilyvalvojat määrittävät töihin asianmukaisen suojavarustuksen käsiteltävien kappaleiden kontaminaatiotasojen perusteella.

Dekontaminointikeskuksen tiloissa tehtävissä töissä on huomioitava tavaroiden säteily- ja kontaminaatiomittaukset. Kappaleet mitataan tavaroita vastaanotettaessa ja uudet mittaukset suoritetaan dekontaminoinnin jälkeen sekä kenkärajojen yli puhtaammalle puolelle siirrettäessä. Käsittelyn päätyttyä kappaleet on varustettava asianmukaisilla merkinnöillä, joista ilmenevät kappaleen kontaminaatio- ja säteilytasot. Säteilevien kappaleiden ympärille voidaan rakentaa tilapäisiä säteilysuojauksia säteilyannosten pienentämiseksi.

Dekontaminointikeskuksessa oleskelu polttoaineen käsittelyn aikana ei vaadi erityisjärjestelyjä, jos materiaaliluukun läpi ei aiheudu merkittävää annosnopeutta yläkertaan. Säteilytaso materiaaliluukun lähellä polttoaineen käsittelyn aikana on varmennettava säteilymitoituslaskuilla. Tarvittaessa säteilytasoa tarkkaillaan säteilymittauksin käyttötoiminnan aikana.

10 KAPSELOINTILAITOKSEN JÄTTEENKÄSITTELYTILAT

Kapselointilaitoksen jätteet käsitellään erikseen sitä varten varatuissa tiloissa. Jätteenkäsittelytiloissa on erilliset tilat tavallisen huoltojätteen käsittelylle ja aktiivisten viemärivesien kuivausjärjestelmälle. Kuvassa 27 on esitetty jätteenkäsittelytilojen layout-suunnitelma, johon on merkitty eri toiminnoille varatut tilat, siten kuin ne on Fortumilla teetetyssä selvityksessä suunniteltu sijoitettavan (Paunonen et al 2015, 4).



Kuva 27. Jätteenkäsittelytilojen layout-suunnitelma.

Huoltojätteen lajittelutiloissa ja viemärivesien kiinteytystiloissa käsitellään kaikki valvonta-alueen radioaktiivinen jäte. Aktiivisen jätteen käsittelytiloihin on perustettava kiinteitä oransseja kenkärajoja ja kontaminoituneet jätteet on rajattava määrätylle alueelle. Jätteiden käsittelyssä on lisäksi huolehdittava säteilyaltistuksen minimoimisesta ja kontaminaationhallinnasta. Lisäksi on suoritettava säteilytaso- ja kontaminaatiomittauksia tiloihin tulevalle ja sieltä lähtevälle jätteelle.

Kiinteiden oranssien kenkärajojen lisäksi osa jätteenkäsittelytiloista on eristettävä puhtaan vihreän kenkärajan sisään täysien jätetynnyrien varastointipaikaksi. Täytettyjen jätetynnyreiden on pysyttävä ulkopinnoiltaan puhtaina, koska niille suoritetaan gammaspektrometrimittaus ennen tynnyrien loppusijoitusta. Tynnyreiden varastointi oranssin kenkärajan sisällä ei ole toimiva ratkaisu tynnyreiden varmistamiseen.

10.1 Aktiivisten viemärivesien kuivausjärjestelmä

Kapselointilaitoksen aktiiviset jätevedet kuivataan aktiivisen jätteen volyymin vähentämiseksi. Jätteenkäsittelytiloihin on suunniteltu kapselointilaitoksen oma aktiivisten viemärivesien kiinteytysjärjestelmä. Toinen vaihtoehto on kiinteyttää aktiiviset viemärivedet Olkiluodon voimalaitoksen jätteenkäsittelylaitoksella. Huomioitavia säteilysuojelunäkökohtia mahdollisesti rakennettavan järjestelmän käyttötoiminnassa ovat täysien tynnyreiden lähikäsittelyn minimointi, kontaminaation leviämisen estäminen ja vahinkoannosten minimointi.

Kuivausjärjestelmä kuivaa aktiiviset viemärivedet haihduttamalla siitä vettä. Kiinteytystuotteet lasketaan metallitynnyreihin, joiden säteilytasot voivat nousta erittäin korkeiksi. Täyden tynnyrin pinta-annosnopeus voi olla konservatiivisen arvion mukaan 97 mSv/h (Paunonen et al 2015, 62). Kuivausprosessia operoidaan kaukokäyttöisesti erillisestä ohjaustilasta (Eurajoki 2014, 8). Yhden tynnyrin täyttymisen on arvioitu kestävän noin yhdeksän vuotta. Täysi tynnyri on tarkoitus nostaa ilman kantta nosturin avulla kiinteytyslinjan vieressä olevan säteilysuojan sisään. Täytetyn tynnyrin kannen sulkemisen on ajateltu tapahtuvan manuaalisesti. Sulkemisen jälkeen tynnyrille suoritetaan gammaspektrometrimittaus, minkä jälkeen tynnyri siirretään loppusijoitustiloihin. (Paunonen et al 2015, 13 - 14)

Kiinteytysprosessin yleiset säteilysuojeluvaatimukset ovat, että kiinteytysprosessin operoinnissa ei saa levitä kontaminaatiota ja se ei saa aiheuttaa tarpeettomia säteilyannoksia henkilöstölle. Käsiteltävän jätetynnyrin on oltava kiinteytyksen aikana jatkuvasti säteilysuojan takana vahinkoannosten minimoimiseksi ja täyden tynnyrin lähikäsittely on minimoitava.

Täyden tynnyrin nostaminen ilman kantta on säteilysuojelullisesti huomattavan riskialtis toimenpide. Ilman kantta tapatuvassa nostossa on merkittävän ilmakontaminaation riski. Lisäksi tynnyrin säteilytaso voi olla erittäin korkea ja sen käsin sulkeminen aiheuttaisi merkittävästi säteilyaltistusta. Nosto-onnettomuuden seurauksena avoimen tynnyrin sisältö leviäisi kiinteytysjärjestelmän huonetilaan. Tynnyrin kannen sulkeminen kaukokäyttöisesti ennen nostoa olisi säteilysuojelun näkökulmasta huomattavasti turvallisempi ratkaisu.

Tynnyrin siirto loppusijoitukseen tulee suorittaa joko kauko-ohjattavalla ajoneuvolla tai sellaisen säteilysuojan sisällä, jonka läpi säteilytaso on alle 2 mSv/h. Siirron yhteydessä tulee rajata ylimääräisten ihmisten pääsy kuljetusreitille. Miehitetyn ajoneuvon kuljettajan säteilyaltistus on minimoitava ja annosarvio voidaan määrittää vasta kun siirtovälineistö on tiedossa.

Kiinteytysprosessin operatiiviset säteilysuojelutoimet

Jos tynnyrin nostetaan ja suljetaan Fortumilla teetetyssä selvityksessä (Paunonen et al 2015, 14) esitetyllä tavalla, tynnyrin sulkijan on käytettävä hengityssuojainta ja muuta säteilyvalvojan määräämää varustusta. Säteilyvalvoja mittaa teleskooppivartisella mittarilla tynnyrin säteilytasot ennen kuin sitä lähestytään. Tarvittaessa suoritetaan ilmakontaminaatiomittauksia. Tynnyristä on otettava pintakontaminaationäytteet ennen sen siirtämistä gammaspektrometrimittaukseen. Kontaminaationäytteenotto ja mahdollinen tynnyrin dekontaminointi aiheuttavat säteilyaltistusta työvaiheiden suorittajille.

Tynnyreistä aiheutuvan kollektiivisen annosvaikutuksen voidaan arvioida olevan kohtalaisen pieni laitoksen koko käyttöiän aikana, jos tynnyreitä täytyy yksi kappale kerran 9 vuodessa. Yksittäisen työntekijän säteilysuojelun kannalta ratkaisu ei kuitenkaan ole missään nimessä optimaalinen, eikä säteilysuojeluperiaatteiden mukainen. Dekontaminointi ja näytteenotto ovat hyvin lähellä tynnyriä tehtäviä töitä ja laitoksille suunniteltu 5 mSv:n vuosiannosraja täyttyisi 97 mSv/h säteilykentässä noin kolmessa minuutissa.

Kiinteytysjätetynnyreiden säteilytasolle on vähimmillään määritettävä raja-arvo, jonka täyttyessä tynnyrin täyttäminen lopetetaan kesken. Tynnyrin kohdalla on jatkuva, automatisoitu säteilytasomittaus, joten tilannetta voidaan helposti seurata (Paunonen et al, 14). Näin toimimalla vältetään säteilytason nouseminen liian korkeaksi lähityöskentelyn kannalta. Toinen vaihtoehto on kehittää tynnyrin kannen sulkemiselle, kontaminaationäytteenotolle ja dekontaminoinnille kaukokäyttöiset ratkaisut.

Kontaminaatiota voi järjestelmän vuototapauksissa tai tynnyrien käsittelyonnettomuuksien seurauksena. Vuotojen siivoamisessa on käytettävä kontaminaatiotason mukaisia, säteilyvalvojan määräämiä varusteita. Tarvittaessa käytetään vedenkestäviä suojavarusteita sekä lähes poikkeuksetta hengityssuojaimia. Huonetilan poistoilma suodatetaan valvonta-alueen ilmastoinnissa ja tilojen viemärivedet johdetaan takaisin aktiiviseen viemäröintijärjestelmään. Kontaminaatiovaikutusten voidaan siis olettaa jäävän paikallisiksi myös järjestelmän vuototapauksissa ja kiinteytyksen käsittelyonnettomuuksissa.

Jos omaa kiinteytysjärjestelmää ei rakenneta ja viemärivedet kiinteytetään Olkiluodon voimalaitoksen jätteenkäsittelylaitoksella, tulee viemärivesien pumppaus siirtotankkiin suorittaa niin, ettei aktiivista nestettä leviä muualle. Säteilysuojeluvaatimukset ovat siirtojärjestelmän tiiveyden varmistaminen ja säteilytason tarkkailu. Siirtotankin säteilytaso ja pintakontaminaatio tule mitata normaalin ulosmittausprotokollan mukaisesti ennen valvonta-alueelta ulos viemistä.

10.2 Muut jätteenkäsittelytoiminnot

Jätteenkäsittelytiloissa voidaan käsitellä myös muita aktiivisia jätteitä, tavallista huoltojätettä ja metallijätettä. Tämän lisäksi jätteenkäsittelytiloissa suoritetaan kaikkien täysien jätetynnyrien gammaspektrometrimittauksia. Huoltojätteen käsittelyssä suoritetaan rutiininomaisesti paljon säteilytasomittauksia matala-aktiiviselle jätteelle. Olisi järkevää kouluttaa jätteenkäsittelytilojen henkilökunta suorittamaan perustason säteilymittauksia itse. Säteilyvalvonta on kuitenkin aina mukana vaativampien kohteiden, kuten kiinteytysjätetynnyreiden lähitoimenpiteissä.

Muiden aktiivisten nesteiden käsittely

Valvonta-alueella syntyy oletettavasti pienehkö määrä muita kontaminoituneita nesteitä, kuten käytettyjä dekontaminointiliuoksia ja öljyjä. Nesteiden käsittelystä paikan päällä on tehty suunnitelma, jonka mukaan jäteliuokset kiinteytetään kapselointilaitoksella saveen sekoittamalla (Paunonen et al 2015, 15).

Oletettavasti nesteiden aktiivisuustasot olisivat matalampia kuin edellä kuvatuilla aktiivisilla viemärivesillä. Tynnyrin käsittelyssä tulee silti toimia kontaminaationhallinnan suhteen samalla tavalla kuin viemärivesien kiinteytyksessä. Kiinteytettävän jätteen säteilytasoa tulee myös seurata. Gammaspektrometrimittaus sekä sitä edeltävä kontaminaatiomittaus ja loppusijoitusluolaan siirtäminen on toteutettava samalla tavalla kuin kiinteytysjätetynnyreille.

Nesteet saatetaan käsitellä myös Olkiluodon voimalaitoksen jätteenkäsittelylaitoksella, niin kauan kuin siellä on toimintaa. Jos nesteitä siirretään sinne, tulee siirtopakkauksille suorittaa asianmukaiset mittaukset. Muiden nesteiden siirtojärjestelyihin pätevät samat siirtosäiliön tiiveysvaatimukset kuin viemärivesien siirrossa.

Kiinteän huoltojätteen ja metallijätteen käsittely

Kiinteän huoltojätteen käsittelytiloissa on tarkoitus puristaa ja pakata laitoksen matala-aktiiviset, kokoonpuristuvat käyttöjätteet. Käyttökohteilta tulevien jätepakkausten sisältöä lajitellaan jätteenkäsittelytiloissa aktiivisen ja valvonnasta vapautettavan jätteen erottamiseksi. Huoltojäte pakataan tynnyreihin ja niiden gamma-aktiivisuus mitataan gammaspektrometrilla. Metallikomponentit ja suuremmat metallijätteet pakataan laatikoihin. (Paunonen et al 2015, 17 - 18)

Jätteenkäsittelytiloihin tulevan jätteen annosnopeus tulee mitata ennen käsittelyä ja välttää turhaa oleskelua säteilevän jätteen läheisyydessä. Jätteen lajittelussa ja pakkaamisessa tulee huomioida asianmukainen kontaminaatiolta suojautuminen suojavarusteita käyttämällä. Kontaminaatiota ei saa levittää jätepakkauksista ympäristöön. Pintakontaminaatiomittaukset ja mahdollinen tynnyreiden dekontaminointi suoritetaan ennen gammaspektrometrimittausta. Säteilevät jätepakkaukset tulee säilyttää jätteenkäsittelytilassa olevan säteilysuojan takana.

Loppusijoitettavia kiinteän jätteen tynnyreitä odotetaan täyttyvän noin 10 kappaletta vuodessa (Paunonen et al 2015, 17). Laskelma huoltojätteen määrästä on kuitenkin tehty oletuksella, että merkittäviä määriä suojavarustejätettä syntyy vain kerran viidessä vuodessa tehtävissä huoltotoimissa (Paunonen et al, 8). Jokaisesta käsittelykammion dekontaminoinnista syntyy suojavarustejätettä, kontaminoituneita pyyhintäliinoja ja muita siivousjätteitä. Huoltojätettä syntyy siis merkittävästi enemmän kuin arviossa on esitetty, kun käsittelykammion säteilysuojeluvaatimuksena on dekontaminointi jokaisen siirtosäiliöllisen jälkeen.

Metallikomponenttien pakkauslaatikoita on laskettu täyttyvän alle yksi vuodessa (Paunonen et al 2015, 18). Kaikille jätepakkauksille on suoritettava säteilytaso- ja kontaminaatiomittaukset ennen siirtoa jätteenkäsittelytiloista vihreälle puolelle ja loppusijoitustiloihin.

Jätetynnyreiden gammaspektrometrimittaus ja loppusijoitus

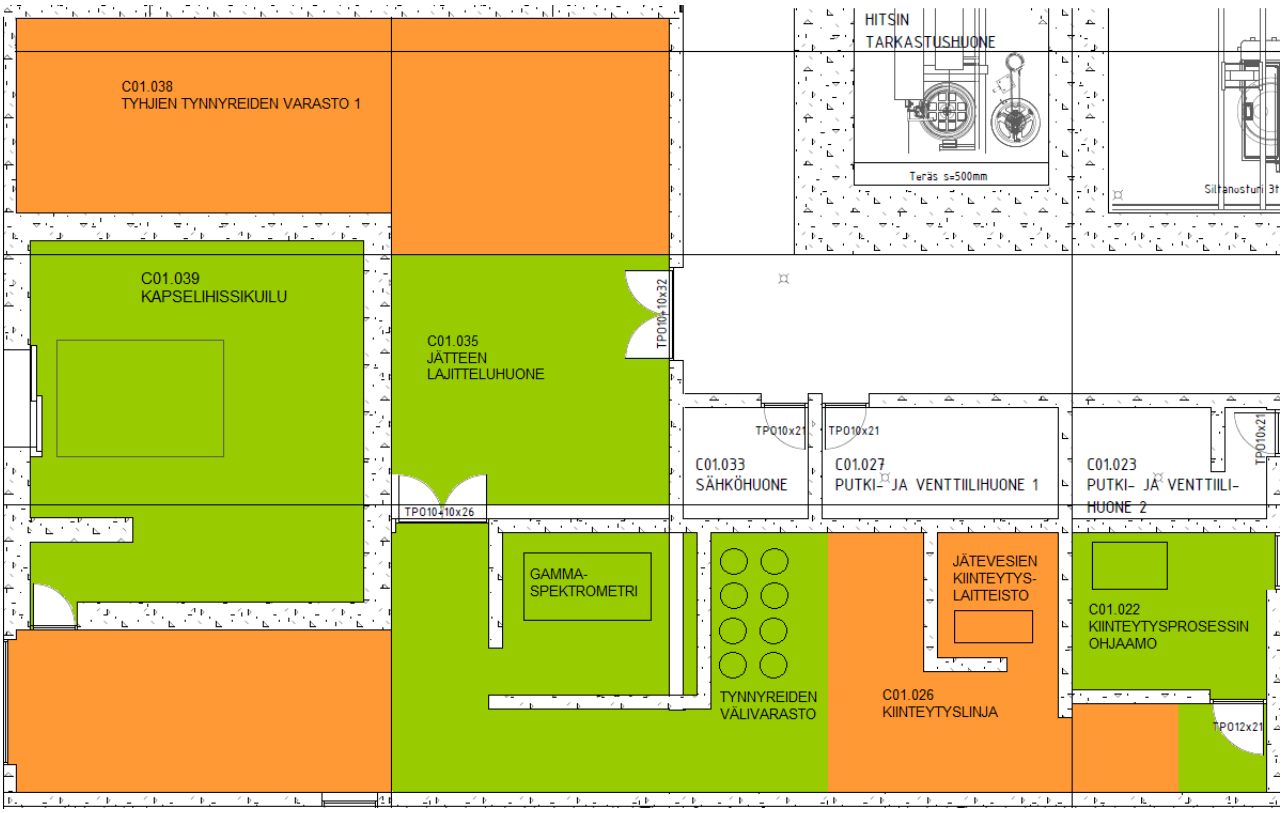
Jätteenkäsittelytiloissa sijaitsee myös gammaspektrometri, jonka alue on pidettävä kontaminoitumattomana. Kiinteytysjätetynnyreille ja huoltojätetynnyreille suoritetaan aktiivisuusmittaukset gammaspektrometrilla ennen niiden loppusijoitusta. Mittausta varten tynnyreiden tulee olla ulkopinnoiltaan puhtaita. Tästä syystä kaikkien mitattavien tynnyreiden ulkopinnoille on suoritettava kontaminaatiomittaukset ennen gammaspektrometriaa. Kontaminoituneet tynnyrit dekontaminoidaan pyyhkimällä ja niistä otetaan uudet pyyhintänäytteet. Gammaspektrometriaan liittyvän puhtausvaatimuksen lisäksi tynnyreiden kontaminaatioseurannalla varmistetaan, että loppusijoitustiloihin ei leviä kontaminaatiota jätetynnyreiden mukana.

Laitosjätetilan olosuhteet saattavat johtaa tynnyreiden korroosioon ja muihin jätteenpakkausmateriaalien kestävyysongelmiin. Mahdolliset maanalaiset vuotovedet laitosjätetilassa ja tilojen ilmankosteus nopeuttavat tynnyreiden korroosiota. Loviisan voimalaitoksen käyttökokemuksen mukaan tynnyrit voivat ruostua jo 20 vuodessa (Paunonen et al 2015, 23). Aihetta on analysoitu jossain määrin kapselointilaitoksen jätteenkäsittelyn suunnitteluraportissa (Paunonen et al 2015, 23 - 25), mutta ongelmatilanteiden varalle on kirjoitettava myös säteilysuojelusuunnitelma. Jos jätteitä joudutaan tuomaan laitosjätetilasta uudelleen pakattavaksi kapselointilaitokselle, aiheuttaa jätteen kuljettaminen ja käsittely säteilyannoksia. Myös kontaminaationhallinnasta ja suojavarustuksesta on huolehdittava maanalaisissa tiloissa, kuljetusten aikana ja uudelleenpakkauksessa.

10.3 Jätteenkäsittelytilojen kontaminaatiovyöhykkeet

Jätteenkäsittelytilojen vyöhykejaolla on varmistettava, ettei gammaspektrometrille tai täysien tynnyreiden välivarastointipisteelle leviä kontaminaatiota muista jätteenkäsittelytiloista. Tämä toteutetaan rajaamalla valmiiden jätepakkausten varastointipiste sekä gammaspektrometrin alueet vihreälle vyöhykkeelle. Muut osat jätteenkäsittelytiloista ovat oranssia vyöhykettä.

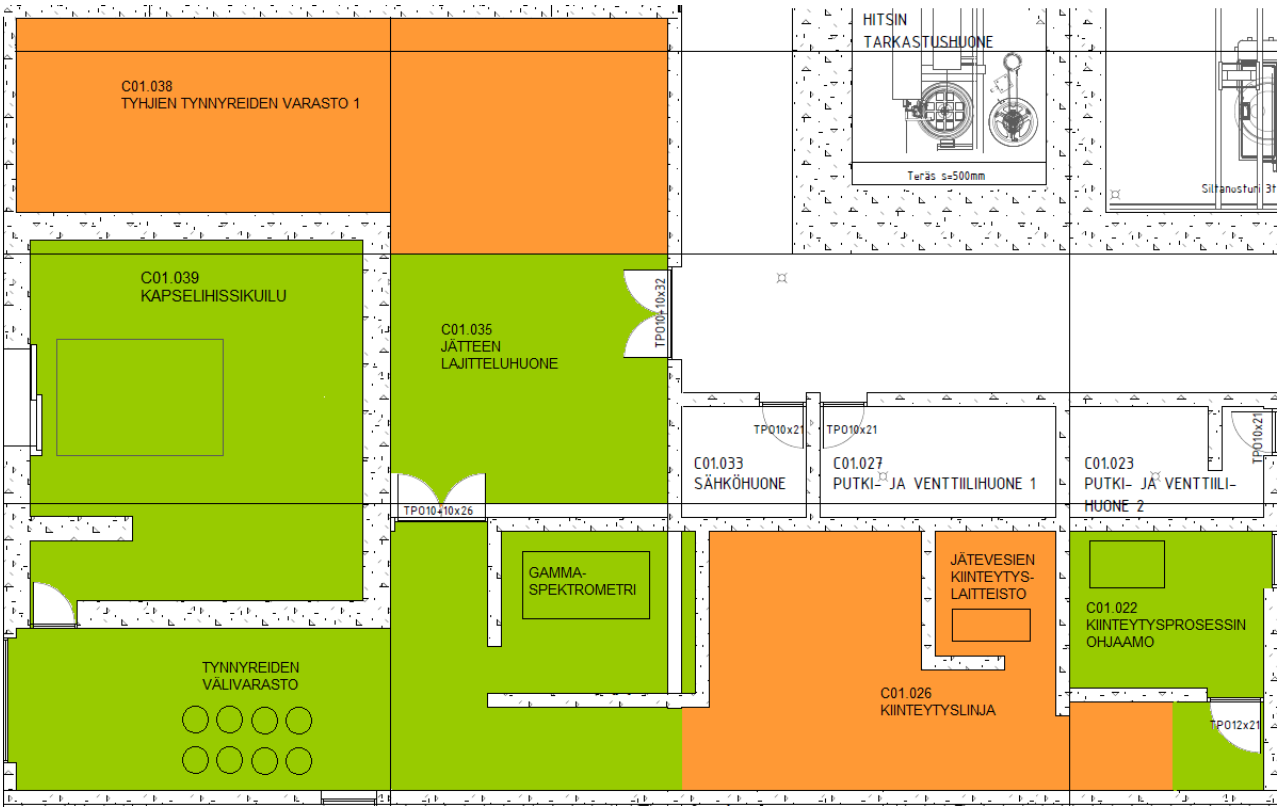
Kuvassa 28 on esitetty jätteenkäsittelytilojen kenkärajojen säteilysuojeluvaatimus, jos tynnyreiden varastointi toteutetaan Fortumilla teetetyn jäteselvityksen toimintamallin mukaisesti (Paunonen et al 2015, 4). Kyseisessä ratkaisussa puhtaat jätetynnyrit säilöttäisiin hyvin lähellä avonaisen kiinteytysjätetynnyrin käsittelypistettä.



Kuva 28. Jätteenkäsittelytilojen kenkärajajärjestelyt, jos jätteenkäsittelytoiminnot järjestetään Fortumin jäteselvityksessä kuvatulla tavalla.

Tynnyreiden välivarastointi tilassa C01.026 vähentää oranssilla puolella käytettävissä olevan tilan määrää ja on kontaminaationhallinnan kannalta epäoptimaalinen ratkaisu. Kontaminaation leviämisen riski oranssin kenkärajan yli puhtaiden tynnyreiden pintaan on merkittävä.

Kuvassa 29 on esitetty kontaminaatiohallinnan kannalta varmempi järjestely, jossa koko kiinteytyslinjan sisältävä huonetila on oranssin kenkärajan sisällä. Gammaspektrometrihuone on kokonaan vihreää vyöhykettä ja täysien huoltojätetynnyreiden välivarastointipaikka on gammaspektrometritilan länsipuolella. Kontaminaationhallinta helpottuu, kun jokaiselle toiminnolle on selkeästi eriytetty tilansa. Täysien tynnyreiden varastointi on säteilysuojelullisesti perusteltua järjestää sopimaan kuvan 29 mukaiseen kenkärajajärjestelyyn.



Kuva 29. Jätteenkäsittelytilojen säteilysuojelullisesti optimaalinen kenkärajajärjestely.

Kiinteytysprosessin ohjaamohuonetta ei ole säteilysuojelullisesti perusteltua luokitella oranssin kenkärajan sisään. Rajaamalla oranssi vyöhyke huoneeseen C01.026 vältetään myös ohjaamon kontaminoituminen. Kiinteytysprosessin operaattori voi kulkea tarvittaessa vaivattomasti oranssille puolelle, sillä oranssin alueen käyntien perusvarustukseksi riittävät oranssit kengänsuojat ja puuvillakäsineet.

Kapselihissikuilu on kontaminaation suhteen vihreää aluetta, mutta toisin kuin layout-kuvista voisi päätellä, jätteenkäsittelytiloista ei ole kulkua kapselihissikuilulle. Tynnyreiden siirto loppusijoituslaitokselle suoritetaan jätteiden lajitteluhuoneen ja kapselointilaitoksen käytävien kautta. Tästä syystä huoneen C01.035 alaosan on oltava kuvan 29 mukaisesti vihreää vyöhykettä.

11 SÄTEILY- JA KONTAMINAATIOMITTAUSTEN LAATUVAATIMUKSET

Säteily- ja kontaminaatiomittaukselle ja mittareille on määritettävä tiettyjä laatuvaatimuksia, jotta operatiivinen säteilysuojelu täyttää säteilysuojeluperiaatteet ja viranomaisvaatimukset. Kontaminaatioseurannassa näytteiden analysointikäytännöt vaikuttavat myös kapselointiprosessin sujuvuuteen.

11.1 Suorasäteilymittarit

Operatiiviset säteilymittaukset suoritetaan kannettavilla gamma- ja neutronisäteilymittareilla. Säteilymittareista on käytettävä teleskooppivarrella varustettuja malleja erittäin korkean säteilytason kohteita mitattaessa. Näin toimimalla minimoidaan säteilyvalvojien säteilyaltistus. Säteilymittauksia suoritetaan rutiininomaisesti työkohteiden säteilyolosuhteiden määrittämiseksi tiloissa, joissa on säteileviä kohteita. Samoin toimitaan itse työkohteen ollessa säteilevä komponentti. Säteilytasomittaukset suoritetaan myös valvonta-alueilta ulos mitattaville kappaleille.

Laitokselle on hankittava myös jatkuvatoimisia säteilymittareita, joissa on mahdollisuus äänihälytykseen säädettävällä hälytysrajalla. Jatkuvatoimiseen mittariin on liitettävissä myös hälytysvalo, jolla voidaan lisätä hälytyksen huomioarvoa. Mittarit soveltuvat varoittamaan muun muassa polttoaineen käsittelyn aikaisista säteilytasoista käsittelykammion eteishuoneessa tai kapselin säteilytasosta sen kuljetusreitillä.

11.2 Pintakontaminaation mittausmenetelmät ja analysointivaatimukset

Pintakontaminaation mittaamiseen voidaan käyttää suoraa mittausta tai epäsuoraa mittausta. Suora mittaus tehdään käyttämällä beeta- ja alfahiukkaset havaitsevaa pintakontaminaatiomittaria ja epäsuora kontaminaatiomittaus otetaan pyyhkäisynäytteillä, jotka analysoidaan erillisellä laitteella. Pintakontaminaatiomittari reagoi myös suorasäteilyyn, joten säteilevässä tilassa pintakontaminaatio voidaan mitata luotettavasti ainoastaan pyyhkäisynäytteillä.

Aikaisemmissa suunnitelmissa on esitetty, että pyyhkäisynäytteet voidaan analysoida laboratoriossa. Operatiivisen säteilysuojelun kannalta on merkittävästi parempi vaihtoehto varustaa valvonta-alue pyyhintänäytteiden analysointilaitteilla. Esimerkkinä analysointilaitteista on suomalaisilla ydinvoimalaitoksilla käytössä oleva Nutronic. Analysointilaitteiden mittausaika on muutamasta sekunnista noin kymmeneen sekuntiin. Tähän verrattuna näytteiden lähettäminen laboratorioon analysoitavaksi on hidasta, varsinkin jos analysointi tehtäisiin Olkiluodon voimalaitoksen laboratoriossa. Jokaisen näytteen analysointi laboratoriossa hidastaisi operatiivista säteilysuojelutoimintaa merkittävästi. Operatiivisen säteilysuojelun hitaus puolestaan hidastaisi kapselointiprosessin kulkua.

Laboratorioanalyysit ovat käyttökelpoisia ja tarpeellisia joissain tapauksista. Esimerkiksi käsittelykammion pinnoilta voidaan haluta tietää kontaminaation nuklidikohtainen koostumus kammion dekontaminoinnin yhteydessä. Tällaisessa tilanteessa voidaan ottaa ylimääräisiä laboratorioon lähetettäviä näytteitä, mutta kammion dekontaminoinnin aloittamiseen riittää Nutronicilla saatava tieto pintojen kontaminaatiotasoista.

Pyyhintänäytteiden analysointilaitteita tulee sijoittaa valvonta-alueelle useampia, jotta toiminta ei ole tarpeettoman hankalaa. Tiedossa olevia toistuvia mittauskohteita kapselointilaitoksella ovat ainakin kapselointilaitoksen pääkenkäraja, polttoaineen käsittelykammio, dekontaminointikeskus, polttoaineen vastaanottotila, tavaroiden ulosmittaukset, kapselin kontaminaationäyte, kapselinsiirtokäytävä ja jätteenkäsittelytilat.

Kapselointilaitoksella analysointilaitteet on hyvä olla ainakin polttoainekammion eteisessä, dekontaminointikeskuksessa ja kapselointilaitoksen pääkenkärajalla. Loppusijoituslaitoksen tarpeisiin riittää analysointilaite loppusijoituslaitoksen pääkenkärajalla.

11.3 Ilmakontaminaation mittausmenetelmät ja analysointivaatimukset

Valvonta-alue tulee varustaa kannettavilla ilmakontaminaation mittauslaitteilla. Mittareita on oltava tarpeeksi, jotta myös odottamattomissa tilanteissa pystytään määrittämään kohteiden ja tilojen ilmakontaminaatiotilanteet.

Joidenkin ilmakontaminaatiomittareiden suodattimet pystytään mittaamaan nopeasti pintakontaminaatiomittareilla ja joidenkin mallien suodattimet täytyy lähettää laboratorioon analysoitaviksi. Käytännön säteilysuojelutoiminnan kannalta paras vaihtoehto on käyttää mittareita, joiden suodattimet pystytään mittaamaan tavallisilla pintakontaminaatiomittareilla näytteenoton yhteydessä. Toinen vaihtoehto on lähettää näytteet laboratorioon, jossa analyysin valmistuminen kestää useamman tunnin. Odotus seisottaisi muun muassa kapselointiprosessin etenemistä polttoaineen kuljetussäiliön ilmanäytteenotosta seuraavaan työvaiheeseen.

Myös ilmakontaminaation tapauksessa voidaan ottaa erikseen ilmanäyte laboratorioanalyysia varten, jos jollain kohteella ilmakontaminaatiosta halutaan tietää nuklidikoostumus. Työolosuhteiden määrittämiseksi riittää kuitenkin tieto radionuklidien ilmakonsentraatiosta. Tämä voidaan arvioida riittävällä tarkkuudella pintakontaminaatiomittareiden avulla.

12 OPERATIIVINEN KONTAMINAATIONHALLINTA

Kaikki laitoksen kontaminaatio on ainakin käytön alkuvaiheessa peräisin käytetystä polttoaineesta. Aktivoitumisen seurauksena mahdollisesti syntyvän kontaminaation voidaan olettaa olevan lievempää. Suurimmat kontaminaatiohallinnan haasteet ovat polttoaineperäiseen kontaminaatioon liittyviä. Kontaminaation leviämistä estetään kapselointiprosessin tiiveysvaatimuksen lisäksi operatiivisilla säteilysuojelutoimilla. Näitä toimia ovat muun muassa lisäkenkärajat, kontaminaatiomittaukset, kontaminoituneiden kohteiden dekontaminointi, henkilöiden ja tavaroiden kontaminaatiomittaukset valvonta-alueen rajalla, kontaminaation seurantakierrokset ja työkohteiden suojavarustemenettelyt.

12.1 Kontaminaatiomittausten perusmenettely

Kontaminaationhallinnan perustoimenpiteenä on suorittaa kontaminaatiomittaus aina ennen kohteen tai kappaleen muuta käsittelyä, jos ei varmasti tiedetä kappaleen olevan puhdas. Kontaminaatiomittaus on suoritettava aina kun siirretään tavaroita kontaminaation suhteen likaisemmalta vyöhykkeeltä puhtaammalle. Jos mittaaminen ei ole käytännön toimenpitein mahdollista, tulee kappale suojata tiiviisti ennen sen siirtämistä puhtaammalle vyöhykkeelle.

Kontaminaatiomittauksen jälkeen kontaminoitunut kappale tulee merkitä säteilyvalvojan tai muun toimenpiteeseen koulutetun henkilön toimesta. Myös mitattu kontaminoitunut kappale tulee suojata tiiviisti, jotta kontaminaatio ei pääse leviämään muualle. Kontaminoitunutta kappaletta käsiteltäessä tulee käyttää asianmukaisia suojavarusteita, joiden määrääminen on säteilyvalvojan vastuulla. Kontaminaatiomittaus on säteilytasomittausten ohella yleisin operatiivisen säteilysuojelun toimenpide. Valvonta-alue on varustettava riittävällä määrällä pintakontaminaatiomittareita, pyyhintänäyteanalysaattoreita ja näytteenottovälineitä.

12.2 Kontaminaationhallinnan toimenpiteet valvonta-alueen rajalla

Kontaminaation leviäminen valvonta-alueen ulkopuolelle estetään valvonta-alueen rajalla suoritettavilla kontaminaatiomittauksilla. Henkilömonitoroinnin ja tavaroiden mittauksen toimintamalli ja kontaminaation vapaarajat käsiteltiin luvussa 3.2.

Jos työntekijän vaatetuksesta tai iholta mitataan vapaarajan ylittävä kontaminaatiotaso, ei valvonta-alueelta saa poistua. Valvonta- ja tarkkailualueen rajat on varustettu dekontaminointipisteillä, joissa voi pestä kehon kontaminoituneet alueet ja vaihtaa kontaminoituneet varusteet puhtaisiin. Dekontaminoinnin jälkeen suoritetaan uusi mittaus. Poikkeustilanteissa, esimerkiksi fyysisesti loukkaantuneen henkilön ollessa estynyt käyttämästä henkilömonitoria, voidaan kontaminaatiomittaus suorittaa käsikäyttöisellä mittarilla. Mittauksen suorittaa säteilyvalvoja. TVO:n säteilysuojelun menettelyohje 103502 käsittelee henkilödekontaminaatiota ja kontaminoituneen potilaan hoitoa (Grönman 2014a). Ohje soveltuu henkilökontaminaation toimenpideohjeeksi myös Posivan laitoksille.

Valvonta-alueen rajoilla on pientavaramonitorit työkalujen ja muiden pienten kappaleiden mittaamiseen. Suuremmat tavarat mittaa säteilyvalvoja. Ulosmittaamisen ohjedokumentiksi soveltuu TVO:n dokumentti 113520, Ulosmittausohje (Grönman 2016a). Kontaminoitunutta materiaalia ei voi viedä valvonta-alueelta ulos. Ulosmittausmenettelyä noudatetaan sekä pääkenkärajoilla että muilla valvonta-alueen rajapinnoilla, joista kuljetetaan tavaraa ulos.

Kontaminoituneiden työkalujen varsinainen dekontaminointi tapahtuu dekontaminointikeskuksessa, ei pääkenkärajalla säteilyvalvonnan toimesta. Valvonta-alueen raja on kuitenkin järkevää varustaa pyyhintäliinoilla ja kumikäsineillä, jotta työntekijät voivat halutessaan pyyhkiä lievästi kontaminoituneita työkalujaan puhtaaksi. Pyyhintä tehdään säteilyvalvojan ohjeistuksella ja huolellisesti, jotta työkalun kontaminaatio ei leviä työntekijään tai ympäristöön.

12.3 Säteilyvalvonnan ohjeistamat dekontaminoinnit

Valvonta-alueen kontaminoituneita huonetiloja ja työkohteita dekontaminoidaan säteilyvalvonnan ohjeistuksella. Työkohteiden dekontaminoinnit on osa säteilysuojelun ohjeistamaa kontaminaatiohallintaa. Dekontaminointikeskuksessa suoritettavissa komponenttien dekontaminointitöissä noudatetaan jätteenkäsittely-yksikön omia dekontaminointiohjeita. Säteilyvalvojat kuitenkin määrittävät dekontaminointikeskuksessa tehtävien töiden suojavarustuksen. Säteilyvalvonta suorittaa myös kontaminaatioseurantaa dekontaminointikeskuksessa ja määrittää huonetilojen pintojen dekontaminointitarpeet.

Säännöllisesti dekontaminoitavia työkohteita ovat muun muassa polttoaineen käsittelykammio, dekontaminointikeskuksen tilat ja kapselinsiirtokäytävä. Polttoaineen käsittelykammion dekontaminoinnin operatiiviset säteilysuojelutoimenpiteet käsiteltiin yksityiskohtaisesti polttoainekammion työkuvauksen yhteydessä luvussa 6.2.

Rutiininomaisen dekontaminoinnin piiriin kuuluvat myös kontaminoituneet prosessikomponentit, joita huolletaan paikan päällä. Kontaminoituneita komponentteja huollettaessa, komponentista irtoava radioaktiivinen lika pyyhitään pois ennen huoltotoimenpiteitä. Näin vähennetään kontaminaation leviämisen ja henkilökontaminaation riskiä.

Dekontaminointeja suorittavien työntekijöiden säteilysuojelu kontaminaation suhteen toteutetaan oikeilla suojavarusteilla. Jos kohde tai tila on säteilevä, pyritään minimoimaan dekontaminoinnin suorittajan altistumisaika säteilylle ja maksimoimaan työntekijän etäisyys säteilylähteestä. Lisäksi rakennetaan väliaikaisia säteilysuojia, mikäli se on ALARA -periaatteen mukaista tai käytännöllisin toimenpitein mahdollista.

Kontaminoituneiden nesteiden leviämistapaukset

Kontaminoituneiden vesien leviäminen on skenaario, jonka seurauksena kontaminaatio voi levitä helposti laajallekin alueelle. Kontaminoituneita vesiä voi levitä esimerkiksi viemärivesien kiinteytyksen häiriötilanteen yhteydessä tai viemärivesien keruusäiliöiden vuodoissa.

Tällaisissa tapauksissa kontaminoitunut vesi on rajattava mahdollisimman tehokkaasti. Veden kontaminaatiotaso ja työkohteen säteilytasot on määritettävä. Kontaminoitunut vesi siivotaan pois vedenkestävässä varustuksessa. Siivousjätteet viedään mitattuina ja pussitettuina huoltojätteen käsittelytiloihin. Kontaminaatiomittaukset alueelta on suoritettava huolellisesti ja kenkärajan pitävyydestä on huolehdittava. Valvonta-alueen viemäröintiin valuva kontaminoitunut vesi ei sinänsä aiheuta poikkeustoimenpiteitä, sillä se kulkeutuu aktiivisuusmittauksen kautta oikeaan käsittelysäiliöön.

Edellä kuvattua toimintamallia on käytettävä myös muulloin kontaminoituneita nesteitä käsiteltäessä ja siivottaessa. Kapselointilaitoksen tilojen pyyhinnöissä ei käytetä suuria määriä vettä, mutta esimerkiksi dekontaminointikeskuksessa saattaa levitä kontaminoituneita dekontaminointiliuoksia. Tällöin varustevalinnoissa on huomioitava sekä kontaminaatiolta suojautuminen että dekontaminointiliuosten aiheuttamat kemialliset terveyshaitat.

12.4 Kontaminaation seurantakierrokset

Kapselointilaitoksella on suoritettava systemaattista kontaminaatioseurantaa. Laitoksen käytön alkuvaiheessa sitä on suoritettava useammin, kunnes saadaan käyttökokemusta kapselointiprosessin kontaminaationhallinnan toimivuudesta ja kohteiden kontaminoitumisnopeudesta. Kontaminaatioseurantaa on suoritettava koko valvonta-alueen kulkureiteillä. Lisäksi seurataan kiinteiden ja väliaikaisten lisäkenkärajojen edustojen kontaminaatiotilannetta.

Erityisesti polttoaineen siirtosäiliön ja täyden kapselin siirtoreittejä on seurattava polttoaineen vastaanottotilasta kapselihissille asti. Dekontaminointikeskuksen ja aktiivikorjaamon kontaminaatiotasoja tulee myös seurata säännöllisillä kierroksilla kenkärajan ulko- ja sisäpuolella. Ainakin käytön alkuvaiheessa tulee kontaminaatiota seurata piha-alueilla ja reitillä Olkiluodon käytetyn polttoaineen varastolta kapselointilaitokselle. Kapselinsiirtokäytävän kontaminaatiota tulee seurata jokaisen kapselisiirron jälkeen. Kapselivaraston ja kapselihissin välinen reitti tulee myös tarkastaa säännöllisesti. Kapselin siirtovaunu mitataan jokaisen kapselin jälkeen. Kapselivarastosta tulee käydä ottamassa näytteitä varaston ollessa tyhjä.

Polttoaineen käsittelykammiosta on otettava kontaminaationäytteitä useammin käytön alkuvaiheessa. Näytteet käydään ottamassa ennen dekontaminointia jokaisen siirtosäiliöllisen jälkeen ja aivan käytön alussa joka kapselin jälkeen. Näin saadaan käyttökokemusta siitä, kuinka nopeasti kontaminaatio kertyy kammion pinnoille.

Käytön alkuvaiheessa on aiheellista käydä tarkastamassa myös hitsauskammion ja hitsin tarkastushuoneen kontaminaatiotasot säännöllisesti. Käyttökokemuksen karttuessa voidaan määrittää paremmin, mitä tiloja on välttämätöntä seurata säännöllisesti. Samat seurantaperiaatteet pätevät myös kapselointiprosessin apujärjestelmiin liittyvissä tiloissa. Jos pystytään osoittamaan, että kapselointiprosessissa ei leviä kontaminaatiota käsittelykammion ulkopuolelle, voidaan seurantaa harventaa vähemmän kriittisissä tiloissa. Kontaminaatioseurantaa suoritetaan kuitenkin systemaattisesti koko valvonta-alueella ja tarkkailualueella.

Loppusijoituslaitoksen puolella seurantaa on suoritettava ainakin alkuvaiheessa kapselien siirtoreiteillä ja koko valvonta-alueella. Jos voidaan todeta, että kontaminaatiota ei esiinny, voidaan seurantaa harventaa.

Liitteessä II on esitetty kontaminaatioseurannan kannalta mielenkiintoiset kohteet ja tilat. Kontaminaatioseurannan menettelyohjeena voidaan käyttää soveltuvin osin TVO:n dokumentin 133632 näytteenotto-ohjeita (Grönman 2014b). Posivan laitosten kontaminaatioseurantaan luodaan omat näytteenottokartat ja -pöytäkirjat.

13 TYÖKOHTEIDEN OPERATIIVISEN SÄTEILYSUOJELUN LAATUVAATIMUKSET

Työntekijän suojaamiseen tähtäävä operatiivinen säteilysuojelu koostuu suorasäteilyaltistuksen minimoinnista ja työntekijän suojaamisesta ulkoiselta sekä sisäiseltä kontaminaatiolta. Kontaminaationhallintaa on käsitelty aiemmissa luvuissa pääasiassa radioaktiivisten aineiden leviämisen estämisen näkökulmasta tai yksittäisten töiden kuvauksina. Tässä luvussa kontaminaationhallinnan ja suorasäteilyltä suojautumisen yleisperiaatteita käsitellään työntekijöiden suojaamisen näkökulmasta. Suorasäteilyltä ja kontaminaatiolta suojautumisen suhteen säteilysuojelutoimenpiteet noudattavat työkohteesta riippumatta samaa peruskaavaa.

Työkohteiden operatiiviseen säteilysuojeluun kuuluu myös säteilytyölupien käsittely. Säteilytyölupien ja niihin sisältyvän ohjeistuksen funktio on osaltaan varmistaa säteilysuojeluperiaatteiden toteutuminen valvonta-alueen töissä.

13.1 Operatiiviset säteilymittaukset ja väliaikaiset säteilysuojaukset

Kaikkea säteilysuojelua ohjaa ALARA -periaate, jonka noudattamiseksi työkohteen ja työtilan säteilytasojen tulee säännönmukaisesti olla aina selvillä, ennen kuin työntekijä aloittaa työn. Säteilymittaus on siis suoritettava ennen työn aloittamista ja työntekijöiden tulee välttää turhaa oleskelua kohteella. Säteilyvalvoja suorittaa mittaukset ripeästi ja huolellisesti, huolehtien omasta säteilysuojelustaan pysymällä mahdollisimman kaukana säteilevästä kohteesta. Säteilyvalvoja käyttää mahdollisuuksien mukaan teleskooppivartista suorasäteilymittaria korkeamman säteilytason kohteita mitatessaan.

Tavanomaisissa töissä gammasäteilymittaus ja neutronisäteilymittaus tulee suorittaa aina ennen aktiivisen järjestelmän komponentin parissa työskentelyä. Kriittisissä tiloissa, erityisesti polttoaineen käsittelykammioon mennessä säteilymittaus on avainasemassa ennen kaikkia henkilökäyntejä.

Säteilymittausten perusteella säteilyvalvoja määrittää, onko työskentelykohteelle syytä rakentaa väliaikainen säteilysuoja kollektiivisen säteilyannoksen minimoimiseksi. Väliaikaiset gammasäteilysuojat rakennetaan lyijymatoille, joita on varattava valvonta-alueelle riittävästi. Neutronisäteilyltä suojaamiseen käytetään neutroneja absorboivia materiaaleja, kuten boorattua polyeteeniä.

Suojausten rakentamisessa on noudatettava ALARA -periaatetta. Työn aiheuttamaan kollektiiviseen annosarvioon lasketaan mukaan myös säteilysuojan rakentamisesta sekä purkamisesta aiheutuvat annokset. Tätä annosarviota verrataan suojaamattomalla kohteella työskentelyn aiheuttamana kollektiiviseen annokseen. Suojaus on perusteltu, jos sen rakentamisella saavutetaan pienempi yhteenlaskettu kollektiivinen annos.

13.2 Kontaminaatiolta suojautuminen työkohteilla

Henkilökontaminaation välttämiseksi työntekijöiden on käytettävä kontaminoituneilla kohteilla työskennellessään säteilyvalvojan määräämiä suojavarusteita. Kontaminaatiolta suojautumiseen käytetään kohteelle soveltuvia kengänsuojia, lisähaalareita, kumikäsineitä ja hengityssuojaimia. Märissä töissä käytetään vedenkestäviä varusteita ja tarvittaessa kumisaappaita.

Valvonta-alueen perusvarustuksen päälle puettavat lisävarusteet suojaavat työntekijää kehon pinnan kontaminoitumiselta. Sisäiseltä kontaminaatiolta suojaudutaan hengityssuojaimilla ja niitä on käytettävä tilanteissa, joissa on syytä epäillä ilmakontaminaatiota. Kontaminoituneita järjestelmiä avattaessa hengityssuojaimen tarve on tilannekohtainen ja hengityssuojaimen tarpeen arvioi säteilyvalvoja. Hengityssuojaimeen kiinnitettävän suodattimen valinnassa huomioidaan ilmakontaminaation laatu ja työssä mahdollisesti käytettävien kemikaalien aiheuttama suojautumistarve. Kontaminaation kannalta erittäin haastavissa töissä voidaan käyttää myös raitisilmalaitetta tai ylipainepukua.

Suojavarusteiden huolellinen pukeminen, käyttäminen ja erityisesti niiden oikeaoppinen riisuminen ovat avainasemassa henkilökontaminaation välttämisessä. Oikeaa riisumisjärjestystä noudattamalla kontaminaatio ei pääse lisäsuojavarusteiden ulkopinnalta laitoshaalarin pintaan tai työntekijän iholle. Suojavarusteiden riisumisjärjestys on esitetty taulukossa 5. Joissain tapauksissa ja erityisvarusteita käytettäessä noudatetaan säteilyvalvojan ohjeita.

Taulukko 5. Suojavarusteiden normaali riisumisjärjestys. Erityissuojavarusteet riisutaan säteilyvalvojan ohjeiden mukaan.

Järjestysluku	Toiminto	Huomio
1.	Teippaukset	Vaativilla kohteilla
2.	Kumikäsineet	Pitkät tai lyhyet
3.	Lisähaalarit	Paperi-, kangas-, muovi- tai painepuku
4.	Hengityssuojain	Kokonaamari, puolinaamari tai puhallinsuojain
5.	Kengänsuojat	Vyöhykkeen väriä vastaavat kankaiset lisäkengänsuojat. Kertakäyttöiset lisäkengänsuojat riisutaan aiemmin, ennen kumikäsineitä.
6.	Puuvillakäsineet	Kenkärajan ylittämisen jälkeen

Inhimillisten virheiden ja kontaminaation näkymättömän luonteen vuoksi kontaminaatiotapauksia on epätodennäköistä saada eliminoitua kokonaan. Toimintatapavirheen ohella henkilökontaminaatio saattaa aiheutua tilanteesta, jossa kontaminaatiota on ollut puhtaaksi oletetun kohteen lähistöllä tai esimerkiksi vihreän alueen käytävällä.

Valvonta-alueelta poistumisen yhteydessä suoritettavalla kaksoismonitoroinnilla on kontaminaationhallinnan lisäksi myös säteilysuojelufunktio. Monitoroinnin ansiosta kehon kontaminoituminen havaitaan suhteellisen nopeasti sen iholle joutumisen jälkeen. Näin iholle joutuneet radionuklidit eivät pääse aiheuttamaan pitkäaikaisesti säteilyannosta.

Kontaminaatiotapauksia voidaan alustavasti olettaa olevan kapselointilaitoksella vähemmän kuin ydinvoimalaitoksilla, sillä kontaminoituneita järjestelmiä on huomattavasti vähemmän. Kontaminoituneiden kohteiden käsittelyä on vähemmän ja polttoaineen käsittelykammion oletetaan pysyvän tiiviinä. Kontaminaatiotapausten yleisyys todentuu käyttökokemuksen karttuessa.

13.3 Valvonta-alueen töiden säteilytyöluvat

Ydinlaitoksen valvonta-alueella tehtävissä töissä on YVL -ohjeen C.2 mukaan oltava säteilytyölupa. Säteilytyöluvasta on ilmettävä ainakin työkohde ja sen säteilyolosuhteet, työn kuvaus, kohteen annosnopeus- ja kontaminaatiomittauksia koskevat vaatimukset, työn suorittamista edeltävät ja sen aikaiset säteilysuojelutoimenpiteet, työn säteilysuojeluohjeet sekä työssä tarvittavat suojavarusteet. Lisäksi säteilytyöluvasta on ilmettävä luvan laatija ja hyväksyjä sekä luvan myöntämisajankohta. (STUK 2014, 523. - 524.)

Säteilytyölupa on hyväksytettävä säteilyvalvojalla ennen työn aloitusta. Luvan palauttaminen säteilyvalvojalle työn päätyttyä on TVO:lla käytössä oleva hyvä käytäntö, joka kannattaa ottaa käyttöön myös Posivan laitoksille. Säteilytyöluvan on oltava esillä työkohteessa tai jos tämä ei ole mahdollista tilanahtauden vuoksi, on ohjeen oltava säteilysuojeluhenkilökunnan saatavilla työkohteella (STUK 2014, 525.).

14 TYÖNTEKIJÖIDEN SÄTEILYANNOSTEN SEURANTA

Työntekijöiden säteilyannoksia seurataan viranomaisvaatimuksien mukaisesti. Annosrajat kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen työntekijöille asetetaan siten, että annosrajat eivät ole tarpeettoman suuret, mutta mahdollistavat kuitenkin tarpeellisten töiden suorittamisen. Annosseurannan ja säteilyannosten STUK:lle ilmoittamisen vaatimuksia on esitetty YVL -ohjeessa C.2 (STUK 2014, 701. - 818.).

Posivan ALARA -ohjelmassa on esitetty työntekijöiden annosrajaksi arvoa 5 mSv vuodessa (Kumpula 2012, 5). Normaalikäytössä kyseisen annosrajan pitäisi riittää. ALARA -ohjelmassa on lisäksi esitetty otettavan tavoitteeksi, että kenenkään työntekijän sisäisestä kontaminaatiosta aiheutuva säteilyannos ei ylitä arvoa 0,5 mSv vuodessa (Kumpula 2012, 5). Laitoksen käyttötoiminnan tavoitteeksi on ehdottomasti otettava, että sisäisiä säteilyannoksia ei synny ollenkaan. Sisäinen kontaminaatio on aina poikkeustilanne, eikä säteilysuojelun näkökulmasta voida hyväksyä sisäisen annoksen tavoitteeksi mitään muuta kuin 0 mSv vuodessa.

Annosseurannan toteutuminen varmistetaan valvonta-alueen kulkukäytännöillä ja valvonta-alueen perusvarustukseen kirjatuilla vaatimuksilla. Valvonta-alueen puolelle pääsee portista, joka aukeaa ainoastaan työntekijän käyttöön kirjatulla elektronisella dosimetrilla. Näin ollen työntekijöillä on aina valvonta-alueella ollessaan reaaliaikainen annosmittari. Henkilökohtainen annosmittari on määritettävä valvonta-alueen perusvarustukseen.

Henkilökohtaiset ja elektroniset annosmittarit jätetään valvonta-alueelta poistuttaessa säilytykseen dosimetritauluihin, jotka sijoitetaan nostinlaiterakennuksen tarkkailualueelle. Myös elektronisten dosimetrien lukijat on käytännöllisintä sijoittaa nostinlaiterakennukseen. Tällä käytännöllä molempien laitosten valvonta-alueiden työntekijät voivat käyttää samaa taulua ja lukulaitetta.

Dosimetritauluissa on oltava myös taustasäteilyä mittaavat dosimetrit, jotka luetaan työntekijöiden annosluennan yhteydessä. Näin taustasäteilyn osuus annosmittariin kertyneestä annoksesta voidaan vähentää työntekijöiden annostuloksista. Taustamittauksen vuoksi annosmittareita on säilytettävä työajan ulkopuolella dosimetritauluissa.

Myös polttoainesiirtoja valvomattoman puolen kautta suorittavilla työntekijöillä tulee olla dosimetrit. Olkiluodon voimalaitoksen ulkoalueilla polttoainesiirtoja tekevällä henkilökunnalla on jatkuvasti henkilökohtaiset dosimetrit käytössään. Tämä käytäntö on syytä ottaa käyttöön myös Posivan laitoksille tehtävissä polttoainesiirroissa.

14.1 Gamma- ja neutroniannoksen mittaamiseen soveltuvat dosimetrit

Kapselointi- ja loppusijoituslaitosten valvonta-alueella käytettävien dosimetrien tulee täyttää YVL -ohjeen C.2 vaatimukset säteilylajien mittauskyvyn ja mitattavan energia-alueen suhteen. Dosimetrin valinnassa tulee huomioida käytetyn polttoaineen annosta aiheuttavien päänuklidien emissioenergiat. Dosimetrien tulee kyetä myös mittaamaan luotettavasti neutronisäteilyä. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella neutronisäteilyä on pystyttävä mittaamaa reaaliajassa, toisin kuin esimerkiksi ydinvoimalaitoksilla useimmissa kohteissa. Reaaliaikainen annosseuranta toteutetaan elektronisilla dosimetreilla ja markkinoilla on elektronisia dosimetreja, joihin on saatavilla neutronimittausominaisuus.

Virallisista henkilökohtaisista annosmittareista on aiemmissa suunnitelmissa mainittu, että käyttöön otetaan termoluminesenssidosimetri eli TL -dosimetri. TVO:n dosimetreja ja annosluentapalvelua hyödyntämällä voitaisiin luultavasti optimoida kustannuksia, jos TVO:n dosimetrit soveltuvat Posivan laitosten säteilyolosuhteisiin. Olkiluodon voimalaitoksilla on vuodesta 2015 lähtien ollut testikäytössä DMC3000 -mallin elektroniset dosimetrit ja TVO:n TL -dosimetrien kiteille on hiljattain määritetty neutroniannoskertoimet (Grönman 2016b). DMC3000 -dosimetri mittaa reaaliajassa myös neutroniannosta (Mirion 2014, 1). Näin ollen kyseisten dosimetrien voidaan todeta soveltuvan myös Posivan laitoksille.

Toinen vaihtoehto on investoida modernimpaan dosimetrimalliin. Puhtaasti säteilysuojelullisesta näkökulmasta katsottuna tämä on perusteltua, sillä markkinoilla on nykyään TL -dosimetreja tarkempaa ja käyttöominaisuuksiltaan parempaa teknologiaa. Esimerkiksi lasinen fotoluminesenssidosimetri (PL) on mittausominaisuuksiltaan TL -dosimetria tarkempi (Hoshi et al 2000, 130 – 133).

Kehonosien ekvivalenttiannoksia on YVL -ohjeen C.2 mukaan mitattava erikseen, jos työntekijän säteilyaltistuksen epäillään olevan epätasaista. Tähän tarkoitukseen on varattava esimerkiksi sormidosimetreja, joilla voidaan mitata käsiannosta tai mykiöannosta silmälasien sankaan kiinnitettynä. Jos käyttöönottoon mennessä markkinoilta on hankittavissa silmädosimetreja, on määritettävä tehdäänkö laitoksella merkittävää silmäannosta aiheuttavia töitä. Tässä tapauksessa voi olla säteilysuojelullisesti perusteltua hankkia myös silmädosimetreja.

14.2 Säteilyannosten osalta kriittiset työt

Säteilyaltistusta aiheuttavia töitä tehdään ylipäänsä hyvin vähän ja itse kapselointi- ja loppusijoitusprosessista aiheutuvat henkilöannokset ovat kohtalaisen pieniä. Suurimmat yksittäiset annokset tulee aiheuttamaan viemärivesien kiinteytysjärjestelmän täysille jätetynnyreille suunniteltu lähikäsittely.

Kapselointilaitoksella muita säteilyaltistusta aiheuttavia töitä ovat polttoaineen kuljetussäiliön lähellä työskentely, mahdolliset poikkeuskäynnit kapselin läheisyydessä ja henkilökäynnit käsittelykammiossa kapseloinnin aikana. Dekontaminointikeskuksessa ja jätteenkäsittelytiloissa voidaan olettaa tehtävän pienempää säteilyaltistusta aiheuttavia töitä. Loppusijoituslaitoksella jokaisen kapselisiirron yhteydessä tehtävät kapselin siirto- ja asennusajoneuvon sähkönkaapelikytkennät aiheuttavat säteilyaltistusta.

Posivan käyttöturvallisuusanalyysissa on arvioitu merkittävimpien säteilyannosten syntyvän polttoaineen käsittelykammion dekontaminoinneista. Käsittelykammion odotettavissa oleva kontaminaatiotaso ei kuitenkaan aiheuta mainittavaa annosnopeutta. Arviota tukee käyttökokemus Zwilagin laitokselta, jonka kuumakammion säteilytaso tyhjänä on ollut korkeintaan 2 µSv/h metrin korkeudella lattiasta (Nurminen 2014, 4). Oletusarvoisesti kammio dekontaminoidaan silloin kun polttoaineen käsittely ei ole käynnissä. Säteilysuojeluperiaatteiden nojalla tähän tulee pyrkiä. Säännöllisesti suoritettu käsittelykammion dekontaminointi tyhjänä ei siis aiheuta merkittäviä säteilyannoksia, vaan sen riskit liittyvät kontaminaationhallintaan.

Käyttötoiminta suunnitellaan niin, että normaalitoiminnassa suurin osa korkean säteilytason kohteiden käsittelystä on kaukokäyttöistä. Suurimmat säteilyaltistusriskit liittyvät näin ollen vahinkoannoksiin. Vahinkoannosten välttämistä on painotettava laitosten turvallisuussuunnittelussa, hallinnollisissa kulkuesteissä ja työntekijöiden koulutuksessa.

15 SÄTEILYSUOJELUSUUNNITTELUN JATKOTOIMENPITEET

Tässä luvussa luetellaan tarvittavia jatkotoimenpiteitä ja selvityksiä, joita ei ole voitu sisällyttää operatiivisen säteilysuojelun kuvaukseen tai joihin ei ole lähtötietoja tässä vaiheessa laitossuunnittelua. Laitossuunnittelun edetessä ja käyttötoiminnan tarkentuessa voidaan säteilysuojelun ohjeita, suunnitelmia ja annosarvioita tarkentaa työohjetasolle. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen poikkeustilanteiden säteilysuojeluanalyyseja on myös laajennettava.

15.1 Posivan säteilysuojeluorganisaation sisäiset ohjeet

Kapselointi- ja loppusijoituslaitokselle on luotava säteilysuojelun toteuttamista koskeva ohjeisto, YVL -ohjeen C.2 mukaisesti. Posivan laitosten säteilysuojelun toteutuksessa hyödynnetään todennäköisesti TVO:n säteilysuojeluhenkilöstöä ja käytäntöjen yhtenäistäminen soveltuvilta osin on perusteltua. Posivan laitosten operatiivinen säteilysuojeluohjeisto voitaneen liittää omina alalukuinaan TVO:n säteilysuojelukäsikirjaan.

Soveltuvin osin on järkevää hyödyntää olemassa olevaa ohjeistoa. Rutiininomaiseen perussäteilysuojeluun liittyvät ohjeet voidaan ottaa Posivan laitoksille käyttöön sellaisenaan. On kuitenkin kiinnitettävä huomiota Posivan laitosten erityispiirteisiin ja erityisesti siihen, että kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella käsitellään vaarallisen voimakkaita säteilylähteitä.

Säteilysuojelun operatiivisten rutiinitoimenpiteiden dokumentointiin on luotava pöytäkirjapohjia. Dokumenttipohjiin on sisällyttävä ainakin polttoaineen käsittelykammion säteily- ja kontaminaatiomittauspöytäkirjat, kontaminaatioseurannan kartat ja pöytäkirjat sekä kapselin pintakontaminaatiomittauksen mittauspöytäkirja. Dokumentit voitaneen liittää TVO:n kontaminaatioseurantaohjeisiin ja mittauspöytäkirjoihin omina lukuinaan.

Polttoaineen käsittelyn säteilytyövaiheisiin on luotava työohjeet säteilyvalvojille. Myös poikkeustilanteiden säteilyvalvontaohjeisiin on luotava Posivan laitosten poikkeustilanteita koskeva ohjeisto. Posivan ALARA -ohjelma on syytä päivittää vastaamaan paremmin säteilysuojeluperiaatteita ja tämänhetkistä laitoskonseptia.

15.2 Säteilysuojelun jatkoselvityksiä vaativat normaalityöt

Polttoaineen kuivauskammioiden dekontaminointia on selvitettävä tarkemmin. Kuivauskammio on aiemmissa suunnitelmissa ollut tarkoitus imuroida kuivana ja kaukokäyttöisesti. Imurointi on säteilysuojelullisesti paras vaihtoehto. Tämänhetkisen laitossuunnittelutilanteen mukaan kuivauskammioiden dekontaminointimenetelmä on kuitenkin vaihdettu vesihuuhteluun. Vesihuuhtelu lisää merkittävästi viemärivesien kontaminaatio- ja säteilytasoja. Ei ole myöskään varmuutta siitä, otetaanko Olkiluodon voimalaitoksen jätteenkäsittelylaitokselle vastaan Posivan viemärivesiä, jos niiden aktiivisuustasot ovat merkittävästi suurempia kuin imurointivaihtoehdolla.

Polttoaineen kuljetussäiliön ilmanäytteenottoon liittyen on muodostettava hyväksyttävän ilmakontaminaation raja-arvot seuraavaan työvaiheeseen siirtymisen kannalta. Raja-arvojen muodostaminen käsittelykammiossa avattavalle säiliölle on tehtävä ennen laitoksen käytön aloittamista ja samalla asetetaan rajat sille, kapseloidaanko rikkoutunutta polttoainetta. On myös selvitettävä, mitä rikkoutunutta polttoainetta sisältävälle säiliölle tehdään.

Kapselin ulkopinnan kontaminaatiotapauksien varalta on luotava raja-arvot kapselin tyhjennykselle näytteiden kontaminaatiotason ja kontaminaation sijainnin suhteen. On osoitettava, kuinka voidaan sulkea pois näytteenottorobotin ulottuman alapuolelle kulkeutuneiden radioaktiivisten hippujen mahdollisuus tilanteessa, jossa kontaminaatiota on havaittu kapselin ulkopinnan näytteissä.

15.3 Poikkeustilanteiden säteilysuojeluanalyysi

Poikkeustilanteiden säteilysuojelusta on tehtävä jatkoanalyysia. Poikkeustilanneskenaarioita on käsitelty laitoksen käyttöturvallisuusanalyysissa (Rossi et al, 2014), mutta niitä on tarkasteltava laajemmin työntekijöiden säteilysuojelun kannalta. Käytetty polttoaine ja kapselointilaitoksen röntgenlaitteisto ovat poikkeuksellisen voimakkaita säteilylähteitä. Poikkeustilanteet on oleellista käsitellä myös työntekijöiden suojelemisen näkökulmasta, eikä pelkästään laitoksen radioaktiivisen päästön ehkäisemisen kannalta.

Loppusijoitusprosessista on syytä analysoida kapselin siirron ja asennuksen häiriötilanteita, joilla voi olla merkittäviäkin säteilysuojelullisia vaikutuksia. Esimerkkinä välittömiä säteilyannosvaikutuksia aiheuttavasta häiriöstä voisi olla kapselin asennuksen ongelmatilanne, jossa kapselia ei syystä tai toisesta saada asennettua kunnolla. Säteilyannoksia voi syntyä, jos kapseli jää osittain reiän ulkopuolelle ja tilannetta ei saada etäkäyttöisesti korjattua. Myös kapselin siirto- ja asennusajoneuvon vikaantuminen kesken kuljetuksen aiheuttaa säteilyannoksia, jos ajoneuvoa täytyy mennä korjaamaan manuaalisesti.

Loppusijoituslaitoksen poikkeustilanteista on analysoitava tapaus, jossa polttoaine rikkoutuu ja kapselin tiiveys menetetään. Tästä aiheutuu ilmapäästö ilmanvaihdon mukana ja vesipäästö poistovesien mukana ulos laitokselta. Skenaariosta on tehtävä analyysi radioaktiivisen päästön lisäksi työntekijöiden säteilysuojelun kannalta.

16 YHTEENVETO

Posivan kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen käyttötoiminnassa on useita erityispiirteitä, jotka voivat aiheuttaa työntekijöille vakavia terveyshaittoja. Käytetyn polttoaineen käsittely poikkeaa luonteeltaan ydinvoimalaitosten käyttötoiminnasta ja toiminnan erilainen luonne on otettava huomioon jo ennen käyttötoiminnan alkamista.

Posivan laitoksilla on kiinnitettävä huomiota käytetyn polttoaineen voimakkaaseen gamma- ja neutronisäteilyyn. Laitoksen käyttötoiminnan suunnittelussa ja toteutuksessa on huomioitava myös kapselihitsin röntgentarkastuslaitteisto, jonka aiheuttama säteilytaso on hengenvaarallinen. Polttoaineen käsittelyn on oltava kaukokäyttöistä ja työntekijöiden altistuminen kapselin säteilylle on minimoitava. Käyttötoiminnassa on ehdottomasti varmistettava, että hitsin tarkastuslaitteisto ei voi mennä vahingossa päälle silloin kun hitsin tarkastushuoneessa on ihmisiä.

Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen kontaminaatiohallinnan on oltava laadukasta ja kapselointiprosessin tiiveys on sen säteilysuojeluvaatimus. Kapselointilaitos tulee jakaa kontaminaatiovyöhykkeisiin siten, että kontaminoituneista tiloista ei leviä kontaminaatiota laitoksen muihin tiloihin. Kontaminaatiohallinnan toteutuminen todennetaan systemaattisella kontaminaatioseurannalla kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella.

Posivan laitosten käyttötoiminta on suunniteltava siten, että työntekijöille ei aiheudu sisäistä säteilyannosta. Sisäinen kontaminaatio on aina poikkeustilanne ja operatiivisessa säteilysuojelussa on huolehdittava siitä, että työntekijät eivät altistu radionuklideille hengitysteitse. Vuonna 2012 kirjoitetussa Posivan ALARA -ohjelmassa sisäisen annoksen annosrajaksi oli ehdotettu arvoa 0,5 mSv vuodessa ja ALARA -ohjelma on päivitettävä tältä osin vastaamaan säteilysuojeluperiaatteita.

Posivan säteilysuojeluorganisaation dokumentaatiota on laajennettava sekä päivitettävä laitossuunnittelun edetessä ja käyttötoiminnan kuvausten tarkentuessa työohjetasolle. Laitosten käyttötoiminnan häiriötilanteita ja käsittelyonnettomuuksia on analysoitava laajemmin myös työntekijöiden säteilysuojelun kannalta, eikä pelkästään radioaktiivisen päästön näkökulmasta.

LÄHDELUETTELO

Anttila, M. 2005. Radioactive Characteristics of the Spent Fuel of the Finnish Nuclear Power Plants. Posiva. Sähköinen dokumentti. WR-2005-71.

Eurajoki, T. 2012. PSAR Y-8 Säteilysuojelu. Posiva. Sähköinen dokumentti. POS-014523.

Eurajoki, T. 2014. PK.343 Aktiivisten nesteiden kuivausjärjestelmä, järjestelmäkuvaus. Posiva. Sähköinen dokumentti. POS-014270.

Grönlund, J. 2015. Konseptisuunnittelun tulosraportti, hitsauskammio. Enmac. Sähköinen dokumentti. 204755.

Grönman, K. 2014a. Henkilödekontaminaatio ja kontaminoituneen potilaan hoito. TVO. Sähköinen dokumentti. 103502.

Grönman, K. 2014b. Kontaminaatioseuranta käytön ja vuosihuollon aikana. TVO. Sähköinen dokumentti. 133632.

Grönman, K. 2015. PP -lukitut tilat. TVO. Sähköinen dokumentti. 161797.

Grönman, K. 2016a. Ulosmittausohje. TVO. Sähköinen dokumentti. 113520.

Grönman, K. 2016b. Säteilysuojeluinsinööri. TVO. Suullinen keskustelu 1.2.2016.

Hietalahti, J. 2011. Toiminta puhtaaksi luokitellulla alueella, valvonta-alueen sisällä. TVO. Sähköinen dokumentti. 115813.

Hilden, K. 2014. Säteilysuojelu kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella. Posiva. Sähköinen dokumentti. WR-2014-67.

Hoshi, Y et al. 2000. Application of a Newly Developed Photoluminescence Glass Dosimeter for 26 Measuring the Absorbed Dose in Individual Mice Exposed to Low-dose Rate 137Cs γ –rays. Journal of radiation research. Volume 41: Issue 2. 129 - 137.

Hyvärinen, J & Hilden, K. 2016. Neutron Induced Activation in the Encapsulation Plant and the Final Disposal Facility for Spent Nuclear Fuel. Posiva. Sähköinen dokumentti. POS-022437.

IAEA. 2008. Advisory Material for the IAEA Regulation for the Safe Transport of Radioactive Material, Safety Guide No. TS-G-1.1 (Rev. 1) [verkkodokumentti]. [Viitattu 15.2.2016]. Saatavilla http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1325_web.pdf

Jevremovic, T. 2009. Nuclear Principles in Engineering, Second edition. Toinen painos. New York: Springer Science+Business Media. ISBN 978-0-387-85607-0.

Kumpula, L. 2012. Kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen ALARA -ohjelma. Posiva. Sähköinen dokumentti. POS-014735.

Kärkkäinen, M. 2015a. Radiation Protection Calculation for the Encapsulation Plant and the Final Disposal Facility. Posiva. Sähköinen dokumentti. Luonnosversio. [Viitattu 14.3.2016].

Kärkkäinen, M. 2015b. PK.233 Kuivaus säteilysuojakannen vaatimukset [sähköpostiviesti]. mikko.karkkainen@posiva.fi 16.11.2015.

Kärkkäinen, M. 2016. Radiation Protection Calculations for the Canister Storage of the Final Disposal Facility. Posiva. Sähköinen dokumentti. Luonnosversio. [Viitattu 17.3.2016].

Matikainen, J. 2016. Kapselointilaitos, huonekohtainen ympäristöolosuhdeluokitus. Posiva. PLD-002295.

Mirion Technologies. 2014. DMC 3000 Personal Electronic Dosimeter [verkkodokumentti]. [Viitattu 17.2.2016]. Saatavilla https://mirion.app.box.com/s/4zz8p1chhd716qd2cvck

Nieminen, J. 2014. PK.341 Valvonta-alueen viemärivesien keruu- ja käsittelyjärjestelmä, järjestelmäkuvaus. Posiva. Sähköinen dokumentti. POS-012975.

Niemitalo, T. 2015. Loppusijoituslaitoksen valvonta-alue, selvennys kapselin asennustoimintaan [sähköpostikeskustelu]. timo.niemitalo@posiva.fi 16. - 17.12.2015.

Nurminen, T. 2014. Matkaraportti Sveitsi 31.8. - 2.9.2014. Posiva. Sähköinen dokumentti. POS-019753.

Paunonen, M et al. 2015. Waste management of the encapsulation plant. Posiva. Sähköinen dokumentti. WR-2015-51.

Ranta-aho, A. 2008. Review of the Radiation Protection Calculations for the Encapsulation Plant. Posiva. Sähköinen dokumentti. WR-2008-63.

Rossi, J et al. 2014. Olkiluodon ydinjätelaitosten käyttöturvallisuusanalyysi. Posiva. Sähköinen dokumentti. POS-014536.

Suikki, M. 2015. Kapseloinnin prosessikuvaus [sähköpostiviesti]. mikko.suikki@posiva.fi 2.11.2015.

STUK. 2012. ST 5.6. Säteilyturvallisuus teollisuusradiografiassa. Helsinki. ISBN 978-952-478-690-4.

STUK. 2013. ST 1.3. Säteilylähteiden varoitusmerkit. Helsinki. ISBN 978-952-478-843-4.

STUK. 2014. YVL -ohje C.2. Ydinlaitoksen työntekijöiden säteilysuojelu ja säteilyaltistuksen seuranta. Helsinki. ISBN 978-952-478-993-6.

Säteilyasetus. 1991. 20.12.1991/1512.

Säteilylaki. 1991. 27.3.1991/1512.

Tammela, J. 2013. Säteilyvalvonta käytetyn polttoaineen siirron yhteydessä laitoksilta KPA - varastoon. TVO. Sähköinen dokumentti. 102866.

Tanskanen, A. 2012. Supplementary Radiation Shielding Calculations for the Final Disposal Facility. Posiva. Sähköinen dokumentti. WR-2012-85.

Valtioneuvosto. 2008. Asetus 736/2008. Valtioneuvoston asetus ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudesta [verkkodokumentti]. [Viitattu 5.1.2016]. Saatavilla http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2008/20080736

Varian Medical Systems. 2012. Linatron-M9&M9A Modular high-energy X-ray source [verkkodokumentti]. [Viitattu 4.1.2016]. Saatavilla https://www.varian.com/sites/default/files/ resource_attachments/ LinatronM9.pdf

Xu, Z et al. 2005. Impact of High Burnup on PWR Spent Fuel Characteristics. Nuclear Science and Engineering. Volume 151: Issue 3. 261 - 273.

LIITE I.

Kapselointilaitoksen lisäkenkärajojen yhteenveto.

Taulukko I-1. Kapselointilaitoksen lisäkenkärajojen varusteet.

Tilan nimi	Tilan huonekoodi	Vyöhyke	Suojavarustekärryn varustelajitelma	Kiinteä varustus
Polttoaineen käsittelykammion eteinen	C01.007	Punainen	Puuvillakäsineet, kumikäsineet (lyhyt- ja pitkävartiset)	Varustekärryt, roskakori
Polttoaineen käsittelykammion eteinen, kenkäraja	C01.007	Oranssi	Kengänsuojat (punainen), kertakäyttökengänsuojat, kumikäsineet (lyhyt- ja pitkävartiset), puuvillakäsineet	Varustekärryt, roskakori
Pesuhuone, vihreä vyöhyke	C01.006	Vihreä	Kengänsuojat (vihreä, oranssi, punainen), lisähaalarit (kangas-, paperi-, muovi-), hengityssuojaimet (hiukkas-, yhdistelmä-, Reaktor-), puuvillakäsineet, laitoshaalarit	Varustekärryt, roskakori
Dekontaminointikeskuksen kenkäraja	C03.008	Oranssi	Puuvillakäsineet, kumikäsineet (lyhyt- ja pitkävartiset)	Varustekärryt, roskakori
Dekontaminointikeskuksen kenkäraja, kenkäraja	C03.008	Vihreä	Lisähaalarit (kangas-, paperi-, muovi-), hengityssuojaimet (hiukkas-, yhdistelmä-), kengänsuojat (punainen), kertakäyttökengänsuojat, kumikäsineet (lyhyt- ja pitkävartiset), puuvillakäsineet, kengänsuojat (vihreä ja oranssi)	Varustekärryt, roskakori, pesupiste, käsijalkamonitori
Jätteen lajittelu-huone	C01.035	Oranssi	Puuvillakäsineet, kumikäsineet (lyhyt- ja pitkävartiset)	Varustekärryt, roskakori

Liite I jatkuu

Liite I, jatkoa

Jätteen lajittelu-huone	C01.035	Vihreä	Lisähaalarit (kangas-, paperi-, muovi), hengityssuojaimet (hiukkas-, yhdistelmä-), kengänsuojat (punainen), kertakäyttökengänsuojat, kumikäsineet (lyhyt- ja pitkävartiset), puuvillakäsineet	Varustekärryt, roskakori
Kiinteytyslinja	C01.026	Oranssi		Varustekärryt, roskakori
Kiinteytyslinja (ohjaamon eteinen)	C01.026	Vihreä	Kengänsuojat (oranssi), puuvillakäsineet, kumikäsineet (lyhyt- ja pitkävartiset)	Varustekärryt, roskakori
Tynnyreiden välivarasto / gamma-spektrometrihuone	C01.026	Vihreä	Kengänsuojat (oranssi), puuvillakäsineet, kumikäsineet (lyhyt- ja pitkävartiset), hengityssuojaimet (hiukkas-, yhdistelmä-)	Varustekärryt, roskakori

LIITE II.

Kontaminaatioseurannan kohteita kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella.

Taulukko II-1. Kontaminaatioseurannan kohteita kapselointi- ja loppusijoituslaitoksella.

Tarkkailtava tila	Mielenkiintoiset kohteet	Erityishuomiot
Polttoaineen vastaanottotila	Puhdas alue, polttoaineen kuljetussäiliön välilaskupaikka ja välivarastointipiste	Puhtaan alueen perustaminen polttoainetta vastaanotossa, säännöllinen seuranta
Kuljetussäiliön siirtokäytävä	Käytävän lattia, kuljetussäiliön siirtovälineet ja ympäristö, kuljetussäiliöstä käytävälle jätettyjen osien laskupaikat	Kuljetussäiliön ulosviennin jälkeen, kuljetussäiliön kontaminaatiotapauksissa
Polttoaineen käsittelykammio	Polttoaineen siirtoreitti, suojakannet, manipulaattorit, kulkureitti kenkärajalle	Jokaisen siirtosäiliön ja kapselin jälkeen, dekontaminointien yhteydessä
Käsittelykammion eteishuoneet	Kulkureitti, punaisen kenkärajan edusta, oranssin kenkärajan edusta, vihreä kenkäraja	Säännöllinen seuranta, käsittelykammion kontaminaatioseurannan ja dekontaminoinnin jälkeen
Kapselinsiirtokäytävä	Kapselin siirtoreitti, kapselinsiirtovaunu	Jokaisen kapselin jälkeen
Kapselivarasto	Kapselivaraston sisäpuolen pinnat, kapselien varastointipaletit	Näytteet kapselivarastolta hissille kapselisiirtojen kanssa eriaikaisesti, kapselivaraston sisältä kun varasto tyhjä, paletti kun vapaana
Kapselihissi	Kapselihissikorin lattia	Seuranta, kun hissi tyhjä
Loppusijoituslaitoksen kapselivarasto	Varaston pinnat	Seuranta, kun varasto tyhjä
Kapselin asennus- ja siirtoajoneuvo	Säteilysuojan sisäpinnat, ajoneuvon pinnat satunnaisesti	Seuranta kun ei kapselia kyydissä

Liite II jatkuu

Liite II, jatkoa

Dekontaminointikeskus	Kulkureitit, oranssin kenkärajan edusta ja punaisten kenkärajojen edustat	Säännöllinen seuranta
Jätteenkäsittelytilat	Oranssien kenkärajojen edustat, kulkureitit, kiinteytysprosessin ohjaamo, kiinteytysprosessitila, vihreät alueet	Säännöllinen seuranta
Kulkureitit, kapselointilaitos	Kulkureitit ja kiinteät kontaminaatiovyöhykerajat, valvonta-alueen rajat (tavarakuljetukset), pääkenkärajat	Säännöllinen seuranta
Kulkureitit, loppusijoituslaitos	Kulkureitit ja valvonta-alueen rajat (tavarakuljetukset), pääkenkärajat, kapseleiden kuljetusreitit	Säännöllinen seuranta
Kulkureitit, tarkkailualue	Kulkureitit ja 2. monitorien rajapinta	Säännöllinen seuranta
Laitosjätetila	Valvonta-alueen raja, tarkkailualue, valvonta-alue	Säännöllinen seuranta
Piha-alueet	Polttoaineen vastaanottotilan edusta, piha-aluekierros	Säännöllinen seuranta