



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

ELIAS LAUKKANEN

Monitorin hankinta valvonnasta vapauttamiseen osana jätteen- käsittelyvarastojen modernisointia

TUOTANTOTALOUDEN JA -TEKNIIKAN
KOULUTUSOHJELMA
2022

Tekijä(t) Laukkanen, Elias	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Lokakuu 2022
	Sivumäärä 34	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Monitorin hankinta valvonnasta vapauttamiseen osana jätteenkäsittelyvarastojen modernisointia		
Tutkinto-ohjelma Tuotantotalous ja -tekniikka		
Tiivistelmä Opinnäytetyössä tutkittiin, mitä gammaspektrometriä ratkaisuja voitaisiin käyttää jätteen valvonnasta vapauttamisen tehostamiseksi Olkiluodon ydinvoimalaitoksella. Työssä pohdittiin myös, mitä käytössä olevia valvonnasta vapauttamista varten tehtäviä aktiivisuusmäärittämenetelmiä monitorilla voitaisiin korvata, minkä lisäksi mietittiin muita laitteella saatavia konkreettisia hyötyjä. Tarkoituksena oli ehdottaa perusteltua ratkaisua tai ratkaisutyyppiä valvonnasta vapauttamisen laadun ja tehokkuuden parantamiseksi. Ydinalan laitetoimittajien edustajia lähestyttiin sähköpostilla ja vertailtavaa tietoa kerättiin sähköpostin lisäksi laitetoimittajien nettisivuilta. Säteilysuojelutiimin sekä polttoaine- ja jätteenkäsittelytiimin asiantuntijoita lähestyttiin sähköpostein tai henkilökohtaisesti, minkä lisäksi tukeuduttiin yrityksen eri organisaatioiden laatimiin sisäisiin ohjeisiin. Työssä pyrittiin vertailemaan sekä tarkoitukseen varta vasten kehitettyjä ratkaisuja että muita mahdollisesti käyttöön soveltuvia ratkaisuja. Suositusehdotus annettiin kerätyn tiedon ja toimeksiantajan tarpeiden perusteella.		
Asiasanat Ydinenergia, jätteiden käsittely, mittarit (mittaus)		

Author(s) Laukkanen, Elias	Type of Publication Bachelor's thesis	Date October 2022
	Number of pages 34	Language of publication: Finnish
Title of publication Procuring a Free Release Monitor for the Modernization of Waste Handling Facilities		
Degree program Industrial management		
Abstract The purpose of the thesis was to explore what gamma spectrometric solutions could be utilized to enhance the free release measurements of waste in the Olkiluoto nuclear power plant. The thesis also intended to identify what activity measurements could completely be replaced with a free release monitor, in addition to exploring other benefits of said monitor. Suppliers in the nuclear industry were approached via email, and additional information was gathered from their websites. Professionals in both radiation protection and waste handling teams were approached personally and via email. Additionally, the company's internal instructions were utilized. The aim of the thesis was to compare different solutions for free release measurements. Recommendations were made based on the collected information as well as the mandator's needs.		
<u>Key words</u> Nuclear energy, waste handling, measurement devices		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	8
2.1 Tutkimuksen tarkoitus ja tavoitteet	8
2.2 Tutkimuksen tausta ja rajausta	8
2.3 Viitekehys	9
3 JÄTTEENKÄSITTELY	10
3.1 Huoltojäte	10
3.2 Romut	10
3.3 Lietteet, nesteet ja jäteöljy	11
3.4 Varastointi	11
3.5 Kirjanpito	12
3.6 Raportointi	12
4 VALVONNASTA VAPAUTTAMINEN	13
4.1 Rajoittamaton valvonnasta vapauttaminen	13
4.2 Rajoitettu valvonnasta vapauttaminen	14
4.3 Jätteen aktiivisuusmäärittäminen	14
4.3.1 Aktiivisuusrajat	15
4.4 Nykyinen käytäntö Olkiluodossa	16
4.4.1 Aktiivisuusmittausten haasteet	16
4.5 Gammaspektrometrinen monitorointi	17
4.5.1 Gammaspektrometrian soveltuvuus	18
5 HANKINTA	19
5.1 Monitorin hankinta	19
6 METODOLOGIA	20
6.1 Aineiston hankinta ja tutkimuksen eteneminen	21
6.2 Reliabiliteetti ja validiteetti	21
6.3 Tulosten luotettavuus	21
7 MONITORIT VALVONNASTA VAPAUTTAMISEEN	22
7.1 Suurille materiaalimäärille suunnitellut ratkaisut	22
7.1.1 RTM644Inc Large Clearance Monitor	23
7.1.2 HWM-1800 Free Release Chamber	24
7.1.3 FHT 3031 CCM Conveyor Belt Monitor	25
7.1.4 FRM-02 Free Release Monitor	26
7.2 Muut ratkaisut	27
7.2.1 LAM12 Large Articles Monitor	27

7.2.2 ISO-CART-85	28
7.2.3 FRM-24 Free Release Monitor	29
7.2.4 LCM-300 Laundry Contamination Monitor	30
7.3 Käyttökokemukset.....	31
7.4 Monitorin vaatimukset	31
7.5 Monitorin käyttöedellytykset ja hyödyt	32
8 SUOSITUKSET	33

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

MAJ = matala-aktiivinen jäte

KAJ = keskiaktiivinen jäte

HMAJ = hyvin matala-aktiivinen jäte

VLJ = voimalaitosjäte

KPA = käytetty polttoaine

STUK = säteilyturvakeskus

YVL = ydinturvallisuusohjeet

OL1 = Olkiluoto 1

OL2 = Olkiluoto 2

OL3 = Olkiluoto 3

1 JOHDANTO

Ydinvoimalaitoksella syntyy pääsääntöisesti kolmenlaista jätettä: käytettyä ydinpolttoainetta, matala- ja keskiaktiivista huoltojätettä, sekä radioaktiivisuuden osalta puhdaksi luokiteltavaa valvonnasta vapautettavaa jätettä. Polttoaine sekä matala- ja keskiaktiiviset jätteet vaativat loppusijoitusta, kun taas valvonnasta vapautettava jäte voidaan toimittaa hävitettäväksi tai uudelleenkäytettäväksi ydinvoimalaitoksen ulkopuolelle.

Valvonnasta vapautusta varten täytyy pystyä luotettavasti ja tehokkaasti toteamaan, että jäte on radioaktiivisuudeltaan alle laissa määriteltyjen rajojen. Toisin sanoen jätteen tulee olla puhdasta. Jätteen puhtaus voidaan todentaa erilaisin mittausmenetelmin – mittaukset voidaan suorittaa manuaalisesti tai gammaspektrometrillä monitorilla.

Valvonnasta vapautukseen voidaan käyttää manuaalisten mittausten ja näytteenottojen sijaan gammaspektrometrillä vapaarajamonitoria. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli vertailla eri laitetoimittajien vapaarajamonitoreja käytettäväksi Olkiluodon ydinvoimalaitoksella. Lisäksi työllä pyrittiin selvittämään, mitä käsin suoritettavia mittaus- ja näytteenottomenetelmiä vapaarajamonitorilla voidaan kokonaan korvata.

Tutkimusote oli konstrukttiivinen ja tutkimusmenetelmänä käytettiin vertailevaa konstruointitutkimusta. Tutkimusta varten kerättiin tietoa laitetoimittajilta ja käyttökokeuksia muilta ydinvoima-alan toimijoilta. Tiedot kerättiin henkilökohtaisesti tai sähköpostin välityksellä, minkä lisäksi tukeuduttiin henkilökohtaiseen työkokemukseen ydinvoima-alalla.

2 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

2.1 Tutkimuksen tarkoitus ja tavoitteet

Tutkimuksen keskeisin tavoite on löytää sopivin laitevaihtoehto ydinvoimalaitosperäisen jätteen valvonnasta vapautukseen Olkiluodossa. Valvonnasta vapautukseen vaadittavat mittaukset on Olkiluodon ydinvoimalaitoksella suoritettu käsin. Mittauksiin soveltuvalla gammaspektrometrillä monitorilla pyritään korvaamaan valtaosa käsin tehtävistä mittauksista. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää paras monitorivaihtoehto valvonnasta vapautuksen jouduttamiseksi ja mittausluotettavuuden parantamiseksi.

Tärkeimpiä kysymyksiä, joihin tämä opinnäytetyö pyrkii vastaamaan, ovat:

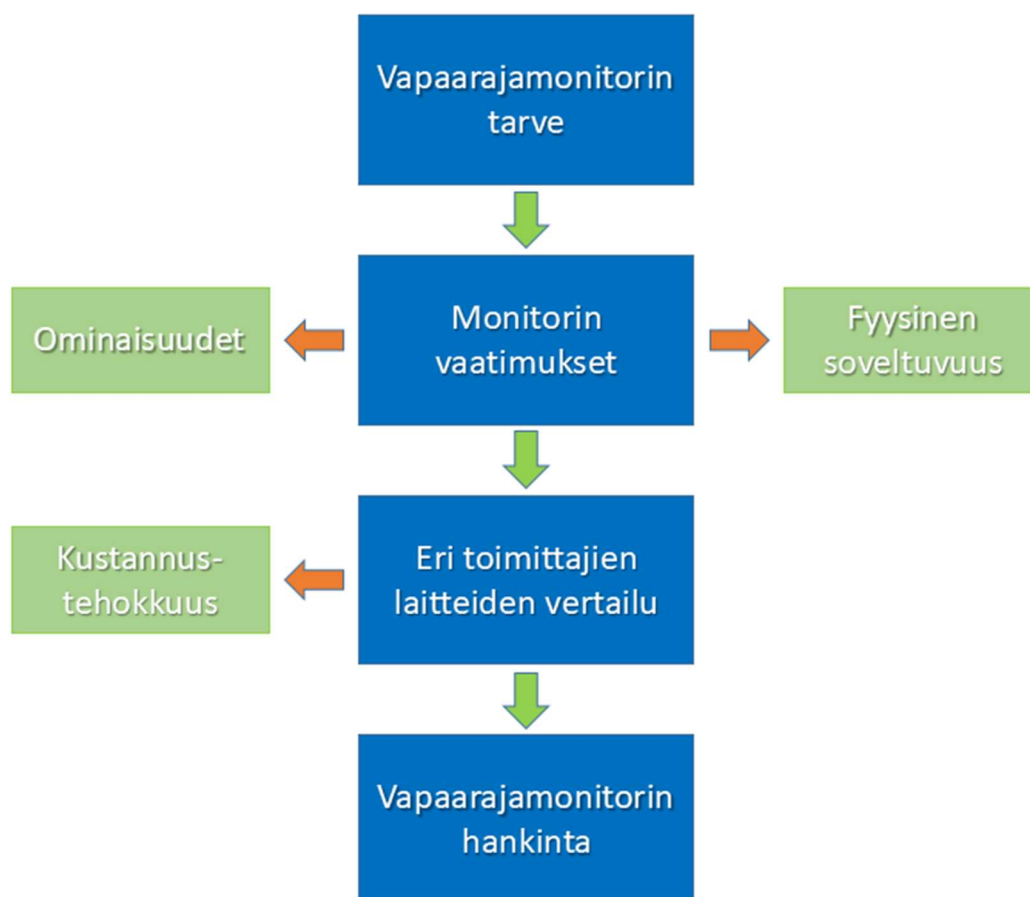
- Minkälaisia monitoreja valvonnasta vapautukseen voidaan hyödyntää?
- Minkälaisia ominaisuuksia monitorilla pitää olla, jotta sitä olisi mahdollista käyttää materiaalin valvonnasta vapauttamiseen?
- Mitä vaatimuksia monitorin tarkoituksenmukaiselle käytölle on?
- Mitkä ovat monitorin kustannukset?
- Mikä saatavilla oleva monitorivaihtoehto soveltuu käyttötarkoitukseen parhaiten kaikki muut kysymykset huomioiden?

2.2 Tutkimuksen tausta ja raja- aus

Olkiluodon ydinvoimalaitoksella valvonnasta vapautettavan jätteen puhtaus todennetaan useammalla käsin suoritettavalla mittaus- ja näytteenottomenetelmällä. Vapautettavasta jätteestä mitataan ensin suorasäteily annosnopeusmonitorilla sekä pintakontaminaatio kaikilta kappaleen pinnoilta kannettavalla pintakontaminaatiomonitorilla. Tämän jälkeen jäte-erän pinnoilta otetaan sekä kuivapyyhkäisy- että happopyyhkäisy-näytteet. Kuivapyyhkäisy analysoidaan siihen varatulla mittalaitteella ja happopyyhkäisy toimitetaan gamma-analyysiin Olkiluodon laboratorioon. Tulosten ollessa alle lakisääteisten rajojen, voidaan kappale vapauttaa valvonnasta ja toimittaa uusi käyttöön tai hävitettäväksi voimalaitoksen ulkopuolelle (Ydinenergialaki, 9.11.2018/862).

Opinnäytetyössä vertailtiin lähtökohtaisesti free release -monitoreiksi tarkoitettuja gammaspektrometrisiä ratkaisuja, mutta myös muuhun käyttöön tarkoitettuja ratkaisuja tutkittiin. Tutkimuksessa vertailtujen monitorien toimittajat rajattiin niihin, jotka toimivat Euroopassa. Samalla priorisoitiin toimijoita, joiden kanssa on jo olemassa yhteistyökäytäntöjä.

2.3 Viitekehys



Kuva 1 Käsitteellinen viitekehys

Kuvassa 1 on kuvattu tutkimuksen keskeisin kulku. Monitorin hankintaan vaikuttaa sen tekniset vaatimukset ja käytettävissä olevien laitetoimittajien tuotevalikoima. Monitorin yksilöllisiä vaatimuksia ovat sen fyysinen soveltuvuus suunnitellulle laitepaikalle modernisoitavaan matala-aktiivisen jätteen varastoon sekä laitteen tekniset ominaisuudet.

Mittalaitteen hankinta riippuu varastojen modernisointiprojektin toteutumisaikataulusta. Projektin alkaessa ja saadessa tarvittavan rahoituksen voidaan tilata sen toimittajan monitori, joka pystyy parhaiten vastaamaan kappaleessa 2.1 esitettyihin kysymyksiin.

3 JÄTTEENKÄSITTELY

Ydinvoimalaitoksella syntyy monenlaista jätettä. Kiinteää, nestemäistä ja kaasumaista, radioaktiivista ja ei-aktiivista – jätteenkäsittelymenetelmiä on yhtä lailla erilaisia. Valvonnasta voidaan Olkiluodossa vapauttaa vain aktiivisuudeltaan hyvin matala-aktiivista, käytännön termein puhdasta, jätettä. Lisäksi valvonnasta vapautus suoritetaan vain kiinteille laitoksen komponenteille tai materiaaleille sekä osalle kemian laboratoriosta poistettaville jätteille. Puristuvaa huoltojätettä ei vapauteta valvonnasta, mutta se voidaan poistaa valvonta-alueelta heti syntymisen jälkeen ja hävittää jätteenä valvomattomalla alueella. (Laukkanen henkilökohtainen tiedonanto 17.10.2022)

3.1 Huoltojäte

Olkiluodossa pyritään minimoimaan syntyvän huoltojätteen määrä rajoittamalla valvonta-alueelle tuotavan pakkausmateriaalin määrää. Huolto- ja korjaustöissä käytettyjen suojavausteiden määrällä voidaan vaikuttaa työssä syntyvän jätteen määrään. Kertynyt huoltojäte kerätään lähtökohtaisesti jätessäkkeihin, jotka lajitellaan säteilyn annosnopeuden perusteella loppusijoitettavaksi VLJ-luolaan tai HMAJ-välivarastoon. (Kangas & Mäenranta 2022, 5.)

3.2 Romut

Laitosyksiköiden muutostöissä vaihdetut suuret komponenttiromut varastoidaan MAJ-varaston komponenttivarastoon pitkäaikaissäilytykseen tai KAJ-varastoon jatkokäsittäväksi. Tällaisia komponentteja ovat esimerkiksi merivesilauhduttimien lohkot tai

turbiinin sisäosat. Kun aktiivinen komponentti on ajan kuluessa puoliintunut riittävästi, se voidaan toimittaa sulatettavaksi voimalaitoksen ulkopuolelle. (Kangas & Mäenranta 2022, 5)

Laitoksella syntynyt pienempi romu lajitellaan jätteen kontaminaatiotason mukaan vihreään, oranssiin tai punaiseen jäteastiin. Vihreästä jäteastiasta jätteet voidaan vapauttaa valvonnasta aktiivisuusmittausten jälkeen, oranssista ja punaisesta astiasta jätteet päätyvät VLJ-luolaan.

Erittäin korkea-aktiivinen reaktorista peräisin oleva romu varastoidaan OL1/OL2 reaktorihallin tai OL3 polttoainerakennuksen vesialtaissa. Paloittelun jälkeen romu pakataan metallisiin romukoreihin veden alla. Tyypillisesti pitkän säilytysajan jälkeen romut voidaan nostaa betoniarkkuun ja kuljettaa loppusijoitettavaksi VLJ-luolaan. (Kangas & Mäenranta 2022, 5)

3.3 Lietteet, nesteet ja jäteöljy

Voimalaitosyksiköillä OL1 ja OL2 separoinnin lietteet ja haihduttimessa muodostunut konsentraatti kerätään haihduttimen säiliöön. Muut nesteet ja lietteet, kuten kappaleiden ja komponenttien dekontaminoinnissa syntyneet lietteet, kerätään 200 litran tynnyreihin jätelaitokselle kiinteyttämistä varten. OL3:lla separaattorin lietteille on oma erillinen säiliönsä. Jäteöljy kerätään valvonta-alueella jäteöljykonttiin, jotka kuljetaan laitosalueella sijaitsevaan KPA-varastoon. (Kangas & Mäenranta 2022, 6)

3.4 Varastointi

Voimalaitosjätettä ei pääsääntöisesti välivarastoida pitkiä aikoja. Tarvittaessa jätettä voidaan varastoida väliaikaisesti voimalaitosyksiköillä (OL1, OL2, OL3) sekä MAJ- tai KAJ-varastoilla. Hyvin matala-aktiivinen HMAJ-jäte pakataan merikontteihin ja välivarastoidaan KAJ-varaston päädyssä olevaan aitaukseen. Merikonteissa olevat jätteet loppusijoitetaan Olkiluodon maaperään loppusijoituskampanjan aikana. (Kangas & Mäenranta 2022, 9)

Tällä hetkellä valvonnasta vapautettavalle jätteelle ei ole olemassa omaa välivarastointitilaansa, mikä teoriassa mahdollistaa riskin puhtaaksi todetun materiaalin kontaminoitumisesta uudelleen.

3.5 Kirjanpito

Radioaktiivisten jätteiden kirjanpitoon käytetään Olkiluotoon kehitettyä Laitosjätekirjanpitosovellusta. Ohjelmaan kirjataan jätteen tarvittavat tiedot: sisältö, varastointi, annosnopeus ja aktiivisuus, sekä pakkausten siirrot. (Kangas & Mäenranta 2022, 11)

Kemian laboratoriosta valvonnasta vapautettavien jätteiden sekä kiinteän jätteen happopyyhkäisyäytteiden tulokset kirjataan ja tallennetaan kemian tiimin omaan tietojärjestelmään. (Grönman 2017, 9) Kiinteän valvonnasta vapautettavan jätteen pinnoilta otettujen kuivapyyhkäisyäytteiden tulokset tallennetaan ja arkistoidaan säteilysuojelutiimin näytteiden analysoinnin yhteydessä.

3.6 Raportointi

Polttoaineen- ja jätteenkäsittely -tiimi toimittaa STUK:een vuosittain raportin, jossa esitetään yhteenvedot varastoiduista nestemäisistä radioaktiivisista jätteistä, varastoiduista ja loppusijoitetuista radioaktiivisista jätteistä, sekä Olkiluodon ydinvoimalaitosalueelta poisvedyistä ja valvonnasta vapautetuista jätteistä. Kaikissa yhteenvedoissa huomioidaan jätteiden määrä ja kokonaisaktiivisuus.

Loppusijoitettujen jätteiden yksityiskohtaiset tiedot toimitetaan STUK:een ydinturvallisuusohjeen YVL D.5 mukaisesti. (Mäenranta & Kangas 2022, 9)

4 VALVONNASTA VAPAUTTAMINEN

Ydinvoimalaitoksella voidaan vapauttaa valvonnasta hyvin matala-aktiivista jätettä. Vapautettu jäte voidaan vapautusprosessin jälkeen hävittää jätteenä tai ohjata uusikäyttöön ydinvoimalaitoksen ulkopuolella. Valvonnasta vapautuksen vaatimukset on määriteltä ydinenergia-asetuksessa sekä ydinturvallisuusohjeessa YVL D.4. (Grönman 2017, 3) Jätettä vapautetaan valvonnasta, jotta sitä ei tarvitsisi loppusijoittaa. Loppusijoitus ydinvoimalan alueelle on kallista ja estää materiaalin hyötykäytön kokonaan.

Yleisessä menettelyssä valvonnasta vapautusta varten toimitetaan Säteilyturvakeskukseen hakemus, jossa kuvataan jätteen alkuperä, laatu, kertymisnopeus ja aktiivisuuden toteamiseen käytettävät menetelmät. Vapautettu jäte-erä voidaan poistaa ydinvoimalaitokselta, kun STUK on hyväksynyt hakemuksen. YVL-ohjeessa on kerrottu valvonnasta vapautuksen raja-arvot radionuklideille, kun vapautetaan rajoittamattomia materiaalmääriä, sekä aktiivisuuspitoisuus ja aktiivisuuskate, kun vapautetaan rajoitettuja määriä. (YVL D.4.) Rajoittamattomille materiaalmääriille, kuten betoniromulle ja loisteputkille, on jatkuvatoiminen lupa, jolloin materiaalia voidaan STUK:een lähetettävän hakemuksen hyväksymisen jälkeen vapauttaa valvonnasta sitä mukaa kun jätettä kertyy (Grönman 2017, 4).

Ydinvoimalaitoksen elinkaaren tullessa päähänsä sovelletaan valvonnasta vapauttamisen käytäntöjä huoltojätteen lisäksi laitosten purkutöiden yhteydessä myös rakennuksiin ja voimalaitoksen alueeseen.

4.1 Rajoittamaton valvonnasta vapauttaminen

Rajoittamatonta menettelyä sovelletaan Olkiluodossa TVO:n kaatopaikalle vietävään rakennusbetonijätteeseen, loisteputkiin sekä kemian tiimin laboratoriotoiminnassa syntyneisiin jätteisiin. Laboratoriosta poistettavia valvonnasta vapautettavia jätteitä ovat kemikaalit, polttoöljy, COD-putket, glykolivesinäytteet ja jätepaperi. (Grönman 2017, 5)

Nestemäisen jätteen valvonnasta vapautus tehdään mittaamalla aineen pakkaus ulkopinnoilta perinteisin mittausmenetelmin sekä toimittamalla ydinvoimalaitoksen laboratorioon näyte nesteaineesta gamma-analyysiä varten.

4.2 Rajoitettu valvonnasta vapauttaminen

Rajoitettua menettelyä sovelletaan Olkiluodossa ydinvoimalaitokselta pois vietävälle metalli- ja sekaromulle.

Olkiluodon ydinvoimalaitoksella valvonnasta voidaan vapauttaa alkuperältään kolmenlaista metalli- ja sekaromua: alkuperänsä perusteella puhdasta materiaalia, ympäristönsä takia ulkopinnoilta kontaminoitunutta materiaalia, sekä radioaktiivista ainetta sisältävistä järjestelmistä peräisin olevaa lievästi kontaminoitunutta materiaalia. Puhdas materiaali on Olkiluodossa esimerkiksi sähkötiloista peräisin olevaa metalli- tai kaapelijätettä tai merivesijärjestelmistä peräisin olevia komponentteja. Ympäristönsä takia kontaminoitunut materiaali on peräisin radioaktiivisuuden osalta puhtaista järjestelmistä, jotka kuitenkin sijaitsevat tiloissa, joissa materiaalin ulkopinta pääsee kontaminoitumaan muiden järjestelmien tai tilassa tehtävien töiden takia. Radioaktiivista ainetta sisältävistä järjestelmistä peräisin oleva lievästi kontaminoitunut materiaali ($< 40 \text{ Bq/cm}^2$) pitää aina puhdistaa ennen materiaalin valvonnasta vapautusta. (Laukkanen henkilökohtainen tiedonanto 20.10.2022.)

4.3 Jätteen aktiivisuusmäärittäminen

Valvonnasta vapautettavan jätteen aktiivisuuden määrittämiseen on STUK:n säädöksissä hyväksytty Olkiluodossa käytetty annosnopeus- ja aktiivisuuskatemittaus, sekä vapaarajamonitorilla suoritettava gammaspektrometrinen mittaus. Lähtökohtaisesti annosnopeus- ja aktiivisuuskatemittaukset sopivat vain varmentamaan jätteen valvonnasta vapautuksen tuloksia, mutta päämenetelmänä niitä voidaan käyttää, kun jätteen nuklidijakauma tunnetaan riittävän tarkasti. (YVL D.4.) Ydinvoimalassa vallitsevat nuklidit ovat aina tarkasti tiedossa.

4.3.1 Aktiivisuusrajat

Yleisessä rajoittamattomassa valvonnassa vapauttamisessa sovelletaan ydinturvallisuusohjeen YVL D.4 liitteen A mukaisia nuklidikohtaisia aktiivisuuspitoisuusrajoja (liite 1).

Valvonnasta vapauttamisen rajoitetun materiaalmäärän aktiivisuuspitoisuus- ja aktiivisuuskaterajat on määritelty ydinturvallisuusohjeen YVL D.4 liitteessä B (taulukko 1). Taulukossa esiteltyjä rajoja voidaan soveltaa vain jätemääriin, jotka eivät ylitä 100 000 kiloa yhtä ydinlaitosta kohti. (YVL D.4.)

Taulukko 1 Yleisen rajoitetun valvonnasta vapautuksen aktiivisuuspitoisuusrajat

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

Yksittäisten nuklidien aktiivisuuspitoisuuksien ja -kateiden summan tulee täyttää seuraava epäyhtälö:

$$\sum_{i=1}^n \frac{a_i}{a_{vi}} \leq 1 \quad , \quad (1)$$

jossa a_i = nuklidin i aktiivisuuspitoisuus tai -kate (Bq/g tai Bq/cm²)
 a_{vi} = nuklidin i vapauttamisraja (Bq/g tai Bq/cm²)
 n = tarkasteltavien nuklidien lukumäärä jätteessä

Tapauskohtaisessa valvonnassa vapautuksessa sovelletaan aktiivisuusrajoja, jotka STUK on hyväksynyt erikseen. Jäte-erän kokonaisuusaktiivisuuden on kuitenkin oltava alle 10 Bq/g, eikä jätteen pintakontaminaation aktiivisuus saa ylittää arvoa 4 Bq/cm². (YVL D.4; Grönman 2017, 7)

4.4 Nykyinen käytäntö Olkiluodossa

Olkiluodon ydinvoimalassakin hyödynnettävät annosnopeus- ja aktiivisuuskatemitaukset suoritetaan mittaamalla valvonnasta vapautettavan materiaalin pintakontaminaatio, annosnopeus ja aktiivisuuskate usealla eri menetelmällä. Annosnopeus mitataan manuaalisesti annosnopeusmonitorilla, minkä jälkeen mitataan kappaleen pintakontaminaatio kannettavalla pintakontaminaatiomittarilla. Pintakontaminaatiomittarien hälytysrajaksi on asetettu 4 Bq/cm^2 vastaava pulssimäärä Co60-radionuklidin mukaan. Co60 on vallitseva radionuklidi OL1 ja OL2 -laitosyksiköillä (Laukkanen henkilökohtainen tiedonanto 20.10.2022). Vapautettavan jätteen aktiivisuuskate mitataan sekä kuiva- että happopyyhkäisynäytteillä. Kuivapyyhkäisynäytteet analysoidaan sille varatulla mittalaitteella, ja pyyhkäisyjen tulokset suhteutetaan kappaleen kokonaispinta-alaan. Happopyyhkäisynäytteissä käytetään happona 10-prosenttista typpihappoa, jolla kostutetulla kangasliinalla ja hiomapaperilla pyyhitään 100 cm^2 pinta-ala jokaisesta vapautettavasta materiaalista. Happopyyhkäisynäytteelle tehdään gamma-analyysi voimalaitoksen laboratoriossa ja analyysin tulokset suhteutetaan jäte-erän painoon. (Laukkanen henkilökohtainen tiedonanto 20.10.2022.) Mikäli näytteenotto- ja mittausten menetelmien tulokset ovat YVL-ohjeissa kerrottujen raja-arvojen alapuolella, vapautetaan jäte-erä valvonnasta.

Valvonnasta vapautukseen vaadittavat aktiivisuusmittaukset suoritetaan aina valvonta-alueella, eikä jättemateriaalia toimiteta valvonta-alueen ulkopuolelle ennen varsinaista valvonnasta vapautusta. Valvonnasta vapautettava jäte odottaa tyypillisesti vapautuslupaa MAJ-varastolla. Aktiivisuusmittaukset voidaan suorittaa suoraan MAJ-varastolla tai jäte-erä voidaan lähettää laitosyksiköiltä varastolle mittausten suorittamisen jälkeen. Vapautusta odottavien jäte-erien varastoinnissa on tärkeää huolehtia siitä, ettei ulkoiset tekijät pääse kontaminoimaan puhtaaksi todettua jätettä uudelleen.

4.4.1 Aktiivisuusmittausten haasteet

Manuaalisin mitta- ja näytteenottomenetelmin suoritettavassa valvonnassa vapautuksessa on monia haasteita. Pelkästään pintakontaminaation mittauksessa on epävarmuutta inhimillisten tekijöiden vuoksi. Esimerkiksi pyyhkäisynäytteen näytteenotto-pinta-ala on standardisoitu (100 cm^2), mutta vapaalla kädellä otettavien näytteiden

koossa on paljon hajontaa. Lisäksi näytteenottajan asettama paine pyyhkäisynäytelapulle näytteenottotilanteessa voi olla aina erilainen, joten mahdollista kontaminaatiota tarttuu lapulle vaihteleva määrä. Edellä mainittujen asioiden vuoksi Olkiluodon ydinvoimalaitoksella on annettu kuivapyyhkäisynäytteen saanniksi 10 % (Laukkanen henkilökohtainen tiedonanto 20.10.2022). Tämä tarkoittaa, että pyyhittävältä pinta-alalta arviolta vain 10 % kontaminaatiosta tarttuu näytelappuun. Märkäpyyhkäisynäytteen saanniksi on arvioitu 50 % (Laukkanen henkilökohtainen tiedonanto 20.10.2022).

Pintakontaminaatiota mitattaessa kannettavalla pintakontaminaatiomonitorilla tulee huomioida mittaussijainnin taustasäteily. Valvonta-alueella on suuri määrä huonetiloja, joissa ei kohonneen taustasäteilyn vuoksi pysty luotettavasti pintakontaminaatiomittaria käyttämään. Monitoria käyttävä henkilö on myös altis inhimillisille virheille. Osa mitattavasta materiaalista voi epähuomiossa jäädä mittaamatta, mittaussnopeus voi olla liian suuri havaitsemaan pientä aktiivisuutta tai mittalaitteen detektoria ei saada luotettavasti lähelle mitattavan materiaalin jokaista pintaa.

Jo puhtaaksi todettu materiaali voi myös ulkoisten olosuhteiden vuoksi kontaminoitua uudelleen. Kontaminaatiota voi levitä säilytyspaikan lähistöllä suoritettavien huoltotöiden tai laitoksella liikkuvien henkilöiden mukana. Teoriassa mitatun jäte-erän sekaan voidaan myös epähuomiossa lisätä kontaminoitunutta tavaraa. Näiden vuoksi puhtaaksi todettu valvonnasta vapautettava materiaali lähetetään lähtökohtaisesti MAJ-varastolle odottamaan tavarán vapautusta valvonta-alueelta. MAJ-varastollakin jäte-erät voivat silti altistua kontaminaatiolle esimerkiksi matala-aktiivisen pehmeän huoltojätteen paalauksen aikana. Nykyisellään Olkiluodossa ei ole luotettavasti radioaktiivisuudesta puhdasta varastotilaa valvonnasta vapautettavalle jätteelle.

4.5 Gammaspektrometrinen monitorointi

Gammaspektrometrinen monitorointi soveltuu etenkin sellaisiin kohteisiin, jossa valvonnasta vapautettavan materiaalin nuklidijakauma vaihtelee tai sitä ei lähtökohtaisesti vielä tunneta riittävän hyvin. (YVL D.4) Monitorointi toimii kuitenkin myös ydinvoimalaitoksilla, ja sitä usein niissä hyödynnetäänkin valvonnasta vapautuksen tehostamiseksi. Vaihtoehtoiset manuaaliset annosnopeus- ja aktiivisuuskatemitaukset

vievät huomattavan määrän henkilötyötunteja, jolloin valvonnasta vapauttaminen vaatii merkittävästi resursseja sekä heikentää kustannustehokkuutta.

Valvonnasta vapauttamiseen käytettävät monitorit (eng. free release monitors) mittaavat jäte-erän aktiivisuusjakauman, jolloin manuaalisia kuiva- ja happopyyhkäisynäytteitä ei tarvita. Ennen monitorointia jäte-erät tulee kuitenkin mitata pintakontaminaatiomittarilla, jotta voidaan todeta ja mahdollisesti puhdistaa kappaleen ulkopinnoilla oleva kontaminaatio. Pelkästään ulkopinnoilta lievästi kontaminoitunut jäte vääristää kappaleen aktiivisuuskatetta. (Laukkanen henkilökohtainen tiedonanto 21.10.2022.) Jäte-erän pintakontaminaatio on hyvä varmistaa ennen gammaspektrometristä analyysiä myös laitteen kontaminoitumisen estämiseksi.

4.5.1 Gammaspektrometrian soveltuvuus

Gammaspektrometriallla voidaan selvittää useiden eri radioaktiivisten aineiden pitoisuus. Menetelmällä voidaan havaita yli 1 Bq/kg tai 1 Bq/l pitoisuudet, mutta havaitsemistehokkuutta voidaan parantaa esimerkiksi pidentämällä mittausaikaa. Gammaspektrometriassa havaittavia nuklideja ovat muun muassa koboltti-60, cesium-134, cesium-137, uraani-235 ja uraani-238. (Säteilyturvakeskuksen www-sivut 2022.) Olkiluodon ydinvoimalaitoksen 1- ja 2-yksiköllä esiintyvistä kontaminaatiosta valtaosa on koboltti-60:tä, kun taas OL3:lla yleisin nuklidi on koboltti-58. Koska lähdeterminit tunnetaan hyvin, kaikesta laitospäisistä kontaminaatiosta voidaan olettaa havaittavan mittausrajat ylittävä määrä gamma-aktiivisuutta. (Laukkanen henkilökohtainen tiedonanto 21.10.2022.) Voidaan siis olettaa, että gammaspektrometria soveltuu käytettäväksi valvonnasta vapautukseen.

5 HANKINTA

Hankinta käsitteenä kattaa kaikki yrityksen tarvitsemat tuotteet ja palvelut, jotka pyritään aina hankkimaan yrityksen kannalta parhailla mahdollisilla ehdoilla. Yksinkertaistettuna hankinta käsittää kaiken toiminnan, jossa ulkoinen toimija laskuttaa yritystä. Hankinnasta voidaan puhua myös ostona. Yrityksen ydintoimintojen turvaamisen kannalta hankinnalla on suuri rooli, sillä hyvät hankinnat edistävät yrityksen kilpailukykyä ja mahdollistavat jokaiseen tilanteeseen sopivat parhaat mahdolliset ulkoiset resurssit. Tämä ilmenee kustannustehokkuutena ja tuo lisäarvoa hankinnan suorittavalle yritykselle koko toimitusketjun osalta. (Nieminen 2016, 1.2)

Hankinnoissa on hyvä huomioida, että usein paras ratkaisu saadaan tiiviillä yhteistyöllä toimittajan kanssa. Tällöin voidaan yhdistää toimittajan ja tilaajan paras osaaminen molempia osapuolia eniten palvelevan ratkaisun löytämiseksi.

Hinta on yleisin vertailuperuste uuden tuotteen hankintaprosessissa. Mikäli eri toimittajien tarjoaman tuotteen laatu ja tarkoituksenmukaisuus muuten vastaavat toisiaan, voi hinta olla ratkaiseva tekijä hankinnassa. Toimittajaa valittaessa tulee kuitenkin huomioida tuotteen hinnan lisäksi myös muut tuotteen mukana tulevat kustannukset, jolla saadaan arvioitua tuotteen kokonaiskustannukset.

Kokonaiskustannuksen lisäksi tuotteen eri ominaisuuksia ja hintaa voidaan painottaa eri kertoimilla, joiden avulla voidaan laskea eri ominaisuuksien merkittävyys suhteessa hintaan. Kertoimien tai pisteytyksen avulla voidaan arvioida paras tarjous kokonaisuutena. (Nieminen 2016, 3.2)

5.1 Monitorin hankinta

Monitorin hankinnassa keskitytään TVO:n kanssa aikaisemminkin yhteistyötä tehneisiin toimittajiin, joiden kanssa on jo olemassa yhteistyösopimuksia. Tämä helpottaa monitorin hankintaa ja parantaa ostetun laitteen huoltovarmuutta. TVO:lle säteilyvalvonnan suorittamiin ja valvomiin radioaktiivisuuden mittauksiin toimittaa monitoreja pääosin Mirion Technologies (RADOS) Oy sekä Nutronic AB. Monitorin hankinta on

tarpeenmukaista, joten vain pakolliset ja merkittävät vaatimukset otetaan huomioon. Tällaisia vaatimuksia ovat monitorin hyödyt nykyiseen valvonnasta vapautus -käyttöön verrattuna, monitorin käyttökelpoisuus aiottuun tarkoitukseen, sekä monitorin hinta.

Lähtökohtaisesti luotettavilta toimittajilta asianmukaista monitoria hankittaessa yksittäisten laitteiden suorituskyvyissä erot ovat pienet. Tällöin monitorin hankinnassa korostuu laitteen kustannustehokkuus. Ensisijaisesti pyritään tarkastelemaan nimenomaan valvonnasta vapautukseen suunniteltuja ratkaisuja eli niin kutsuttuja free release -monitoreja. Kustannustehokkuuden merkityksen vuoksi laitevertailuun tuodaan kuitenkin myös muista monitorityypeistä sovellettuja ratkaisuja.

Monitorin hankinnan toteutuminen on riippuvainen Olkiluodon radioaktiivisten jätteiden varastojen uudistusprojektin toteutumisesta. Ilman projektia ei monitorille ole mittauksiin vaadittavaa mittausympäristöä tai budjettia.

6 METODOLOGIA

Opinnäytetyössä pyrittiin selvittämään, minkälaisia laiteratkaisuja voisi harkita uudistetuilla jätteenkäsittelyvarastoilla valvonnasta vapautuksen tehokkuuden ja luotettavuuden parantamiseksi. Tutkimuksessa pyrittiin myös selvittämään muut laitehankinnalla saatavat hyödyt ja pohtimaan, millaisia jätteenkäsittelyn muutoksia olisi laitehankinnan yhteydessä hyödyllistä tai välttämätöntä tehdä.

Opinnäytetyön tutkimusote oli konstruktiiivinen, mikä tuki tutkimuksen suorittamista. Konstruktiiivinen tutkimusote edellyttää olemassa olevaa teoreettista tietämystä ja tuotosielämän ongelmiin innovatiivisia ratkaisuja (Lukka 2001), joita tutkimuksen onnistuminen edellyttikin. Tutkimusmenetelmänä käytettiin vertailevaa tutkimusta, joka nimensä mukaisesti keskittyy vertailemaan tutkimukseen valittujen kohteiden yhtäläisyyksiä ja eroja (Jyväskylän yliopiston [www-sivut](http://www.jyu.fi) 2015).

6.1 Aineiston hankinta ja tutkimuksen eteneminen

Tutkimuksessa vertailtujen laitevaihtoehtojen tiedot kerättiin laitetoimittajien yhteyshenkilöiltä sähköpostitse. Toimittajilta pyrittiin saamaan lähtökohtaisesti tarkoitukseen suunniteltujen laitevaihtoehtojen tietoja vertailua varten.

Tutkimusta varten kerättiin tietoa eri laitetoimittajien edustajilta marras-joulukuun aikana, minkä aikana ja jälkeen saatua aineistoa vertailtiin keskenään.

Valvonnasta vapautus -monitorin soveltuvuuden ja jätteenkäsittelyn osalta tiedonannot saatiin TVO:n edustajilta henkilökohtaisesti tai sähköpostin välityksellä. Käyttökokemuksia saatiin joulukuussa 2022 tehdyllä vierailulla Ruotsin Forsmarkin ydinvoimalaan, jossa mukana oli myös Fortumin edustajia Loviisasta.

6.2 Reliabiliteetti ja validiteetti

Reliabiliteetilla ja validiteetilla arvioidaan tutkimuksen laatua ja ne osoittavat, miten hyvin tutkimuksessa käytetyt menetelmät toimivat. Reliabiliteetti kuvaa tutkimuksessa käytetyn menetelmän johdonmukaisuutta. Luotettava tutkimustulos edellyttää, että samalla menetelmällä samoissa olosuhteissa voidaan saavuttaa sama lopputulos. Validiteetti kuvaa tutkimuksessa käytetyn menetelmän tarkkuutta ja se korreloi suoraan reliabiliteetin kanssa. Luotettava tutkimustulos on todennäköisesti myös validi. Validi tutkimus mittaa luotettavasti sitä määrettä, jota tutkimuksen väitetäänkin mittaavan. (Middleton 2019.)

6.3 Tulosten luotettavuus

Tutkimuksessa vertailtujen laitevaihtoehtojen toimittajat ovat ydinalalla tunnettuja ja TVO:lla on heidän kanssaan aiempaa yhteistyötaustaa. Tämä lisää tutkimuksen luotettavuutta, sillä laitteiden toimivuuteen ja huoltosuhteisiin voidaan lähtökohtaisesti luottaa.

7 MONITORIT VALVONNASTA VAPAUTTAMISEEN

Gammaspektrometrian avulla voidaan tehokkaasti mitata kappaleen tai materiaalin radioaktiivisuus ja tunnistaa eri radionuklidit. Gammaspektrometriä mittauksia tehdään sekä puolijohde- että tukeilmaisimilla, joista jälkimmäisellä on suuri havaitsemistehokkuus. (Ikäheimonen, Klemola, Vesterbacka & Rahola 2022, 139.) Tässä tutkimuksessa tarkastellut monitorit toimivatkin pääsääntöisesti tukeilmaisimilla.

7.1 Suurille materiaalimäärille suunnitellut ratkaisut

Suurten materiaalimäärien mittaamiseen kehitetyt ratkaisut ovat liukuhihnalla varustettavia malleja, jotka on tarkoitettu muun muassa laitoksen käytöstä poistossa syntyvän betoni- ja rakennusjätteen mittaamiseen. Laitteet soveltuvat käyttötarkoitukseltaan erinomaisesti myös laitoksen käytön ajan jätemittauksiin. Monitorien mittasuhteissa on huomioitu vain itse mittalaitteen kammion koko.

Esiteltyjen monitorien hinnat ovat suuntaa antavia pohjahintoja, joihin vaikuttaa asiakkaan tarvitsemat lisävarustelut ja muokkaustarpeet.

7.1.1 RTM644Inc Large Clearance Monitor

RTM644Inc on Mirionin tarjoama valvonnasta vapautukseen tarkoitettu monitoriratkaisu. RTM644Inc-monitorin ehdottomia etuja ovat mittalaitteen suoritusteho: laitteella voidaan mitata jopa 12 tonnia jätettä tunnissa (Mirionin www-sivut 2022). Monitorissa on liukuhihna, jossa mitattava materiaali kulkeutuu automaattisesti mittauksen suorittavien detektorien läpi.

RTM644IncTM
Large Clearance Monitor



Kuva 1 RTM644Inc large clearance monitor, Mirion Technologies

Monitorissa on 24 kappaletta gammasäteilyä havaitsevia muovituikeilmaisimia, jotka mahdollistavat korkean herkkyyden ja matalat kontaminaation havaitsemisrajat. Monitori ottaa huomioon mitattavan kappaleen geometrian ja painon, joiden avulla se kompensoi materiaalin itse aiheuttamaa gammasäteilyn vaimentumista. (Mirionin www-sivut 2022.)

Tekniset tiedot

Pituus	2000–3400 mm
Leveys	900–1400 mm
Korkeus	1730–1980 mm
Detektorit	24 x muovituikeilmaisim
Mittaustarkkuus	55 Bq (Co60)
Mittausaika	60 s tai alle*
Hinta	450 000 €

*detektorin havaitsemisaika < 300 Bq Co60, ei sisällä lastaus- ja purkuaikoja

7.1.2 HWM-1800 Free Release Chamber

HWM-1800 on Ludlumin tarjoama suurten materiaalmäärien valvonnasta vapauttamiseen tarkoitettu ratkaisu. Monitorilla voidaan kerralla mitata jopa 1000 kg painavia materiaalmääriä (Ludlumin www-sivut 2022).

Model HWM-1800 Free Release Chamber



Kuva 2 HWM-1800 Free Release Chamber, Ludlum GmbH

Monitoriin on mahdollista asentaa takaovi ja liukuhihna poistopuolelle materiaalin käsittelevänopeuden kasvattamiseksi.

Tekniset tiedot

Pituus	1380 mm
Leveys	1120 mm
Korkeus	1210 mm
Detektorit	24 x muovituikeilmaisin
Mittaustarkkuus	ei tiedossa
Mittausaika	ei tiedossa
Hinta	ei tiedossa

7.1.3 FHT 3031 CCM Conveyor Belt Monitor

FHT 3031 CCM on Thermo Scientificin tarjoama liukuhihnallinen ratkaisu työkalujen, komponenttien ja purkujätteen gamma-aktiivisuuden mittaamiseen (Thermo Fisher Scientificin [www-sivut](#) 2022).



Kuva 3 FHT 3031 CCM, Thermo Scientific

Monitorilla voidaan mitata kerrallaan korkeintaan 500 kg materiaalieriä. Laitteen sähköiset osat toimivat ilman häiriöitä korkeintaan 1 $\mu\text{Sv/h}$ taustasäteilyssä. (Thermo Fisher Scientificin [www-sivut](#) 2022.)

Tekniset tiedot

Pituus	ei tiedossa
Leveys	ei tiedossa
Korkeus	ei tiedossa
Detektorit	2*6 x muovituikeilmaisina
Mittaustarkkuus	150 Bq (Co60)
Mittausaika	40 s per detektoripari
Hinta	ei tiedossa

7.1.4 FRM-02 Free Release Monitor

FRM-02 on VF Nuclearin tarjoama valvonnasta vapauttamiseen tarkoitettu monitori-ratkaisu. Monitori on erityisesti tarkoitettu ydinvoimalaitoksen purkutöissä suoritettaviin mittauksiin, jolloin se sopii myös valvonnasta vapautukseen.



Kuva 4 FRM-02, VF Nuclear

Mittalaite on monen muun toimijan laitteen tavoin kustomoitavissa asiakkaan tarpeiden mukaisesti. FRM-02 mahdollistaa yksioivisen ratkaisun lisäksi takaoven asentamisen monitoriin, jolloin mitattavaa materiaalia voidaan syöttää liukuhihnalla sen läpi (VF Nuclearin www-sivut 2017).

Tekniset tiedot

Pituus	933 mm
Leveys	900 mm
Korkeus	1300 mm
Detektorit	32 x muovituikeilmaisina
Mittaustarkkuus	0,42–1,2 Bq/kg (Co60) *
Mittausaika	3 min**
Hinta	450 000–500 000 €

*Mittaustarkkuus on riippuvainen kappaleen tiheydestä.

**Mittausajaksi on ilmoitettu maksimiaika kammiossa. Yhden mittaus syklin pituus on korkeintaan 15 minuuttia.

7.2 Muut ratkaisut

7.2.1 LAM12 Large Articles Monitor

LAM12 on ThermoFisherin tarjoama suurten kappaleiden monitori, jolla voidaan mitata kappaleen gamma-aktiivisuutta 0,4 Bq/g tarkkuudella (Thermo Fisher Scientificin [www-sivut](http://www.thermofisher.com) 2022). Monitorin etuina on helppokäyttöisyys ja muihin ratkaisuihin suhteutettuna pieni koko, joka helpottaa monitorin sijoittamista ja sitä kautta suojaamista taustasäteilyltä.

LAM12 large articles monitor



ThermoFisher
SCIENTIFIC

Kuva 5 LAM12 large articles monitor, ThermoFisher Scientific

Monitori toimii tavanomaisen työkalumonitorin tapaan kaappimaisena ratkaisuna, jossa mitattava materiaali asetetaan monitorin sisään käsin.

Tekniset tiedot

Pituus	975 mm
Leveys	935 mm
Korkeus	1400 mm
Detektorit	4 x muovituikeilmaisina
Mittaustarkkuus	95 Bq (Co60)
Mittausaika	nopea
Hinta	ei tiedossa

7.2.2 ISO-CART-85

ISO-CART-85 on Ortecin mobiili ratkaisu monien erityyppisten näytteiden mittaamiseen ja se soveltuu myös jätteen valvonnasta vapauttamiseen (ORTECin [www-sivut](http://www.ortec-online.com) 2022).

ISO-CART-85



Kuva 6 ISO-CART-85, Ortec

ISO-CART-85 eroaa liikuteltavuuden puolesta muista tutkimuksessa esitellyistä monitoreista myös ilmaisimensa puolesta. Muovituikeilmaisimen sijaan laitteessa on germanium-ilmaisim.

Tekniset tiedot

Pituus	ei tiedossa
Leveys	ei tiedossa
Korkeus	ei tiedossa
Detektorit	HPGe-ilmaisim
Mittaustarkkuus	2,5–5,5 Bq (Co60)
Mittausaika	2000 s
Hinta	ei tiedossa

7.2.3 FRM-24 Free Release Monitor

FRM-24 on VF Nuclearin tarjoama ratkaisu pienempien materiaalmäärien mittaamiseen. Monitori on liukuhihnallinen ja sitä voidaan käyttää muun kontaminaatiomittauksen lisäksi myös materiaalin valvonnasta vapauttamiseen (VF Nuclearin www-sivut 2017).



Kuva 7 FRM-24, VF Nuclear

FRM-24 edellyttää, että mitattava materiaali on painoltaan 3–100 kg (VF Nuclearin www-sivut 2017). Maksimipaino takaa monitorin käyttökuntoisuuden ja minimipaino radioaktiivisuuden luotettavan havaitsemisen.

Tekniset tiedot

Pituus	1629 mm
Leveys	1695 mm
Korkeus	1557 mm
Detektorit	4 x muovituikeilmaisina
Mittaustarkkuus	600 Bq (MDA Co60)
Mittausaika	100 s*
Hinta	150 000–200 000 €

*Mittausaika on arvioitu liukuhihnan nopeuden (10–20 mm/s) ja sen pituuden (n. 1500 mm) perusteella.

7.2.4 LCM-300 Laundry Contamination Monitor

LCM-300 on VF Nuclearin ensisijaisesti pyykin mittaamiseen tarkoitettu monitoriratkaisu. Sitä voidaan kuitenkin käyttää myös muun materiaalin mittaamiseen, mikäli materiaali mahtuu monitorin liukuhihnan ja detektorin väliin (VF Nuclearin [www-sivut](http://www.vfnuclear.com) 2017).



Kuva 8 LCM-300, VF Nuclear

Tarkoituksensa vuoksi monitorilla voidaan muista tutkimuksessa esitellyistä monitoreista poiketen sekä gamma-, beeta- että alfa-aktiivisuutta. LCM-300 on kuitenkin tarkoitettu mahdollisimman litteän materiaalin mittaamiseen. Monitorin ylempää vyötä voidaan säätää vain 5–110 mm välillä. (Monto sähköposti 7.12.2022.)

Tekniset tiedot

Pituus	1629 mm
Leveys	1695 mm
Korkeus	1557 mm
Detektorit	4 x muovituikeilmaisina
Mittaustarkkuus	600 Bq (MDA Co60)
Mittausaika	100 s*
Hinta	ei tiedossa

7.3 Käyttökokemukset

Ruotsissa Forsmarkin ydinvoimalaitoksella on käytössä VF Nuclearin FRM-24 Free Release -monitori. Laite on hankittu rakennustelineiden mittaamiseen ja sillä voidaan tehokkaasti todeta mitattavan kappaleen tai materiaalierän kokonaisaktiivisuus. Mittauksen aikana monitorin näytöltä voidaan seurata kuvaajan muodossa materiaalista löytyvää aktiivisuutta ja mittaustiedot ovat tarvittaessa helposti tulostettavissa tai siirrettävissä muistitikulle. Forsmarkin monitori suhteuttaa kappaleesta löytyvän aktiivisuuden sen kokonaispinta-alaan. Tämä voi hankaloittaa valvonnasta vapauttamista, mikäli mitattavasta kappaleesta löytyy pieni pistemäinen säteilylähde, joka on aktiivisuudeltaan yli vapaarajan. Monitori vaatii käyttäjää seuraamaan aktiivisuuskuvaaajaa, jotta mahdolliset vapaarajan ylitykset voidaan havaita ja varmentaa erillisellä pinta-kontaminaation mittauksella.

Loviisan voimalaitoksella metalliromua vapautetaan valvonnasta manuaalisilla pinta-kontaminaation mittauksilla, joiden tukena toimii ajoneuvomonitori. Mitattava jäte-erä lastataan ajoneuvon, joka ajaa monitorimittaukseen.

7.4 Monitorin vaatimukset

Valvonnasta vapauttaminen edellyttää ydinenergialaissa säädettyjen aktiivisuuspitoisuuksien noudattamista, jolloin tarkoitukseen käytettävän monitorin on luotettavasti kyettävä havaitsemaan pienetkin aktiivisuuspitoisuudet. Monitorien detektorit on suojattu ympäristön taustasäteilyltä lyijylevyillä tätä tarkoitusta varten. Ydinvoimalaitos-alueella taustasäteily voi olla kuitenkin lievästi koholla, jolloin monitoria suojaamaan voidaan tarvita myös betonirakenteita. Olkiluodossa monitorin käyttöpaikaksi on suunniteltu MAJ- ja KAJ-varastojen väliin rakennettavaa lisärakennusta, milloin tarvitsee myös huomioida itse jätteenkäsittelyvarastojen aiheuttama taustasäteilyn nousu.

Monitorityypistä riippuen käytettävyyks vaihtelee. Ydinalalla toimiessa laitetoimittajilta on kuitenkin mahdollista saada monitorin käyttöön perehdytystä aina tarvittaessa. Tämän lisäksi TVO:lla toimii kunnossapitoyksikössä monitorien käyttöön ja huoltamiseen perehtyneitä henkilöitä, jotka monitorin käytön opastamisen lisäksi kykenevät

laitetoimittajan kanssa sovitun huoltosopimuksen tukemana laitteen kunnossapitotoimenpiteisiin.

Pääasiallisena detektorityyppinä tutkituissa valvonnasta vapauttamiseen tarkoitetuissa monitoriratkaisuissa on muovituikeilmaisoin, jolla voidaan tehokkaasti mitata radioaktiivisuutta jätteestä. Nuklidikohtaiseen erotteluun muovituikeilmaisimilla ei kuitenkaan päästä, jolloin ainakin tiettyihin laitteisiin on mahdollista lisätä Ge-ilmaisoin. Ge-ilmaisoin tehostaa mittausta, mutta pidentää mittausaikaa. (Seitomaa 2020, 59.)

Muovituikeilmaisimilla varustetun monitorin käyttö tukeutuu nuklidivektorien käyttöön, jolloin aktiivisuuden määrittäminen on laskennallista. Tämä vaatii nuklidivektorien käytön hyväksyttämisen STUK:lla. (Seitomaa 2020, 59.)

7.5 Monitorin käyttöedellytykset ja hyödyt

Valvonnasta vapauttamiseen käytettävän monitorin hankinta riippuu matala- ja keskiaktiivisen jätteen varastojen uudistamisprojektin etenemisestä. Varastoissa ei nykyisellään ole toimintaedellytyksiä monitorille, sillä sen luotettava käyttö vaatii taustasäteilyn huomioimisen monitorin käyttöpaikan rakenteissa. Kasvavan valvonnasta vapautetun jätemäärän vuoksi varastossa ei nykyisellään ole myöskään tiloja säilyttää jo puhtaaksi todettua materiaalia ilman uudelleen kontaminoitumisen riskiä. Tämän vuoksi valvonnasta vapauttamiseen sopivan mittalaitteen hankinta olisi perusteltua, sillä sen käyttämisen voidaan olettaa nopeuttavan jätteen valvonnasta vapauttamista huomattavasti, sillä nykyiset mittaukset suoritetaan vähäisillä henkilöresursseilla manuaalisesti.

Monitori yhdessä varaston käytettävyyden parantamisen kanssa mahdollistaa valvonnasta vapautettavan materiaalin kasvattamisen lähemmäs 100 000 kg/a luparajaa, mikä edesauttaa materiaalin lajittelua ja myyntiä uusiokäyttöön. (Iivonen, 14.) Lisäksi vapautetun materiaalmäärän kasvaessa loppusijoitetun jätteen määrä vähenee, joka itessään laskee jätteenkäsittelyn kustannuksia.

Ydinturvallisuusohjeissa hyväksytään valvonnasta vapautukseen käytettäväksi Olkiluodossakin tällä hetkellä käytettävän annosnopeus- ja aktiivisuuskatemittauksen tai vaihtoehtoisesti gammaspektrometrisen monitoroinnin (YVL D.4). Tämä tarkoittaa, että monitorilla voidaan korvata jätteen manuaalisesti tehtävä annosnopeusmittaus, sekä kuiva- että happopyyhkäisyinäytteiden otto kokonaan. Pyyhkäisyinäytteiden poistuminen valvonnastavapauttamisprosessista vapauttaisi säteilysuojelun ja kemian laboratorion henkilötyötunteja muuhun käyttöön. Vapautettava materiaalia tulee kuitenkin mitata pinnoilta pintakontaminaatiomittarilla ennen gammaspektrometristä monitorointia (VF Nuclearin edustaja henkilökohtainen tiedonanto 6.6.2022). Tämä on perusteltua materiaalin esiseulontatoimenpiteenä, jolla voidaan ehkäistä gammaspektrometrin kontaminoitumista ja kontaminaation leviämistä. Pintakontaminaatiomittausta tukee myös Olkiluodon omat ohjeet, jotka edellyttävät laitosten ja varastojen välillä kuljetettavan materiaalin pintakontaminaation mittaamista (Laukkanen & Grönman, 3). Pintakontaminaationmittaus ennen gammaspektrometristä monitorointia suoritetaan myös Loviisan voimalaitoksella (Seitomaa 2020, 80).

8 SUOSITUKSET

Monitorihankinnalla toimeksiantaja pyrkii sekä mittauksen luotettavuuden parantamiseen vähentämällä inhimillisen virheen mahdollisuutta että valvonnasta vapautettavan jätteen käsittelyn tehostamiseen kustannustehokkuuden kasvattamiseksi.

Suurille jäte-erille suunnitellut valvonnasta vapautus -monitorit (Mirionin RTM ja VF Nuclearin FRM-02) ovat käyttötarkoitukseltaan sellaisenaan soveltuvimmat ratkaisut valvonnasta vapautukseen ydinvoimalaitoksella. Täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että monitorien pääasiallinen tarkoitus on mahdollistaa käytöstä poistettavan ydinvoimalan valvonnasta vapautusmittaukset, jotka ovat volyymiltaan huomattavasti käytön aikaista jätteen vapauttamista suurempia. Tehokkuudeltaan tällainen mittalaite voikin olla jopa liian tehokas, kun huomioidaan monitorin kustannukset. Ei ole välttämättä kustannustehokasta hankkia tarkoitukseen liian tehokasta monitoria, jonka täyttä ka-

pasiteettia ei sen elinaikana pystytä ikinä hyödyntämään. On otettava kuitenkin huomioon, ettei Olkiluodon yksikään laitosyksikkö tule tiensä päähän lähivuosikymmeninä.

Tutkituista muista monitorivaihtoehdoista vain yksi on nimenomaisesti valvonnasta vapautusta varten suunniteltu, mutta kaikissa niissä on potentiaalia valvonnasta vapautusmittauksiin. Pienempien monitorien etuna on laajemman tarjonnan lisäksi niiden reilusti matalampi hinta. Pienet monitorit ovat siis kustannustehokkaampia ja niiden täyttää kapasiteettia pystytään paremmin hyödyntämään. Lisäksi pienempi ratkaisu on helpommin sijoitettavissa – se vie vähemmän tilaa ja mahdollistaa tehokkaamman betoni- tai lyijysuojauksen taustasäteilyn minimoimiseksi.

Mikä tahansa monitoriratkaisu vähentää tarvittavien henkilötyötuntien määrää, kun aktiivisuuskatteen mittaukseen tarkoitettut kuiva- ja happopyyhkäisy näytteet voidaan korvata monitorin mittauksella. Henkilötyötunteja säästyy säteilyvalvonnalta näytteenottajina ja kemian laboratorion henkilökunnalta näytteen analysoijina. Toimiakseen monitori on kuitenkin riippuvainen MAJ- ja KAJ-varastojen uudistamisprojektin etenemisestä, sillä nykyisellään TVO:lla ei ole monitorin käyttöön vaadittavia tiloja. Monitoriratkaisu vaatii myös STUK:n hyväksynnän.

Näillä tiedoilla yhtä ehdotonta monitoriratkaisua ei hankittavaksi voida esittää, mutta yleisellä tasolla jätteen valvonnasta vapauttamiseen soveltuu paremmin pienempi monitori. Tarkasta tarpeesta riippuen hankittavaksi voi harkita niin kutsuttua gammakaappia (kuten LAM12) tai pienempää liukuhihnallista monitoria (FRM-24). Kuten edellä on perusteltu, niiden kustannustehokkuus on huomattavasti suurempi isompiin laitteisiin verrattuna. Lisäksi ydinalan laitetoimittajat ovat sitoutuneita laitteen ylläpitoon ja soveltuvuuden takaamiseen, jolloin paras ratkaisu on todennäköisesti muokata olemassa oleva monitori sopimaan juuri TVO:n jätteenkäsittely-ympäristöön.

LÄHTEET

Grönman, K. 2017. Matala-aktiivisen jätteen valvonnasta vapauttaminen. TVO:n säteilysuojelukäsikirja. Viitattu 27.10.2022.

Huuhka, T. 2017. Tehokkaan hankinnan työkalut. Helsinki: Books on Demand.

Iivonen, P. 2022. Matala- ja keskiaktiivisen jätteen uuden välivaraston esiselvitys. Projektinhallintaohjeisto. Viitattu 9.12.2022.

Ikäheimonen, T. K., Klemola, S., Vesterbacka, P., Rahola T. 2002. Säteily ja sen havaitseminen. Helsinki: Säteilyturvakeskus. Aktiivisuuden määrittäminen. Viitattu 7.12.2022. https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/kirja1_5.pdf/f16c33c2-0fb5-40e8-8d41-8a96ecea746e

Jyväskylän yliopiston www-sivut. Viitattu 5.12.2022. <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/vertaileva-tutkimus>

Kangas, K. & Mäenranta, L. 2022. Voimalaitosjätehuollon yleissuunnitelma. TVO:n voimalaitosjätehuollon käsikirja. Viitattu 31.10.2022.

Laukkanen, K. & Grönman, K. 2022. Ulosmittausohje. TVO:n säteilysuojelukäsikirja. Viitattu 9.12.2022.

Laukkanen, K. 2022. Säteilysuojeluinsinööri, Teollisuuden Voima Oyj. Olkiluoto, Eurajoki. Henkilökohtainen tiedonanto 17.10.2022.

Laukkanen, K. 2022. Säteilysuojeluinsinööri, Teollisuuden Voima Oyj. Olkiluoto, Eurajoki. Henkilökohtainen tiedonanto 20.10.2022.

Laukkanen, K. 2022. Säteilysuojeluinsinööri, Teollisuuden Voima Oyj. Olkiluoto, Eurajoki. Henkilökohtainen tiedonanto 21.10.2022.

Ludlumin www-sivut. Viitattu 7.12.2022. <https://www.ludlumgmbh.com>

Lukka, K. 2001. Konstruktiivinen tutkimusote. Metodix. Viitattu 5.12.2022. <https://metodix.fi/2014/05/19/lukka-konstruktiivinen-tutkimusote/>

Matala- ja keskiaktiivisen jätteen ydinjätteiden käsittely ja ydinlaitoksen käytöstäpoisto. 2019. Ydinturvallisuusohjeet. Viitattu 31.7.2022. <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLD-4>

Middleton, F. 2019. Reliability vs. Validity in Research | Difference, Types and Examples. Scribbr. <https://www.scribbr.com/methodology/reliability-vs-validity/>

Mirionin www-sivut. Viitattu 6.12.2022. <https://www.mirion.com>

Monto, A. Free release -monitorit. Vastaanottaja: axel.monto@nutronic.se. Lähetetty 1.12.2022 klo 14.45.48. Viitattu 8.12.2022.

Mäenranta, L. & Kangas, K. 2022. Voimalaitosjätteiden kirjanpito, raportointi ja valvonnasta vapautus. TVO:n voimalaitosjätehuollon käsikirja. Viitattu 7.11.2022.

Nevada Technical Associates www-sivut. Viitattu 13.8.2022.
<https://www.ntanet.net/decommissioning-meeting-free-release-criteria>

Nieminen, S. 2016. Hyvä hankinta – parempi bisnes. Helsinki: Talentum Pro.

Ortec:n www-sivut. Viitattu 7.12.2022. <https://www.ortec-online.com>

Seitomaa, T. 2020. Ydinlaitosten käytöstäpoistojätteen karakterisointimittaukset ja valvonnasta vapauttaminen. Diplomityö. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT. Viitattu 8.12.2022. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020073047750>

Säteilyturvakeskuksen määräys vapaarajoista ja vapauttamisrajoista. 2018. Määräys STUK SY/1/2018.

Säteilyturvakeskuksen www-sivut. Viitattu 3.11.2022. <http://www.stuk.fi>

VF Nuclearin edustaja. VF Nuclear. Olkiluoto, Eurajoki. Henkilökohtainen tiedonanto 6.6.2022.

VF Nuclearin www-sivut. Viitattu 8.12.2022. <https://www.vfnuclear.com>

Ydinenergialaki. 1987. 11.12.1987/990.

LIITE 1

YLEISEN VALVONNASTA VAPAUTUKSEN RAJA-ARVOT RAJOITTAMATTOMILLE MATERIAALIMÄÄRILLE

Radionuklidi	Aktiivisuuspitoisuus (Bq/g)
H-3	100
Be-7	10
C-14	1
F-18*	10
Na-22	0,1
Na-24*	1
Si-31	1000
P-32	1000
P-33	1000
S-35	100
Cl-36	1
Cl-38*	10
K-42	100
K-43*	10
Ca-45	100
Ca-47	10
Sc-46	0,1
Sc-47	100

Radionuklidi	Aktiivisuuspitoisuus (Bq/g)
Sc-48	1
V-48	1
Cr-51	100
Mn-51*	10
Mn-52	1
Mn-52m*	10
Mn-53	100
Mn-54	0,1
Mn-56*	10
Fe-52*	10
Fe-55	1000
Fe-59	1
Co-55*	10
Co-56	0,1
Co-57	1
Co-58	1
Co-58m*	10000
Co-60	0,1
Co-60m*	1000
Co-61*	100
Co-62m*	10
Ni-59	100

Radionuklidi	Aktiivisuuspitoisuus (Bq/g)
Ni-63	100
Ni-65*	10
Cu-64*	100
Zn-65	0,1
Zn-69*	1000
Zn-69m*	10
Ga-72*	10
Ge-71	10000
As-73	1000
As-74*	10
As-76*	10
As-77	1000
Se-75	1
Br-82	1
Rb-86	100
Sr-85	1
Sr-85m*	100
Sr-87m*	100
Sr-89	1000
Sr-90	1
Sr-91*	10
Sr-92*	10

Radionuklidi	Aktiivisuuspitoisuus (Bq/g)
Y-90	1000
Y-91	100
Y-91m*	100
Y-92*	100
Y-93*	100
Zr-93	10
Zr-95	1
Zr-97*	10
Nb-93m	10
Nb-94	0,1
Nb-95	1
Nb-97*	10
Nb-98*	10
Mo-90*	10
Mo-93	10
Mo-99	10
Mo-101*	10
Tc-96	1
Tc-96m*	1000
Tc-97	10
Tc-97m	100
Tc-99	1

Radionuklidi	Aktiivisuuspitoisuus (Bq/g)
Tc-99m*	100
Ru-97	10
Ru-103	1
Ru-105*	10
Ru-106	0,1
Rh-103m*	10000
Rh-105	100
Pd-103	1000
Pd-109	100
Ag-105	1
Ag-110m	0,1
Ag-111	100
Cd-109	1
Cd-115	10
Cd-115m	100
In-111	10
In-113m*	100
In-114m	10
In-115m*	100
Sn-113	1
Sn-125	10
Sb-122	10

Radionuklidi	Aktiivisuuspitoisuus (Bq/g)
Sb-124	1
Sb-125	0,1
Te-123m	1
Te-125m	1000
Te-127	1000
Te-127m	10
Te-129*	100
Te-129m	10
Te-131*	100
Te-131m	10
Te-132	1
Te-133*	10
Te-133m*	10
Te-134*	10
I-123	100
I-125	100
I-126	10
I-129	0,01
I-130*	10
I-131	10
I-132*	10
I-133*	10

Radionuklidi	Aktiivisuuspitoisuus (Bq/g)
I-134*	10
I-135*	10
Cs-129	10
Cs-131	1000
Cs-132	10
Cs-134	0,1
Cs-134m*	1000
Cs-135	100
Cs-136	1
Cs-137	0,1
Cs-138*	10
Ba-131	10
Ba-140	1
La-140	1
Ce-139	1
Ce-141	100
Ce-143	10
Ce-144	10
Pr-142*	100
Pr-143	1000
Nd-147	100
Nd-149*	100

Radionuklidi	Aktiivisuuspitoisuus (Bq/g)
Pm-147	1000
Pm-149	1000
Sm-151	1000
Sm-153	100
Eu-152	0,1
Eu-152m*	100
Eu-154	0,1
Eu-155	1
Gd-153	10
Gd-159*	100
Tb-160	1
Dy-165*	1000
Dy-166	100
Ho-166	100
Er-169	1000
Er-171*	100
Tm-170	100
Tm-171	1000
Yb-175	100
Lu-177	100
Hf-181	1
Ta-182	0,1

Radionuklidi	Aktiivisuuspitoisuus (Bq/g)
W-181	10
W-185	1000
W-187	10
Re-186	1000
Re-188*	100
Os-185	1
Os-191	100
Os-191m*	1000
Os-193	100
Ir-190	1
Ir-192	1
Ir-194*	100
Pt-191	10
Pt-193m	1000
Pt-197*	1000
Pt-197m*	100
Au-198	10
Au-199	100
Hg-197	100
Hg-197m	100
Hg-203	10
Tl-200	10

Radionuklidi	Aktiivisuuspitoisuus (Bq/g)
Tl-201	100
Tl-202	10
Tl-204	1
Pb-203	10
Bi-206	1
Bi-207	0,1
Po-203*	10
Po-205*	10
Po-207*	10
At-211	1000
Ra-225	10
Ra-227	100
Th-226	1000
Th-229	0,1
Pa-230	10
Pa-233	10
U-230	10
U-231	100
U-232	0,1
U-233	1
U-236	10
U-237	100

Radionuklidi	Aktiivisuuspitoisuus (Bq/g)
U-239*	100
U-240*	100
Np-237	1
Np-239	100
Np-240*	10
Pu-234*	100
Pu-235*	100
Pu-236	1
Pu-237	100
Pu-238	0,1
Pu-239	0,1
Pu-240	0,1
Pu-241	10
Pu-242	0,1
Pu-243*	1000
Pu-244	0,1
Am-241	0,1
Am-242*	1000
Am-242m	0,1
Am-243	0,1
Cm-242	10
Cm-243	1

Radionuklidi	Aktiivisuuspitoisuus (Bq/g)
Cm-244	1
Cm-245	0,1
Cm-246	0,1
Cm-247	0,1
Cm-248	0,1
Bk-249	100
Cf-246	1000
Cf-248	1
Cf-249	0,1
Cf-250	1
Cf-251	0,1
Cf-252	1
Cf-253	100
Cf-254	1
Es-253	100
Es-254	0,1
Es-254m	10
Fm-254*	10000
Fm-255*	100

*:llä merkittyjen radionuklidien puoliintumisaika on lyhyempi kuin 1 päivä. [2019-12-15]