

Iiro Kuortti

LOVIISAN YDINVOIMALAITOKSEN HUONELUOKITUSPROSESSIN ARVIOINTI

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Energiatekniikan koulutus

2023



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä	Iiro Kuortti
Työn nimi	Loviisan ydinvoimalaitoksen huoneluokitusprosessin arviointi
Toimeksiantaja	Fortum Power and Heat Oy
Vuosi	2023
Sivut	66 sivua, liitteitä 11 sivua
Työn ohjaajat	Anne Gango Xamk; Liisa Salminen Fortum Power and Heat Oy

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli arvioida Loviisan ydinvoimalaitoksen huoneluokitusprosessin toimivuutta. Huoneluokitusprosessi voidaan mieltää useista vaiheista rakentuvaksi kokonaisuudeksi, minkä kautta voimalaitoksen valvonta- ja tarkkailualueiden tilojen säteilyolosuhteisiin pohjautuvien luokitusten oikeellisuus tarkistetaan sekä dokumentoidaan. Säteilyolosuhteiden säännöllisen seurannan tarkoituksena on varmistaa, että alueiden ja huonetilojen säteilyolosuhteissa tapahtuvat muutokset eivät vaaranna työntekijöiden säteilyturvallisuutta.

Opinnäytetyön kirjallisuusosiossa esitellään Loviisan voimalaitoksen yleistä toimintaperiaatetta sekä ionisoivan säteilyn vaikuttavuutta ydinvoimalaitoksella työskentelyyn. Säteilyolosuhteiden seuranta ohjaavia menettelyitä tuodaan osiossa esille tarvittavilta osin lisäksi vallitsevan lainsäädännön, viranomaisohjeistuksien sekä Loviisan voimalaitoksen omien ohjeistuksien osalta. Opinnäytetyön pääsisällön muodostaa Loviisan voimalaitoksen huoneluokitusprosessin perusteellinen arviointi, jota pohjustetaan tarkastelemalla voimalaitoksella suoritettavan säteilyolosuhteiden seurannan monipuolisuutta. Huoneluokitusprosessin sisältöä ja käytännöllistä toimivuutta kartoitetaan opinnäytetyössä voimalaitoksella käytössä olevien menettelyiden, saatavilla olevan säteilymittausdatan sekä erillisesti tehdystä ydinvoimalaitosvertailusta saatujen tulosten laaja-alaisen analysoinnin kautta.

Tutkimusten aikana tehdyt havainnot osoittavat, että Loviisan voimalaitoksen huoneluokitusprosessi on kokonaisuudessaan toimiva, mutta sisältää tietyissä osavaiheissa myös ilmeisiä kehityskohteita. Selvitysten perusteella huoneluokituskierroksia suoritetaan voimalaitoksella säteilyolosuhteiden tasaisuuteen nähden tällä hetkellä tarpeettoman tiheällä syklillä. Säännöllisiä säteilymittauksia tehdään lisäksi toistuvasti sellaisissa valvonta-alueen huonetiloissa, jotka eivät säteilyolosuhteiden muuttumattomuudellaan täytä tiheästi toteutettavan seurannan edellytyksiä. Huoneluokitusprosessin osavaiheiden käsittelyn pohjilta voidaan todeta, että myös huoneluokitusreittien sisällön johdonmukaisuuteen sekä säteilymittaus tulosten dokumentointivastuiden jakautumisen optimointiin tulisi kiinnittää huomiota tulevaisuudessa.

Asiasanat: säteily, huoneluokitus, säteilymittaus, mittausmenetelmät, dokumentointi

Degree title	Bachelor of Engineering
Author	Iiro Kuortti
Thesis title	Evaluation of Loviisa nuclear power plant's room classification process
Commissioned by	Fortum Power and Heat Oy
Time	2023
Pages	66 pages, 11 pages of appendices
Supervisors	Anne Gango Xamk; Liisa Salminen Fortum Power and Heat Oy

ABSTRACT

The objective of the thesis was to evaluate the functionality of Loviisa nuclear power plant's room classification process. The room classification process can be considered as a multistage process, through which the validity of the classifications based on the radiation conditions of the facilities in the controlled and supervised areas is verified and documented. The purpose of regular radiation monitoring is to ensure that changes in radiation conditions in different areas and rooms do not compromise the radiation safety of workers.

The literature section of the thesis presents the general operating principle of Loviisa nuclear power plant and the effectiveness of ionizing radiation when working in a nuclear power plant. Regular monitoring of radiation conditions is also addressed in the section through existing legislation, regulatory guidance and Loviisa nuclear power plant's own guidance. The main content of the thesis is a thorough evaluation of Loviisa nuclear power plant's room classification process, which is based on the examination of the versatility of radiation condition monitoring at the power plant. The contents and practical functionality of the room classification process is explored in the thesis by comprehensively analyzing the procedures in use at the power plant, available radiation measurement data, and the results gathered from nuclear power plant benchmarking.

The observations obtained during the study show that Loviisa nuclear power plant's room classification process functions as a whole, but also contains obvious areas for improvement at certain stages. Based on the inquiries, radiation surveys are currently performed at an unnecessarily high frequency compared to the variability of existing radiation conditions. In addition, regular radiation measurements are performed repeatedly in rooms in the controlled area that do not meet the requirements for frequent monitoring due to their unchanging radiation conditions. Through the analysis of different stages in the room classification process, it can be concluded that in the future attention should also be paid to the contents of room classification routes and to the optimisation of the responsibilities in the radiation measurement result documentation process.

Keywords: radiation, room classification, radiation measurement, measuring methods, documentation

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	LOVIISAN VOIMALAITOS	7
3	IONISOIVA SÄTEILY	11
3.1	Säteilylajit	11
3.2	Radioaktiivinen kontaminaatio	13
3.3	Ionisoiva säteily ydinvoimalaitoksella	14
4	TILOJEN LUOKITUSJÄRJESTELMÄN MÄÄRITTELY	15
4.1	Lainsäädäntö	15
4.2	Säteilyturvallisuusryhmän toiminta	17
4.3	Työskentelyalueiden jaottelu	18
4.3.1	Loviisan voimalaitoksen valvonta-alueen vyöhykejako	20
4.3.2	Säteilyvaaran merkitseminen	22
5	SÄTEILYOLOSUHTEIDEN SEURANTA	25
5.1	Kiinteät ja kannettavat säteilymittauslaitteet	25
5.2	Valvonta-alueen ja tarkkailualueiden huoneluokituskierrokset	27
5.3	Kuumien pisteiden mittaukset	27
5.4	Primääripiirien säteilymittaukset	29
5.5	Kontaminaatioseuranta	31
6	HUONETILOJEN LUOKITTELU	33
6.1	Huoneluokituskierrosten suorittaminen	34
6.2	Tilojen säteilyolosuhteiden kehittyminen	41
6.3	Säteilymittaustulosten hyödyntäminen	46
6.4	Toimintatavat eri ydinvoimalaitoksilla	49
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	57
8	YHTEENVETO	63
	LÄHTEET	64

LIITTEET

Liite 1. Loviisa 1 - huoneilojen säteilyn yleistason muutokset tehoajolla

Liite 2. Loviisa 2 - huoneilojen säteilyn yleistason muutokset tehoajolla

Liite 3. Valvonta-alueen säteilytasoiltaan muuttumattomat huoneilat

Liite 4. Sähköpostikysely

1 JOHDANTO

Ydinvoima on yksi Suomen merkittävimmistä yksittäisistä sähköntuotantomuodoista ja täten keskeinen osa valtion energiajärjestelmää. Vuonna 2022 ydinvoiman osuus Suomen sähköntuotannosta oli 35 prosenttia, kun hiilidioksidivapaan sähkön osuus oli kokonaisuudessaan 89 prosenttia (Energiateollisuus ry 2023, 9–10). Ydinvoima on tehokas ja tutkitusti turvallinen lähes päästötön sähköntuotantomuoto, minkä vuoksi se asettuu fossiilisia polttoaineita hyödyntäviä sähköntuotantomuotoja paremmin tämänhetkiseen yhteiskuntaan.

Ydinvoimalaitoksilla työskentely eroaa perinteisestä voimalaitostyöskentelystä terveydelle haitallisen ionisoivan säteilyn esiintymisen takia. Säteilyaspektin vuoksi turvallinen työskentely perustuu ydinvoimalaitoksilla merkittäväällä tavalla lainsäädäntöön, viranomaisten ohjeistuksiin sekä edelleen tarkennettuihin voimalaitosohjeistoihin. Operatiivisen säteilysuojelun ollessa keskeisessä osassa ydinvoimalaitosten valvonta-alueella työskenneltäessä, voidaan myös siihen liittyvien menettelyiden optimointia pitää tärkeänä sekä perusteltuna voimalaitoksen yleisten toimintatapojen tehostamisen näkökulmasta.

Tämä opinnäytetyö on tehty Fortum Power and Heat Oy:n Loviisan voimalaitoksen säteilyturvallisuusryhmälle. Työn kirjallisuusosiossa käsitellään Loviisan voimalaitoksen toimintaperiaatetta sekä ionisoivan säteilyn vaikuttavuutta voimalaitoksen valvonta- ja tarkkailualueilla työskentelyyn. Osiossa tuodaan tarvittavilta osin esille lisäksi lainsäädännön sekä viranomaisohjeistuksien vaikutukset voimalaitoksella käytössä oleviin säteilysuojelullisiin menettelyihin huoneluokitusprosessin osalta.

Opinnäytetyön päätavoitteena on arvioida Loviisan voimalaitoksen huoneluokitusprosessin sisältöä sekä käytännöllistä toimivuutta. Voimalaitoksen toimintatapojen ja saatavilla olevan säteilymittausdatan analysoinnilla halutaan tunnistaa huoneluokitusprosessissa ilmenevät hyväksi havaitut menettelyt sekä mahdolliset puutteet. Tehtyjen havaintojen pohjilta muodostetaan lopuksi ehdotuksia, joilla Loviisan voimalaitoksen huoneluokitusprosessia saataisiin tulevaisuudessa kehitettyä tämänhetkisestä mallistaan.

2 LOVIISAN VOIMALAITOS

Ydinvoimalaitos vastaa toimintaperiaatteeltaan tyypillistä lämpövoimalaitosta, jossa energiantuotanto perustuu perinteisten poltettavien polttoaineiden sijaan ydinpolttoaineessa tapahtuvaan hallittuun fissioreaktioon. Fissiolla eli raskaan atomiytimen halkeamisreaktiolla ja ohjatuilla fissioiden ketjureaktioilla kuumennetaan reaktorissa olevaa ydinpolttoainetta, josta lämpö siirtyy reaktorin jäähdytteeseen. Ydinvoimalaitostyyppistä riippuen prosessin aikana syntyvä höyry ajetaan turbiineille suoraan reaktorista tai erillisen sekundääripiirin kautta. (Eurasto ym. 2004, 26, 43.)

Ydinvoimalaitoksilla käytössä olevat reaktortyyppit kategorisoituvat tehoreaktoreiksi, joiden päätehtävänä on energiantuotanto. Reaktorit jaetaan termisiin ja nopeisiin reaktoreihin niiden reaktorifysikaalisten ominaisuuksien perusteella. Termiset reaktorit jaetaan edelleen eri tyyppeihin riippuen niissä käytettävästä moderaattorista, jäähdytteestä sekä polttoaineesta. Maailman ydinvoimaloissa yleisimmin käytössä olevat reaktortyyppit ovat kevytvesireaktoreiksi lukeutuvat painevesireaktori (PWR) sekä kiehutusvesireaktori (BWR). Painevesireaktorissa moderaattorina sekä jäähdytteenä käytetään boorihappovettä ja kiehu- tusvesireaktorissa puhdistettua vettä. (Eurasto ym. 2004, 42–43.)

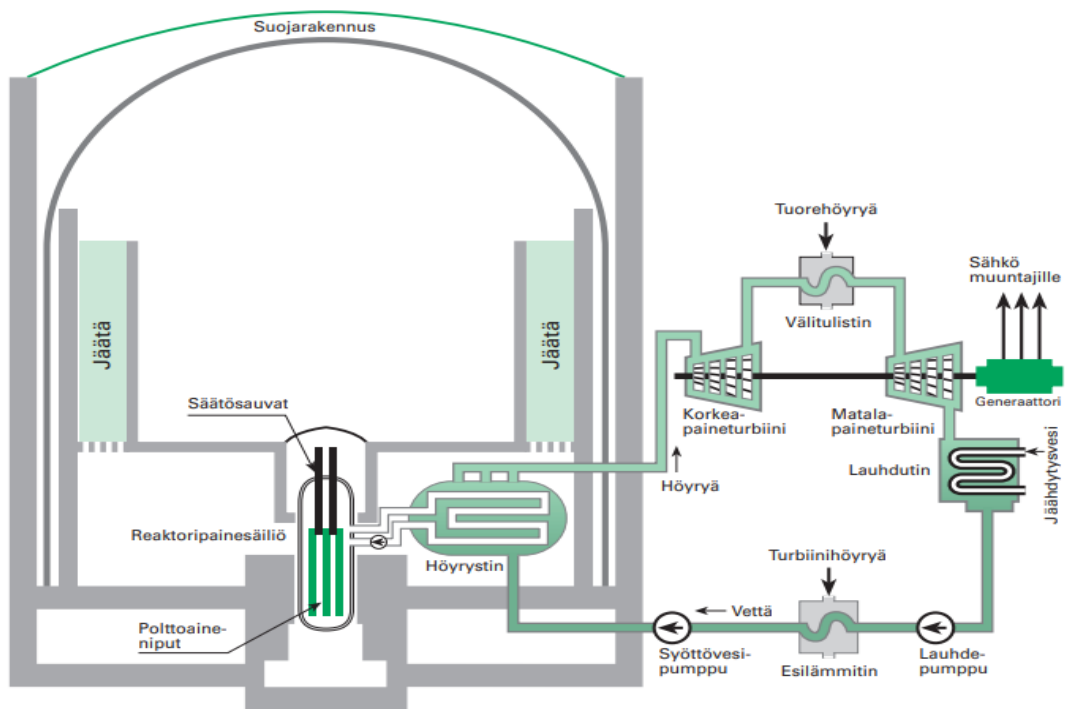
Fortum Power and Heat Oy:n omistama Loviisan voimalaitos koostuu kahdesta laitossyksiköstä, jotka sijaitsevat Loviisan Hästholmenin saarella. Ensimmäinen laitossyksikkö (Loviisa 1) on käyttöön otettu vuonna 1977 ja toinen laitossyksikkö (Loviisa 2) vuonna 1980 (Fortum Oyj 2023a).

Loviisan voimalaitoksen reaktorit ovat tyypiltään neuvostoliittolaisia VVER-440 (V-213) -painevesireaktoreita, joiden lämpötehot ovat nykypäivänä useiden modernisointien jälkeen 1500 megawattia ja nettosähkötehot 507 megawattia. Vuoden 2022 aikana Loviisan voimalaitos tuotti 89,4 prosentin käyttökertomella yhteensä 7,9 terawattituntia sähköä, mikä vastasi noin 10 prosenttia koko Suomen sähköntuotannosta. (Fortum Oyj 2023a.)

Painevesilaitoksessa reaktoripainesäiliössä kuumeneva primääripiirin korkea-paineinen vesi ohjautuu primääripiirin putkiston kautta lämmönvaihtimiin eli höyrystimiin. Höyrystimissä primääripiirin jäähtytteen lämpö siirtyy lämmönsiirtoputkien läpi matalammassa lämpötilassa ja paineessa kiertävään sekundääripiirin veteen, saaden sen kiehumaan. Jäähdyntynyt primääripiirin vesi kulkeutuu pääkiertopumppujen avulla takaisin reaktoriin ja sekundääripiirin höyry johdetaan turbiineille. (Eurasto ym. 2004, 45.)

Sekundääripiirissä kulkevan höyryn lämpöenergian saapuessa turbiineille, muuntuu se turbiinin akselin mekaaniseksi energiaksi ja edelleen samassa akselissa pyörivän generaattorin kautta sähköenergiaksi. Turbiinin jälkeinen höyry ohjataan merivesipiirillä jäähdytettäviin lauhduttimiin, jossa se lauhtuu jälleen vedeksi. (Eurasto ym. 2004, 45.)

Laitosyksiköiden primäärisesti aktiiviset komponentit sekä järjestelmät sijaitsevat kaasutiiviin terässuojakuoren sisällä, jonka tarkoituksena on estää radioaktiivisten aineiden leviäminen ympäristöön mahdollisissa, mutta epätodennäköisissä onnettomuustilanteissa (Fortum Oyj 2023b). Kuva 1 havainnollistaa Loviisan ydinvoimalaitosyksikön yksinkertaistettua toimintaperiaatetta.

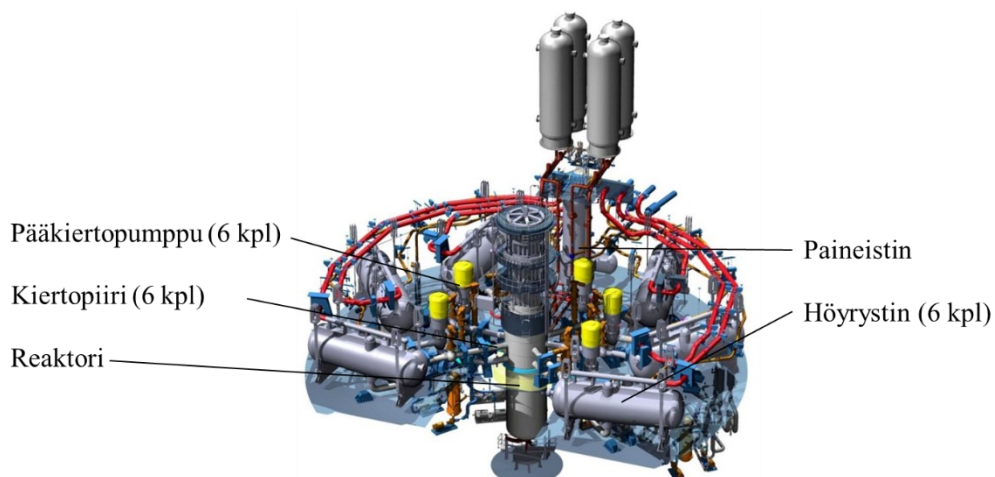


Kuva 1. Loviisan ydinvoimalaitosyksikön toimintaperiaate (Eurasto ym. 2004, 45)

Painevesilaitoksen primääripiiri on suljettu kiertopiiri, jonka päätarkoituksena on kierrättää noin 300 °C lämpötilassa ja 123 baarin paineessa olevaa primäärijäähdettä reaktorisydämen ja höyrystimien välillä (Fortum Power and Heat Oy 2022d, 1, 7). Primääripiirin pääkomponenteiksi lukeutuvat reaktori, primääripiirin putkisto, pääkiertopumput, höyrystimet sekä paineistin. Pääkomponenttien lisäksi piiriin kuuluu useita toisiinsa liittyviä apujärjestelmiä, joiden tehtävänä on auttaa reaktorin tehotason kontrolloimisessa, ylläpitää primääriveden puhtautta ja vesikemiaa sekä säätää syötettävän lisäveden määrää.

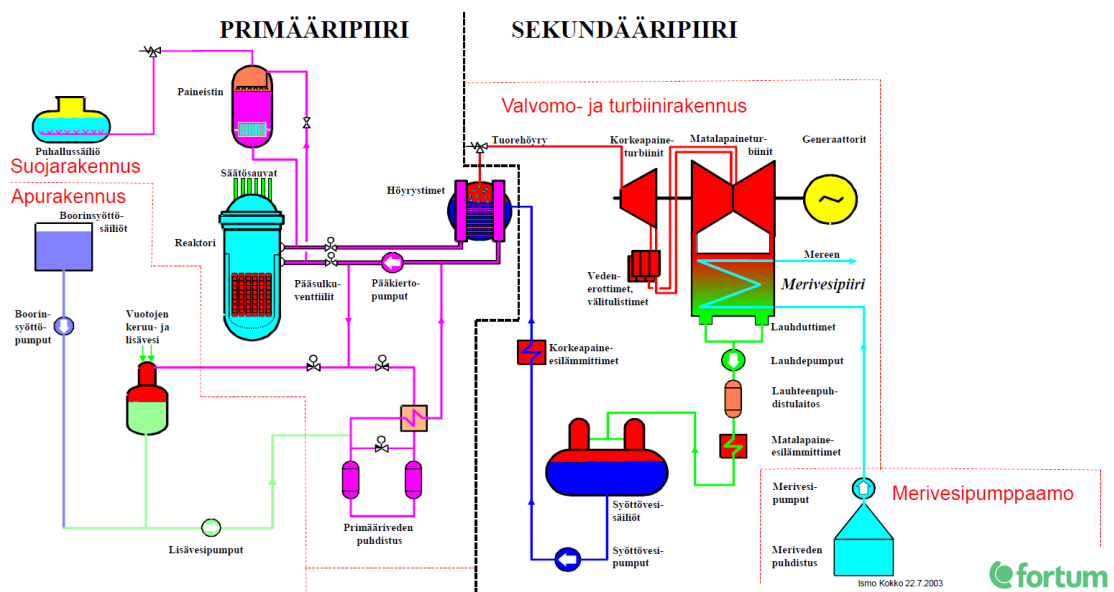
Loviisan voimalaitoksella laitosesyksikön primääripiirin muodostavat reaktoriin kytketyt kuusi kiertopiiriä sekä niihin liitetyt pääkomponentit. Primääripiiri sijaitsee radioaktiivisten ominaisuuksiensa takia suurimmalta osin reaktorirakennuksen höyrystintilassa, joka on laitoksen tehoajon eli normaalin käytön aikana korkeiden säteilytasojen takia luoksepääsemätöntä aluetta. Höyrystintilaa ympäröi kuitenkin paksut betonirakenteet, joiden ansiosta suurin osa reaktorihallin muista huonetiloista on saatu pidettyä luoksepäästävinä myös käyntijaksojen aikana (Kontio & Hirvelä 2022, 32). Höyrystintilassa tehtävät huolto-työt ajoitetaan tästä syystä aina voimalaitoksen vuosihuoltoihin, jolloin tiloissa vallitsevat säteilytasot laskevat reaktorien sammuttamisen jälkeen.

Kuvassa 2 nähdään 3D-mallinnus laitosesyksikön primääripiirin pääkomponenttien jakautumisesta. Turvallisuussyistä reaktorin ympärille rakennetun teräs-suojakuoren, suojarakennuksen ja hätäjäähdytysjärjestelmien tuoman tilanpuutteen takia komponentit on jouduttu sijoittamaan muista VVER-440-laitok-sista poiketen merkittävästi tiiviimmällä tavalla.



Kuva 2. Primääripiirin pääkomponentit (mukailten Fortum Power and Heat Oy 2019, 14)

Sekundääripiirin pääkomponentteihin lukeutuvat höyryturbiini, generaattori sekä lauhdutin. Sekundääripiiriin on kytketty kaksi aksiaalilauhdutinturbiinia, joissa on yksijuoksuinen korkeapaineosa ja kaksi kaksijuoksuista matalapaineosaa (Fortum Power and Heat Oy 2023c, 1). Koska painevesilaitoksen sekundääripiiri ei normaalitilanteessa sisällä radioaktiivisuutta, on piirin pääkomponentit sijoitettu säteilysuojelullisesti luokittelemattomalle alueelle voimalaitoksen turbiini- ja valvomorakennuksiin. Laitosyksikön pääkiertokaaviota sekä komponenttien rakennusteknistä jakautumista on havainnollistettu kuvassa 3.



Kuva 3. Primääri- ja sekundääripiirin jakautuminen (mukailien Lehtonen 2021, 7)

Höyrytistimissä kiertävä noin 225 °C lämpötilassa ja 66 baarin paineessa oleva syöttövesi muuntuu primääripiirin lämpöenergian vaikutuksesta kylläiseksi tuorehöyryksi, joka on lämpötilaltaan 260 °C ja paineeltaan noin 45 baaria. Höyrytistimiltä höyry johdetaan tuorehöyryputkien kautta laitosyksiköiden korkeapaine- ja matalapaineturbiineille, jotka toimivat pääosin kostean höyryn alueella. (Fortum Power and Heat Oy 2023c, 1–2.)

Korkeapaineturbiinin jälkeen 135 °C lämpötilassa ja noin 3 baarin paineessa oleva höyry kiertää vedenerotus-välitulistimien kautta matalapaineturbiineille ennen sen päätymistä lauhduttimiin. Lauhduttimista lauhde siirtyy syöttövesisäiliöihin, joista vettä syötetään jatkuvasti takaisin höyrytistimille. (Fortum Power and Heat Oy 2022c, 1–2.)

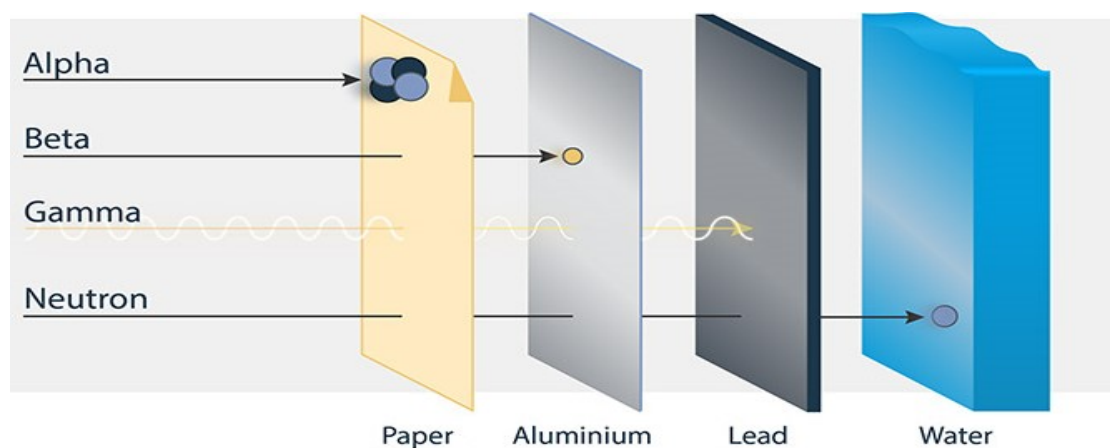
3 IONISOIVA SÄTEILY

Ionisoivaksi säteilyksi kutsutaan säteilyä, joka on riittävän energistä rikkomaan säteilyn kohteeksi joutuvan aineen molekyylejä tai irrottamaan sen atomeista elektroneja (STUK 2023b). Ionisoivaa säteilyä syntyy radioaktiivisten ydinten hajoamisen, ydinreaktioiden sekä atomin elektroniverhon ilmiöiden yhteydessä (Sandberg & Paltemaa 2002, 12).

Radioaktiivinen hajoaminen on spontaani tapahtuma, jossa epästabili atomiydinin hajoaa toiseksi ytimiksi ilman ulkoisten tekijöiden vaikutusta. Ydinreaktioiksi kutsutaan vastaavasti kahden ytimen tai alkeishiukkasen ja ytimen välistä törmäysreaktiota, johon voidaan vaikuttaa ulkoisten vuorovaikutusten kautta. Radioaktiivisessa hajoamisessa ja ydinreaktioissa muodostuu samoja reaktiotuotteita ja säteilylajeja. (Sandberg & Paltemaa 2002, 19–20.)

3.1 Säteilylajit

Ionisoivaksi sähkömagneettiseksi säteilyksi lukeutuvat röntgen- ja gammasäteily (γ) sekä hiukkassäteilyksi alfa- (α), beeta- (β), neutroni- ja protonisäteily. Sähkömagneettinen säteily koostuu fotoneista, joiden energia on riittävän suuri aiheuttaakseen kohteessa ionisaatioita. Hiukkassäteily koostuu puolestaan varauksellisista hiukkasista, jotka aiheuttavat ionisaatioita kulkiesaan solun läpi. Varauksellisista hiukkasista koostuva säteily on suoraan ionisoivaa säteilyä kun taas sähkömagneettinen säteily sekä varauksettomat hiukaset ovat epäsuoraan ionisoivaa säteilyä. (Mustonen & Salo 2002, 28–29.)



Kuva 4. Säteilylajien tunkeutuminen (Canadian Nuclear Safety Commission 2019)

Alfahajoamisessa ytimestä irtoaa hiukkanen, joka koostuu kahdesta protonista ja kahdesta neutronista. Alfahiukkaset ovat raskaita ja niiden ilmassa kulkemata matka on lyhyt, yleensä muutamia senttimetrejä. (Sandberg & Paltemaa 2002, 20.) Kuvassa 4 havainnollistetun heikon läpäisykykynsä ansiosta alfahiukkaset eivät pysty vahingoittamaan elävää kudosta kehon ulkopuolelta, mutta ovat voimakkaasti ionisoivina vaarallisia päätyessään kehon sisälle (Pöllänen 2003, 15). Ydinvoimalaitoksella alfasäteilyä lähettävät keinotekoiset radioaktiiviset aineet ovat pääasiassa ydinpolttoaineesta peräisin.

Beetasäteily on nopeista elektroneista tai positroneista koostuvaa hiukkassäteilyä. Beetahajoamista voi tapahtua kolmella eri tavalla: β^- -hajoamisen, β^+ -hajoamisen tai elektronikaappauksen kautta. Beetahajoamisessa ytimen varaus muuttuu, mutta massaluku ei muutu. Beetahiukkanen kulkee väliaineessa eri tavalla kuin alfahiukkanen, johtuen sen pienestä massasta verrattuna elektronin tai atomin massaan. Beetahiukkasen kantama on tyypillisesti muutamia kymmeniä senttimetrejä ja sen kulkurata voi olla merkittävästi mutkitteleva. (Sandberg & Paltemaa 2002, 21, 40–41.)

Neutronisäteily on alfa- ja beetasäteilystä poiketen välillisesti ionisoivaa hiukkassäteilyä. Neutronit ovat itsessään varauksettomia hiukkasia, joten ne eivät suoraan ionisoi atomeja, vaan ionisaatio tapahtuu sekundäärisäteilyn kautta (Mustonen & Salo 2002, 28–29). Ydinvoimalaitoksissa neutroneja vapautuu reaktorissa uraaniytimien halkeamisreaktioissa, minkä takia neutronisäteilyä esiintyykin tehoajojen aikana reaktorien välittömässä läheisyydessä.

Gammasäteily on välillisesti ionisoivaa sähkömagneettista säteilyä, joka on peräisin atomiytimen energiatilan muutoksista (Sandberg & Paltemaa 2002, 17). Gammahajoavia nuklideja muodostuu muun muassa alfa- ja beetahajoamisten jälkituotteina tai elektronikaappauksen aikana. Alfa- ja beetahajoamisen aikana tytärnuklidit ovat usein virittyneessä tilassa, minkä purkautuessa emittoituu yksi tai useampi gammakvantti, joka havaitaan gammasäteilynä. Gammasäteily on neutronisäteilyä vastaavalla tavalla erittäin läpätunkevaa ja se voi tunkeutua syvälle kehoon tai mennä suoraan sen läpi ilman vuorovaikutusta. (Pöllänen 2003, 15.)

3.2 Radioaktiivinen kontaminaatio

Ydinvoimalaitoksen reaktorissa syntyy radioaktiivista materiaalia erilaisten fission- ja aktivointituotteiden sekä aktinidien muodossa. Fissionituotteita syntyy fissionreaktioiden aikana polttoainesauvojen suojakuoren sisäpuolella, joissa normaalitytilanteessa myös pysyvät (Alm-Lytz ym. 2004, 146). Aktivointituotteita muodostuu materiaalin, kuten reaktorin rakenteiden, jäädytteen tai epäpuhtauksien aktivoituessa neutronisäteilyn vaikutuksesta. Radioaktiivisesta kontaminaatiosta puhuttaessa viitataan puolestaan yleisesti radioaktiiviseen aineeseen, jota esiintyy esimerkiksi pinnoilla tai ilmassa.

Kontaminaatio kulkeutuu reaktorista veden virtauksen mukana primääripiiriin ja sen järjestelmistä muualle laitoksen putkistoihin ja komponentteihin. Kontaminaatio tarttuu tavallisesti huonetiloissa komponenttien kuten venttiilien lisäksi putkistojen epäjatkuvuuskohtiin eli hitsisaumoihin, karheille pinnoille ja sellaisiin paikkoihin, joissa lämpötila ja virtausolosuhteet ovat suotuisat. (Kontio & Hirvelä 2022, 34.) Ydinvoimalaitoksen huonetiloissa aktiivisuutta sisältävät putkistot on yritetty johtaa siten, että kontaminaation ("crud") kertyminen tiettyihin kohtiin vältettäisiin mahdollisimman tehokkaasti (Alm-Lytz ym. 2014, 151).

Kontaminaatio jaetaan usein erikseen alfa- ja beetasäteilijöiden osalta. Loviisan voimalaitoksella ei ole viime vuosien aikana tapahtunut merkittäviä polttoainevuotoja, joten suuri osa laitoksen kontaminaatiosta koostuu aktivointituotteista, jotka ovat pääasiassa beeta- ja gammasäteilijöitä. Alfa- ja beetasäteilijöiden heikon läpäisykyvyn takia työntekijöiden saama säteilyannos koostuukin suurimmalta osin komponenttien läpi tunkeutuvasta gammasäteilystä.

Kontaminaatio pysyy normaalitytilanteissa järjestelmien sisäpuolella, mutta komponenttien avaamisen ja huoltotöiden yhteydessä sitä esiintyy vaihtelevissa työkohteissa. Kontaminaation esiintyessä työkohteeseen useimmiten rajataan radioaktiivisen aineen tahattoman leviämisen estämiseksi. Kontaminaatiolta suojautumiseen käytetään lisäksi aina ennalta määritettyjä suojarusteita, joiden päätarkoituksena on estää kontaminaation päätyminen iholle tai kehon sisälle.

3.3 Ionisoiva säteily ydinvoimalaitoksella

Ydinvoimalaitoksella työskenneltäessä säteilyä esiintyy käytännössä kolmessa eri muodossa: suorana säteilynä, pintakontaminaationa ja ilmakontaminaationa. Esiintymistapojen vaihtelevuuden takia myös säteilyltä suojautuminen vaihtelee työkohteen sekä tilanteen mukaan.

Laitoksen prosessitiloissa suoraksi säteilyksi eli ulkoiseksi säteilyksi kutsutaan säteilyä, joka säteilee umpilähteen sisältä sen ympäristöön. Säteily leviää huonetilaan putkistojen ja komponenttien läpi suoraviivaisesti ja siroamalla, joten säteilyaltistukselta välttyminen on usein hankalaa. Suora säteily on voimakainta säteilevän kohteen läheisyydessä, mutta heikkenee etäisyyttä otettaessa. Suorasta säteilystä puhuttaessa viitataan Loviisan voimalaitoksella käytännössä gammasäteilyyn, jolta suojautumiseen käytetään raskaita materiaaleja kuten esimerkiksi lyijyä. (Fortum Power and Heat Oy 2022b, 20.)

Pintakontaminaatiolla tarkoitetaan irtonaista radioaktiivista likaa, jota on kertynyt tai levinnyt luoksepäästäville pinnoille esimerkiksi radioaktiivisen järjestelmän komponentin avauksen yhteydessä. Radioaktiivisen lähteen aktiivisuutta kuvataan tapahtuvien hajoamisten lukumäärällä aikayksikköä kohden. Aktiivisuuden yksikkönä käytetään SI-järjestelmän mukaista becquereliä (Bq), joka kuvaa kuinka monta hajoamista ainemäärässä keskimäärin tapahtuu sekunnin aikana. Pinnoilla oleva aktiivisuus ilmoitetaan aktiivisuuskatteena, joka osoittaa aktiivisuuden määrän tiettyä pinta-alaa kohden. (Sandberg & Paltemaa 2002, 19.) Aktiivisuusmäärä esitetään tyypillisesti yksikössä Bq/cm², jolloin aktiivisuuden määrittäminen on tehty 100 cm² laajuiselta alueelta.

Ilmakontaminaatiolla viitataan puolestaan hengitysilmassa esiintyviin radioaktiivisiin kaasuihin sekä aerosoleihin eli hiukkasiin tai pisaroihin (Alm-Lytz ym. 2004, 147). Ilman aktiivisuuspitoisuusrajaa esitetään usein yksikössä DAC (Derived Air Concentration), joka tarkoittaa radionuklidikohtaista enimmäisarvoa aktiivisuuspitoisuudelle, jossa työntekijä voi työskennellä 2000 tuntia vuodessa ilman annosrajojen ylittämistä (STUK 2019b, 24).

4 TILOJEN LUOKITUSJÄRJESTELMÄN MÄÄRITTELY

Suomessa ydinvoimalaitosten toimintaa ohjaa lainsäädännössä määritetyt lait ja vaatimukset, joilla pyritään takaamaan turvallinen ja oikeutettu ydinsähkön tuotanto. Säteilylainsäädäntöön kuuluvina sitovina vaatimuksina pidetään säteilylakia, ydinenergialakia, sosiaali- ja terveysministeriön ja valtioneuvoston asetuksia sekä STUK:n määräyksiä (STUK 2023a). Voimalaitoksille on tehty lainsäädännön pohjilta edelleen tarkennettuja viranomaisohjeistoja, jotka ohjaavat yksityiskohtaisesti laitosten eri ryhmien toimintaa.

Ydinvoimalaitoksilla säteilysuojelun peruseriaatteina pidetään oikeutus-, yksilönsuoja- sekä optimointiperiaatteita. Oikeutusperiaatteen mukaan säteilyn käytöstä on oltava enemmän hyötyä kuin haittaa ja yksilönsuojaperiaatteen mukaan säteilytoiminnasta työntekijöille ja väestölle aiheutuva säteilyaltistus ei saa ylittää asetettua annosrajaa. Optimointi- eli ALARA-periaatteella tarkoitetaan puolestaan sitä, että säteilyaltistus on pidettävä niin pienenä kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista. (Säteilylaki 2018/859, 2. luku. 5–7. §.) ALARA-periaatteellinen toiminta on operatiivisessa säteilysuojelussa keskeisesti esillä, sillä ydinvoimalaitoksella säteilyä sisältävillä alueilla työskennellessä säteilysuojelulliset asiat tulee huomioida työn jokaisessa vaiheessa.

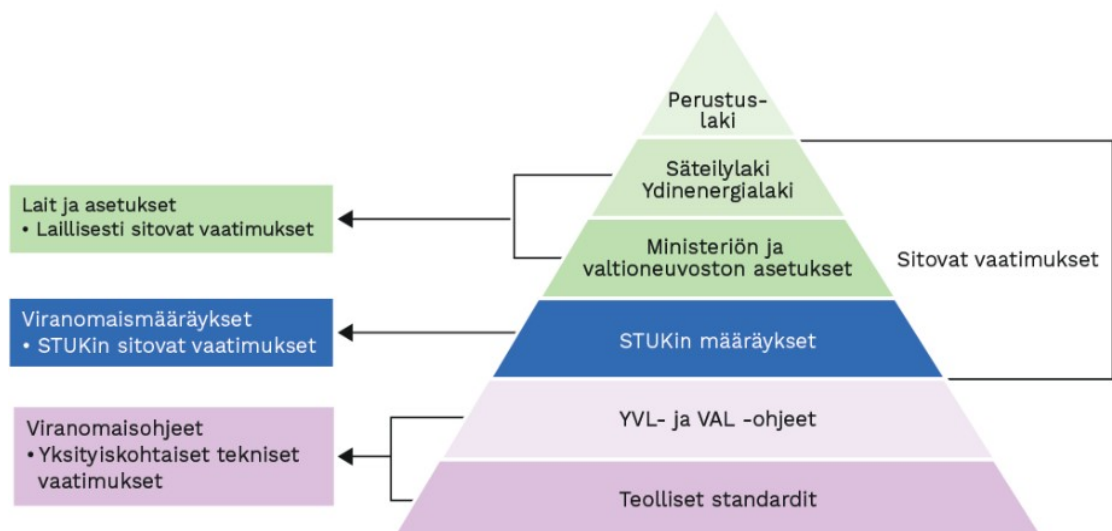
4.1 Lainsäädäntö

Ydinenergian yleistä käyttöä ohjaa ydinenergialaki (990/1987) sekä ydinenergia-asetus (161/1988). Ydinenergialaki toimii perustana ydinenergian käytölle ja määrittää yleiset periaatteet, joita kaikkien toiminnanharjoittajien on noudatettava. Ydinenergialain peruseriaatteena pidetään sitä, että ydinenergian käytön on oltava yhteiskunnan kokonaisedun mukaista ja turvallista sekä ihmisen että ympäristön kannalta (Ydinenergialaki 1987/990, 1. luku. 1. §).

Säteilyn käyttöä ohjaa säteilylaki (859/2018), valtioneuvoston asetus ionisoivasta säteilystä (1034/2018) sekä sosiaali- ja terveysministeriön asetus ionisoivasta säteilystä (1044/2018). Säteilylain tarkoituksena on suojella ihmisten terveyttä säteilyn aiheuttamilta haitoilta sekä ehkäistä ja vähentää säteilystä aiheutuvia ympäristöhaittoja ja muita haittoja. (Säteilylaki 1. luku. 1. §.)

Säteilylakia sovelletaan pääsääntöisesti kaikkeen säteilytoimintaan sekä tarvittaessa mahdollisesti vallitsevaan altistus- ja säteilyvaaratilanteeseen. Säännöksissä on otettu huomioon työperäisen altistuksen seurannan kautta muun muassa ydinvoimalaitosten työskentelyalueiden ja huonetilojen jaotteluun liittyvät perusteet sekä kyseisillä alueilla työskentelevien altistusolosuhteiden säännöllinen tarkkailu. Ministeriön ja valtioneuvoston asetusten tarkoituksena on tarkentaa säteilylakia ja siihen kuuluvia säännöksiä tarpeellisilta osin. Suomessa säteilylain noudattamista sekä säteilyn käyttöä valvoo Säteilyturvakeskus STUK.

STUK:n määräykset ovat säteilylain ja ydinenergiain nojalla annettuja viranomaismääräyksiä. Määräysten tarkoituksena on tarkentaa kyseisten lakien eri säännöksiä sosiaali- ja terveysministeriön ja valtioneuvoston asetuksia vastaavalla tavalla. STUK:n määrittelemiä viranomaisohjeita eli YVL- ja VAL-ohjeita sekä teollisia standardeja ei lasketa sitoviksi vaatimuksiksi, mutta ohjeita seuraamalla varmistetaan asianmukainen toiminta muun muassa ydinvoimalaitoksen yleisten turvallisuusvaatimusten osalta. Suomalaisten ydinvoimalaitosten toimintaa ohjaavien vaatimusten porrasteista järjestystä on havainnollistettu kuvassa 5.



Kuva 5. Ydinvoimalaitosten toimintaa ohjaavat vaatimukset (STUK 2023a)

4.2 Säteilyturvallisuusryhmän toiminta

Ydinvoimalaitoksen käytännön säteilysuojelutyöstä vastaa säteilyturvallisuusryhmä, jonka toimintaa ohjaa säteilylain ja STUK:n määräysten ohella ydinturvallisuuteen (YVL) ja valmiustoimintaan (VAL) liittyvät tarkentavat viranomaisohjeistukset. Säteilyturvallisuusryhmän toiminnan tavoitteena on varmistaa, että ydinvoimalaitoksen käytöstä voimalaitoksella työskenteleville, ympäristön ihmisille sekä ympäristölle aiheutuva säteilyaltistus pidetään niin alhaisena kuin se käytännöllisin toimenpitein on mahdollista (Kontio 2019, 4). Määritettyjen viranomaisohjeistuksien osalta säteilyturvallisuusryhmän toimintaa ohjaa erityisesti YVL C-sarjaan (Ydinlaitoksen ja ympäristön säteilyturvallisuus) kuuluvat ohjeet.

Ionisoivan säteilyn esiintymisen vuoksi ydinlaitosten säteilyolosuhteiden seurannan on oltava säännöllistä ja siihen liittyvät menettelyt tarkasti määriteltäviä. Ydinlaitosalueen vyöhykejaottelua sekä säteilyolosuhteellisen seurannan kriteereitä käsitellään yksityiskohtaisesti STUK:n ylläpitämässä YVL C.2 -ohjeessa, joka sisältää ydinlaitoksen työntekijöiden säteilysuojeluun sekä säteilyaltistuksen seurantaan liittyviä asiakokonaisuuksia. YVL C.2 -ohje sisältää useita tilojen luokitteluun olennaisesti kuuluvia peruseriaatteita liittyen muun muassa alueiden vyöhykejaon muodostumiseen sekä säteilyolosuhteiden seurannan laajuuteen ja säännöllisyyteen. Säteilyturvallisuusryhmä on velvollinen toteuttamaan voimalaitoksen säteilysuojelutoimintaa YVL-ohjeissa esitetyllä tavalla, mikäli toista Säteilyturvakeskuksen turvallisuusvaatimukset täyttävää menettelytapaa tai ratkaisua ei ole STUK:lle esitetty (STUK 2019b, 1–3).

Loviisan voimalaitoksella yleisiä säteilysuojelumenettelyjä käsitteleviä voimalaitoskohtaisia dokumentteja kutsutaan säteilysuojeluohjeiksi. Säteilysuojeluohjeet sisältävät kaikki tarpeelliset voimalaitoksen käytännön säteilytyötä ohjaavat menettelyt sekä määräykset. Alueiden ja huonetilojen jaotteluun liittyviä toimintaperiaatteita tarkennetaan säteilysuojeluohjeistoon kuuluvassa "Tilojen luokittelu ja säteilyolosuhteiden seuranta" -ohjeessa. Ohjeessa on määritetty voimalaitosalueella käytössä oleva säteilyolosuhteiden mukainen vyöhykejako, huoneluokituskyttien käyttö sekä huonetilojen säteilymittaustietojen keräys- ja arkistointimenettelyt (Salminen 2021, 1).

4.3 Työskentelyalueiden jaottelu

YVL C.2 -ohjeen mukaan "*ydinlaitosalueella on tehtävä järjestelmällisesti annosnopeusmittauksia sekä ilman radionuklidipitoisuuden ja pintakontaminaation (aktiivisuuskate) määrityksiä*" (STUK 2019b, 9). Voimalaitoksella työskentelyalueet jaetaan säteilymittaustulosten perusteella valvonta-alueisiin, tarkkailualueisiin sekä luokittelemattomiin alueisiin. Työskentelyalueiden jaottelu perustuu arvioon aiheutuvasta tai potentiaalisesti aiheutuvasta säteilyaltistuksesta, minkä takia alueille pääsyä on rajoitettava tarpeellisin järjestelyin (Säteilylaki 12. luku. 91. § mom. 1). Luokittelukriteereissä on huomioitu alueella työskentelystä mahdollisesti saatava efektiivinen säteilyannos, kehonosien ekvivalenttiannokset, ydinlaitosperäisten radionuklidien aiheuttama sisäinen säteilyannos sekä ulkoisen säteilyannosnopeuden suuruus.

Ekvivalenttiannoksella tarkoitetaan kudokseen tai elimeen absorboituneen säteilyannoksen sekä säteilyn painotuskertoimen tuloa. Efektiivisellä säteilyannoksella kuvataan säteilyn aiheuttamaa kokonaishaittaa ja sen laskeminen pohjautuu kudosten painotuskertoimilla kerrottujen ekvivalenttiannosten summaamiseen. (Marttila 2002, 82.) Efektiivisen säteilyannoksen yksikkönä käytetään SI-järjestelmään kuuluvaa sievertiä (Sv), mutta yksikön suuruuden takia säteilyannoksen suuruutta kuvataan usein tuhannesosa-yksikössä millisievert (mSv). Työskentelyalueilla vallitsevan säteilytason suuruutta kuvataan puolestaan säteilyannosnopeuden avulla, mikä ilmaisee kuinka suuren säteilyannoksen työntekijä saa tiettyssä ajassa. (STUK 2023b.) Ydinvoimalaitoksilla annosnopeuden vakiintuneena yksikkönä käytetään pääasiassa millisievertiä tunnissa eli mSv/h.

Tarkkailu- ja valvonta-alueet

Tarkkailualueiksi määritellään ne alueet, joissa säännöllisestä työskentelystä henkilön saama efektiivinen annos voi ylittää 1 mSv, silmän ekvivalenttiannos 15 mSv tai käsien, jalkojen tai ihon ekvivalenttiannos 50 mSv vuoden aikana. Valvonta-alueen ulkopuolella sijaitsevat tilat, joissa pintakontaminaation leviämiseen on suuremmat edellytykset, voidaan perustellusti myös luokitella

tarkkailualueeksi. Tarkkailualueella työoloja on seurattava aktiivisesti ja työntekijöiden annostarkkailua järjestettävä tarpeen mukaan. (STUK 2019b, 10; Salminen 2021, 4–5.)

Valvonta-alueeksi luokitellaan vähintään ne tilat, joissa ulkoinen säteilyannosnopeus voi ylittää arvon 3 $\mu\text{Sv/h}$ tai joissa 40 tunnin viikoittaisesta oleskelusta voi ydinlaitosperäisistä radionuklideista aiheutua yli 1 mSv:n sisäinen säteilyannos vuoden aikana. Valvonta-alueella työskentelevillä henkilöillä on velvollisuus noudattaa ennalta määritettyjä menettelyitä, joiden tavoitteena on suojata työntekijöitä ionisoivan säteilyn vaikutuksilta ja estää radioaktiivisten aineiden mahdollinen leviäminen alueen ulkopuolelle. (STUK 2019b, 10.)

Suomen ydinlaitosten alueellisten luokittelukriteerien raja-arvot on ensimmäisen kerran kirjallisesti määritelty vuonna 1981, jolloin entisen Säteilyturvallisuukslaitoksen ydinvoimalaitosten hallinnolliseen säteilysuojeluun liittyvä YVL 7.9 -ohje julkaistiin. Valvonta-alueen luokittelukriteereissä vuosikymmenien aikana tapahtuneita muutoksia on demonstroitu taulukossa 1.

Taulukko 1. YVL-ohjeissa määritettyjen luokittelukriteerien kehittyminen (Säteilyturvallisuukslaitos 1981, 3; STUK 1992, 5; STUK 2009, 6–7; STUK 2019b, 10, 22)

Alue	Luokittelukriteerit
Valvonta-alue (1981)	<ul style="list-style-type: none"> - Ulkoinen säteilyannosnopeus saattaa ylittää arvon 7,5 $\mu\text{Sv/h}$ - 40 tunnin viikoittaisesta oleskelusta voi mittausvuonna koitua sisäinen säteilyannos, joka ylittää yhden kahdeskymmenesosan henkilökohtaisten vuosiannosrajojen osoittamista annoksista
Valvonta-alue (1993)	<ul style="list-style-type: none"> - Ulkoinen säteilyannosnopeus saattaa ylittää arvon 2,5 $\mu\text{Sv/h}$ - 40 tunnin viikoittaisesta oleskelusta voi aiheutua >1 mSv sisäinen säteilyannos vuodessa
Valvonta-alue (2019)	<ul style="list-style-type: none"> - Efektivinen annos alueella voi ylittää 6 mSv / vuosi - Silmän mykiön ekvivalenttiannos voi ylittää 45 mSv / vuosi - Käsien, jalkojen tai ihon ekvivalenttiannos voi ylittää 150 mSv / vuosi - Ulkoinen säteilyannosnopeus saattaa ylittää arvon 3 $\mu\text{Sv/h}$ - 40 tunnin viikoittaisesta oleskelusta voi ydinlaitosperäisistä radionuklideista aiheutua > 1 mSv:n sisäinen säteilyannos vuodessa
Tarkkailualue (2019)	<ul style="list-style-type: none"> - Efektivinen annos alueella voi ylittää 1 mSv / vuosi - Silmän mykiön ekvivalenttiannos voi ylittää 15 mSv / vuosi - Käsien, jalkojen tai ihon ekvivalenttiannos voi ylittää 50 mSv / vuosi

4.3.1 Loviisan voimalaitoksen valvonta-alueen vyöhykejako

Ydinvoimalaitosten valvonta-alueilla huonetilat jaotellaan eri vyöhykkeisiin riippuen niissä vallitsevista säteilyolosuhteista. Huoneluokitusten tarkoituksena on rajoittaa suora kulku sellaisille alueille, joissa alimman vyöhykkeen ennalta määritetyt raja-arvot saattavat ylittyä. Suomen ydinlaitosten vyöhykejako perustuu YVL C.2 -ohjeeseen, jossa ulkoisen annosnopeuden, pintakontaminaation (aktiivisuuskate) ja ilmakonsentraation (DAC) raja-arvot on määritetty erikseen eri vyöhykkeiden osalta. Ydinlaitoksilla käytössä oleva vyöhykejako ei koske radonia. (STUK 2019b, 9–10.)

Loviisan voimalaitoksella valvonta-alueen vyöhykejako on muodostettu YVL C.2 -ohjeen kohdan 511 mukaan jakamalla huonetilat ja alueet kolmeen eri vyöhykkeeseen. Koska huonetiloissa ei normaalitilanteissa lähtökohtaisesti esiinny pinta- tai ilmakontaminaatiota, tehdään vyöhykejaon mukainen huoneluokittelu muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta oleskeltavan alueen keskimääräisen säteilyannosnopeuden eli säteilyn yleistason perusteella (Salminen 2021, 6).

Valvonta-alueen eri vyöhykkeillä vallitsevia säteilyolosuhteita havainnollistetaan liikennevalojen mukaisilla väreillä: vihreällä, oranssilla sekä punaisella. Voimalaitoksen tarkkailualueiden luokitusta esitetään lisäksi sinisellä värillä. Taulukosta 2 voidaan tarkastella voimalaitoksen vyöhykejaottelua sekä luokitusten raja-arvoja, jotka ovat identtiset YVL C.2 -ohjeessa määritettyjen raja-arvojen kanssa.

Taulukko 2. Valvonta-alueen vyöhykejako Loviisan voimalaitoksella (Salminen 2021, 7)

Suure (yksikkö)		VIHREÄ	ORANSSI	PUNAINEN
Annosnopeus (mSv/h)		→	0,025 →	1,00 →
Ilmakontaminaatio (DAC)		→	0,3 →	30 →
Pintakontaminaatio (Bq/cm ²)	β/γ-sät.	→	4,0 →	40 →
	α-sät.	→	0,4 →	4 →

Vihreäksi luokiteltu alue tai huonetila ei normaalitilanteissa sisällä merkittäviä säteilyturvallisuuteen liittyviä kulkurajoituksia. Voimalaitoksen hyvän rakennusteknisen suunnittelun ansiosta valvonta-alueen huonetiloista suurin osa on säteilyolosuhteiltaan vihreäksi luokiteltuja tiloja. Mikäli jokin taulukossa 2 näkyvistä vihreän luokituksen rajaehdoista kuitenkin ylittyy, luokitellaan huonetila säteilyolosuhteiltaan oranssiksi. Oranssiksi luokitelluissa huonetiloissa vallitsevat säteilyolosuhteet saattavat aiheuttaa erillisiä kulku- tai työskentelyrajoituksia, jotka on huomioitava työnteon yhteydessä.

Säteilyolosuhteiltaan punaiseksi luokitellaan sellainen huonetila, jossa jokin oranssin luokituksen ehdoista ylittyy. Punainen huoneluokitus on Loviisan voimalaitoksella säteilysuojelullisesti korkein luokitus. Punaiseksi luokitellussa tilassa käynti tai työtehtävän tekeminen vaatii säteilyturvallisuusryhmään kuuluvan työntekijän myöntämän luvan ja mahdollisesti jatkuvan läsnäolon. Tarvitavat säteilymittaukset tehdään pääsääntöisesti aina punaiseksi luokiteltuun huonetilaan menemisen yhteydessä. (Salminen 2021, 7.)

Loviisan voimalaitoksella myös erittäin korkeita annosnopeuksia sisältävät huonetilat luokitellaan samalla tavalla kuin kaikki muutkin punaiseksi luokitellut huonetilat, sillä luokituksella ei ole määritettyä yläraja-arvoa. Erittäin korkeita annosnopeuksia esiintyy tehoajon aikana laitosyksiköiden höyrystintiloissa sekä reaktoripaineastian alapuolisissa tarkastustiloissa, joihin pääsy on rajoitettu vain laitosyksiköiden vuosihuoltojen ajaksi.

Valvonta-alueella säteilysuojelulliset kulku- ja työskentelyrajoitukset hoidetaan lukitsemalla kulku huonetiloihin, joissa vyöhykejaon alimman eli vihreän luokituksen maksimiarvot ylittyvät huonetilan yleistason osalta. Rajoitukset pohjautuvat YVL C.2 -ohjeen kohdan 515 määräykseen, jonka mukaan huonetila täytyy olla lukittu tai valvottu, jos siellä vallitseva annosnopeus voi ylittää 0,025 mSv/h (STUK 2019b, 11). Loviisan voimalaitoksella huonetilojen säteilyolosuhteiden mukaisessa lukitsemisessa hyödynnetään eri lukituskategorioita riippuen huonetilan annosnopeuden yleistasosta. Säteilysuojelullisia lukituskategorioita on voimalaitoksella tällä hetkellä käytössä kaksi, joista yksi on tarkoitettu oranssiksi luokitelluille ja toinen punaisiksi luokitelluille huonetiloille.

4.3.2 Säteilyvaaran merkitseminen

Valvonta-alueen huonetiloissa vallitsevat säteilyolosuhteet merkitään ja tuodaan esille erilaisten huoneluokitus- ja säteilyvaarakylttien avulla. Koska säteilyolosuhteet saattavat paikallisesti ylittää kyseisen huoneluokituksen yläraja-arvon, tulee erilliset kriteerit täyttävät säteilevät kohteet merkitä säteilyvaarakylteillä sekä rajata tarpeen mukaan (Salminen 2021, 7).

Huoneluokituskyltit sisältävät tiedot huonetilan oleskelurajoituksista sekä annosnopeusrajoista yleistason osalta. Loviisan voimalaitoksella yleistaso on määritetty olevan huonetilan keskimääräinen säteilyannosnopeus, mutta käytännössä yleistason määrittäminen pohjautuu huonetilasta saatavan säteilyannoksen suuruuden arviointiin. Mittausarvon määrittämisessä keskitytään tilojen todennäköisimmissä työskentely- ja oleskelukohteissa vallitseviin annosnopeusarvoihin.

Valvonta- ja tarkkailualueilla muoviset A4-kokoiset huoneluokituskyltit kiinnitetään huonetilojen sisäänkäynnin ulkopuolelle siten, että huoneluokitus käy selkeästi ilmi ennen huonetilaan kulkua (Salminen 2021, 12). Huoneluokituskylttejä käytetään myös huonetilojen sisäpuolella, jos kyseessä on monikerroksinen tai laaja tila. Loviisan voimalaitoksella käytössä olevia huoneluokituskylttejä voidaan tarkastella kuvasta 6.

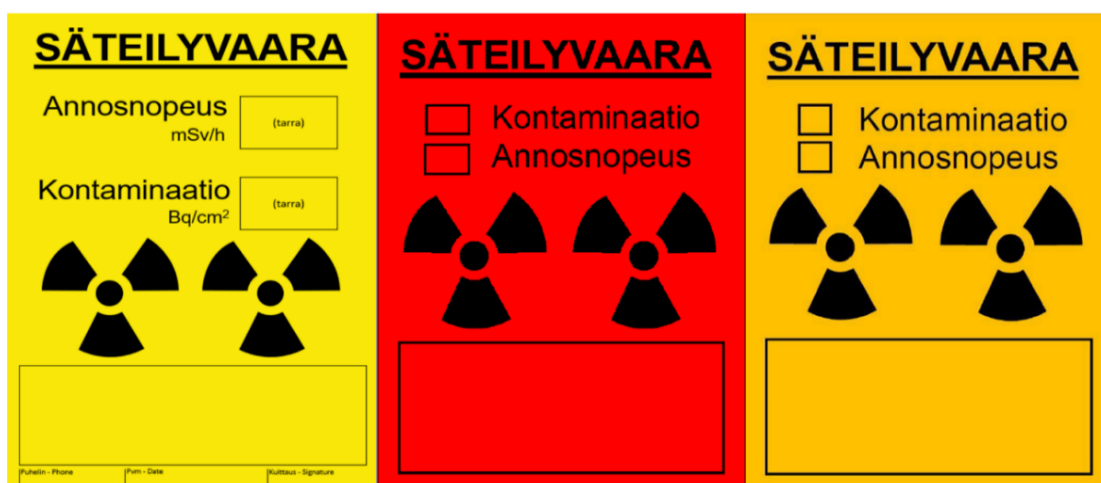


Kuva 6. Loviisan voimalaitoksen huoneluokituskyltit (Salminen 2021)

Prosessitiloissa vallitsevien säteilytasojen äkillistä vaihtelevuutta pyritään tuomaan työntekijöiden tietoon säteilyvaarakylttien avulla. Säteilyvaarakyltit on usein kiinnitetty suoraan säteileviin kohteisiin tai niiden viereen, jotta työntekijä pystyy reagoimaan poikkeaviin säteilylähteisiin jo etukäteen. Huonetilan annosnopeuden yleistason verrattuna merkittävästi enemmän säteileviä kohteita kutsutaan kuumiksi pisteiksi.

Säteilyvaarakyltteihin merkataan tiedot kohteen vaaratekijästä (annosnopeus, ilma- tai pintakontaminaatio), mittauksen suorittajasta sekä mittausajankohdasta (Salminen 2021, 12). Suoran säteilyn merkitsemisessä kylteissä ilmoitetaan tyypillisesti tiedot komponentin pinnasta mitatun annosnopeuden eli kontaktiannosnopeuden sekä voimalaitoksella määritetyn työskentelyetäisyyden eli yhden metrin etäisyyden osalta.

Loviisan voimalaitoksella käytettyjä säteilyvaarakylttejä on esitetty kuvassa 7. Keltaiseen säteilyvaarakylttiin kiinnitetään tyypillisesti vyöhykejaon väriytyksen mukaisia pieniä tarroja, jotka auttavat havainnollistamaan oranssin ja punaisen säteilyvaarakyltin tapaan säteilyvaaran suuruutta tietyllä kohteella. Kuvassa näkyvien säteilyvaarakylttien lisäksi säteilyolosuhteiden esittämisessä hyödynnetään muun muassa hot spot -kylttiä sekä matalan annosnopeuden huomiokylttiä. Matalan säteilytason osoittavaa kylttiä voidaan hyödyntää esimerkiksi huonetiloissa, joissa säteilytasot vaihtelevat merkittävästi tilan sisällä työkohteesta riippuen.



Kuva 7. Prosessitiloissa käytettävät säteilyvaarakyltit (Salminen 2021)

Huonetiloissa kiinteisiin prosessijärjestelmiin kiinnitetyt säteilyvaarakyltit päivitetään tai vaihdetaan säännöllisesti uusiin, jotta niissä näkyvät säteilyolosuhtediedot pysyvät ajantasaisina ja selkeinä. Kiinteään prosessiin kiinnitettävien säteilyvaarakylttien lisäksi kylttejä hyödynnetään jatkuvasti myös irtonaisten radioaktiivisten tavaroiden merkitsemisessä.

Valvonta-alueella prosessitilojen kiinteät radioaktiiviset komponentit ja putkistot pysyvät vuodesta toiseen enemmän tai vähemmän säteilevinä sekä niissä esiintyvä aktiivisuus usein samoissa paikoissa. Kohteita, joissa aktiivisuus pysyy tyypillisesti paikoillaan, ovat esimerkiksi isot säiliöt, lämmönvaihtimet, jäähdyttimet sekä erilaiset venttiilikokonaisuudet. Säännöllisen päivitettävyyden kannalta voimalaitoksella tällä hetkellä käytössä olevat pahviset säteilyvaarakyltit eivät täten välttämättä ole optimaalisin vaihtoehto käytettäväksi esimerkiksi kohteissa, joissa aktiivisuus pysyy pääasiassa paikoillaan.

Säteilevät kohteet merkitään ja tarvittaessa rajataan annosnopeuksien osalta silloin, kun jokin taulukossa 3 näkyvistä vähimmäisraja-arvoista ylittyy. Rajauksia tehdään vähintään niissä kohteissa, joissa työskentelyetäisyyden annosnopeus ylittää huonetilan luokitukselle määritetyn yläraja-arvon. Säteilysuojelliset rajaukset tehdään aina säteilyvaaramerkityillä kulkuesteillä kuten esimerkiksi tolzilla tai nauhoilla.

Taulukko 3. Säteilyvaaramerkintöjen ja -rajausten vaatimukset (Salminen 2021, 7)

Huonetilan luokitus	Kohteet jotka on merkittävä (kontakti-annosnopeus)	Rajattavat kohteet (työskentelyetäisyyden annosnopeus, 1 m etäisyydellä)
Vihreä	> 25 $\mu\text{Sv/h}$	> 25 $\mu\text{Sv/h}$
Oranssi	> 1 mSv/h	> 1 mSv/h
Höyrystintila (vuosihuolto)	> 5 mSv/h	> 1 mSv/h

Loviisan voimalaitoksella korkeiden annosnopeuksien aiheuttamia säteilysuojellisia rajauksia tehdään käyntijaksojen aikana kokonaiskuvaan verrattuna suhteellisen harvoin. Vuosihuoltojen aikana korkeita annosnopeuksia sisältäviä sekä annosnopeuskriteerit täyttäviä alueita löytyy sen sijaan useampiakin esimerkiksi laitosyksiköiden reaktorihallien höyrystintiloista.

5 SÄTEILYOLOSUHTEIDEN SEURANTA

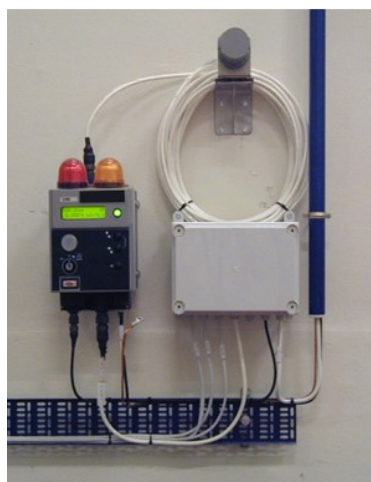
Ydinlaitoksessa täytyy olla kiinteästi asennettuja säteilymittausjärjestelmiä huonetilojen, prosessien, ydinjätteen sekä päästöjen ja ympäristön säteilyn valvontaa varten (STUK 2019a, 3). Kiinteästi asennettujen säteilymittausjärjestelmien kokonaisuutta täydennetään erilaisilla kannettavilla säteilymittauslaitteilla sekä henkilö- ja annosmittauslaitteilla (Salminen 2021, 14). Säteilyolosuhteiden säännöllistä seurantaan toteutetaan ydinvoimalaitoksilla kattavien säteilymittausjärjestelmien lisäksi erillisten säteilymittauskierrosten kautta.

5.1 Kiinteät ja kannettavat säteilymittauslaitteet

Kiinteät säteilymittausjärjestelmät sijaitsevat jaoteltuna valvonta-alueen tiloihin, joissa liikutaan ja työskennellään aktiivisesti. Kiinteillä säteilymittauksilla seurataan huonetiloissa vallitsevia annosnopeuksia, hengitysilman radioaktiivisuutta sekä prosessiaktiivisuutta eli veden ja höyryn radioaktiivisuutta.

Kiinteiden säteilymittausjärjestelmien fyysinen jaottelu eri rakennuksiin on merkittävästi riippuvainen mittauksen käyttötarkoituksesta ja seurattavien prosessijärjestelmien sijainneista. Säteilymittausjärjestelmät aiheuttavat hälytyksiä paikallisesti, prosessitietokoneella sekä päävalvomossa silloin, kun mittauksille asetetut varoitus- tai hälytysrajat ylittyvät. Mittausjärjestelmistä saataava säteilymittausdataa ja monitorien yleistä toimintaa seuraa voimalaitoksen säteilyturvallisuusryhmä sekä päävalvomon työntekijät. (Salminen 2021, 13.)

Annosnopeusmonitori



Ilma-aktiivisuusmonitori

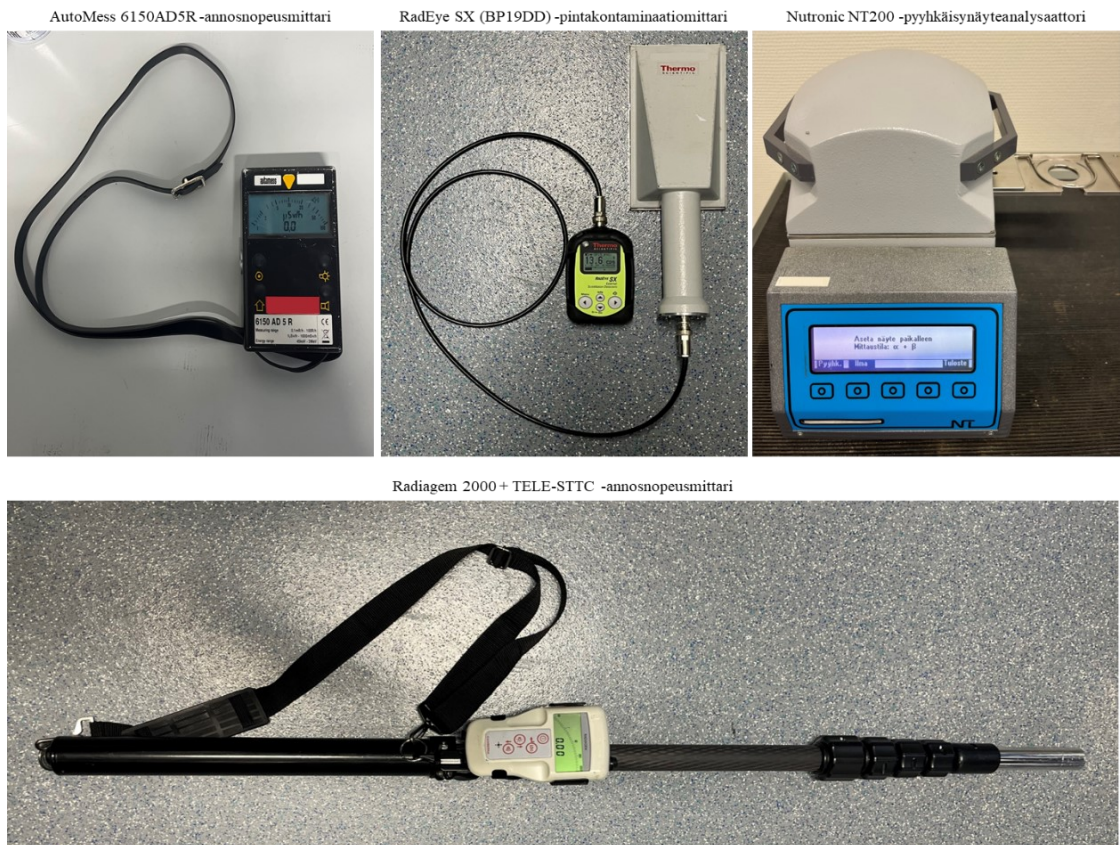


Vesiaktiivisuusmonitori



Kuva 8. Kiinteät säteilymittausjärjestelmät (mukaillen Fortum Power and Heat Oy 2004, 8–26)

Kannettaviksi säteilymittauslaitteiksi lukeutuvat puolestaan erilaiset gamma- ja neutroniannosnopeuksien mittaamisessa käytettävät annosnopeusmittarit sekä kontaminaation määrittämisessä käytettävät kontaminaatiomittalaitteet (Salminen 2021, 14). Oikean säteilymittauslaitteen valinta riippuu aina mitattavasta kohteesta, säteilyn esiintymistavasta sekä säteilyn energiasta. Loviisan voimalaitoksella alfa- sekä beetasäteilyn mittaamisessa käytetään säteilymittauslaitteita, joissa on tukeilmaisain tai Geiger-Müller-putki (GM). Gammasäteilyn mittaamisessa käytetään pääasiassa GM-putkellisia annosnopeusmittareita. Loviisan voimalaitoksella käytössä olevia säteilymittauslaitteita on esitetty kuvissa 8 ja 9.



Kuva 9. Kannettavia säteilymittauslaitteita ja pyyhkäisynäyteanalyysointilaitteisto

Säteilyolosuhteiden seuranta painottuu kiinteästi asennetuista mittausjärjestelmistä saadun reaaliaikaisen mittausdatan lisäksi merkittävästi kannettavilla säteilymittareilla saatuihin arvoihin, sillä kiinteät mittausjärjestelmät eivät anna riittävän kokonaisvaltaista kuvaa huonetilassa vallitsevista säteilyolosuhteista tai niiden paikoittaisesta vaihtelusta. Säteilymittauksia sekä mittauskierroksia tehdään täten jatkuvasti, jotta huonetiloissa tapahtuvat säteilyolosuhteiden muutokset varmasti huomataan ja merkitään asianmukaisella tavalla.

5.2 Valvonta-alueen ja tarkkailualueiden huoneluokituskierrokset

Huoneluokituskierrokset pitävät sisällään lähtökohtaisesti kaikkien voimalaitoksen luoksepäästävien valvonta- ja tarkkailualueiden huonetilojen säteilyolosuhteiden tarkastamisen ja dokumentoinnin. Säännöllisesti tehtävien mittauskierrosten kautta varmistutaan, että valvonta- ja tarkkailualueiden huonetilojen säteilyolosuhteissa ei ole tapahtunut työntekijöiden säteilyturvallisuuksiin vaarantavia muutoksia edellisen mittausajankohdan jälkeen (Salminen 2021, 8).

Ydinlaitoksilla on ylläpidettävä relevanttia tietoa huonetilojen vyöhykejaosta sekä säteilyolosuhteista riippumatta laitoksen käyttötilasta, minkä vuoksi huoneluokituskierroksia toteutetaan sekä voimalaitoksen käyntijaksojen että vuosihuoltojen aikana (STUK 2019b, 9). Valvonta-alueen luoksepäästävät huoneetilat luokitellaan tällä hetkellä voimalaitoksen yhden käyntijakson aikana kahden erillisen mittausajankohdan kautta. Vuosihuoltojen aikana säteilyolosuhteet tarkastetaan puolestaan ainoastaan laitosisyksiköiden reaktorirakennuksiin kuuluvien huonetilojen osalta. Tarkkailualueiden varmennusmittaukset tehdään valvonta-alueen kierroksia vastaavalla syklillä puolivuositain. Säännöllisesti tehtävien säteilymittauskierrosten lisäksi säteilyvalvojat tekevät tarvittaessa huonetilan tai työkohteen säteilytasojen mittaukset työryhmän kanssa ennen töiden aloittamista. (Salminen 2021, 8–10.)

5.3 Kuumien pisteiden mittaukset

Kuumalla pisteellä tarkoitetaan pistemäistä kohdetta, jonka annosnopeus on merkittävästi suurempi kuin huonetilassa tai alueella keskimääräisesti. Voimalaitoksen valvonta-alueen prosessitiloissa säteilevät kohteet sijaitsevat tyypillisesti kiinteissä putkilinjoissa tai prosessikomponenteissa, mutta näiden lisäksi myös huonetiloissa olevat irtonaiset säteilevät komponentit voivat yhtä lailla lukeutua kuumiksi pisteiksi.

Kuumien pisteiden seurannan päätavoitteena on minimoida työntekijöiden prosessitiloissa saama säteilyaltistus kehittämällä ratkaisuja aktiivisten kohteiden siirtämiseksi tai niiden suojaamiseksi. Kuumien pisteiden etsintää ja mittauksia tehdään pääasiassa säännöllisten huoneluokituskierrosten yhteydessä

eikä erillisiä mittauskierroksia aktiivisuuksien kehittymisen seurannan kannalta toteuteta. Havaittujen kuumien pisteiden aktiivisuuksien pitkäaikaisempaa kehittymistä seurataan tarvittaessa erikseen tehtyjen satunnaismittausten kautta.

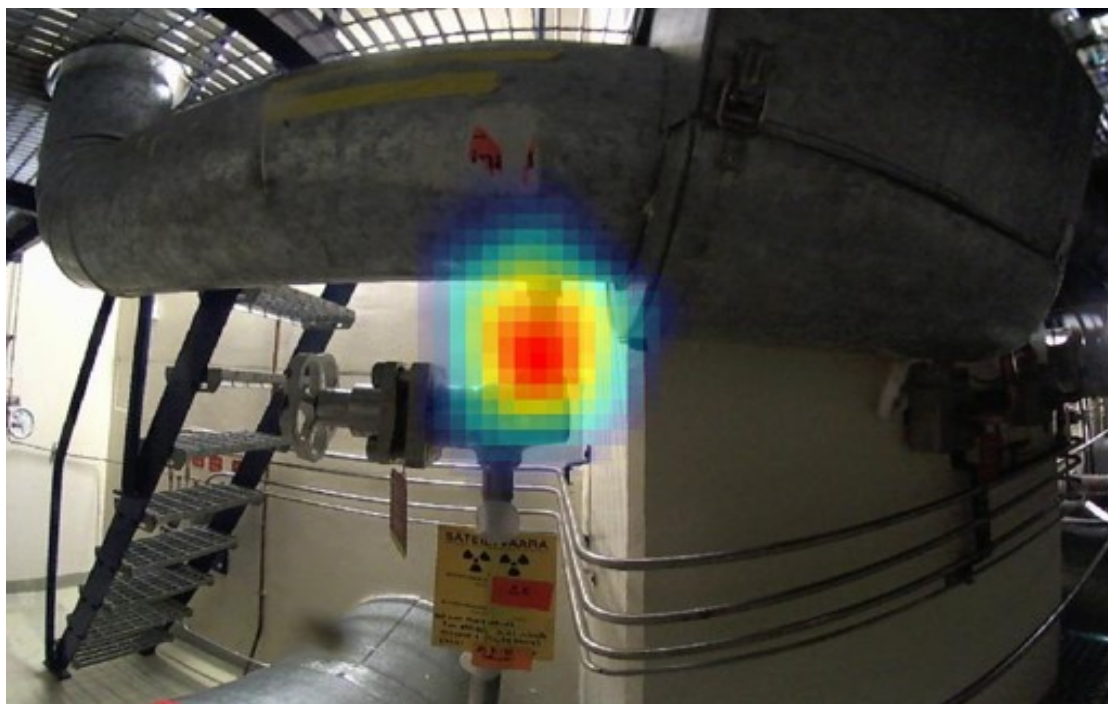
Loviisan voimalaitoksen huonetiloissa voidaan sanoa esiintyvän sekä kuumia pisteitä että niin sanottuja hot spot -kohteita. Säteilyn yleistasoon verrattuna selvästi enemmän säteilevää kohdetta kutsutaan kuumaksi pisteeksi, mutta mikäli alla näkyvät kaksi kriteeriä täyttyvät, on kyseessä hot spot -kohde.

1. Kontaktiannosnopeus ≥ 1 mSv/h vihreissä huonetiloissa ja ≥ 5 mSv/h oransseissa huonetiloissa.

2. Kontaktiannosnopeus on vähintään viisinkertainen verrattuna annosnopeuteen 30 cm päästä.

Voimalaitoksella vuoden 2018 lopussa käyttöön otettu hot spot -määritelmä pohjautuu Yhdysvaltojen Department of Energy:n (DOE) ohjeistoon ja standardeihin. DOE:n alkuperäisen määritelmän mukaan kaikki kohteet, joiden kontaktiannosnopeus on ≥ 1 mSv/h ja vähintään viisi kertaa suurempi kuin alueen yleinen annosnopeus, lukeutuvat hot spot -kohteiksi (U.S. Department of Energy 2017, 2–14). DOE:n hot spot -määritelmä poikkeaa siis osittain merkittäväällä tavalla Loviisan voimalaitoksella käytössä olevasta määritelmästä. World Association of Nuclear Operators (WANO) puoltaa säteilysuojellista ohjeistusta käsittelevässä julkaisussaan nimenomaan DOE:n kriteerien mukaan kuumien pisteiden tunnistamista ja merkitsemistä (WANO 2012, 40).

Hot spot -kohteet merkitään prosessitiloissa tavallisella säteilyvaarakyltillä tai hot spot -kyltillä. Merkinnöistä tulee käydä annosnopeusarvojen lisäksi ilmi pisteen huonetilakohtainen juokseva numerointi sekä sijainti käyttöpaikkatunnuksen avulla. Mittaajan tulee myös dokumentoida kohteesta saadut mittaus-tiedot erilliseen seurantatyökaluun pitkän ajan seuranta varten. Hot spot -kohteista tehdään mahdollisuuksien mukaan aina gammaspektrometriset kuvaukset, joilla saadaan määritettyä kohteella dominoivat nuklidit. (Salminen 2021, 10.) Kuvassa 10 nähdään hot spot -kohteesta otettu gammakamera-kuva, jossa dominoivana nuklidina on ^{110m}Ag .



Kuva 10. Venttiin yläosaan muodostunut hot spot -kohde (Ylisirniö 2022, 5)

Loviisan voimalaitoksella toimii useiden eri ryhmien henkilöistä koostuva hot spot -kohteita seuraava työryhmä, joka pyrkii aktiivisesti seuraamaan säteilevien kohteiden kehittymistä eri prosessijärjestelmiin. Ryhmän toiminnan tarkoituksena on systemaattisesti käsitellä mittauskierroksilta saatua mittausdataa, ja pohtia säteilyolosuhteiden muutoksiin vaikuttaneita syitä sekä mahdollisten jatkotoimenpiteiden, kuten prosessilinjoiden ylimääräisten huuhteluiden toteuttavuutta. (Ylisirniö 2020, 2–3.)

Merkittävästi säteilevien kohteiden siirtyminen huuhtelun tai prosessin käytön seurauksena muualle kulkureittien ja yleisten työkohteiden vierestä on toivottavaa, sillä se vähentää työntekijöille aiheutuvaa säteilyaltistusta pitkällä aikavälillä. Voimalaitoksella kaikkien merkittävien kuumien pisteiden yleistä seuranta tai huuhteluita ei tällä hetkellä kuitenkaan toteuteta, vaan toiminnassa keskitytään ainoastaan hot spot -määritelmän täyttävien kohteiden käsittelyyn.

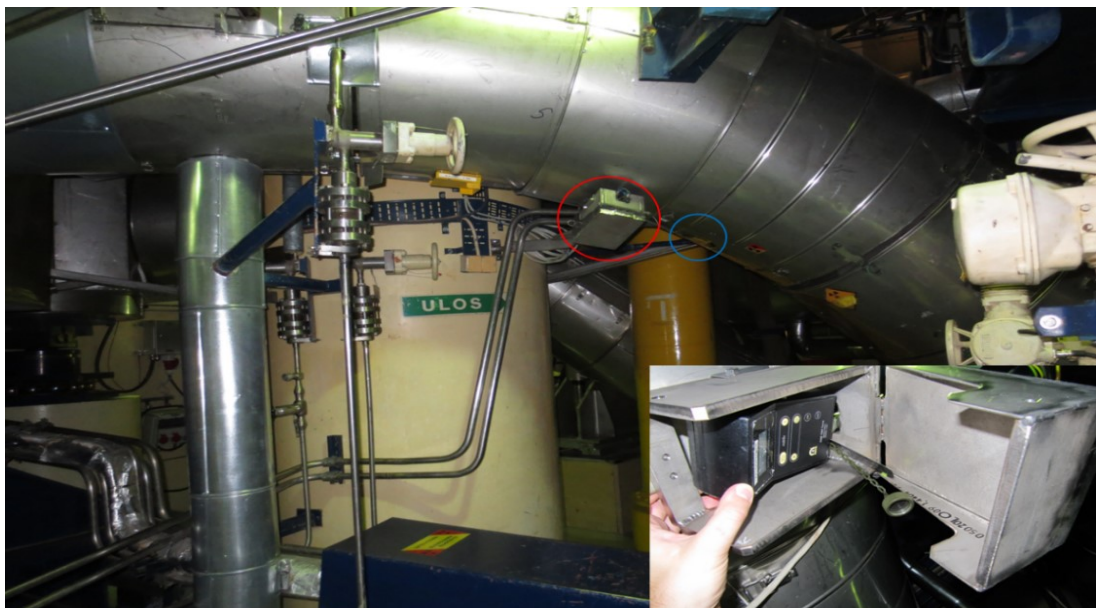
5.4 Primääripiirien säteilymittaukset

Laitosyksiköiden höyrystintilojen ja primääripiirien säteilytasojen seuranta tehdään vuosihuoltojen aikana, kun tilat avataan reaktorien sammuttamisen

jälkeen huoltotöitä varten. Höyrystintiloja ei luokitella tiloissa vallitsevien korkeiden säteilytasojen takia tyypilliseen huoneluokituskierröksen tapaan, vaan huonetilojen sekä prosessin säteilytasojen kehittymistä seurataan jatkuvatoimisilla mittausjärjestelmillä, erilaisilla standardimittauksilla sekä huoltotöiden aikana tehtävillä käsimittauksilla.

Annosnopeuksia mittaava mittausjärjestelmä sijoitetaan vuosihuoltojen alussa primääripiirin kiertopiirien eli looppien sekä primääriveden puhdistusjärjestelmien pinnoille 14 eri mittapisteeseen. Mittareiden toimintaa ja niiltä saatua mitausdataa voidaan seurata kiinteitä säteilymittausjärjestelmiä vastaavalla tavalla reaaliajassa laitoksen prosessitietokoneilta. Järjestelmästä saatua mitausdataa hyödynnetään muun muassa primääripiirin puhdistuskiertojen tehokkuuden seurannassa ja kontrolloinnissa. Primääriputkistoille tehdään mittausjärjestelmästä kerätyn datan täydennykseksi vuosittaisia vertailumittauksia kannettavalla annosnopeusmittarilla 36 tunnin, 48 tunnin ja 72 tunnin ajankohdissa reaktorin alikriittisyyden jälkeen. (Salminen 2021, 10.)

Kuva 11 havainnollistaa primääriputkiston yhteen haaraan asennettavan säteilymittarin fyysistä sijaintia. Kuvassa punaisella ympyröitynä on säteilymittarin suojakotelo, jonka sisäpuoli nähdään suurennettuna kuvan oikeasta alareunasta. Sinisellä ympyröitynä nähdään puolestaan mittapiste 36 tuntia reaktorin alikriittisyyden jälkeen tehtävälle vertailumittaukselle.



Kuva 11. Primääriputken annosnopeusmittaus höyrystintilassa (Säteilyturvallisuusryhmä 2010; Säteilyturvallisuusryhmä 2014)

Primääripiirien säteilytasojen kehittymistä seurataan vuosihuollon ajaksi asennettavan kiinteän mittausjärjestelmän lisäksi myös vuosittain toteutettavien MARC-mittausten (Measurements and Analysis of Reactor Circuit Contamination) avulla. Mittauksilla monitoroidaan primääripiirin oksidikerroksen kontaminaation nuklidisuhteiden kehittymistä YVL B.5 -ohjeen kohdan 526 mukaisesti (STUK 2019c, 13). Mittauskierrokset koostuvat yksittäisistä etukäteen määritetyistä mittapisteistä, joista mittaukset tehdään eri tyyppisten detektorien avulla. Tulosten käsittelyssä huomioidaan aina mahdollisten muutosten, prosessitoimien ja kemian parametrien väliset yhteydet. (Hirvelä 2021, 1–5.)

5.5 Kontaminaatioseuranta

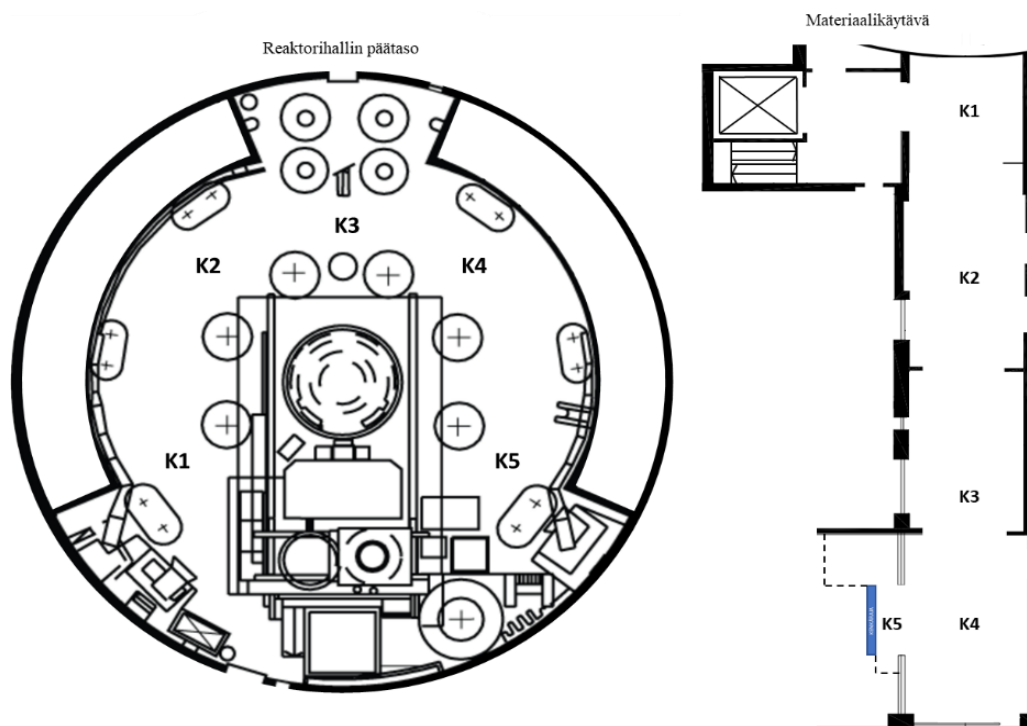
Kontaminaatioseurannan tavoitteena on havaita mahdollisesti esiintyvä pinta-kontaminaatio keskeisillä ja yleisesti käytössä olevilla kulkureiteillä sekä työkentelyalueilla (Salminen 2021, 10–11). Säännöllistä kontaminaatioseurantaa toteutetaan Loviisan voimalaitoksella erikseen määritettyjen mittauskierrosten sekä jatkuvan henkilömonitoroinnin kautta.

Kontaminaatiota voidaan mitata käytännössä kahdella tavalla: suoralla ja epäsuoralla mittausmenetelmällä. Epäsuorassa mittausmenetelmässä halutusta kohteesta otetut eri kokoiset pyyhkäisynäytteet analysoidaan pyyhkäisynäyteanalysaattorilla tai kontaminaatiomittarilla (kuva 9). Epäsuoralla menetelmällä analysoidaan vain kohteesta irtoavan kontaminaation määrää. Suoralla mittauksella radioaktiivisuutta mitataan suoraan halutuilta pinnoilta. Suoran mittausmenetelmän etuna voidaan pitää, että samalla saadaan tietoon myös mahdollisen irtoamattoman kontaminaation määrä. (Viljanmaa 2023, 23.) Kenttäolosuhteissa luotettavimman tuloksen takaa useimmiten suoran ja epäsuoran menetelmän rinnakkaiskäyttö.

Kontaminaatioseurantaa tehdään käyntijaksolla kerran kahdessa viikossa ja vuosihuollossa päivittäin. Mittaustulokset dokumentoidaan säteilyturvallisuusryhmän käyttämään Excel-taulukkoon pitkän ajan seurantaa varten. (Salminen 2021, 11.)

Kontaminaatioseurannassa mittauskohteet sijoittuvat rakennusten yleisille kulureiteille, pääkenkärajojen eli valvonta- ja tarkkailualueiden rajojen viereisten alueiden läheisyyteen sekä valvonta-alueen materiaalikäytävien edustoille (Salminen 2021, 11). Kontaminoituneilta työkohteilta potentiaalisesti leviävää pintakontaminaatiota monitoroidaan lisäksi satunnaismittausten kautta.

Kuva 12 havainnollistaa kontaminaatioseurantareittien näytteenottoa paikkojen jakautumisperiaatetta valvonta-alueen eri rakennuksissa. Näytteenottoa paikoista otetut erilliset näytteet analysoidaan epäsuoralla mittausmenetelmällä.



Kuva 12. Kontaminaatioseurannan näytteenottoa paikat (mukaillen Fortum Power and Heat Oy 2022a, 5, 10)

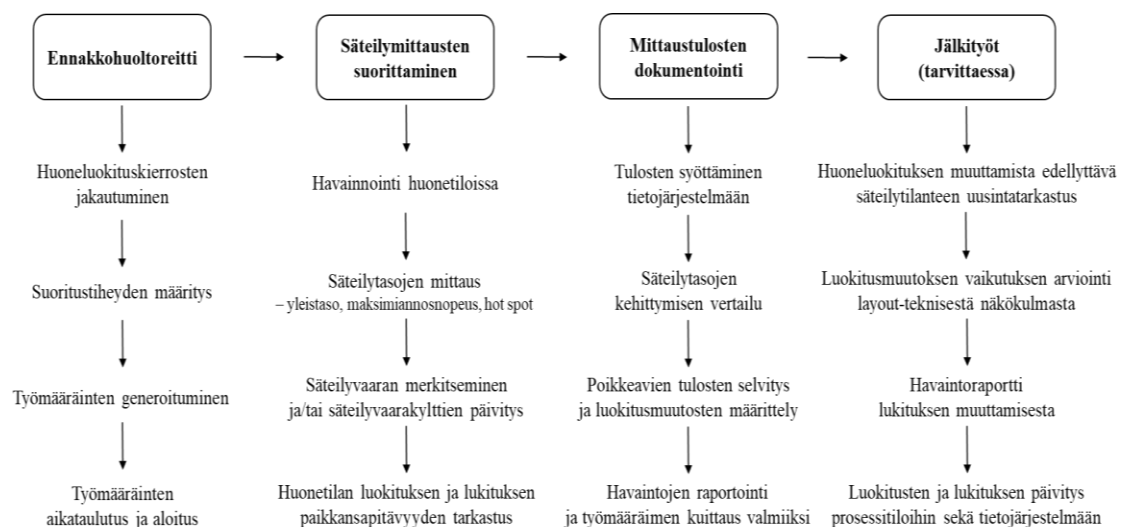
Valvonta- ja tarkkailualueiden lisäksi kontaminaatioseurantaa toteutetaan laitoksen luokittelemattomalla alueella ainakin kaksi kertaa vuodessa. Ulkoalueiden mittaukset tehdään vähintään vuosihuollon jälkeen sekä talvikauden jälkeen ennen hiekoitushiekkujen poistoa. (Salminen 2021, 11–12.) Luokittelemattoman alueen kontaminaatioseurannassa keskitytään niihin piha-alueen osiin, joiden kautta sekä puhtaaksi mitattujen että suojattujen kontaminoituneiden tavaroiden säännöllinen kuljetus laitossyksiköiden välillä tapahtuu.

6 HUONETILOJEN LUOKITTELU

Valvonta- ja tarkkailualueiden huoneluokitusprosessi on lukuisista eri vaiheista rakentuva kokonaisuus, minkä kautta huonetilojen luokitusten oikeellisuus tarkistetaan ja dokumentoidaan säännöllisesti. Prosessi pitää sisällään merkittävän määrän ennalta määritettyjä toimenpiteitä, joiden avulla säteilyturvallisuusryhmä pystyy toimittamaan voimalaitoksen muulle henkilöstölle ajantasaisista mittaustietoa sekä luomaan säteilytyötä tekeville mahdollisimman selkeästi merkityn säteilyturvallisen työympäristön.

Huonetilojen luokitusten oikeellisuus tarkastetaan säännöllisesti vuosittain, jotta säteilyolosuhteiden kehittymistä voidaan seurata ja selvät muutokset huomata mahdollisimman nopeasti. Tilojen luokitukset määräytyvät pääsääntöisesti yleistason perusteella, minkä vuoksi huoneluokitusprosessissakin keskitytään pääasiassa suoran säteilyn mittaamiseen ja annosnopeusarvojen dokumentointiin. Kontaminaatioseuranta tehdään kierrosten aikana ainoastaan sellaisista tiloista, joissa kierroksesta vastaava mittaaja kokee sen olevan tarkoituksenmukaista esimerkiksi vuotoindikaation takia. (Salminen 2021, 8.)

Kuvassa 13 demonstroidaan Loviisan voimalaitoksen huoneluokitusprosessin muodostumista. Huoneluokitusprosessin voidaan mieltää koostuvan kolmesta päävaiheesta: ennakkohuoltoreitistä, säteilymittausten suorittamisesta sekä mittaustulosten dokumentoinnista.



Kuva 13. Valvonta-alueen huoneluokitusprosessin osavaiheet

Säännöllisillä huoneluokituskiertoilla toteutettavat säteilymittaukset tehdään lähtökohtaisesti kaikista huonetiloista, joihin kulku ei ole normaalitilanteessa estetty. Höyrystintilat sekä merkittävä osa punaiseksi luokitelluista huonetiloista ovat kohteita, joita ei luoksepääsemättömyyden sekä mittauksista saatavan säteilyannoksen minimoimisen vuoksi (ALARA) luokitella tavanomaisesti huoneluokituskiertoilla käyntijaksojen tai vuosihuoltojen aikana. Kyseisten huonetilojen säteilyolosuhteet tarkastetaan tarvittavilta osin ainoastaan vain silloin, kun tiloissa on tarkoitus työskennellä. (Salminen 2021, 7.)

6.1 Huoneluokituskierron suorittaminen

Huoneluokitusprosessin rakentavana tekijänä voidaan pitää voimalaitoksen laitostietojärjestelmään muodostettuja ennakkohuoltoreittejä, joiden avulla huoneluokituskierron suorittamisajankohdat toistuvat vuosittain tietyn syklin mukaan. Ennakkohuoltoreittien sisältö koostuu laitostietojärjestelmään muodostetuista erillisistä reittikokonaisuuksista, jotka kattavat kaikki valvonta- ja tarkkailualueiden luoksepäästävät ja säännöllisesti luokiteltavat huonetilat.

Loviisan voimalaitoksella huoneluokituskierron tekeminen ajoittuu käyntijaksoilla talvi- ja kesäkausiin ja vuosihuoltojen aikana syksyllä. Laitostietojärjestelmä generoi ennalta määritetyin aikaväleihin ennakkohuoltoreiteistä erilliset työmääräimet, jotka toimivat säteilymittausten suorittamis- sekä dokumentointialustoina.

Säteilymittausten tekeminen ja dokumentointi

Huonetilan luokittelu alkaa yleisestä havainnoinnista sekä huonetilassa olevien säteilyvaarakylttien huomioimisesta. Mittausvaiheessa huonetilassa mitataan siellä vallitseva yleistaso sekä kartoitetaan kaikki enemmän säteilevät kohteet ja kuumat pisteet. Tehtyjen mittausten perusteella lähtökohtaisesti kaikki taulukon 3 kriteerit täyttävät säteilevät kohteet merkitään asianmukaisesti säteilyvaarakylteillä.

Annosnopeusarvot kirjoitetaan ylös mittauskierroksella mukana olevaan mittausarvotaulukkoon huonetilan yleistason ja maksimiannosnopeuden osalta. Huonetilan säteilevimmän kohteen sijainti otetaan mahdollisuuksien mukaan talteen joko prosessijärjestelmän käyttöpaikkatunnuksen tai yleisen kuvauksen avulla. (Salminen 2021, 9.) Huoneluokituskierrosten aikana muut tilassa tehtävät säteilysuojelliset merkinnät ja toimenpiteet jäävät hot spot -kohteita lukuun ottamatta huonetilaan ainoastaan fyysisesti näkyville.

Täytettävät mittausarvotaulukot tulostetaan mukaan erillisestä "Huoneiden säteilymittausreitit" Excel-taulukosta, johon edellisten mittauskierrosten säteilymittaustiedot päivitetään laitostietojärjestelmästä. Edellisten tietojen sekä esimerkiksi säteilevimmän kohteen annetun sijainnin tarkastaminen auttaa mitaajaa valmistautumaan mittausvaiheeseen jo etukäteen.

Kuvassa 14 havainnollistetaan "Huoneiden säteilymittausreitit" Excel-taulukon päänäkömää sekä rajattua otosta kierroksen mittausarvotaulukosta. Laskentataulukko erittelee huoneluokitusreitit sekä eri käyttötiloissa tehdyt mittaukset ennalta määritettyjen parametrien avulla. Mittausarvotaulukoissa näkyy huonetilojen käyttöpaikat, tarvittavat avaimet sekä edelliset huoneluokitustiedot. Mittarinimet "YLEISKAY" ja "KUUMAKAY" viittaavat käyntijaksojen aikaisiin yleistason sekä maksimiannosnopeuden mittauksiin.

LOCATION	Description	Key	Huonelk	METERNAME	LASTREADING mSv/h	New reading mSv/h	REMARKS
1A1203	ETEINEN		VIH	YLEISKAY	0,001		
1A1203	ETEINEN		VIH	KUUMAKAY	0,001		
1A1206	-		VIH	YLEISKAY	0,001		
1A1206	-		VIH	KUUMAKAY	0,001		
1A1208	KÄYTÄVÄ		VIH	YLEISKAY	0,001		
1A1208	KÄYTÄVÄ		VIH	KUUMAKAY	0,001		

Kuva 14. Mittausarvotaulukon muodostuminen (Säteilyturvallisuusryhmä 2023)

Huoneluokituskierroksilta saadut mittaustulokset dokumentoidaan erikseen tietyn reitin työmääräimen reittipysähdyksille eli tässä tapauksessa huonetiloille määritetyille mittapisteille. Huonetiloilla on laitostietojärjestelmässä käytötilakohtaisesti kaksi eri mittaria eli mittapistettä, jotka on luotu huonetilan yleistason ja maksimiannosnopeuden pitkän aikavälin dokumentointia sekä tarkastelua varten.

Tulokset kirjataan ensisijaisesti työmääräimen "Syötä/muuta koestustuloksia" -toimintoon huonetilakohtaisesti ensin kuumen pisteen ja sen jälkeen yleistason osalta. Mittausarvojen kirjausjärjestys on täten kyseisessä toiminnossa päinvastainen verrattuna kuvassa 14 näkyvään taulukkoon. Tulosten kirjaamisessa on vaihtoehtona hyödyntää myös työmääräimen reittipysähdyksille erikseen määritettyjä osavaiheita, joissa mittaustulosten kirjausjärjestys pysyy samana kuin mittausarvotaulukossa. Mittaustulosten dokumentointi erillisten osavaiheiden kautta on kuitenkin huomattavasti pitkäkestoisempaa.

Syötä/muuta koestustuloksia -toiminto jaottelee huoneluokitusreittiin kuuluvien huonetilojen mittapisteet listamuotoon halutun järjestyksen mukaisesti. Tyypillisesti kirjausjärjestykseksi valitaan huonetilatunnusten juoksevan numeroinnin mukainen järjestys, mikä vastaa lähes identtisesti mittauskierroksella täytettävää mittausarvotaulukkoa (kuva 14). Toiminnossa yksi välilehti pitää sisällään yhteensä kymmenen huonetilan yleistason ja kuumien pisteiden kirjauskohdat erillisillä riveillä. Dokumentoinnin helpottamiseksi ainoastaan mittausarvojen kirjaaminen sekä tallentaminen on tarpeellista, sillä mittausajankohta sekä dokumentoijan käyttäjätunnus rekisteröityy jokaiselle mittapisteelle automaattisesti lukeman kirjauksen yhteydessä.

Säteilymittaustulosten mittapisteille hyväksytyt lukuarvot on kirjaustoiminnossa määritetty olevan vakiona 0–1000 mSv/h välillä, mutta todellisuudessa mittapisteille kirjatut arvot vaihtelevat yleistason ja maksimiannosnopeuden osalta tyypillisesti vain 0,001–20 mSv/h välillä. Varoitusrajojen vakioarvot eivät tällä hetkellä täten estä mittausarvojen väärässä järjestyksessä kirjaamista tai väärän mittausarvon tallentamista laitostietojärjestelmään.

Säteilymittaustuloksia tulee verrata dokumentoinnin aikana edellisellä mittauskierroksella saatuihin tuloksiin, jotta säteilytasoissa tapahtuneet muutokset käyvät ilmi mahdollisimman pian. Kirjaustoiminnossa edellisen kierroksen huonetilakohtaiset mittaustulokset näkyvät dokumentoinnin aikana eriteltynä jokaisen mittapisteen rivillä, mutta järjestelmä ei osaa varoittaa merkittävistä poikkeavista arvoista automaattisesti. Huomattujen poikkeamien ilmoittaminen jättäen huoneluokituskierroksen tehneen henkilön vastuulle ja lopullinen selvitys, raportointi sekä jälkitöiden määrittäminen pääasiassa säteilyturvallisuusryhmään kuuluvien säteilysuojeluinsinöörien tehtäväksi.

Poikkeamien selvittäminen alkaa kuvan 13 kaavion mukaisesti huonetilan säteilytilanteen uusintatarkastuksesta. Tarkastuksen tavoitteena on selvittää ovatko mitatuissa arvoissa havaitut poikkeamat peräisin esimerkiksi kirjoitusvirheestä, mittarin vikaantumisesta tai prosessissa tapahtuneesta hetkellisestä muutoksesta. Mikäli muuttajat on otettu huomioon ja mittausarvot ovat uusintatarkastuksessa edelleen normaalista poikkeavat, voidaan siirtyä huoneluokituksen muuttamisessa huomioitavien asioiden määrittämisvaiheeseen.

Huonetilan luokituksen muuttamisessa on tärkeää huomioida tila kokonaisuutena layout-teknisestä näkökulmasta. Luokituksen muuttaminen on yksinkertainen prosessi, mutta mikäli huonetila sijaitsee jonkun isomman tilan sisällä tai sen sisällä on muita huonetiloja, tulee kaikkien tilojen luokitusmuutokset huomioida. Tärkeimpänä muistisääntönä muutosten määrittämiselle voidaan pitää sitä, että YVL C.2 -ohjeen mukaan tilan täytyy olla lukittu tai valvottu, mikäli yleistaso ylittää oranssin huoneluokituksen alarajan.

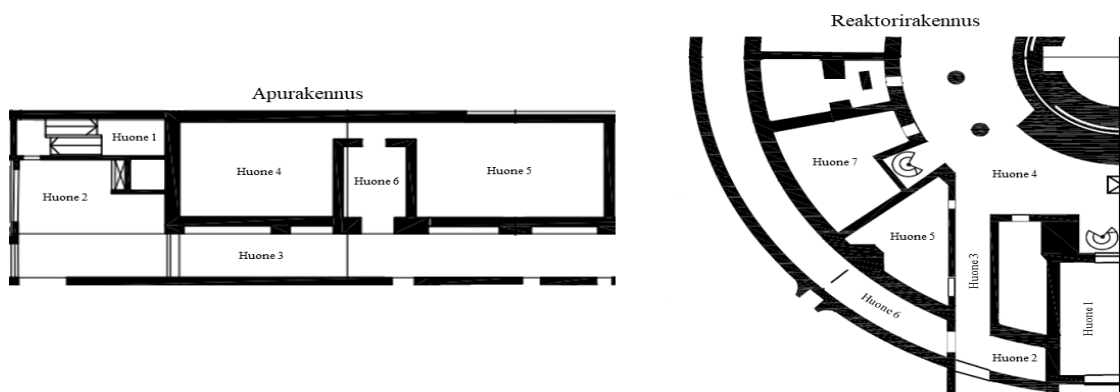
Huonetilojen luokitus muutetaan tarvittaessa tehtyjen mittausten perusteella alemmasta vyöhykkeestä korkeampaan välittömästi. Mikäli huoneluokitus on vastaavasti ollut vähintään kaksi edellistä mittauskertaa alemman vyöhykkeen mukaisella tasolla, voidaan huonetilan luokitusta oikeutetusti alentaa vastaamaan sen hetkistä tilannetta. (Salminen 2021, 9.) Huoneluokitusten pysyvässä muuttamisessa on huomioitava lisäksi myös laitossyöksiköiden käyttötilan vaihtumiset, mitkä vaikuttavat merkittäväällä tavalla tiettyjen huonetilojen säteilyolosuhteiden muuttumiseen.

Huoneluokitusreittien sisältö

Loviisan voimalaitoksen laitosyksiköt on rakennettu peilikuvana, joten niiden yleiset layoutit, rakennukset ja täten myös huoneluokituskierrokset ovat hyvin samankaltaisia. Huoneluokitusreitit on muodostettu vastaamaan suoritusjärjestykseltään huonetilatunnusten systemaattista etenemistä ja ne alkavat yleensä rakennuksen tai tason huonetilatunnusten pienimmästä juoksevasta numerosta.

Valvonta-alueella apurakennusten huonetilatunnusten numerointi alkaa molemmilla laitosyksiköillä layout-kuvasta katsottuna rakennuksen vasemmasta yläreunasta ja etenee systemaattisesti oikealle päin. Juoksevasta numerosta seuraava huonetila sijaitsee usein edellisen vieressä, vastapäätä tai lähistöllä. Reaktorirakennuksessa sijaitsevien huonetilojen numerointi alkaa poikkeuksellisesti layout-kuvasta katsottuna rakennuksen osasta riippuen joko 0-asteen tai 90-asteen kohdalta ja jatkuu kuvan mukaisesti myötapäivään.

Huonetila saattaa pitää sisällään hyvin laajan tai pienen alueen, joten yksittäisen huonetilan määritelmää voidaankin pitää osittain tulkinnanvaraisena. Huonetilojen kriteerit esimerkiksi pinta-alallisen laajuuden tai muodon osalta eivät ole erikseen määritettyjä tai valvottuja, vaan huonetilatunnukset pohjautuvat pääsääntöisesti rakennusvaiheessa määritettyihin tietoihin. Linjanvedon epäselvyys vaikeuttaa tiettyjen tilojen huoneluokitusten määrittämistä sekä korjaavien toimenpiteiden suunnittelu- ja toteuttamisvaiheiden tekemistä. Kuvassa 15 havainnollistetaan huonetilatunnusten määräytymistä voimalaitoksen apurakennuksissa sekä reaktorirakennuksissa.



Kuva 15. Huonetilatunnusten määräytyminen eri rakennuksissa (mukaillen Fortum Power and Heat Oy 2023a, 6, 21)

Huoneluokitusreitit on jaoteltu useisiin eri listoihin luokiteltavien huonetilojen suuren määrän takia. Kierrokset keskittyvät reitistä riippuen tiettyyn rakennukseen tai rakennuksen muutaman eri tason huonetiloihin. Huoneluokitusreittien jakaminen pienempiin osiin on välttämätöntä laajempien rakennusten kokonaisuuksissa, jotta mitattavien reittien pituudet eivät kasva kohtuuttoman suuriksi.

Laitosyksiköiden valvonta-alueiden huoneluokituskierrokset koostuvat molemmat yhdestätoista eri reitistä, jotka pitävät sisällään suurimman osan valvonta-alueen luoksepäästävästä huonetiloista. Tarkkailualueiden huoneluokituskierrokset tehdään huonetilojen vähyyden takia kahden reitin kautta. Loviisan voimalaitoksella säännöllisesti suoritettavia huoneluokitusreittejä on yhteensä määrällisesti tällä hetkellä siis 24 kappaletta. Huoneluokituskierrosten jakautumista voidaan tarkastella taulukosta 4.

Taulukko 4. Huoneluokitusreitit laitosyksiköittäin

LO1 reitit	Huoneiden määrä	Sininen	Vihreä	Oranssi	Punainen	Ei luokitusta
1Z90	4	0	0	4	0	0
1A09 - 1A00	93	0	69	23	0	1
1A27 - 1A12	92	0	79	12	0	1
1A91 - 1J92	70	1	48	18	3	0
1R09 - 1R00	72	0	57	11	0	4
1R56 - 1R00	76	0	49	17	7	3
1R91 - 1R98	20	0	11	9	0	0
1S07 - 1S00	26	0	19	7	0	0
1R09 - 1R00 (SEIS)	57	0	48	7	0	2
1R56 - 1R10 (SEIS)	141	0	23	109	0	9
1R91 - 1R98 (SEIS)	23	0	11	11	1	0
Tarkkailualue	36	7	2	0	0	27
Yhteensä	489	8	334	101	10	36
Yhteensä (SEIS)	221	0	82	127	1	11
LO2 reitit	Huoneiden määrä	Sininen	Vihreä	Oranssi	Punainen	Ei luokitusta
2A03 - 2A00	61	0	46	15	0	0
2A12 - 2A06	101	0	89	12	0	0
2A27 - 1A99	61	0	56	3	2	0
2A31 - 1L10	15	0	12	3	0	0
2R09 - 2R00	62	0	44	17	0	1
2R58 - 2R10	113	0	89	18	6	0
2R91 - 2R98	22	0	12	10	0	0
2S07 - 2S00	13	0	9	4	0	0
2R09 - 2R00 (SEIS)	77	0	56	16	0	5
2R58 - 2R10 (SEIS)	185	0	33	146	2	4
2R91 - 2R98 (SEIS)	23	0	13	8	0	2
Tarkkailualue	6	1	0	0	0	5
Yhteensä	454	1	357	82	8	6
Yhteensä (SEIS)	285	0	102	170	2	11

Taulukon 4 vasemmassa reunassa nähdään huoneluokitusreittien nimet, jotka ilmaisevat reitin sijainnin rakennustunnusten ja eri tasonumeroiden avulla. Huoneluokitusreitit ja niihin kuuluvat huonetilat jaotellaan taulukossa omiin solumuihin riippuen tilojen laitostietojärjestelmään määritetystä huoneluokituksesta. Kaikki valvonta-alueen huonetilat luokitellaan vähintään vihreiksi ja tarkkailu-alueen huoneet sinisiksi, joten taulukon 4 huoneluokituksissa näkyvät poikkeamat ovat peräisin virheellisistä laitostietojärjestelmän tiedoista.

Reittien nimissä lyhenne "SEIS" erittelee vuosihuollon aikana tehtävät mittauskierrokset. Lyhenne on merkitty ainoastaan laitossyksikön kolmelle eri reitille, sillä vuosihuollon aikana kierrokset tehdään ainoastaan reaktorirakennusten osalta. Oranssiksi luokiteltujen huonetilojen merkittävät lukumäärälliset erot esimerkiksi reaktorihallien 2R58-2R10- ja 1R56-1R10 -reiteillä käyntijaksojen ja vuosihuoltojen aikana selittyy sillä, että vuosihuollon aikaiset reitit sisältävät kaikki höyrystintilan huonetilat, vaikka niitä ei tavanomaiseen tapaan luokitellaan. Vuosihuollot aiheuttavat myös säteilytasojen välitöntä muuttumista tiettyissä reaktorihallin huonetiloissa, mikä itsessään vaikuttaa suoraan tiettyjen tilojen huoneluokitusten vaihtumiseen.

Laitossyksiköiden reaktorihallit on rakennettu muiden rakennusten tapaan lähes identtisiksi, minkä takia myös kyseisten huoneluokitusreittien tulisi olla lähtökohtaisesti saman pituisia. Reaktorihallit ovat korkeita ja osittain avaria rakennuksia, jotka sisältävät useita tasoja. Huonetilat jaetaan rakennustyyppin takia sektoreihin, mikä vaikuttaa tilojen määrään kasvattavalla tavalla. Reaktorihallien reittejä on edellisvuosien aikana pyritty muokkaamaan käyttökokemusten pohjalta selkeämmäksi, mutta kaikki muokkaukset eivät ole olleet molemmilla laitossyksiköillä yhteneväisiä. Muokkausten epäjohtonmukaisuuden takia reittien sisällöt eroavat tällä hetkellä toisistaan osittain merkittävästi.

Huoneluokitusreiteissä merkittävänä poikkeavuutena voidaan lisäksi pitää niiden rakenteellisia eroavaisuuksia, mikä voidaan huomata taulukon 4 reittien nimissä näkyvien tasojen vaihtelevuudesta. Kierrosten suorittaminen on periaatteeltaan laitossyksiköillä samanlaista, mutta reitit eivät tällä hetkellä määrydy laitossyksiköiden apurakennuksissa samojen tasojen perusteella.

6.2 Tilojen säteilyolosuhteiden kehittyminen

Säteilyolosuhteiden seuranta on tarpeellista tehdä säännöllisesti, sillä huone-tiloissa vallitsevat säteilyolosuhteet vaihtelevat prosessijärjestelmien käytön tai huoltotöiden seurauksena. Operatiiviseen säteilysuojeluun kuuluvien aktiivisesti tehtävien mittauskierrosten hyötynä on se, että saatujen tulosten kautta voidaan jälkikäteen tarkastella, missä huone-tiloissa säteilytasot ovat pitkällä aikavälillä merkittävästi muuttuneet tai alttiita muuttumaan.

Huone-tiloista mitattuja annosnopeusarvoja voidaan käsitellä käyttöpaikkakohtaisesti laitostietojärjestelmän käyttöpaikkojen tietokannasta. Mittausarvot siirtyvät käyttöpaikoille huoneluokituskierrosten aikana tehtävän dokumentoinnin tai erillisen kirjaamisen kautta. Huone-tilojen säteilymittaustiedot näkyvät järjestelmässä käyttöpaikasta riippuen vuodesta 2005 lähtien.

Käyttöpaikoille tallennettujen mittaustulosten määrä riippuu merkittävästi siitä, analysoiko käyntijaksoilla vai vuosihuolloissa dokumentoituja arvoja. Käyntijaksoilla mittauskierroksia on tehty tiheämmällä syklillä, minkä vuoksi niiden aikana saatuja mittaustuloksia löytyy luonnollisesti runsaasti enemmän verrattuna vuosihuoltojen aikaisiin tuloksiin. Laitosyksiköiden eri käyttötiloissa mitatut arvot jaotellaan laitostietojärjestelmässä eri mittareille säteilymittaustietojen ajantasaisuuden säilyttämiseksi myös vuosihuoltojen aikana.

Kuva 16 havainnollistaa laitostietojärjestelmän käyttöpaikkakohtaista "Mittarit"-välilehteä ja tallennettujen mittaustulosten yleisnäkymää. Toiminnossa näkyy mittaustulosten lisäksi dokumentointiajankohdat sekä työmääräinten numerot.

Järjestys	Mittari	Kuvaus	Mittarin tyyppi	Mittauskoodi
1	KÄY_VALVO	Huoneluokitus KÄY-tilassa	KUVAILEVA	
2	SEIS_VALVO	Huoneluokitus SEIS-tilassa	KUVAILEVA	
	YLEISSEIS	Huoneitten yleistaso SEIS-tilassa	ASTEIKKOLLINEN	MSVIH
	YLEISKÄY	Huoneitten yleistaso KÄY-tilassa	ASTEIKKOLLINEN	MSVIH
	KUUMASEIS	Huoneitten korkein annosnopeus SEIS-tilassa	ASTEIKKOLLINEN	MSVIH
	KUUMAKÄY	Huoneitten korkein annosnopeus KÄY-tilassa	ASTEIKKOLLINEN	MSVIH

Mittausajankohda	Edellinen lukema	Ilavasto	Työmäärä
16.02.2023 12:59	0.09000		4779156
27.07.2022 15:24	0.07000		4692495
17.02.2022 19:46	0.05000		4570101
05.07.2021 19:42	0.05000		4481163
09.03.2021 7:59	0.05000		4377145
21.07.2020 9:51	0.05000		4283807

Kuva 16. Säteilymittaustulosten tarkastelunäkymä (Fortum Power and Heat Oy 2023b)

Valvonta-alueen huonetilojen yleistasojen kehittymistä voidaan tarkastella liitteiden 1 ja 2 taulukoista. Taulukoihin on eritelty voimalaitoksen käyntijaksojen aikaisille huoneluokituskierröksille kuuluvat luoksepäästävät huonetilat sekä niiden tehoajon aikaisille mittareille kirjatut yleistasoarvot vuosina 2020–2023. Huoneluokitusten ja annosnopeusarvojen suuruusluokkien esittämiseksi tiloille laitostietojärjestelmässä merkityt huoneluokitukset sekä säteilymittausarvot on värikoodattu vastaamaan vyöhykejakoja vastaavia värejä. Säteilymittausten tekeminen ja mittaustulosten virheetön dokumentointi on lähtökohtaisesti mittajan vastuulla, mikä on huomioitava myös mittauservojen analysoinnissa.

Selvityksen aikana tehty alkuperäinen mittauservotaulukko sisältää käyttöpaikeille tallennetut mittauservot vuodesta 2005 vuoteen 2023 saakka. Liitteiden 1 ja 2 taulukot sisältävät selkeyttämisen vuoksi eriteltyt mittaustulokset vain vuosien 2020–2023 ajalta, mutta pitkän aikavälin vaihtelevuutta on tuotu esille taulukoihin lisättyjen keskiarvojen sekä keskihajontojen avulla.

Taulukoiden keskiarvot ja keskihajonnat on johdettu Microsoft Excel -taulukko-laskentaohjelman funktioiden avulla. Mittaustulosten keskiarvojen laskemisessa käytettiin AVERAGE-funktiota ja keskihajonnan määrittämisessä STDEV-funktiota. Tuloksissa havaittujen poikkeamien vuoksi taulukoista on muokattu pois selvät kirjoitus- ja kirjausvirheet. Huomioitavaa on myös se, että keskiarvojen sekä keskihajontojen määrittämisessä on käytetty ainoastaan korkeimpia tietyn kuukauden aikana dokumentoituja yleistasoarvoja.

Taulukossa 5 nähdään esimerkki liitteiden 1 ja 2 mittauservotaulukoiden rakenteesta. Mittauservot on eritelty dokumentointikuukausittain, mikä auttaa kuvastamaan yleistasojen tasaisuutta talven ja kesän huoneluokituskierröksillä. Mittaustuloksia analysoidessa voidaan huomata, että noin 30 prosenttia oranssiksi luokitelluista huonetoista omaa tämänhetkisten huoneluokituskriteerien perusteella virheellisen huoneluokitustiedon laitostietojärjestelmässä.

Taulukko 5. Liitteiden 1 ja 2 mittauservotaulukoiden rakenne

Vuosi	2021												2022												2023				Keskiarvo 2005 - 2023	Keskihajonta 2005 - 2023	
	Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	1	2	3	4	6	7	8	9	11	12	1	2	3	4					
IA0003			0.003				0.005											0.004												0.001	0.003
IA0010			0.001				0.001											0.001												0.039	0.070
IA0015																				0.001										0.001	0.000
IA0016																														0.001	0.000
IA0020																														0.001	0.000
IA0083																		0.001												0.017	0.015
IA0084																		0.001												0.000	0.000
IA0085																		0.001												0.003	0.005
IA0086																		0.001												0.000	0.000
IA0090			0.001				0.001											0.001												0.000	0.000

Huonetilojen yleistasot pysyvät liitteissä 1 ja 2 näkyvien mittausarvojen sekä käyttökokemusten mukaan vuodesta toiseen niin tasaisina, että huoneluokituksia ei tarvitse jatkuvasti muuttaa. Poikkeuksena edellä mainittuun voidaan pitää sellaisia tapauksia, joissa huonetilan yleistaso vaihtelee vuosittain vihreän ja oranssin luokituksen rajoilla.

Huonetiloissa esiintyvien maksimiannosnopeuksien analysoinnissa mittausarvojen vaihtelu on yleistasoon verrattuna merkittävästi selkeämpää, mikä on odotettavaa kuumien pisteiden osaltaan arvaamattoman liikkuvuuden takia. Putkistoissa esiintyvät pistemäisesti säteilevät kohteet saattavat pysyä samassa paikassa useita mittauskertoja tai vaihtoehtoisesti siirtyä itsestään nopeasti eteenpäin voimalaitosprosessin toiminnan seurauksena. Mittausarvojen vaihtelu vaikuttaa täten suoraan säännöllisesti saatavien mittaustulosten seurattavuuteen pitkällä aikavälillä.

Yksittäisten kuumien pisteiden annosnopeuksien vuosittaista vaihtelevuutta voidaan pitää suhteellisen epäolennaisena yleistasoon perustuvan huonetilan luokituksen kannalta. Kuumat pisteet ovat nimensä mukaisesti usein hyvin pistemäisiä, jolloin niiden vaikutus huonetilassa vallitsevaan yleistasoon jää vähäiseksi. Yleistason ja täten itse tilan luokitukseen vaikuttaa merkittävämmiin pinta-alaltaan suuremmat ja lähes kauttaaltaan säteilevät komponentit, kuten säiliöt tai lämmönvaihtimet. Kuvassa 17 nähdään esimerkki kuuman pisteen tai hot spotin tyypillisestä vaikutusalueesta.



Kuva 17. Kuuman pisteen mittaus AutoMess 6150AD5R -annosnopeusmittarilla

Huoneluokituskierrosten yhteydessä on säteilytasojen tasaisuuteen liittyen huomattu, että merkittävässä osassa luokiteltavissa huonetiloissa säteilyolosuhteet eivät vaihtelee yleistasojen tai kuumien pisteiden osalta ollenkaan tai hyvin maltillisesti. Säteilytasojen muuttumattomuus voi johtua yksinkertaisesti siitä, että huonetilassa ei ole prosessijärjestelmiä ollenkaan. Vaihtoehtoisesti kyseessä voi olla se, että tilassa on ainoastaan sellaisia järjestelmiä, jotka eivät normaalitilanteissa sisällä radioaktiivisuutta ollenkaan.

Jos huonetilassa ei tehtyjen mittausten perusteella säteile, on mittausarvot kirjattu käyttöpaikalle joko nollatuloksina eli lukemana 0,000 mSv/h ja vuoden 2018 jälkeen lukemana 0,001 mSv/h. Merkintätavan muutoksella varmistettiin se, että työmääräimille huonetilojen säteilymittaustiedoista ja työn arvioituista kestoista muodostuvat automaattiset säteilyannosarviot pysyvät realistisina (Salminen 2021, 9). Säteilytasoiltaan muuttumattomien huonetilojen määrää on kartoitettu taulukossa 6. Huonetilat on eritelty myös käyttöpaikkakohtaisesti liitteessä 3.

Taulukko 6. Valvonta-alueen huonetilojen säteilytasojen muuttumattomuus

LO1 reitit	Huonetilojen määrä	Huonetilojen määrä - mittaus tulokset 0,001 mSv/h >10 vuotta	Huonetilojen määrä - mittaus tulokset 0,001 mSv/h >15 vuotta
1Z90	4	-	-
1A09 - 1A00	93	34	22
1A27 - 1A12	92	50	47
1A91 - 1J92	70	18	9
1R09 - 1R00	72	18	11
1R56 - 1R00	76	12	11
1R91 - 1R98	20	2	2
1S07 - 1S00	26	10	7
1R09 - 1R00 (SEIS)	57	15	-
1R56 - 1R10 (SEIS)	141	11	4
1R91 - 1R98 (SEIS)	23	1	1
Yhteensä (KÄY)	453	144	109
Yhteensä (SEIS)	221	27	5
LO2 reitit	Huonetilojen määrä	Huonetilojen määrä - mittaus tulokset 0,001 mSv/h >10 vuotta	Huonetilojen määrä - mittaus tulokset 0,001 mSv/h >15 vuotta
2A03 - 2A00	61	23	16
2A12 - 2A06	101	58	49
2A27 - 1A99	61	41	27
2A31 - 1L10	15	7	6
2R09 - 2R00	62	15	10
2R58 - 2R10	113	26	19
2R91 - 2R98	22	3	1
2S07 - 2S00	13	3	1
2R09 - 2R00 (SEIS)	77	20	17
2R58 - 2R10 (SEIS)	185	24	-
2R91 - 2R98 (SEIS)	23	1	1
Yhteensä (KÄY)	448	176	129
Yhteensä (SEIS)	285	45	18

Saatavilla olevien mittaustulosten analysoinnin tavoitteena on havainnollistaa, kuinka merkittävässä osassa säteilytasoiltaan muuttumattomat huonetilat ovat yksittäisen huoneluokitusreitin laajuudesta. Taulukkoon 6 on eritelty huoneluokitusreittien sisältämistä huonetiloista kaikki sellaiset huonetilat, joissa säteilytasot eivät ole muuttuneet ollenkaan viimeisen kymmenen tai viidentoista vuoden aikana. Käsittelyssä on huomioitu kaikki vihreäksi luokitellut huonetilat, joissa säteilytasot eivät edellisen huoneluokituskierron mittaustulosten mukaan ole poikennut annosnopeusmittarin taustalukemasta.

Säteilytasoiltaan muuttumattomissa huonetiloissa vallitseva yleistaso sekä kuuma piste ovat analysoidun mittausdatan perusteella molemmat olleet koko kyseisen ajanjakson taustasäteilystä poikkeamattomat eli 0,001 mSv/h. Tarkasteltavaksi valitut ajanjaksot pohjautuvat laitostietojärjestelmän käyttöönottoaikaan sekä käyttöpaikkojen mittareiden luontiaikoihin. Arvojen analysoinnissa on keskitytty mittausten lukumäärän sijaan ajanjaksoihin, koska mittausten tekemäärät saattavat vaihdella käyttötilasta tai vuodesta riippuen. Pidemmän ajanjakson tarkastelussa tuloksia on oletettavasti enemmän, mikä auttaa tuomaan esille säteilytasojen muuttumattomuutta entisestään.

Taulukosta 6 voidaan huomata, että osa huoneluokitusreiteistä sisältää säteilytasoiltaan muuttumattomia huonetiloja kierroksen kokonaisuuteen verrattuna merkittävän määrän. Loviisan voimalaitoksella huonetilojen luokittelun suorittamistiheyden ei ole otettu tarkemmin kantaa, minkä vuoksi lähes kaikki luoksepäästävät huonetilat luokitellaan säännöllisesti tietynä mittausajankohtana. Jos huoneluokituskierron tekemisen haluttaisiin perustuvan esimerkiksi osittain säteilyolosuhteiden vaihtelevuuden todennäköisyyteen, ei taulukkoon 6 eriteltyjä huonetiloja tarvitsisi luokitella jokaisella mittauskierroksella.

Selvityksen aikana voitiin myös nähdä, että mittaustulosten dokumentoinnissa on tapahtunut kirjoitus- sekä kirjausvirheitä toistuvasti. Taulukon 6 erittelyssä ei ole huomioitu kaikkia mahdollisia dokumentointivirheitä, minkä vuoksi säteilytasoiltaan muuttumattomien huonetilojen kokonaismäärä saattaa olla todellisuudessa esitettyä suurempi. Dokumentointivirheet liittyvät pääasiassa yleis-

tason ja kuumen pisteen kirjaamiseen väärässä järjestyksessä, arvoissa esiintyviin pilkkuvirheisiin sekä arvojen kirjaamiseen väärälle mittarille. Virhekirjausten lisäksi osassa tiloissa säteilytasot olivat muuttuneet pitkän ajanjakson aikana yksittäisinä vuosina ainoastaan sen takia, että tilassa oli ollut mittaushetkellä jokin sinne tavallisesti kuulumaton irrallinen säteilevä komponentti.

6.3 Säteilymittaustulosten hyödyntäminen

Säännöllisiltä huoneluokituskiirroksilta saatavia säteilymittaustuloksia hyödynnetään jatkuvasti työsuunnittelussa sekä soveltuvin osin käytöstä poistoon liittyvissä selvityksissä (Salminen 2021, 8). Laitostietojärjestelmän käyttöpaikka-kohtaiset säteilymittaustiedot pysyvät luokittelun kautta ajantasaisina jokaiselle mittaustietoja tarvitsevalle, joten mittaustulosten dokumentointivaihetta ja sen toimivuutta voidaan pitää pitkäaikaisen seurannan kannalta tärkeänä.

Töiden ennakkokäsittely

Voimalaitoksen prosessitiloissa työskenteleminen edellyttää erillistä työmääräintä, joka generoidaan ennakkohuoltoreittien ja havaittujen poikkeamien tai kehittämisideoiden kautta tehtyjen havaintoraporttien pohjilta. Työsuunnittelussa säteilyaspekti on läsnä silloin, kun työ tehdään valvonta-alueella.

Valvonta-alueella tehtävistä töistä suurin osa vaatii työmääräimelle säteilyturvallisuusryhmän myöntämän kirjallisen säteilytyöluvan, muutamia rutiinitöihin liittyviä pysyviä lupia lukuun ottamatta. Säteilytyöluva voidaan myöntää tarvittaessa myös suullisesti lyhytkestoisiiin töihin, jotka eivät vaadi merkittävää säteilysuojelullista ohjeistusta. Säteilysuojelun näkökulmasta ennakkokäsittelyyn kuuluvat valvonta-alueen työmääräinten ennakkotarkastukset, säteilytyölupien valmistelu ja kriteerien täytyessä säteilysuojelusuunnitelmien laatiminen sekä työmääräinten liittäminen oikeille säteilytyöluville. (Mattila 2020, 5.)

Huonetilassa vallitsevat säteilytasot siirtyvät laitos-tietojärjestelmässä viimeisimpien mittaustulosten osalta työmääräimelle esimerkiksi venttiilin käyttöpaikatunnuksen ja sille määritetyn huonetilatiedon mukaan. Säteilyolosuhteet dokumentoidaan laitos-tietojärjestelmään tällä hetkellä ainoastaan yleistason ja

maksimiannosnopeuden osalta, minkä takia huonetiloissa olevia muita kuumia pisteitä tai kontaminaatoriskiä ei voida huomioida töiden ennakkosuunnittelussa pelkästään käyttöpaikoille kirjatun mittausdatan pohjalta.

Valvonta-alueen työmääräimille generoituu kirjattujen arvojen perusteella automaattinen säteilyannosarvio, jolla kuvataan työstä aiheutuvan säteilyannoksen kokonaismäärää. Annosarvio muodostuu huonetilalle viimeisimmäksi dokumentoidun annosnopeuden yleistason sekä työn arvioidun keston kautta, mutta sitä voidaan tarvittaessa myös muokata (Mattila 2020, 6). Huonetilan maksimiannosnopeuden tieto siirtyy työmääräimelle vastaavalla tavalla, mutta toimii lähinnä vain varoittavana muuttujana työntekijälle sekä säteilysuojellisia ohjeistuksia antavalle henkilölle.

Kuva 18 demonstroi työmääräimelle tulostuvassa säteilysuojelu-osassa näkyviä huonetilojen säteilyolosuhdetietoja. Säteilysuojelu-osa vaatii säteilyturvallisuusryhmään kuuluvan henkilön allekirjoituksen ennen työn aloitusta valvonta-alueella. Säteilyolosuhteiden lisäksi työmääräimelle tulostuu määrätystä säteilytöyluvasta riippuen erilaisia säteilysuojeluun liittyviä ohjeita, joita voidaan tarvittaessa korjata tai täydentää ennen töiden aloittamista.

Huoneiden säteilyolosuhteet					
Huone:	1A1234	Luokitus:	ORA	Yleistaso: 0,050 mSv/h	Kuumapist: 0,300 mSv/h (TD30N02)
Korjattu annosarvio :	0,05	manmSv			

Kuva 18. Huoneiden säteilyolosuhteet ja annosarvio (Fortum Power and Heat Oy 2023b)

Käytöstäpoistosuunnittelu

Huoneluokituskierröksiltä saatavia säteilymittaustuloksia hyödynnetään voimalaitoksen käytöstäpoistosuunnittelussa säteilyolosuhteiden kehittymisen ja poikkeavien tapahtumien seurannan kautta. Käytöstäpoistosuunnittelussa huomioidaan turvallinen loppusijoitus kaiken voimalaitoksen käytön aikana aktivoituneen ja kontaminoituneen jätteen osalta.

Ennakoivassa käytöstäpoistosuunnittelussa voimalaitoksen aktiivisuustasojen kehitystä seurataan huoneluokituskierrösten mittaustulosten lisäksi laitosityksi-

köiden primääripiirien aktiivisuustasojen kehityksen, merkittävien kontaminaation leviämisten sekä eri järjestelmissä esiintyneiden aktiivisuuspitoisuusmäärien kautta. Huonetilojen, järjestelmien ja rakenteiden aktiivisuuden kehittymisen seuranta toteutetaan kuuden vuoden tarkastelujaksoissa ja merkittävimpiin muutoksiin perehdytään dokumentoinnin aikana laitostietojärjestelmän tietokannan sekä eri organisaatioilta saatujen tietojen avulla. (Lavonen 2021, 2.)

Huoneluokituskierrosten mittaustulosten tarkastelussa keskitytään käytöstäpoistosuunnittelun näkökulmasta pääasiassa säteilevien ja täten merkittävän määrän kontaminoitunutta jätettä sisältävien tilojen yleistason ja kuumien pisteiden annosnopeuksissa tapahtuneisiin merkittävimpiin muutoksiin. Vuoden 2020 seurantaraportissa on nostettu esille kaikki huonetilat, joissa yleistason mediaani on ollut vuosien 2005–2020 aikana $\geq 0,025$ mSv/h ja tarkastelujakson (2015–2020) korkeimman mittaustuloksen poikkeama tulosten mediaanista on ollut ≥ 500 % tai ≤ -20 %. (Lavonen 2021, 2–3.)

Annosnopeusarvoissa näkyvät merkittävimmät muutokset keskittyvät tehtyjen analyysien perusteella pääsääntöisesti tiettyjen rakennusten osiin ja huonetilatyyppeihin. Viimeisimmän periodin aikana saaduissa mittaustuloksissa näkyvissä merkittävistä yleistasojen sekä kuumien pisteiden muutoksista suurin osa on dokumentoitujen mittausarvojen mukaan tapahtunut voimalaitoksen reaktorirakennuksiin kuuluvissa huonetiloissa. (Lavonen 2021, 4–9.)

Saatavilla olevien säteilymittaustulosten perusteella raportissa käsiteltävien huonetilojen yleistasoissa tapahtuneiden merkittävien muutosten pystytään kuitenkin osoittaa johtuvan suurimmaksi osaksi aiemman kirjaustavan muutoksesta sekä yksittäisistä kirjoitusvirheistä. Tuloksissa havaitut muutokset keskittyvät edellä mainittujen virhekirjausten lisäksi lähinnä kuumien pisteiden aktiivisuustasojen vaihteluihin. Yleistasoissa ilmenneitä valideja muutoksia on vuosien 2015–2020 tarkasteluperiodin aikana tapahtunut ainoastaan yksittäisissä huonetiloissa, mikä puoltaa itsessään myös jo aiemmin esille tuotua säteilytasojen tasaisuutta.

6.4 Toimintatavat eri ydinvoimalaitoksilla

Ydinvoimalaitoksilla käytössä olevat toimintatavat saattavat vaihdella riippuen vallitsevista viranomaisohjeistuksista sekä laitoksilla päätetyistä omista menettelyohjeista. Yhteisenä toimintaperiaatteiden rakentavana pohjana voidaan kuitenkin pitää sitä, että säteilyolosuhteiden seuranta on käyttötilasta riippumatta vuosittain säännöllistä ja saatu säteilymittausdata selkeästi ja mahdollisimman virheettömästi dokumentoitua.

Huoneluokitusprosessin optimoinnin mahdollisuuksien kartoittamisen takia kehitettiin kysely, jossa eri maiden ydinvoimalaitosten säteilyturvallisuuden asiantuntijoilta tiedusteltiin, millaiset heidän edustamansa ydinvoimalaitoksen toimintatavat ovat kyseisen prosessin osalta. Muodostettu sähköpostikysely sisältää yhteensä kahdeksantoista valvonta-alueen vyöhykejakoon ja huoneluokitusprosessin sisältöön liittyvää kysymystä, jotka löytyvät eriteltyinä liitteestä 4.

Kysely lähetettiin viiden eri ydinvoimalaitoksen edustajalle, joista jokaiselta saatiin takaisin vastaukset ennalta määritettyihin kysymyksiin. Vastaanottajille toimitettiin kyselyn ohessa vastaukset kysymyksiin myös Loviisan voimalaitoksen osalta. Vastaukset haluttiin välittää samassa yhteydessä kysymysten kanssa, jotta vastaajat pystyivät vertaamaan (*benchmark*) oman laitoksensa toimintatapojaan välittömästi toisen voimalaitoksen kanssa. Esimerkkivastauksista muut ydinvoimalaitokset näkivät myös sen, millaisia vastausten haluttiin suurin piirtein olevan.

Seuraavien kappaleiden tarkoituksena on esittää vertailussa olleiden ydinvoimalaitosten menettelyissä ilmeneviä eroja ja käsitellä saatuja vastauksia siten, että toimintatavoissa havaittujen samanlaisuuksien ja erojen positiivisia sekä negatiivisia vaikutuksia nostetaan esille. Voimalaitosten vertautuvuutta on pyritty tuomaan esille erilaisten taulukoiden sekä havainnollistavien esimerkkien kautta. Vertailun päätavoitteena on luoda käsitys Loviisan voimalaitoksen tämänhetkisten menettelyjen vertautuvuudesta sekä niiden optimoinnin mahdollisuuksista.

Vyöhykejaon toteutuminen

Valvonta-alueiden huonetilat jaetaan ydinvoimalaitoksesta tai laitostyyppistä riippumatta eri vyöhykkeisiin ulkoisen annosnopeuden, pintakontaminaation sekä ilman radionuklidipitoisuuden perusteella. Vyöhykejako ja huonetilojen lukitsemiseen liittyvät menettelyt määritetään tarpeellisilta osin viranomaisohjeistuksien kautta, mikä vaikuttaa olennaisella tavalla voimalaitosten omien menettelyiden mielivaltaiseen määrittämiseen.

Loviisan voimalaitoksella on ollut koko laitoshistoriansa ajan käytössä YVL C.2 -ohjeen mukainen vyöhykejako, johon ei ole tehty muutoksia. Voimalaitoksen säteilyturvallisuusryhmä on aiempien käyttökokemusten kautta kuitenkin pohtinut tämänhetkisen vyöhykejaon mukauttamista, mikä toimi impulssina vyöhykejaoissa ilmenevien erojen tarkempaan selvittämiseen.

Vertailussa olevien voimalaitosten eri vyöhykkeiden ulkoiselle säteilyannosnopeudelle määritettyjä raja-arvoja sekä säteilysuojellisten lukituskategorioiden toteutumista havainnollistetaan taulukossa 7. Vyöhykejaon määräytymistä on vertailtu taulukossa ainoastaan annosnopeuden raja-arvojen osalta, koska Loviisan voimalaitoksella huonetilojen luokitus määräytyy lähtökohtaisesti annosnopeusarvojen kautta.

Taulukko 7. Voimalaitosten valvonta-alueiden vyöhykejaot ja lukituskategoriat

Laitos	Valvonta-alueen vyöhykejako	Lukituskategoriat
Loviisan voimalaitos (PWR)	Vyöhyke 1 - < 0,025 mSv/h Vyöhyke 2 - 0,025 - 1 mSv/h Vyöhyke 3 - \geq 1 mSv/h	Yksittäislukitus Avain 1 - 0,025 - 1 mSv/h Avain 2 - \geq 1 mSv/h
Vertailulaitos 1 (PWR)	Vyöhyke 1 - < 0,05 mSv/h Vyöhyke 2 - 0,05 - 0,5 mSv/h Vyöhyke 3 - \geq 0,5 mSv/h	Yksittäislukitus Avain 1 - \geq 0,5 mSv/h Kaksoislukitus \geq 100 mSv/h
Vertailulaitos 2 (PWR)	Vyöhyke 1 - < 0,014 mSv/h Vyöhyke 2 - 0,014 - 0,028 mSv/h Vyöhyke 3 - \geq 0,028 mSv/h	Yksittäislukitus Avain 1 - \geq 0,028 mSv/h
Vertailulaitos 3 (BWR)	Vyöhyke 1 - < 0,025 mSv/h Vyöhyke 2 - 0,025 - 1 mSv/h Vyöhyke 3 - \geq 1 mSv/h	Yksittäislukitus Avain 1 - 0,025 - 1 mSv/h Avain 2 - \geq 1 mSv/h
Vertailulaitos 4 (BWR)	Vyöhyke 1 - < 0,025 mSv/h Vyöhyke 2 - 0,025 - 1 mSv/h Vyöhyke 3 - \geq 1 mSv/h	Yksittäislukitus Avain 1 - 0,025 - 1 mSv/h Avain 2 - \geq 1 mSv/h Avain 3 - \geq 30 mSv/h
Vertailulaitos 5 (PWR)	Vyöhyke 1 - < 0,025 mSv/h Vyöhyke 2 - 0,025 - 0,25 mSv/h Vyöhyke 3 - 0,25 - 1 mSv/h Vyöhyke 4 - \geq 1 mSv/h	Yksittäislukitus Avain 1 - 0,25 - 1 mSv/h Avain 2 - \geq 1 mSv/h

Taulukosta 7 voidaan huomata, että vyöhykkeiden annosnopeusarvot määräytyvät suurimmassa osassa vertailtavana olevista voimalaitoksista hyvin samankaltaisesti. Vyöhykejaon toteutuminen pohjautuu vertailulaitoksella 2 suoraan mahdollisesti saatavan säteilyannoksen suuruuteen ja huonetiloissa vietettäviin tuntimääriin, minkä takia määritetyt raja-arvot ovat korkeammilla vyöhykkeillä merkittävästi tarkemmat muihin laitoksiin verrattuna.

Huonetilojen säteilysuojelulliset lukitukset toteutetaan vertailtavana olevilla voimalaitoksilla lukitsemalla ne tilat, joiden huoneluokitus ylittää vyöhykkeelle 2 tai vyöhykkeelle 3 määritetyt raja-arvot. Taulukossa 7 mainitulla yksittäislukituksella tarkoitetaan yhden lukon ja kaksoislukituksella kahden erillisen lukon käyttämistä huonetilan lukitsemisessa. Vertailulaitoksilla 1 ja 4 on tavanomaisien lukitusten lisäksi käytössä WANO:n ohjeistuksia vastaavalla tavalla erilliset lukitukset selkeästi korkeampia annosnopeuksia sisältäville alueille (WANO 2012, 41–42).

Loviisan voimalaitoksella sekä vertailulaitoksilla 3 ja 4 on käytössään laajasti eri annosnopeusarvot kattava keskivyöhyke, jossa annosnopeuksien raja-arvot on määritetty olevan 0,025–1 mSv/h välillä. Loviisan voimalaitoksen säteilyturvallisuusryhmän ja osittain myös kyselyn vastausten perusteella kyseinen vyöhyke koetaan kuitenkin turhan laajaksi muun muassa vuotuisiin annostavoitteisiin ja huonetilojen määriin nähden. Laaja vyöhyke tuo huonetilojen luokitteluun ja niiden lukitsemiseen yksinkertaisuutta, mutta ei itsessään toimi säteilysuojelullisesti optimaalisimpana vaihtoehtona esimerkiksi yleisen seurannan kannalta.

Laajan keskivyöhykkeen ongelmat on vertailulaitoksella 5 ratkaistu hyödyntämällä ylimääräistä vyöhykettä muiden vyöhykkeiden lisänä. Laitoksella vyöhykkeen 2 on määritetty kattavan annosnopeudet 0,025–0,25 mSv/h ja vyöhykkeen 3 vastaavasti 0,25–1 mSv/h välillä. Vastaavanlaisen vyöhykejaon käyttäminen tuo ydinvoimalaitoksen säteilysuojelullisiin menettelyihin välitöntä selkeyttä muun muassa huonetilojen säteilyolosuhteisiin perustuvan tarkemman kategorisoinnin kautta.

Huoneluokituskierrosten suorittamistiheys

Huoneluokituskierrosten suorittamistiheydellä viitataan huoneluokituskontekstissa siihen, kuinka useasti mittauskierroksia tehdään yhden kalenterivuoden aikana. Suorittamistiheyden määrittäminen saattaa vaihdella voimalaitoskohtaisella tasolla merkittävästi riippuen esimerkiksi historiallisen säteilymittausdatan kehittymisestä sekä mittauskierroksilla saaduista käyttökokemuksista.

Riskinarvioon perustuvan huoneluokitustyylin mukaan valvonta-alueen huone-tilan luokittelun suorittamistiheyttä modifioidaan silloin, kun tilan säteilyolosuhteissa havaitaan edellisen mittausperiodin aikana selviä muutoksia. Säteilyolosuhteet tarkastetaan tällöin jaksoittain siis useammin tietyissä ennalta määritetyissä huonetiloissa. Käyttötilasta riippuvaisella huoneluokitustyyllillä tarkoitetaan puolestaan sitä, että luokitustyyli ja -laajuus vaihtuvat voimalaitoksen käyttötilan muuttuessa. Taulukossa 8 demonstroidaan huoneluokituskierroksissa ilmeneviä eroja eri laitosten välillä.

Taulukko 8. Huoneluokituskierrosten sisältö voimalaitoksittain

Laitos	Huoneluokitustyyli	Tilojen luokittelu - käyntijakso	Tilojen luokittelu - vuosihuolto
Loviisan voimalaitos (PWR)	Huonetilojen luokittelu vaihtelee käyttötilasta riippuen	Kaksi kertaa kaikki luoksepäästävät huonetilat	Yhden kerran kaikki reaktorirakennuksen luoksepäästävät huonetilat
Vertailulaitos 1 (PWR)	Riskinarvioon perustuva	Suorittamistiheys vaihtelee – tarkistetaan kaksi kertaa vuodessa	Suorittamistiheys vaihtelee
Vertailulaitos 2 (PWR)	Huonetilojen luokittelu vaihtelee käyttötilasta riippuen	Yhden kerran kaikki luoksepäästävät huonetilat	Yhden kerran kaikki reaktorirakennuksen luoksepäästävät huonetilat
Vertailulaitos 3 (BWR)	Riskinarvioon perustuva	Yhden kerran ~ 30 % kaikista luoksepäästävistä huonetiloista, kaikki huonetilat kerran viidessä vuodessa	Yhden kerran kaikki huonetilat, jotka eivät ole luoksepäästäviä tehoajolla
Vertailulaitos 4 (BWR)	Kaikki luoksepäästävät huonetilat luokitellaan jokaisella kierroksella	Yhden kerran kaikki luoksepäästävät huonetilat	Yhden kerran kaikki luoksepäästävät huonetilat
Vertailulaitos 5 (PWR)	Huonetilojen luokittelu vaihtelee käyttötilasta riippuen	Neljä kertaa kaikki luoksepäästävät vyöhykkeiden 1 ja 2 huonetilat ja kerran kaikki vyöhykkeiden 3 ja 4 huonetilat	Yhden kerran kaikki luoksepäästävät huonetilat

Kolmella vertailulaitoksella kierrosten tekeminen pohjautuu voimalaitoksen käyntijakson aikana riskinarvioon perustuvaan lähestymistapaan ja toisella kolmella vertailulaitoksella siihen, että lähtökohtaisesti kaikki luoksepäästävät huonetilat luokitellaan jokaisella kierroksella. Vuosihuoltojen aikana luokitustyyliä voidaan havaita vastaavalla tavalla vaihtelua laitoksesta riippuen.

Kuudesta voimalaitoksesta kolme toteuttaa huoneluokituskierroksia yhtenä ajankohtana käyntijakson aikana. Loviisan voimalaitoksella sekä vertailulaitoksilla 1 ja 5 mittauskierroksia toteutetaan sen sijaan useamman kerran käyntijakson aikana. Käyntijakson toistuvat mittausajankohdat voidaan mieltää olevan aiheellisia silloin, kun jokaista huonetilaa ei luokitella samalla kerralla tai huonetiloissa vallitsevat säteilyolosuhteet muuttuvat säännöllisesti.

Vertailulaitokset 1, 3 ja 5 hyödyntävät käyntijaksojen aikana ainakin osittain riskinarvioon perustuvaa luokitustyyliä. Toimintaperiaate poikkeaa oleellisella tavalla Loviisan voimalaitoksen menettelyistä, joissa on määritetty, että kaikki luoksepäästävät huonetilat luokitellaan kaksi kertaa voimalaitoksen yhden käyntijakson aikana. Loviisan voimalaitoksen säteilymittausdatan kehittymistä sekä keskihajontoja analysoimalla voidaan kuitenkin osoittaa, että käyntijaksoilla eri ajankohtina mitatut yleistasoarvot pysyvät toisiinsa verrattuna suhteellisen tasaisina. Säteilytasojen jatkuvaa muuttumista ei täten voida pitää validina perusteena toistuvalla mittausajankohdalla, minkä vuoksi toisen mittauskierroksen hyödyn voidaan mieltää jäävän alhaiseksi.

Vuosihuoltojen aikana vertailulaitokset 4 ja 5 luokittelevat käyntijaksoja vastaavalla tavalla kaikki luoksepäästävät huonetilat, toisin kuin Loviisan voimalaitos ja vertailulaitos 2, joissa luokittelu keskittyy vain huoltotilassa olevan laitoksen reaktorirakennuksen huonetiloihin. Säteilyolosuhteiden laaja-alaisen tarkastamisen voidaan mieltää olevan aiheellista myös vuosihuoltojen aikana, sillä prosessin tila muuttuu käyttötilan vaihtumisen myötä. Mittauskierrosten tekeminen vain tiettyjen huonetilojen osalta heikentää osaltaan merkittävästi säteilytasojen vaihteluiden seurantaan, etenkin jos kaikkien rakennusten osalta ei ole saatavilla aiempaa säteilymittausdataa.

Valvonta-alueen huonetilojen luokitteluperiaatteet

Huonetilojen rutiininomainen luokittelu tehdään kaikilla ydinvoimalaitoksilla viranomaisohjeistuksien määrittelemänä annosnopeus-, pinta- ja ilmakontaminaatioarvojen perusteella. Jos huonetilassa ei normaalitilanteissa esiinny pinta- tai ilmakontaminaatiota, voidaan luokittelu tehdä pelkästään annosnopeusmittausten perusteella. Mikäli tilassa kuitenkin esiintyy tai saattaa esiintyä

kontaminaatiota, tehdään huoneluokituskierroksilla mittaukset myös pinta- tai ilmakontaminaation osalta.

Loviisan voimalaitoksella pintakontaminaation takia oranssiksi luokiteltuja huonetilajoja ovat komponenttien dekontaminointitilat, aktiivisen jätteen käsittelytilat sekä käytetyn polttoaineen varasto. Kyseiset huonetilat on säteilysuojellisesti rajattu kiinteiden kenkäräjojen sisäpuolelle jatkuvan pintakontaminaation leviämiskäytävien takia. Vaikka tilat luokitellaan pintakontaminaation perusteella oransseiksi, ei kontaminaatoriskiä eritellä virallisiin kuvassa 6 näkyviin huoneluokituskyltteihin, vaan ainoastaan ns. lisäkenkäräjoilla käytettyihin kenkäräjojen kyltteihin. Usealla muulla ydinvoimalaitoksella vyöhykejako tiedot tuodaan suoraan säteilyn, pintakontaminaation sekä ilmakontaminaation eli kaikkien säteilyn esiintymismuotojen osalta esille myös tilojen huoneluokituskylteissä.

Kuva 19 havainnollistaa huoneluokituskierroksilla tehtävien säteilymittausten voimalaitoskohtaista vaihtelua. Vastauksista voidaan huomata, että neljä voimalaitosta tekee säteilymittaukset lähtökohteisesti ainoastaan annosnopeuksien osalta. Laaja-alaisen ja huonetilakohtaisen kontaminaatioseurannan hyötyinä voidaan kuitenkin pitää sitä, että kontaminaation tiedostamaton esiintyminen huomataan ennen sen mahdollista leviämistä yleisille kulkureiteille. Mikäli pintakontaminaatoriskin sisältävät huonetilat on toisaalta jo erikseen eritelty, voidaan säännöllisesti toteutettavan huonetilakohtaisen kontaminaatioseurannan todellisia hyötyjä myös osaltaan kyseenalaistaa.

Laitos	Yleistaso	Korkeammat annosnopeudet	Kuumat pisteet / hotspotit	Pintakontaminaatio	Ilmakontaminaatio
Loviisan voimalaitos (PWR)	✓	✓	✓	Tarvittaessa	Tarvittaessa
Vertailulaitos 1 (PWR)	✓	✓	✓	✓	Tarvittaessa
Vertailulaitos 2 (PWR)	✓	✓	✓	✓	Tarvittaessa
Vertailulaitos 3 (BWR)	✓	✓	✓	Tarvittaessa	Tarvittaessa
Vertailulaitos 4 (BWR)	✓	✓	✓	Tarvittaessa	Tarvittaessa
Vertailulaitos 5 (PWR)	✓	✓	✓	Tarvittaessa	Tarvittaessa

Kuva 19. Huoneluokituskierroksilla tehtävät säteilymittaukset

Säteilymittausten suorittamis- ja dokumentointivastuut

Säteilymittausten oikeaoppinen tekeminen on tärkeää mittaustulosten validiuden kannalta. Ydinvoimalaitoksilla säteilyturvallisuudesta vastaavat ryhmät tekevät säteilymittauksia annettujen koulutusten sekä ennalta määritettyjen toimintatapojen ja ohjeistuksien kautta. Huonetilojen yleistasojen ja korkeampien annosnopeuksien määrittely tehdään tyypillisesti mittaajan määrittelemänä, mikä saattaa näkyä mittaustulosten vaihtelevuutena pitkän ajanjakson mitausdatan tarkastelussa.

Säteilymittausten suorittamista varten laaditut ohjeistukset auttavat tulosten seuraamista pysymään selkeänä, koska tällöin lukemien määrittely ei jää täysin mittaajan vastuulle. Ohjeistuksien mukaan toimiminen esimerkiksi huonetilan yleistason määrittämisessä tuo varmuutta pitkän aikavälin seurantaan ja toimii osaltaan myös ALARA-periaatteen näkökulmasta perusteltuna vaihtoehtona. Negatiivisena puolena määritettyjen ohjeiden kautta mittaamisessa voidaan toisaalta pitää sitä, että mittaustulokset eivät välttämättä vastaa optimaalisimmalla tavalla säteilyolosuhteiden muuttumista huonetilan eri osissa.

Säteilymittausten tekovastuut ja ennalta määritetyt ohjeistukset on eritelty voimalaitoksittain taulukossa 9. Taulukosta voidaan huomata, että neljällä voimalaitoksella mittaustyyli ja lukemien määrittely on pääasiassa mittaajan vastuulla.

Taulukko 9. Säteilymittausten suorittaminen huoneluokituskerroksilla

Laitos	Säteilymittausten suorittaminen
Loviisan voimalaitos (PWR)	Mittaustyyli ja lukemien määrittely mittaajan vastuulla
Vertailulaitos 1 (PWR)	Mittaustyyli ja lukemien määrittely mittaajan vastuulla
Vertailulaitos 2 (PWR)	Mittaustyyli ja lukemien määrittely mittaajan vastuulla
Vertailulaitos 3 (BWR)	Yleistaso määritetään huonetilan yleiseltä kulkureitiltä metrin korkeudelta lattiatasosta, muuten mittaustyyli ja lukemien määrittely mittaajan vastuulla
Vertailulaitos 4 (BWR)	Mittaustyyli ja lukemien määrittely mittaajan vastuulla
Vertailulaitos 5 (PWR)	Yleistaso määritetään metrin etäisyydeltä huonetilan ovelta, muuten mittaustyyli ja lukemien määrittely mittaajan vastuulla

Huoneluokituskierroksen suorittajan kannalta säteilymittausten tekemisen lisäksi merkittävänä vaiheena voidaan pitää saatujen mittaustulosten dokumentointia, sillä mittauservot täytyy saada tallennettua johonkin pysyvään paikkaan viiveettä sekä mahdollisimman virheettömässä muodossa. WANO ja DOE suosittelee ohjeistuksissaan dokumentointivaiheeseen liittyen muun muassa erillisen henkilön hyödyntämistä kierroksilta saatujen mittauservojen tarkistuksissa (WANO 2012, 39; U.S. Department of Energy 2017, 5–15).

Kuvasta 20 voidaan tarkastella dokumentointiin liittyvien vastuiden jakautumista voimalaitoskohtaisesti. Neljä vertailulaitosta käyttää dokumentoinnissa kahta vastuuhenkilöä: huoneluokituskierroksen suorittajaa sekä mittaustulosten tarkastajaa. Loviisan voimalaitoksella sekä vertailulaitoksella 5 tulosten dokumentointi on ainoastaan huoneluokituskierroksen suorittajan vastuulla.

Laitos	Kierroksen suorittajan vastuulla	Kierroksen suorittajan ja erillisen tarkastajan vastuulla
Loviisan voimalaitos (PWR)	✓	
Vertailulaitos 1 (PWR)		✓
Vertailulaitos 2 (PWR)		✓
Vertailulaitos 3 (BWR)		✓
Vertailulaitos 4 (BWR)		✓
Vertailulaitos 5 (PWR)	✓	

Kuva 20. Dokumentointivastuiden jakautuminen eri voimalaitoksilla

Dokumentointivastuut jakautuvat WANO:n ja DOE:n ohjeistuksien mukaisesti siis neljällä vertailulaitoksella. Mittaustulosten dokumentoinnin tapahtuessa kahden eri henkilön avulla, käyvät tulosten kirjaamisessa mahdollisesti tapahtuvat inhimilliset kirjoitus- ja kirjausvirheet todennäköisemmin ilmi. Huonetilojen säteilytasoissa tapahtuvat muutokset huomataan lisäksi tehokkaammin, kun useampi henkilö käsittelee samoja mittauservoja eri ajankohtana. Erillisen tarkastajan hyödyntämisen tärkeys nousee esille etenkin silloin, kun kirjoitus- ja kirjausvirheiden tallentamismahdollisuus on tunnistetusti olemassa.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Loviisan voimalaitoksen huoneluokitusprosessin sisältö sekä mittauskierrosten suorittamistiheys ovat mahdollistaneet säteilyolosuhteiden selkeän ja suhteellisen kattavan kartoituksen vuosikymmenien ajalta. Huoneluokituskierrosten aikana säännöllisesti dokumentoitu mittausdata kuvastaa yksiselitteisesti voimalaitoksen valvonta-alueen huonetilojen säteilytasojen kehittymistä sekä osassa huonetiloissa vallitsevaa pitkän aikavälin stabiiliutta.

Säteilyolosuhteiden seurannan laajuuden ja säteilymittausten toistuvuuden määrittämisen tulisi ideaalitulanteessa pohjautua aiempaan säteilymittausdataan sekä säteilytasojen vaihtelun todennäköisyyteen. Säännöllisesti toteutettavat mittauskierrokset olisi lisäksi tarkoituksenmukaista keskittää lähtökohtaisesti aktiivisessa käytössä oleville alueille ja huonetiloihin. Säteilymittauskierrosten suorittamistiheyden tulisi olla johdonmukainen olemassa olevien vaarojen kanssa, minkä takia muun muassa säteilytasoiltaan muuttumattomien huonetilojen säännöllistä mittaamista voidaan osaltaan kyseenalaistaa. (WANO 2012, 38–39; U.S. Department of Energy 2017, 5–14.)

Huoneluokitusprosessiin liittyviä menettelyitä voidaan lähestyä useasta eri näkökulmasta. Ydinvoimalaitoksilla käytössä olevat menettelyt ja toimintatavat saattavat poiketa toisistaan laitostyyppistä riippuen, mikä on otettava huomioon laitosten toiminnan laaja-alaisessa analysoinnissa. Tilojen säännöllisessä luokittelussa riskinarvioon perustuvan luokitustyylin voidaan mieltää olevan laitostyyppistä riippumatta kaikista optimaalisin tapa luokitella huonetiloja, mutta eri luokitustyyliin kuuluvien toimintatapojen yhdistäminen muodostaa yhtäläillä monia varteenotettavia vaihtoehtoja.

Tämän opinnäytetyön johtopäätöksissä on tarkoitus tuoda esille Loviisan voimalaitoksen huoneluokitusprosessin optimoinnin mahdollisuuksia säteilyolosuhteiden kehittymisessä tunnistettujen trendien sekä voimalaitosvertailun pohjilta. Kehitysehdotukset on jäsennelty eri väliotsikoiden alle selkeyttämisen vuoksi.

Huoneluokituskierrosten suorittamistiheyden optimointi

Säteilyolosuhteiden seuranta tehdään tällä hetkellä Loviisan voimalaitoksella käyntijakson aikana lähtökohtaisesti kaikissa valvonta-alueen luoksepäästävissä huonetiloissa kahtena erillisenä mittausajankohtana. Kyseinen luokitusyyli poikkeaa jokaisen tässä työssä esitetyn vertailulaitoksen lähestymistavasta. Analysoidun säteilymittausdatan pohjilta perustellumpia lähestymistapoja jatkoa ajatellen olisivat huoneluokituskierrosten suorittamistiheyden alentaminen tai vaihtoehtoisesti luokitustyylin muokkaaminen vastaamaan säteilyvaaran esiintymistä ja säteilytasojen vaihtelevuuden todennäköisyyttä.

Mikäli huoneluokituskierrokset halutaan pitää sellaisena, että lähtökohtaisesti jokainen luoksepäästävä huoneta luokitellaan säännöllisten mittauskierrosten aikana, olisi säteilymittausdatan ja saatujen käyttökokemusten pohjilta perusteltua poistaa toinen käyntijakson aikana tehtävistä mittausajankohdista. Huoneluokituskierrokset tehtäisiin tällöin jatkossa yhden kerran käyntijakson ja yhden kerran vuosihuollon aikana. Käyntijakson huoneluokituskierrosten suorittaminen olisi mittauskierrokselta saatavan hyödyn maksimoimiseksi optimaalisinta ajoittaa aina heti vuosihuoltojen jälkeen syyskaudelle.

Kesän huoneluokituskierrokset tehdään tyypillisesti hieman ennen vuosihuoltojen alkamista, minkä takia niistä saatava hyöty jää ajantasaisuuden osalta melko alhaiseksi. Talvikaudella tehtävä mittauskierros on kesän kierrosta hyödyllisempi, koska silloin vuosihuoltojen jälkeiset säteilyolosuhteissa tapahtuneet muutokset havaitaan ja dokumentoidaan ensimmäisen kerran. Kun suhteellisen tasaisina pysyvät säteilytasoarvot dokumentoidaan jo käyntijakson alussa, ei toiselle mittausajankohdalle jää useita valideja perusteluita.

Vuosihuoltojen aikana tilojen säteilyolosuhteet on tarkastettu vuosikymmenien ajan ainoastaan laitosyksiköiden reaktorirakennusten osalta. Apurakennusten säteilytasoissa mahdollisesti tapahtuneita muutoksia ei täten ole mitattu tai dokumentoitu ollenkaan. Säteilymittaustietojen vajavaisuuden takia myös liitteiden 1 ja 2 yleistasoarvojen kehittymisen analysoinnissa keskityttiin ainoastaan käyntijaksojen aikana saatujen mittaustulosten vaihtelevuuden esittämiseen. Operatiivisen säteilysuojelun ei tulisi kuitenkaan perustua olettamuksiin, kun

huonetilojen säteilyolosuhteet on mahdollista tarkistaa suhteellisen laaja-alaisesti laitoksen käyttötilasta riippumatta.

Mainittujen asioiden nojalla ehdotuksena on, että Loviisan voimalaitoksella huoneluokituskierruksia suoritettaisiin jatkossa yhden kerran laitoksen käyntijakson sekä yhden kerran vuosihuollon aikana. Käyntijakson aikainen mittauskierrros olisi optimaalisinta ajoittaa syyskaudelle siten, että sen tekeminen tapahtuisi mahdollisimman pian vuosihuollon valmistumisen jälkeen. Huonetilojen säteilyolosuhteiden seurannan tulisi painottua jatkossa myös selkeämmin sellaisiin luoksepäästäviin huonetiloihin, joissa säteilyolosuhteet muuttuvat tai ovat alttiita muuttumaan. Säännölliseen luokitteluun olisi täten aiheellista sisällyttää jatkoa ajatellen riskinarvioon perustuvasta luokitustyylistä se, että taulukossa 6 ja liitteessä 3 esille nostettujen säteilytasoiltaan muuttumattomien huonetilojen säteilyolosuhteita ei tarkistettaisi yhtä useasti kuin kaikkien muiden luoksepäästävien tilojen säteilyolosuhteita.

Saatavilla olevien säteilymittaustulosten vajavaisuuksien vuoksi mittauksia olisi jatkossa tarkoituksenmukaista tehdä vuosihuoltojen aikana määritetyin aikaväleihin pelkkien reaktorirakennusten lisäksi myös muissa rakennuksissa. Käyntijakson huoneluokituskierruksia vastaavilla laaja-alaisilla kierroksilla saataisiin muutaman mittausajankohdan kautta alustavasti selvitettyä ne reaktorirakennuksen ulkopuoliset huonetilat, joissa säteilyolosuhteet muuttuvat tai ovat alttiita muuttumaan käyttötilan vaihtumisen myötä. Mikäli mittaustulokset osoittavat, että säteilytasot vaihtelevat vuosihuolloissa tehoajoa vastaavalla tavalla vain tietyissä huonetiloissa, voidaan vuosihuollon aikaisia huoneluokitusreittejä perustellusti muokata vastaamaan paremmin tunnistettuja riskejä.

Huoneluokitusreittien muokkaaminen

Huoneluokitusreittejä on muokattu vuosien saatossa erilaisten havaintojen ja käyttökokemusten pohjalta, mikä on vaikuttanut osittain negatiivisesti reittien sisällön johdonmukaisuuteen. Huoneluokitusreitit tulisi tämän vuoksi systemaattisesti tarkistaa, jotta niissä ilmenevät poikkeamat ja laitossyksiköiden väliset eroavaisuudet tunnistetaan ja käsitellään asianmukaisella tavalla.

Reittien muokkaamisessa on kiinnitettävä huomiota erityisesti reaktorihallien reitteihin, sillä laitosyksiköiden välillä esiintyvät erot ovat muun muassa taulukon 4 mukaan kyseisillä reiteillä merkittävimpiä. Kokonaisvaltainen muokkaus on todennäköisesti yksinkertaisinta toteuttaa siten, että vanhojen huoneluokitusreittien pohjalta muodostetaan täysin uudet reitit päivitettyjen kriteerien kautta. Muokkausten aikana on oleellista kiinnittää huomiota huonetilojen poistamisen tai lisäämisen lisäksi säteilymittausten suoritusjärjestyksiin, mikäli myös niiden muokkaamisen koetaan olevan relevanttia.

Loviisan voimalaitoksen käyntijakson aikaiset huoneluokitusreitit olisi optimallisinta muodostaa siten, että ne kattavat jatkossa aiemmin mainitulla tavalla vain huonetilat, joissa säteilytasot muuttuvat tai saattavat muuttua vuosittain. Taulukossa 6 ja liitteessä 3 eriteltyt säteilytasoiltaan pitkään muuttumattomana olleet huonetilat eivät tämän perusteella enää jatkossa lukeutuisi vuosittain säännöllisesti suoritettaviin huoneluokituskierroksiin. Kyseisten huonetilojen siirtäminen pois ns. pääreiteiltä lyhentäisi huoneluokitusreittejä merkittäväällä tavalla, mikä itsessään taas auttaisi mittaus- ja dokumentointivaiheista aiheutuvan työkuorman optimoinnissa.

Säteilyolosuhteiden seurannan virallisten vaatimusten vuoksi myös vuotuisilta reiteiltä mahdollisesti pois siirrettyjen säteilytasoiltaan muuttumattomien huonetilojen säteilyolosuhteet pitäisi kuitenkin perustellusti tarkistaa määritetyin aikavälein. Eritellyille huonetiloille olisi tästä syystä johdonmukaista luoda uudet reitit, joille määritettäisiin oma suorittamistiheys. Mittaustulosten pitkän ajan tasaisuuden vuoksi tilojen säteilyolosuhteiden tarkastaminen voitaisiin määritellä toteutettavaksi esimerkiksi neljän vuoden välein. Uusien reittien muodostamisessa hyvänä puolena olisi lisäksi se, että reiteille voitaisiin tulevaisuudessa lisätä myös muita säteilytasoiltaan erittäin alhaisia tai muuten säännöllistä seuranta tarvitsemattomia huonetiloja.

Säteilymittaustulosten dokumentointi

Laitostietojärjestelmä ja sen toiminnot kuuluvat huoneluokitusprosessiin olennaisella tavalla ja ovat isossa roolissa mittauskierröksillä saatujen säteilymittaustulosten dokumentoinnissa sekä tarkastelussa. Järjestelmä ei kuitenkaan

ole säteilymittaustulosten dokumentoijan näkökulmasta tällä hetkellä optimaalinen muun muassa mittaustietojen kirjoitus- tai kirjausvirheiden kirjausmahdollisuuksien osalta.

Säteilymittaustulosten virheetön dokumentointi on Loviisan voimalaitoksella lähtökohtaisesti huoneluokituskierroksen tekevän henkilön eli yhden henkilön vastuulla. Dokumentoinnissa virheet tapahtuvat tyypillisesti siirrettäessä käsin kirjoitettuja arvoja laitostietojärjestelmään, minkä vuoksi kyseiseen vaiheeseen liittyvien tekijöiden selkeyttämisen voidaan mieltää olevan relevanttia. Virhekirjauksien mahdollistajana voidaan osittain pitää sitä, että järjestelmä ei anna varoitusta kirjatun arvon merkittävästä poikkeavuudesta esimerkiksi vyöhykejakoon tai edellisellä kierroksella dokumentoituihin mittaustuloksiin verrattuna. Virhekirjauksien edesauttajaksi voidaan lisäksi nostaa se, että säteilymittaustulokset täytyy kirjata laitostietojärjestelmään ns. käänteisessä järjestyksessä verrattuna kierroksella täytettävään mittausarvotaulukkoon.

Luvussa 6.1 käsiteltyjen huonetilakohtaisten mittapisteiden varoitusrajojen määrittämistä ja toiminnon käyttöönottoa olisi perusteltua harkita mittaustulosten virheettömän dokumentoinnin varmistamiseksi. Varoitusrajojen muokkamista voitaisiin pyrkiä toteuttamaan esimerkiksi siten, että tilojen yleistasomittapisteiden varoitusrajoina käytettäisiin vyöhykejaon mukaisia annosnopeuden raja-arvoja. Varoitusrajojen modifiointi ei poistaisi virhekirjauksien mahdollisuutta, mutta estäisi huoneluokituksesta poikkeavan korkean yleistasolukeman kirjaamisen tietyille huonetilalle. Vaihtoehtoisesti jonkun toisen erillisen varoittavan toiminnon kehittämistä sekä sen sisällyttämistä dokumentointialustalle voitaisiin pitää vastaavalla tavalla validina kehitysehdotuksena.

Laitostietojärjestelmään dokumentoituja mittaustuloksia tarkasteltaessa kirjoitus- ja kirjausvirheitä voidaan todistaa tapahtuneen useiden eri vuosien aikana. Dokumentoinnin varmennuksessa hyödynnetään usealla ydinvoimalaitoksella huoneluokituskierroksen suorittajan lisäksi erillistä tarkastajaa, mikä auttaa kirjoitus- ja kirjausvirheiden määrän minimoimisessa mahdollisesti merkittävälläkin tavalla. Säteilymittaustulosten analysoinnissa tehtyjen havaintojen nojalla myös Loviisan voimalaitoksella olisi tarkoituksenmukaista käyttöönottaa kyseinen toimintamalli omien menettelyidensä ohella.

Vyöhykejaon mukauttaminen

Loviisan voimalaitoksella käytössä oleva YVL C.2 -ohjeen mukainen vyöhykejako on selkeä, mutta ei välttämättä optimaalisin valvonta-alueen huonetilojen säteilytasojen alhaisuuden sekä tasaisuuden näkökulmasta. Vyöhykejaossa määritetty oranssi vyöhyke kattaa tällä hetkellä suuren osan valvonta-alueen säteilevistä huonetiloista, eikä tilannetta voida pitää säteilyaltistuksen seurannan tai tilojen kategorisoinnin kannalta ihanteellisena. Ylimääräisten vyöhykkeiden lisääminen voimalaitoksen tämänhetkiseen vyöhykejakoon toisi huonetilojen jaotteluun sekä lukitsemiseen yksiselitteisyyttä.

Oranssiksi luokitelluissa huonetiloissa vallitsee liitteiden 1 ja 2 mittaustulosten osoittamalla tavalla huoneluokituksen raja-arvoihin verrattuna alhaiset sekä tasaiset säteilytasot. Uusi vyöhyke olisi täten perusteltua sisällyttää oranssin luokituksen raja-arvojen sisäpuolelle siten, että se kattaisi kaikki merkittävästi enemmän säteilevät oranssiksi luokitellut huonetilat. Yksinkertaisin vaihtoehto olisi hyödyntää oranssin vyöhykkeen kanssa samoja numeroita ja määrittää vyöhykkeen olevan alaraja-arvoltaan 0,25 mSv/h ja yläraja-arvoltaan 1 mSv/h.

Uuden välivyöhykkeen tai luokan avulla kaikki merkittävästi säteilevämmät huonetilat saataisiin eriteltyä paremmin ja halutessaan lukittua vahvemman säteilysuojelluksen taakse. Huonetilojen lukitukset olisi järkevintä hoitaa kulunvalvonnan helpottamiseksi esimerkiksi siten, että vyöhykkeeseen kategorisoituville huonetiloille asetettaisiin konservatiivisesti ajateltuna korkein käytössä oleva luoksepäästävien tilojen säteilysuojellinen lukitus.

Mikäli vallitsevaa vyöhykejakoa lähdetään mukauttamaan, tulisi modifioinnin aikana huomioida myös merkittävästi korkeampia annosnopeuksia sisältävien huonetilojen erilliseen lukitsemiseen liittyvät menettelyt, joita muun muassa WANO korostaa ohjeistuksissaan. Ohjeistuksien mukaan erittäin korkeita annosnopeuksia sisältävät huonetilat tulisi olla erikseen lukittuja ja niihin kulminen vahvasti kontrolloitua (WANO 2014, 41–42). Loviisan voimalaitoksella olisi johdonmukaista hyödyntää vastaavanlaisia menettelyitä, jotta työntekijöiden säteilyturvallisuus saadaan varmistettua entistä tehokkaammin.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä keskityttiin Loviisan voimalaitoksen huoneluokitusprosessin sisältöön sekä syvennyttiin erityisesti säännöllisesti suoritettavien huoneluokituskierrosten optimoinnin mahdollisuuksiin. Työn pääsisältö on jaoteltu pääasiassa lukujen 6 ja 7 alle, joita pohjustaa työn kirjallisuusosiossa esille nostetut asiakokonaisuudet. Tärkeimmistä havainnoista muodostettiin työn lopussa konkreettisia ehdotuksia, joita Loviisan voimalaitoksen säteilyturvallisuusryhmä voi jatkossa hyödyntää huoneluokitusprosessiin liittyvien toimintatapojen kehittämisessä.

Opinnäytetyössä saatiin selvitettyä, että Loviisan voimalaitoksen huoneluokitusprosessi on tällä hetkellä toimiva, mutta sisältää eri kategorioissa myös kehityskohteita. Saatavilla olevan säteilymittausdatan käsittelyssä huomattiin, että voimalaitoksen valvonta-alueen huonetilojen yleistasojen vaihtelut pysyvät käyntijaksojen aikana niin alhaisina, että tilojen huoneluokituksia ei tarvitse vaihdella säännöllisesti vuosittain. Säteilytasojen tasaisuuteen nähden voimalaitoksella tehdään huoneluokituskierroksia käyntijaksojen aikana tarpeettoman useasti, mikä itsessään kuormittaa säteilyturvallisuusryhmän työntekijöitä ylimääräisellä tavalla. Ydinvoimalaitosten välisessä vertailussa voitiin lisäksi nähdä, että Loviisan voimalaitoksen huonetilojen luokitteluun liittyvät toimintatavat ovat kansainvälisesti muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta melko tavanomaisia.

Opinnäytetyö oli oppimisprosessina opettavainen, sillä aihe oli laaja ja käsiteltävää asiaa oli huomattava määrä. Tarkasteltujen kokonaisuuksien laaja-alaista ymmärtämistä on pyritty tuomaan työssä esille huoneluokitusprosessiin liittyvien menettelyiden monipuolisen käsittelyn sekä saatavilla olevan säteilymittausdatan syvällisen analysoinnin kautta. Lopputulokset olivat osittain oletettuja, mutta tehtyjen selvitysten kautta oletuksiin saatiin myös tietynlaista varmuutta. Jatkoselvityksenä aiheeseen liittyen ehdotetaan laitostietojärjestelmän optimointimahdollisuuksien spesifimpää kartoittamista sekä vuosihuollon aikaisten säteilymittaustulosten perusteellista analysointia, mikäli laaja-alaisempia mittaustuloksia saadaan kerättyä seuraavien vuosihuoltojen aikana.

LÄHTEET

Alm-Lytz, K., Riihiluoma, V. & Vilkamo, O. 2004. Ydinenergian normaalikäytön säteilyvaikutukset. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://stuk.fi/documents/150192312/162661266/kirja5-4-ydinturvallisuus-ydinenergian-normaalikayton-sateilyvaikutukset.pdf> [viitattu 5.2.2023].

Canadian Nuclear Safety Commission. 2019. Types and sources of radiation. WWW-sivusto. Saatavissa: <https://nuclearsafety.gc.ca/eng/resources/radiation/introduction-to-radiation/types-and-sources-of-radiation.cfm?pe-disable=true> [viitattu 22.3.2023].

Energiateollisuus ry. 2023. Energiavuosi 2022, Sähkö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://energia.fi/tilastot/energiavuosi-2022-sahko/> [viitattu 12.7.2023].

Eurasto, T., Hyvärinen, J., Järvinen, M., Sandberg, J. & Sjöblom, K. 2004. Ydinvoimalaitostekniikan perusteita. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://stuk.fi/documents/150192312/162661266/kirja5-2-ydinturvallisuus-ydinvoimalaitostekniikan-perusteita.pdf> [viitattu 5.2.2023].

Fortum Oyj. 2023a. Voimalaitoksen toiminta. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/energiantuotanto/voimalaitoksemme/loviisan-voimalaitos/voimalaitoksen-toiminta> [viitattu 5.2.2023].

Fortum Oyj. 2023b. Ydinturvallisuus Loviisan voimalaitoksella. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/energiantuotanto/voimalaitoksemme/loviisan-voimalaitos/ydinturvallisuus> [viitattu 10.2.2023].

Fortum Power and Heat Oy. 2004. Loviisan voimalaitoksen uudet kiinteät säteilymonitorit. Loviisan voimalaitos. PDF-dokumentti. Ei julkisesti saatavissa.

Fortum Power and Heat Oy. 2019. EHSQ-kurssi, syksy 2019. Loviisan voimalaitos. PDF-dokumentti. Ei julkisesti saatavissa.

Fortum Power and Heat Oy. 2022a. Pyyhkäisynäytekierron -kartat. Loviisan voimalaitos. PDF-dokumentti. Ei julkisesti saatavissa.

Fortum Power and Heat Oy. 2022b. Tervetuloa töihin Loviisan voimalaitokselle. Loviisan voimalaitos. PDF-dokumentti. Ei julkisesti saatavissa.

Fortum Power and Heat Oy. 2022c. Yleiskuvaus, osa 2, RL pääsyöttövesijärjestelmä, versio 2.0. Loviisan voimalaitos. PDF-dokumentti. Ei julkisesti saatavissa.

Fortum Power and Heat Oy. 2022d. Yleiskuvaus, osa 2, YC reaktori, versio 2.0. Loviisan voimalaitos. PDF-dokumentti. Ei julkisesti saatavissa.

Fortum Power and Heat Oy. 2023a. Layout-kuvat. Loviisan voimalaitos. PDF-dokumentti. Ei julkisesti saatavissa.

Fortum Power and Heat Oy. 2023b. Laitostietojärjestelmä. Loviisan voimalaitos. Ei julkisesti saatavissa.

Fortum Power and Heat Oy. 2023c. Yleiskuvaus, osa 2, SA höyryturbiini, versio 2.0. Loviisan voimalaitos. PDF-dokumentti. Ei julkisesti saatavissa.

Hirvelä, M. 2021. MARC-mittausten menettelyt. Loviisan voimalaitos. PDF-dokumentti. Ei julkisesti saatavissa.

Kontio, T. 2019. Säteilysojelutoiminta. Loviisan voimalaitos. PDF-dokumentti. Ei julkisesti saatavissa.

Kontio, T. & Hirvelä, M. 2022. Säteilysojelu Loviisan voimalaitoksella. Loviisan voimalaitos. PDF-dokumentti. Ei julkisesti saatavissa.

Lavonen, J. 2021. Loviisan voimalaitoksen järjestelmien ja rakenteiden aktiivisuuden kehitys, tarkastelujakso 2015-2020. Loviisan voimalaitos. PDF-dokumentti. Ei julkisesti saatavissa.

Lehtonen, H. 2021. Primääripiirin pääjärjestelmät ja komponentit. Loviisan voimalaitos. PDF-dokumentti. Ei julkisesti saatavissa.

Marttila, O. 2002. Suureet ja yksiköt. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://stuk.fi/documents/150192312/162661266/kirja1-2-sateily-ja-sen-havaitseminen-suureet-ja-yksikot.pdf> [viitattu 15.3.2023].

Mattila, E. 2020. Säteilysojelu suunnittelu ja työmääräimien säteilyturvallisuuskäsittely. Loviisan voimalaitos. PDF-dokumentti. Ei julkisesti saatavissa.

Mustonen, R. & Salo, A. 2002. Säteily ja solu. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://stuk.fi/documents/150192312/162661266/kirja4-2-sateilyn-terveysvaikutukset-sateily-ja-solu.pdf> [viitattu 20.3.2023].

Pöllänen, R. 2003. Radioaktiiviset aineet, säteily ja ympäristö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://stuk.fi/documents/150192312/162661266/kirja2-1-sateily-ymparistossa-radioaktiiviset-aineet.pdf> [viitattu 22.3.2023].

Salminen, L. 2021. Tilojen luokittelu ja säteilyolosuhteiden seuranta, versio 10.2. Loviisan voimalaitos. PDF-dokumentti. Ei julkisesti saatavissa.

Sandberg, J. & Paltemaa, R. 2002. Ydin- ja säteilyfysiikan perusteet. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://stuk.fi/documents/150192312/162661266/kirja1-1-sateily-ja-sen-havaitseminen-perusteet.pdf> [viitattu 20.3.2023].

Säteilylaki 9.11.2018/859.

Säteilyturvakeskus (STUK). 1992. Ydinvoimalaitosten työntekijöiden säteilysojelu. PDF-dokumentti. Ei julkisesti saatavissa.

Säteilyturvakeskus (STUK). 2009. Säteilyturvallisuus työpaikalla. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/ST1-6> [viitattu 9.3.2023].

Säteilyturvakeskus (STUK). 2019a. Ydinlaitoksen säteilymittaukset. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLC-6> [viitattu 3.4.2023].

Säteilyturvakeskus (STUK). 2019b. Ydinlaitoksen työntekijöiden säteilysuojelu ja säteilyaltistuksen seuranta. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLC-2> [viitattu 20.2.2023].

Säteilyturvakeskus (STUK). 2019c. Ydinvoimalaitoksen primääripiiri. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.stuklex.fi/fi/YVLB.5-perust.pdf> [viitattu 23.6.2023].

Säteilyturvakeskus (STUK). 2023a. Lainsäädäntö ja ohjeet. WWW-sivusto. Saatavissa: <https://stuk.fi/lainsaadanto-ja-ohjeet> [viitattu 2.4.2023].

Säteilyturvakeskus (STUK). 2023b. Mitä säteily on?. WWW-sivusto. Saatavissa: <https://stuk.fi/mita-sateily-on> [viitattu 2.3.2023].

Säteilyturvallisuuslaitos. 1981. Ydinvoimalaitosten hallinnollinen säteilysuojelu. PDF-dokumentti. Ei julkisesti saatavissa.

Säteilyturvallisuusryhmä. 2010. Säteilymittarin suojakotelo. Loviisan voimalaitos. Ei julkisesti saatavissa.

Säteilyturvallisuusryhmä. 2014. Annosnopeusmittaus. Loviisan voimalaitos. Ei julkisesti saatavissa.

Säteilyturvallisuusryhmä. 2023. Huoneluokitusreitit. Loviisan voimalaitos. Ei julkisesti saatavissa.

U.S. Department of Energy. 2017. Radiological Control. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.standards.doe.gov/standards-documents/1000/1098-AStd-2017/@@images/file> [viitattu 15.4.2023].

Viljanmaa, J. 2023. Säteilyvalvonnan mittalaitteet ja varusteet kontaminaation hallitsemiseksi. Loviisan voimalaitos. PDF-dokumentti. Ei julkisesti saatavissa.

WANO. 2012. Guidelines for radiological protection at nuclear power plants. PDF-dokumentti. Ei julkisesti saatavissa.

Ydinenergialaki 11.12.1987/990.

Ylisirniö, S. 2020. Hotspot-työryhmän työjärjestys. Loviisan voimalaitos. PDF-dokumentti. Ei julkisesti saatavissa.

Ylisirniö, S. 2022. Hot spot mittausraportti. Loviisan voimalaitos. PDF-dokumentti. Ei julkisesti saatavissa.

Vuosi	2021												2022												2023				Keskiarvo 2005 - 2023	Keskihajonta 2005 - 2023		
	Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	1	2	3	4	6	7	8	9	11	12	1	2	3	4						
IA1221			0.001				0.030							0.020			0.010									0.025				0.031	0.013	
IA1222			0.200				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1223			0.001				0.040							0.060			0.010										0.015				0.019	0.014
IA1224			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1225			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1226			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1227			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1228			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1229			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1230			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1231			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1232			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1233			0.080				0.080							0.080			0.035										0.050				0.035	0.019
IA1234			0.050				0.060							0.030			0.025										0.060				0.030	0.015
IA1235			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1236			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1237			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1238			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1239			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1240			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1241			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1242			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1243			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1244			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1284														0.003					0.004												0.000	0.001
IA1287			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1290			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1702			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1703			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1705			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1708			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1709			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.001
IA1710			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.001	0.002
IA1711			0.002				0.002							0.002			0.002										0.002				0.003	0.004
IA1712			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.001
IA1713			0.050				0.050							0.050			0.070										0.090				0.069	0.048
IA1714			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1715			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1716			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1718			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1720			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1722			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1724			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1726			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1728			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1732			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1734			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1761			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1901			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1902			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1903			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1904			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA1905			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA2203			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA2205			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.001	0.003
IA2206			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA2208			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA2209			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA2210			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA2211			0.001				0.001							0.002			0.001										0.001				0.004	0.005
IA2212			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA2213			0.010				0.010							0.010			0.010										0.015				0.016	0.018
IA2214			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA2215			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA2216			0.001				0.001							0.001			0.001										0.001				0.000	0.000
IA221																																

Vuosi	2021												2022												2023				Keskiarvo 2005 - 2023	Keskihajonta 2005 - 2023					
	Kuntauksi	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	1	2	3	4	6	7	8	9	11	12	1	2	3	4									
2A0001					0,001													0,005										0,003					0,002	0,003	
2A0006					0,015														0,010											0,005				0,005	0,005
2A0007					0,001														0,001											0,001				0,000	0,000
2A0008					0,001														0,001											0,001				0,000	0,001
2A0009					0,020														0,020											0,015			0,037	0,026	
2A0015					0,001														0,001											0,001			0,001	0,003	
2A0016					0,001														0,001											0,001			0,001	0,003	
2A0017					0,001														0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0018					0,001														0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0301					0,001														0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0305					0,001														0,001											0,001			0,002	0,006	
2A0306					0,005														0,001											0,005			0,012	0,034	
2A0307					0,001														0,003											0,002			0,001	0,002	
2A0308					0,001														0,001											0,001			0,001	0,002	
2A0309					0,001														0,001											0,001			0,001	0,002	
2A0310					0,001														0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0311					0,001														0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0313					0,020														0,015											0,010			0,007	0,006	
2A0315					0,001														0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0317					0,001														0,003									0,004			0,005		0,002	0,004	
2A0318					0,001														0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0323					0,001														0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0325					0,001														0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0326					0,060														0,020											0,010			0,009	0,014	
2A0327					0,001														0,002											0,001			0,000	0,001	
2A0328					0,003														0,003											0,002			0,002	0,006	
2A0329					0,001														0,001											0,001			0,001	0,001	
2A0330					0,001														0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0332					0,001														0,002											0,002			0,004	0,014	
2A0334					0,001														0,001											0,001			0,004	0,017	
2A0335					0,001														0,001											0,002			0,003	0,007	
2A0336					0,010														0,010											0,005			0,007	0,018	
2A0337					0,020														0,020											0,030			0,050	0,063	
2A0338					0,001														0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0342					0,001														0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0343					0,001														0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0344					0,100														0,030											0,025			0,027	0,070	
2A0345					0,030														0,020											0,030			0,019	0,012	
2A0346					0,004														0,020											0,020			0,008	0,006	
2A0347					0,001														0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0349					0,001														0,001											0,001			0,000	0,001	
2A0350					0,001														0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0352					0,001														0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0353					0,050														0,080											0,070			0,093	0,054	
2A0354					0,001														0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0355					0,001														0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0357					0,005														0,015											0,015			0,009	0,010	
2A0364					0,001														0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0365					0,001														0,001											0,001			0,001	0,003	
2A0366					0,001														0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0367					0,001														0,001											0,001			0,000	0,001	
2A0368L					0,001														0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0371					0,001														0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0602				0,001															0,003										0,003			0,008	0,006		
2A0701				0,001															0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0702				0,008															0,007											0,006			0,005	0,009	
2A0703				0,001															0,001											0,001			0,002	0,008	
2A0704				0,001															0,001											0,002			0,001	0,004	
2A0705				0,001															0,001											0,001			0,001	0,002	
2A0706				0,003															0,010											0,010			0,007	0,007	
2A0707				0,001															0,001											0,001			0,000	0,000	
2A0708				0,002															0,030											0,010			0,011	0,011	
2A0709				0,001															0,005											0,001			0,001	0,002	
2A0710				0,001															0,030											0,010			0,007	0,009	
2A0711				0,001															0,001											0,001			0,001	0,003	
2A0712				0,001															0,002											0					

Vuosi Kuntauksi	2021												2022												2023				Keskiarvo 2005 - 2023	Keskihajonta 2005 - 2023
	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	1	2	3	4	6	7	8	9	11	12	1	2	3	4					
2A1207			0,001					0,001									0,001									0,000	0,000			
2A1210			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1211			0,002					0,002										0,001								0,003	0,004			
2A1212			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1213			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1214			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1215			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1216			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1217			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1218			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1219			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1225			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1226			0,020					0,020										0,015								0,012	0,006			
2A1227			0,140					0,140								0,100										0,049	0,033			
2A1230			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1231			0,001					0,001										0,001								0,004	0,018			
2A1232			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1233			0,001					0,001										0,001								0,000	0,001			
2A1235			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1236			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1237			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1238			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1239			0,040					0,055										0,055								0,056	0,068			
2A1240			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1241			0,010					0,010										0,005								0,003	0,004			
2A1242			0,001					0,001										0,001								0,012	0,017			
2A1243			0,001					0,001										0,003								0,008	0,006			
2A1244			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1245			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1246			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1247			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1248			0,001					0,001										0,001								0,001	0,005			
2A1249			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1250			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1251			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1252			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1253			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1254			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1255			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1256			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1257			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1264			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1265			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1701			0,001					0,001										0,001						0,001		0,000	0,000			
2A1702			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1703			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1704			0,001					0,001										0,001								0,007	0,011			
2A1705			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1706			0,001					0,001										0,001								0,002	0,003			
2A1708			0,001					0,001										0,001								0,001	0,004			
2A1709			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1710			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1711			0,001					0,001										0,001								0,003	0,009			
2A1712			0,080					0,100										0,100								0,040	0,182	0,121		
2A1713			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1716			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1717			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1718			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1719			0,001					0,001										0,001								0,003	0,018			
2A1720			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1721			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1722			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1723			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1724			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1725			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1726			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1727			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1735			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1736			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1801			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A1802			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A2201			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A2202			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A2203			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A2204			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A2205			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A2206			0,001					0,001										0,001								0,000	0,000			
2A2207			0,001					0,001										0,001								0,000				

Vuosi	2021												2022												2023				Keskiarvo 2005 - 2023	Keskihajonta 2005 - 2023
	Kuntauksi	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	1	2	3	4	6	7	8	9	11	12	1	2	3	4				
2A9204					0,001		0,001											0,001								0,001		0,000	0,000	
2A9205					0,001		0,001											0,001									0,001		0,000	0,000
2A9207					0,001		0,001											0,001									0,001		0,000	0,000
2A9210L					0,001			0,001										0,001									0,001		0,001	0,000
2A9211L					0,001			0,001										0,001									0,001		0,001	0,000
2A9212L					0,001			0,001										0,001									0,001		0,001	0,000
2A9301					0,010		0,040											0,030			0,030					0,020		0,014	0,009	
2A9701					0,001		0,001											0,001								0,001		0,000	0,000	
2A9702					0,001		0,001											0,001								0,001		0,000	0,000	
2A9703					0,001		0,001											0,015								0,001		0,001	0,003	
2A9704					0,015		0,015											0,040			0,030					0,030		0,034	0,016	
2A9705																	0,001									0,001		0,001	0,000	
2A9901					0,001		0,001											0,001									0,001		0,002	0,011
2R0001		0,005					0,005													0,001						0,001		0,000	0,006	
2R0002		0,003					0,002													0,001						0,001		0,000	0,001	
2R0003		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,000	
2R0005		0,035					0,020													0,005						0,033		0,023	0,036	
2R0006		0,002					0,002													0,001						0,002		0,003	0,013	
2R0007		0,035					0,020													0,015						0,017		0,028	0,052	
2R0012																										0,017		0,028	0,052	
2R0032		0,060					0,040													0,040						0,040		0,036	0,052	
2R0033		0,003					0,002													0,002						0,001		0,001	0,001	
2R0034		0,003					0,002													0,002						0,004		0,004	0,006	
2R0035		0,001					0,001													0,001						0,001		0,002	0,005	
2R0036		0,008					0,005													0,005						0,006		0,008	0,017	
2R0041		0,080					0,035													0,100						0,060		0,029	0,025	
2R0044		0,150					0,100													0,100						0,130		0,120	0,247	
2R0045		0,008					0,005													0,003						0,003		0,008	0,017	
2R0301		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,000	
2R0303		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,000	
2R0304		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,000	
2R0305		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,000	
2R0306		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,000	
2R0307		0,002					0,002													0,003						0,003		0,001	0,001	
2R0308		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,000	
2R0309		0,015					0,015													0,010						0,030		0,020	0,022	
2R0310		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,001	
2R0312		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,000	
2R0313		0,001					0,001													0,001						0,001		0,001	0,004	
2R0314		0,010					0,010													0,005						0,005		0,016	0,023	
2R0315		0,001					0,001													0,001						0,001		0,002	0,005	
2R0316		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,000	
2R0317		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,000	
2R0318		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,000	
2R0320		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,000	
2R0321		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,000	
2R0323		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,001	
2R0324		0,002					0,002													0,001						0,001		0,002	0,003	
2R0325		0,001					0,001													0,001						0,001		0,002	0,000	
2R0326		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,000	
2R0328		0,013					0,010													0,006						0,008		0,009	0,010	
2R0330		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,000	
2R0331		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,000	
2R0332		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,000	
2R0333		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,000	
2R0334		0,100					0,080													0,035						0,040		0,046	0,032	
2R0335		0,001					0,001													0,140			0,001			0,001		0,004	0,024	
2R0336		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,000	
2R0341		0,010					0,010													0,004						0,005		0,003	0,006	
2R0342		0,001					0,002													0,001						0,001		0,002	0,004	
2R0343		0,005					0,002													0,001						0,001		0,001	0,002	
2R0344		0,060					0,060													0,060						0,070		0,059	0,039	
2R0345		0,008					0,007													0,007						0,008		0,002	0,003	
2R0503		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,000	
2R0505		0,050					0,050													0,050						0,050		0,035	0,021	
2R0506		0,003					0,002													0,004						0,004		0,001	0,001	
2R0507		0,050					0,050													0,022						0,040		0,012	0,016	
2R0508		0,050					0,050													0,009						0,010		0,008	0,014	
2R0509		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,000	
2R0519		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,000	
2R0522		0,001					0,001													0,001						0,001		0,000	0,000	
2R0527		0,003					0,003																							

Vuosi	2021												2022												2023				Keskiarvo 2005 - 2023	Keskihajonta 2005 - 2023
	Kuntauksi	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	1	2	3	4	6	7	8	9	11	12	1	2	3	4				
2R1510		0,050					0,040					1,000			1,000			1,000				1,000				0,247	0,309			
2R1514		0,300		0,030			0,040					1,000			1,000			0,900				1,000				0,225	0,301			
2R1518		0,030					0,030								0,025			0,130				0,130				0,032	0,025			
2R1524		0,030					0,040					1,000			1,000			0,500				0,500				0,193	0,265			
2R1526		0,030					0,030					1,000			1,000			0,500				0,500				0,179	0,264			
2R1530		0,040					0,050					1,000			1,000			0,500				0,500				0,210	0,262			
2R1661		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,000			
2R1832		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,001			
2R1834		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,001	0,002			
2R1861		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,001			
2R1865		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,001			
2R1901		0,001					0,001								0,002			0,003				0,003				0,002	0,002			
2R1903		0,100					0,100								0,080			0,080				0,080				0,082	0,039			
2R1904		0,001					0,002								0,001			0,001				0,001				0,002	0,002			
2R1910		0,070					0,050								0,055			0,004				0,040				0,062	0,024			
2R1912		0,001					0,002								0,003			0,004				0,004				0,012	0,042			
2R1924		0,001					0,001								0,003			0,003				0,003				0,013	0,043			
2R1926		0,060					0,060								0,150			0,050				0,040				0,063	0,024			
2R1932		0,001					0,003								0,002			0,002				0,003				0,002	0,002			
2R1965		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,000			
2R2206		0,005					0,010								0,012			0,013				0,010				0,009	0,003			
2R2207		0,020					0,020								0,025			0,007				0,010				0,017	0,018			
2R2210		0,020					0,020								0,030			0,035				0,035				0,022	0,010			
2R2211		0,010					0,150	0,020							0,008			0,010				0,010				0,015	0,024			
2R2214		0,025					0,025								0,030			0,070				0,070				0,026	0,021			
2R2215		0,005					0,005								0,003			0,001				0,002				0,007	0,005			
2R2217		0,001					0,001								0,003			0,002				0,002				0,069	0,058			
2R2218								0,200																		0,200	0,000			
2R2219		0,002					0,002								0,003			0,002				0,002				0,007	0,005			
2R2221		0,002					0,002								0,002			0,001				0,002				0,001	0,004			
2R2222		0,050					0,050								0,030			0,030				0,030				0,030	0,025			
2R2225		0,010					0,010								0,015			0,010				0,010				0,011	0,003			
2R2226		0,025					0,025								0,025			0,040				0,030				0,023	0,010			
2R2229		0,025					0,025								0,025			0,025				0,030				0,019	0,008			
2R2230		0,010					0,010								0,010			0,010				0,010				0,010	0,004			
2R2262		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,000			
2R2301		0,002					0,002								0,003			0,002				0,002				0,003	0,002			
2R2500		0,001					0,006								0,005			0,010				0,010				0,005	0,010			
2R2501		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,001	0,002			
2R2502		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,003	0,004			
2R2503		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,000			
2R2504		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,000			
2R2505		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,000			
2R2515		0,001					0,001								0,002			0,002				0,002				0,001	0,001			
2R2517		0,001					0,005								0,005			0,002				0,001				0,001	0,002			
2R2519		0,001					0,002								0,002			0,001				0,001				0,000	0,001			
2R2523		0,001					0,001								0,002			0,001				0,001				0,000	0,001			
2R2532		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,001	0,002			
2R2533		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,001	0,002			
2R2535		0,001					0,010								0,001			0,001				0,001				0,001	0,002			
2R2905		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,001	0,003			
2R2917		0,001					0,050								0,005			0,001				0,001				0,003	0,009			
2R2918		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,001	0,002			
2R2919		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,001	0,002			
2R2933		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,000			
2R2961		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,000			
2R2962		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,001			
2R2965		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,000			
2R2968		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,000			
2R2969		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,001	0,003			
2R3005		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,000			
2R3131		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,000			
2R3505		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,002	0,004			
2R3506		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,001			
2R3605		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,000			
2R3723		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,000			
2R3733		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,000			
2R3753		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,000			
2R3805		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,000			
2R3819		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,000			
2R4055		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,000			
2R4200		0,001					0,001								0,001			0,001				0,001				0,000	0,000			
2R5665		0,001																												

Zones of the controlled area

- 1) How many different zones do you have in the radiation controlled area?
- 2) What are the external dose rate limits in each zone?
- 3) Do you classify the areas mainly by dose rates or does surface contamination and/or air-borne radionuclide concentration levels matter as well?
- 4) How do you determine which areas have to be locked because of high(er) dose rates and/or surface contamination levels?
- 5) How many different types of locking categories (radiation protection related) do you have?

Routine radiation measurements

- 6) How often do you measure dose rates (general + highest dose rate) in the supervised and radiation controlled areas?
- 7) During the routine dose rate measuring, do you measure dose rates in all rooms or are there exceptions?
- 8) How is the routine dose rate measuring -process built?
- 9) How many people are involved in the measuring process and/or the documentation of the results?
- 10) How are the routine dose rate measurement -lists divided and constructed?
- 11) Related to question 10, how long are the dose rate measurement -lists/routes normally in length?
- 12) Do you measure the variability in general/highest dose rates more often in some areas or rooms?
- 13) How do you determine (or measure) the general dose rate of the room/area?
- 14) Highest dose rate -measurements: do you focus only on process systems or do you notify radioactive objects, that are stored in the room, as well?
- 15) Do you have a dose rate "map" (cartogram etc.) with the room layout, that you place in front of the highest dose rate rooms/areas?
- 16) Related to question 15, what are the minimum requirements of using dose rate maps?
- 17) How often do you measure surface contamination levels in the supervised and radiation controlled areas?
- 18) During the surface contamination tracking, what areas do you focus on the most and how extensive is the measuring process?