

Sara-Maarit Sarvi

SÄTEILYSUOJARAKENTEIDEN TOTEUTUS OYS F-RAKENNUKSESSA

SÄTEILYSUOJARAKENTEIDEN TOTEUTUS OYS F-RAKENNUKSESSA

Sara-Maarit Sarvi
Opinnäytetyö
Kevät 2024
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, talonrakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Sara-Maarit Sarvi

Opinnäytetyön nimi: Säteilysuojarakenteiden toteutus OYS F-rakennuksessa

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Radiation Protection Structures of the Oulu University Hospital F-building

Työn ohjaajat: Juha Pennanen (OAMK), Joonas Härkönen (NCC Suomi Oy)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2024

Sivumäärä: 45

Opinnäytetyö tehtiin NCC Suomi Oy:lle, joka on johtavia rakennusalan yrityksiä Pohjoismaissa. Suomessa yrityksen toimialaa ovat kiinteistökehitys, rakennushankkeet sekä kiviainesten tuotanto. NCC on mukana OYS 2030 -uudistamisohjelmassa, jossa se toimii päätoteuttajana A-allianssissa ja C-allianssissa. OYS F-rakennus on osa C-allianssia, jonka säteilysuojarakenteista tämä opinnäytetyö on tehty.

Työn kirjallinen osuus antaa lukijalle kokonaiskäsityksen säteilystä, säteilyn lähteistä sairaanhoidossa ja säteilysuojarakenteista suunnittelusta toteutukseen. Teoriaosuuden materiaali pohjautuu vahvasti Säteilyturvakeskuksen aineistoihin. Lisäksi materiaalina on käytetty yrityksen sisäisiä lähteitä, suunnitelmia sekä verkkoaineistoihin, lakeihin ja valtioneuvoston asetuksiin pohjautuvaa materiaalia.

Tavoitteina tällä työllä oli avata osin haastavaakin rakennusvaihetta sellaiseen muotoon, että säteilysuojarakenteisiin liittyvät asiat saataisiin selkeästi esiteltyä työvaiheen suunnitteluun tai tuotantoon osallistuvalla henkilöstöllä.

Työn tuloksena säteilyrakenteista, niiden suunnittelusta ja toteuttamisesta saatiin aikaiseksi selkeä ja käyttötarkoitukseensa soveltuva ohje. Tämän kirjallisen työn lisäksi aiheesta koostettiin tarkastuslista yrityksen omaan käyttöön.

Asiasanat: säteily, säteilysuoja, sairaala, Oulun yliopistollinen sairaala, säteilysuojamateriaali

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Civil Engineering, Option of House Building Engineering

Author: Sara-Maarit Sarvi

Title of thesis: Radiation Protection Structures of the Oulu University Hospital F-building

Supervisors: Juha Pennanen (OUAS), Joonas Härkönen (NCC Suomi Oy)

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024

Number of pages: 45

The thesis was done for NCC Suomi Oy, one of the leading construction companies in the Nordic countries. In Finland, the company's business is real estate development, construction projects, and production of aggregate materials. NCC is involved in the OYS 2030 renewal program, where it acts as the main implementer in the A-alliance and the C-alliance. This thesis is based on the radiation protection structures of the OYS F-building, which is part of the C-alliance.

The written part of the work gives the reader an overall understanding of radiation, sources of radiation in medical care and radiation protection structures from design to implementation. The material of the theory part is strongly based on the materials of the Radiation Protection Agency. In addition, the company's internal sources, plans and material based on online materials, laws and government regulations have been used as material.

The goals of this work were to open the partly challenging construction phase in such a way that issues related to radiation shielding structures could be clearly presented to the personnel involved in the planning or production of the work phase.

As a result of the work, a clear and suitable guideline for radiation structures, their planning, and implementation was prepared. In addition to this written work, a checklist was compiled on the topic for the company's own use.

Keywords: radiation, radiation protection, hospital, Oulu University Hospital, radiation protection material

ALKULAUSE

Haluan kiittää opinnäytetyön toimeksiantajaa NCC Suomi Oy:tä. Erityisesti haluan kiittää opinnäytetyöni ohjaajaa Joonas Härköstä tuesta ja onnistuneesta ohjauksesta tämän työn kirjoittamisen aikana.

Opinnäytetyön kirjoitusprosessi on ollut mielenkiintoinen, mutta voimavaroja kysyvä urakka ja haluan kiittää erityisesti puolisoani ja ystävääni tukemisesta tässä prosessissa. Kiitän puolisoani myös uudelle uralle rohkaisemisesta, jonka ensimmäisiä saavutuksia tämä opinnäytetyö on.

12.1.2024

Sara-Maarit Sarvi

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	11
2	SÄTEILY	12
2.1	Säteilylähteet	13
2.2	Säteilysuojauksen velvoitteet	14
3	SÄTEILYSUOJARAKENTEET	15
3.1	Säteilysuojarakenteiden suunnittelu	15
3.2	Tavanomaisten röntgentilojen suunnittelu	15
3.3	Kiinteästi asennettujen läpivalaisulaite- ja tietokonetomografialaitetilojen suunnittelu	16
3.3.1	Annosrajat suunnittelussa	16
3.3.2	Suunta- ja oleskelutekijät	17
3.3.3	Suunnitteluetaisyydet	18
3.4	Säteilysuojamateriaalit	18
3.4.1	Lyijy	20
3.4.2	Betoni	20
3.4.3	Tiilet ja harkot	21
4	SÄTEILYSUOJAUKSEN RAKENTEET OYS F-RAKENNUKSELLA	22
4.1	Säteilysuojarakenteiden suunnitelmat ja tuotannon yhteensovitus	22
4.1.1	Välipohjarakenteet	22
4.1.2	Väliseinärakenteet	26
4.1.3	Läpiviennit ja viemäröinnit	32
4.1.4	Ovet ja ikkunat	32
5	SÄTEILYSUOJIIEN RAKENTAMINEN	35
5.1	Tuotanto	35
5.1.1	Rakenteiden tuotanto	35
5.1.2	Työturvallisuus	35
5.1.3	Ympäristö	36
5.2	Laadunohjaus ja varmistaminen	37

6	YHTEENVETO	42
	LÄHTEET.....	43

SANASTO

Ionisoiva säteily	Ionisoivaa säteilyä ovat radioaktiivisten aineiden säteily, röntgensäteily sekä alfa-, beeta- ja gammasäteily. Ionisoivalla säteilyllä on kyky irrottaa säteilyn kohteeksi joutuvan aineen atomeista elektroneja tai rikkoa aineen molekyyliä. Ionisoivaa säteilyä voidaan tuottaa myös röntgenlaitteilla. (1.)
Ionisoimaton säteily	Ionisoimatonta säteilyä ovat staattiset ja pienitaajuiset sähkö- ja magneettikentät, radioaallot, mikroaallot, infrapunasäteily, näkyvä valo ja ultraviolettisäteily. Myös ultraääni luetaan kuuluvaksi ionisoimattomaan säteilyyn. (1.)
Gammasäteily	Gammasäteily on sähkömagneettista aaltoliikettä, joka on hyvin läpikäyvä. Gammasäteilyä syntyy, kun alfa- tai beetahiukkasen hajoamisprosessin myötä syntyneen virittyneen tytärnuklidin viritystilä purkautuu. (1.)
MRI	Magnetic Resonance Imaging = magneettikuvaus, magneettikenttää ja radioaaltoja hyödyntävä kuvaamisen muoto, jolla kuvataan elimistössä eri muodoissa olevaa vettä. Kuvauksessa voidaan käyttää laskimonsisäisesti annosteltavaa varjoainetta parantamaan kudosten erottuvuutta. (2.)
PET	Leikekuvausmenetelmä, joka antaa tietoa kudosten toiminnasta, elimistön aineenvaihdunnasta ja lääkeaineiden käyttäytymisestä kudoksissa. PET-tutkimuksessa lääkeaine leimataan radioisotoopilla, ja aine joko ruiskutetaan potilaaseen tai hän hengittää sitä. Aine kulkeutuu tutkittavaan kohteeseen, jota kuvataan säteilyä vastaanottavalla kameralla. (3.)

SPECT	Yksifotoniemissiotomografia. Gammakameran avulla seurataan radioaktiivisen isotoopin kertymistä ja puoliintumista elimistössä. Kameras kiertoliike pystyy muodostamaan kolmiulotteisen kuvan halutusta kohteesta. Kuvaus yhdistetään usein tietokonetomografiaan, jolloin anatominen kuvaus saa kolmiulotteisen tarkkuuden. (4.)
TT/CT	Tietokonetomografia (eng. computed tomography) on kuvaus, jossa röntgensäteilyn avulla otetaan kuvia ennalta määritetyltä alueelta. Kuvauksessa voidaan käyttää varjoainetta parantamaan kudosten erottuvuutta. (2.)
Radiolääke	Lääkeaine, joka sisältää radioaktiivista nuklidia. Radiolääkkeitä voidaan käyttää apuna kuvantamisessa, kuten PET- ja SPECT-kuvauksissa tai hoitavana lääkkeenä esimerkiksi syövän hoidossa. Vuonna 2000 Suomessa oli käytössä 16 erilaista radionuklidia. (5, s. 223.)
Sironnut säteily, sironta	Säteily, joka kohteeseen osuessaan on poikennut alkuperäisestä suunnastaan tai menettänyt osan alkuperäisestä energiastaan (6).
Aktiivisuus	Radioaktiivisessa aineessa aikayksikössä hajoavien atomien lukumäärä. Sen yksikkö on becquerel (Bq). Radioaktiivisen aineen aktiivisuus on 1 Bq, kun ainemäärässä hajoaa keskimäärin yksi atomi sekunnissa. (7.)
Ekvivalenttiannos	Säteilystä kudokseen tai elimeen keskimäärin absorboituneen annoksen ja säteilyn painotuskertoimen tulo. Yksikkö on sievert (Sv). (7.)
Efektiivinen annos	Säteilylle alttiiksi joutuneiden kudosten ekvivalenttiannosten ja kudosten painotuskertoimien tulojen summa. Yksikkö on sievert (Sv). (7.)

Lyijy	Jaksollisen järjestelmän 82. alkuaine, jonka kemiallinen symboli on Pb. Lyijy on sinertävän harmaa, kiiltävä ja pehmeä metalli, jonka vetolujuus on huono. Lyijy ja kaikki sen yhdisteet ovat myrkyllisiä. (8.)
TVD-työpaja/prosessi	Technical Value Design -työpaja koostuu muutaman palaverin sarjasta, jossa suunnitelmia käydään läpi käyttäjän, eri alojen suunnittelijoiden ja päätoteuttajan kanssa. Työpajoissa käsitellään suunnitelmien toteutettavuutta ja suunnitelmista pyritään löytämään mahdolliset virheet ajoissa.

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyön tilaajana toimi NCC Suomi Oy ja opinnäytetyössä käsitellään säteilysuojarakenteita OYS F-hankkeella, joka on osa Tulevaisuuden sairaala OYS 2030 -uudistamisohjelmaa. Uudistamisohjelman avulla Oulun yliopistollisen sairaalan toimintamalleja ja rakenteita uudistetaan, jotta toiminnan tuottavuutta voidaan parantaa. Samalla luodaan puitteita kehittää hoidon laatua. ”Oulun yliopistollinen sairaala vastaa lähes puolen miljoonan suomalaisen erikoissairaanhoidon palveluista ja lähes 750 000 suomalaisen erityisvaativasta erikoissairaanhoidosta koko pohjoisessa Suomessa Keski-Pohjanmaalta ylimpään Lappiin saakka” (9).

OYS F -hankkeen päätoteuttajana toimii NCC Suomi Oy, joka muodostaa allianssin tilaajan eli Pohjois-Pohjanmaan hyvinvointialue Pohteen ja Siemens osakeyhtiön kanssa, joka toimii rakennusautomaatiourakoitsijana. OYS F-hanke käsittää F-rakennuksen sekä siitä lähtevät viisi tunnelia, jotka luovat kulkuyhteydet ympäröiviin rakennuksiin alueella. OYS F-rakennus valmistuu vuoden 2025 ensimmäisellä puolikkaalla.

F-rakennuksen tiloissa keskitytään erityisesti syövän hoitoon. Rakennuksessa tuleekin toimimaan syöpätautien poliklinikka ja kolmessa kerroksessa syöpätautien vuodeosastoja. Kuvantaminen rakennuksessa on keskitetty omaan kerrokseensa. Syövän hoidon ja kuvantamisen lisäksi rakennuksessa tulee olemaan myös Nordlabin käyttöön omat tilat, joissa sijaitsee mm. sairaala-apteekki.

F-rakennusta rakennettaessa säteilysuojaus on yksi rakennuksen erityispiirteistä. Säteilysuojarakenteiden toteuttamista ei koettu yksinkertaiseksi ja vaihtelevat käytännöt tekivät tilojen tuottamisesta haasteellisia. Tämän työn tarkoituksena onkin avata säteilysuojarakenteiden suunnittelun periaatteita, materiaaleja ja tuotannollisia asioita siten, että jatkossa säteilysuojarakenteiden rakentamisesta tästä työstä olisi hyötyä niin suunnittelun ohjauksessa kuin työnjohdossakin. Opinnäytetyön pohjalta on koostettu tarkastuslista, jota tuotannon henkilöstö voi käyttää hyödyksi säteilysuojarakenteiden tuotannossa.

2 SÄTEILY

Säteily voidaan jakaa kahteen luokkaan, ionisoivaan ja ionisoimattomaan säteilyyn. Ionisoivaa säteilyä ovat radioaktiivisten aineiden säteily, röntgensäteily sekä alfa-, beeta- ja gammasäteily. Radioaktiivinen aine on aine, jonka atomien ytimet ovat virittyneessä tilassa. Tämä tarkoittaa sitä, että atomin ytimessä neutroneita on joko liian vähän tai liian paljon, mikä aiheuttaa sen, että atomi haluaa luovuttaa ytimeistä jonkin hiukkasen purkaakseen ytimen virittyneen tilan. Hiukkasen irtoaminen aiheuttaa sen, että aine säteilee. Ionisoivalla säteilyllä on kyky irrottaa säteilyn kohteeksi joutuvan aineen atomeista elektroneja tai rikkoa aineen molekyyliä. Ionisoivaa säteilyä voidaan tuottaa myös röntgenlaitteilla. (1.)

Radioaktiivista ainetta kuvataan aktiivisuudella. Aktiivisuus kertoo, kuinka monta muutosta radioaktiivisen aineen atomin ytimessä tapahtuu yhden sekunnin aikana. Aktiivisuuden yksikkö on becquerel (Bq). 3 becquerelia tarkoittaa, että radioaktiivisessa aineessa tapahtuu kolme ydinmuutosta sekunnissa. (1.)

Radioaktiivisen aineen aktiivisuus vähenee, kunnes se loppuu kokonaan. Sitä aikaa mikä kuluu, kun radioaktiivisen aineen aktiivisuus on vähentynyt puoleen alkuperäisestä, kutsutaan puoliintumisaikaksi. Puoliintumisaika voi olla aineesta riippuen sekunnin osista miljooniin vuosiin. Puoliintumisaikojen pituus ei kerro aineen vaarallisuudesta. (1.)

Koska osa säteilystä on ihmiselle vaarallista, on kehitetty suure, jolla kuvataan ihmiseen kohdistuvan säteilyn haitallisia vaikutuksia. Säteilyannoksen yksikkö on sievert (Sv). Sievert on yksikkönä suuri, minkä vuoksi annoksista puhuttaessa käytetään yleensä millisievertejä (mSv) tai mikro-sievertejä (μ Sv). (1.)

Röntgensäteily on sähkömagneettista säteilyä, jota tuotetaan röntgenputkessa. Röntgenputki on tyhjiöputki, joka sisältää hehkukatodin ja hyvin lämpöä kestävä anodin. Katodin ja anodin välille kytketään jännite ja jännitteen johdosta hehkukatodista irtoaa elektroneita, jotka liikkuvat suurella nopeudella kohti anodia törmäten siihen. Elektronien nopeuden alentuessa osa niiden liike-energiasta muuttuu sähkömagneettiseksi säteilyksi, jota kutsutaan röntgensäteilyksi. Röntgensäteilyä käytetään hyödyksi yleisesti kuvantamisessa terveydenhuollossa. (1.)

Alfa- ja beetasäteily ovat hiukkassäteilyä. Alfahiukkaset ovat raskaampia kuin beetahiukkaset ja koostuvat kahdesta protonista ja kahdesta neutronista. Alfahiukkaset läpäisykyky on heikko, hiukkanen ei pysty läpäisemään ihmisen ihoa tai paperiarkkia. Alfasäteily on kuitenkin vaarallista ihmiselimistöön joutuessaan. Alfahiukkasia voi joutua elimistöön esimerkiksi hengitysilman mukana. (1.)

Beetahiukkaset ovat joko elektroneja tai positroneja, elektronit ovat negatiivisesti varautuneita ja positronit positiivisesti varautuneita. Toisin kuin alfahiukkaset, beetahiukkaset ovat läpäisykykyisempiä ja voivat läpäistä ihmisen ihon. Myös beetasäteily on vaarallista iholla tai elimistöön päästessään. (1.)

Gammasäteily on sähkömagneettista aaltoliikettä, joka on hyvin läpikulkevaa. Gammasäteilyä syntyy, kun alfa- tai beetahiukkasen hajoamisprosessin myötä syntyneen virittyneen tytärnuklidin viritystilä purkautuu. Gammasäteilyn energian vaimentamiseksi voidaan tarvita esimerkiksi paksu kerros betonia tai ohut kerros lyijyä, riippuen energian määrästä. (1.)

Ionisoimatonta säteilyä ovat staattiset ja pienitaajuiset sähkö- ja magneettikentät, radioaallot, mikroaallot, infrapunasäteily, näkyvä valo ja ultraviolettisäteily. Myös ultraääni luetaan kuuluvaksi ionisoimattomaan säteilyyn. Ionisoimaton säteily ei aiheuta ionisaatiota, mutta liiallisina annostuksina se voi olla vaarallista. Ionisoimatonta säteilyä käytetään hyödyksi terveydenhuollossa MRI-tutkimuksissa (Magnetic Resonance Imaging) eli magneettikuvauksissa. (1.)

2.1 Säteilylähteet

OYS F-rakennuksella säteilysuojausta tarvitaan useissa eri tiloissa. Yksikössä on erilaisia kuvantamistiloja, joissa käytetään erilaisia säteilylajeja kuvantamisen apuna.

Röntgenkuvaushuoneissa käytetään nimensä mukaisesti röntgensäteilyä. Röntgenhuoneita rakennuksessa on kaksi. Myös TT-kuvauksessa eli tietokonetomografia kuvauksessa käytetään röntgensäteilyä (10). TT-kuvaushuoneita yksikköön rakentuu kaksi.

Lisäksi rakennukseen tulee yhteensä viisi muuta kuvaushuonetta, joissa suoritetaan PET- ja SPECT-kuvauksia. PET-kuvaus eli positroniemissiotomografia-kuvauksessa käytetään apuna positroneja lähettäviä radioaktiivisia lääkkeitä (5, s. 225). SPECT eli yksifotoniemissiotomografia-kuvauksessa käytetään gammasäteilyä lähettäviä radiolääkkeitä (5, s. 236).

Kuvaushuoneiden lisäksi säteilysuojausta vaativia tiloja ovat tilat, joissa annetaan säteileviä aineita. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi tilat, joissa potilaita valmistellaan kuvauksia varten. Myös sisäisen sädehoidon, ja joidenkin kuvausten jälkiseurantatilat, kuten potilashuoneet tarvitsevat säteilysuojauksen rakenteisiin. Säteilysuojausta tarvitaan myös suihku- ja wc-tiloissa, joita käyttävät radiolääkkeitä saaneet potilaat. Yhteensä säteilysuojausta vaativia tiloja on 785 neliometriä.

2.2 Säteilysuojauksen velvoitteet

Suomen säteilylaki määrää, että *”säteilytoiminnassa työntekijän ja väestön yksilön säteilyannos ei saa olla annosrajaa suurempi”* (11, 7 §). Laki siis velvoittaa suojaamaan ihmisiä säteilyltä. Rakenteilla tulee siis pyrkiä suojaamaan ihmisiä säteilyltä ja mahdollistamaan sairaanhoidon ammattilaisten työskentely tiloissa, ilman että vuosittainen annosraja säteilyn osalta ylittyy.

Säteilyannoksista puhuttaessa käytetään suuretta efektiivinen annos, joka kuvaa ionisoivan säteilyn aiheuttamaa terveydellistä kokonaishaittaa (7). Viiden vuoden aikana säteilytyöntekijän efektiivinen annos ei saa ylittää keskiarvoa 20 mSv vuodessa eikä minkään kalenterivuoden aikana arvoa 50 mSv. Muille kuin säteilytyötä tekeville annosrajat ovat pienemmät, vain 1 mSv vuodessa. (12, s.155.) Säteilytyöntekijän säteilyannosta valvotaan henkilökohtaisen mittarin avulla, joka mittaa gamma- ja röntgensäteilyä ja usein myös neutronisäteilyä (7).

3 SÄTEILYSUOJARAKENTEET

Säteilysuojien rakenteet muistuttavat usein tavanomaisia yleisesti rakentamisessa käytettäviä rakenteita. Kuitenkin säteilylajista ja määrästä riippuen rakenteissa joudutaan tekemään poikkeavia ratkaisuja tavanomaisiin rakenteisiin nähden.

3.1 Säteilysuojarakenteiden suunnittelu

Säteilysuojarakenteiden suunnittelua ohjaa säteilyltä suojaaminen. Nykyaikaiset materiaalit mahdollistavat uudenlaisia ratkaisuja. Suunnittelussa tulee kuitenkin huomioida suunnitelman toteutavuus ja kustannustehokkuus – kuinka saadaan paras mahdollinen lopputulos kustannustehokkaasti?

Säteilyllä on omat erikoispiirteensä, mikä aiheuttaa suunnittelulle omat haasteensa. Haastavimpia suunnittelun osa-alueita ovat erilaisten materiaalien rajapinnat ja läpiviennit. Säteilysuojaus tulisi saada jatkuvaksi näissäkin tilanteissa.

3.2 Tavanomaisten röntgentilojen suunnittelu

Tavanomaisten röntgentilojen suunnitteluun on määritelty säteilysuojaukselle omat määränsä helpottamaan tilojen suunnittelua. Tyypillisesti suojaukseksi riittää tällaisissa tiloissa 2 millimetriä lyijyä vastaava säteilysuojauskerros. Niissä suunnissa, joihin kohdistuu paljon suoraa primäärisäteilyä, voidaan tarvita 3 millimetrin lyijyvastaavuutta vastaava säteilysuojauskerros. Seinissä säteilysuojauksen tulisi ylettyä vähintään 2 metrin korkeudelle tilan lattiapinnasta. Tavanomaisissa röntgentiloissa tulee kiinnittää seinien säteilysuojauksen lisäksi huomiota ovien ja mahdollisten tarkkailuikkunoiden säteilysuojaukseen. Ovien ja ikkunoiden säteilysuojauksen määrä on arvioitava erikseen. (13.)

3.3 Kiinteästi asennettujen läpivalaisulaite- ja tietokonetomografialaitetilojen suunnittelu

Kiinteästi asennettujen läpivalaisulaite- ja tietokonetomografialaitetuoneiden suunnittelussa voidaan käyttää tyypillisesti lyijymääränä kolmea millimetriä, mutta tilojen koosta ja kuvauskoneiston sijoittelusta johtuen tilojen lyijysuojauksen määrä joudutaan useimmiten laskemaan erikseen, jotta tilojen säteilysuojasta saadaan riittävä. Yliopistosairaalassa käyttöasteet kuvauslaitteelle ovat suuria, myös tämän vuoksi kuvaushuoneiden säteilysuojaus on syytä määrittää laskennallisesti. Jotta säteilysuojaus voidaan määrittää laskennallisesti, tarvitaan laskennan avuksi raja-arvoja ja suureita, kuten annosrajat, suunta- ja oleskelutekijöitä ja suunnitteluetaisyyskysymyksiä. (13.)

3.3.1 Annosrajat suunnittelussa

Säteilytyössä työskentelypaikat ovat tarpeen jakaa kahteen ryhmään: valvonta- ja tarkkailualueisiin sekä näiden ulkopuolisiin tiloihin eli luokittelemattomiin alueisiin. Kuten taulukosta (taulukko 1) käy ilmi, säteilytilojen rakenteita suunniteltaessa tulee rakenteet suunnitella sellaisiksi, että efektiivinen annos ei ylitä tarkkailualueella yli 6 mSv:ta ja luokittelemattomalla alueella yli 0,3 mSv:ta vuodessa. Mikäli säteilylähteitä sijaitsevia huoneita on useampi vierekkäin, tulee ottaa huomioon, että säteilylähteiden yhteisvaikutus ei ylitä säädettyjä annosrajoja. (6.)

Efektiivisten annosten määrittely etukäteen, ennen tilojen valmistumista on usein epävarmaa. Tämän vuoksi suunnittelussa käytetään apuna myös helpommin mitattavissa olevaa suuretta eli annosekvivalenttia. Suunnitteluperusteena käytetään usein vapaata annosekvivalenttia, jonka arvo on riittävän tarkka likiarvo mittauskohdassa ulkoisesta säteilystä aiheutuvalla efektiivisellä annoksella. Vapaalle annosekvivalentille on määritetty rajoiksi 120 mikrosievertiä tarkkailualueella ja luokittelemattomalla alueella 6 mikrosievertiä viikossa (taulukko 1). Edellä mainittuja rajoja ei saa ylittää. (6.)

TAULUKKO 1. Säteilyn annosrajat suunnittelussa (6)

Annosrajat suunnittelussa	Tarkkailualue	Luokittelematon alue
efektiivinen annos / vuosi	≤ 6 mSv	$\leq 0,3$ mSv
vapaa annosekvivalentti / viikko	≤ 120 mSv	≤ 6 mSv

3.3.2 Suunta- ja oleskelutekijät

Säteilysuojarakenteita suunniteltaessa käytetään säteilyn annosrajojen lisäksi apuna suunta- ja oleskelutekijöitä. Näillä tekijöillä huomioidaan säteilylähteen käyttötapaa ja lähteen käyttötilaa ympäröivien tilojen käyttöä. (6.)

Suuntatekijänä U käytetään arvoa, joka on vähintään yhtä suuri kuin se osuus säteilylaitteen käyttäjasta, jonka laitteen primäärisäteily laitteen odotettavissa olevan käytön mukaan kohdistuu tähän suuntaan. Jos käytetään radioaktiivista ainetta suojaamattomana, tulee U -arvona käyttää arvoa 1 joka suunnassa. (6.)

Oleskelutekijällä T arvioidaan henkilölle tietyssä tilassa vuoden aikana aiheutuvaa efektiivistä annosta. Oleskelutekijälle on käytettävä sille annettuja valmiita arvoja:

- Jatkuvassa käytössä olevissa työtiloissa on käytettävä arvoa $T = 1$.
- Terveystieteiden potilastiloissa ja odotustiloissa on käytettävä arvoa $T = 1$. Jos odotustilassa ei säteilyn käytön aikana ole jatkuvasti ihmisiä, voidaan tälle tilalle käyttää pienempääkin oleskelutekijän arvoa. Pienempää arvoa kuin $T = 0,1$ ei kuitenkaan saa käyttää.
- Sellaisissa asuin- ja oleskelutiloissa, jotka eivät ole toiminnan harjoittajan hallinnassa, on käytettävä arvoa $T = 1$.
- Sisä- ja ulkotiloissa, joissa kukaan yksittäinen henkilö ei oleskele jatkuvasti (esimerkiksi WC, käytävä, pukuhuone, varasto tai pysäköintialue), oleskelutekijälle on käytettävä arvoa, joka on vähintään yhtä suuri kuin se osuus ajasta, jona tiloissa eniten oleskeleva henkilö voi siellä olla. Pienempää arvoa kuin $T = 0,1$ ei saa käyttää, ellei sitä ole erikseen hyväksyttävästi perusteltu. (6.)

3.3.3 Suunnitteluetaisyydet

Säteilysojarakenteiden vaimennusvaikutuksien arvioinnissa käytetään työskentely- ja oleskeluetaisyyksille suojuksista kahta erilaista arvoa. Suojuksen takana ja yläpuolella arvo on 0,3 metriä. Suojuksen alapuolella arvo 1,5 metriä mitattuna suojuksen alapuolisen tilan lattiasta. (6.)

Perusteena edellä mainituille arvoille on se, että aivan seinien lähellä (0,3 m) harvemmin oleskellaan tai työskennellään. Tämän lisäksi kenenkään keho ei ole keskimäärin 1,5 metriä ylempänä lattiasta. Jos kuitenkin voidaan osoittaa, että oleskeluetaisyydet ovat pysyvästi edellä esitettyjä arvoja suurempia, voidaan käyttää suurempia arvoja. Suunnitteluetaisyyksissä tulee kuitenkin huomioida, että usean säteilylähteen yhteisvaikutus tai säteilyn sironta voi aiheuttaa tilanteen, jossa annosnopeus on suurimmillaan muualla, kuin edellä mainituilla etäisyyksillä suojuksista. (6.)

3.4 Säteilysuojamateriaalit

Säteilysojaa rakentaessa käytetään materiaaleina yleisesti betonia, lyijyä eri muodoissa, tiiltä sekä terästä. Valmistajien valikoimissa on myös muita, säteilysuojaukseen soveltuvia materiaaleja, kuten bariumia sisältävä kipsilevy, mutta niiden käyttö rakentamisessa on vielä vähäistä. Yleisesti käytetyille säteilysuojamateriaaleille on määritetty kunkin materiaalin yksilöllinen lyijyvastaavuus. Alla olevassa taulukossa (taulukko 2) on esitetty materiaalien lyijyvastaavuudet röntgentilojen säteilysuojauksessa.

TAULUKKO 2. Erilaisten rakennusmateriaalien lyijyvastaavuudet röntgentilojen säteilysojauksessa (6)

Röntgenputken jännite (kV)		50	70	100	150	200	300
Suojusmateriaali	Lyijyn paksuus (mm)	Lyijysuojauksen paksuutta vastaava muun suojusmateriaalin paksuus (mm)					
Betoni	0,5	65	58	51	56		
	1	130	105	80	105	95	80
	2		195	140	180	165	125
	3		285	190	250	220	155
	4			240	300	270	185
	6			340	410	360	240
Tiili (umpinainen)	0,5	94	84	74	81		
	1	200		120	150	130	105
	2			195	260	230	165
	3			260	340	310	210
	4			330	420	370	250
	6			450	570	490	330
Teräs	0,5	3	3,2	3,4	5,1		
	1	6,5		6,5	14	16	16
	2			13	28	32	26
Kipsi	0,5	157	145	132	153		
	1	290		200	270	240	190

Kuten taulukosta voidaan nähdä, vaikuttaa suojusmateriaalin kerrospaksuuteen ja lyijyvastaavuuteen röntgenputken jännite oleellisesti. Jännitteen vaikutus suojusmateriaalin lyijyvastaavuuteen ei ole lineaarinen vaan, vaihtelee röntgenputken jännitteen perusteella epäsäännöllisesti. Taulukossa 2 ilmoitetut lyijyvastaavuusarvot pätevät alla olevassa taulukossa (taulukko 3) esitetyille materiaaliiteyksille.

TAULUKKO 3. Erilaisten rakennusmateriaalien materiaaliiteydet (6)

materiaali	materiaaliiteyys
lyijy	11,3 g/cm ³
teräs	7,4 - 7,9 g/cm ³
betoni	2,3 - 2,4 g/cm ³
tiili (umpinainen)	1,8 g/cm ³
kipsi	0,84 g/cm ³

3.4.1 Lyijy

Lyijy on perinteinen materiaali säteilysuojan rakentamisessa. Kuten taulukosta 1 nähdään, on lyijy säteilysuojaukseltaan parhain, sillä lyijyä tarvitaan ohuin kerros säteilysuojan saavuttamiseksi. Lyijyä on mahdollista käyttää sellaisenaan rakentamisessa, mutta sen pehmeä rakenne ja huono vetolujuus tekevät lyijyn työstämisestä haasteellista. Haasteellisuutta lisää se, että lyijy on raskas materiaali, tämä aiheuttaa lyijyn valumisen, valumista voidaan kuitenkin ehkäistä laminoimalla lyijy teräs- kipsi- tai puulevyjen väliin (14, s. 206).

Lyijy on mahdollista myös sisällyttää muihin tuotteisiin, jolloin sen käsittely ja asennettavuus on helpompaa. Tällaisia tuotteita ovat esimerkiksi kipsilevy, jonka sisään on laminoitu lyijylevy. Tällaisia kipsilevyjä on saatavilla eri lyijypaksuuksilla säteilysuojatarpeen mukaan. (15, s. 16.) Lyijy on esiintymismuodostaan riippumatta haitallinen rakennusaine ja siten myös terveydelle haitallinen aine. Lyijyn käsittelyssä tuleekin huomioida sen vaatimat erityiset turvallisuus- ja käsittelyohjeet. (16.)

3.4.2 Betoni

Betonin käyttö säteilysuojauksessa on edullinen ja helppo vaihtoehto, mikäli säteilysuojauksen tarve tiedostetaan jo tilan rakentamisvaiheessa. Kuten taulukosta 1 voidaan nähdä, riittävä säteilysuojaus voidaan saavuttaa kasvattamalla betonikerroksen paksuutta. Betonipaksuutta muuttamalla voidaan säädellä lyijysuojauksen määrää.

Jos välipohjassa käytetään ontelolaattoja, tulee säteilysuojaa rakentaessa huomioida ontelolaatan rakenne (12, s.164). Onteloiden kohdalla betonipaksuus vaihtelee huomattavasti, jonka vuoksi ontelolaatalla saavutettava säteilysuojaus tulee laskea sen pienintä materiaalipaksuutta käyttäen (12, s.164). Betonipaksuuden vaihtelun vuoksi ontelolaatalla toteuttaviin välipohjarakenteisiin tulee usein lisätä lyijyä parantamaan säteilysuojauksia. Paikallaan valettavassa ylä- ja alapohjassa betonikerroksen kasvattaminen on usein hyvä vaihtoehto, sillä se sujuvoittaa tuotantoa verrattuna lyijyllä toteutettavaan säteilysuojaukseen.

3.4.3 Tiilet ja harkot

Erityisesti väliseinien rakentamisessa käytetään paljon harkkoja ja tiiliä. Taulukon 1 mukaan tiilen lyijyvastaavuus on betonia heikompi, joten tulee myös huomioida, että taulukossa käsitellään vain umpinaista tiiltä. Väliseinien rakentamisessa joudutaan kuitenkin käyttämään myös rei'itettyä tiiltä. Tämä heikentää seinän säteilysuojusominaisuutta entisestään. Tiiliseinillä saavutetaan kuitenkin jonkin verran säteilysuojausta, jota voidaan täydentää lyijyä sisältävillä ratkaisuilla.

4 SÄTEILYSUOJAUKSEN RAKENTEET OYS F-RAKENNUKSELLA

OYS F-rakennuksella säteily suojausta toteutetaan usein eri keinoin. Suunnitteluvaiheessa on pyritty luomaan sellaiset suunnitelmat, jotta tuotanto olisi mahdollisimman sujuvaa ja tehdyt ratkaisut olisivat toteutettavissa turvallisesti ja kustannustehokkaasti. Pääsääntöisesti säteily suojaus toteutetaan kohteessa betonin, tiilen ja lyijytuotteiden avulla. Välipohjien säteily suojauksessa käytetään betonia ja lyijytuotteita. Väliseinissä käytetään yleisesti betonia ja kalkkihiekkaharkkoja lyijyvuo- rauksella tai lyijyvuo- rattua kipsilevyä.

4.1 Säteily suojarakenteiden suunnitelmat ja tuotannon yhteensovitus

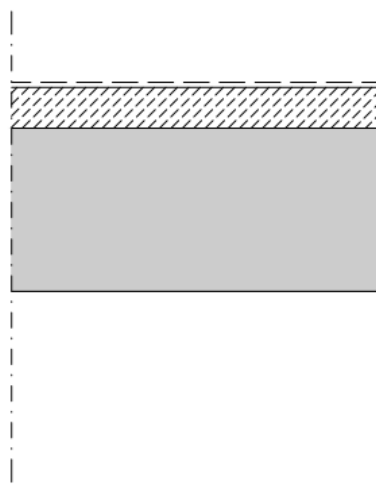
Suunnitelmia on käyty läpi TVD-prosessissa (Technical Value Design), jossa tuotannon työnjohto ja asiantuntijat ovat arvioineet suunnitelmien toteutusta kriittisesti. Prosessissa nousseiden muutospyyntöjen myötä suunnitelmia on muokattu mahdollisuuksien mukaan. Esimerkiksi välipohjan säteily suojaus suunnitelmia saatiin yksinkertaistettua, kun betonipaksuutta kasvatettiin sen ver- ran, että lyijylevyn käytölle ei ollut enää tarvetta. Tällaisilla ratkaisulla rakentamisesta saadaan kus- tannustehokkaampaa ja yksinkertaisempaa.

Rakennetyyppejä, jotka sisältävät säteily suojausta, yhdistää niiden samankaltaisuus vastaavaan tavanomaiseen rakenteeseen verrattuna. Rakenteisiin on usein vain lisätty lyijykerros säteily suojaa tuomaan. Säteilylajien luonteesta johtuen säteily suojan jatkuvaksi saaminen on rakenteissa yksi suurimmista haasteista. Jotta suojaus saadaan jatkuvaksi, tulee myös muiden kuin seinien, lattian ja katon olla säteily suojattu. Säteily suojausta tarvitaan oviin, läpivienteihin, sisäikkunoihin, lattia- kaivoihin ja viemärilinjoihin.

4.1.1 Välipohjarakenteet

Välipohjarakenteissa pääosassa on betoni, betonin lisäksi rakenteissa käytetään usein myös lyi- jylevyä lisäämään säteily suojausta. OYS F-rakennuksella välipohjarakenteissa pystyttiin välttä- mään lyijylevyn käyttö lisäämällä betonin määrää välipohjarakenteissa.

Kuvassa 1 on esitetty paikallavaletun välipohjan rakennetyyppi. Rakenne koostuu 250–400 millimetrin paikallavaletusta betonilaatasta, jonka päälle on valettu 70 millimetrin pintabetonilaatta. Yhteispaksuus rakenteella on betonilaatan paksuudesta riippuen 330–480 millimetriä. OYS F-rakennuksella vastaavaa rakennetta on käytetty kuvantamistilojen yläpuolella. Betonin paksuus itsessään on riittänyt luomaan rakenteelle sen vaatiman säteilysuojauksen. Rakenteen massiivinen betonimäärä tulee muistaa huomioida aikataulusuunnittelussa, sillä rakenteen kuivumisaika voi olla jopa viisinkertainen tavanomaiseen ontelolaattavälipohjaan verrattuna.



	PINTAMATERIAALI / -KÄSITTELY KS. HUONESELOSTUS / RAKENNUSSELOSTUS
10 mm	MATALA-ALKAALINEN TASOITE, C30, pH<11, KULUTUSKESTÄVYYS RWFC ≥350, PURISTUSLUJUUS ≥30 MPa, PINNAN VETOLUJUUS ≥ 1,5 MPa
70 mm	PINTABETONILAATTA, LUOKKA A-4-II, BY45/BLY7, NOTKISTETTU BETONI C25/30, KIVIAINEKSEN MAKSIMIRAEKOKO #16 RAUDOITUS PALKKIKAISTALLA MIN. T10#150 / ONTELOLAATTATOIMITTAJAN MUKAAN, MUUTEN T8#150 TAI KUITUBETONI 20-25kg/m ³ -ALUSTAN TARTUNTAHARJAUS
250..400 mm	KANTAVA TERÄSBETONILAATTA RAKENNEPIIRUSTUSTEN MUKAAN
	ALAKATTO / PINTAKÄSITTELY RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN

KUVA 1. VP1a paikallavalettu välipohja

Kuvassa 2 on esitetty välipohjan rakenne kuorilaattatoteutuksena. Rakenne sisältää säteilysuojauksen määrän mukaan 200 millimetriä paksun kuorilaatan, jonka päällä on 200 millimetriä paksu

paikallavalettu betonilaatta. Lisäksi laatan päälle on valettu 70 millimetrin pintabetonilaatta. OYS F-rakennuksella 400 millimetriä paksua kuorilaatta rakenteista välipohjatyyppiä on käytetty niiden tilojen yläpuolella välipohjassa, joissa säteilysuojauksen tarve on ollut suurinta. Rakenne sellaisenaan on riittänyt tuottamaan rakenteelta vaaditut säteilysuojausominaisuudet. Rakenteen paksuus tulee kuitenkin huomioida betonin kuivumisajassa.

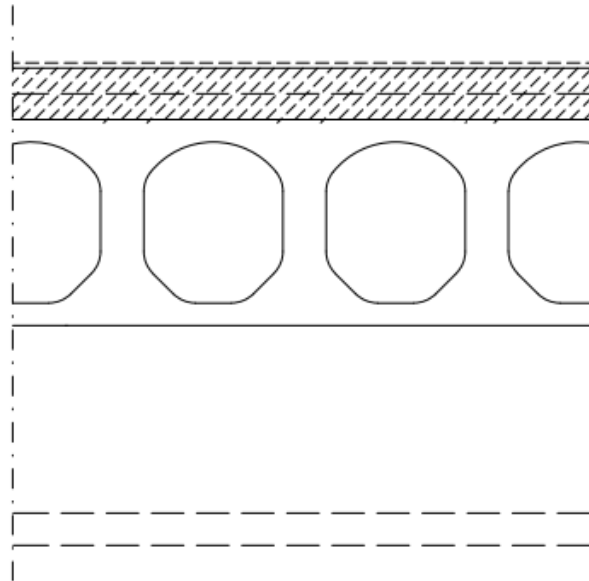


	PINTAMATERIAALI / -KÄSITTELY KS. HUONESELOSTUS / RAKENNUSSELOSTUS
10 mm	MATALA-ALKAALINEN TASOITE, C30, pH<11, KULUTUSKESTÄVYYS RWFC \geq 350, PURISTUSLUJUUS \geq 30 MPa, PINNAN VETOLUJUUS \geq 1,5 MPa
70 mm	PINTABETONILAATTA, LUOKKA A-4-II, BY45/BLY7, NOTKISTETTU BETONI C25/30, KIVIAINEKSEN MAKSIMIRAEKOKO #16 TARVITTAESSA RAUDOITUS RAKENNESUUNNITELMIEN MUKAAN -ALUSTAN TARTUNTAHARJAUS
200/400 mm	KUORILAATTA + PAIKALLAVALU C25/30 / LAATTATOIMITTAJAN MUKAAN, TARTUNTAHARJAUS
	ALAKATTO / PINTAKÄSITTELY RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN

KUVA 2. VP3 välipohja kuorilaattatoteutuksena

Kuvassa 3 on esitelty välipohjan rakennetyyppi ontelolaattatoteutuksena. Rakenne koostuu 400 millimetriä paksusta ontelolaatasta, jonka päällä on 70 millimetrin pintabetonilaatta. Koska ontelolaatan paksuus vaihtelee rakenteen eri kohdissa, tulee rakennetta yleensä täydentää riittävän säteilysuojauksen saavuttamiseksi. Säteilysuojauksen lisäämiseksi rakenteeseen lisättäisiin lyijyle-

vyä ontelolaatan alapintaan, sillä säteilylähde on välipohjan alapuolella. OYS F-rakennuksella ontelolaattarakenteinen välipohja (kuva 3) olisi sellaisenaan tuottanut riittävän säteilysuojauksen. Kuvan 3 mukaisesta välipohjarakenteesta kuitenkin luovuttiin tuotannollisista syistä säteilysuojausta vaativien tilojen kohdalla.



	PINTAMATERIAALI / -KÄSITTELY KS. HUONESELOSTUS / RAKENNUSSELOSTUS
10 mm	MATALA-ALKAALINEN TASOITE, C30, pH<11, KULUTUSKESTÄVYYS RWFC \geq 350, PURISTUSLUJUUS \geq 30 MPa, PINNAN VETOLUJUUS \geq 1,5 MPa
70 mm	PINTABETONILAATTA, LUOKKA A-4-II, BY45/BLY7, NOTKISTETTU BETONI C25/30, KIVIAINEKSEN MAKSIMIRAEKOKO #16 RAUDOITUS PALKKIKAIKASTALLA MIN. T10#150 / ONTELOLAATTATOIMITTAJAN MUKAAN, MUUTEN T8#150 TAI KUITUBETONI 20-25kg/m ³ -ALUSTAN TARTUNTAHARJAUS
400 mm	ONTELOLAATTA
	ALAKATTO / PINTAKÄSITTELY RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN

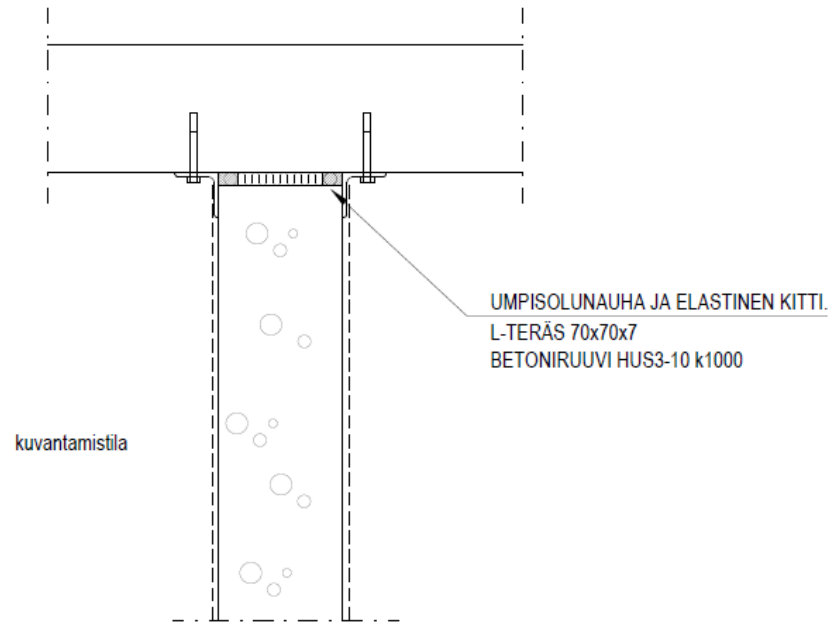
KUVA 3. VP1 välipohja ontelolaattatoteutuksena

4.1.2 Väliseinärakenteet

Erilaisia väliseinätyyppejä ja rakenteita kohteessa on käytössä useita. Väliseinätyypit voidaan jakaa valettuihin väliseiniin, muurattuihin väliseiniin ja levyrakenteisiin väliseiniin.

Kuvassa 4 on esitelty tyypillisen OYS F-rakennuksella käytetyn betonisen ei-kantavan väliseinän rakenne. Rakenne on yksinkertainen, eikä sisällä lyijylevyä, sillä betonipaksuus on ollut riittävä saavuttamaan vaaditun säteilysuojan. Tilat, joissa vastaavaa rakennetta on käytetty ovat olleet pääsääntöisesti seurantahuoneita, joissa säteilyn määrä on vähäistä kuvantamistiloihin verrattuna.

Rakennetyypistä on käytetty muutamaa, samaa periaatetta noudattavaa muunnosta, joissa betonipaksuus on vaihdellut 140 millimetristä 180 millimetriin. Kyseisiä rakenteita noudattavia väliseiniä on käytetty säteilysuojausta vaativissa wc- ja suihkutiloissa sekä varastotiloissa joihin isotooppia sisältävät asiat säilötään siihen asti, kunnes isotooppi on puoliintunut riittävästi ja asioiden käsittely, kuten pesu on turvallista.



PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY
 RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN

 230 mm TERÄSBETONI / BETONI
 RAKENNEPIIRUSTUSTEN MUKAAN

 PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY
 RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN

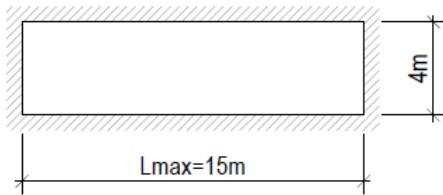
KUVA 4. VS1b valetun väliseinän rakennekuva

Kuvassa 5 on esitetty muuratun väliseinän rakenne. Rakenteessa on käytetty 130 millimetristä umpinaista kahi-harkkoa. Harkon säteilysuojauskyky ei kuitenkaan ole riittävä, minkä vuoksi rakenteeseen on lisätty lyijyä sisältävä kipsilevy. Riittävä säteilysuojaus on saavutettu kolmen millimetrin lyijykerroksella.

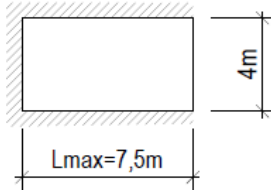
Kuvassa (kuva 5) esitetystä rakenteesta on käytetty myös muunnosta (VS4c), jossa umpinaisen kahi-harkon koko on suurempi, 270 x 198 x 75 mm. Lisäksi harkkojen seinän alimpaan ja ylimpään vaakasaumaan on muurattu halkaisijaltaan kahdeksan millimetristä raudoitustankoa. Kyseistä muunnosta on käytetty pääsääntöisesti kuvantamisentiloissa, kuten myös kuvan 5 rakennetyyppeä.

TIILISEINÄN TUENTA

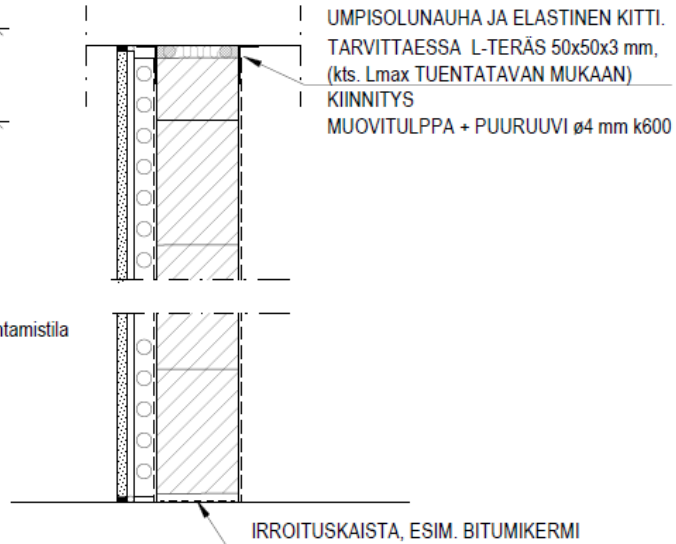
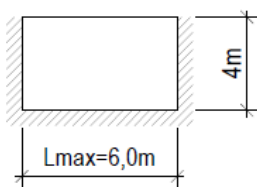
Neljältä sivulta tuentun seinän pituuden maksimiarvo



Lattiasta, katosta ja yhdeltä pystysivulta tuetun seinän pituuden maksimiarvo



Lattiasta ja kahdelta pystysivulta tuetun seinän pituuden maksimiarvo



PINTAKÄSITTELY RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN

16mm	KIPSILEVY, X-RAY PROTECT SÄTEILYSUOJALEVY, LYIJYLAMINOITU, LYIJYLAMINAATIN VAHVUUS 3 mm
12 (13)mm	HAVUVANERI, OSB TAI ULTRABOARD (13mm), (2,5m KORKEUTEEN, YLÄOSA GYPROC N)
30mm	HATTUORSI, REI'ITETTY (TUULETTUVA), PYSTYYN k600
130 mm	KAHI-HARKKO UMPI OHUTSAUMAMUURAUUS

PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN

PITKÄT TIILISEINÄT JAETAAN OSIIN LIIKUNTA-AUKKOILTA $L < 15$ m.
ELLEI POIKITTaisia SEINIÄ, TUENTA IPE-160 K6000-15000, kts. TIILISEINÄN TUENTA .
(ONTELOLAATAN PÄÄLLÄ LAATAN SUUNTAISET SEINÄT JAETAAN OSIIN $L < 6$ m)

DETALJIT kts. Weber Kahi-talot ja väliseinät suunnitteluohje
KTS. 1401 MUURATTUJEN SEINIEN DETALJIT

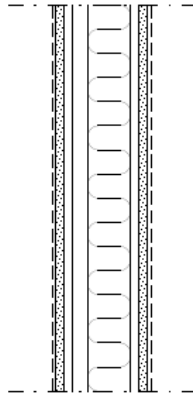
PALONKESTÄVYYSÄIKA: EI 120 KANTAMATON

Ilmaääneneristysluku: $D_{nT,w} = 46$ dB PUHTAAKSIMUURATTUNA
 $D_{nT,w} = 48$ dB MOLEMMIN PUOLIN TASOITETTUNA

KUVA 5. VS4b muuratun väliseinän rakennekuva

Kuvassa 6 on esitetty eräänlaisen levystä rakennettavan väliseinän rakenne. Kuten kuvasta nähdään, koostuu rakenne kipsilevyrangasta, eristeestä ja useammasta erilaisesta kipsilevytyypistä. Lyijyä sisältävän kipsilevyn asennuksessa tulee huomioida kipsilevyn liitoskohdat, sillä liitoskohtien alle tulee asentaa lyijylevyä koko liitoksen matkalta. Kuvan (kuva 6) kaltaisesta rakennetyypistä on käytössä ollut myös muunnos, jossa lyijykipsilevyn lyijykerros on yhden millimetrin vahvuinen.

Koska OYS F-rakennuksella säteilysuojausta tarvitaan myös joissakin wc-tiloissa, on kuvan 6 rakennetyypistä muokattu myös säteilysuojattujen wc-tilojen seinärakenne. Wc-tilan seinän rakennetyyppi eroaa kuvan 6 rakenteesta siten, että erikoiskovan kipsilevyn pintaan asennetaan vedeneristys ja tämän päälle asennetaan laatoitus.



PINTAKÄSITTELY RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN

16 mm	KIPSILEVY, X-RAY PROTECT TAI LEAD BOARD SÄTEILYSUOJALEVY, LYIJYLAMINOITU, LYIJYLAMINAATIN VAHVUUS 3mm
12 (13) mm	HAVUVANERI, OSB TAI ULTRABOARD (13mm), (2,5m KORKEUTEEN, YLÄOSA GYPROC N)
95 mm	TERÄSRANKA GYPROC XR 95 k600 + MINERAALIVILLA 70mm, ESIM. PAROC Extra TAI VASTAAVA
12 (13) mm	HAVUVANERI, OSB TAI ULTRABOARD (13mm), (2,5m KORKEUTEEN, YLÄOSA GYPROC N)
13 mm	KIPSILEVY, GEK

PINTAKÄSITTELY RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN

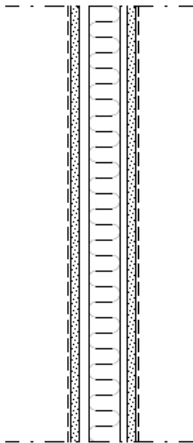
SEINÄ- JA VÄLIPOHJARAKENTEIDEN LIITTYMÄT MATERIAALITOIMITTAJAN OHJEIDEN MUKAAN.
YLÄPÄÄHÄN TAIPUMAN SALLIVA LIITOS VALMIST. OHJEEN MUKAAN

SUOJAUSJÄRJESTELMÄN DETALJIT, KIINNIKKEET JA TARVIKKEET JÄRJESTELMÄN TOIMITTAJAN SUUNNITELMIEN MUKAAN.
ERITYISTÄ HUOMIOTA TULEE KIINNITTÄÄ RIITTÄVÄN TIIVEYDEN SAAVUTTAMISEEN ESIM. OVIEN JA SEINIEN LIITOKSISSA SEKÄ LVIS-TEKNIIKAN LÄPIVIENTIEN KOTELOINNISSA

SEINÄN KORKEUS $H_{max} = 5000$ mm

KUVA 6. VS11c levyrakenteisen seinän rakenne

Kuvassa (kuva 7) on esitelty erään levyrakenteisen väliseinätyypin rakenne. Kyseistä rakennetta on käytetty viemäreiden nousukuilujen koteloinnissa. Rakennetyyppi muistuttaa paljon kuvan 6 rakennetta, eroavaisuutena vain rakenteen kokonaispaksuus.



	PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY HUONESELITYKSEN MUKAAN
13 mm	KIPSILEVY EK
66 mm	TERÄSRANKARUNKO GYPROC XR 66 k600 + MINERAALIVILLA, ESIM. PAROC Extra TAI ISOVER KL-AKU TAI VASTAAVA 50 mm
12 (13) mm	1. KRS JA YLÖSPÄIN HAVUVANERI, OSB TAI ULTRABOARD (13mm) (2,5m KORKEUTEEN, YLÄOSA GYPROC N) T. KRS KIPSILEVY, GYPROC HABITO TAI KNAUF ULTRA BOARD (13mm)
16 mm	KIPSILEVY, X-RAY PROTECT SÄTEILYSUOJALEVY, LYIJYLAMINOITU, LYIJYLAMINAATIN VAHVUUS 3 mm

PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY HUONESELITYKSEN MUKAAN

KUVA 7. VS23b levyrakenteisen seinän rakenne

Väliseinärakenteissa on kiinnitettävä erityistä huomiota materiaalien rajapintoihin. Tämän vuoksi erityisesti lyijyä sisältävää kipsilevyä käytettäessä tulee huomioida, että levyyn ei jää tyhjiä ruuvien reikiä. Levyjen asentamisessa tulee myös huomioida, että lyijylevykaistaletta käytetään levyjen saumojen lisäksi rajapinnoissa, jotta säteilysuojauksesta saadaan kattava, eikä suojaukseen jää aukkoja tai epäjatkuvuuskohtia.

4.1.3 Lämpiviennit ja viemäroinnit

Säteilysuojauksen jatkuvuus on onnistuneen säteilysuojauksen kannalta kriittinen asia. Jotta suojauksesta saataisiin jatkuvaa, on siihen määritelty tiettyjä toimintaperiaatteita, joita noudattamalla suojauksen jatkuvuudesta voidaan riittävästi varmistua. Säteilysuojauksen jatkuvuuden kannalta erilaiset materiaalien rajapinnat, sekä tilojen rajapinnat ovat merkityksellisimpiä. OYS 2030-hankkeella on määritetty omat toimintaperiaatteet säteilysuojauksen jatkuvuuden varmistamiseksi. Toimintaperiaatteet koskevat läpivientejä, sähköpistokkeita sekä rakenteiden rajapintoja ja säteilysuojamateriaalina on näissä käytetty lyijyä eri muodoissa.

Lämpivientien kohdalla lyijysuojauksen paksuus tulee olla 3 millimetriä. Lämpiviennit tulee suojata lyijyllä vähintään läpiviennin halkaisijaa vastaavalta etäisyydeltä. Tämä ohjeistus koskee sekä seinä-, että kattolämpivientejä. Vesi- ja kaasupisteiden läpivienneissä suojaus voidaan suorittaa vastakkaiselta puolelta seinää, mutta läpiviennin reikä tulee ylittää vähintään 50 millimetriä sivuiltaan. Sähköpistokkeita varten käytetään valmiiksi lyijytettyjä pohjakoteloita, joiden lyijyvastaavuus on 3 millimetriä. (17.)

Kuten edellä on mainittu, tulee lyijyä sisältävien levyjen asennuksessa käyttää saumakohdassa lyijylevyä koko sauman mitalta. OYS 2030 -hankkeen toimintaperiaatteissa on sovittu, että saumassa käytettävän lyijylevynauhan tulee ylittää tilassa lattian pinnasta holviin asti. Huoneen nurkissa tulee kiinnittää huomiota ylä- ja alanurkkien vaakatasosaumaukseen. Lisäksi huoneen pystynurkat tulee saumata tiiviisti lyijynauhalla. Jotta nurkkien saumauksista saadaan tiiviit, tulee nauha taittaa pitkästäissuunnassa keskeltä, jolloin nauhan profiili muuttuu suorakulmaksi. Nauhan tulee nurkassa ylittää 25 millimetriä nurkan molemmin puolin. (17.)

4.1.4 Ovet ja ikkunat

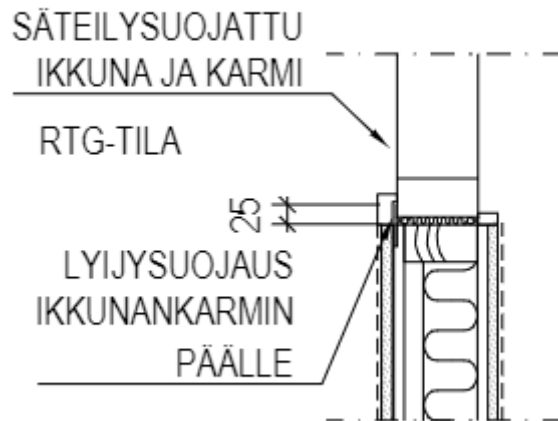
Tiloissa, joissa syntyy säteilyä tai käsitellään säteileviä aineita, tulee säteilyn tyypillisen käyttäytymisen takia säteilysuojaus saada jatkuvaksi. Tämä koskee myös tiloissa olevia ovia ja mahdollisia ikkunoita. On huomioitava, että ikkunoiden ja ovien suojaus tulee olla yhtä hyvä kuin niitä ympäröivien seinien (12, s.164). Kuvantamisen huoneissa on aina oltava laitteiden säätötilan ja itse ku-

vantamistilan välissä tarkkailuikkuna. Tarkkailuikkunan kautta kuvauksen suorittaja voi seurata pötilaan vointia kuvauksen aikana ja laitteiden toimintaa. Tällaiset tarkkailuikkunat ovat aina lyijylasia. (12, s.164.)

Lyijylasi on tavallista lasia, johon on lisätty tiettyjä pitoisuuksia lyijyä sekä bariumia. Väriltään lyijylasi on hieman kellertävää ja tavalliseen lasiin verrattuna herkempää erilaisille kemiallisille reaktioille. Lasin herkkyys johtuu sen sisältämästä lyijystä ja bariumista. Lyijylasi on myös pehmeämpää ja voi naarmuuntua helpommin kuin tavallinen lasi. Sisältämänsä lyijyn takia lasi on tavalliseen lasiin verrattuna painavampaa, mikä kannattaa ottaa huomioon ympäröiviä rakenteita suunniteltaessa. (18.) OYS F-rakennuksella ikkunoissa tulee olla kolmen millimetrin lyijyvastaavuus (17).

Kuten aiemmin on jo todettu, säteilysuojauksen jatkuvuuden varmistaminen erilaisten materiaalien ja rakenteiden rajapinnoissa on yksi säteilysuojauksen haastavimpia kohtia. Lyijylasista valmistetun tarkkailuikkunan ja seinärakenteen liitoksessa säteilysuojauksen jatkuvuuden varmistaminen on avattu seuraavassa kuvassa (kuva 8).

Kuvasta 8 nähdään, että ikkunakarmin alle asennetaan 50 millimetriä leveä lyijynauhakaistale, joka limittyy lyijyä sisältävän kipsilevyn alle 25 millimetriä ja ikkunakarmin päälle tulevan listan alle 25 millimetriä. Säteilysuojaus varmistuu lisäksi säteilysuojatun ikkunan rakenteella. Ikkunan rakenteen vuoksi säteilysuojattu lasi ulottuu sitä ympäröivien karmien sisään 20 millimetriä, mikä lisää säteilysuojauksen jatkuvuutta.



KUVA 8. Säteilysuojatun ikkunan ja seinän liitos

Säteilysuojatuissa tiloissa ovet ovat yleisimmin lyijyovia. OYS F-rakennuksella ovet sisältävät lyijylevyn, joka on laminoitu oven sisään. Erilaisten rakenteiden liitoskohdissa säteilysuojaus tulee saada jatkuvaksi. Jatkuvuuden varmistamiseksi ovikarmien päälle asennetaan lyijysuojaus samoin, kuin kuvassa (kuva 8) on esitetty lyijysuojauksen sijainti ikkunakarmin päällä. Oviaukkojen kohdalla tulee huomioida, että lyijynauhan on tultava oven reunan yli 20–30 millimetriä. Yli tuleva osuus taitetaan sisäpuolelle karmin alle (17).

5 SÄTEILYSUOJIEN RAKENTAMINEN

5.1 Tuotanto

Tuotannollisesti säteilysuojarakenteiden rakentamiseen liittyy erityispiirteitä, joihin on hyvä perehtyä ennen tuotannon käynnistämiseen. Erityispiirteet liittyvät rakenteiden toteutukseen ja materiaalin työstämiseen. Yleisimmin erityiset järjestelyt tuotannossa johtuvat lyijyn käytöstä säteilysuojamateriaalina. Lyijy on luokiteltu haitta-aineeksi rakentamisessa ja on siten ihmisen terveydelle haitallista (16).

5.1.1 Rakenteiden tuotanto

Säteilysuojarakenteiden tuotanto noudattaa vastaavien tavanomaisten rakenteiden tuotantoa. Tässä luvussa käsitelläänkin pelkästään lyijyä sisältävien säteilysuojarakenteiden tuotantoa, sillä betonilla toteutetuissa rakenteissa ei tuotannollisesti ole vastaavia erityispiirteitä. Tuotannossa on kuitenkin huomioitava massiivisten betonirakenteiden, kuten välipohjarakenteiden kuivumisajat, jotka ovat tavanomaisiin ontelolaattaratkaisuihin verrattuna huomattavasti pidempiä.

Luvussa 4 käsiteltiin OYS F-rakennuksessa käytettyjä rakennetyyppejä. Lyijyä sisältävää kipsilevyä ja lyijynauhaa on käytetty ainoastaan väliseinissä, läpivienneissä ja rakenteiden liitoskohdissa. Työjärjestys edellä mainituissa rakenteissa ei poikkea tavanomaisesta työjärjestyksestä. Tuotannolliset erityispiirteet johtuvat pääasiassa lyijyä sisältävien materiaalien käsittelystä ja työvälineistä. Levyjen siirtämisessä ja asennustyössä on hyvä huomioida lyijyä sisältävien levyjen suurempi massa tavanomaiseen kipsilevyyn verrattuna. Lyijyn käsittelyyn liittyy lyijyn haitallisuuden vuoksi omia säädöksiä, joita on avattu kohdassa 5.1.2 Työturvallisuus.

5.1.2 Työturvallisuus

Lyijyn käsittelystä ja lyijytyöstä on säädetty valtioneuvoston päätöksessä 1154/1993. Päätöksessä on säädetty, että ”Työnantajan tulee ryhtyä sellaisiin rakenteellisiin ja muihin teknisiin toimenpiteisiin, joita kohtuudella voidaan vaatia lyijyaltistuksen estämiseksi” (19, 3 §). Työnantajan velvollisuus

on siis toimenpiteillään minimoida lyijyaltistus lyijytyöskentelyssä. Lyijytyöskentelyssä erityistä huomiota tulee kiinnittää lyijypölyn ehkäisemiseen ja siltä suojautumiseen. (19, 3 §.)

Lyijypölyn määrään voidaan vaikuttaa hyvällä suunnittelulla. Ennen tuotannon aloittamista lyijylevyjen levyjakoa on hyvä suunnitella, sillä näin voidaan välttää ylimääräistä lyijypölyn määrää lisäävää levyjen leikkaamista. Lyijylevyjen leikkaamiselta ei kuitenkaan voida välttyä kokonaan, sillä säteilysuojarakenteen optimaalinen toiminta edellyttää, että lyijyvuoraus on jatkuva, eikä vuoraukseen jää rakoja tai reikiä. Lyijylevyn leikkaamista varten onkin hyvä rajata oma leikkuualue, joka on eristetty muista alueista tiiviisti suojaseinin. Lisäksi leikkuukalusto tai leikkuualue on varustettava poistoimulaitteistolla. Mikäli lyijypölyn määrää ei voida edellä mainituilla keinoilla ehkäistä riittävästi tai toimenpiteiden vaatiminen on kohtuutonta työvaiheen kestoon tai laajuuteen nähden, tulee työnantajan osoittaa työntekijälle tarkoituksen mukaiset ja riittävän tehokkaat hengityssuojaimet (19, 4 §).

OYS F-rakennuksella linjaus lyijypölyaltistuksen minimoimiseksi on, että työntekijän tulee käyttää levyjä käsitellessä nitrilipintaisia työkäsiineitä, suojapukua sekä moottoroitua hengityssuojainta (20). Henkilökohtaisten suojavälineiden lisäksi tilat, joissa lyijyä on käsitelty, on eristetty muista tiloista suojaseinin ja pölyn hallitsemiseksi tilat on alipaineistettu alipaineistajan avulla. Poistoimulaitteistoissa ja alipaineistajissa on käytetty HEPA-suodattimia. Edeltävien toimenpiteiden lisäksi leikkuuvälineissä on käytetty kohdepoistoa. (21.)

Tiloissa, joissa lyijytyötä suoritetaan, tulee kiinnittää erityistä huomiota tilojen siivoamiseen. Lyijypölyn ilmaan nostattamista tulee välttää, toisin sanoen lyijypölyn kuivaharjaaminen on kielletty. Jotta pölyn siivoaminen ilman pölyn leviämistä onnistuu, tulee pölyn poistossa käyttää riittävän tehokkailla suodattimilla varustettua imulaitteistoa. Vaihtoehtoisesti siivottavat alueet voidaan myös kastella ennen siivoustyön aloitusta. (19, 6 §.)

5.1.3 Ympäristö

Säteilysuojarakenteiden rakentamisesta syntyy aina jätettä, kuten rakentamisesta muutenkin. Säteilysuojarakenteita rakennettaessa jätteen käsittelyssä on kiinnitettävä erityisesti huomiota lyijypi-

toisen jätteen käsittelyyn. Lyijypitoinen jäte luokitellaan vaaralliseksi jätteeksi. Tilassa, jossa lyijypitoista jätettä syntyy, tulee olla vaarallisten jätteiden keräysvälineet, jotka on merkitty lainsäädännön vaatimilla varoitusmerkinnöillä. Pääsääntöisesti vaaralliset jätteet on säilytettävä lukittavassa ja paloturvallisessa tilassa. (22, s.11.)

OYS F-rakennuksen työmaalla lyijyjätteet on lajiteltu omaan lukittavaan jätekonttiin, jonka tyhjenytystä ja jatkokäsittelystä on vastannut kilpailutettu jätehuoltourakoitsija. Jätteiden käsittelystä on toimitettu urakoitsijan toimesta koontiraportti NCC:lle.

5.2 Laadunohjaus ja varmistaminen

Säteilysuojarakenteiden tuotannossa laadunvarmistus on tärkeässä osassa, jotta rakenteista saadaan varmasti säteilyltä suojaavia. Rakenteiden oikeellisuuden varmistaminen lähtee liikkeelle tvd-työpajoista, joissa suunnitelmia käydään läpi kriittisesti. Tvd-pajoissa suunnitelmien läpikäymiseen osallistuvat sekä tilaajan, rakennuttajan, että mahdollisen aliurakoitsijan edustajia. Säteilysuojarakenteiden kohdalla erityinen painoarvo on ollut tilaajan fyysikoiden, sekä kuvantamistiloista vastaavien henkilöiden tiedoilla ja arvioilla suunnitelmista.

Suunnitelmien läpikäynnin aikana voidaan mahdollisesti vaikuttaa suunnitelmiin siten, että toteutustapaa voidaan yksinkertaistaa muuttamalla rakenteita. OYS F-rakennuksella näin tehtiin säteilysuojausta vaativien välipohjien kohdalla. Vaikeasti työstettävästä lyijylevystä voitiin säteilysuojauksessa luopua kasvattamalla välipohjan betonipaksuutta.

Suunnitelmien toteutumista käytännössä tulee aina valvoa, sillä asianmukainen rakennusaikainen valvonta on oleellinen osa suojusten riittävyden varmistamista (6). Laadunvarmistukseksi säteilysuojarakenteisiin on kohdistettu malliasennuskatselmuksia ja osakohteiden tarkastuksia. Malliasennuskatselmuksissa mukana on ollut urakoitsijan lisäksi tilaajan fyysikoita ja kuvantamistilojen käyttömestareita sekä valvojia kolmannesta organisaatiosta. Malliasennuskatselmuksissa on tarkastettu, että rakenteet on toteutettu suunnitelmien mukaisesti ja työnjälki on sopimuksen ja laatuvaatimusten mukaista. Erityisesti malliasennuskatselmuksissa on kiinnitetty huomiota levyjen saumaukseen, saumojen toteutukseen, lyijylevyjen limitykseen ja läpivienteihin. Seuraavissa kuvissa

(kuva 8, kuva 9, kuva 10) on esitelty muutamia kohtia, joihin malliasennuskatselmuksessa on kiinnitetty huomiota.



KUVA 8. Väliseinän alaosan saumaus lyijynauhalla

Lyijylevyjen saumausten asennuksissa tulee erityisesti kiinnittää huomiota, miten päälle tulevat lyijykipsilevyt tullaan asentamaan. Lyijynauhan tulisi olla keskitettynä lyijykipsilevyjen saumojen kanssa. (Kuva 9.)



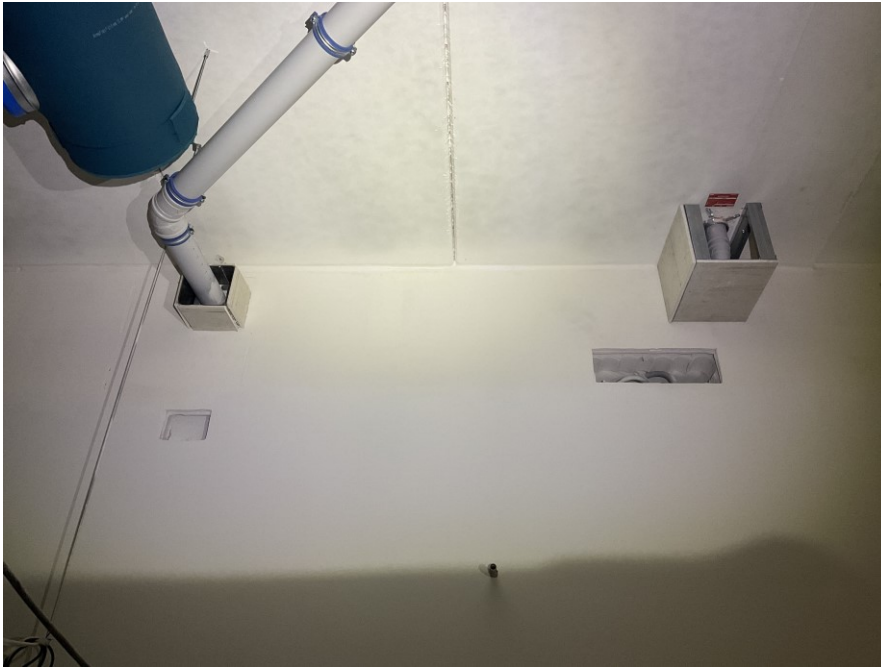
KUVA 9. Lyijylevyjen saumojen saumaaminen lyijynauhalla

Säteilysuojauksen saaminen jatkuvaksi voi olla joskus haastavaa. Erityisesti nurkissa säteilysuojauksen jatkuvuuden takaamiseksi joudutaan tekemään vahvistuksia, jotta säteily suojaus saadaan riittävästi. Kuvassa 10 on esitetty nurkan säteilysuojauksen toteutus. Lyijykipsilevyjen asettumisen vuoksi nurkkaan on jouduttu limittämään toinen lyijynauha nurkassa kulkevan lyijynauhan kanssa. Limitys on jouduttu tekemään, koska muuten kipsilevyjen saumassa ei ole 25 millimetriä lyijynauhaa sauman molemmin puolin. (Kuva 10.)



KUVA 10. Nurkan säteilysojauksen toteutus

Kuvassa 11 on esitetty eräs ratkaisu läpivientien säteilysojauksen toteutuksesta. Läpivientien säteilysojauksen suunnittelussa tulee huomioida säteilylähteen sijainti. Joissakin tapauksissa läpivienteihin ei tarvitse lisätä säteilysojaa, sillä säteily ei pääse läpiviennin luokse. Tällaisia tilanteissa säteilylähde sijaitsee yleensä niin kaukana läpiviennistä, että säteilyn sironta on läpiviennin kohdalla jo niin suurta, että säteilysojalle ei nähdä tarvetta. (17.)



KUVA 11. Läpivientien säteily suojausten toteutus kaulusten avulla

Vaikka säteily suojarakenteet suunnitellaan huolellisesti, tulee rakenteiden suojaavuus säteilyltä testata rakenteiden valmistuttua. Suomessa säteily suojarakenteiden mittaukset suorittaa säteilyturvakeskus STUK (23). Myös OYS F-rakennuksella mittaukset tullaan suorittamaan rakenteille ennen tilojen käyttöönottoa. Mikäli mittauksissa havaitaan puutteita säteilynsuojauksessa, tehdään rakenteisiin toimenpiteitä viranomaisen vaatimusten mukaan.

Mittaukset tulee suorittaa rakenteille Säteilyturvakeskuksen hyväksymillä mittareilla ja laitteistoilla (24). Mittauksessa käytettävän säteilymittarin on sovellettava mittauksen kohteena olevan säteilyn mittaukseen niillä mitattavan suureen arvoilla ja säteilyn lajeilla ja energioilla, joita säteilyn käyttöpaikalla tai sen ympäristössä esiintyy. Mittarit ja laitteistot tulee olla valtuutetun toimijan kalibroimia ja niiden käyttäjän tulee olla Säteilyturvakeskuksen valtuuttama. (25.)

Mittaukset suoritetaan tiloissa ainakin niillä etäisyyksillä suojuksista, joita suojuksia suunniteltaessa on käytetty henkilöiden työskentely- tai oleskeluetäisyyksinä. Mittauksia on tehtävä riittävän monessa pisteessä, jotta voidaan varmistua suojusten kattavuudesta ja tasalaatuisuudesta. Erityistä huomiota tulee kiinnittää eri materiaaleista tehtyjen suojusten liitoskohtiin sekä ovien ja ikkunoiden karmeihin, sillä niiden suojauskyvyssä on havaittu eniten rakennusteknisistä syistä johtuvia puutteita. (6.)

6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli avata säteilysuojarakenteita, niiden suunnitteluperiaatteita ja tuotannollista näkökulmaa tuotannossa työskenteleville. Säteilysuojarakenteiden toteuttamisen tueksi on koostettu toimintaohje tämän työn toimeksiantajan käyttöön. Työssä käsiteltiin säteilysuojarakenteita OYS F-rakennuksella, joka on osa OYS 2030 -uudistamisohjelmaa. OYS F-rakennuksen päätoteuttajana toimii NCC Suomi Oy, joka toimii myös tämän työn toimeksiantajana.

Säteilysuojarakenteiden laadukas toteuttaminen vaatii hyvää suunnittelua ja suunnitelmien kriittistä arviointia. Suunnittelun tueksi on saatavilla Säteilyturvakeskuksen luomia ohjeita. Nykyaikaiset materiaalit mahdollistavat kuitenkin useita erilaisia rakenneratkaisuja. Suunnittelun ja tuotannon yhteensovitus on säteilysuojarakenteiden kohdalla tärkeää, sillä erilaisilla materiaaleilla toteutettavien rakenteiden tuotannolliset vaikutukset voivat poiketa toisistaan suurestikin.

Säteilysuojamateriaaleista käytetyimpiä ovat betoni ja erilaisten lyijypohjaiset materiaalit. Myös terästä ja tiiltä käytetään säteilysuojarakenteissa. Erityisesti lyijyä sisältävien materiaalien käytössä tulee huolehtia turvallisesta työskentelystä. Lyijy on ihmiselle vaarallinen aine, minkä vuoksi lyijyn käsittelyssä tulee noudattaa sille säädettyjä turvallisuusvaatimuksia. Tuotannollisia erityisvaikutuksia lyijyn käsittelyn lisäksi säteilysuojarakenteiden toteuttamisessa tuo myös massiiviset betonirakenteet, joiden pitkä kuivumisaika tulee huomioida tuotannon aikataulutuksessa ja työvaiheiden yhteensovituksessa.

Tuotannon laadunvarmistuksen onnistumiseksi tulee erityistä huomiota kiinnittää malliasennuskatselmuksiin ja osakohteen tarkastuksiin, jotta säteilysuojarakenteiden laatua saadaan valvottua säännöllisesti ja mahdolliset laatu-poikkeamat huomataan ajoissa. Laadunvarmistus on oleellinen osa rakenteiden tuotantoa, sillä rakenteiden on toimittava riittävällä varmuudella, jotta tilat ovat aikanaan mahdollisimman turvalliset sekä työntekijöille, että asiakkaille.

LÄHTEET

1. Säteilyturvakeskus 2023. Mitä säteily on. Hakupäivä 4.11.2023. <https://stuk.fi/mita-sateily-on>.
2. Terveyskylä, Tutkimukseen tulijan talo 2023. Magneettitutkimus. Hakupäivä 7.12.2023. <https://www.terveyskyla.fi/tutkimukseen/kuvantamistutkimuksia/magneettitutkimus>.
3. Turun yliopistollinen keskussairaala 2023. PET-tutkimus. Hakupäivä 9.12.2023. <https://www.tyks.fi/hoidot-ja-tutkimukset/pet-tutkimus>.
4. Docrates 2023. SPECT-TT syövän diagnostiikassa ja hoidossa. Hakupäivä 10.12.2023. <https://www.docrates.com/syovan-hoito/kuvantaminen-ja-diagnoosi/spect-tt/>.
5. Korpela, Helinä 2004. Isotooppilääketiede. Teoksesta Säteilyn käyttö (toim. Olavi Pukkila). Helsinki: Säteilyturvakeskus, s. 220–249. Hakupäivä 7.12.2023. <https://stuk.fi/documents/150192312/162661266/kirja3-3-sateilyn-kaytto-isotooppilaaketiede.pdf/35dd86de-17e6-94ad-57eb-103edd5014c4/kirja3-3-sateilyn-kaytto-isotooppilaaketiede.pdf?t=1684851449964>.
6. Säteilyturvakeskus 2023. Säteilylähteiden käyttötilojen suunnittelu, 14.7.2011. Hakupäivä 15.11.2023. <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/ST1-10#a5>.
7. Rantanen, Erkki 2000. Säteilyn ja radioaktiivisuuden suureet ja yksiköt sekä annoksen mittaaminen. Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim. Hakupäivä 15.11.2023. <https://www.duodecimlehti.fi/duo91422>.
8. Wikipedia 2023. Lyijy. Hakupäivä 10.12.2023. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Lyijy>.
9. Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiiri 2020. Tulevaisuuden sairaala OYS 2030 Toinen vaihe hankesuunnitelma 9.11.2020.
10. Pirkanmaan hyvinvointialue 2023. Tietokonetomografia. Hakupäivä 4.11.2023. <https://www.pirha.fi/palvelut/sairaalat-tays/laboratorio-ja-kuvantaminen/tietokonetomografia>.

11. Säteilylaki 859/2018. Hakupäivä 10.11.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20180859>.
12. Miettinen, Asko, Pukkila, Olavi & Tapiovaara, Markku 2004. Röntgensäteily diagnostiikassa. Teoksessa Säteilyn käyttö (toim. Olavi Pukkila). Helsinki: Säteilyturvakeskus, s. 14–171. Hakupäivä 15.11.2023. <https://stuk.fi/documents/150192312/162661266/kirja3-1-sateilyn-kaytto-rontgensateily-diagnostiikassa.pdf/e699244b-3620-cde2-bd33-11c9077e01fa/kirja3-1-sateilyn-kaytto-rontgensateily-diagnostiikassa.pdf?t=1684851448411>.
13. Säteilyturvakeskus 2023. Röntgentilojen säteily suojaus terveydenhuollossa ja eläinlääkinnässä. Hakupäivä 16.11.2023. <https://stuk.fi/rontgentilojen-sateily suojaus>.
14. Sipilä, Petri 2004. Sädehoito. Teoksessa Säteilyn käyttö (toim. Olavi Pukkila). Helsinki: Säteilyturvakeskus, s. 184–216. Hakupäivä 16.11.2023. <https://stuk.fi/documents/150192312/162661266/kirja3-2-sateilyn-kaytto-sadehoito.pdf/b025b280-cf53-6f99-ddba-31f8ed09e1d1/kirja3-2-sateilyn-kaytto-sadehoito.pdf?t=1684851449533>.
15. KNAUF OY 2015. Knauf Säteily suojaus. Espoo: KNAUF OY, s. 1–31. Hakupäivä 16.11.2023. https://knauf.fi/fileadmin/user_upload/esitteet/knauf_safeboard_leadboard.pdf.
16. Suomen ympäristökeskus 2023. Rakennusmateriaalien haitta-aineet. Hakupäivä 6.12.2023. <https://www.ymparisto.fi/fi/rakennettu-ymparisto/rakentaminen/kiinteistojen-yllapito-ja-korjaaminen/rakennusmateriaalien-haitta-aineet>.
17. Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiiri 2021. OYS 2030 säteily suojaus- powerpoint-esitys. 19.1.2021.
18. SELOY OY 2023. Tietoa röntgen lasista. Hakupäivä 17.12.2023. <https://seloy.fi/rontgen-lasi/>.
19. Valtioneuvoston päätös lyijytyöstä 1154/1993. Hakupäivä 7.12.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1993/19931154>.
20. NCC Suomi Oy 2023. TTS Lyijylevyväliseinät. Sisäinen lähde.
21. Tuokila, Ville-Veikko 2023. Työnjohtaja. NCC Suomi Oy. Haastattelu 18.12.2023.

22. RT 69-11183 2015. Rakentamisen jätehuolto. Helsinki: Rakennustieto RT. Hakupäivä 7.12.2023. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RatuTT%2013-01149>. Vaatii lisenssin.
23. Säteilyturvakeskus 2023. STUK valvoo säteilytoimintaa. Hakupäivä 21.12.2023. <https://stuk.fi/stuk-valvoo-sateilytoimintaa>.
24. Säteilyturvakeskus 2024. Säteilymittareiden kalibroinnit ja testaukset sekä säteilytykset. Hakupäivä 8.1.2024. <https://stuk.fi/sateilymittareiden-kalibrointi-testaus-ja-sateilytykset>.
25. Säteilyturvakeskus 2024. Säteilytoiminta ja säteilymittaukset, 23.11.2016. Hakupäivä 8.1.2024. <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/ST1-9>.