



Niklas Koro

Magneetti- ja tietokonetomografiakuvantamistilojen kosteudenhallinta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintäteknikka

Insinöörityö

21.3.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Niklas Koro
Otsikko:	Magneetti- ja tietokonetomografiakuvantamistilojen kosteudenhallinta
Sivumäärä:	35 sivua + 1 liite
Aika:	21.3.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Tieto- ja viestintätekniikka
Ammatillinen pääaine:	Hyvinvointi- ja terveysteknologia
Ohjaajat:	Lehtori Juha Havukumpu Röntgeninsinööri Niko Ahjoniemi, HUS

Insinööriyön tavoitteena oli selvittää työn tilaajalle Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirin (HUS) kiinteiden magneetti- ja tietokonetomografiatilojen tämän hetkinen kosteudenhallinnan tilanne sekä arvioida sen suhdetta kuvantamislaitteiden huoltotarpeisiin.

Kosteudenhallinnan tilanne selvitettiin ”hallitaan / ei hallita” -periaatteella yhteistyössä HUSin henkilökunnan kanssa. Kuvantamislaitteiden huoltohistoriat käytiin laitekohtaisesti läpi ja niistä karsittiin tutkimuksen kannalta tarpeettomat työtilaukset pois. Tutkittavat huoltohistoriat sisältävät vain työtilauksia, jotka voivat millään muotoa liittyä il-mankosteuteen. Huoltohistoriaa tutkittiin tammikuun 2018 ja helmikuun 2022 väliseltä ajalta.

Insinööriyön tuloksena saatiin kartoitettua jokaisen tutkimukseen valitun kuvantamistilan kosteudenhallinnan tilanne. Kosteudenhallinnan tilanteessa havaittiin useita puutteita, varsinkin tietokonetomografiatiloissa. Insinööriyössä ei tutkittu kosteudenhallinnan tekniikoita tai niiden toimivuutta.

Kosteudenhallinnan suhdetta kuvantamislaitteiden huoltotarpeisiin ei voitu arvioida yksipuolisen hallintatilanteen vuoksi vertailemalla hallitsemattomien ja hallittujen TT- ja MRI-laitteiden huoltomääriä ja ajankohtia. MRI- ja TT-laitteiden huoltohistoriat eivät myöskään ole keskenään vertailukelpoisia.

Huoltohistorian tutkimisesta ilmeni, että niin hallituissa kuin hallitsemattomissakin tiloissa keskimääräisesti eniten työtilauksia oli kirjattu tammikuussa, kun taas vähiten niitä oli kirjattu heinä- ja elokuussa. Laitekohtaisessa vertailussa ilmeni, että 35 laitteesta 24:lla (69 %) oli kirjattu enemmän työtilauksia talvella kuin kesällä.

Työn tilaaja sai tämän insinööriyön avulla tiedon kuvantamistilojen kosteudenhallinnan nykytilanteesta, jonka perusteella voidaan lähteä parantamaan kosteudenhallintaa tai suorittamaan syvempiä tutkimuksia.

Avainsanat: Suhteellinen ilmankosteus, magneettikuvaus, tietokonetomografia, MRI, TT

Abstract

Author: Niklas Koro
Title: Humidity Control in MRI and CT Imaging Rooms
Number of Pages: 35 pages + 1 appendice
Date: 21 March 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Information and Communication Technology
Professional Major: Health Technology
Supervisors: Juha Havukumpu, Senior Lecturer
Niko Ahjoniemi, X-ray Engineer, HUS

The aim of this study was to investigate the current situation of humidity control in the Hospital District of Helsinki and Uusimaa's (HUS) magnetic resonance imaging (MRI) and computed tomography (CT) imaging rooms. Along with this, it was to be evaluated, how the numbers of imaging devices work orders differ between controlled and uncontrolled rooms.

The current situation of humidity control was investigated on a "controlled / uncontrolled" basis in cooperation with the HUS personnel. The imaging systems maintenance history was reviewed device by device, after all non-humidity related work orders were first removed for this study. The maintenance history was examined from January 2018 to February 2022.

The current situation of humidity control in all the selected imaging rooms was investigated and reported. The results show that there is a lack of humidity control in many of them.

The effect of humidity control on imaging device work orders was evaluated by comparing the number and the time of the work orders. The study shows that on average, January has the most work orders, while July and August have the least. Comparing device-by-device the same trend was seen, as 24 out of 35 (69 %) devices had on average more work orders in wintertime than in summer.

With the results of the present study, the subscriber has the knowledge of the present humidity control and the information needed to improve the humidity control. The study can also be used as a basis to further, more in depth studies.

Keywords: Relative humidity, magnetic resonance imaging, computed tomography, MRI, CT

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tutkimuksen lähtökohta	2
2.1	Tavoitteet	2
2.2	Rajaus	3
3	Lääketieteellinen kuvantaminen	4
3.1	Magneettikuvantaminen	5
3.2	Tietokonetomografia	7
4	Ympäristöolosuhteita koskeva lainsäädäntö	9
5	Kosteudenhallinnan merkitys	10
5.1	Olosuhdeikkuna	10
5.2	Ilmankosteus	12
5.3	Kosteuden vaikutus sähkölaitteisiin	16
5.4	Staattinen sähkö	17
6	Tutkimusmenetelmät	20
6.1	Kosteudenhallinnan selvittäminen	20
6.2	Kosteudenhallinnan suhde huoltotarpeisiin	21
7	Tulokset	22
7.1	Kuvantamistilojen kosteudenhallinnan nykytilanne	23
7.2	Kosteudenhallinnan vaikutus huoltotarpeisiin	24
7.3	Hallitun ja hallitsemattoman kuvantamistilan kosteuden vaihtelu	27
8	Yhteenveto	29
	Lähteet	32
	Liitteet	
	Liite 1: Työtilausten jakautuminen laitekohtaisesti	

Lyhenteet

AH: *Absolute humidity*. Absoluuttinen kosteus. Ilmaisee ilmassa olevan absoluuttisen vesihöyryn määrän.

ESD: *Electrostatic discharge*. Sähköstaattinen purkaus.

FDA: *Food and Drug Administration*. Yhdysvaltain elintarvike- ja lääkevirasto.

HUS: Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri.

HYKS: Helsingin seudun yliopistollinen keskussairaala.

MAUDE: *Manufacturer and User Facility Device Experience Database*. FDA:n tietokanta, mihin laitevalmistajat, käyttäjät ja toimittajat ilmoittavat lääkinnällisten laitteiden ongelmatilanteita.

MDR: Medical Device Regulation. Lääkinnällisten laitteiden asetus.

MRI: *Magnetic Resonance Imaging*. Magneettikuvaus.

RH: *Relative humidity*. Suhteellinen kosteus. Ilmaisee ilman vesihöyryn määrän suhteessa maksimaaliseen määrään.

TT: Tietokonetomografia.

1 Johdanto

Insinööri­työn aiheena on selvittää Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirin (HUS) magneetti- ja tietokonetomografialaitetilojen (MRI, TT) ilmankosteuden hallinnan tilanne sekä tutkia kosteudenhallinnan tilanteen suhdetta laitteiden huoltotarpeisiin. Työn tavoitteena on kartoittaa tilanne yleisellä tasolla sekä nostaa esiin mahdolliset puutteelliset tai lisää tutkimusta vaativat asiat. Tämä insinööri­työ voi toimia taustatyönä syvempää tutkimusta varten.

HUS koostuu viidestä sairaanhoitopiiristä, jotka ovat Helsingin seudun yliopistolinen keskussairaala (HYKS), Hyvinkää, Lohja, Porvoo sekä Länsi-Uusimaa. HUS on Suomen suurin terveydenhuollon tarjoaja. HUSin vastuualueella asuu noin 2,2 miljoonaa asukasta. HUS on Suomen toiseksi suurin työnantaja 27 000 työntekijällä. [1.] Tutkittavia kuvantamislaitteita ja laitetiloja on 40 kappaletta, 14 eri toimipisteessä HUSin toimialueella.

Työn tilaajana toimiva HUS Logistiikka vastaa HUSin sairaaloiden ja hoitoyksiköiden sekä palvelusopimuksen sopineiden toimipisteiden lääkintäteknisistä- ja logistiikkapalveluista sekä materiaalinhallinnasta [2]. Lääkintäteknikan palveluihin kuuluu lääkintälaitteiden elinkaaren hallinta, strategiset kehityshankkeet, vuokralaittepalvelut, toimittaja- ja sopimushallinta sekä valokuvaus ja videointi [3].

Laitevalmistajat määrittelevät kuvantamislaitteille ympäristöolosuhteiden raja-arvot, joiden puitteissa kuvantamislaitteita tulee poikkeuksetta säilyttää ja käyttää, laitevalmistajien antamien ohjeiden mukaisesti. Yksi määritellyistä raja-arvoista koskee ilmankosteutta, mikä on tämän insinööri­työn keskeisessä asemassa. Kuvantamislaitteille määritetyt suhteellisen ilmankosteuden (RH) raja-arvot ovat tyypillisesti 30 % - 60 %.

Esimerkiksi talvella hallitsemattoman eli luonnollinen sisäilman suhteellinen kosteus saattaa laskea jopa alle 10 %, mikä on huomattavasti alle raja-arvojen. Liian korkea tai matala suhteellinen ilmankosteus altistaa laitteet erinäisille on-

gelmille. Talvella suhteellisen ilmankosteuden laskiessa, kuvantamislaitteet altistuvat herkemmin staattiselle sähkölle ja sen purkautumiselle, mikä saattaa aiheuttaa laitteisiin toimintahäiriöitä tai vioittaa sen osia. Kalliissa kuvantamislaitteissa laiteviat lisäävät huomattavasti kustannuksia sekä kaikkien osapuolien työn määrää.

2 Tutkimuksen lähtökohta

Insinööriyön voi karkeasti jakaa kahteen osa-alueeseen: kosteudenhallinnan tilanteen selvittäminen sekä kosteudenhallinnan vaikutuksen arviointi kuvantamislaitteiden huoltotarpeisiin. Käsiteltävä aihe on kokonaisuutena hyvin laaja ja monimuotoinen, jonka takia insinööriyön aihe ja tavoitteet rajataan tarkasti.

Raportissa käytetään termejä ”hallitsematon” ja ”hallittu”. Hallitsematon tarkoittaa kuvantamistilaa, missä ei ole kosteudenhallintaa, vastaavasti ”hallittu” tarkoittaa kuvantamistilaa, missä on kosteudenhallinta.

2.1 Tavoitteet

Insinööriyön tavoitteena on kartoittaa tilaajalle HUSin MRI- ja TT-kuvantamislaitteiden kosteudenhallinnan nykyinen tilanne sekä tutkia, miten kosteudenhallinnan tilanne vaikuttaa kuvantamislaitteiden huoltotarpeisiin.

Kuvantamistilojen kosteudenhallinnasta selvitetään, hallitaanko ilmankosteutta vai ei. Tämän lisäksi selvitetään, tallennetaanko ilmankosteuden hallinnasta dataa ja miten tilaaja pääsee tulevaisuudessa sitä seuraamaan.

Kosteudenhallinnan vaikutusta arvioidaan tutkimalla kuvantamislaitteiden huoltohistorioita, jotka muodostuvat työtilauksista. Työn tavoitteena on esittää ja vertailla hallittujen ja hallitsemattomien kuvantamistilojen laitteiden huoltotarpeiden esimerkiksi vertailemalla työtilauksien lukumääriä ja ajankohtia.

Ennako-oletuksena on, että hallituissa kuvantamistiloissa työtilausten lukumäärä on keskimäärin pienempi, ja se jakautuu tasaisemmin ympäri vuoden

kuin hallitsemattomissa kuvantamistiloissa. Tämän lisäksi hallitsemattomien kuvantamistilojen huoltotarpeissa oletetaan näkyvän lukumäärällinen kasvu talvella tai kesällä suhteellisen kosteuden ääriolosuhteiden vuoksi.

Insinööriyön raportissa esitetään taustatietoa ilmankosteuden hallinnasta ja sen merkityksestä kuvantamislaitteille. Tutkimuksesta saaduista lopputuloksista esitetään otteita raportin tuloksissa. Niiden avulla tehdään johtopäätöksiä tai arvioita.

2.2 Rajaus

Kosteudenhallinnan selvittäminen

Tutkittavat kuvantamislaitteet rajataan kiinteisiin MRI- ja TT-laitteisiin, eikä työssä tulla tutkimaan liikuteltavia kuvantamislaitteita tai muita kuvantamisen modaliteetteja. Liikuteltavien kuvantamislaitteiden kosteudenhallinnan toteuttaminen laitevalmistajan asettamien vaatimusten mukaan on erityisen hankalaa tai jopa mahdotonta [4].

Kosteudenhallinnan tilanteen kartoittaminen rajataan siten, että jokaisen kuvantamistilan kosteudenhallinta selvitetään ”Hallitaan / Ei hallita” -periaatteella. Kosteudenhallinnassa käytettyä tekniikkaa tai laitteistoa, tai niiden toimivuutta ei tutkita tässä insinööriyössä.

Lämpötila vaikuttaa oleellisesti ilmankosteuteen, mutta insinööriyön kannalta oletetaan, että lämpötilan hallinta on kunnossa tutkittavissa kuvantamistiloissa, eikä lämpötilan hallintaa täten tulla selvittämään.

Kosteudenhallinnan suhde huoltotarpeisiin

Työssä oletetaan, että tutkimuksessa selvitettyt tämänhetkiset kosteudenhallinnan tilanteet ovat pysyneet samana koko tutkittavan huoltohistorian ajan. On mahdotonta jälkikäteen selvittää, onko kosteudenhallinnassa ollut esimerkiksi ajankohtia, milloin kosteudenhallinta on ollut hetkellisesti pois päältä tai hajalla.

Huoltohistorian tutkiminen rajataan siten, että insinööriyössä vertaillaan hallittujen ja hallitsemattomien kuvantamistilojen laitteiden huoltotarpeiden ajankohtia ja lukumääriä tammikuun 2018 ja helmikuun 2022 välillä. Työssä ei tutkita tai vertailla huoltohistorian laitevikoja yksityiskohtaisesti, sillä jälkikäteen on todella vaikea, ellei mahdoton todeta, oliko ilmankosteudella vaikutusta laitevian kanssa.

Kuvantamislaitteiden huoltohistoriat sisältävät paljon tämän insinööriyön kannalta tarpeettomia työtilauksia, joten huoltohistorioista karsitaan tulkinnanvaraisesti pois työtilaukset, jotka eivät kirjatun tiedon perusteella liity raportin teoriaosuudessa esitettäviin kosteuden haittavaikutuksiin.

3 Lääketieteellinen kuvantaminen

Lääketieteellinen kuvantaminen tarkoittaa tutkimusta, jossa eri kuvantamistekniikoiden eli modaliteettien avulla kuvannetaan ihmisen kehonosia. Lääketieteellinen kuvantaminen sai alkunsa vuonna 1895, kun Wilhelm Röntgen keksi röntgensäteet. Röntgenkuvantamista aloitettiin käyttämään lääketieteellisiin tarkoituksiin vain muutama vuosi keksinnön jälkeen. Sitten lääketieteellinen kuvantaminen ja siinä käytettävät tekniikat ja menetelmät ovat kehittyneet huijaa vauhtia. [5.]

Nykyään kuvantamismodaliteetteja on useita erilaisia kuten röntgen, magneettikuvaus, ultraääni, isotooppi sekä yhdistelmäkuvaus. Jokainen modaliteetti perustuu eri mittausteknologiaan ja menetelmään. Itse modaliteeteilla on myös eri kuvantamismuotoja, joita käytetään eri tutkimuksia varten. Esimerkiksi röntgensäteilyä hyödyntäviä tutkimusmuotoja ovat tietokonetomografia, mammografia sekä natiivitutkimus. [6.] Lääketieteellistä kuvantamista käytetään esimerkiksi sairauksien tai luunmurtumien diagnosoimiseen tai poissulkemiseen, hoidon tai sairauden edistymisen seuraamiseen tai paikallishoitona syöpähoidoissa [7]. Tutkimuksessa käytettävä kuvantamismenetelmä valitaan aina kuvattavan kohteen ja tarpeen mukaan.

Vuonna 2018 Suomessa suoritettiin noin 7,1 miljoonaa radiologista tutkimusta, joista noin 6,0 miljoonaa oli röntgentutkimuksia. Kaikista radiologisista tutkimuksista noin 36,0 % eli 2,5 miljoonaa suoritettiin Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirissä, kun hammasröntgentutkimuksia ei huomioida. [8.]

Kuvantamistekniikoiden perustoiminnot ovat käytännössä samat, mutta laitteita valmistavat yritykset kehittävät kuvantamislaitteita eri käyttötarkoituksilla ja ominaisuuksilla. Laitteet ja ohjelmistot saattavat olla yleiseen kuvantamiseen tai tarkoin rajattuun asiaan erikoistuneita. Teknologian kehityksen myötä laitevalmistajat pystyvät kehittämään tehokkaampia ja parempia kuvantamislaitteita ja ohjelmistoja.

3.1 Magneettikuvantaminen

Magneettikuvantaminen eli MRI on kuvantamismenetelmä, jota käytetään enimmäkseen tuki- ja liikuntaelimestön, keskushermoston sekä vatsan ja verenkiertojärjestelmän tutkimuksiin [9]. MRI on yksi tärkeimmistä kuvantamismenetelmistä keskushermoston, eli aivojen ja selkäytimen kuvantamiseen, sillä keskushermoston ongelmat erottuvat kuvantamistekniikan takia loistavasti, ja usein jo aikeisemmassa vaiheessa kuin toisilla kuvantamismenetelmillä [10]. Tuki- ja liikuntaelimestön, eli luuston ja lihaksien tutkimukset ovat yleisiä MRI-tutkimuksen kohteita, sillä kuvantamistekniikan ansiosta pehmytkudokset ja luuytimet erottuvat hyvin [11].

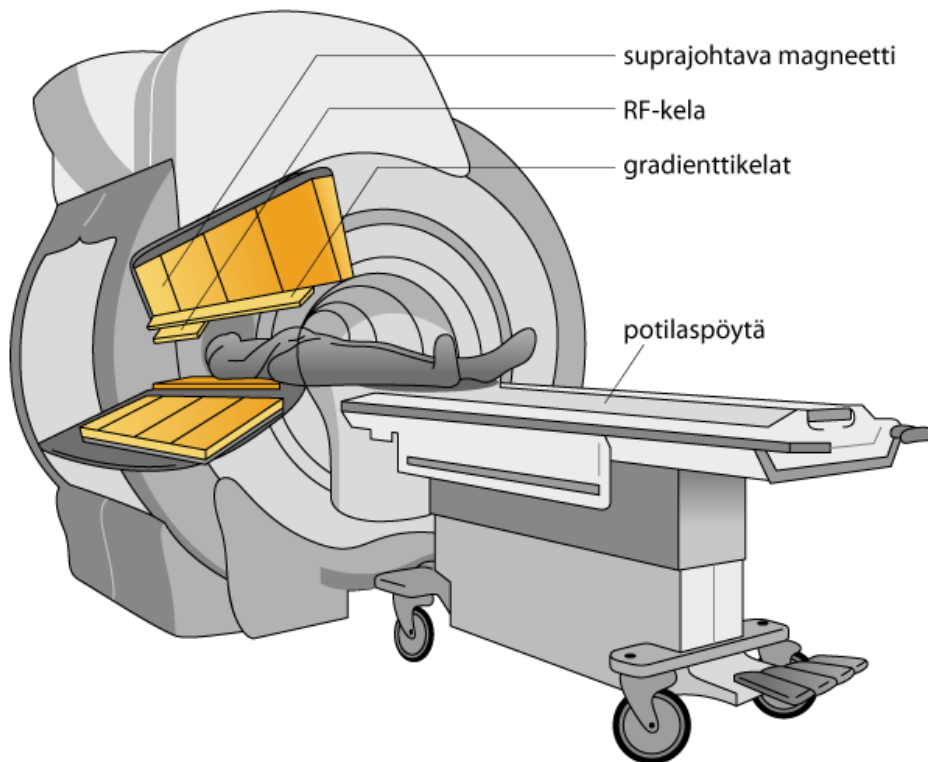
Suomessa ensimmäinen MRI-kuvantamislaitte otettiin käyttöön vuonna 1984 [9]. Kuvantamislaitteiden ja tutkimusten määrä kasvoi nopeasti, ja vuonna 1997 Suomessa suoritettiin noin 74 000 magneettitutkimusta 38 kuvantamislaitteella [12]. Kasvu on jatkunut siitä asti, ja vuonna 2018 suomessa suoritettiin noin 400 000 magneettitutkimusta 150 laitteella [9].

Magneettikuvantamisen toimintaperiaate

Magneettikuvantamisessa potilas tai tutkittava ruumiinosa asetetaan voimakkaan magneettikentän keskelle. Kehossa olevat vety-ytimet asettuvat magneettikentän suuntaan tai vastakkaisesti, niin sanottuun tasapainotilaan. Tätä tasapainoa häiritään ulkoisella sähkömagneettisella radiotaajuuspulssilla (RF), mikä tuotetaan koko laitteen ympäröivän RF-kelan avulla. RF-pulssi virittää vety-ytimet energialla, mikä saa ne pyörimään tasapainotilasta poiketen niin kauan, kun RF-pulssia annetaan. Kun RF-pulssi lopetetaan, vety-ytimet palaavat takaisin tasapainotilaan. Palautumisen aikana vapautuu sähkömagneettista säteilyä, minkä signaali vastaanotetaan kuvan luomista varten oikealla taajuudella olevan kelan avulla. [13.]

Signaalin vastaanottava kela pyritään asettamaan mahdollisimman lähelle kuvattavaa aluetta, jotta signaali olisi mahdollisimman tarkka. Tästä syystä magneettikuvauksissa pyritään käyttämään mahdollisuuksien mukaan kuvattavan alueen ympärille asetettavaa kela, kuten esimerkiksi pää- tai polvikelaa. Mitatun signaalin lisäksi muodostettavat kuvat vaativat myös paikkaresoluution ja kuvaustason, jotka saadaan selville laitteessa olevien gradienttikelojen avulla. Gradienttikeloja käytetään päällä ja pois päältä RF-pulssien aikana. [13.]

Kuvassa 1 esitetään magneettikuvantamislaitteen tärkeimmät komponentit.



Kuva 1. Lämpileikattu kuva magneettikuvantamislaitteesta ja sen ydinkomponenteista, joita ovat päämagneetti, RF- ja gradienttikelat [14].

3.2 Tietokonetomografia

Tietokonetomografia on röntgensäteilyä hyödyntävä kuvantamismenetelmä. Tietokonetomografian avulla saadaan tarkkaa tietoa sisäelimestä, luista ja verisuonista. TT-tutkimuksilla voidaan esimerkiksi diagnosoida luunmurtumia, syöpiä, aivohalvauksia, sisäelinvaurioita sekä verenkiertoon liittyviä ongelmia. [15.]

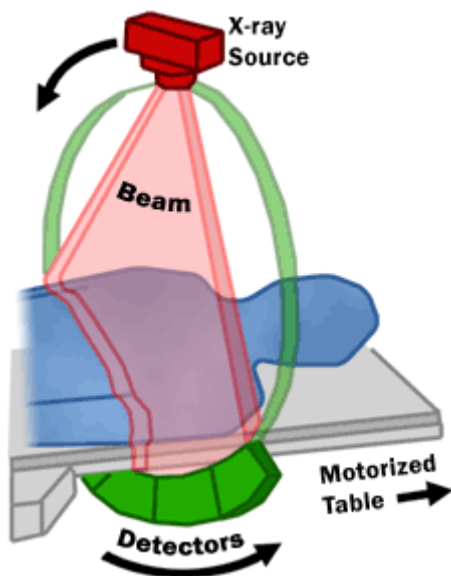
Perinteinen natiiviröntgentutkimus tuottaa kaksiulotteista kuvaa, jonka takia päällekkäin kuvautuvat kudokset heikentävät kuvan tulkintaa. Tietokonetomografian avulla tuotetaan kolmiulotteisia kuvia, jonka ansiosta kuvista saadaan myös syvyyssuuntaista informaatiota. [16.] Magneettikuvantamiseen verrattuna TT-kuvantaminen on nopeampaa, minkä vuoksi TT-kuvantaminen on tyypillisesti parempi vaihtoehto huonokuntoisten tai akuutisti hoitoa tarvitsevien kuvantamiseen [17].

Vuonna 2000 suomessa tehtyjen TT-tutkimusten määrä oli noin 205 000 [18]. Vuonna 2018 tietokonetomografiatutkimuksia tehtiin suomessa noin 557 000 kappaletta. Kaikista vuonna 2018 suoritetuista röntgentutkimuksista tietokonetomografiatutkimusten osuus oli 9,5 % [8].

Tietokonetomografian toimintaperiaate

TT-kuvantamisessa potilas asetetaan makuulle kuvantamislaitteen sisään. Kuvantamisen aikana laitteessa olevat röntgenputki ja sen vastakkaisella puolella olevat ilmaisimet pyörivät nopeasti potilaan ympärillä. Yksi pyörähdys kestää alle sekunnin, eli kuvantamisen aikana tapahtuu useita kierroksia. Kuvattavaa aluetta säteilytetään röntgenputkesta tulevalla säteilyllä. Osa säteilystä absorboituu potilaan kehoon, ja osa säteilystä läpäisee kehon. Vastakkaisella puolella olevat ilmaisimet mittaavat läpi päässeän säteilyn. Mitatusta datasta muodostetaan tietokoneen avulla joko kaksi- tai kolmiulotteinen kuva. [16.]

Kuvassa 2 esitetään tietokonetomografian tärkeimmät osat.



Kuva 2. TT-tutkimuksen havainnollistaminen. Kuvassa esitetään tärkeimmät komponentit, eli röntgenputki (X-ray source) sekä mittaukseen vaadittavat ilmaisimet (Detectors). [19.]

4 Ympäristöolosuhteita koskeva lainsäädäntö

Lääkinnällisiä laitteita koskeva Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 2017/745 (Medical Device Regulation, MDR) määrittelee tarkat vaatimukset muun muassa lääkinnällisten laitteiden valmistajille. Tarkkojen vaatimusten tarkoituksena on yhtenäistää EU-alueen tason sääntelyä sekä ylläpitää lääkinnällisten laitteiden luotettavuutta ja potilasturvallisuutta. MRI- ja TT-kuvantamislaitteet ovat lääkinnällisiä laitteita.

Tässä luvussa esitetään otteita lainsäädännöstä, jotka koskevat lääkinnällisiä laitteita ympäristöolosuhteiden kannalta.

MDR:n vaatimusten mukaan laitevalmistajien tulee suunnitella ja valmistaa lääkinnällinen laite siten, että ulkoisten vaikutusten tai ympäristöolosuhteiden aiheuttamat riskit poistetaan tai vähennetään siinä määrin, kuin on mahdollista. Näitä riskejä voivat olla esimerkiksi sähköstaattiset purkaukset, kosteus, lämpötila, magneettikentät tai sähkömagneettiset vaikutukset. [20: §14.]

Laitevalmistajan tulee sisällyttää kaikki tarvittavat varoitukset, varotoimet ja suoritettavat toimenpiteet, jotka liittyvät ennakoitaviin ulkoisiin tai ympäristöolosuhteiden vaikutuksiin [20: §23].

Kuvantamislaitteet ovat erityisen herkkiä ympäristöolosuhteiden haittavaikutuksille, jonka takia laitevalmistajat määrittelevät tarkat vaatimukset ja ohjeet muun muassa kuvantamishuoneen kokoon, ilmanvaihtoon, tärinään tai sähkömagneettiseen säteilyyn liittyen. Tämän insinööriyön kannalta oleellinen asia on ilmankosteuden hallinta ja siihen liittyvät vaatimukset.

MDR:n määräyksiä täydentävä kansallinen laki lääkinnällisistä laitteista (719/2021) astui voimaan heinäkuussa 2021. Lain [21] pykälässä 32 määrätään muun muassa, että ammattimaisen käyttäjän tulee varmistua, että:

”laitetta käytetään valmistajan ilmoittaman käyttötarkoituksen ja -ohjeistuksen mukaisesti;

laite säädetään, ylläpidetään ja huolletaan valmistajan ohjeistuksen mukaisesti ja muutoin asianmukaisesti;

käyttöpaikka soveltuu laitteen turvalliseen käyttöön;” [21.]

Nämä edellä mainitut kohdat koskevat laitevalmistajien määrittelemiä vaatimuksia ja ohjeita kuvantamislaitteilla mukaan lukien ilmankosteuden hallintaan liittyvät vaatimukset.

Yksi, ja tämän insinööriyön aiheen kannalta osuvin ammattimaisen käyttäjän määritelmä on terveydenhuollon toimintayksikkö [21: §31]. Terveydenhuollon toimintayksiköksi luokitellaan terveyskeskukset, yksityiset lääkäriasemat sekä julkiset ja yksityiset sairaalat [22].

Kuvantamislaitteiden ympäristöolosuhteiden hallitseminen laitevalmistajien ohjeiden mukaisesti on niin lain sanelema pakollista, mutta myös järkevää kuvantamislaitteiden toimintavarmuuden ja potilasturvallisuuden ylläpitämisen kannalta.

5 Kosteudenhallinnan merkitys

Ilmankosteuden vaikutukset ovat monimuotoisia sähkölaitteille, ja niin ikään kuvantamislaitteille. Tässä luvussa esitetään, miten laitevalmistajat määrittelevät ja esittävät ilmankosteuteen liittyviä vaatimuksia sekä miten ilmankosteus vaikuttaa sähkölaitteisiin.

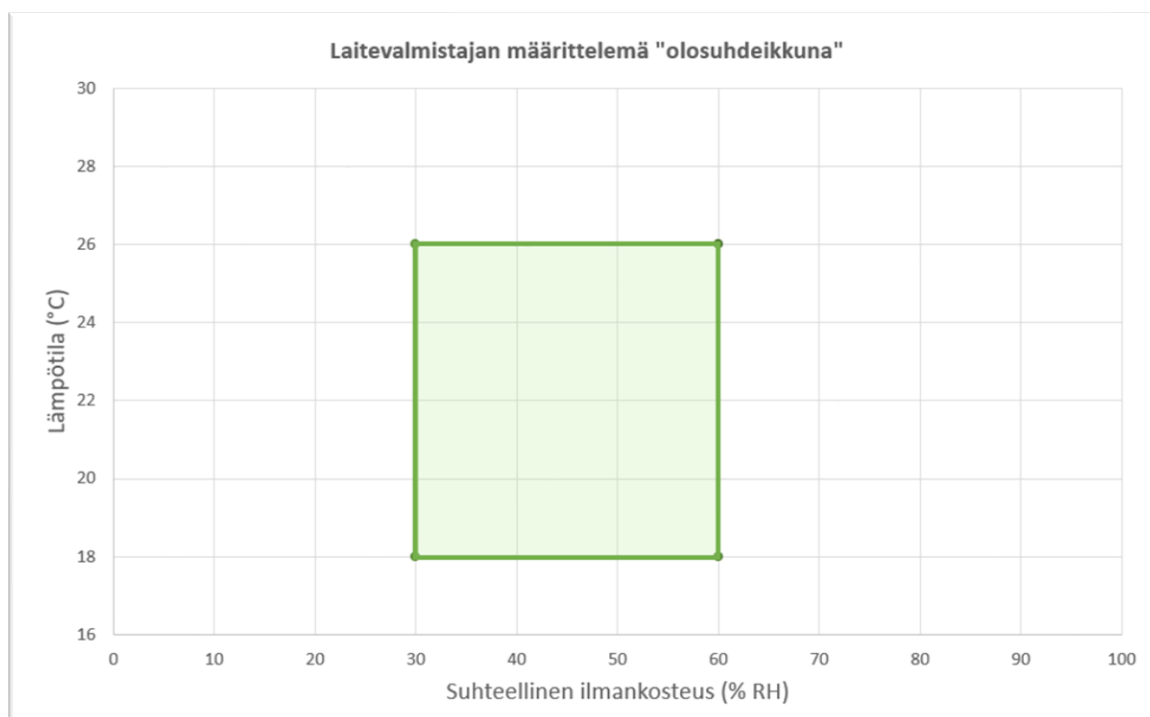
5.1 Olosuhdeikkuna

Niin sanottu ”olosuhdeikkuna” muodostuu laitevalmistajan määrittelemistä sallituista suhteellisen kosteuden ja lämpötilan alaraja- ja yläraja-arvoista, joiden puitteissa kuvantamislaitetta tulee poikkeuksetta käyttää ja säilyttää. Kuvantamislaitteille määritellyt olosuhdeikkunan raja-arvot vaihtelevat pitkälti laitemallin

ja laitevalmistajan mukaan. Laitevalmistajien määrittelevät raja-arvot löytyvät laitekohtaisista dokumenteista.

MRI- ja TT-kuvantamislaitteet toimivat aina osana isompaa järjestelmää, joka on tyypillisesti jaettu kahteen tai kolmeen erilliseen huoneeseen: kuvantamishuoneeseen, tekniseen laitetilaan sekä ohjaamoon. Laitevalmistajat määrittelevät tarvittaessa jokaiselle järjestelmään liittyvälle huoneelle omat olosuhdeikkunan raja-arvot. Tässä insinööriyössä käsitellään vain kuvantamishuoneen kosteudenhallintaa.

Kuva 3 esittää esimerkin olosuhdeikkunasta visuaalisessa muodossa.



Kuva 3. Laitevalmistajan määrittelemästä olosuhdeikkunasta.

Kuvassa 3 esitettävä vihreä alue syntyy laitevalmistajan määrittelemästä olosuhdeikkunan raja-arvoista. Kuvantamislaitteen tulisi poikkeuksetta olla vihreän alueen arvojen puitteissa.

Olosuhdeikkunan vaatimukset esitetään laitevalmistajien dokumenteissa tyypillisesti taulukkomuodossa (taulukko 1).

Taulukko 1. Esimerkki laitevalmistajan määrittelemistä olosuhdeikkunan raja-arvoista [23].

Lämpötila	
Suurin sallittu lämpötila	26 °C
Suositteltu lämpötila	22 °C
Alin sallittu lämpötila	18 °C
Suurin sallittu lämpötilan muutosnopeus	3 °C /h
Ilmankosteus	
Suurin sallittu suhteellinen ilmankosteus	60 %
Alin sallittu suhteellinen ilmankosteus	30 %
Suurin sallittu ilmankosteuden muutosnopeus	5 % /h

Taulukossa 1 esitetään esimerkki kuvantamislaitteen [23] olosuhdeikkunan vaatimuksista, jotka esitetään laitevalmistajan dokumenteissa. Olosuhdeikkunaan liittyvät rajoitukset ja ohjeet saattavat vaihdella laitevalmistajasta ja laitemallista riippuen, mutta pääsääntöisesti ne sisältävät aina saman asian.

5.2 Ilmankosteus

Ilma sisältää aina vesihöyryä eli kosteutta. Lämpötila määrittelee, kuinka paljon kosteutta ilma pystyy sisältämään. Lämmin ilma pystyy sisältämään enemmän kosteutta kuin kylmä ilma. Tämän takia kesällä on tyypillisesti lämmin ja kostea ilma, kun taas talvella on kylmä ja kuiva ilma. [24.] Ilmatieteen laitoksen tilastojen mukaan Suomessa on keskimäärin lämpimintä kesä-elokuussa, ja kylmintä jouluihelmikuussa [25].

Absoluuttinen ilmankosteus

Ilmankosteutta voidaan mitata tai esittää absoluuttisena kosteutena (AH), mikä kertoo ilmassa olevan vesihöyryn massan määrän tilavuusyksikköä kohden. Absoluuttinen ilmankosteus ei muutu ilman lämpötilan mukaan vaan ilmassa olevan kosteuden mukaan. [26.]

Suhteellinen ilmankosteus

Suhteellinen ilmankosteus (RH) ilmaisee prosenttilukuna, kuinka paljon ilmassa on kosteutta suhteessa kyseisen lämpötilan maksimaaliseen kosteuden määrään [26]. Esimerkiksi 20 %:n RH tarkoittaa, että ilmankosteus on 20 % sen maksimaalisesta määrästä kyseisellä lämpötilalla. Suhteellinen ilmankosteus ei kerro ilmassa olevan kosteuden määrää, mutta sillä voidaan kuvata, kuinka paljon ilma pystyy kuivattamaan eri materiaaleja [24].

Kyllästyskosteus

Kyllästyskosteus ilmaisee, kuinka paljon mitatussa lämpötilassa ilma pystyy sisältämään vesihöyryä eli kosteutta ennen kuin vesihöyry alkaa tiivistymään pisaroiksi pinnoille. Kyllästyskosteus tarkoittaa 100 % suhteellisen kosteuden arvoa. [27.]

Kastepistelämpötila

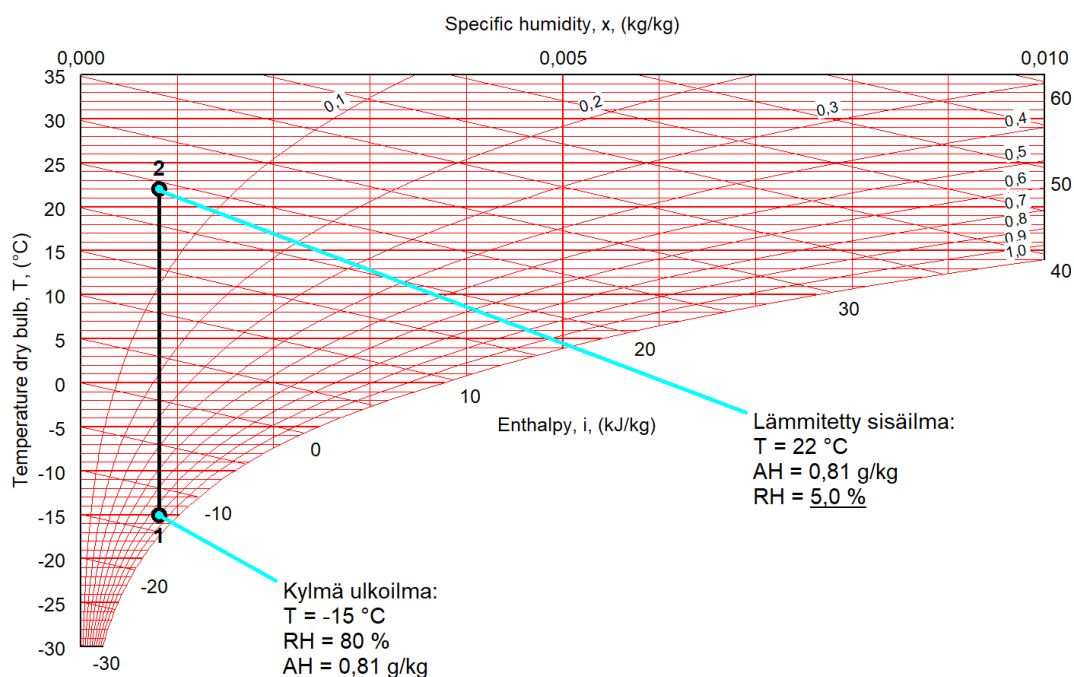
Kastepistelämpötila, lyhemmältä nimeltä kastepiste ilmaisee lämpötilan, mihin ilman pitäisi viilentyä, että kyllästyskosteus eli 100 %:n suhteellinen kosteus saavutettaisiin [27].

Ilmankosteus talvella

Talvella ulkoilman absoluuttinen kosteus on alhainen, mutta suhteellinen kosteus on suurempi kuin kesällä. Pakkasella höyryn kylläinen osapaine on todella pieni. Talvella ongelmaksi muodostuu se, kun kylmä ja korkean suhteellisen

kosteuden omaava ulkoilma tuodaan sisälle ja sitä lämmitetään. Sisäilman lämmössä kylläisen höyryn osapaine on paljon suurempi kuin ulkona, minkä takia ilman suhteellinen kosteus laskee huomattavasti. [28, s. 222–223.]

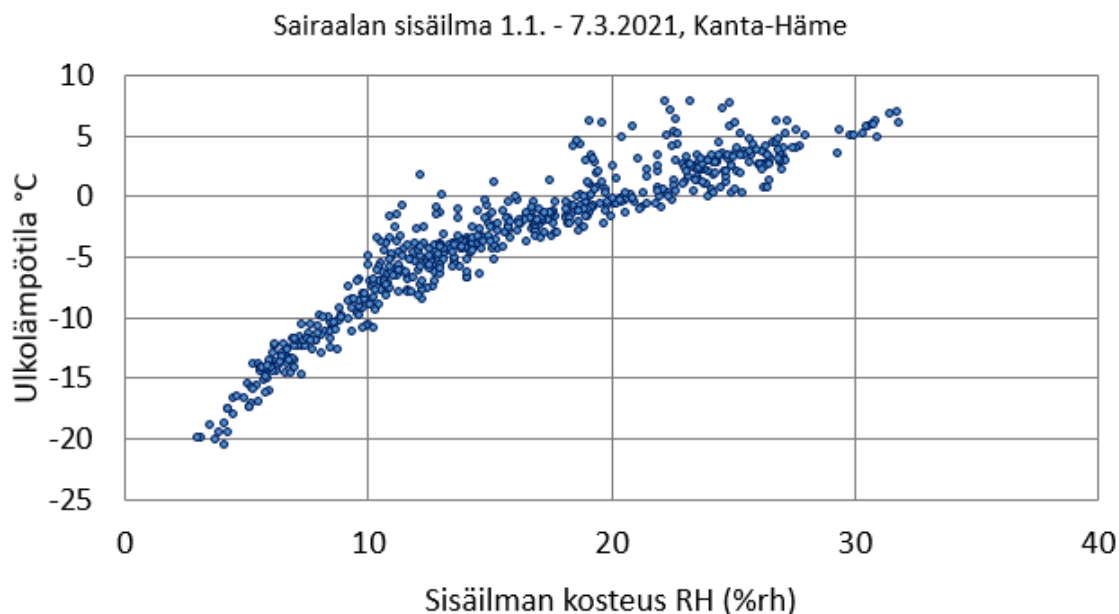
Kuvassa 4 havainnollistetaan, miten suhteellinen ilmankosteus laskee, kun kylmää ilmaa lämmitetään.



Kuva 4. Esimerkki kylmän ulkoilman lämmittämisestä.

Kuvassa 4 esitetään Mollier Sketcherillä [29] tehdyllä diagrammilla, miten ilman suhteellinen kosteus laskee, kun kylmää ulkoilmaa lämmitetään ja absoluuttinen ilmankosteus pysyy samana. Ilmankosteutta voidaan säätää joko poistamalla tai lisäämällä kosteutta ilmaan. Kuvan 4 tilanteessa ilmaan tulisi lisätä kosteutta, jotta haluttu sisäilman suhteellinen kosteus saavutettaisiin.

Kuvassa 5 esitetään Kanta-Hämeen sairaalan luonnollisen eli hallitsemattoman tilan ilmankosteuden vaihtelua 1.1.2021 ja 7.3.2021 välisenä aikana.



Kuva 5. Luonnollinen sisäilman kosteus Kanta-Hämeen sairaalassa [4].

Kuvan 5 avulla voidaan nähdä, että sisäilman suhteellinen kosteus laskee huomattavasti, mikäli ilmastusta ei hallita asianmukaisesti. Kuvassa 4 sisäilman suhteellinen kosteus laskee jopa 5 prosenttiin, kun ulkolämpötila on -20 celsius-astetta.

Ilmankosteus kesällä

Lämmin ulkoilma pystyy sisältämään enemmän kosteutta, joten ulkoilman suhteellinen kosteus on tyypillisesti pienempi kuin talvella, vaikka ilmassa olisikin enemmän kosteutta. Kun kesällä lämmintä ulkoilmaa viilennetään haluttuun sisäilman lämpötilaan, sisäilman suhteellinen kosteus nousee huomattavasti, mikäli ilmasta ei poisteta kosteutta.

Suomessa sateet ovat hyvin yleisiä kesällä. Sateiden määrä on keskimäärin suurina heinä- ja elokuussa [30]. Sateella ilmankosteus on suurempi, mikä tarkoittaa sitä, että sisäilman lämpötilaan viilennettäessä ilmaa tulisi kuivattaa enemmän.

5.3 Kosteuden vaikutus sähkölaitteisiin

Ilmankosteuden aiheuttamat ongelmat saattavat näkyä Suomessa erityisesti kesällä, kun on lämmin ja kostea ilma, tai talvella kun on kylmä ja kuiva ilma.

Taulukossa 2 esitetään ilmankosteuden ääriolosuhteiden tyypillisiä haittavaikutuksia sähkölaitteille. Korkean suhteellisen kosteuden haittavaikutukset saattavat ilmetä erityisesti kesällä, kun taas matalan suhteellisen kosteuden talvella.

Taulukko 2. Ilmankosteuden mahdolliset haittavaikutukset sähkölaitteille [31].

Ympäristöolosuhde	Pääasialliset vaikutukset	Tyypillisesti aiheutuva vika
Korkea suhteellinen kosteus	Kosteuden absorptio ja adsorptio, Turpoaminen, Mekaanisen lujuuden menettäminen, Kemialliset reaktiot, Korroosio, Elektrolyysi, eristeiden lisääntynyt sähköjohtavuus	Fyysinen hajoaminen, Eristeen vikaantuminen, Mekaaninen vioittuminen
Matala suhteellinen kosteus	Kuivuminen, Haurastuminen, Mekaanisen lujuuden menettäminen, Kutistuminen, Hankauksen lisääntyminen liikkuvien kontaktien välillä	Mekaaninen vikaantuminen, Murtuminen

Taulukossa 2 esitetään tyypilliset haittavaikutukset, joille sähkölaitteet saattavat altistua, kun suhteellinen kosteus on liian korkea tai alhainen. Kosteuden aiheuttamien ongelmien riski ja vakavuus vaihtelee laitekohtaisesti esimerkiksi laitteen toimintaperiaatteesta, käytettävistä osista ja komponenteista sekä niiden ominaisuuksista sekä muista käyttöolosuhteista.

Kuvantamislaitteiden valmistajat perustelevat kuvantamislaitteiden dokumenteissa ilmankosteuden ala-rajaa merkitystä staattisen sähkön ehkäisemisellä. Staattisen sähkön syntyminen ja siitä aiheutuvien purkauksien todennäköisyys ja voimakkuus kasvavat kuivumisen ja lisääntyneen hankauksen myötä. Seuraavassa luvussa esitetään tarkemmin staattinen sähkö ja sen haittavaikutukset. Laitevalmistajan määrittelemät vaatimukset lieventävät sähköstaattisten purkausten (ESD) voimakkuutta, jonka ansiosta ne pysyvät hyväksyttävissä arvoissa.

Laitevalmistajat eivät erikseen ilmoita suhteellisen ilmankosteuden ylärajan hallinnan merkitystä tai syytä, mutta yhtenä syynä voidaan pitää potilaan mukavuutta kuvantamistilanteessa. Liian kosteassa ilmassa potilaan epämukavuus kasvaa, mikä epämiellyttävän kokemuksen lisäksi saattaa aiheuttaa potilaassa ylimääräistä liikettä. Esimerkiksi magneetikuvantamisessa potilaan tulisi pysyä mahdollisimman paikallaan, sillä liike aiheuttaa kuvantamistuloksiin virheitä, tai pahimmassa tapauksessa ne ovat käyttökelttomia. [32.]

Musakan [32] suorittamassa tutkimuksessa ilmeni, että tutkimuksessa käsiteltyjen MRI-laitteiden kuvantamistulosten laadulla ja suhteellisella ilmankosteudella on selkeä yhteys. Kuvantamistiloissa, missä ei hallita suhteellista ilmankosteutta laitevalmistajan määrittelemien raja-arvojen puitteissa, MRI-kuvantamisen tulosten laatu kärsii, ja pahimmillaan ne ovat täysin käyttökelttomia.

Suomen olosuhteissa voidaan taulukossa 2 mainituista haittavaikutuksista suurimpana pitää ESD-ongelmia, joiden syntyminen helpottuu kylmän ja kuivan talviajan myötä. Seuraavassa luvussa esitetään staattisen sähkön ja ESD-ongelmien teoriaa.

5.4 Staattinen sähkö

Staattinen sähkövaraus tarkoittaa sähkövarausten epätasapainoa materiaalin sisällä tai pinnalla [33]. Staattinen sähkövaraus syntyy, kun kappaleiden materiaalien alkeishiukkaset liikkuvat ja atomien järjestys muuttuu, esimerkiksi materiaaleja hangatessa, liitettäessä tai erottaessa [34, s. 13].

Sähköstaattinen purkaus

Sähköstaattinen purkaus tarkoittaa staattisen sähkövarauksen siirtymistä kahden eri potentiaalisesti varautuneen kappaleen välillä joko kosketuksen tai staattisen sähkökentän indusoimana [34, s. 89].

Järjestelmien eli useammasta laitteesta koostuvat kokonaisuudet ovat tyypillisesti herkempiä ESD-ongelmille, sillä muuttuvia tekijöitä on enemmän. Kuvantamislaitteet toimivat aina osana järjestelmää.

Sähköstaattiset purkaukset saattavat aiheuttaa lieviä tai vakavia ongelmia. Lievät ongelmat voivat olla esimerkiksi käytettävän ohjelmiston selittämättömät häiriöt tai sähköisen tiedon korruptoituminen tai katoaminen. Vakavat ongelmat voivat olla laitteen käytön estäviä, esimerkiksi komponentin tai osan hajoaminen. [35.]

Purkausten aiheuttamat ongelmat saattavat näkyä joko välittömästi purkauksen jälkeen, tai vasta myöhemmin viiveellä. Kaikki purkaukset eivät välttämättä ylitä komponentin tai osan kriittistä sietokykyä, mikä aiheuttaisi välittömän vioittumisen. Komponentit saattavat kuitenkin vioittua lievästi siten, että laitteen käytössä ei ilmene välitöntä ongelmaa. Lievästi vioittuneet komponentit kuitenkin hajoavat lopulta, kun laitteen normaalia käyttöä jatketaan. [36.]

Potilaan hoidon aikana tapahtuva purkaus lisää henkilöturvallisuuden kohdistuvaa riskiä sekä heikentää toimenpiteen laatua ja luotettavuutta [37].

Läpilyönti

Sähköä voidaan eristää erilaisilla eristemateriaaleille. Jokaisella materiaalilla on ominainen dielektrinen lujuus eli läpilyöntilujuus, mikä ilmaisee, kuinka suuren jännitteen materiaali kestää ja pystyy eristämään. Kun ESD:n aiheuttama jännite ylittää eristemateriaalin läpilyöntilujuuden, eriste pettää ja syntyy läpilyönti. [38.] Varsinkin TT-kuvantamislaitteissa olevat röntgenputket ovat alttiita ja herkkiä läpilyönneille.

Ilmankosteuden vaikutus staattisen sähköön

Staattisen sähköön muodostuminen on käytännössä kääntäen verrannollinen suhteelliseen ilmankosteuteen, eli mitä alhaisempi suhteellinen ilmankosteus on, sitä suurempi staattinen sähkövaraus voi syntyä [33].

Ideaali suhteellinen ilmankosteus luo komponenttien ja osien pintaan ikään kuin suojakerroksen, mikä ehkäisee ja lieventää staattisen sähkövarauksen muodostumista johdattamalla ja hävittämällä sähkövarausta [39]. Korkea suhteellinen kosteus ei kuitenkaan täysin estä staattisen varauksen syntymistä, eli staattista sähköä voi muodostua suhteellisesta kosteudesta riippumatta [33].

Staattista sähköä voidaan hallita ja ehkäistä useilla eri menetelmillä. Kuvassa 6 esitetään standardissa IEC 61340-6-1 määritetyt terveydenhuollon tilojen luokitukset sekä niille määritetyt staattisen sähköön hallintamenetelmät.

Alue	Hallintamenetelmä			
	Henkilöstön maadoitus jalkineiden ja lattian kautta	Muiden johteiden maadoitus lattian tai suoran kytkennän kautta	Johtavien tai staattista sähköä poistavien materiaalien käyttö	Heikosti varautuvien materiaalien käyttö
Luokittelematon	Ei välttämätön	Ei välttämätön	Ei välttämätön	Suosittelava
G0	Suosittelava	Suosittelava	Suosittelava ^a	Suosittelava
G1	Suosittelava	Suosittelava	Suosittelava ^a	Suosittelava
G2	Vaaditaan	Vaaditaan	Suosittelava	Suosittelava

^a Johtavia ja staattista sähköä poistavia materiaaleja tulisi käyttää vain, mikäli maadoitus on mahdollista.

Kuva 6. Staattisen sähköön hallintamenetelmien luokittelu [37]

MRI- ja TT-kuvantamistilat luokitellaan standardin [37] mukaan luokkaan G1. Standardissa ei ole esitetty ilmankosteuden hallintaa yhdeksi staattisen sähköön hallintamenetelmäksi, mutta ilmankosteuden hallintaan liittyvät vaatimukset tulevat kuitenkin suoraan laitevalmistajilta.

MRI- ja TT-kuvantamistiloissa tulisi hallita staattista sähköä asianmukaisella ilmankosteuden hallinnalla yhdessä muiden suositeltujen staattisen sähköön hallintamenetelmien kanssa [40].

Mehdi Kohani ja Michael Pecht tutkivat Yhdysvaltain elintarvike- ja lääkeviraston (Food and Drug Administration, FDA) tietokantaan (Manufacturer and User

Facility Device Experience, MAUDE) ilmoitettuja ESD-ongelmia. MAUDE-tietokanta sisältää lääkinnällisten laitteiden vikaraportteja lääkinnällisten laitteiden valmistajilta, käyttäjiltä sekä toimittajilta. 2006–2016 välisenä aikana tietokantaan oli ilmoitettu noin 1350 kappaletta ESD:hen liittyvää ongelmatilannetta. Melkein puolet kaikista ilmoitetuista ESD-ongelmista oli tapahtunut vuoden kylmimpinä kuukausina eli joului-, tammi- ja helmikuun aikana. Useassa tapauksessa ilmeni, että suhteellinen ilmankosteus oli ollut alle laitevalmistajan määrittelemän alarajan. [41.]

Todellisuudessa ESD:n aiheuttamia vikoja ja häiriöitä tapahtuu varmasti enemmän kuin on raportoitu, sillä ESD-vikojen luonteen takia varsinkin hoitohenkilökunnan on vaikea tai jopa mahdoton tunnistaa tapahtunutta häiriötä ESD:stä johtuvaksi, varsinkin lievissä tai hetkellisissä ESD-ongelmissa [41].

On selvää, että suhteellinen ilmankosteus vaikuttaa oleellisesti sähkölaitteiden ESD-riskeihin, matalassa suhteellisessa ilmankosteudessa ESD-riskien mahdollisuus ja vakavuus kasvavat.

6 Tutkimusmenetelmät

Tässä luvussa esitetään, miten kosteudenhallinnan tilanne selvitettiin sekä miten kuvantamislaitteiden huoltohistoria valmisteltiin tutkimusta varten.

6.1 Kosteudenhallinnan selvittäminen

Ennen kosteudenhallinnan tilanteen selvittämistä valittiin yhdessä työn tilaajan kanssa tutkimukseen sisällytettävät kuvantamislaitteet. Kuvantamislaitteet valittiin HUSin laitekirjanpidosta, missä kaikki kuvantamislaitteet on listattu kaikkine tietoineen.

Tutkimukseen valittiin 40 kuvantamistilaa ja -laitetta, joista 17 oli MRI-kuvantamislaitteita, ja loput 23 kappaletta oli TT-kuvantamislaitteita. Tutkittavat kuvantamislaitteet sijaitsivat 14 eri toimipisteessä.

Kuvantamistilojen kosteudenhallinnan tilanne selvitettiin suoraan HUSin henkilökunnalta. Jokaisella toimipisteellä on vastuhenkilö tai -henkilöt, jotka vastaavat kyseisen toimipisteen kiinteistöön liittyvistä asioista.

Vastuuhenkilöiltä selvitettiin kuvantamistilojen kosteudenhallinnan tilanteesta seuraavat asiat:

- Hallitaanko ilmankosteutta? (Kyllä/Ei)
- Missä raja-arvoissa suhteellista ilmankosteutta pidetään?
- Tallennetaanko kosteudenhallinnasta dataa?
- Miten tallennettua dataa pääsee jatkossa seuraamaan?

Edellä mainittujen kysymysten avulla kuvantamistilojen kosteudenhallinnan tilanne saatiin kartoitettua laitevalmistajan haluamalla tavalla. Kosteudenhallinnan tilanne selvitettiin yleisellä tasolla niin, että tilaaja tietää, missä kuvantamistiloissa kosteutta hallitaan ja missä ei, sekä tallennetaanko kosteudenhallinnasta dataa vai ei.

Tämän lisäksi jokaisen kuvantamislaitteen laitevalmistajan määrittelemät kosteuden raja-arvot selvitettiin joko laitevalmistajan julkisesti saatavilla olevista dokumenteista tai olemalla yhteydessä suoraan laitevalmistajan työntekijöihin.

Saadut tulokset kirjattiin Excel-tiedostoon, mikä on tilaajan vapaassa käytössä. Excel-tiedosto sisältää laitekohtaisesti kaiken tarvittavan tiedon, joiden avulla tilaaja pystyy yhdellä silmäyksellä saamaan tiedon kaikista käsitellyistä kuvantamistiloista ja niiden tämänhetkisestä kosteudenhallinnan tilanteesta.

6.2 Kosteudenhallinnan suhde huoltotarpeisiin

Jokainen kuvantamislaitte on kirjattuna HUSin Mequsoft-laiterekisterissä. Laiterekisteri sisältää kuvantamislaitteiden yleiset tiedot sekä niille tehdyt työtilaukset. Insinööriyön kannalta kiinnostava tieto ja data on huoltohistoria, mikä muodostuu kuvantamislaitteille tehdyistä työtilauksista. Työtilaukset voivat olla esimerkiksi määräaikaishuoltoja, ohjelmistopäivityksiä, laitevikoja tai häiriöitä.

Tutkittavien kuvantamislaitteiden huoltohistoriat ladattiin Excel-tiedostoiksi tutkimusta varten. Jokaisen kuvantamislaitteen huoltohistorian työtilauksista karsittiin pois insinööriyön kannalta tarpeettomat työtilaukset. Pois karsittavia työtilauksia olivat esimerkiksi:

- ohjelmistopäivitykset
- varaosatilaukset
- käyttäjän tekemät virheet
- määräaikaishuollot (Ellei kirjattu laitevikoja)
- takuukatselmoinnit
- varaosatilaukset
- veden tai heliumtasojen säädöt
- mekaaniset viat (Vain käyttäjän tekemät virheet).

Työtilauksien karsiminen oli tulkinnanvaraista, sillä työtilauksien kirjallinen sisältö vaihteli paljon työtilauksia kirjanneiden henkilöiden mukaan. Tämän insinööriyön puitteissa tutkimukseen valittiin kaikki työtilaukset, jotka saattavat millään muotoa liittyä ilmankosteuden haittavaikutuksiin (taulukko 2).

Tutkittaviin huoltohistorioihin sisällytettiin taulukon 2 haittavaikutusten lisäksi selittämättömät ohjelmistohäiriöt, joiden työtilauksiin ei ollut kirjattu, että häiriö johtui käyttäjän tekemästä virheestä tai tiedossa olevasta ohjelmisto-ongelmasta. Tämän lisäksi työhön sisällytettiin kaikki ”luonnolliset” mekaaniset viat, jotka eivät johtuneet käyttäjän virheistä (käyttäjä tiputti osan lattialle ja osa hajosi).

7 Tulokset

Tässä luvussa esitetään otteita insinööriyön tuloksista, ja niiden perusteella tehdyistä johtopäätöksistä tai arvioista. Osa tuloksista on vain työn tilaajan käyttöä varten, jonka vuoksi niitä ei sisällytetä julkiseen raporttiin. Tuloksissa käsiteltävät tiedot esitetään nimettömästi, ilman tarkkoja tunnistetietoja.

7.1 Kuvantamistilojen kosteudenhallinnan nykytilanne

Tutkimuksessa saatiin selvitettyä jokaisen tutkimukseen valitun 40 kuvantamistilan tämänhetkinen kosteudenhallinnan tilanne.

Tutkimukseen valituista 17 MRI-kuvantamistilasta 16:ssa oli kosteudenhallinta, mutta näistä 2:ssa kosteudenhallintaa ei kuitenkaan käytetä, sillä sen kerrottiin aiheuttaneen erinäisiä ongelmia jo pitkään. MRI-kuvantamistiloista vain 1:ssä ei ollut ilmankosteuden hallintaa.

TT-kuvantamistilojen kosteudenhallinnan tilanne oli lähestulkoon päinvastainen, sillä tutkimukseen valituista 23:sta TT-kuvantamistilasta vain 4:ssä oli kosteudenhallinta, mutta niin ikään 2:ssa kosteudenhallintaa ei käytetty, siitä aiheutuvien ongelmien vuoksi. Kaikista TT-kuvantamistiloista 19:ssä ei ollut kosteudenhallintaa.

Kosteudenhallintaan liittyvät ongelmat, joita oli ilmennyt neljässä tilassa, kerrottiin liittyneen LVI-puolen tekniikkaan ja toteutukseen, eivätkä ne liittyneet suoraan kuvantamistiloihin tai laitteisiin.

Kosteudenhallinnan datan tallentaminen

Tämän lisäksi tutkimuksessa selvitettiin, tallennetaanko kosteudenhallinnasta dataa ja miten sitä pääsee jatkossa seuraamaan.

Ilmankosteuden hallinnan seuraaminen tai datan tallentaminen oli vaihtelevaa. Suurimmassa osassa hallituista kuvantamistiloista datan tallentaminen oli käytössä, tai siihen oli ainakin mahdollisuus. Missään hallitsemattomassa kuvantamistilassa ei ollut kosteudenseurantaa.

Työn aikana ilmeni myös, että datan tallentaminen ei ole välttämättä jatkuvaa tai automaattista, vaan se vaatii erillisen toimenpiteen tallentamisen aloittamiseksi tai lopettamiseksi.

7.2 Kosteudenhallinnan vaikutus huoltotarpeisiin

Yksipuolisen kosteudenhallinnan takia kosteudenhallinnan vaikutusta ei voida arvioida alkuperäisen suunnitelman mukaan vertailemalla hallittujen ja hallitsemattomien MRI- ja TT-kuvantamistilojen laitteiden työtilauksien määriä ja ajankohtia omissa ryhmissään. Yhden tai kahden kuvantamistilan käyttäminen vertailukohteena ei anna luotettavaa tietoa, minkä takia hallittujen TT-tilojen ja hallitsemattomien MRI-tilojen työtilauksia ei sisällytetä raporttiin.

Myöskään hallittujen MRI-kuvantamistilojen työtilauksien vertailu hallitsemattomien TT-kuvantamistilojen työtilauksiin ei ole järkevää, sillä kyseessä on kaksi eri kuvantamismodaliteettia, jotka toimivat eri tekniikoilla ja ne ovat eri tavalla herkkiä tai alttiita häiriöille ja laitevioille.

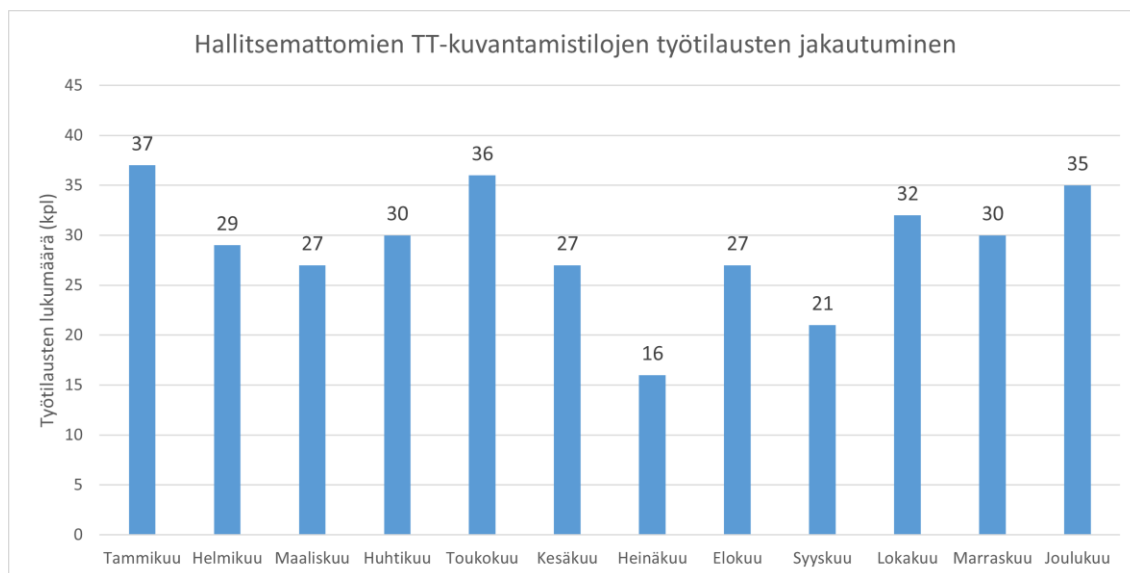
Huoltohistoriaa arvioidaan tässä raportissa tutkimalla hallittujen MRI-tilojen ja hallitsemattomien TT-tilojen laitteiden työtilauksien lukumäärien ja ajankohtien eroja talven (joulu-, tammi- ja helmikuun) ja kesän (kesä-, heinä- ja elokuun) välillä laitekohtaisesti.

Hallitsemattomat TT-kuvantamistilat

Hallitsemattomia TT-kuvantamistiloja on 21 kappaletta, kun mukaan luetaan kaksi kuvantamistilaa, missä oli kosteudenhallinta, mutta sitä ei ollut saatujen tietojen mukaan käytetty pitkään aikaan.

Kuvantamistilojen työtilauksia kartoitettiin luvussa 7.2 esitettyjen rajauskriteerien mukaan yhteensä 347 kappaletta. Kuvantamislaitteilta tutkittu huoltohistorian aika on yhteensä 789 kuukautta, eli noin 49 laitteiden käyttövuotta. Työtilauksia on ilmennyt siis keskimäärin noin 9 viikon välein.

Kuvassa 7 esitetään kaikkien hallitsemattomien TT-kuvantamistilojen laitteiden työtilausten jakautuminen eri kuukausille.



Kuva 7. Hallitsemattomien TT-kuvantamistilojen työtilausten jakautuminen.

Kuvan 7 perusteella ei nähdä ilmiselvää trendiä tai työtilausten painottumista tiettyyn vuodenaikaan. Nähtävillä on kuitenkin, että talvella työtilausten kokonaismäärä on keskimäärin hieman isompi kuin kesällä. Heinäkuussa työtilausten määrä käy matalimmillaan, kun taas tammikuussa korkeimmillaan.

Kun tutkitaan kaikkien laitteiden työtilauksia yhtenä massana, nähdään, että talvella työtilauksia on yhteensä 101 kappaletta, mikä vastaa 29 prosenttia kaikista työtilauksista. Puolestaan kesällä työtilauksia on 70 kappaletta, mikä vastaa 20 prosenttia kaikista työtilauksista.

Yhtenä massana tutkimisen lisäksi talven ja kesän työtilauksien lukumääriä tarkasteltiin yksittäisesti jokaiselta laitteelta (liite 1, taulukko 2).

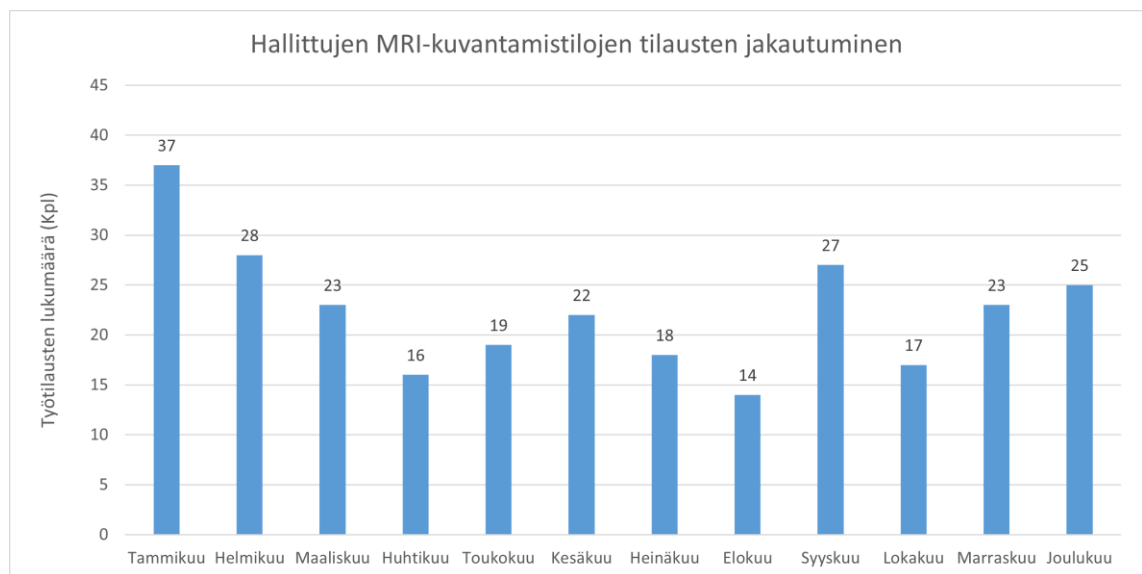
Laitekohtaisessa vertailussa ilmenee, että kaikista 21 laitteesta 12:sta (57 %) oli enemmän työtilauksia talvella. Puolestaan 6 laitteella nähtiin, että kesällä oli enemmän työtilauksia. 3 laitteella talven ja kesän työtilauksien lukumäärät olivat tasan.

Hallitut MRI-kuvantamistilat

Hallittuja MRI-kuvantamistiloja on 14 kappaletta, kun pois luetaan kaksi tilaa, missä on kosteudenhallinta, mutta sitä ei käytetä.

Kuvantamislaitteiden työtilauksista tutkimukseen sisällytettiin luvussa 7.2 esitettyjen rajauskriteereiden mukaan 269 kappaletta. Kuvantamislaitteiden tutkittu huoltohistoria on yhteensä 593 kuukautta, eli noin 49 laitteiden käyttövuotta. Työtilauksia on ilmennyt siis keskimäärin noin 9 viikon välein.

Kuvassa 8 esitetään kaikkien hallittujen MRI-kuvantamistilojen laitteiden työtilausten jakautuminen eri kuukausille.



Kuva 8. Hallittujen MRI-kuvantamistilojen työtilausten jakautuminen.

Kuvan 8 avulla voidaan havaita lievää trendiä, että hallittujen MRI-tilojen työtilaukset lisääntyvät lokakuusta alkaen lievästi, kun ulkoilma alkaa viilenemään. Eniten työtilauksia on keskimäärin tammikuussa, jonka jälkeen ulkolämpötilan lämmitessä myös työtilausten määrä laskee tasaisesti kesää kohti.

Työtilauksista 90 kappaletta ilmeni talvella, mikä vastaa 34 prosenttia kaikista työtilauksista. Puolestaan kesällä ilmenneiden työtilausten lukumäärä oli 54 kappaletta, mikä vastaa 20 prosenttia kaikista työtilauksista.

Laitekohtaisessa vertailussa (liite 2, taulukko 1) ilmeni, että 14 kuvantamislaitteesta 12:lla (86 %) oli ilmennyt enemmän työtilauksia talvella. Lopuista kahdesta laitteesta toisella oli kesällä enemmän työtilauksia, ja toisella kesän ja talven työtilausten määrä oli sama.

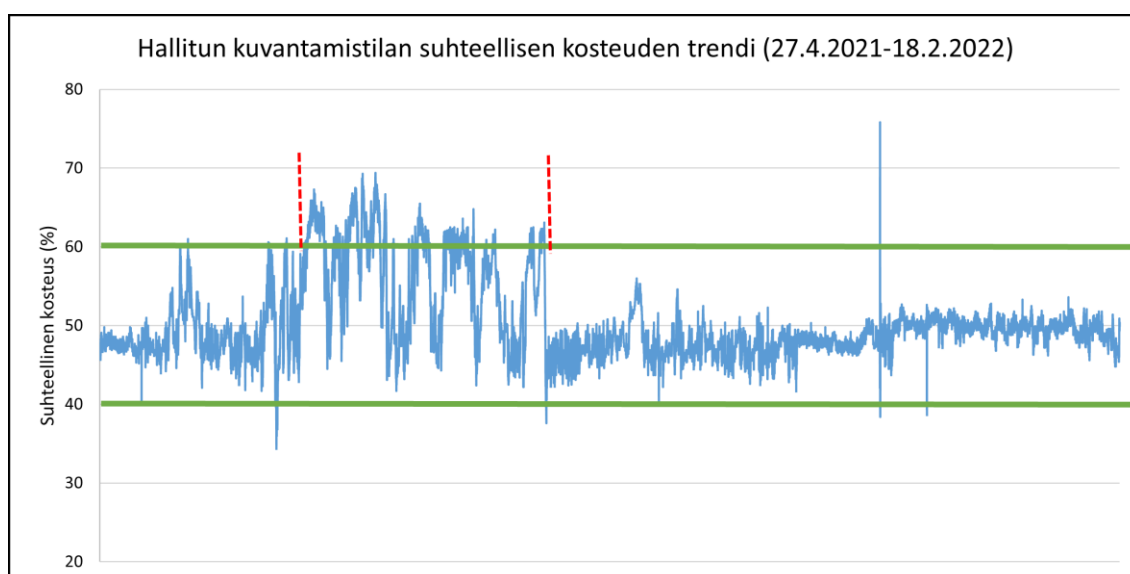
7.3 Hallitun ja hallitsemattoman kuvantamistilan kosteuden vaihtelu

Kuvantamistilojen kosteudenhallinnan datan tallentaminen oli erittäin vaihtelevaa. Hallitsemattomista kuvantamistiloista ei ollut saatavilla kosteuden trendejä, mutta vertailukohteeksi löytyi eräs kuvantamistila, missä kosteudenhallinta oli hetkellisesti ollut hajalla.

Esimerkkien kuvaajissa kahden vihreän vaakaviivan välinen alue kuvastaa laitevalmistajan määrittelemää suhteellisen kosteuden ylä- ja alarajaa, joiden puitteissa kuvantamistilan suhteellisen kosteuden tulisi poikkeuksetta olla.

Esimerkki 1: Hallitun kuvantamistilan kosteustrendi

Kuvassa 9 esitetään esimerkki erään hallitun kuvantamistilan suhteellisen kosteuden trendiä huhtikuun 2021 ja helmikuun 2022 väliltä.



Kuva 9. Esimerkki 1: Hallitun kuvantamistilan suhteellisen kosteuden trendi.

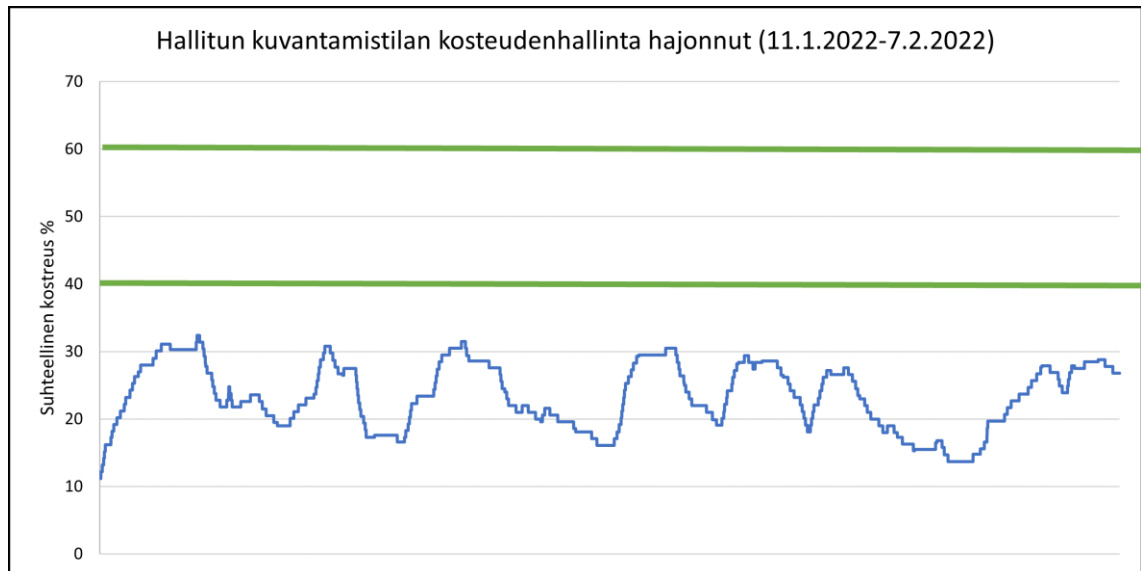
Kuvan 9 esimerkistä nähdään, että hallitussa kuvantamistilassa suhteellinen kosteus pysyy pääsääntöisesti kuvantamislaitteen raja-arvojen puitteissa. Punaisten pystykatkoviivoilla on rajattu alue, jolloin suhteellisen kosteuden yläraja ylittyy säännöllisesti.

Punaisten katkoviivojen muodostama alue on 20.6.2021 – 14.9.2021 välinen ajanjakso. Suhteellinen ilmankosteus nousee kuitenkin vain maksimissaan noin 70 prosenttiyksikköön, mikä ei altista kuvantamislaitteita välittömille ongelmille. Kuvattavien potilaiden kannalta tämä korkea suhteellinen kosteus saattaa kuitenkin olla liian korkea, jonka vuoksi kuvantamisen aikana saattaa aiheutua ylimääräistä liikettä. Varsinkin MRI-kuvantamisessa ylimääräinen liike saattaa tehdä kuvantamisen tuloksista jopa täysin käyttökelvottomia.

Kuvantamistilan suhteellinen ilmankosteus pysyy koko talvikauden laitevalmistajan määrittelemissä puitteissa muutamia yksittäisiä mittaustuloksia lukuun ottamatta. Yksittäisten mittaustulosten saattavat johtua esimerkiksi mittaushäiriöstä tai laiteviasta.

Esimerkki 2: Viallinen kosteudenhallinta

Kuvassa 10 esitetään erään kuvantamistilan suhteellisen kosteuden trendiä saatavilla olevalta aikaväliltä, kun kosteudenhallinta on ollut pois käytöstä kosteudenhallintaan liittyvän laitevian takia. Kuvan trendi on aikaväliltä 11.1.2022 ja 7.2.2022.



Kuva 10. Viallisen kosteudenhallinnan trendiä.

Kuva 10 vahvistaa teoriaosuudessa esitetyn kuvan 3 tulosta, eli sisäilman suhteellinen kosteus laskee huomattavasti, mikäli ilmankosteutta ei hallita asianmukaisesti. Kuvassa käsiteltävän kuvantamistilan suhteellinen ilmankosteus on ollut koko käsiteltävän ajanjakson alle laitevalmistajan määrittelemän alarajan, alimmillaan noin 10 % RH.

8 Yhteenveto

Insinööriyössä kartoitettiin tutkimukseen valittujen kiinteiden MRI- ja TT-kuvantamistilojen tämänhetkinen kosteudenhallinnan tilanne tilaajan toivomalla tavalla. Insinööriyössä arvioitiin myös kosteudenhallinnan tilanteen vaikutusta kuvantamislaitteiden huoltotarpeisiin.

Kosteudenhallinnan nykyisessä tilanteessa havaittiin puutteita, varsinkin TT-kuvantamistilojen osalta. Laitevalmistajien määrittelemät ohjeet ja raja-arvot ympäristöolosuhteiden hallintaan liittyen ovat lain sanelemana pakollisia noudattaa, mutta ne myös ylläpitävät kuvantamislaitteiden toimintavarmuutta sekä potilasturvallisuutta.

Kosteudenhallinnan tilanne MRI- ja TT-tiloissa oli niin yksipuolista kummallakin modaliteetilla, että vertailua varten ei saatu tarpeeksi kohteita, jotta olisi voinut järkevästi vertailla, miten molempien modaliteettien työtilausten ajankohdat ja lukumäärät vaihtelevat hallittujen ja hallitsemattomien tilojen välillä.

Niin hallituissa MRI-tiloissa kuin hallitsemattomissa TT-tiloissa keskimääräisesti eniten työtilauksia oli kirjattu talvella, kun taas vähiten kesällä. Kesän ja talven työtilausten eroja tutkittiin myös laitekohtaisesti, jonka tuloksena selvisi, että 69 % tutkituista laitteista oli kirjattu enemmän työtilauksia talvella kuin kesällä.

Laitekohtaisessa tutkinnassa ilmeni, että kosteudenhallinnan vaikutus laitteiden huoltotarpeisiin ei ole niin yksiselitteistä. Kuvantamislaitteiden työtilausten lukumäärät ja ajankohdat saattavat vaihdella aivan laidasta laitaan kuvantamislaitteiden välillä, vaikka kosteudenhallinnan tilanne olisikin sama.

Esimerkkinä kahden hallitsemattoman TT-kuvantamislaitteen työtilaukset: ensimmäisessä laitteessa oli 29 kuukauden aikana kirjattu 38 kappaletta tutkimukseen valittuja työtilauksia, kun taas toisena ääripäänä toiselle laitteelle oli kirjattu 49 kuukauden aikana vain 6 työtilausta. Esimerkin kaltaisia tapauksia oli useita (liite 1).

Tässä insinööriyössä ei tutkittu, miten kosteudenhallinta todellisuudessa toimii ja miten kosteusarvot pysyvät vaadituissa puitteissa hallinnan avulla. Aihetta voisi jatkaa esimerkiksi suorittamalla pidemmän ja kattavamman tutkimuksen, miten suhteellinen ilmankosteus oikeasti vaihtelee kuvantamistiloissa. Kuvantamislaitteiden työtilausten suurta vaihtelevuutta kosteudenhallinnan tilanteesta riippumatta voitaisiin arvioida ja tutkia lisää. Osasyllinen saattaa olla itse rakennukset, sillä osa kuvantamislaitteista on erittäin vanhoissa tiloissa, kun taas osa täysin moderneissa.

Toisaalta kattavampaa tutkimusta voisi suorittaa valitsemalla samalta modaliteetilta esimerkiksi kaksi hallittua ja kaksi hallitsematonta tilaa, joiden suhteellisen kosteuden trendiä seurattaisiin jatkuvasti ja pidemmältä aikaväliltä, ja työti-

lausten kirjaamiseen panostettaisiin entistä enemmän. Tutkittavalta ajalta työtilauksia voitaisiin myös tutkia tarkemmin, mutta se vaatii syvää laitekohtaista tuntemusta, mitä allekirjoittaneella ei ollut tätä työtä tehdessä.

Lähteet

- 1 Tietoa Meistä. Verkkoaineisto. Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri. <<https://www.hus.fi/tietoa-meista>>. Luettu 4.1.2022.
- 2 HUS Logistiikka. Verkkoaineisto. Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri. <<https://www.hus.fi/tietoa-meista/potilashoito-laatu-ja-potilasturvallisuus/hus-logistiikka>>. Luettu 4.1.2022.
- 3 Lääkintätekniset palvelut. Verkkoaineisto. Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri. <<https://www.hus.fi/ammattilaiselle/laakintatekniset-palvelut>>. Luettu 4.1.2022.
- 4 Viheriäkoski, Toni & Kokkonen, Mika. 2021. Lääkintätilat lääkintälaitteiden näkökulmasta: Yleiset vaatimukset. Tekninen raportti. Päivitetty 25.11.2021. Luettu 10.2.2022.
- 5 Nieminen, Miika; Lammentausta, Eveliina & Saarakkala Simo. 2017. Johdanto radiologisen kuvantamisen fysiikkaan ja tekniikkaan. Duodecim Oppiportti. Verkkoaineisto. <<https://www.oppiportti.fi/op/krd01401/do>>. Luettu 24.1.2022.
- 6 Bushberg JT; Seibert J; Leidholdt EM & Boone JM. The Essential Physics of Medical Imaging. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2011. Verkkoaineisto. <<https://ebookcentral.proquest.com/lib/metropolia-ebooks/reader.action?docID=2031899>>. Luettu 4.11.2021.
- 7 Kuvantamistutkimukset. Verkkoaineisto. Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri. <<https://www.hus.fi/hoidot-ja-tutkimukset/kuvantamistutkimukset>>. Luettu 12.1.2022.
- 8 Ruonala, Verner. 2019. Radiologisten tutkimusten ja toimenpiteiden määrät vuonna 2018. Verkkoaineisto. <<https://www.julkari.fi/handle/10024/138743>>. Luettu 16.1.2022.
- 9 Toivo, Tim. 2019. Magneettitutkimus. Säteilyturvakeskus. Verkkoaineisto. <<https://www.stuk.fi/aiheet/sateily-terveydenhuollossa/magneettitutkimus>>. Päivitetty 19.12.2019. Luettu 29.1.2022.
- 10 Salonen, Oili & Kuurne, Timo. 1992. Milloin keskushermoston sairauksissa magneettikuvaus on perusteltua?. Duodecim. Verkkoaineisto. <<https://www.duodecimlehti.fi/duo20141>>. Luettu 29.1.2022.
- 11 Lamminen, Antti & Soila, Kalevi. 1992. Luuston ja lihaksiston magneettikuvaus. Duodecim. Verkkoaineisto. <<https://www.duodecimlehti.fi/duo20147>>. Luettu 30.1.2022.

- 12 Huurto, Laura & Toivo, Tim. 2000. Terveystutkimukset ja niiden turvallisuus. Helsinki: Lääkelaitos. Verkkoaineisto. <https://www.valvira.fi/documents/14444/50159/LH-2000-1_magneettitutkimukset.pdf>. Luettu 30.1.2022.
- 13 Hamberg, Leena & Aronen, Hannu. 1992. Magneettikuvauksen perusteet ja tutkimusmenetelmät. Duodecim. Verkkoaineisto. <<https://www.duodecimlehti.fi/duo20140>>. Luettu 31.1.2022.
- 14 Lammentausta Eveliina. 2017. Magneettikuvaus. Duodecim Oppiportti. Verkkoaineisto. <<https://www.oppiportti.fi/op/krd01406/do>>. Luettu 31.1.2022.
- 15 Tietokonetomografia TT. 2019. Terveyskylä. Verkkoaineisto. <<https://www.terveyskyla.fi/tutkimukseen/eri-tutkimuksia/yleisimm%C3%A4t-kuvantamistutkimukset/tietokonetomografia-tt>>. Päivitetty 24.9.2019. Luettu 26.1.2022.
- 16 Nieminen Miika. 2017. Röntgensäteilyyn perustuvat menetelmät. Duodecim Oppiportti. Verkkoaineisto. <<https://www.oppiportti.fi/op/krd01403/do>>. Luettu 27.1.2022.
- 17 Syväranta, Suvi; Vuorinen, Anna-Maija & Tokola Anna. 2021. Radiologisen kuvantamisen perusteet. Duodecim. Verkkoaineisto. <<https://www.duodecimlehti.fi/lehti/2021/9/duo16215?keyword=tietokonetomografi>>. Luettu 25.1.2022.
- 18 Hakanen, Arvi. 2002. Radiologisten tutkimusten ja toimenpiteiden määrät vuonna 2000. Vantaa: Dark Oy. <https://www.researchgate.net/publication/242607438_RADIOLOGISTEN_TUTKIMUSTEN_JA_TOIMENPITEIDEN_MAARAT_VUONNA_2000>. Luettu 25.1.2022.
- 19 Computed Tomography (CT). Yhdysvaltain elintarvike- ja lääkevirasto. Verkkoaineisto. <<https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/medical-x-ray-imaging/computed-tomography-ct>>. Luettu 14.1.2022.
- 20 Euroopan Parlamentin ja neuvoston asetus 2017/745. 2017. Verkkoaineisto. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32017R0745&from=FI>>. Luettu 12.1.2022.
- 21 Sosiaali- ja terveysministeriö. 2021. Laki lääkinnällisistä laitteista (719/2021). Verkkoaineisto. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20210719>>. Luettu 1.2.2022.
- 22 Toimintayksiköiden valvonta. 2018. Valvira. Verkkoaineisto. <https://www.valvira.fi/terveydenhuolto/valvonta/toimintayksikoiden_valvonta>. Päivitetty 12.12.2018. Luettu 1.2.2022.

- 23 Brightspeed Elite, Edge, Excel Pre-installation Manual. 2017. GE Healthcare. Verkkoaineisto. <<https://www.gehealthcare.com/support/site-planning>>. Päivitetty 2017. Luettu 4.1.2022.
- 24 Nikulainen, Pasi. Ilmankosteus. Verkkoaineisto. <<http://www.tekeville.fi/il-mankosteus>>. Luettu 18.12.2021.
- 25 Lämpötila- ja sadetilastoja vuodesta 1961. Ilmatieteen laitos. Verkkoaineisto. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tilastoja-vuodesta-1961>>. Luettu 14.1.2022.
- 26 Discussion on Humidity. National Weather Service. Verkkoaineisto. <<https://www.weather.gov/lmk/humidity>>. Luettu 10.1.2022.
- 27 Ilman kosteus. 2020. Ilmatieteen laitos. Verkkoaineisto. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilman-kosteus>>. Luettu 10.1.2022.
- 28 Hautala, Mikko & Peltonen, Hannu. 2009. Insinöörin (AMK) Fysiikka Osa I, s. 222–223. Saarijärvi: OFFSET OY.
- 29 Mollier Sketcher. IV Produkt Ltd. <<https://www.ivprodukt.com/software/mollier-sketcher>>.
- 30 Kesäsään tilastoja. Ilmatieteen laitos. Verkkoaineisto. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kesatilastot>>. Luettu 11.1.2022.
- 31 SFS-EN 60068-1. Ympäristöolosuhdetestaus. Osa 1: Yleistä ja opastusta. 2014. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 32 Musakka, Matias. 2020. Magnetic Resonance Imaging facility planning: Climate conditions versus image quality. Verkkoaineisto. <<https://www.the-seus.fi/handle/10024/337161>>. Luettu 27.11.2021.
- 33 Fundamentals of Electrostatic Discharge. Part 1: An Introduction to ESD. 2020. EOS/ESD Association. Verkkoaineisto. <<https://www.esda.org/esd-overview/esd-fundamentals/part-1-an-introduction-to-esd/>>. Luettu 14.2.2022.
- 34 Viheriäkoski, Toni. 2001. ESD: Staattinen sähkö elektroniikassa. Helsinki: Oy Edita Ab.
- 35 Electrostatic Discharge (ESD) Safety Guidelines. 2007. Dialogic. Verkkoaineisto. <<https://www.dialogic.com/support/hwinstall/ESD-webinfo.pdf>>. Luettu 1.2.2022.

- 36 Taylor, D. M. ESD: The problems it causes in electronics. Verkkoaineisto. <<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.527.6083&rep=rep1&type=pdf>>. Luettu 3.2.2022.
- 37 SFS-EN IEC 61340-6-1:2018. Staattinen sähkö, Osa 6-1: Terveysthuollon staattisen sähkön hallinta. Tilojen yleiset vaatimukset. 2018. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 38 Gedeon, Mike. Dielectric breakdown & dielectric strength. 2018. Materion Brush Inc. Verkkoaineisto. <<https://materion.com/-/media/files/alloy/newsletters/technical-tidbits/issueno120-dielectric-breakdown-and-dielectric-strength-materion-tech-tidbits.pdf>>. Luettu 31.1.2022.
- 39 Allen, C. Ryne. Humidity and ESD Control. 1998. Desco Industries, Inc. Verkkoaineisto. <http://esdsystems.descoindustries.com/whitepapers/wp_humidity.html>. Luettu 4.2.2022.
- 40 Kuusniemi, Ville. 2019. Staattisen sähkön ja ESD:n hallinta terveydenhuollossa. Verkkoaineisto. <<https://www.theseus.fi/handle/10024/172272>>. Luettu 1.2.2022.
- 41 Kohani Mehdi & Pecht Michael. 2017. Malfunctions of Medical Devices Due to Electrostatic Occurrences Big Data Analysis of 10 Years of the FDA's Reports. Verkkoaineisto. <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8171590?>>. Luettu 12.12.2021.

Työtilausten jakautuminen laitekohtaisesti

Liitteen taulukoissa 1 ja 2 esitetään hallittujen MRI-kuvantamistilojen ja hallitsemattomien TT-kuvantamistilojen laitteiden työtilausten määrät, sekä ajankohdalliset vertailut talven ja kesän välillä.

Taulukoissa jokaiselta laitteelta on värjätty joko talven tai kesän työtilaukset punaisella. Punainen värjäys tarkoittaa, että värjättyinä ajankohtana kyseisellä laitteella on ilmennyt enemmän laitevikoja. Mikäli kumpaakaan ei ole värjätty, se tarkoittaa, että työtilausten lukumäärä on ollut sama talvella ja kesällä.

Taulukko 1. Hallittujen MRI-tilojen työtilaukset laitekohtaisesti.

Laite	Huoltohistoria (kk)	Työtilaukset (kpl)	Työtilausten osuus jouluhelmikuussa	Työtilausten osuus kesäelokuussa
MRI #1	49	21	6 kpl (29 %)	3 (14 %)
MRI #2	42	14	6 kpl (43 %)	2 (14 %)
MRI #3	41	14	4 (29 %)	4 (29 %)
MRI #4	19	5	1 kpl (20 %)	3 (60 %)
MRI #5	49	28	5 kpl (18 %)	4 (14 %)
MRI #6	17	5	2 kpl (40 %)	1 (20 %)
MRI #7	49	23	9 kpl (39 %)	4 (17 %)
MRI #8	49	21	9 kpl (43 %)	5 (24 %)
MRI #9	49	18	8 kpl (44 %)	3 (17 %)
MRI #10	49	21	6 kpl (29 %)	4 (19 %)
MRI #11	49	57	19 kpl (33 %)	14 (26 %)
MRI #12	41	10	3 kpl (30 %)	2 (20 %)
MRI #13	41	15	7 kpl (47 %)	3 (20 %)
MRI #14	49	17	5 kpl (29 %)	2 (12 %)

Taulukossa 2 esitetään vastaavasti hallitsemattomien TT-tilojen työtilaukset.

Taulukko 2. Hallitsemattomien TT-kuvantamistilojen työtilaukset laitekohtaisesti.

Laite	Huoltohistoria (kk)	Työtilaukset (kpl)	Työtilausten osuus jouluhelmikuussa	Työtilausten osuus kesäelokuussa
TT #1	49	22	5 kpl (23 %)	4 kpl (18 %)
TT #2	16	18	12 kpl (67 %)	2 kpl (11 %)
TT #3	49	31	9 kpl (29 %)	10 kpl (32 %)
TT #4	29	38	6 kpl (16 %)	6 kpl (16 %)
TT #5	45	10	3 kpl (30 %)	1 kpl (10 %)
TT #6	49	15	3 kpl (20 %)	5 kpl (33 %)
TT #7	49	21	7 kpl (33 %)	2 kpl (9,5 %)
TT #8	47	12	4 kpl (33 %)	2 kpl (17 %)
TT #9	12	8	4 kpl (50 %)	1 kpl (12,5 %)
TT #10	49	6	1 kpl (17 %)	0 (0 %)
TT #11	49	28	9 kpl (32 %)	5 kpl (18 %)
TT #12	49	33	13 kpl (39 %)	4 kpl (12 %)
TT #13	29	12	2 kpl (17 %)	2 kpl (17 %)
TT #14	47	15	1kpl (7 %)	8 kpl (53 %)
TT #15	49	20	4 kpl (20 %)	5 kpl (25 %)
TT #16	49	16	4 kpl (25 %)	5 kpl (31 %)
TT #17	6	1	0 kpl (0 %)	1 kpl (100 %)
TT #18	17	5	3 kpl (60 %)	1 kpl (20 %)
TT #19	14	1	1 kpl (100 %)	0 kpl (0 %)
TT #20	48	22	5 kpl (23 %)	5 kpl (23 %)
TT #21	38	13	5 kpl (38 %)	1 kpl (8 %)