



TR

STUK-TR 36 / HEINÄKUU 2023

Lauri Puranen, Vesa Moilanen, Tim Toivo

Väestön altistus tuotesuojaporttien magneettikentille

ISBN 978-952-309-573-1 (pdf)
ISSN 1796-7171

AVAINSANAT: tuotesuojaportit, magneettikentät

Tiivistelmä

Tuotesuojaportteja eli varashälytinportteja käytetään kaupoissa, liikkeissä, apteekeissa, kirjastoissa ja supermarketeissa varkauksien estämiseen. Niiden toiminta perustuu myytäviin tuotteisiin kiinnitettyihin hälytintarroihin eli tägeihin. Nämä aiheuttavat hälytyksen, jos tuotteet viedään portin läpi ilman, että tägi on irrotettu tai passivoitu kassalla. Portti synnyttää voimakkaan magneettikentän, jolle portin läpi kulkevat asiakkaat tai työntekijät altistuvat lyhytaikaisesti. Käytössä on erityyppisiä tuotesuojaportteja, joiden magneettikentät ovat ominaisuuksiltaan erilaiset.

Tämän projektin tarkoituksena oli selvittää, minkä tyyppisiä tuotesuojaportteja käytetään ja miten ne jakautuvat eri tyypeihin pääkaupunkiseudulla. Lisäksi mitattiin kustakin tyyppistä muutaman portin aiheuttama magneettikenttä menetelmällä, joka esitetään eurooppalaisessa tuotesuojaporttien testausstandardissa. Mittaustuloksia verrattiin eurooppalaisen tuotesuojaporttien tuotestandardin viitearvoihin. Sydämentahdistimien ja muiden aktiivisten kehon lääkinnällisten laitteiden häiriintymistä tuotesuojaporttien magneettikentässä selvitettiin kirjallisuuskatsauksella.

Projekti katsottiin tarpeelliseksi, koska Suomessa ei ole aikaisemmin selvitetty tuotesuojaporttien tyyppjä eikä jakautumista eri tyypeihin. Porttien magneettikenttiä ei ole aiemmin mitattu testausstandardin mukaisesti. Muissa maissa on runsaat kymmenen vuotta sitten määritetty porttien jakauma eri tyypeihin ja mitattu porttien magneettikenttiä testausstandardin mukaisesti. Mittaustulokset osoittivat, että tietyillä porttityypeillä magneettikentät ylittivät selvästi eurooppalaisen tuotestandardin viitearvot.

Projektin kirjallisuuskatsaus laadittiin muissa maissa tehdyistä tuotesuojaporttien tutkimuksista ja tuotesuojaporttien magneettikentän aktiivisille kehon lääkinnällisille laitteille aiheuttamista häiriöistä. Tuotesuojaporttien tyypit ja jakautuminen eri tyypeihin määritettiin vuonna 2021 käymällä 325 liikkeessä pääkaupunkiseudun kauppakeskuksissa ja mittaamalla porttien magneettikenttien spektrit. Kaikkiaan mitattiin kuuden taajuudella 58 kHz toimivan AM-portin ja kahdeksan taajuudella 8,2 MHz toimivan RF-portin magneettikentät mittareilla, joiden kalibrointi ja toiminta oli tarkastettu laboratoriossa. Yhden valmistajan AM- ja RF-portin magneettikentät mitattiin maahantuojan tiloissa ja muiden valmistajien tuotesuojaporttien magneettikentät mitattiin liikkeissä. Kaikki mitatut portit oli asetettu toimimaan normaalisti.

Porttityyppien määrityksen mukaan pääkaupunkiseudulla oli käytössä vain AM- ja RF-portteja. Kirjastoissa aiemmin käytetyt EM-portit on korvattu RFID-laitteilla. Valtaosa, noin neljä viidesosaa, tuotesuojaportteista oli RF-portteja. Tulos vastaa muissa maissa tehdyissä tutkimuksissa havaittua suuntausta, jonka mukaan EM- ja AM-porttien osuudet käytössä olevista portteista ovat pienentyneet. Magneettikenttien mittaukset osoittivat, että kaikkien AM-porttien magneettikentät ylittivät tuotestandardin viitearvon ja kaikkien RF-porttien magneettikentät alittivat viitearvon. Tämä tuloskin vastaa aiempien tutkimusten havaintoja.

Viitearvon ylityksestä ei aiheudu terveydellistä haittaa tuotesuojaportin läpi kulkeville, sillä viitearvossa on suuri turvamarginaali magneettikentän todettuihin vaikutuksiin.

Kirjallisuuskatsaus paljasti, että EM- ja AM-portit voivat todennäköisesti häiritä aktiivisia kehon lääkinällisiä laitteita mutta RF-portit eivät. Häiriintyminen voi olla mahdollista, jos porttiin jää nojaamaan pitemmäksi aikaa. Häiriintymisen todennäköisyys on pienentynyt, koska EM-portteja ei ole enää käytössä, ja AM-porttien osuus käytössä olevista porteista on pienentynyt merkittävästi.

PURANEN Lauri, MOILANEN Vesa, TOIVO Tim. Exponering av allmänheten för magnetfält från larmbågar. STUK-TR 36. Vanda 2023. 47 s.

NYCKELORD: larmbågar, magnetfält

Sammanfattning

Larmbågar eller tjuvalarmportar används i affärer, butiker, apotek, bibliotek och stormarknader för att förhindra stöld. Deras funktion är baserad på taggar fästa på de produkter som säljs. Dessa ger larm om produkterna tas genom larmbågen utan att taggen tas bort eller passiveras i kassan. Larmbågen genererar ett starkt magnetfält som kunder eller anställda som passerar genom larmbågen kortvarigt exponeras. Det finns olika typer av larmbågar i bruk och de genererar magnetfält med olika egenskaper.

Syftet med detta projekt var att ta reda på vilka typer av larmbågar som används och hur de är indelade i olika typer i huvudstadsregionen. Dessutom mättes magnetfält från några larmbågar av varje typ med metoden presenterad i den europeiska teststandard som gäller larmbågar. Mätresultaten jämfördes med referensvärdena i den europeiska produktstandard som gäller larmbågar. Störningar av pacemaker och andra aktiva medicinska implantat i magnetfältet hos larmbågar undersöktes med en litteraturöversikt.

Projektet ansågs nödvändigt eftersom typerna av larmbågar och fördelningen på olika typer inte tidigare har bestämts i Finland. Magnetfält från larmbågar har inte mätts tidigare enligt teststandard. I andra länder, för mer än tio år sedan, har larmbågarnas fördelning på olika typer undersökts och larmbågarnas magnetfält mätts enligt teststandard. Mätresultaten visade att magnetfälten på vissa larmbågstyper klart översteg produktstandardens referensvärden.

Litteraturöversikten av projektet har utarbetats från tidigare studier av larmbågar och störningar orsakade av magnetfältet hos larmbågar till aktiva medicinska implantat. Typerna av larmbågar och deras fördelning på olika typer bestämdes 2021 genom att besöka 325 butiker i huvudstadsregionens köpcentrum och mäta larmbågarnas magnetfältsspektrum. Totalt mättes magnetfält från sex AM-larmbågar fungerade med en frekvens på 58 kHz och från åtta RF-larmbågar fungerade med en frekvens på 8,2 MHz med magnetfältsmätare vars kalibrering och funktion hade kontrollerats i laboratoriet. Magnetfält från AM- och RF-larmbågen av en tillverkare mättes i importörens lokaler och magnetfält från larmbågarna av andra tillverkare mättes i butiker. Alla larmbågar var inställd på att fungera normalt.

Enligt bestämningen av larmbågstyper var endast AM- och RF-larmbågar i bruk i huvudstadsregionen. EM-larmbågarna som används tidigare i bibliotek har ersatts av RFID-enheter. Majoriteten, cirka fyra femtedelar, av larmbågarna var RF-larmbågar. Resultatet motsvarar den trend som observerats i studier gjorda i andra länder, enligt vilken andelen EM- och AM-larmbågar bland de använda larmbågarna har minskat. Magnetfältsmätningar visade att magnetfälten för alla AM-larmbågar överskred referensvärdet i produktstandard och magnetfälten för alla RF-larmbågar låg under referensvärdet. Också detta resultat motsvarar resultaten från tidigare studier. Att överskrida referensvärdet orsakar inte hälsoskador för dem som passerar larmbågen, eftersom referensvärdet har en stor säkerhetsmarginal för eventuella effekter av magnetfältet.

Litteraturoversikten avslöjade att EM- och AM-larvbågar sannolikt kan störa aktiva medicinska implantat, men RF-larvbågar gör det inte. Störning kan vara möjlig om man lutar sig mot larvbågen under en längre tid. Sannolikheten för störning har minskat eftersom EM-larvbågar inte längre används och andelen AM-larvbågar av larvbågar i bruk har tydligt minskat.

PURANEN Lauri, MOILANEN Vesa, TOIVO Tim. Public exposure to magnetic fields from Electronic Article Surveillance gates. STUK-TR 36. Vantaa 2023. 47 pp.

KEYWORDS: EAS gates, magnetic fields

Abstract

Electronic article surveillance (EAS) gates, or burglar alarm gates, are used in shops, stores, pharmacies, libraries and supermarkets to prevent theft. Their operation is based on warning stickers, or tags, attached to the products being sold. These cause an alarm if the products are taken through the gate without the tag being removed or passivated at the checkout. The gate generates a strong magnetic field to which customers or employees passing through the gate are briefly exposed. There are different types of EAS gates in use which generate magnetic fields of different characteristics.

The purpose of this project was to find out which types of EAS gates are used and how the gates are distributed into different types in the capital region. In addition, the magnetic field caused by a few gates of each type was measured using the method which is presented in the European testing standard for EAS gates. The measurement results were compared with the reference levels of the European product standard for EAS gates. Electromagnetic interference with pacemakers and other active implanted medical devices from the magnetic field of EAS gates was investigated with a literature review.

The project was deemed necessary because the types of EAS gates and the distribution into different types have not been previously determined in Finland. The magnetic fields from EAS gates have not been previously measured in accordance with the testing standard. In other countries, more than ten years ago, the distribution of the EAS gates into different types was determined and the magnetic fields of the gates were measured according to the testing standard. The measurement results showed that the magnetic fields from certain gate types clearly exceeded the reference levels of the product standard.

The literature review of the project was prepared from studies of EAS gates conducted in other countries and interferences caused by the magnetic field of EAS gates to active body medical devices. The types of EAS gates and the distribution of the gates into different types were determined in 2021 by visiting 325 stores in the shopping centres of the capital region and measuring the magnetic field spectrum of the gates. In total, magnetic fields from six AM gates operating at 58 kHz and from eight RF gates operating at 8.2 MHz were measured with magnetic field meters whose calibration and operation had been checked in the laboratory. The magnetic fields from AM and RF gates of one manufacturer were measured at the importer's premises and those from the EAS gates of other manufacturers were measured in stores. All measured EAS gates were set to operate normally.

According to the determination of gate types, only AM and RF gates were in use in the capital region. The EM gates used mostly in libraries have been replaced by RFID devices. The majority, about four-fifths of EAS gates were RF gates. The result corresponds to the trend observed in studies conducted in other countries, according to which the shares of EM and AM gates among the gates in use have decreased. Magnetic field measurements showed that the magnetic fields of all AM gates exceeded the reference level of the product

standard and the magnetic fields of all RF gates fell below the reference level. This result also corresponds to the findings of previous studies. Exceeding the reference level does not cause health harm to those passing through the EAS gate, as the reference level has a large safety margin for established effects of the magnetic field.

A literature review revealed that EM and AM gates are likely to interfere with active body medical devices, but RF are not. Interference may be possible if you lean on the gate for a long time. The probability of interference has decreased because EM gates are no longer in use and the share of AM gates has also decreased.

Sisällys

TIIVISTELMÄ	3
SAMMANFATTNING	5
ABSTRACT	7
1 JOHDANTO	11
2 TUOTESUOJAPORTTIEN TOIMINTA JA TYYPIT	12
2.1 TOIMINTAPERIAATE	12
2.2 PORTTITYYPIT	13
2.3 TUOTESUOJAPORTTIEN JAKAUTUMINEN ERI TYPPEIHIN	13
3 ALTISTUKSEN RAJOITTAMINEN TUOTE- SUOJAPORTTIEN MAGNEETTIKENTILLE	15
3.1 STM-ASETUS	15
3.2 TUOTESUOJAPORTTEJA KOSKEVAT EN-STANDARDIT	15
3.3 STM-ASETUKSEN JA NEUVOSTON SUOSITUKSEN VERTAILU	16
4 KATSAUS TUOTESUOJAPORTEILLE TEHDYISTÄ MITTAUKSISTA JA LASKENNASTA	18
4.1 SUOMESSA TEHDYT MITTAUKSET	18
4.2 RUOTSISSA TEHDYT MITTAUKSET	18
4.3 BELGIASSA TEHDYT MITTAUKSET	18
4.4 YHDYSVALLOISSA TEHDYT MITTAUKSET	19
4.5 ITÄVALLASSA TEHDYT MITTAUKSET JA LASKENNAT	19
4.6 YHTEENVETO AIEMMISTÄ MITTAUKSISTA JA LASKELMISTA	22
5 TUOTESUOJAPORTTIEN MITTAUKSET	23

5.1	MITTAUSLAITTEISTO JA -MENETELMÄ	23
5.2	AM-PORTIT	24
5.2.1	AM-PORTTI 1	25
5.2.2	AM-PORTTI 2	26
5.2.3	AM-PORTTI 3	27
5.2.4	AM-PORTTI 4	28
5.2.5	AM-PORTTI 5	29
5.2.6	AM-PORTTI 6	30
5.2.7	YHTEENVETO AM-PORTEISTA	31
5.3	RF-PORTIT	32
5.3.1	RF-PORTTI 1	33
5.3.2	RF-PORTTI 2	34
5.3.3	RF-PORTTI 3	35
5.3.4	RF-PORTTI 4	36
5.3.5	RF-PORTTI 5	37
5.3.6	RF-PORTTI 6	38
5.3.7	RF-PORTTI 7	39
5.3.8	RF-PORTTI 8	40
5.3.9	YHTEENVETO RF-PORTEISTA	41
6	KEHON AKTIIVISTEN LÄÄKINNÄLLISTEN LAITTEIDEN HÄIRIINTYMINEN	42
7	YHTEENVETO	44
	VIITELUETTELO	45

1 Johdanto

Tuotesuoja- eli varashälytinportteja käytetään kaupoissa ja kirjastoissa estämään myytävien tai lainattavien tavaroiden varastamista. Nämä portit tuottavat magneettikenttiä, joille niiden läpi kulkevat henkilöt altistuvat, yleensä hyvin lyhytaikaisesti. Kentät ovat suurimmillaan lähetinkelan läheisyydessä ja vaimenevat hyvin nopeasti kauemmaksi mentäessä (jo 30 cm:n matkalla), joten ulkopuoliset eivät merkittävästi altistu.

Säteilylainsäädännön uudistuttua vuonna 2018 tuli voimaan uusi sosiaali- ja terveysministeriön asetus (1045/2018) (myöhemmin STM-asetus) ionisoimattoman säteilyn altistusrajoista (STM 2018). Siinä annetaan myös pientaajuisille sähkö- ja magneettikentille velvoittavat altistusrajat, kun edellisessä asetuksessa niille oli vain suositusarvot. Pientaajuisilla kentillä vaikutukset ilmenevät välittömästi, joten uudet altistusrajat koskevat erityisesti pientaajuisia magneettikenttiä tuottavia portteja.

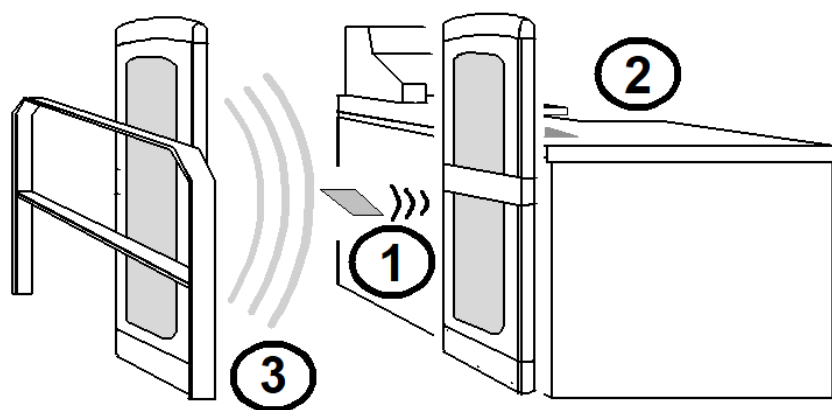
Tässä raportissa selostetaan tuotesuojaporttien toiminta, porttityypit ja niiden jakautuminen eri porttityyppeihin luvussa 2. Luvussa 3 esitetään, mitkä ovat STM-asetuksen ja eurooppalaisten EN-standardien mukaiset altistusrajat tuotesuojaporttien magneettikentille. Luvussa 5 luodaan katsaus muissa maissa aiemmin tehtyihin mittauksiin ja niiden tuloksiin. Mittauslaitteisto, -menetelmä ja mittaustulokset sekä niiden vertailu altistusrajoihin esitetään luvussa 6. Lopuksi luodaan katsaus tutkimuksiin kehon sisäisten aktiivisten lääkinnällisten laitteiden häiriintymisestä tuotesuojaporttien magneettikentässä luvussa 7. Yhteenveto esitetään luvussa 8.

2 Tuotesuojaporttien toiminta ja tyypit

2.1 Toimintaperiaate

Tuotesuojaportin toimintaperiaate ilmenee kuvasta 1. Kaupassa myytävään tuotteeseen on kiinnitetty tägi eli hälytintarra, muovinen lukko tai viivakoodillinen radiosignaalilla varustettu hälytin. Kun tuote viedään portin läpi ilman, että tägi on poistettu tai passivoitu deaktivaattoria käyttäen kassalla, portti hälyttää. Tägi reagoi lähetinkelan signaaliin, ja tägin lähettämä signaali aiheuttaa portin vastaanotinkelassa hälytyksen. Järjestelmästä saadaan välitön tieto, jos joku poistuu myymälästä maksamattoman tuotteen kanssa. Tieto voidaan tarvittaessa välittää henkilökunnalle hälytinvälä, matkapuhelin- tai henkilöhakulaitteen välityksellä kenenkään ulkopuolisen tietämättä. Hälytyksen yhteyteen voidaan synkronisoida myös kamerakuvaus tilanteesta.

Tuotesuojaportit asennetaan myymälöiden oviaukkoihin valvomaan, että myymälässä olevat tuotteet kulkevat kassan kautta. Tavallisin ratkaisu on liikkeiden sisään tulossa oleva hälytinporttirivi. Tuotesuojaportti voi myös olla täysin huomaamaton oven karmiin piilotettu ovihälytin, tai yhdistelmäportti, joka tunnistaa foliokassit ja magneettiset irrottimet. Porttien sijasta voidaan käyttää monoantenneja, jotka hälyttävät molempiin suuntiin, jolloin tarvitaan vain yksi antenni kahden sijasta.



Kuva 1. Tuotesuojaportin toimintaperiaate. 1) Tägi, 2) Deaktivaattori, 3) Lähetinkela.

Tuotesuojaportit ovat huomaamattomia, ja ne voidaan myös peittää tuotemainoksilla tai somisteilla liikkeen tuotteiden tai imagon mukaan. Ne soveltuvat erinomaisesti tekstiili-, elektroniikka-, kemikaali-, alkoholi-, huoltoasema-, ym. vastaaviin myymälöihin ja supermarketeihin. Rautakaupat ja kirjastot ovat myös kohteita, joissa tuotevalvonta on todettu välttämättömäksi hävikin vähentämiseksi.

2.2 Porttityypit

Käytössä on ollut neljä eri tuotesuojaporttityyppiä, joissa on erilaiset taajuudet, tägit ja toiminnot (Harris ym. 2000): sähkömagneettiset (EM), akustomagneettiset (AM), radiotaajuiset (RF) ja mikroaalto(MW)tuotesuojaportit.

Sähkömagneettiset (EM) tuotesuojaportit lähettävät jatkuvaa sinimuotoista signaalia audiotaajuuksilla 20 Hz–20 kHz. Täginä on magneettinauha tai -johto. Portin sisällä aktiivisen tägin magneettinen liuska saturoituu epälineaarista magnetisoinnista. Saturoinnin seurauksena tägi lähettää signaalin, joka sisältää perustaajuuden harmonisia. Vastaanotinkela hälyttää havaitessaan nämä harmoniset. Tägi deaktivoidaan voimakkaalla magneettikentällä. EM-tuotesuojaportteja on käytetty kirjastoissa ja kirja- sekä musiikkikaupoissa. EM-tuotesuojaportin toiminta-alue on verraten pieni edellyttäen kapeaa porttia, mikä on mahdollista mm. kirjastoissa. Tämän tekniikan etuna on halvat ja joustavat tägit, jotka on helppo kiinnittää kirjoihin ja äänilevyjen pakkauksiin. EM-tuotesuojaportit ovat vanhaa tekniikkaa, joka on kirjastoissa korvattu radiotaajuisella RFID-tekniikalla.

Akustomagneettiset (AM) tuotesuojaportit lähettävät pulsseina sinimuotoista signaalia, jonka taajuus on 20–135 kHz. Tägissä on magnetostrktiivistä materiaalia, joka mekaanisesti resonoi portin lähetystaajuudella. Tägi jää 'soimaan' ääniraudan tavoin. Vastaanotinkela kuuntelee tägin signaalia lähetyspulslien välillä ja hälyttää, jos havaitsee signaalin. Tägi deaktivoidaan kohdistamalla siihen voimakas staattinen magneettikenttä, minkä jälkeen tägi ei enää resonoi. AM-tuotesuojaportteja käytetään tavarataloissa, sairaaloissa, elektroniikka-, musiikki- ja rautakaupoissa.

Radiotaajuiset (RF) tuotesuojaportit lähettävät pulssi- tai taajuusmodulointua sinimuotoista signaalia vajaan megahertsin levyisellä kaistalla. Taajuuskaistan keskitaajuus on tyypillisesti 8,2 MHz. Taajuusmoduloidun signaalin pyyhkäisytaajuus on 300 Hz. Täginä on kelasta ja kondensaattorista koostuva piiri, joka resonoi portin taajuusalueella. Piiri aiheuttaa magneettikenttään muutoksen, jonka portti huomaa aiheuttaen hälytyksen. Nämä RF-tägit on poistettava, tai niiden piiri on tuhottava kassalla, jotta ne eivät aiheuta hälytystä portin läpi kuljettaessa. RF-tuotesuojaportteja käytetään vaatekaupoissa, kirjastoissa, apteekeissa ja postitoimistoissa.

Mikroaalto(MW)tuotesuojaportit lähettävät sinimuotoista signaalia taajuuksilla 902–928 MHz tai 2400–2500 MHz. Täginä on aktiivinen piiri, joka käyttää mikroallosignaalin energiaa lähettääkseen edelleen vastaussignaalin. Tämä vastaussignaali, joka on yleensä mikroallosignaalin monikerta, aiheuttaa hälytyksen. Mikroallostägin deaktivointi edellyttää sen poistamista tuotteesta. Muihin tägeihin verrattuna mikroallostägi on kallis, ja siksi MW-portteja onkin käytetty vain kalliiden tuotteiden suojaamiseen. Lisäksi 900 MHz:n taajuusalue on otettu matkapuhelinverkkojen käyttöön ja taajuusalueella 2400–2500 MHz on runsaasti muuta käyttöä. Tällä vuosituhanella julkaistuissa tuotesuojaportteja käsittelevissä raporteissa ei mainita MW-portteja, joten niitä ei todennäköisesti ole enää käytössä eikä niitä käsitellä tässä raportissa. Tuotesuojaus voidaan toteuttaa taajuudella 13,56 MHz tai taajuusalueella 865–868 MHz toimivalla RFID-tekniikalla, jonka säteilyturvallisuutta on tarkasteltu teknisessä raportissa STUK-TR-20 (Puranen ja Moilanen 2016).

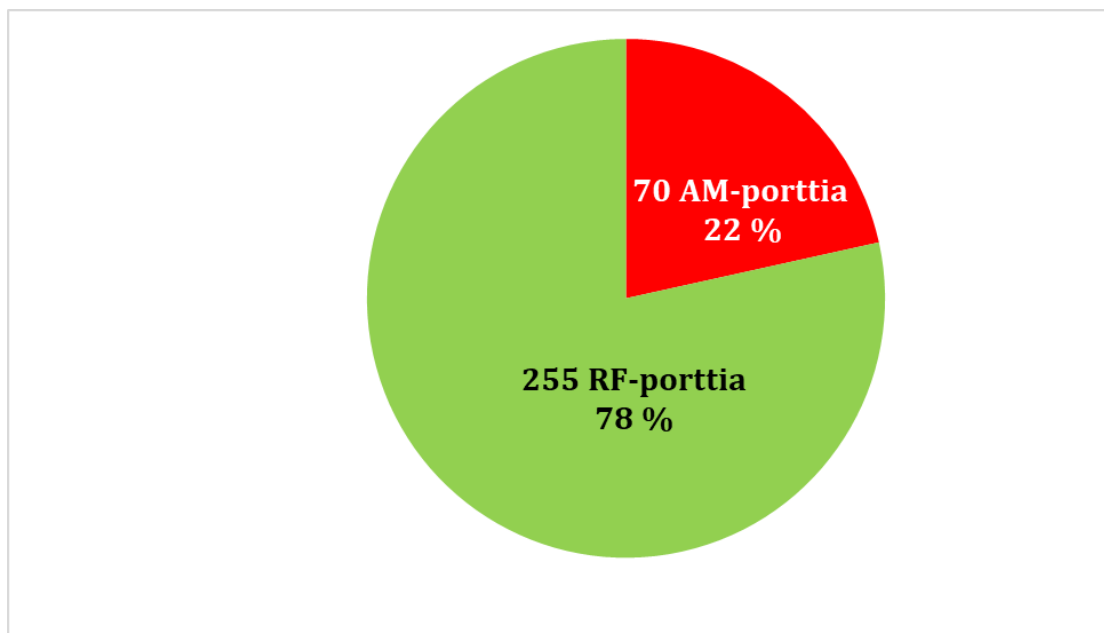
2.3 Tuotesuojaporttien jakautuminen eri tyypeihin

Estenberg ym. (2006) tutkivat tuotesuojaporttien jakautumista eri tyypeihin Ruotsissa Tukholman ja Göteborgin kauppakeskuksissa vuonna 2006. Tukholmassa he kävivät 160 liikkeessä ja Göteborgissa 90 liikkeessä. Tukholmassa tuotesuojaportteista oli EM-portteja

4 %, AM-portteja 43 % ja RF-portteja 53 %. Göteborgissa vastaavat luvut olivat 4 %, 45 % ja 51 %. Yhtään MW-porttia ei ollut käytössä.

Ruotsin säteilyturvallisuusviraston (SSM) vuonna 2020 tekemän selvityksen mukaan eniten oli käytössä AM- ja RF-portteja (Gunnarsdóttir 2020). Tukholmassa EM-portit ovat poistuneet käytöstä lähes kokonaan, eikä MW-portteja ole ollut käytössä. Samanlainen suuntaus näyttäisi olevan muissakin maissa.

Tuotesuojaporttien jakautumista eri tyypeihin selvitettiin tässä projektissa vuonna 2021 pääkaupunkiseudun kauppakeskuksissa. Helsingissä, Espoossa ja Vantaalla käytiin 325 liikkeessä. Porttien jakaumaa eri tyypeihin esittää kuva 2. Siitä havaitaan, että EM-portteja ei ollut yhtään ja RF-portteja oli huomattavasti enemmän kuin AM-portteja, lähes neljä viidesosaa porteista. AM-porttien toimintataajuus oli 58 kHz ja RF-porttien keskitajuus 8,2 MHz. Maahantuojilta saatujen tietojen mukaan viime vuosina myydyt portit jakautuvat samassa suhteessa AM- ja RF-portteihin.



Kuva 2. Pääkaupunkiseudun kauppakeskusten tuotesuojaporttien jakautuminen eri tyypeihin vuonna 2021.

3 Altistuksen rajoittaminen tuote-suojaporttien magneettikentille

3.1 STM-asetus

Suomessa noudatetaan STM-asetuksen (1045/2018) altistusrajoja, jotka on annettu altistuksen raja-arvoina ja toimenpidetasoina. Altistuksen raja-arvot määritetään kehoon indusoitavana sähkökentän voimakkuutena taajuuksilla 1 Hz–10 MHz ja ominaisabsorptionopeutena taajuuksilla 100 kHz–6 GHz. Toimenpidetasot määritetään vapaasta tilasta mitattavina sähkö- ja magneettikentän voimakkuuksina tai magneettivuon tiheyksinä sekä tehotiheyksinä. Raja-arvot ja toimenpidetasot perustuvat ICNIRPin vuonna 2010 julkaisemiin ohjearvoihin (ICNIRP 2010) pientaajuisten kenttien osalta ja vuonna 1998 julkaisemiin ohjearvoihin (ICNIRP 1998) radiotaajuisten kenttien osalta.

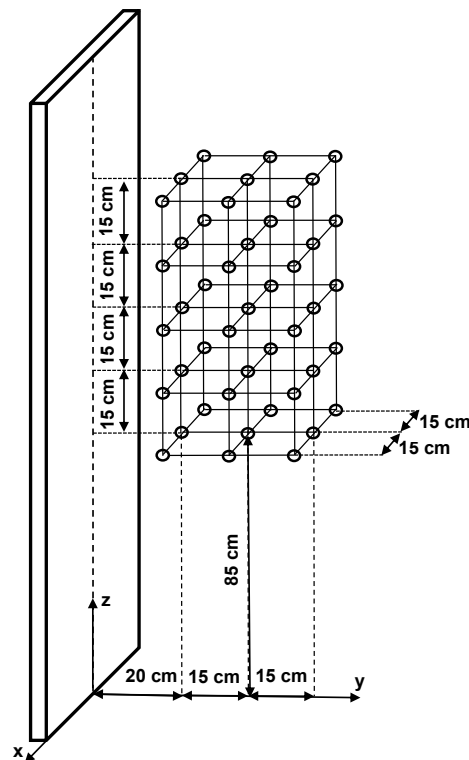
3.2 Tuotesuojaportteja koskevat EN-standardit

Markkinoilla oleviin tuotesuojaportteihin sovelletaan tuotestandardia EN 50364:2018 (EN 50364, 2018)). Siinä annetaan vaatimukset tuotesuojaporttien aiheuttamille magneettikentille. Väestön käyttöön tarkoitettuihin portteihin sovelletaan EU:n neuvoston suosituksessa (1999/519/EY) (myöhemmin Neuvoston suositus) annettuja altistumisen perusrajoituksia ja viitearvoja (EY 1999). Neuvoston suositus perustuu kokonaan ICNIRP1998-ohjearvoihin. Perusrajoitukset ovat kehon sisäisiä suureita: virrantiheys taajuuksilla 1 Hz–10 MHz ja ominaisabsorptionopeus taajuuksilla 100 kHz–10 GHz. Näistä on johdettu viitearvot ulkoisina mitattavina sähkö- ja magneettikentän voimakkuuksina tai magneettivuon tiheyksinä. Vain työntekijöiden käyttöön työssä tarkoitettuihin portteihin sovelletaan EU:n direktiivissä (2013/35/EU) annettuja altistumisen raja-arvoja ja toimenpidetasoja (EU 2013).

Tuotesuojaportit täyttävät standardin EN 50364 vaatimukset, jos lasketut kehoon aiheutuvat sisäiset virrantiheydet tai ominaisabsorptionopeudet ja mitatut magneettivuon tiheydet ovat Neuvoston suosituksen perusrajoituksia ja viitearvoja pienemmät. Vaatimustenmukaisuus voidaan osoittaa joko vertailulla altistumisen perusrajoitukseen (kehon sisäinen virrantiheys tai ominaisabsorptionopeus) tai viitearvoihin (ulkoinen sähkö- ja magneettikentän voimakkuus tai magneettivuon tiheys). Mittaukset ja laskenta tehdään standardin EN 62369-1:2009 (EN 62369-1, 2009) mukaisesti. Mittaus- tai laskentaetäisyyden tulee olla pienin etäisyys, jolla kohtuudella ennakoitavissa olevassa käytössä voi altistua. Käytetty etäisyys on perusteltava arviointiraportissa.

Standardissa EN 62369-1:2009 kuvataan mittaus- ja laskentamenetelmät, joita tarvitaan arvioitaessa tuotesuojaporttien aiheuttamaa altistusta magneettikentille. Altistus määritetään kolmivaiheisesti: Vaiheessa 1 yksinkertaisen mittauksen tulosta verrataan viitearvoon. Jos mittaustulos on pienempi kuin viitearvo, laite täyttää standardin vaatimukset. Muutoin siirrytään vaiheeseen 2. Vaiheessa 2 tehdään monimutkaisempi sarja mittauksia tai laskentaa, määritetään mittaus- ja laskentatulosten keskiarvo, jota verrataan viitearvoon. Jos keskiarvo on pienempi kuin viitearvo, laite täyttää standardin vaatimukset. Muutoin siirrytään vaiheeseen 3, jossa ihmiskehon anatomisilla numeerisilla malleilla tehdyn laskennan tuloksia verrataan altistumisen perusrajoitukseen. Jos laskennan tulokset ovat perusrajoitusta pienempiä, laite täyttää standardin vaatimukset.

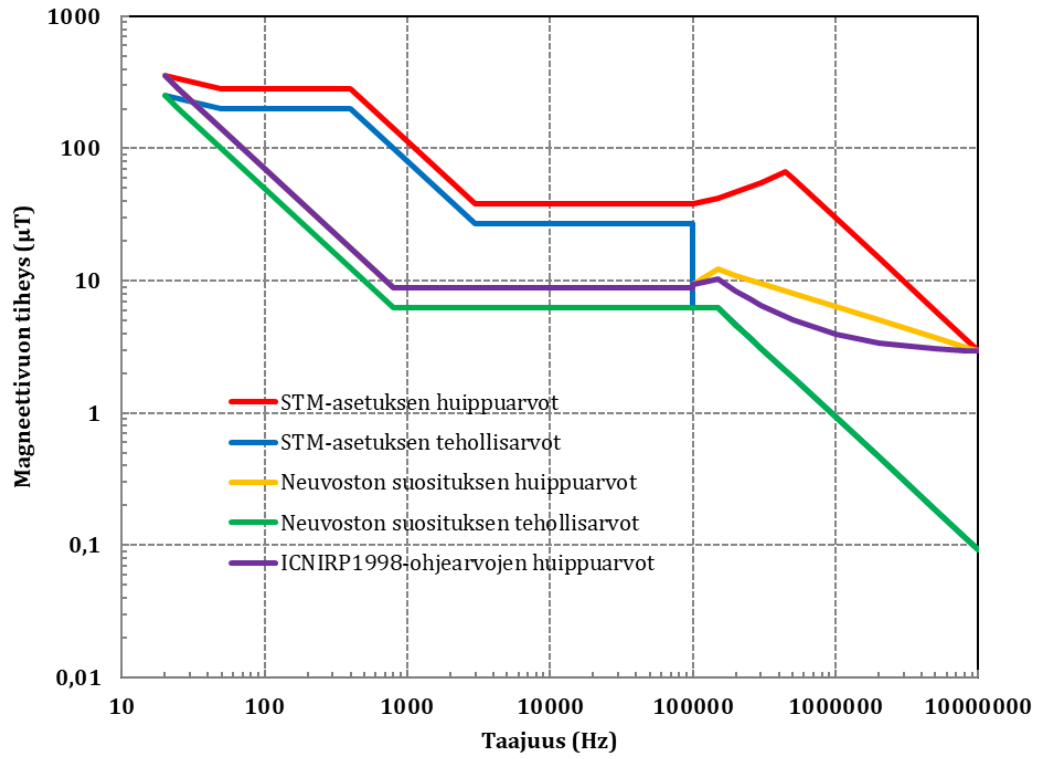
Vaiheessa 1 magneettivuon tiheydet mitataan 20 cm:n etäisyydellä portista. Vaiheessa 2 magneettivuon tiheydet mitataan 45 pisteessä, jotka esitetään kuvassa 3. Mittauspisteet koostuvat kolmesta portin tason suuntaisesta 15 pisteen tasosta. Tasot ovat 20, 35 ja 50 cm:n etäisyydellä portin pinnasta. Kussakin tasossa on kolme viiden pisteen pystyriiviä 15 cm:n välein keskimmäisen pystyriivin ollessa vaakasuunnassa portin keskellä. Kunkin vaakarivin pisteiden väli on 15 cm. Alin vaakarivi on 85 cm:n korkeudella lattiasta.



Kuva 3. Standardin EN 62369-1:2009 mukaiset magneettikentän mittauspisteiden paikat tuotesuojaportin läheisyydessä.

3.3 STM-asetuksen ja Neuvoston suosituksen vertailu

Kuvassa 4 esitetään käyrinä STM-asetuksen toimenpidetasot ja Neuvoston suosituksen viitearvot magneettivuon tiheyden tehollis- ja huippuarvoina EM-, AM- ja RF-tuotesuojaporttien toimintataajuuksilla 20 Hz–10 MHz. Lisäksi siinä on ICNIRP1998-ohjearvojen mukaiset viitearvot magneettivuon tiheyden huippuarvoina. Kuvasta 4 havaitaan, että 58 kHz:n taajuudella toimiville AM-porteille Neuvoston suositus rajoittaa altistusta enemmän kuin STM-asetus. Sitä vastoin 8,2 MHz:n taajuudella toimiville RF-porteille asetukset ja suositus rajoittavat altistusta yhtä paljon tehollisarvon osalta, mutta huippuarvon osalta suositus rajoittaa altistusta enemmän kuin asetukset. Siten Neuvoston suositukseen viittaavan tuotestandardin EN 50364 vaatimukset täyttävän tuotesuojaportin magneettikenttä ei ylitä STM-asetuksen toimenpidetasoja, kun portin läpi kuljetaan normaalisti. Asetuksen toimenpidetasot ja jopa altistuksen raja-arvot voivat ylittyä, jos porttiin jää nojaamaan pitemmäksi aikaa.



Kuva 4. STM-asetuksen, Neuvoston suosituksen ja ICNIRP1998-ohjearvojen vertailu.

4 Katsaus tuotesuojaportteille tehdyistä mittauksista ja laskennasta

Tuotesuojaportteille on tehty lukuisia magneettikentän mittauksia mm. Suomessa, Ruotsissa, Belgiassa, Yhdysvalloissa ja Itävallassa. Suomessa tehdyissä mittauksissa tulokset on esitetty magneettivuon tiheytenä ja muualla tehdyissä mittauksissa magneettikentän voimakkuutena, joka on tässä katsauksessa muunnettu kaavalla (1) magneettivuon tiheydeksi vertailun helpottamiseksi.

4.1 Suomessa tehdyt mittaukset

Roivainen ym. (2014) selvittivät tuotesuojaporttien läheisyydessä tekemillään magneettikentän mittauksilla kassanhoitajan altistumista magneettikentälle. He tekivät mittauksia kassanhoitajan paikalla ja tuotesuojaporttien välissä kaupoissa, supermarketeissa, kirjastoissa, tietokonemyymälässä, elektroniikkakaupassa ja postitoimistossa Helsingissä ja Kuopiossa. Sähkömagneettiset (EM) tuotesuojaportit toimivat taajuusalueella 5–7,5 kHz ja akustomagneettiset (AM) tuotesuojaportit taajuudella 58 kHz.

Kassanhoitajan paikalla magneettivuon tiheydet olivat pieniä, EM-porteilla 0,2–1,5 μT ja AM-porteilla 0,1–4,5 μT . Suurimmat porttien välistä mitatut magneettivuon tiheydet olivat 20–46 μT EM-porteilla ja 18–20 μT AM-porteilla. Suurimmat 20 cm:n etäisyydellä portista mitatut magneettivuon tiheydet olivat 29–58 μT EM-porteilla ja 52–189 μT AM-porteilla. EM-porttien magneettikentät olivat siten Neuvoston suosituksen viitearvoa (6,25 μT) pienempiä. Sitä vastoin AM-porttien magneettikentät olivat viitearvoa suurempia. Kassanhoitajan paikalla magneettikentät olivat selvästi viitearvoa pienempiä.

4.2 Ruotsissa tehdyt mittaukset

Ruotsissa Trulsson ym. (2006) mittasivat magneettikentät viidestä EM-portista, kolmesta AM-portista ja neljästä RF-portista. He mittasivat aiemman standardin EN 50357 mukaisesti 45 mittauspisteestä, jotka olivat samat kuin nykyisessä standardissa EN 62369-1:2009. EM-porttien taajuudet olivat 10 Hz, 220 Hz, 5 kHz, 6,25 kHz ja 7,5 kHz. AM-porttien taajuus oli 58 kHz ja RF-porttien keskitaajuudet olivat välillä 7,4–8,7 MHz.

Suurimmat EM-porteista mitatut magneettivuon tiheydet olivat 38–635 μT ja 45 pisteen keskiarvot 25–286 μT . Keskiarvot olivat suurempia kuin Neuvoston suosituksen viitearvot kaikilla EM-porteilla. AM-porteista mitatut suurimmat pulssinaikaiset magneettivuon tiheyden tehollisarvot olivat 28–44 μT ja 45 pisteen keskiarvot 5,8–21 μT . Keskiarvo oli viitearvoa 6,25 μT suurempi kahdella AM-portilla. RF-porteista mitatut suurimmat magneettivuon tiheydet olivat 0,06–0,98 μT ja 45 pisteen keskiarvot 0,03–0,04 μT . Kaikilla RF-porteilla keskiarvot olivat viitearvoja pienempiä.

4.3 Belgiassa tehdyt mittaukset

Belgiassa Joseph ym. (2011) mittasivat kahden EM-portin, kahden AM-portin ja kahden RF-portin magneettikentät kirjastossa, kirjakaupassa, huonekalu- ja musiikkiliikkeessä,

supermarketissa ja sekatavarakaupassa. EM-porttien taajuudet olivat 230 Hz, 485 Hz ja 485 Hz. AM-porttien taajuus oli 58 kHz ja RF-porttien keskitajuudet 5,5–9 MHz ja 7,1–9,1 MHz. Magneettikentät mitattiin standardin EN 62369-1:2009 mukaisesti mutta vain 17 pisteestä, joista 15 pistettä oli 20 cm:n etäisyydellä portista. Siten keskiarvot olivat suurempia kuin 45 mittauspisteen keskiarvot.

EM-porttien magneettivuon tiheyden tehollisarvojen keskiarvot olivat 160 μT (230 Hz) ja 115 μT (485 Hz) sekä suurimmat tehollisarvot 186 μT ja 136 μT . Neuvoston suosituksen viitearvot ylittyivät molemmilla porteilla.

AM-porttien magneettivuon tiheyden tehollisarvojen keskiarvot olivat 32 μT ja 29 μT sekä suurimmat tehollisarvot 53 μT ja 38 μT . Neuvoston suosituksen viitearvo 6,25 μT ylittyi molemmilla AM-porteilla.

RF-porttien magneettivuon tiheyden tehollisarvojen keskiarvot olivat 708 pT (8,2 MHz) ja 0,14 nT (9,1 MHz) sekä suurimmat tehollisarvot 890 pT ja 0,18 μT . Neuvoston suosituksen viitearvo 0,11 μT ei ylittynyt toisella portilla, mutta toisella portilla viitearvo 0,10 μT ylittyi magneettikentän maksimipisteessä. Keskiarvo oli viitearvoa pienempi.

4.4 Yhdysvalloissa tehdyt mittaukset

Yhdysvalloissa Harris ym. (2000) mittasivat tuotesuojaporttien magneettikenttiä. Mittaukset tehtiin säteittäisesti kahdeksaan eri suuntaan lähetinportin keskipisteestä 1,0 m:n ja 1,3 m:n korkeudella lattiasta. Suurimmat metrin korkeudella ja 20 cm:n etäisyydellä portin keskipisteestä mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot olivat seuraavat:

- EM-porteilla 740 μT (218 Hz), 470 μT (218 Hz), 230 μT (366 Hz) ja 380 μT (530 Hz)
- AM-porteilla 31 μT (58 kHz), 1,9 μT (131 kHz) ja 1,0 μT (131 kHz)
- RF-porteilla 0,13 μT , 0,26 μT , 0,13 μT , 2,3 μT ja 5,2 μT (8,8,-10,2 MHz).

EM-porteilla Neuvoston suosituksen viitearvot 200 μT (218 Hz ja 366 Hz) ja 150 μT (530 Hz) ylittyivät. AM-porteilla viitearvo 6,25 μT ylittyi taajuudella 58 kHz, mutta taajuudella 131 kHz viitearvo 6,25 μT ei ylittynyt. Kaikilla RF-porteilla viitearvo 0,097 μT ylittyi.

4.5 Itävallassa tehdyt mittaukset ja laskennat

Itävallassa Schmid ym. (2014) mittasivat kymmenen tuotesuojaportin aiheuttamia magneettikenttiä standardin EN 62369-1:2009 mukaisesti. Mukana oli yksi EM-portti, kaksi AM-porttia ja seitsemän RF-porttia.

Schmid ym. määrittivät lisäksi ihmiskehon numeerisilla malleilla ja FDTD-menetelmällä tehdyllä tietokonelaskennalla yhden EM-portin, kahden AM- ja RF-portin magneettikenttien aiheuttaman kehon sisäisen sähkökentän voimakkuuden ja virrantiheyden sekä ominaisabsorptionopeuden (SAR). Aikuisen numeerinen malli (Duke) oli 34-vuotias mies, jonka pituus oli 177 cm ja paino 70,2 kg. Lapsen numeerinen malli (Roberta) oli 5-vuotias tyttö, jonka pituus oli 110 cm ja paino 17,6 kg. Mallit seisoivat portin vieressä joko kylki tai selkä porttiin päin. Kylkiasennossa kainalon etäisyys portista oli 20 cm ja selkäasennossa selän lähimmän pisteen etäisyys portista oli aikuisella 10 cm ja lapsella 3,5 cm.

Lähdemallit validoitiin vertaamalla malleilla laskettuja tuloksia mittaustuloksiin. Laskenta- ja mittaustulosten välinen ero oli vähemmän kuin 20 %. Laskennan suurin epävarmuus ($k=1$) oli $\pm 30 - \pm 35$ %. Mittaus- ja laskentatuloksia verrattiin ICNIRPin vuonna 1998 ja 2010

julkaisemiin ohjearvoihin (ICNIRP1998), (ICNIRP2010). ICNIRP1998-ohjearvot ovat huippuarvoja lukuun ottamatta samat kuin Neuvoston suosituksen perusrajoitukset ja viitearvot.

EM-portissa oli kaksi lähetinkelaa, joista toinen synnytti jatkuvaa sinimuotoista magneettikenttää taajuuksilla 16 Hz ja 5 kHz sekä toinen jatkuvaa sinimuotoista magneettikenttää taajuuksilla 16 Hz ja 7,5 kHz. Mitattujen magneettivuon tiheyden tehollisarvojen keskiarvo oli 53,7 μT taajuudella 16 Hz ja 26,6 μT taajuudella 5 kHz. Suurin 20 cm:n etäisyydellä mitattu tehollisarvo oli 85 μT taajuudella 16 Hz ja 47,8 μT taajuudella 5 kHz. Taajuudella 16 Hz ICNIRP1998-ohjearvojen viitearvo 312,5 μT ei ylittynyt, mutta taajuudella 5 kHz viitearvo 6,25 μT ylittyi. Keskiarvo ei ylittänyt ICNIRP2010-ohjearvojen viitearvoa 27 μT , mutta 20 cm:n etäisyydellä mitattu maksimiarvo ylitti.

EM-portti ei laskentatulosten perusteella aiheuttanut aikuisen tai lapsen keskushermostoon ICNIRP2010-ohjearvojen perusrajoituksen ylittävää sähkökenttää, mutta aiheutti ääreishermostoon rajoituksen ylittävän sähkökentän. Keskushermostoon indusoituva virrantiheys ylitti ICNIRP1998-ohjearvojen perusrajoituksen lapsella mutta ei aikuisella.

AM-portit tuottivat pulssimaista magneettikenttää taajuudella 58 kHz. AM-portti 1 lähetti noin 1,5 ms pituisen pulssin noin 27 ms välein. Suurin 20 cm:n etäisyydellä mitattu magneettivuon tiheyden huippuarvo oli 131 μT ja tehollisarvo 21,8 μT . Huippuarvojen keskiarvo oli 56,7 μT ja tehollisarvojen keskiarvo oli 9,5 μT . Huippuarvot ja niiden keskiarvo ylittivät sekä ICNIRP1998-ohjearvojen viitearvon 8,84 μT että ICNIRP2010-ohjearvojen viitearvon 38,2 μT . Tehollisarvot ja niiden keskiarvo ylittivät ICNIRP1998-ohjearvojen viitearvon 6,25 μT , mutta eivät ICNIRP2010-ohjearvojen viitearvoa 27 μT .

AM-portti 2 lähetti noin 1,5 ms pituisen pulssin noin 13,5 ms välein. Suurin 20 cm:n etäisyydellä mitattu magneettivuon tiheyden huippuarvo oli 148 μT ja tehollisarvo 24,9 μT . Huippuarvojen keskiarvo oli 75,3 μT , ja tehollisarvojen keskiarvo oli 12,7 μT . Huippuarvot ja niiden keskiarvo ylittivät sekä ICNIRP1998- että ICNIRP2010-ohjearvojen viitearvot. Tehollisarvot ja niiden keskiarvo ylittivät ICNIRP1998-ohjearvojen viitearvon 6,25 μT , mutta eivät ICNIRP2010-ohjearvojen viitearvoa 27 μT .

AM-portin 2 magneettikentän keskushermostoon indusoima sähkökenttä ylitti ICNIRP2010-ohjearvojen perusrajoituksen, kun pään etäisyys portista oli vähemmän kuin 10 cm. Ääreishermostossa rajoitus ylittyi kookkaalla henkilöllä, kun etäisyys portista oli vähemmän kuin 20 cm. Keskushermostoon indusoituva virrantiheys ylitti ICNIRP1998-ohjearvojen perusrajoituksen lapsella ja aikuisella.

RF-porttien keskitaajuuDET olivat välillä 8,0–8,3 MHz, ja portit synnyttivät pulssimaisia magneettikenttiä. Taulukossa 1 esitetään suurimmat 20 cm:n etäisyydellä mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot, tehollisarvojen keskiarvo sekä ICNIRP1998-ohjearvojen mukaiset viitearvot. Lämpövaikutukseen perustuva viitearvo 0,112 μT on paljon pienempi kuin stimulaatioon perustuva ICNIRP1998-ohjearvojen mukainen viitearvo 6,3 μT tai ICNIRP2010-ohjearvojen mukainen viitearvo 27 μT , joten lämpövaikutus rajoittaa altistusta enemmän kuin stimulaatio. Taulukosta 1 havaitaan, että porttien 2, 4, 5 ja 6 keskiarvot ovat suurempia kuin viitearvot. Portti 4 ylitti paikallisesti viitearvon ja portin 1 paikallinen maksimi oli sama kuin viitearvo. Porteilla 3 ja 7 paikalliset maksimitkin olivat alle viitearvon.

Taulukko 1. RF-porteista mitattujen magneettivuon tiheyden tehollisarvojen vertailu ICNIRP1998-ohjearvojen mukaisiin viitearvoihin.

	Portti 1	Portti 2	Portti 3	Portti 4	Portti 5	Portti 6	Portti 7
Taajuus (MHz)	8,2	8,2	8,2	8,2	8,3	8,0	8,2
ICNIRP1998* (μT)	0,112	0,112	0,112	0,112	0,111	0,115	0,112
Maksimi 20 cm:n etäisyydellä (μT)	0,112	0,30	0,012	0,19	0,25	0,36	0,08
Keskiarvo (μT)	0,054	0,14	0,0464	0,07	0,111	0,14	0,038

* Neuvoston suosituksen viitearvot ovat samat kuin ICNIRP1998-ohjearvojen mukaiset viitearvot.

Taulukossa 2 esitetään vastaavat huippuarvot. Siitä havaitaan, että huippuarvojen maksimitkin 20 cm:n etäisyydellä portista ovat pienempiä kuin Neuvoston suosituksen ja ICNIRP1998 -ohjearvojen mukaiset viitearvot. Huippuarvon viitearvot poikkeavat hieman toisistaan, mikä johtuu Neuvoston suosituksen ja ICNIRP1998-ohjearvojen erilaisesta laskentatavasta.

Taulukko 2. RF-porteista mitattujen magneettivuon tiheyden huippuarvojen keskiarvojen vertailu ICNIRP1998-ohjearvojen mukaisiin viitearvoihin.

	Portti 1	Portti 2	Portti 3	Portti 4	Portti 5	Portti 6	Portti 7
Taajuus (MHz)	8,2	8,2	8,2	8,2	8,3	8,0	8,2
Neuvoston suositus (μT)	3,15	3,15	3,15	3,15	3,14	3,18	3,15
ICNIRP1998* (μT)	2,97	2,97	2,97	2,97	2,97	2,97	2,97
Maksimi 20 cm:n etäisyydellä (μT)	1,12	1,36	0,89	0,30	0,38	0,58	0,73
Keskiarvo (μT)	0,54	0,63	0,43	0,11	0,16	0,23	0,34

* Neuvoston suosituksen viitearvot poikkeavat hieman ICNIRP1998-ohjearvojen mukaisista viitearvoista (ks. kuva 4).

RF-portilla 2 eivät ylittyneet keskus- ja ääreishermostossa ICNIRP2010-ohjearvojen eivätkä ICNIRP1998-ohjearvojen perusrajoitukset aikuisella eikä lapsella. Koko kehon SAR:n rajoitus ei ylittynyt, mutta paikallinen 10 gramman SAR:n rajoitus ylittyi selkäasennossa mutta ei kylkiasennossa.

RF-portilla 5 eivät ylittyneet keskus- ja ääreishermostossa ICNIRP2010-ohjearvojen eivätkä ICNIRP1998-ohjearvojen perusrajoitukset aikuisella eikä lapsella. Koko kehon SAR:n ja paikallisen 10 gramman SAR:n rajoitukset eivät ylittyneet kummassakaan asennossa.

RF-porttien aiheuttamaa altistusta rajoitetaan lämpövaikutuksen perusteella, joten altistus määritetään keskiarvona kuuden minuutin ajanjaksoilta. Siten eniten altistavalla RF-portilla

altistus ylittää viitearvon vain silloin, kun portin lähellä oleskellaan enemmän kuin 176 s eli noin kolme minuuttia kuuden minuutin aikana.

4.6 Yhteenveto aiemmista mittauksista ja laskelmista

Aiempien mittausten tulosten perusteella voidaan päätellä, että EM- ja AM-porttien magneettikentät olivat yleisesti suurempia kuin Neuvoston suosituksen viitearvot. RF-porttien magneettikentät olivat enimmäkseen viitearvoja pienemmät. Koska RF-porteilla altistus määritetään keskiarvona kuuden minuutin ajalta, viitearvon ylittyminen edellyttää useamman minuutin oleskelua portin lähellä kuuden minuutin aikana.

Itävallassa altistusta arvioitiin mittausten lisäksi laskennalla, jolloin voidaan tarkastella, johtaako viitearvojen ylittyminen myös perusrajoitusten ylittymiseen. EM-portin taajuudella 5 kHz mitattujen magneettivuon tiheyden tehollisarvojen keskiarvo 26,6 μT ylitti selvästi ICNIRP1998-ohjearvojen mukaisen viitearvon 6,25 μT . Laskentatulosten perusteella keskushermostoon indusoituva virrantiheys ylitti ICNIRP1998-ohjearvojen mukaisen perusrajoituksen lapsella mutta ei aikuisella. Sitä vastoin mitattujen tehollisarvojen keskiarvo ei ylittänyt ICNIRP2010-ohjearvojen mukaista viitearvoa 27 μT . Laskentatulosten perusteella aikuisen tai lapsen keskushermostoon indusoituva sähkökenttä ei ylittänyt ICNIRP2010-ohjearvojen mukaista perusrajoitusta, mutta ääreishermostoon indusoituva sähkökenttä ylitti rajoituksen.

AM-portin 2 mitattujen magneettivuon tiheyksien huippuarvojen keskiarvo 75,3 μT ylitti selvästi ICNIRP1998-ohjearvojen viitearvon 8,84 μT ja ICNIRP2010-ohjearvojen viitearvon 38,2 μT . Laskentatulosten perusteella keskushermostoon indusoituva virrantiheys ylitti ICNIRP1998-ohjearvojen perusrajoituksen lapsella ja aikuisella sekä sähkökenttä ICNIRP2010-ohjearvojen perusrajoituksen, kun pään etäisyys portista oli vähemmän kuin noin 10 cm. Ääreishermostoon indusoituva sähkökenttä ylitti ICNIRP2010-ohjearvojen perusrajoituksen kookkaalla henkilöllä, kun etäisyys portista oli vähemmän kuin 20 cm.

RF-portilla 2 mitattujen magneettivuon tiheyden tehollisarvojen keskiarvo 0,14 μT ylitti ICNIRP1998- ja ICNIRP2010-ohjearvojen viitearvon 0,112 μT , mutta vastaavat koko kehon SAR:n perusrajoitukset eivät laskentatulosten mukaan ylittyneet aikuisella eivätkä lapsella. Paikallisen 10 gramman SAR:n rajoitus ylittyi selkäasennossa mutta ei kylkiasennossa.

RF-portilla 5 mitattujen magneettivuon tiheyden tehollisarvojen keskiarvo oli yhtä suuri kuin ICNIRP1998- ja ICNIRP2010-ohjearvojen viitearvo. Vastaavat koko kehon SAR:n perusrajoitukset eivät laskentatulosten mukaan ylittyneet aikuisella eivätkä lapsella. Paikallisen 10 gramman SAR:n rajoitus ei ylittynyt selkä- eikä kylkiasennossa.

5 Tuotesuojaporttien mittaukset

Tuotesuojaportit tuottavat magneettikentän lisäksi myös sähkökentän. Schmid ym. (2014) totesivat mittauksissaan, että sähkökenttä oli merkityksettömän pieni. Siten tässä projektissa mitattiin vain magneettikenttää.

5.1 Mittauslaitteisto ja -menetelmä

Magneettivuon tiheyden tehollisarvo mitattiin alle 400 kHz:n taajuuksilla kuvassa 5 näkyvällä pientaajuisella sähkö- ja magneettikentän mittarilla Wavecontrol SMP2, johon oli liitetty isotrooppinen ja laajakaistainen sähkö- ja magneettikentän mittapää WP400. Valmistaja on kalibroinut mittarin ja mittapään vuonna 2015. Kalibroinnin epävarmuudeksi on ilmoitettu $\pm 2,9\%$. Mittari näyttää myös magneettivuon tiheyden huippuarvon, mutta se osoittautui porttien mittausten ja laboratoriotestien mukaan kymmeniä prosentteja todellista suuremmaksi.



Kuva 5. Pientaajuisen sähkö- ja magneettikentän mittari Wavecontrol SMP2 ja mittapää WP400.



Kuva 6. Radiotaajuisen sähkö- ja magneettikentän mittari Narda NBM-550 ja mittapää HF3061.

Magneettikentän voimakkuuden tehollisarvo mitattiin yli 400 kHz:n taajuuksilla Narda Safety Test Solutionsin valmistamalla radiotaajuisen säteilyn mittarilla NBM-550, johon oli kytketty isotrooppinen ja laajakaistainen magneettikentän mittapää HF3061. Mittaria ja mittapäästä esittää kuva 6. Mittarin näyttämät magneettikentän voimakkuudet muunnettiin raportointia varten magneettivuon tiheyksiksi. Valmistaja on kalibroinut mittarin ja mittapään vuonna 2020. Kalibroinnin epävarmuudeksi on ilmoitettu $\pm 15\%$.

RF-porteista mitattu magneettikentän voimakkuus H muunnettiin magneettivuon tiheydeksi B kaavalla

$$B = \mu_0 H \quad (1)$$

missä $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m on vapaan tilan permeabiliteetti.

Useimpien porttien signaalit olivat pulssimaisia. Koska laboratoriotestien mukaan molemmat mittarit mittasivat pulssimaisista signaaleista luotettavasti vain tehollisarvon, huippuarvon määrittämiseksi oli selvitettävä porttien signaalin ominaisuudet. Siihen käytettiin kuvan 7 mukaista mittauslaitteistoa, johon kuuluivat yksikerroksinen, pyöreä, halkaisijaltaan 10 cm:n

silmukka-anturi, Picoscope 3424 -oskilloskooppi ja kannettava tietokone. Laitteistolla määritettiin pulssin tai pulssien kesto aika t toistojaksossa T . Magneettivuon tiheyden huippuarvo B_{peak} laskettiin tehollisarvosta B_{rms} kaavalla

$$B_{peak} = \sqrt{\frac{2T}{t}} B_{rms} . \quad (2)$$



Kuva 7. Tuotesuojaportin magneettikentän aaltomuodon mittauslaitteisto.



Kuva 8. Mittapään asettelu mittauspisteeseen.

Magneettikenttä mitattiin portin edessä pisteistä, jotka olivat standardin EN 62369-1:2009 mukaisia (ks. kuva 3). Mittaukset aloitettiin lähimmistä 20 cm:n etäisyydellä olevista pisteistä. Jos keskisarakkeen pisteiden arvot olivat suuremmat kuin reunasarakkeiden vastaavien pisteiden arvot, magneettikenttä mitattiin 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyyksillä vain keskisarakkeiden pisteistä, jolloin mittauspisteitä tuli yhteensä 25.

Mittapää asetettiin mittauspisteisiin kuvassa 8 näkyvän mittasauvan avulla. Sauva oli kiinnitetty puiseen kolmijalkaan, ja siihen oli valkoisella teipillä asetettu merkit 15 cm:n välein alimman ollessa 85 cm:n korkeudella ja ylimmän 145 cm:n korkeudella lattiasta. Kolmijalka aseteltiin siten, että sauva oli pystysuorassa ja mittapään keskipiste oli halutussa kohdassa, kun mittapään sivun keskipiste oli sauvan merkin yläreunan kohdalla. Mittapään asettelun epävarmuudeksi arvioitiin ± 1 cm kaikissa kolmessa suunnassa.

Magneettivuon tiheyden mittauksen epävarmuudeksi arvioitiin 95 %:n luottamusvälillä 30 %.

5.2 AM-portit

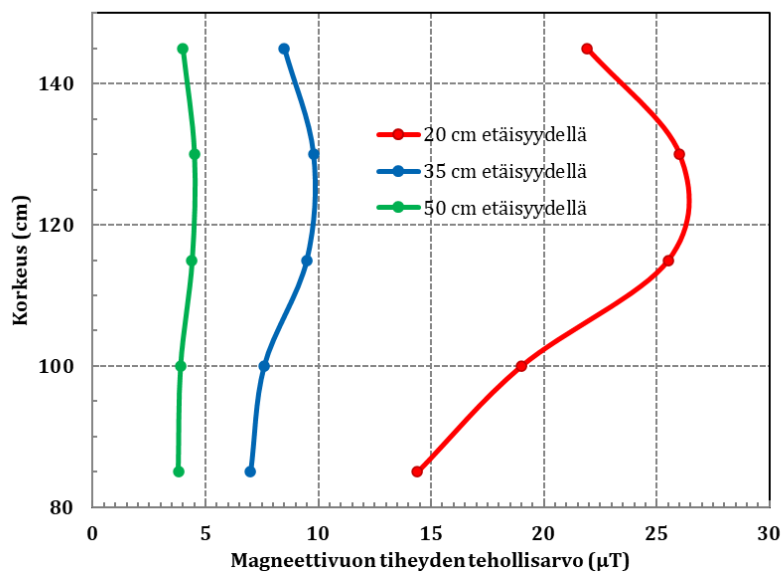
Magneettikentät mitattiin kuudesta AM-portista. Kaikkien porttien taajuus oli 58 kHz ja magneettikenttä pulssimainen. Kahden portin magneettikenttä mitattiin kaikista 45 pisteestä. Neljän portin magneettikenttä mitattiin vain 25 pisteestä kohdassa 5.1 esitetyllä tavalla. Magneettikenttä mitattiin 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyyksillä vain keskisarakkeiden viidestä pisteestä. Reunasarakkeiden pisteiden arvot asetettiin samoiksi kuin keskisarakkeiden vastaavien pisteiden arvot keskiarvon laskentaa varten. Magneettivuon tiheyden tehollisarvojen ja niistä kaavalla (2) laskettujen huippuarvojen keskiarvoja verrattiin Neuvoston suosituksen viitearvoihin, joista myöhemmin käytetään nimitystä viitearvot. Korkeuden funktiona lattiasta muuttuvaa magneettivuon tiheyttä kuvaavat käyrät ovat keskisarakkeiden pisteiden mittaustuloksia.

5.2.1 AM-portti 1

Kuvassa 9 näkyy AM-portti 1. Magneettikenttä mitattiin 25 pisteestä. Mitattujen magneettivuon tiheyden tehollisarvojen keskiarvo oli $10 \mu\text{T}$ ja laskettujen huippuarvojen keskiarvo $43 \mu\text{T}$. Mitatut tehollisarvot olivat välillä $3,8\text{--}26 \mu\text{T}$ ja lasketut huippuarvot välillä $16\text{--}109 \mu\text{T}$. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n , 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä portista esitetään käyrinä kuvassa 10. Tehollisarvojen keskiarvo on suurempi kuin viitearvo $6,25 \mu\text{T}$, ja huippuarvojen keskiarvo on suurempi kuin viitearvo $8,84 \mu\text{T}$.



Kuva 8. AM-portti 1.



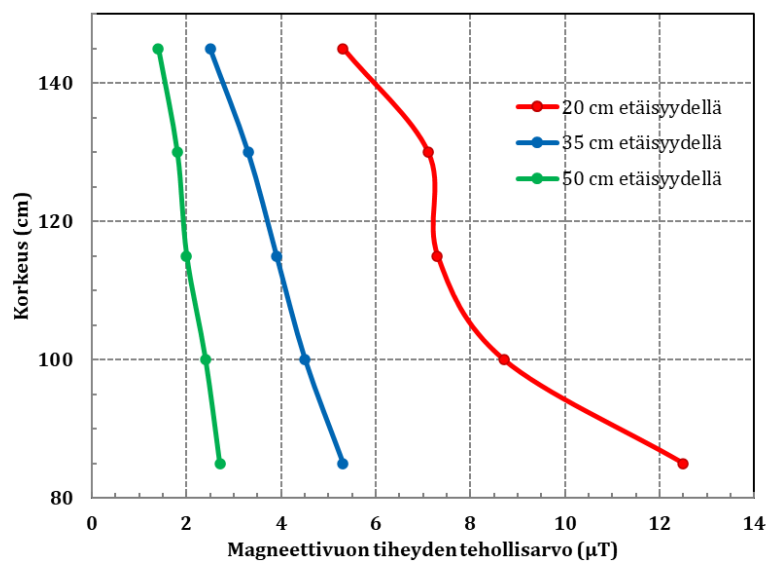
Kuva 9. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n , 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä AM-portista 1.

5.2.2 AM-portti 2

AM-portti 2 näkyy kuvassa 11. Magneettikenttä mitattiin 25 pisteestä. Mitattujen magneettivuon tiheyden tehollisarvojen keskiarvo oli $5,7 \mu\text{T}$ ja laskettujen huippuarvojen keskiarvo $24 \mu\text{T}$. Mitatut tehollisarvot olivat välillä $1,4\text{--}13 \mu\text{T}$ ja lasketut huippuarvot välillä $5,9\text{--}53 \mu\text{T}$. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n , 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä portista esitetään käyrinä kuvassa 12. Tehollisarvojen keskiarvo oli viitearvoa $6,25 \mu\text{T}$ pienempi, mutta huippuarvojen keskiarvo oli suurempi kuin viitearvo $8,84 \mu\text{T}$.



Kuva 10. AM-portti 2.



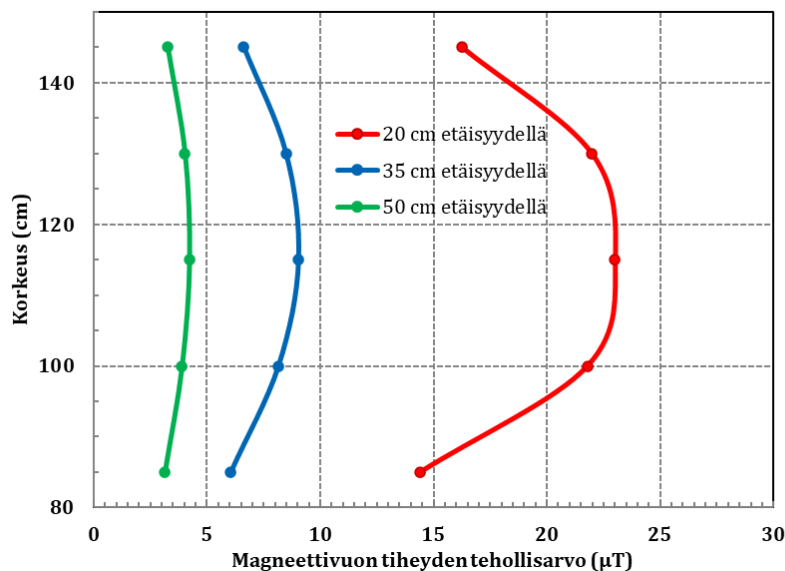
Kuva 11. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n , 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä AM-portista 2.

5.2.3 AM-portti 3

AM-porttia 3 esittää kuva 13. Magneettikenttä mitattiin 45 pisteestä. Mitattujen magneettivuon tiheyden tehollisarvojen keskiarvo oli $9,1 \mu\text{T}$ ja laskettujen huippuarvojen keskiarvo $45 \mu\text{T}$. Mitatut tehollisarvot olivat välillä $2,7\text{--}23 \mu\text{T}$ ja lasketut huippuarvot välillä $14\text{--}115 \mu\text{T}$. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n , 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä portista esitetään käyrinä kuvassa 14. Tehollis- ja huippuarvojen keskiarvot ovat viitearvoja suurempia.



Kuva 12. AM-portti 3.



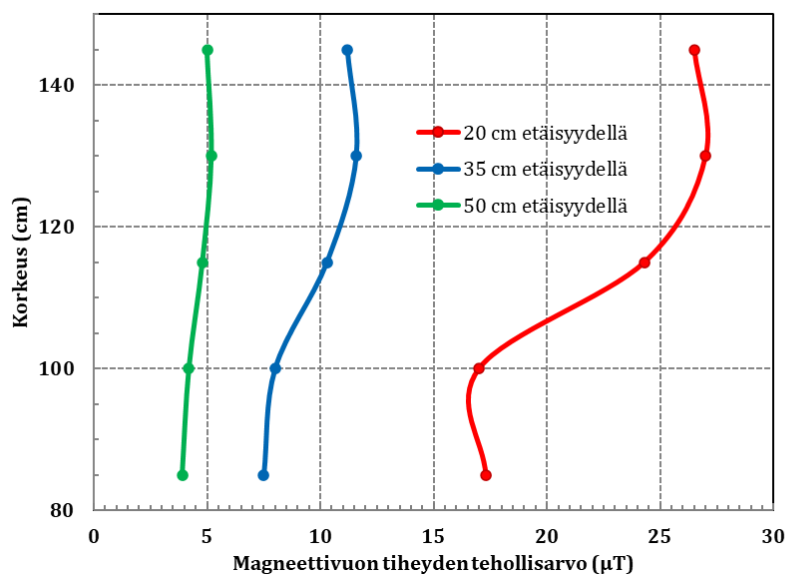
Kuva 13. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n , 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä AM-portista 3.

5.2.4 AM-portti 4

AM-portti 4 on kuvassa 15. Magneettikenttä mitattiin 45 pisteestä. Mitattujen magneettivuon tiheyden tehollisarvojen keskiarvo oli $11 \mu\text{T}$ ja laskettujen huippuarvojen keskiarvo $46 \mu\text{T}$. Mitatut tehollisarvot olivat välillä $3,5\text{--}27 \mu\text{T}$ ja lasketut huippuarvot välillä $15\text{--}114 \mu\text{T}$. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n , 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä portista esitetään käyrinä kuvassa 16. Tehollisarvojen keskiarvo ja huippuarvojen keskiarvo olivat vastaavia viitearvoja $6,25 \mu\text{T}$ ja $8,84 \mu\text{T}$ suurempia.



Kuva 14. AM-portti 4.



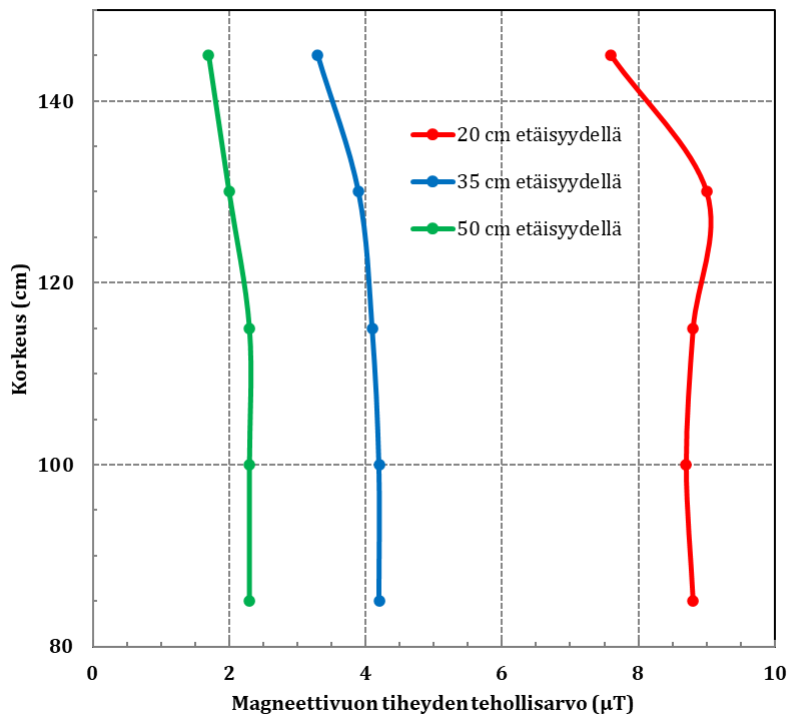
Kuva 15. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n , 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä AM-portista 4.

5.2.5 AM-portti 5

Kuvassa 17 näkyvän AM-portin 5 magneettikenttä mitattiin 25 pisteestä maahantuojan tiloissa. Mitattujen magneettivuon tiheyden tehollisarvojen keskiarvo oli $5,5 \mu\text{T}$ ja laskettujen huippuarvojen keskiarvo $41 \mu\text{T}$. Tehollisarvot olivat välillä $1,7\text{--}9,0 \mu\text{T}$ ja huippuarvot välillä $15\text{--}80 \mu\text{T}$. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n , 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä portista esitetään käyrinä kuvassa 18. Tehollisarvojen keskiarvo on pienempi kuin viitearvo $6,25 \mu\text{T}$, mutta huippuarvojen keskiarvo on suurempi kuin viitearvo $8,84 \mu\text{T}$.



Kuva 16. AM-portti 5.



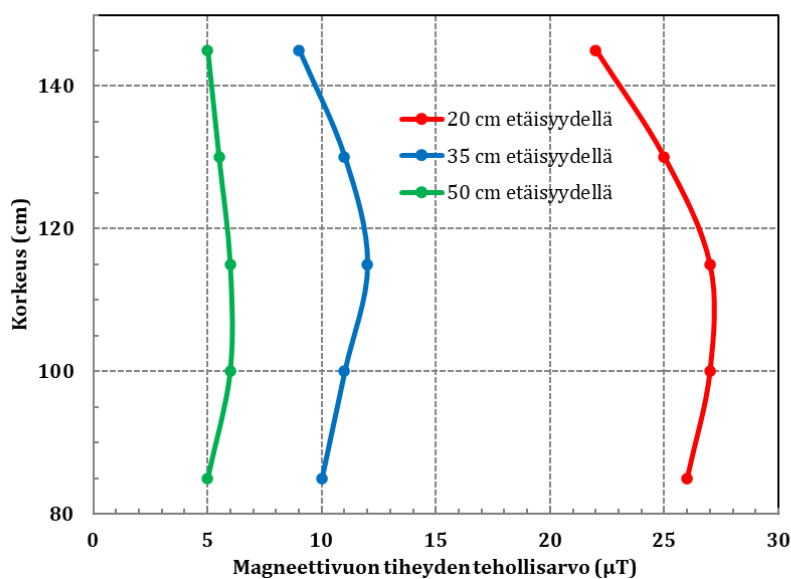
Kuva 17. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n , 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä AM-portista 5.

5.2.6 AM-portti 6

AM-porttia 6 esittää kuva 19. Magneettikenttä mitattiin 25 pisteestä. Mitattujen magneettivuon tiheyden tehollisarvojen keskiarvo oli $17 \mu\text{T}$ ja laskettujen huippuarvojen keskiarvo $73 \mu\text{T}$. Tehollisarvot olivat välillä $5,0\text{--}27 \mu\text{T}$ ja huippuarvot välillä $21\text{--}114 \mu\text{T}$. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n , 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä portista esitetään käyrinä kuvassa 20. Tehollisarvojen keskiarvo on suurempi kuin viitearvo $6,25 \mu\text{T}$ ja huippuarvojen keskiarvo suurempi kuin viitearvo $8,84 \mu\text{T}$.



Kuva 18. AM-portti 6.



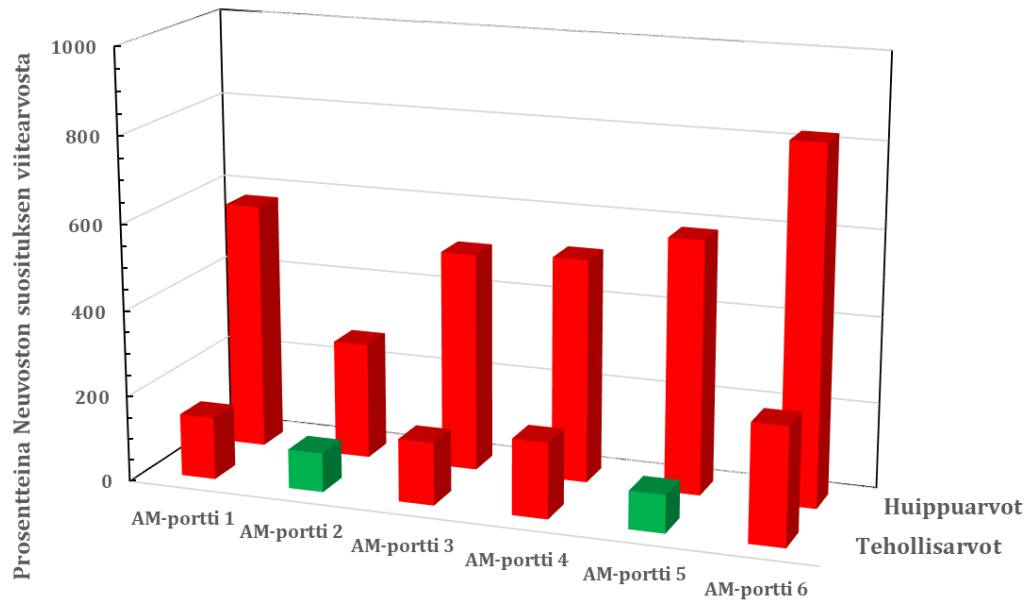
Kuva 19. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n , 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä AM-portista 6.

5.2.7 Yhteenveto AM-porteista

AM-porttien magneettikenttien mittaustulokset esitetään magneettivuon tiheyksinä taulukossa 4 ja tehollis- ja huippuarvojen keskiarvot prosentteina Neuvoston suosituksen viitearvoista kuvassa 21. Punainen palkki tarkoittaa, että tehollisarvojen tai huippuarvojen keskiarvo on suurempi kuin vastaava viitearvo 6,25 μT tai 8,84 μT . Kuvasta 21 nähdään, että magneettivuon tiheyden tehollisarvon keskiarvo on neljällä portilla suurempi ja huippuarvon keskiarvo kaikilla porteilla suurempi kuin vastaava viitearvo.

Taulukko 3. AM-porttien magneettivuon tiheyden tehollis- ja huippuarvojen keskiarvot, maksimit ja minimi.

AM-portti	Mitattu magneettivuon tiheyden tehollisarvo (μT)			Laskettu magneettivuon tiheyden huippuarvo (μT)		
	Keski-arvo	Minimi	Maksimi	Keski-arvo	Minimi	Maksimi
1	10	3,8	26	43	16	109
2	5,7	1,4	13	24	5,9	53
3	9,1	2,7	23	45	14	115
4	11	3,5	27	46	15	114
5	5,5	1,7	9,0	52	15	80
6	17	5,0	27	73	21	114



Kuva 20. AM-porttien magneettivuon tiheyden tehollisarvojen keskiarvon ja huippuarvojen keskiarvon suhde Neuvoston suosituksen vastaaviin viitearvoihin $6,25 \mu\text{T}$ (tehollisarvo) ja $8,84 \mu\text{T}$ (huippuarvo). Punainen palkki tarkoittaa viitearvon ylitystä.

5.3 RF-portit

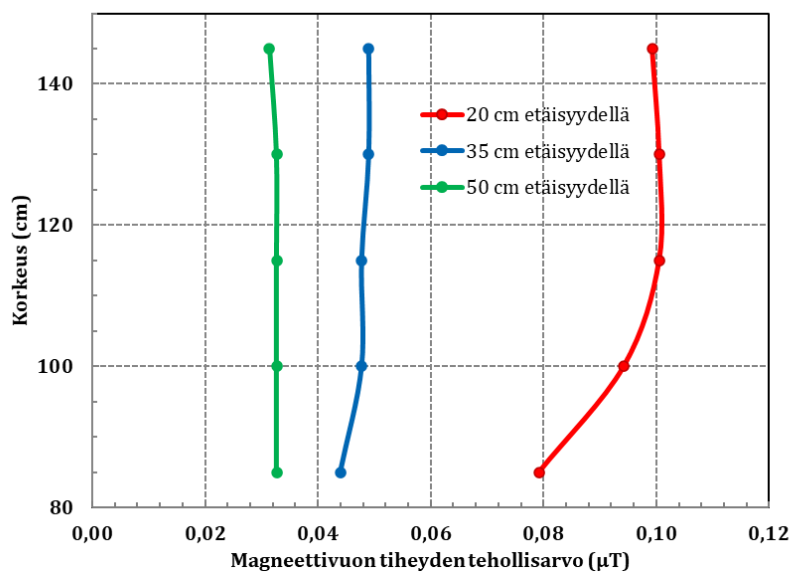
Magneettikentät mitattiin kahdeksasta RF-portista. Kaikkien porttien taajuuskaistan keskitaajuus oli $8,2 \text{ MHz}$. Kahden portin magneettikenttä oli taajuusmoduloitu ja kuuden portin pulssimoduloitu. Neljän portin magneettikenttä mitattiin kaikista 45 pisteestä ja neljän muun vain 25 pisteestä, jolloin mittaustulosten keskiarvo laskettiin kohdassa 5.1 esitetyllä tavalla. Magneettivuon tiheyden tehollisarvojen ja niistä kaavalla (2) laskettujen huippuarvojen keskiarvoja verrattiin Neuvoston suosituksen viitearvoihin, joista myöhemmin käytetään nimitystä viitearvot. Korkeuden funktiona lattiasta muuttuvaa magneettivuon tiheyttä kuvaavat käyrät ovat keskisarakkeiden pisteiden mittaustuloksia.

5.3.1 RF-portti 1

Kuva 22 esittää RF-porttia 1. Sen pulssimainen sinimuotoinen magneettikenttä mitattiin 25 pisteestä. Mitattujen magneettivuon tiheyden tehollisarvojen keskiarvo oli $0,057 \mu\text{T}$. Tehollisarvot olivat välillä $0,031\text{--}0,10 \mu\text{T}$. Tehollisarvoista laskettujen huippuarvojen keskiarvo oli $1,4 \mu\text{T}$. Huippuarvot olivat välillä $0,76\text{--}2,4 \mu\text{T}$. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n , 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä portista esitetään käyrinä kuvassa 23. Tehollis- ja huippuarvojen keskiarvot ovat pienempiä kuin vastaavat viitearvot $0,112 \mu\text{T}$ ja $3,15 \mu\text{T}$.



Kuva 21. RF-portti 1.



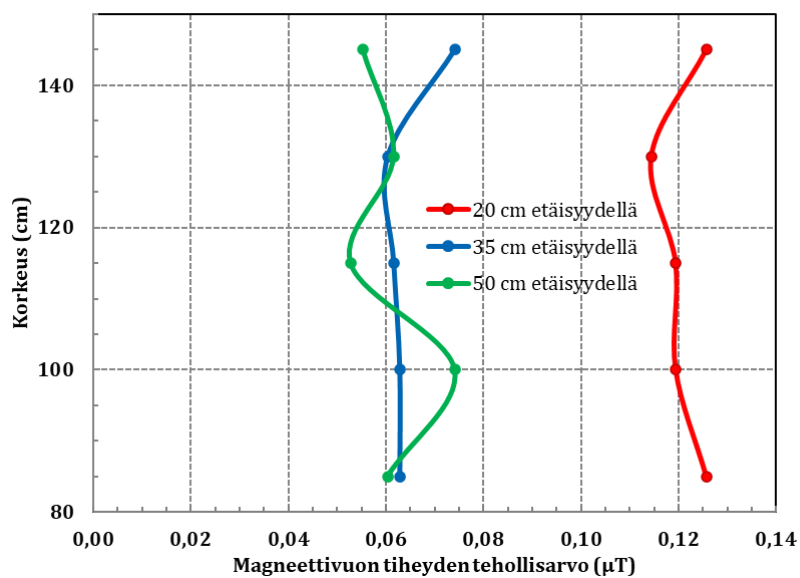
Kuva 22. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n , 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä RF-portista 1.

5.3.2 RF-portti 2

RF-portti 2 on kuvassa 24. Sen pulssimainen sinimuotoinen magneettikenttä mitattiin 45 pisteestä. Mitattujen magneettivuon tiheyden tehollisarvojen keskiarvo oli $0,075 \mu\text{T}$. Tehollisarvot olivat välillä $0,053\text{--}0,13 \mu\text{T}$. Huippuarvojen keskiarvo oli $0,68 \mu\text{T}$. Huippuarvot olivat välillä $0,48\text{--}1,1 \mu\text{T}$. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n, 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä portista esitetään käyrinä kuvassa 25. Tehollis- ja huippuarvojen keskiarvot ovat pienempiä kuin viitearvot.



Kuva 23. RF-portti 2.



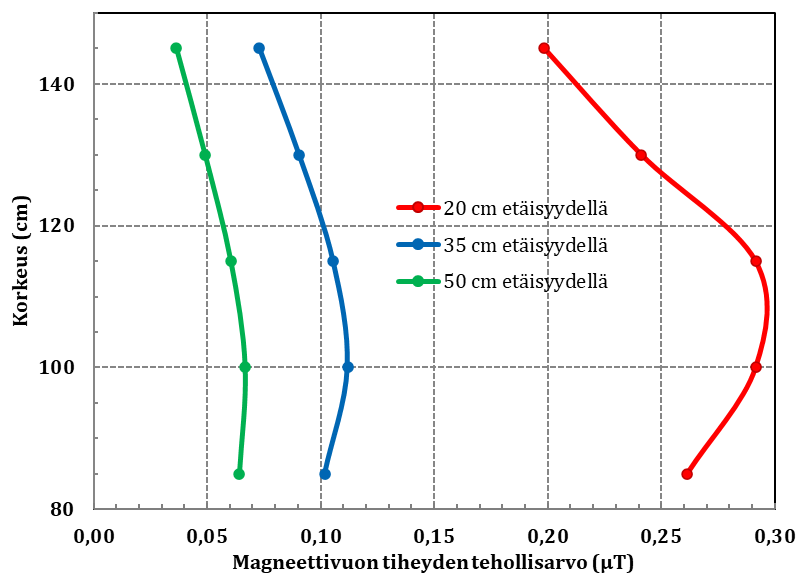
Kuva 24. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n, 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä RF-portista 2.

5.3.3 RF-portti 3

RF-porttia 3 esittää kuva 26. Sen taajuuspyyhkäisty sinimuotoinen magneettikenttä mitattiin 25 pisteestä. Mitattujen magneettivuon tiheyden tehollisarvojen keskiarvo oli $0,12 \mu\text{T}$. Tehollisarvot olivat välillä $0,036\text{--}0,29 \mu\text{T}$. Huippuarvojen keskiarvo oli $0,18 \mu\text{T}$. Huippuarvot olivat välillä $0,051\text{--}0,41 \mu\text{T}$. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n, 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä portista esitetään käyrinä kuvassa 27. Tehollis- ja huippuarvojen keskiarvot ovat pienempiä kuin viitearvot.



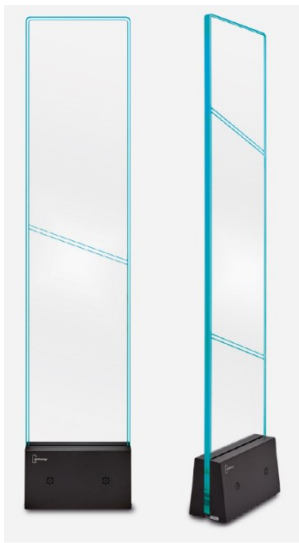
Kuva 25. RF-portti 3.



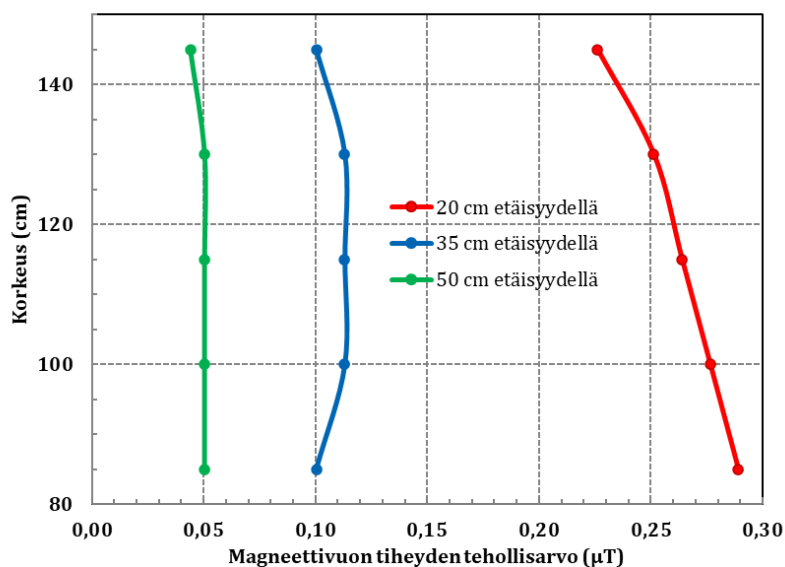
Kuva 26. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n, 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä RF-portista 3.

5.3.4 RF-portti 4

Kuvassa 28 näkyvä RF-portin 4 magneettikenttä oli taajuuspyyhkäisty ja sinimuotoinen. Se mitattiin 45 pisteestä. Mitattujen magneettivuon tiheyden tehollisarvojen keskiarvo oli $0,12 \mu\text{T}$. Tehollisarvot olivat välillä $0,04\text{--}0,29 \mu\text{T}$. Huippuarvojen keskiarvo oli $0,17 \mu\text{T}$. Huippuarvot olivat välillä $0,05\text{--}0,41 \mu\text{T}$. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n, 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä portista esitetään käyrinä kuvassa 29. Tehollisarvojen keskiarvo on suurempi kuin viitearvo, kun taas huippuarvojen keskiarvo on pienempi kuin viitearvo.



Kuva 27. RF-portti 4.



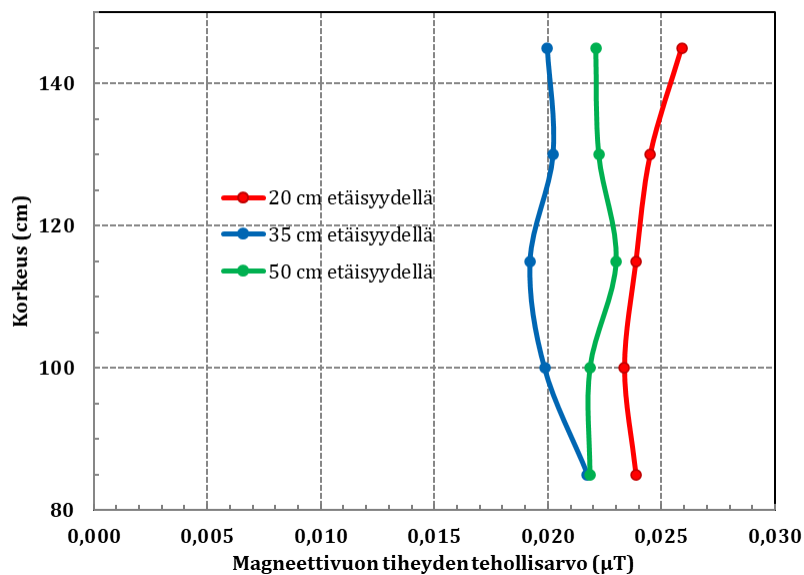
Kuva 28. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n, 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä RF-portista 4.

5.3.5 RF-portti 5

Kuvassa 30 näkyvä RF-portin 5 pulssimainen sinimuotoinen magneettikenttä mitattiin 45 pisteestä. Mitattujen magneettivuon tiheyden tehollisarvojen keskiarvo oli $0,026 \mu\text{T}$. Tehollisarvot olivat välillä $0,019\text{--}0,19 \mu\text{T}$. Huippuarvojen keskiarvo oli $0,86 \mu\text{T}$. Huippuarvot olivat välillä $0,63\text{--}6,3 \mu\text{T}$. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n, 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä portista esitetään käyrinä kuvassa 31. Tehollisarvojen keskiarvo ja huippuarvojen keskiarvo ovat pienempiä kuin vastaavat viitearvot.



Kuva 29. RF-portti 5.



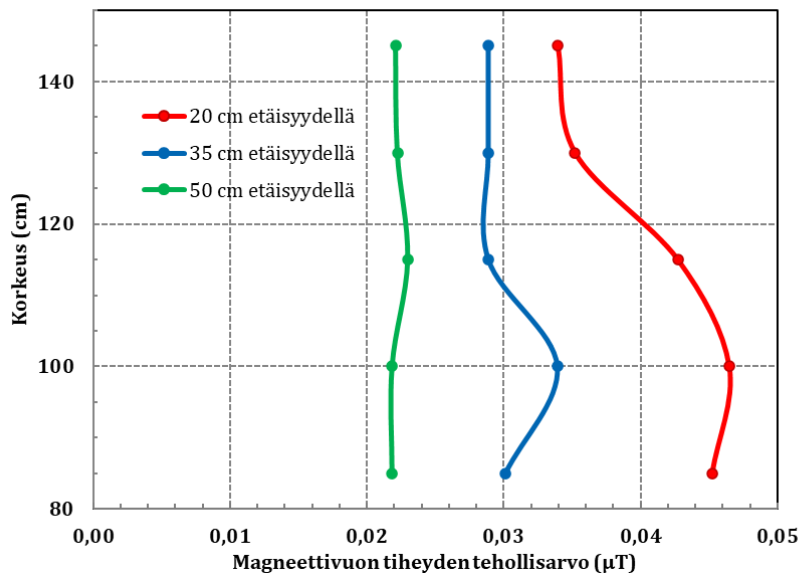
Kuva 30. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n, 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä RF-portista 5.

5.3.6 RF-portti 6

RF-portti 6 on kuvassa 32. Sen pulssimainen sinimuotoinen magneettikenttä mitattiin 25 pisteestä. Mitattujen magneettivuon tiheyden tehollisarvojen keskiarvo oli $0,032 \mu\text{T}$. Tehollisarvot olivat välillä $0,028\text{--}0,046 \mu\text{T}$. Huippuarvojen keskiarvo oli $0,57 \mu\text{T}$. Huippuarvot olivat välillä $0,49\text{--}0,82 \mu\text{T}$. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n , 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä portista esitetään käyrinä kuvassa 33. Tehollisarvojen keskiarvo ja huippuarvojen keskiarvo ovat pienempiä kuin vastaavat viitearvot.



Kuva 31. RF-portti 6.



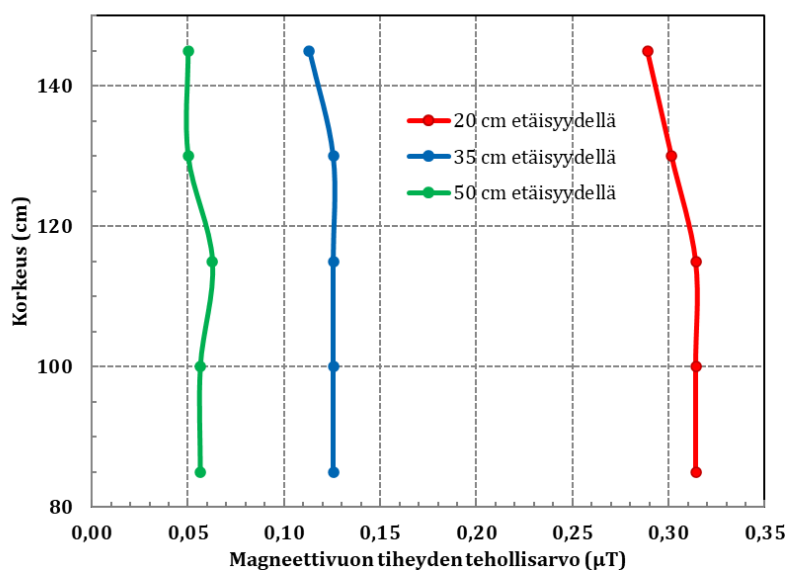
Kuva 32. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n , 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä RF-portista 6.

5.3.7 RF-portti 7

RF-portti 7 näkyy kuvassa 34. Sen pulssimainen sinimuotoinen magneettikenttä mitattiin 45 pisteestä. Mitattujen magneettivuon tiheyden tehollisarvojen keskiarvo oli $0,14 \mu\text{T}$. Tehollisarvot olivat välillä $0,043\text{--}0,31 \mu\text{T}$. Huippuarvojen keskiarvo oli $0,74 \mu\text{T}$. Huippuarvot olivat välillä $0,23\text{--}1,6 \mu\text{T}$. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n, 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä portista esitetään käyrinä kuvassa 35. Tehollisarvojen keskiarvo on suurempi kuin viitearvo, kun taas huippuarvojen keskiarvo on pienempi kuin viitearvo.



Kuva 33. RF-portti 7.



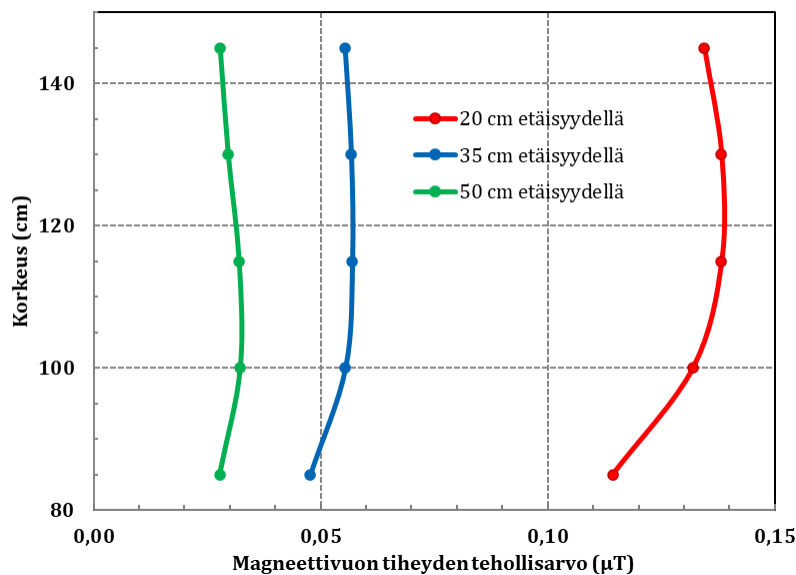
Kuva 34. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n, 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä RF-portista 7.

5.3.8 RF-portti 8

RF-portti on kuvassa 36. Sen pulssimainen sinimuotoinen magneettikenttä mitattiin 25 pisteestä. Mitattujen magneettivuon tiheyden tehollisarvojen keskiarvo oli $0,066 \mu\text{T}$. Tehollisarvot olivat välillä $0,027\text{--}0,14 \mu\text{T}$. Huippuarvojen keskiarvo oli $1,0 \mu\text{T}$. Huippuarvot olivat välillä $0,44\text{--}2,2 \mu\text{T}$. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n, 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä portista esitetään käyrinä kuvassa 37. Tehollisarvojen keskiarvo ja huippuarvojen keskiarvo ovat pienempiä kuin vastaavat viitearvot.



Kuva 35. RF-portti 8.



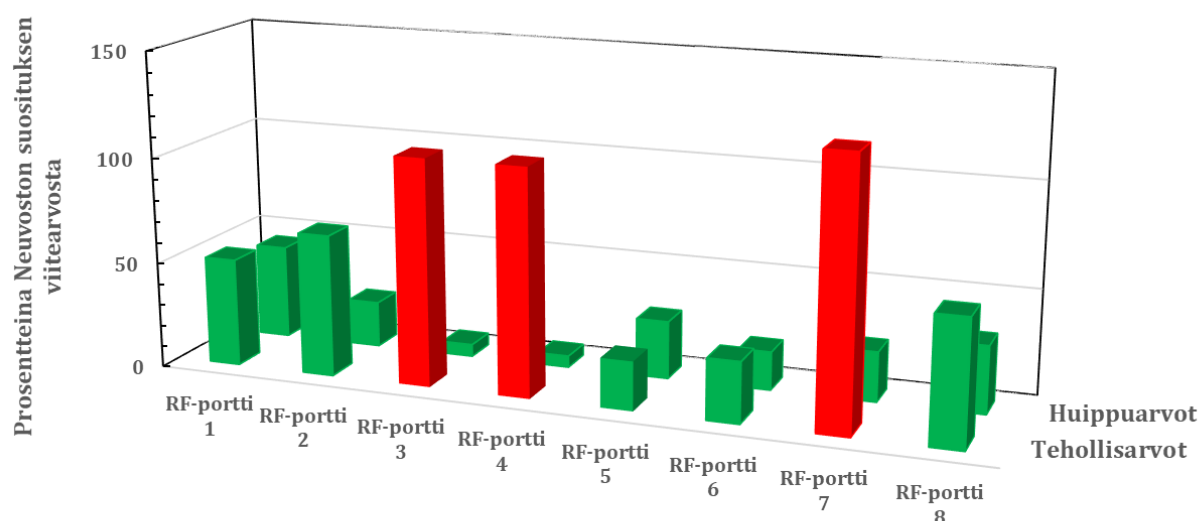
Kuva 36. Korkeuden funktiona lattiasta mitatut magneettivuon tiheyden tehollisarvot 20 cm:n, 35 cm:n ja 50 cm:n etäisyydellä RF-portista 8.

5.3.9 Yhteenveto RF-porteista

RF-porttien magneettikenttien mittaustulokset esitetään magneettivuon tiheyksinä taulukossa 5 ja tehollis- ja huippuarvojen keskiarvot prosentteina Neuvoston suosituksen magneettivuon tiheyden tehollisarvon viitearvosta 0,112 μT ja huippuarvon viitearvosta 3,15 μT kuvassa 38. Punainen palkki merkitsee, että keskiarvot ovat suurempia kuin vastaavat viitearvot. Kuvasta 38 nähdään, että magneettivuon tiheyden tehollisarvon keskiarvo on kolmella portilla suurempi kuin viitearvo ja magneettivuon tiheyden huippuarvojen keskiarvo kaikilla porteilla pienempi kuin viitearvo.

Taulukko 4. RF-porttien magneettikenttien mittaustulokset.

RF-portti	Mitattu magneettivuon tiheyden tehollisarvo (μT)			Magneettivuon tiheyden huippuarvo (μT)		
	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
1	0,057	0,031	0,10	1,4	0,76	2,4
2	0,075	0,052	0,13	0,68	0,48	1,1
3	0,12	0,036	0,29	0,18	0,051	0,41
4	0,12	0,038	0,29	0,17	0,053	0,41
5	0,026	0,019	0,19	0,86	0,63	6,3
6	0,032	0,028	0,046	0,57	0,49	0,82
7	0,14	0,044	0,31	0,74	0,23	1,6
8	0,066	0,028	0,14	1,0	0,44	2,2



Kuva 37. RF-porttien magneettivuon tiheyksien tehollisarvojen keskiarvot ja huippuarvojen keskiarvot prosentteina Neuvoston suosituksen viitearvoista. Punainen palkki tarkoittaa viitearvon ylitystä.

6 Kehon aktiivisten lääkinällisten laitteiden häiriintyminen

Kehon sisäisiä aktiivisia lääkinällisiä laitteita (esim. sydämentahdistin, defibrillaattori, neurostimulaattori, insuliinipumppu, kuulokoje) on monen tyyppisiä, ja niitä asennetaan ihmisille kasvavissa määrin. Laitteet häiriintyvät harvoin ulkoisista sähkömagneettisista kentistä. Häiriintyminen on kuitenkin mahdollista, ja voi aiheuttaa vakaviakin vaaratilanteita. Siksi on tärkeää, että lääkinällistä laitetta käyttävä henkilö tietää mahdollisista vaaroista ja pystyy niitä tietoisesti välttämään. Laitteiden on huomattu häiriintyvän tuotesuojaporttien magneettikentässä erityisesti silloin, kun porttiin jäädään nojailemaan. Lääkinällisen laitteen asentaneesta terveydenhuollon yksiköstä saa parhaan tiedon siitä, miten sen kanssa tulee toimia. Kansainvälinen ionisoimattoman säteilyn komissio ICNIRP antoi vuonna 2004 lausunnon, jossa se kehotti tutkimaan lisää kehon sisäisten lääkinällisten laitteiden häiriintymistä tuotesuojaporttien magneettikentässä (ICNIRP 2004).

Sydämentahdistimien ja defibrillaattorien häiriintymistä tuotesuojaporttien magneettikentistä on selvitetty monissa tutkimuksissa viime vuosikymmenten aikana. Wilke ym. (1998) totesivat, että sydämentahdistimet häiriintyivät 120 kHz:n taajuudella toimivalla tuotesuojaportilla. Kainz ym. (2005) havaitsivat häiriöitä sinimuotoisilla ja pulssimaisilla 100 Hz:n-8 kHz:n taajuisilla magneettikentillä. He testasivat häiriintyvyyttä myös metallinpaljastimilla, jotka synnyttävät pulssimaisia magneettikenttiä. Pulssimaiset kentät aiheuttivat häiriöitä alhaisemmalla tasolla kuin sinimuotoiset kentät. Leitgeb ym. (2013) havaitsivat, että RF-portit häiritsivät sydämentahdistimia harvemmin kuin EM- ja AM-portit. Väliataajuuksilla ja etenkin erittäin pienillä taajuuksilla toimivat tuotesuojaportit häiritsivät todennäköisemmin. He arvioivat, että sydämentahdistimien häiriintymisongelma pahenee, kun uusissa kansainvälisissä ohjearvoissa suositellut, aikaisempaa korkeammat altistuksen raja-arvot otetaan käyttöön kansallisessa lainsäädännössä.

Tuotesuojaportti on ollut yleisin (21 %) lääkinällisiin laitteisiin häiriötä aiheuttanut sähkömagneettisia kenttiä tuottava laitetyyppi (Hours ym. 2014). Hours ym. (2014) olivat tutkimuksessaan kysyneet ranskalaisilta lääkäreiltä, mitkä sähkömagneettisia kenttiä tuottavat laitteet olivat aiheuttaneet häiriöitä aktiivisia kehon sisäisiä lääkinällisiä laitteita käyttäville henkilöille. Kauppojen tuotesuojaportit olivat yleisin (21 %) häiriötä aiheuttanut laitetyyppi. Myös lentokenttien metallinpaljastimet olivat yleinen (10 %) tyyppi. Havaitut häiriöt olivat harvinaisia, ja vain 16 % lääkäreistä oli huolissaan. Suurin osa häiriöistä oli ollut lieviä, mutta 18 % raportoiduista tapauksista oli vaatinut lääketieteellistä hoitoa. Santini ym. (2013) raportoivat, että yhdessä tutkimuksessa 48 sydämentahdistinpotilasta 50:stä sai häiriötä sydämentahdistimeensa, kun he altistuivat AM-portin magneettikentälle. Mugica ym. (2000) ja Tiikkaja ym. (2013) totesivat tutkimuksessaan unipolaarisen sydämentahdistimen häiriintyvän AM-portin magneettikentälle. Guag ym. (2007) tutkivat kehon sisäisten lääkinällisten laitteiden häiriintyvyyttä läpikäveltävän, audiotaaajuuksilla (alle 20 kHz) toimivan metallinpaljastimen pulssimaisessa magneettikentässä. Tutkimus paljasti, että kaksi sydämentahdistinta kuudesta ja yksi neurostimulaattori viidestä häiriintyi metallinpaljastimen magneettikentässä.

Mahdollinen häiriintyminen riippuu niin magneettikentän tasosta, pulssien taajuudesta kuin pulssien muodosta. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että pulssimaiset ja pientaajuiset

magneettikentät aiheuttavat häiriintymistä alhaisemmalla tasolla kuin jatkuvat ja radiotaajuiset magneettikentät. Tahdistimen ominaisuudetkin vaikuttavat häiriintymistasoon. Yleisesti unipolaariset tahdistimet häiriintyvät herkemmin kuin bipolaariset. Nykyisin tahdistimia suunnitellaan siten, että ne olisivat mahdollisimman häiriintymättömiä ulkoisille sähkö- ja magneettikentille. Nykyisten kansainvälisten sähkö- ja magneettikenttien ohjearvojen ja kansallisessa lainsäädännössä olevien raja-arvojen määrittelyssä ei ole huomioitu kehon sisäisiä lääkinällisiä laitteita, jotka voivat häiriintyä jopa väestön altistuksen raja-arvoja matalammalla tasolla.

7 Yhteenveto

Projekti paljasti, että ainoastaan AM- ja RF-tuotesuojaportteja on enää käytössä. Audiotaajuuksilla 20 Hz–20 kHz toimivat EM-portit ovat poistuneet käytöstä. Lähes neljä viidesosaa nykyisistä porteista on RF-portteja, joten myös AM-portit ovat vähentyneet merkittävästi. Tässä projektissa mitattiin kuuden AM-portin ja kahdeksan RF-portin magneettikentät.

AM-porteilla tehtyjen mittausten mukaan magneettivuon tiheyden huippuarvojen keskiarvo on suurempi kuin Neuvoston suosituksen viitearvo kaikilla porteilla. Osalla porteista viitearvon ylitys oli niin merkittävä, että Schmidin ym. (2014) mittaus- ja laskentatulosten perusteella myös suosituksen perusrajoitus virrantiheytenä ylittyy portin lähellä olevissa kehon osissa. Perusrajoituksen ylittymisestä ei kuitenkaan suurella todennäköisyydellä seuraa terveydellistä haittaa. Rajoitus suojaa suurella turvamarginaalilla välittömiltä stimulaatiovaikutuksilta eli hermo- ja lihasärsytykseltä. Kenenkään ei ole raportoitu saaneen ärsytysoireita portin läpi kulkiessaan tai sen lähellä oleskellessaan.

RF-porteilla tehdyt mittaukset osoittivat, että magneettivuon tiheyden huippuarvojen keskiarvo on kaikilla porteilla selvästi pienempi kuin Neuvoston suosituksen viitearvo. Tehollisarvojen keskiarvo oli kolmella portilla hieman suurempi kuin suosituksen viitearvo. Altistusta RF-porttien magneettikentälle rajoitetaan lämpövaikutusten perusteella, ja siten altistus määritetään keskiarvona kuuden minuutin ajalta. Altistus näillä kolmella portilla ylittää viitearvon, jos portin lähellä oleskellaan kauemmin kuin neljä minuuttia kuuden minuutin aikana. Viidellä muulla portilla viitearvo ei ylity jatkuvassakaan oleskelussa portin lähellä. Tavallisesti porttien lähellä ei oleskella minuutteja, jolloin viitearvo ei RF-porteilla ylity.

Kehon aktiivisten lääkinnällisten laitteiden häiriintymistä selvittäneistä tutkimuksista tehdyn katsauksen perusteella nämä laitteet voivat häiriintyä AM-porttien magneettikentässä mutta eivät RF-porttien magneettikentässä. Häiriintymisen todennäköisyys tuotesuojaporttien läheisyydessä on pienentynyt, kun AM-porttien osuus on pienentynyt. Koska AM-portteja ei voi tunnistaa ilman asianmukaista mittauslaitetta, on lääkinnällisiä laitteita käyttävien henkilöiden syytä välttää nojailemista tuotesuojaportteihin.

Viiteluettelo

EN 62369-1. Evaluation of human exposure to electromagnetic fields from short range devices (SRDs) in various applications over the frequency range 0 GHz to 300 GHz - Part 1: Fields produced by devices used for electronic article surveillance, radio frequency identification and similar systems. Brussels: CENELEC; 2009.

EN 50364. Product standard for human exposure to electromagnetic fields from devices operating in the frequency range 0 Hz to 300 GHz, used in Electronic Article Surveillance (EAS), Radio Frequency Identification (RFID) and similar applications. Brussels: CENELEC; 2018.

Estenberg M, Trulsson J, Anger G. Kartläggning av exponering för magnetfält runt larmbågar och RFID-system. SSI Rapport 2006:03. Stockholm: Statens strålskyddsinstitut; 2006.
<https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/e63f19e53261494ca622d0a218d7ab88/200603-kartlaggning-av-exponering-for-magnetfalt-runt-larmbagar-och-rfid-system>

EU. Euroopan unioni. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2013/35/EU, annettu 26 päivänä kesäkuuta 2013, terveyttä ja turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista työntekijöiden suojelemiseksi altistumiselta fyysikaalisista tekijöistä (sähkömagneettiset kentät) aiheutuville riskeille. Euroopan unionin virallinen lehti. L 179/1–21, 29.6.2013.
<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2013/35/oj>

EY. Euroopan yhteisöt. Neuvoston suositus, annettu 12 päivänä heinäkuuta 1999, väestön sähkömagneettisille kentille (0 Hz–300 GHz) altistumisen rajoittamisesta (1999/519/EY). Euroopan yhteisöjen virallinen lehti. L 199/59–70, 30.7.1999.
<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9509b04f-1df0-4221-bfa2-c7af77975556/language-fi>

Guag J, Addissie B, Witters D. Personal medical electronic devices and walk-through metal detector security systems: assessing electromagnetic interference effects. BioMedical Engineering OnLine 2017; 16(1). <https://doi.org/10.1186/s12938-017-0328-9>

Gunnarsdóttir EL. Minutes of the Nordic Non-Ionizing Radiation Workshop, 2-3 Sept 2020.

Harris C, Boivin W, Boyd S, Coletta J, Kerr L, Kempa K, Aronow S. Electromagnetic field strength levels surrounding electronic article surveillance (EAS) systems. Health Physics 2000; 78(1): 21-27. <https://doi.org/10.1097/00004032-200001000-00005>

Hours M, Khati I, Hamelin J. Interference between active implanted medical devices and electromagnetic field emitting devices is rare but real: results of an incidence study in a population of physicians in France. Pacing Clin Electrophysiol 2014; 37(3): 290–296.
<https://doi.org/10.1111/pace.12269>

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric magnetic fields and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys 1998; 74(4): 494–522.
<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP statement related to the use of security and similar devices utilizing electromagnetic fields. *Health Phys.* 2004; 87(2): 187–96. <https://doi.org/10.1097/00004032-200408000-00007>

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). *Health Phys* 2010; 99(6): 818–836. <https://doi.org/10.1097/HP.0b013e3181f06c86>

Joseph W, Vermeeren G, Verloock L, Goeminne F. In situ magnetic field exposure and ICNIRP-based safety distances for electronic article surveillance systems. *Radiation Protection Dosimetry* 2012; 148(4): 420-427. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncr206>

Kainz W, Casamento JP, Ruggera PS, Chan DD, Witters DM. Implantable cardiac pacemaker electromagnetic compatibility testing in a novel security system simulator. *IEEE Transactions on Biomed Engineering* 2005; 52: 520–530. <https://doi.org/10.1109/TBME.2004.843293>

Khan MW, Roivainen P, Herrala M, Tiikkaja M, Sallmén M, Hietanen M, Juutilainen J. A pilot study on the reproductive risks of maternal exposure to magnetic fields from electronic article surveillance systems. *Int J Radiat Biol.* 2018; 94(10): 902–908. <https://doi.org/10.1080/09553002.2018.1439197>

Leitgeb N, Niedermayr F, Loos G, Impact of EAS systems on implanted cardiac pacemakers and defibrillators. *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications* 2013; 5(2): 67–73. <https://doi.org/10.4236/jemaa.2013.52011>

Mugica J, Henry L, Podeur H. Study of interactions between permanent pacemakers and electronic antitheft surveillance systems. *Pacing and Clinical Electrophysiology* 2000; 23(3): 333–337. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2000.tb06758.x>

Puranen L, Moilanen V. Altistuminen kehon lähellä käytettävien radiolaitteiden sähkömagneettisille kentille työpaikoilla. Tekninen raportti STUK-TR 20. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2016. <https://www.julkari.fi/handle/10024/130386>

Roivainen P, Eskelinen T, Jokela K, Juutilainen J. Occupational exposure to intermediate frequency and extremely low frequency magnetic fields among personnel working near electronic article surveillance systems. *Bioelectromagnetics* 2014; 35(4): 245–250. <https://doi.org/10.1002/bem.21850>

Santini L, Forleo GB, Santini M. Implantable devices in the electromagnetic environment. *Journal of Arrhythmia* 2013; 29: 325–333. <https://doi.org/10.1016/j.joa.2013.06.004>

Schmid G, Hirtl R, Schneeweiss P, Jhala T, Sainitzer D. Ergänzende Analysen von Daten zur Exposition durch RFID Technologien aus FV 3609S80002 und Untersuchungen an Warensicherungsanlagen – Vorhaben 3612S80004. Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz. Salzgitter: Bundesamt für Strahlenschutz; 2014. <https://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-2014080611454>

STM. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistuksen rajoittamisesta. 22.11.2018/1045. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20181045>

Tiikkaja M, Aro AL, Alanko T, Lindholm H, Sistonen H, Hartikainen JE, Toivonen L, Juutilainen J, Hietanen M. Electromagnetic interference with cardiac pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators from low-frequency electromagnetic fields in vivo. *Europace* 2013; 15(3): 388–394. <https://doi.org/10.1093/europace/eus345>

Trulsson J, Anger G, Estenberg U. Assessment of magnetic fields surrounding electronic article surveillance systems in Sweden. *Bioelectromagnetics* 2007; 28(8): 664–666. <https://doi.org/10.1002/bem.20359>

Wilke A, Kruse T, Hesse H, Funck R, Maisch B. Interactions between pacemakers and security systems. *Pacing Clin Electrophysiol* 1998; 21(9): 1784–1788. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.1998.tb00279.x>