Kännykkäkuuluvuuden varmistava ratkaisu
Suunnitteluohje
04.10.2012

Tämä suunnitteluohje on tarkoitettu käytettäväksi sellaisten rakennusten suunnittelussa, joissa käytetään pääasiallisena lämmöneristeenä SPU AL-eristelevyjä. Käytettäessä pääasiallisena lämmöneristeenä SPU R tai SPU FR-eristelevyjä ei tarvita erillisiä ratkaisuja kännykkäkuuluvuuden varmistamiseen. Tämä suunnitteluohje sisältää yleiset suunnitteluperiaatteet ja yleisiä ohjeita matkapuhelinverkon kuuluvuuden parantamiseen sisätiloissa.

Tämän ohjeen ratkaisuilla voidaan vaikuttaa ainoastaan lämmöneristeistä johtuvaan radiosignaalien vaimentumiseen. Rakennus on kuitenkin kokonaisuus, jossa radiosignaalien vaimennukseen on monta vaikuttavaa tekijää kuten ikkunat, betoni- ja metallirakenteet ja erilaiset pinnoitteet. Suurin kuuluvuuteen vaikuttava tekijä on kuitenkin etäisyys operaattorin tukiasemaan. Huonolla kuuluvuusalueella millään rakenteellisella ratkaisulla ei voida taata hyvää signaalitasoa.

Ohjeen laatijan yhteystiedot
Antti Viitanen
0207 786 752
antti.viitanen@spu.fi

Sisällysluettelo

1. Yleistä 1
2. Matkapuhelinverkon kuuluvuuteen vaikuttavat tekijät 2
3. Tutkimus 5
3.1. Alustavat mittaukset 5
3.2. Ratkaisuvaihtoehtojen mittaukset pilottikohteissa 6
3.3. Tulokset 7
4. Rakenteelliset ratkaisut (SPU kännykkäkuuluvuuden varmistava ratkaisu) 9
4.1. SPU R-eristelevy 9
4.2. Levyn asennus, sijoittaminen ja määrä 10
4.3. Muut huomioonotettavat tekijät 11
5. Muut ratkaisut 14
5.1. Antennijärjestelmät 14
5.1.1. Passiivinen toistin 14
5.2. Kaapeli/valokuituverkko 16
5.3. Ikkunateollisuuden ratkaisut 16
LIITE 1 17

1. Yleistä

Matkapuhelinverkon (2G eli GSM, 3G ja 4G) käyttö kuuluu nykyään lähes jokaisen suomalaisen arkipäivään, niin kotona kuin työpaikalla. Verkon kuuluvuus ja kentän voimakkuus vaikuttavat merkittävästi palveluiden käytettävyyteen ja saatavuuteen. Matkapuhelinverkkoa käytetään yhä enemmän myös sisätiloissa, joissa lankapuhelimet ovat vaihtuneet matkapuhelimiin ja uuden sukupolven älypuhelimet valtaavat internet-sovelluksineen matkapuhelinmarkkinoita. Matkapuhelinverkon tulisi siis kuulua moitteettomasti myös sisätiloissa.

Matkapuhelinverkon kuuluvuus sisätiloissa on aiheuttanut paljon huolta rakennusalalla ja teleoperaattoreiden keskuudessa. Tieteellistä tutkimusta aiheesta huoneiston tai koko rakennuksen osalta ei ole aikaisemmin tehty, joten ongelmaan liittyvistä tekijöistä käytännön kohteissa ei ole ollut tieteellistä näyttöä ja ratkaisuvaihtoehtoja ei ole tutkittu objektiivisesti.

SPU Oy on tutkinut tätä ilmiötä Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) tietoliikennetekniikan laitoksen kanssa ja kehittänyt tutkitusti toimivia ratkaisumalleja SPU Eristeillä eristettyihin rakennuksiin. Näiden ratkaisujen lisäksi SPU Oy:ltä on tulossa lähitulevaisuudessa kokonaisvaltaisempia ratkaisuja uuden sukupolven lämmöneristeiden julkaisun yhteydessä.

2. Matkapuhelinverkon kuuluvuuteen vaikuttavat tekijät

Matkapuhelinverkon kuuluvuuteen sisätiloissa vaikuttaa monta tekijää ja heikon kuuluvuuden aiheuttajaksi on usein vaikea rajata yhtä tiettyä syytä. Heikon kuuluvuuden aiheuttaakin aina usean tekijän summa. Tämän vuoksi on tärkeää tunnistaa kaikki kuuluvuuteen vaikuttavat tekijät, jotta ne voidaan ottaa kokonaisuutena huomioon rakennuksen suunnitteluvaiheessa.

Ennen matkapuhelinverkon signaalit ovat päässeet vapaasti sisätiloihin ikkunoiden läpi, jolloin matkapuhelinverkolle ei ole ollut tarvetta järjestää muita reittejä. Tilanne on kuitenkin muuttunut uusien pinnoitettujen ikkunalasien myötä. Nämä pinnoitteet heijastavat tehokkaasti matkapuhelinverkon signaaleja, eivätkä päästä niitä lävitseen. Tilanne vaikeutuu entisestään, jos ikkuna koostuu useammasta pinnoitetusta lasikerroksesta.

Matkapuhelinverkon kentän voimakkuus rakennuksen ulkopuolella on keskeisin tekijä, kun tarkastellaan matkapuhelinverkon kuuluvuutta sisätiloissa. Erinomaisella kuuluvuusalueella matkapuhelinverkon signaalit saattavat päästä rakennuksen ulkovaipan läpi pienimmistäkin ”aukoista”, kuten ikkunan puisen karmin kautta tai muista koko ulkovaipan läpi menevistä puuosista. Tällöin signaalille ei välttämättä tarvitse järjestää erillistä reittiä sisätiloihin ja sisätiloissa voidaan käyttää ongelmitta matkapuhelinta. On kuitenkin suotavaa, että myös erinomaiselle kuuluvuusalueelle rakennettavaan rakennukseen järjestetään matkapuhelinverkolle erillinen reitti sisätiloihin, koska sillä voi olla merkittävä vaikutus lähitulevaisuudessa uusien tiedonsiirtoverkkojen ja esimerkiksi nettitikun tiedonvälitysnopeuksiin.

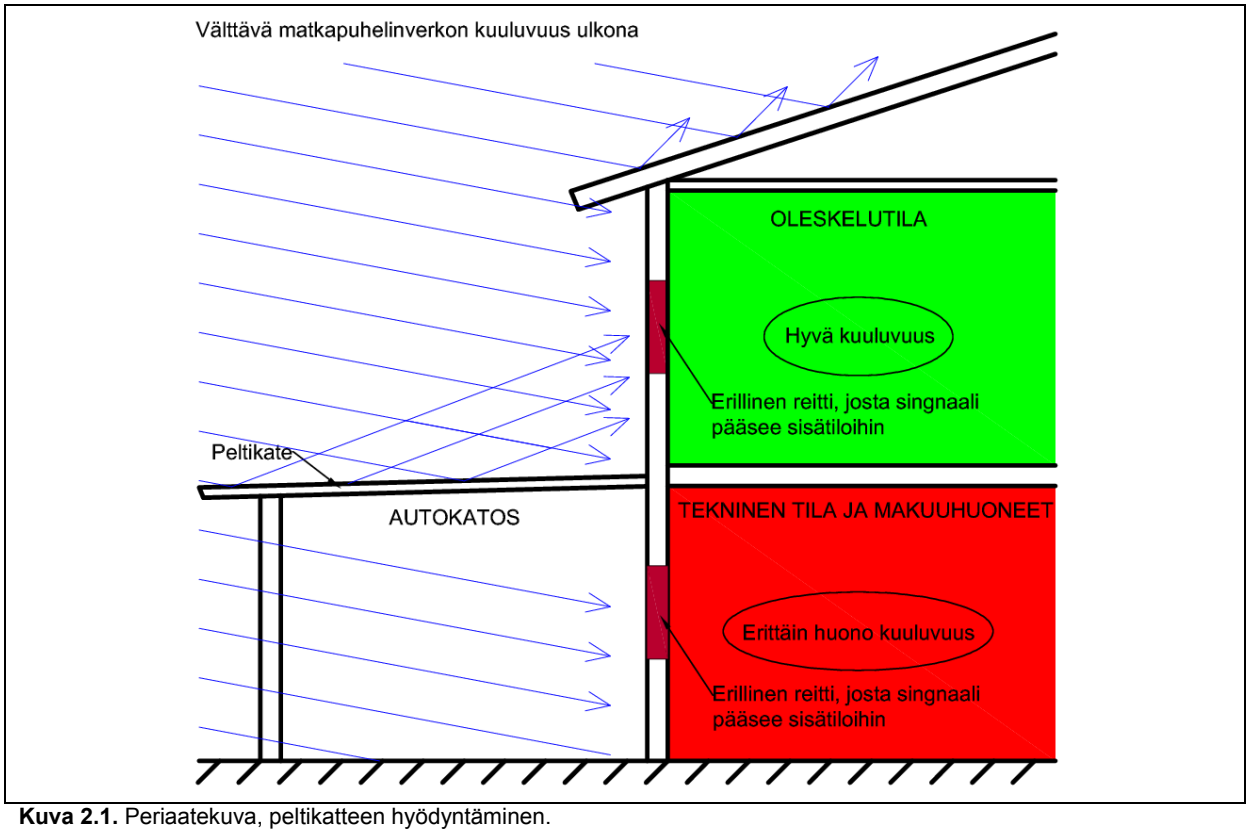
Välttävällä ja erityisesti heikolla kuuluvuusalueella matkapuhelinverkon signaali saattaa olla niin heikko, että se ei läpäise riittävässä määrin rakennuksen ulkovaippaa ja matkapuhelinta ei voida käyttää sisätiloissa lainkaan tai puhelut pätkivät. Hankalimmassa tapauksessa rakennus sijaitsee matkapuhelinverkon tukiaseman lähettämän signaalikeilan katveessa ja rakennuksen ulkovaippaan kohdistuvat heikentyneet signaalit ovat heijastuneet ja sironneet useiden eri pintojen, kuten muiden rakennusten, kasvillisuuden (esimerkiksi puiden lehtien) ja maan pinnanmuotojen kautta. Tällaisissa tapauksissa signaalille on järjestettävä erillinen reitti ulkovaipan läpi niin, että signaalin vaimennus on mahdollisimman pieni.

Matkapuhelinverkon kentän voimakkuus ja signaalin tulosuunta on tontilla aina operaattorikohtainen. Operaattoreilla on oman verkkonsa aluekohtaiset kuuluvuuskartat, mutta niistä eivät selviä yksittäisellä tontilla vallitsevat signaalitasot. Kentän voimakkuus voidaan mitata tontilla, mutta siihen tarvitaan ammattimittaaja ja erikoistyökalut. Pelkkään matkapuhelimella tehtyyn mittaukseen, jossa tarkastellaan ”kuinka monta palkkia puhelimen kentän voimakkuus on”, ei voi luottaa.

Kentän kuuluvuuden määrittämisen vaikeuden ja edellä mainittujen seikkojen vuoksi on suositeltavaa, että jokaiseen rakennukseen järjestetään matkapuhelinverkon signaalille erillinen reitti sisätiloihin. Lisäksi tontilla yhden operaattorin matkapuhelinverkon kentän voimakkuus voi olla erinomainen, mutta toisen äärimmäisen heikko. Jos asukkaat vaihtavat myöhemmin operaattoria tai hankkivat uuden puhelimen (puhelimien antenneissa on eroja), saattavat he kohdata kuuluvuusongelmia, joita ei aiemmin ollut.

Rakennuksen arkkitehtuuri ja ulkoseinien suunta vaikuttavat myös matkapuhelinverkon kuuluvuuteen. Matkapuhelinverkon signaali liikkuu pääasiallisesti horisontaalisesti, mutta heijastuneet ja sironneet signaalit voivat tulla seinälle myös loivasti yläviistosta. Tämän takia on suotavaa välttää erilaisten metallikatteiden ja katoksien sijoittamista erityisesti niiden tilojen ulkoseinien eteen tai päälle, joissa matkapuhelinverkon käyttö pääosin tapahtuu. Metallikatteet, kuten erilaiset profiilipellit, heijastavat tehokkaasti signaalia ja saattavat näin estää signaalin pääsyn lähes täysin ulkoseinälle.

Metallikatteita ja muita heijastavia pintoja voidaan käyttää myös hyödyksi, jos niiden ominaisuudet otetaan suunnitteluvaiheessa huomioon. Kuvassa 2.1 on esitetty esimerkkitapaus, jossa käytetään autokatoksen päälle asennettua peltikatetta hyödyksi kuuluvuuden parantamiseksi toisessa kerroksessa. Peltikate asennetaan niin, että se kasvattaa matkapuhelinverkon signaalin intensiteettiä toisen kerroksen ulkoseinällä parantaen matkapuhelinverkon kuuluvuutta oleskelutilassa ja vastaavasti heikentää kuuluvuutta teknisessä tilassa ja makuuhuoneissa.



Kuva 2.1. Periaatekuva, peltikatteen hyödyntäminen.

Jotta rakennuksen arkkitehtuuria ja rakenteita, kuten esimerkiksi seinien suuntausta ja peltikatteita, voidaan käyttää tehokkaasti hyväksi, täytyy ehdottomasti tietää matkapuhelinverkkojen signaalien tulosuunnat. Pahimmassa tapauksessa esimerkiksi peltikatteella seinälle heijastetun signaalin vaihe-ero on 180 astetta suoraan seinäpintaan tulevaan signaaliin nähden, jolloin signaalit kumoavat toisensa ja summakenttä on nolla. Hyvänä nyrkkisääntönä voidaan pitää, että jos tontin signaalitasoista ja suunnista ei ole tarkkaa tietoa, eli niitä ei ole erikseen mitattu, matkapuhelinverkon signaalille järjestettävät erilliset reitit sisätiloihin kannattaa sijoittaa mahdollisimman avonaisille pinnoille mahdollisimman kauaksi heijastavista rakenteista.

Rakennuksen ulkovaipan signaalinvaimennuskyky riippuu käytetyistä rakennusmateriaaleista. Rakennusmateriaalikohtaisesti vaimennuskykyyn ei vaikuta niinkään materiaalikerroksen paksuus, vaan materiaalin yleiset vaimennusominaisuudet. Matkapuhelinverkon kuuluvuusongelmat on usein rinnastettu valtamediassa energiatehokkaaseen rakentamiseen. Tämä ei kuitenkaan pidä paikkaansa, vaan kuuluvuusongelmat aiheutuvat edellä mainituista seikoista, kuten ikkunoiden pinnoitteista, matkapuhelinverkon kentän voimakkuudesta, arkkitehtuurista, rakenteellisista tekijöistä ja ympäristöstä sekä käytetyn matkapuhelimen ominaisuuksista. Lämmöneristepaksuudella ei ole tutkitusti mitään vaikutusta ulkovaipan matkapuhelinverkon signaalin vaimennukseen.

SPU Oy on tutkinut ja kehittänyt yhteistyössä TTY:n tietoliikennetekniikan laitoksen kanssa rakenteellisia ja erilaisilla laitteilla toteutettavia ratkaisuvaihtoehtoja matkapuhelinverkon kuuluvuuden parantamiseksi sisätiloissa. **Tämä suunnitteluohje on tarkoitettu käytettäväksi sellaisten rakennusten suunnittelussa, joissa käytetään pääasiallisena lämmöneristeenä SPU AL-eristelevyjä**. Käytettäessä pääasiallisena lämmöneristeenä SPU R- tai SPU FR-eristelevyjä ei tarvita erillisiä ratkaisuja kännykkäkuuluvuuden varmistamiseen.

Ratkaisujen taustalla oleva tutkimustyö, laboratoriokokeet sekä pilottikohdemittaukset on kuvattu lyhyesti kappaleessa 2. Rakenteellisia ja muita ratkaisuja on esitetty kappaleissa 3 ja 4. Kuvassa 2.2 on esitetty mittauskalustoa.

Kuva 2.2. Mittauskalustoa.

3. Tutkimus

Tutkimus tehtiin SPU Oy:n ja TTY:n tietoliikennetekniikan laitoksen yhteistyönä. TTY suoritti kaikki laboratorio- ja kenttämittaukset sekä mittausdatan käsittelyn ja analysoinnin. SPU Oy puolestaan organisoi mittaukset ja toi projektiin rakennusalan asiantuntemusta sekä näkemyksiä ratkaisuvaihtoehdoista ja niiden toteutuskelpoisuudesta. Tutkimuksen ensisijainen tavoite oli löytää SPU Eristeillä toteutettavia ratkaisuja kuuluvuuden parantamiseksi. Myös muita ratkaisuvaihtoehtoja tutkittiin, kuten passiivisia toistimia.

3.1. Alustavat mittaukset

Aluksi tutkimuksessa mitattiin SPU Eristeiden matkapuhelinverkon signaalinvaimennusominaisuuksia. Seuraavaksi siirryttiin mittaamaan SPU Eristeillä eristettyjä puu- ja betonirunkoisia seinärakenteita. Näiden mittauksien tuloksista oli selvästi nähtävissä, että SPU AL -eristeitä käytettäessä matkapuhelinverkon signaalille oli mahdollista järjestää pienin toimenpitein reitti puu-, teräs- tai tiilirunkoisen seinärakenteen läpi käyttäen uutta SPU R-eristelevyä, joka päästää matkapuhelinverkon signaalin käytännössä vaimentumattomana lävitseen. Tässä ratkaisussa osa ulkovaipan SPU AL-eristeestä korvataan SPU R-eristelevyllä, jolloin signaali pääsee eriste kerroksesta käytännössä vaimentumattomana sisätiloihin.

Betonirunkoinen ulkoseinärakenne oli kuitenkin haastavampi tapaus, koska pelkän betonikuoren matkapuhelinverkon signaalinvaimennus osoittautui erittäin suureksi. Muilla rakennekerroksilla, kuten lämmöneristeillä tai pintamateriaaleilla, ei ollut merkittävää vaikutusta betonirunkoisen seinänrakenteen signaalinvaimennukseen.

Betonirunkoisen seinärakenteen kohdalla ei siis ollut löydettävissä helppoja rakenteellista ratkaisua, kuten SPU R-eristeratkaisua, ilman suuria muutoksia itse betonikuoreen. Tutkimuksessa päätettiin edetä betonirakenteisen ulkoseinän osalta muilla ratkaisuilla, kuten passiivisella toistimella. Passiivisella toistimella toteutetussa ratkaisussa ulkoseinärakenteen ulkopuolelle ja sisäpuolelle asennetaan antennit ja liitetään ne yhteen pienihäviöisellä koaksiaalikaapelilla. Ulkoantenni vastaanottaa matkapuhelinverkon signaalin ja välittää sen passiivisesti (eli ilman vahvistinta) sisäantennille, joka säteilee signaalin sisätiloihin.

Kännykkäkuuluvuuden varmistavaa ratkaisua ja passiivisia toistimia mitattiin aluksi kahdella puurunkoisella kopilla, jotka olivat eristetty yhdellä ja kahdella SPU Eristekerroksella. Kännykkäkuuluvuuden varmistava ratkaisu osoittautui näissä mittauksissa erittäin lupaavaksi ratkaisuvaihtoehdoksi ja sitä päätettiin kokeilla rakenteilla olevissa pilottikohteissa. Kopit on esitetty kuvassa 3.1.

Passiivisilla toistimilla mittaukset eivät olleet yhtä lupaavia. Useiden antenniparien mittauksien jälkeen jouduttiin toteamaan, että markkinoilla ei ole todennäköisesti tällä hetkellä saatavilla sellaista antenniparia, jolla kuuluvuusongelma voitaisiin ratkaista. TTY ryhtyi kehittämään prototyyppiantenneja, joiden tekniikka ja rakenne oli suunniteltu nimenomaan passiiviseen järjestelmään. Yhdistelemällä näitä prototyyppiantenneja kaupallisiin, voimakkaasti suuntaaviin, yagi- tai paneeliantenneihin, onnistuttiin tuomaan signaali täysin passiivisesti sisätiloihin.

Mittaustuloksista oli kuitenkin selkeästi nähtävissä, että passiivinen järjestelmä voi toimia ainoastaan erittäin hyvällä kuuluvuusalueella. Passiiviset toistimet otettiin myös mukaan pilottikohdemittauksiin, koska niillä nähtiin olevan potentiaalia ratkaista kuuluvuusongelma tulevaisuudessa betonirunkoisissa rakennuksissa, jotka sijaitsevat erinomaisella tai hyvällä kuuluvuusalueella.

Kuva 3.1. Testikopit.

3.2. Ratkaisuvaihtoehtojen mittaukset pilottikohteissa

Kännykkäkuuluvuuden varmistavaa ratkaisua pyrittiin tutkimaan seuraavanlaisella mittaussuunnitelmalla:

> *Ensimmäisenä mittauspäivänä mitataan kohteeseen tulevan signaalin suunta ja matkapuhelinverkon kentän voimakkuus kohteen ulkopuolella. Sitten mitataan kentän voimakkuus kohteen sisällä alkutilanteessa ennen SPU R- eristelevyjen asennusta. Tässä vaiheessa mitataan myös passiivinen toistin. Päivän lopuksi merkitään kohteesta riippuen SPU R- eristelevyjen paikat asennusta varten. SPU R- eristelevyjä pyritään sijoittamaan jokaiselle seinälle noin 1 - 3 m^2.*
>
> *Välipäivänä SPU R- eristelevyt asennetaan paikoilleen.*
>
> *Toisena mittauspäivänä mitataan kentän voimakkuus kohteen sisällä, kun SPU R- eristelevyt ovat paikoillaan. Sitten osa SPU R- eristelevyistä peitetään heijastavilla levyillä ja mitataan sen vaikutus signaalin kuuluvuuteen. SPU R- eristelevyjä peitetään eri yhdistelmissä kohdekohtaisesti tarpeen mukaan, jotta saadaan selville SPU R- eristelevyjen sijoittamisen ja määrän vaikutus signaalin kuuluvuuteen.*

Pilottikohteita oli yhteensä seitsemän kappaletta, joissa kuudessa kohteessa mitattiin SPU R-eristelevyn vaikutusta ja neljässä kohteessa passiivisen toistimen vaikutuksia. Kohteet vaihtelivat laajasti toisistaan rakennusvaiheen, rakenteiden, arkkitehtuurin ja matkapuhelinverkon kuuluvuuden osalta. Näin saatiin hyvä kokonaiskuva erityyppisistä pientaloista ja niihin liittyvistä erityispiirteistä. Pilottikohteiden laaja kirjo edesauttoi myös ilmiöön liittyvien eri tekijöiden löytämisessä ja ymmärtämisessä. Pilottikohteet on esitelty lyhyesti taulukossa 3.1.

Taulukko 3.1 Pilottikohteet ja niissä tehdyt mittaukset

Kohde	Rakenne	SPU R	Passiivinen toistin
Omakotitalo 1	SPU Höyrynsulkuratkaisu Puurunko		X
Omakotitalo 3	SPU Höyrynsulkuratkaisu Puurunko	X	
Omakotitalo 4	SPU Eristeratkaisu Tiilirunko	X	X
Omakotitalo 5	SPU Höyrynsulkuratkaisu Puurunko	X	
Paritalo 1	SPU Höyrynsulkuratkaisu Puurunko	X	X
Paritalo 2	SPU Höyrynsulkuratkaisu Puurunko	X	X
Rivitalo 1	SPU Höyrynsulkuratkaisu Puurunko	X	

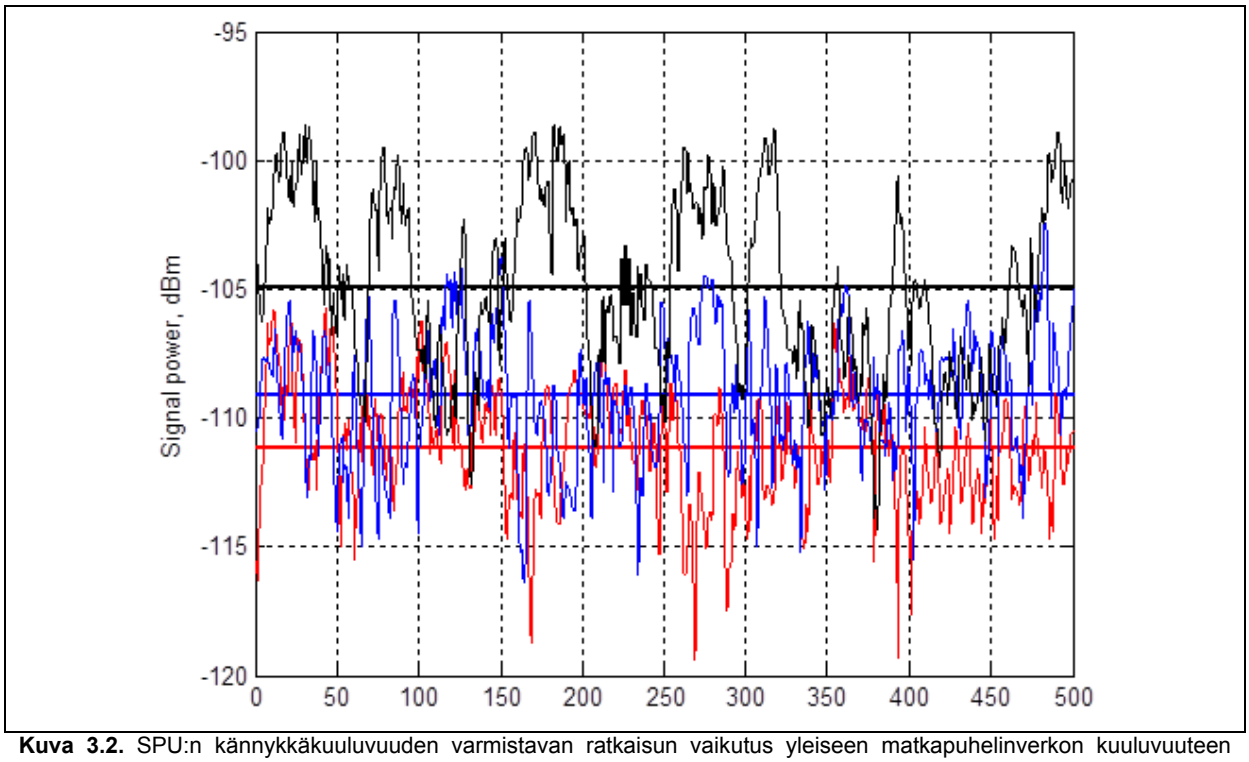
3.3. Tulokset

SPU:n kännykkäkuuluvuuden varmistavalla ratkaisulla onnistuttiin parantamaan matkapuhelinverkon kuuluvuutta yleisesti sisätiloissa kohteesta riippuen 4 - 6 dB ja signaalin tulosuunnassa olevien SPU R-eristelevyjen välittömässä läheisyydessä noin 10 dB. Desibeliasteikko on logaritminen. Esimerkiksi 3 dB:n parannus tarkoittaa käytännössä sitä, että matkapuhelinverkon kentän voimakkuus on kaksinkertainen, 10 dB:n parannuksella kymmenkertainen ja 20 dB:n parannuksella satakertainen alkuperäiseen tilanteeseen nähden.

Mittauksiin vaikutti paljon mitattavan kohteen rakennusvaihe. Sisälevytys oli useassa kohteessa jo osittain tehty ja SPU R-eristelevyjä ei voitu sijoittaa kaikille rakennuksen sivuille siinä laajuudessa, kuin alkuperäisessä suunnitelmassa oli suunniteltu. Pääosin tästä johtuen matkapuhelinverkon kuuluvuuden paranemisessa oli kohdekohtaisesti eroja.

Passiivisilla toistimilla saatiin parannettua matkapuhelinverkon kuuluvuutta pilottikohteissa 0 - 3 dB sisäantennin välittömässä läheisyydessä. Parannusta ei siis saatu aikaiseksi kohteissa, joissa kuuluvuus oli huono rakennuksen ulkopuolella. Kuuluvuutta onnistuttiin parantamaan ainoastaan TTY:n prototyyppiantenneilla.

Kuvassa 3.2 on esitetty matkapuhelinverkon kuuluvuuserot eri ratkaisuilla yhdessä pilottikohteessa. Suorat viivat ovat kuvaajien keskiarvoja. Alkuperäinen tilanne on merkitty punaisella, kännykkäkuuluvuuden varmistavan ratkaisun vaikutus mustalla ja passiivisen toistimen vaikutus punaisella. Kännykkäkuuluvuuden varmistavan ratkaisun kuvaaja kuvaa matkapuhelinverkon kuuluvuutta koko asunnossa ja passiivisen toistimen kuvaaja sisäantennin välittömässä läheisyydessä. SPU R-eristelevyn välittömässä läheisyydessä saavutetaan noin 10 dB:n parannus kuuluvuuteen. Kuvassa 3.3 on yhden pilottikohteen SPU R-eristelevy seinään asennettuna.



Kuva 3.2. SPU:n kännykkäkuuluvuuden varmistavan ratkaisun vaikutus yleiseen matkapuhelinverkon kuuluvuuteen asunnossa ja passiivisen toistimen vaikutus sisäantennin välittömässä läheisyydessä yhdessä pilottikohteessa. Alkutilanne punaisella, SPU ratkaisun vaikutus mustalla ja passiivisen toistimen vaikutus sinisellä.

Kuva 3.3. SPU R-eristelevy pilottikohteen seinässä (vasemman puoleisen ikkunan yläpuolella).

4. Rakenteelliset ratkaisut (SPU R)

SPU Oy on kehittänyt uuden tuotteen, SPU R-erikoislaminoidun eristelevyn, joka päästää käytännössä matkapuhelinverkkojen signaalit lävitseen vaimentumattomina. Tämä ratkaisu on tarkoitettu puu-, teräs- ja tiilirunkoisiin rakennuksiin.

Betonirunkoisen rakennuksen betonikerros vaimentaa voimakkaasti matkapuhelinverkon signaaleja, eikä muiden rakennekerrosten muuttamisella voida vaikuttaa käytännössä lainkaan matkapuhelinverkon kuuluvuuteen sisätiloissa. Lämmöneristeellä ei siis ole käytännössä vaikututusta betonielementin vaimennuskykyyn. Betonirunkoisissa rakennuksissa tulee käyttää muita ratkaisuja signaalin sisään tuomiseksi. Näitä ratkaisuja on esitetty kappaleessa 5.

Kännykkäkuuluvuuden varmistavaa ratkaisua voidaan käyttää täysin SPU Eristeillä esitetyssä tai SPU Höyrynsulkuratkaisulla (SPU AL + mineraalivilla) toteutetussa rakennuksessa. Molemmissa tapauksissa ratkaisun toimintaperiaate on sama; osa SPU AL eristelevystä korvataan SPU R-eristelevyllä, jolloin matkapuhelinverkon signaalit pääsevät käytännössä vaimentumattomina SPU R-eristelevyjen läpi sisätiloihin ja SPU AL eristelevyt heijastavat signaalit huoneistoon. Näin saadaan järjestettyä matkapuhelinverkon signaalille erillinen reitti ulkovaipan läpi ja mahdollisuudet moitteettomaan kuuluvuuteen sisätiloissa (edellyttäen, että suunnittelussa on otettu huomioon myös kappaleessa 2 esitetyt muut tekijät).

4.1. SPU R-eristelevy

SPU R-eristelevy on valmistettu polyuretaanista ja laminoitu molemmin puolin diffuusiotiiviillä alumiinivapaalla laminaatilla. Eristelevy on suunniteltu päästämään matkapuhelinverkon signaalit lävitseen vaimentumattomina ja näin parantamaan matkapuhelinverkon kuuluvuutta sisätiloissa. Alla on esitetty SPU R-eristelevyn kuva (4.1) ja keskeisimmät tiedot (taulukko 4.1).

Kuva 4.1. SPU R-eristelevy

Taulukko 4.1 Levykoot ja ominaisuudet

Levykoot	1200x2400
Paksuus	Varastopaksuudet 40, 50, 70, 100 ja 150 mm tai tilauksen mukaan
Lämmönjohtavuus	λ_U 0,023 W/mK
Pontti	Täyspontti levyn kaikilla reunoilla
Pinnoite	Diffuusiotiivis alumiinivapaa laminaatti levyn molemmin puolin

4.2. Levyn asennus, sijoittaminen ja määrä

SPU R-eristelevyt asennetaan samaan tapaan kuin muutkin SPU Eristeet, eli SPU vaahdotusohjeen [ohjekortti numero 101], SPU Eristeiden kiinnitysohjeen [ohjekortti numero 105] ja SPU Höyrynsulkuratkaisuohjeen [ohjekortti numero 106] mukaisesti rakenteesta riippuen rungon väliin tai yhtenäisenä levykerroksena rungon toiselle puolelle. Levyjen saumat vaahdotetaan polyuretaanisaumavaahdolla. SPU Höyrynsulkuratkaisussa suositellaan käytettäväksi levyjen saumoissa saumavaahdon lisäksi myös alumiiniteippausta. Rungon ja SPU R-eristelevyn väliin jätetään noin 15 mm vaahdotusvara ja eristelevy vaahdotetaan runkoon.

SPU R-eristelevyjä käytetään ainoastaan ulkoseinissä, koska matkapuhelinverkon signaalien liikkuessa pääasiallisesti horisontaalisesti SPU R-eristelevy ei paranna matkapuhelinverkon kuuluvuutta esimerkiksi yläpohjarakenteisiin asennettuna. Levyt sijoitetaan sille seinälle, joka on kohtisuoraan signaalin tulosuuntaan nähden. Signaalin tulosuunnasta ei kuitenkaan usein ole varmuutta, jos sitä ei ole erikseen mitattu. Lisäksi signaalin tulosuunta on operaattorikohtainen. Jos signaalien tulosuunnista ei ole varmuutta, sijoitetaan SPU R-eristelevyjä jokaiselle rakennuksen sivuille, jotta mahdollistetaan kaikkien operaattoreiden verkkojen kuuluvuus sisätiloissa.

Kun matkapuhelinverkon signaalit pääsevät SPU R-eristelevyn läpi sisätiloihin, ne heijastelevat eri pinnoista leviten koko huoneistoon. Hyvin heijastelevia pintoja ovat esimerkiksi SPU AL eristelevyjen pinnat, pinnoitettujen ikkunoiden sisäpinnat ja metallipinnat. Signaalien heijastelemista vaimentavat väliseinät ja -pohjat sekä kalusteet. Tyypillisesti puu- tai teräsrunkoinen välipohja/seinä vaimentaa signaalia noin 6 dB (eli neljäsosaan alkuperäisestä signaalitasosta). Ontelolaatta tai muu betonirakenteinen välipohja heikentää signaalia huomattavasti enemmän.

Tämän vuoksi SPU R-eristelevyt tulee sijoittaa niiden tilojen ulkoseinille, joissa matkapuhelinverkkoa pääasiallisesti käytetään. Näin saadaan varmistettua, että matkapuhelinverkon kuuluvuus ja tiedonsiirtoverkkojen tiedonvälitysnopeus on paras mahdollinen niissä tiloissa, joissa matkapuhelimia ja muita langattomia laitteita pääasiallisesti käytetään.

Matkapuhelinta voidaan toki käyttää myös niissä tiloissa, jotka ovat etäällä usean väliseinän tai välipohjan takana SPU R-eristelevyn asennuspaikasta. Verkon kuuluvuus on kuitenkin näissä tiloissa rajallisempi ja matkapuhelimen käyttö saattaa rajoittua ainoastaan puhelujen soittamiseen, koska tiedonsiirtoverkot (3G, 4G) tarvitsevat tyypillisesti huomattavasti korkeamman signaalitason toimiakseen kunnolla verrattuna esimerkiksi juuri GSM-puheluun (2G). SPU R-eristelevyä ei tule

sijoittaa sellaisiin paikkoihin, joiden eteen asennetaan metallista valmistettuja kalusteita, kuten esimerkiksi jääkaappeja tai pakastimia. SPU R-eristelevyjen asentamista myös muiden kiintokalusteiden taakse tulee välttää.

Liitteessä 1 on esitetty kaksi esimerkkitapausta SPU R-eristelevyn sijoitusvaihtoehdoista suhteessa matkapuhelinverkon tukiasemiin. Liitteen kuvissa on rakennuksen pohjakuva, johon on merkitty SPU R-eristelevyjen sijainnit, signaalien leviäminen ja jakautuminen sisätiloissa, eri operaattoreiden tukiasemat, muuta rakennettua ympäristöä ja kasvillisuutta.

Liitteen 1 esimerkkitapaukset ovat äärimmäisen yksinkertaistettuja. Todellisuudessa tonttikohtainen matkapuhelinverkkojen kuuluvuus ja tukiasemien lähettämät signaalikeilat ovat erittäin monimutkaisia kokonaisuuksia. Signaalikeila koostuu pääosin keilan sisäisistä voimakkaista heijastumista ja keilan ulkopuolelle heijastuvat signaalit ovat intensiteetiltään heikompia. Käytännössä on harvinaista, että rakennuksella on suora näköyhteys tukiasemaan. Esimerkkitapaukset osoittavat kuitenkin havainnollisesti tukiasemien ja SPU R-eristelevyjen sijainnin sekä operaattoreiden matkapuhelinverkkojen tulosuuntien vaikutuksen lopputulokseen.

Pääsääntöisesti jokaiselle ulkoseinälle riittää yksi kokonainen SPU R-eristelevy. Arkkitehtuurista riippuen levyjä voidaan asentaa useampiakin. Esimerkiksi kaksikerroksisissa rakennuksissa levyn asentamista molempiin kerroksiin voidaan harkita, jos molemmissa kerroksissa oleskellaan ja kerrosten välillä ei ole selkeää reittiä josta signaali pääsee heijastelemaan kerroksesta toiseen. Lisäksi hyvin erikoisen muotoisissa tai pitkissä rakennuksissa saattaa olla tarvetta useammalle levylle ulkoseinää kohden. SPU R-eristelevyjen määrää ei tule kuitenkaan kasvattaa liikaa, jotta sisälle päässyt signaali pystyy heijastelemaan SPU AL eristepinnoista huoneistossa.

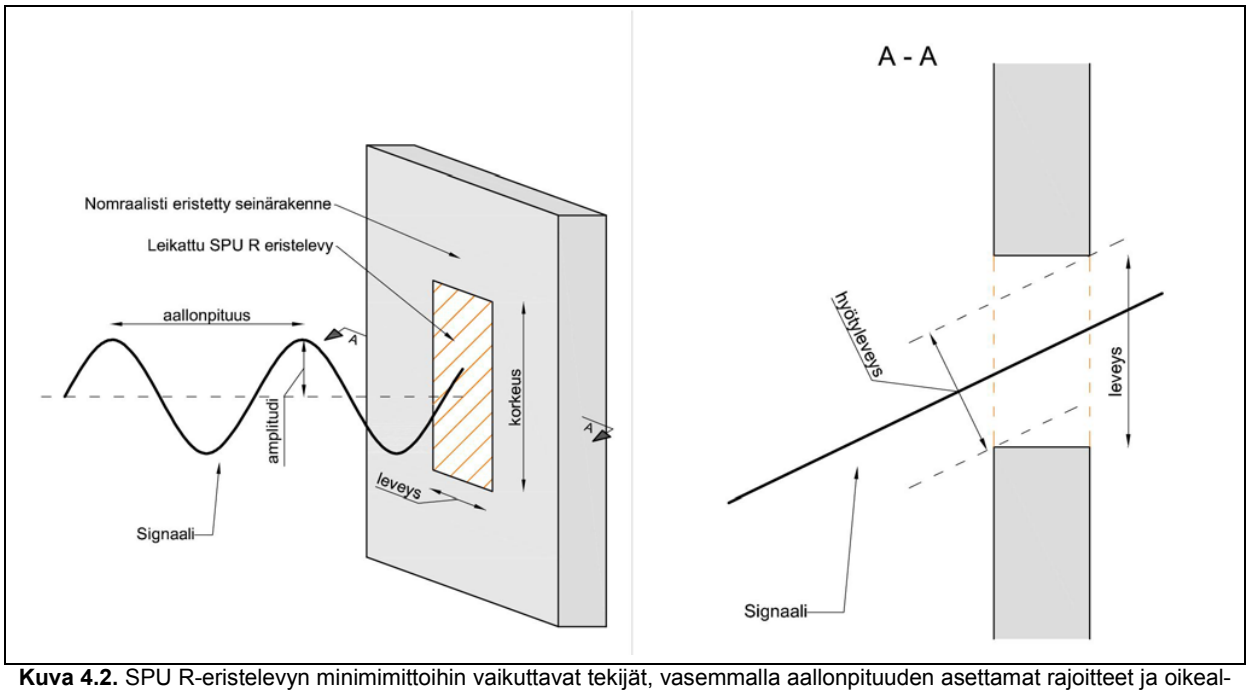
Kokonaiselle SPU R-eristelevylle ei välttämättä aina löydy oleskelutilojen jokaiselta ulkoseinältä tilaa, jos seinillä on esimerkiksi paljon ikkunoita. Tällöin SPU R-eristelevy voidaan asentaa kapeampana ja/tai matalampana. Seinärakenteen SPU R-eristelevyn minimikorkeutta ja -leveyttä on käsitelty tarkemmin seuraavassa kappaleessa 4.3.

4.3. Muut huomioonotettavat tekijät

Matkapuhelinverkon signaali tarvitsee riittävän suuren aukon päästäkseen sisätiloihin ja aina tilaa jokaisella ulkoseinällä kokonaiselle SPU R-eristelevylle ei ole. Tällaisia paikkoja ovat usein esimerkiksi olohuoneiden seinät, joissa on suuria ikkunoita. Tällöin SPU R-eristelevy voidaan leikata pienemmäksi ja asentaa esimerkiksi kahden ikkunan väliin.

Matkapuhelinverkkojen signaalit värähtelevät pystysuunnassa (katso kuva 4.2), joten on tärkeää, että aukko on riittävän korkea. Lisäksi signaalit saattavat tulla viistosta seinän suuntaan nähden, joten aukon hyötyleveys on usein aukon todellista leveyttä pienempi (katso kuva 4.2). SPU R-eristelevyllä tehtävän aukon minimikokoa voidaan arvioida teorian kautta ja mittausten perusteella. SPU R-eristelevyn minimikorkeuden ja -leveyden määrittäminen teorian kautta perustuu aallonpituuteen, joka vaihtelee taajuuden funktiona kaavalla (1). Ilmiöön liittyy paljon muitakin tekijöitä, joita tässä suunnitteluohjeessa ei käsitellä niiden laajuuden vuoksi.

$$aallonpituus = \frac{valonnopeus\ [m/s]}{signaalin\ taajuus\ [Hz]} = [m] \qquad (1)$$



Kuva 4.2. SPU R-eristelevyn minimimittoihin vaikuttavat tekijät, vasemmalla aallonpituuden asettamat rajoitteet ja oikealla tulokulman vaikutus.

Tällä hetkellä kuluttajaverkon suurin mahdollinen aallonpituus on 900 mHz taajuudella 300 mm. Viranomaistaajuuksilla (VIRVE-verkko) suurin mahdollinen aallonpituus on 380 mHz taajuudella noin 800 mm. Jotta signaali mahtuu varmuudella SPU R-eristelevystä sisään kaikki ilmiöön liittyvät tekijät huomioon otettuna, voidaan arvioida, että levyn korkeuden tulee olla noin kaksinkertainen signaalin aallonpituuteen nähden ja leveyden yhtä suuri kuin signaalin aallonpituus.

Näin ollen suositeltava SPU R-eristelevyn minimikorkeus on noin 1200 mm ja minimileveys noin 600 mm, eli leveyden puolesta yhden k600 runkotolpan väli riittää. Viranomaistaajuudet ovat huomattavasti kuluttajaverkon taajuuksia matalampia ja läpäisevät lähtökohtaisesti paremmin eri materiaaleja. Tämän vuoksi aukon suositeltavaksi minimikorkeudeksi riittää 1200 mm. SPU R-eristelevy kannattaa kuitenkin asentaa aina mahdollisimman korkeana ja leveänä.

Jos seinälle ei mahdu koko seinän korkuista SPU R-eristelevyä ja levy joudutaan leikkaamaan matalammaksi, tulee levy asentaa niin, että sen keskikohta on noin 1500 mm korkeudella lattian yläpinnasta. Näin varmistutaan siitä, että matkapuhelinverkon signaalit pääsevät mahdollisimman voimakkaina sisätiloihin.

SPU Oy:n ja TTY:n tekemässä tutkimuksessa mitattiin myös pienempien aukkojen vaikutusta signaalitasoihin. Tutkimuksessa ilmeni, että signaalitasot alkoivat parantua yli 35 cm korkeilla ja 15 cm leveillä SPU R-eristelevyillä, kun signaalin tulosuunta on kohtisuoraan SPU R-eristelevyyn nähden. Tämä tukee myös teorian kautta muodostettua käsitystä SPU R-eristelevyn minimimitoista.

Mikäli SPU R-eristelevyä ei ole saatavilla oikean paksuisena ja kokoisena, voidaan käyttää SPU AL eristelevyä poistamalla levyn molemmat laminaatit. Laminaatti lähtee helposti irti kooditekstin puolelta, mutta toiselta puolelta laminaatin poistaminen voi olla työläämpää. Laminaatin poistami-

nen SPU AL eristelevystä heikentää levyn vesihöyrynvastusta ja hieman lämmönjohtavuutta. Tämä ei kuitenkaan käytännössä vaikuta lainkaan koko rakennuksen energiatalouteen. Kuoritun SPU AL eristelevyn vesihöyrynvastusta voidaan parantaa sisäpintaan teipattavalla diffuusiotiiviillä höyrynsulkumuovilla. Tämä ei kuitenkaan usein ole tarpeen, vaan kuoritun SPU AL eristelevyn vesihöyrynvastus on riittävä höyrynsuluksi. Kuvassa 4.3 on kuorittu SPU AL eristelevy asennettuna pilottikohteen seinään.

Kuva 4.3. Kuorittu SPU AL eristelevy pilottikohteen seinässä.

5. Muut ratkaisut

5.1. Antennijärjestelmät

Matkapuhelinverkon signaalin tuominen sisään voidaan tehdä erilaisilla antennijärjestelmillä. Tällaisia järjestelmiä langattomille laitteille ovat muun muassa passiivinen toistin ja aktiivinen toistin. Molemmissa järjestelmissä on ulkoantenni ja sisäantenni, jotka ovat kytkettynä toisiinsa. Aktiivisessa järjestelmässä näiden antennien välissä on vahvistin, joka vahvistaa signaalia parantaen merkittävästi järjestelmällä saavutettua parannusta kuuluvuudessa. Aktiivinen järjestelmä saattaa kuitenkin häiritä muita verkkoja aiheuttaen ongelmia esimerkiksi muiden verkon käyttäjien kuuluvuudessa. Tämän vuoksi aktiivisia toistimia saa asentaa ainoastaan operaattorit ja ne ovat usein hyvin kalliita.

Passiivisessa järjestelmässä ei ole vahvistinta, vaan antennit ovat liitettynä toisiinsa ainoastaan koaksiaalikaapelilla. Passiiviset järjestelmät eivät häiritse muita verkkoja, joten niitä saa asentaa kuka tahansa. Vahvistamattoman passiivisen järjestelmän haaste on antenneissa, liitoksissa ja kaapelissa tapahtuvat signaalihäviöt. Aktiivisen järjestelmän häviöillä ei ole suurta merkitystä, koska signaalia voidaan tarvittaessa vahvistaa, mutta passiivisessa järjestelmässä häviöillä on merkittävä vaikutus järjestelmän toimivuuteen. Tämän vuoksi on tärkeää, että passiivisen järjestelmän molemmat antennit ovat teknisesti suunniteltu toimimaan parina ja niiden välissä käytetään mahdollisimman lyhyttä ja valmiiksi oikean mittaiseksi leikattua vähähäviöistä kaapelia. Passiivisesta järjestelmästä on tarkempaa tietoa kappaleessa 5.1.1.

Kiinteiden laitteiden matkapuhelinverkon kuuluvuuden parantamiseksi Viestinvirasto on laatinut ohjeen erilaisista ratkaisuista, jossa ulkoantenni liitetään suoraan käytettävään laitteeseen. Tämä ohje on ladattavissa Viestintäviraston kotisivuilta:
http://www.viestintavirasto.fi/index/puhelin/ohjeitakuuluvuudenparantamiseen.html

5.1.1. Passiivinen toistin

Markkinoilla on tarjolla paljon erilaisia antenneja. Keskeisimmät antennien ominaisuudet passiivisen järjestelmän kannalta ovat antennien suuntaavuus ja taajuusalue. Antennien vahvistuskyky riippuu pääosin näistä kahdesta tekijästä ja järjestelmässä käytettävien komponenttien laadusta. Jos antenni toimii laajalla taajuusalueella (2G, 3G ja 4G) sillä on pieni vahvistuskyky verrattuna kapealla taajuusalueella toimivaan antenniin (esimerkiksi vain 2G). Lisäksi antennin vahvistuskykyyn vaikuttaa antennin suuntaavuus, eli kuinka suuressa kulmassa antenni säteilee. Suuressa kulmassa säteilevän, kuten 360 astetta ympärisäteilevän, antennin vahvistuskyky on heikompi kuin pienemmässä kulmassa säteilevän suunta-antennin.

Lisäksi vahvistuskykyyn vaikuttavat antennien osien ja liittimien laatu sekä käytettävän koaksiaalikaapelin laatu. Laadukkaista komponenteista kootun järjestelmän sisäiset häviöt ovat lähtökohtaisesti pienempiä.

Kuten edellä jo todettiin, SPU Oy:n ja TTY:n tutkimuksessa testattiin useita eri antenniyhdistelmiä. Ainoassa antenniparissa, jolla saatiin parannettua kuuluvuutta sisätiloissa, ulkoantenni oli hyvin pienessä kulmassa säteilevä kaupallinen yagi-antenni ja se säädettiin tarkoilla mittaustoimenpiteillä osoittamaan signaalin tulosuuntaan. Sisäantenni oli TTY:llä kehitetty prototyyppi-antenni, joka sä-

teili 60 asteen kulmassa. Järjestelmässä käytettiin ainoastaan erittäin korkealaatuisia ja vähähäviöisiä osia, liittimiä ja kaapeleita. Kuvassa 5.1 on esitetty kaksi erilaista antennia, joita käytettiin mittauksissa.

Kuva 5.1. Kaksi mittauksissa käytettyä antennia ilman muovikoteloita.

Mittausten perusteella voidaan todeta, että parhaimmillaankin passiivisella toistimella voidaan saada parannusta aikaan yhdessä huoneessa. Koska ulkoantennin täytyy olla mahdollisimman hyvin suuntaava, täytyy signaalin tulosuunta tietää tarkasti. Signaalin tulosuunta on operaattorikohtainen, joten tehokkain ratkaisu on aina operaattorikohtainen. Lisäksi ulkona täytyy olla hyvä kuuluvuus. Heikolla kuuluvuusalueella signaali vaimenee kokonaan passiivisen järjestelmän sisäisiin häviöihin. Sisäantennin sijoittelun ratkaisee käytännössä talon muoto, kalustus ja käyttö. Keskeistä on pitää ulko- ja sisäantennin välinen kaapeli mahdollisimman lyhyenä, jotta häviöt kaapelissa olisivat mahdollisimman pieniä.

Passiivinen toistin ei siis ole lähtökohtaisesti paras ratkaisu puu-, teräs-, tai tiilirunkoisiin rakennuksiin, joissa matkapuhelinverkon kuuluvuus voidaan varmistaa kännykkäkuuluvuuden varmistavalla ratkaisulla. Passiivisella toistimella on kuitenkin mahdollista parantaa tapauskohtaisesti matkapuhelinverkon kuuluvuutta jo rakennetussa rakennuksessa. Passiivisen toistimen soveltuvuus kohteeseen täytyy kuitenkin aina varmistaa kohteessa tehtävin mittauksin ja kohdekohtaisella suunnittelulla, jonka voi tehdä vain alan ammattilainen. On myös hyvä muistaa, että kaupallinen passiivinen ratkaisu vaatii kuitenkin vielä antennien kehittämistä.

Betonirakenteen signaalin vaimennuskyky on niin suuri, että erinomaisella kuuluvuusalueella kuuluvuus saattaa olla sisätiloissa heikko. Näissä rakennuksissa on myös mahdollista parantaa matkapuhelinverkon kuuluvuutta passiivisella toistimella edellä mainituin keinoin ja rajoituksin.

5.2. Kaapeli/valokuituverkko

Tulevaisuudessa on mahdollista, että matkapuhelinverkko voidaan tuoda sisälle kaapelin tai valokuidun kautta kytkemällä siihen erillinen laite. Laite toimii sisäantennin tavoin välittäen rakennuksen sisällä tapahtuvan matkapuhelinliikenteen kaapelia/valokuitua pitkin operaattorin verkkoon. Tämän laitteen toiminnan kannalta on hyödyllistä, että suurin osa seinistä SPU AL eristettyjä, jolloin laitteen lähettämä verkko heijastelee koko asuntoon.

On mahdollista, että tulevaisuudessa sisätilan verkko velvoitetaan eristämään ulkona olevasta verkosta, jotta sisäverkko ei häiritse ulkoverkkoa. Tämä voidaan toteuttaa helposti puu-, teräs- ja tiilirunkoisissa rakennuksissa SPU AL eristelevyllä. Tällä hetkellä näyttää siltä, että matkapuhelinverkon peittävyyden rinnalla kiinnitetään yhä enemmän huomiota matkapuhelinverkon kapasiteetin parantamiseen, jossa verkko tuodaan sisälle vahvistimen kautta ja eristetään sinne ulkoverkosta. Tämä teknologia on kuitenkin vielä kehittelyasteella ja varovaisten ennusteiden mukaan kaupallisia sovelluksia on tulossa markkinoille aikaisintaan vuonna 2017.

5.3. Ikkunateollisuuden ratkaisut

Myös ikkunateollisuus kehittää kuuluvuusongelmaan ratkaisuja, kuten uudentyyppisiä pinnoitteita ikkunalaseihin, jotka eivät heijasta ja vaimenna matkapuhelinverkon signaaleja niin voimakkaasti, kuin normaalit pinnoitteet. On mahdollista, että myös näillä uusilla pinnoitteilla varustetuilla ikkunoilla voidaan saada riittävän hyvä kuuluvuus sisätiloissa. Tämä riippuu myös ulkona olevan matkapuhelinverkon voimakkuudesta.

Tällä hetkellä markkinoilla olevilla ikkunoilla voidaan myös parantaa kuuluvuutta sisätiloissa. Yksi vaihtoehto on asentaa jokaiselle talon sivulle yksi normaalikokoinen ikkuna (esimerkiksi 1200 x 1200 mm), jossa ei ole signaalia vaimentavia pinnoitteita. Tällöin nämä ikkunat toimivat SPU R-eristelevyn tavoin päästäen signaalit sisään käytännössä vaimentumattomina.

Näitä pinnoittamattomia ikkunoita voidaan käyttää myös kännykkäkuuluvuuden varmistavan ratkaisun kanssa. Yhden tai useamman seinän SPU R-eristelevy voidaan korvata tarvittaessa pinnoittamattomalla ikkunalla, jos arkkitehtuuri sitä vaatii. Esimerkiksi jos SPU R-eristelevylle ei löydy sopivan kokoista paikkaa ulkoseinältä, jossa on paljon ikkunoita, voidaan yksi ikkunoista korvata pinnoittamattomalla ikkunalla ja jättää asentamatta kokonaan kyseisen seinän SPU R-eristelevy.

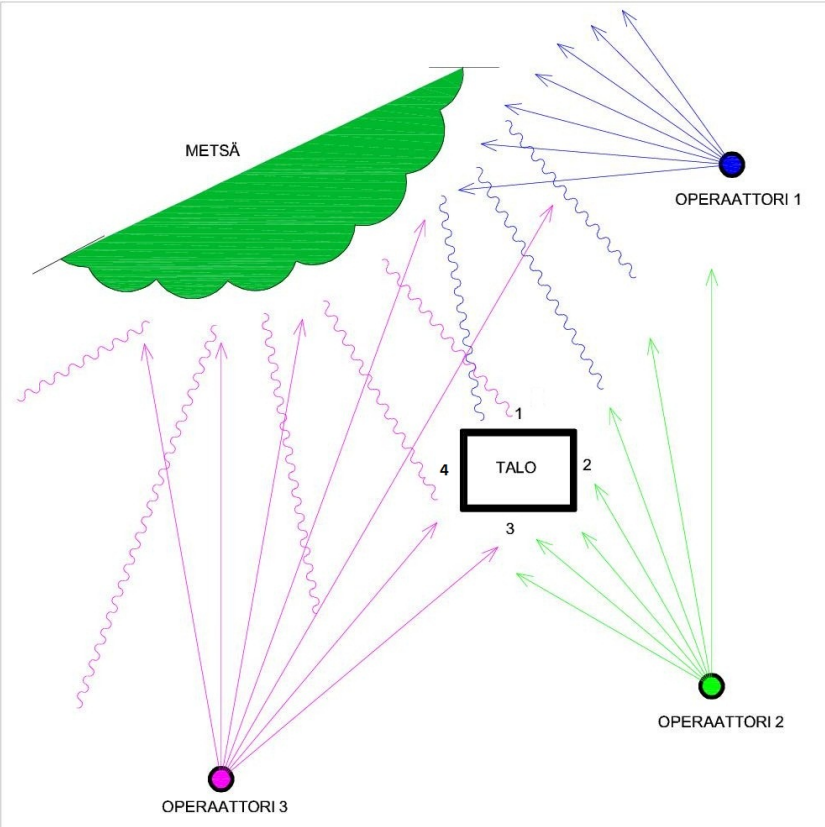
LIITE 1

ESIMERKKITAPAUS 1

Operaattori 2 ja 3 tukiasemat ovat suunnattu talon kannalta edulliseen suuntaan, mutta operaattori 1 tukiasema on suunnattu poispäin talosta.

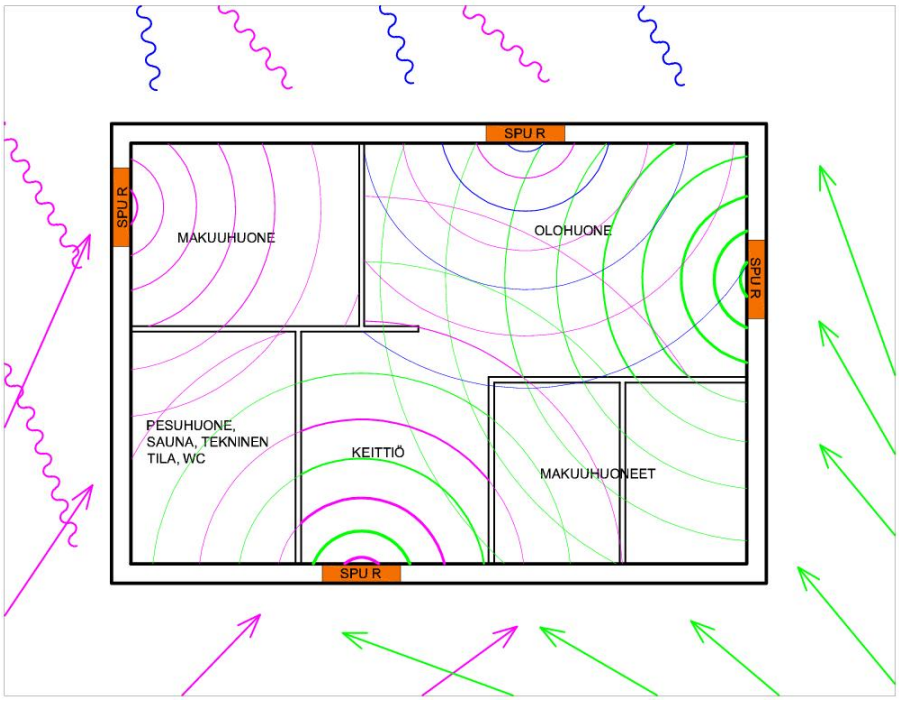
Operaattori 1 tukiaseman lähettämät signaalit siroavat ja heijastuvat metsän kasvillisuudesta ainoastaan yhdelle talon ulkoseinälle (seinä 1).

Operaattori 2 tukiaseman signaalit säteilevät suoraan kahdelle talon ulkoseinälle suurella intensiteetillä (seinät 2 ja 3).



Operaattori 3 tukiaseman signaalit säteilevät suoraan kohtalaisella intensiteetillä kahdelle talon ulkoseinälle (seinät 3 ja 4). Lisäksi signaalit heijastuvat ja siroavat metsän kasvillisuudesta heikosti seinälle (seinät 4 ja 1).

Alhaalla olevasta kuvasta nähdään, että kaikille seinille täytyy asentaa SPU R-eristelevy, jotta talossa voidaan käyttää kaikkien operaattoreiden palveluja. Heijastuneet signaalit ovat huomattavasti heikompia, kuin tukiasemasta suoraan tulevat signaalit.



Todennäköisesti ilman SPU R-eristelevyjä operaattori 2 ja 3 verkot kuuluisivat sisällä, mutta operaattori 1 verkko ei. Nyt kuitenkin SPU R-eristelevyjä käytettäessä kaikki verkot kuuluvat hyvin sisällä. Oleskelutiloissa on levyjen sijoittelun ansiosta paras kuuluvuus kaikilla operaattoreilla.

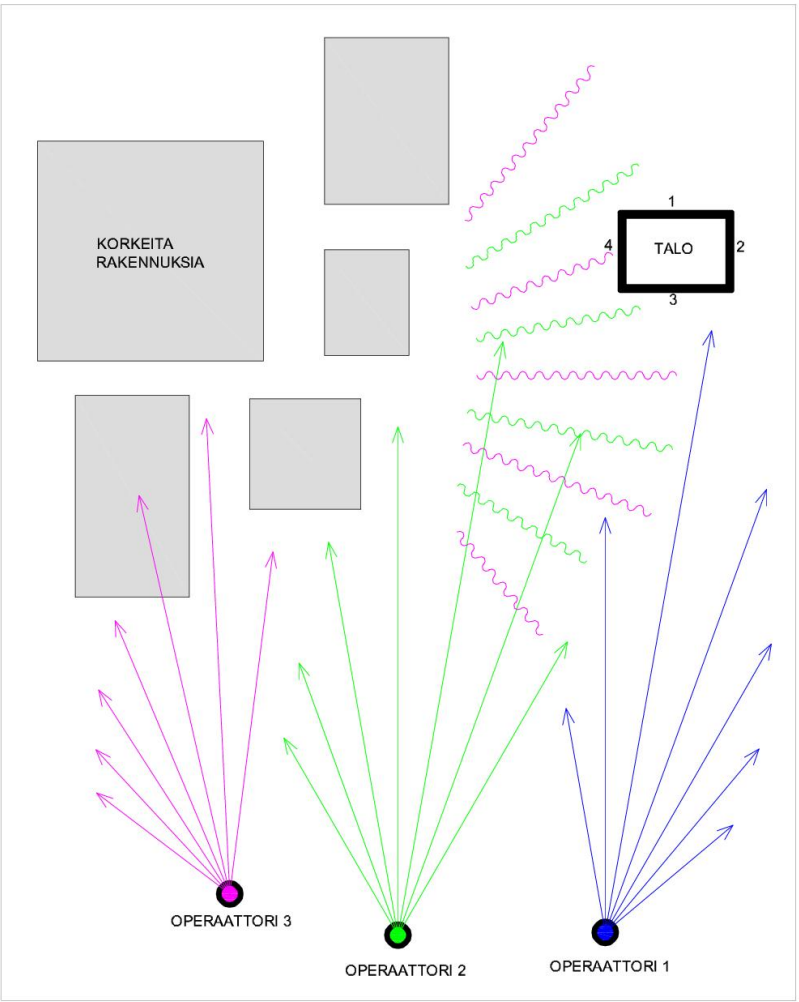
ESIMERKKITAPAUS 2

Tässä esimerkkitapauksessa kaikkien operaattoreiden tukiasemat sijaitsevat samalla suunnalla ja ne ovat suunnattuina osittain talon suuntaan.

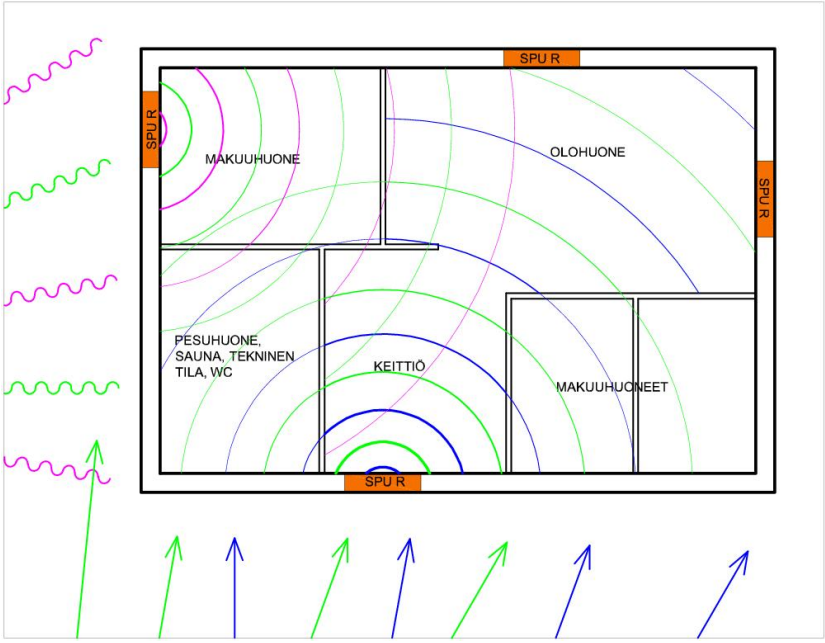
Operaattori 1 tukiaseman signaalit säteilevät suoraan talon yhdelle ulkoseinälle hyvällä intensiteetillä (seinä 3).

Operaattori 2 tukiaseman signaalit säteilevät suoraan kohtalaisella intensiteetillä kahdelle talon ulkoseinälle (seinät 3 ja 4). Lisäksi signaalit heijastuvat ja siroavat korkeista rakennuksista heikosti kahdelle seinälle (seinät 4 ja 3).

Operaattori 3 tukiaseman lähettämät signaalit siroavat ja heijastuvat korkeista rakennuksista ainoastaan yhdelle talon ulkoseinälle (seinä 4).



Kuten alhaalla olevasta kuvasta nähdään, nyt matkapuhelinverkkojen signaalit kohdistuvat ainoastaan talon kahdelle seinälle (seinät 3 ja 4). Seinien 1 ja 2 SPU R-eristelevyillä ei siis ole merkittävää vaikutusta matkapuhelinverkon kuuluvuuteen sisätiloissa.



Näiden yksinkertaistettujen esimerkkien avulla on helppo huomata, että jokainen rakennus on matkapuhelinverkon kuuluvuuden kannalta erilainen ja tilanteeseen vaikuttaa monta muuttujaa. Tämän vuoksi on tärkeää, että SPU R-eristelevyt asennetaan aina kaikille talon seinille, jos signaalien tulosuunnasta ei ole tarkempaa tietoa. Tällöin voidaan varmistua siitä, että matkapuhelinverkkojen signaalin sisäänpääsyyn on aina rakenteelliset edellytykset.