

Mikael Mattila

Matkaviestinverkon kuuluvuusratkaisuihin varautuminen rakennuksen suunnitteluvaiheessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

16.4.2018

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Mikael Mattila Matkaviestinverkon kuuluvuusratkaisuihin varautuminen rakennuksen suunnitteluvaiheessa 30 sivua 16.4.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkötekniikan koulutusohjelma
Ammatillinen pääaine	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Hankekehityspäällikkö Timo Iltanen Lehtori Jarmo Tapio
<p>Insinööritö tehtiin Optiplan Oy:n sähkösuunnitteluosastolle. Perimmäisenä syynä työlle oli uusien rakennusten sisätiloissa esiintyvät matkapuhelinverkon kuuluvuusongelmat. Uusissa rakennuksissa esiintyvistä kuuluvuusongelmista löytyy raportteja, mutta niissä ei kerrota miten sisäkuuluvuus ratkaisuihin tulisi varautua sähkösuunnittelussa.</p> <p>Työssä selvitettiin rakenteellisia ratkaisuja sisäkuuluvuuden parantamiseen ja vertailtiin niiden toimivuutta. Rakenteellisten ratkaisujen lisäksi työssä perehdyttiin sisäantenniverkkoratkaisuun. Sisäantenniverkon toteuttamista ja suunnitteluvaatimuksia tarkasteltiin sähkösuunnittelun näkökulmasta.</p> <p>Lopputuloksena saatiin opas, jonka avulla sähkösuunnittelija voi perehtyä sisäkuuluvuutta parantaviin ratkaisuihin. Erityisesti perehdyttiin sisäantenniverkon vaatimiin laitetiloihin, kaapelireitteihin ja sähkönsyöttö tarpeisiin. Työ auttaa hahmottamaan, miten sisäantenniverkko tulisi huomioida aikaisessa suunnitteluvaiheessa.</p>	
Avainsanat	sisäantenniverkko, matkapuhelinverkko, sisäkuuluvuus

Author Title Number of Pages Date	Mikael Mattila Mobile Network Problem Preparedness in Building Design 30 pages 16 April 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Timo Iltanen, Project Development Manager Jarmo Tapio, Senior Lecturer
<p>This study was done for Optiplan Oy. The need for the study arose from the operation problem of mobile networks inside buildings. In this study, factors affecting indoor radio network and how to evaluate these in the assessment of indoor network solutions were investigated.</p> <p>Structural solutions for improving the indoor network was investigated and solutions were compared. In addition, the study familiarized with the indoor antenna network solution. The implementation of the indoor antenna network and the design requirements were investigated from an electrical designer perspective.</p> <p>As the result of the study, a guide was created to help the electrical designer learn about solutions on how to improve indoor radio network. The study was focused on equipment facilities area, cable tray, and power supply required by the indoor antenna network. This work clarifies how the indoor antenna network should be taken into account at an early stage of design.</p>	
Keywords	Distributed antenna system, DAS, mobile network

Sisällys

Lyhenteet

1 Johdanto	1
2 Matkapuhelinverkko	2
3 Sisäkuuluvuuteen vaikuttavat tekijät	3
3.1 Rakenteelliset ratkaisut	4
3.2 Selektiivilasit	6
3.3 Ympäristön vaikutus	7
4 Rakenteelliset ratkaisut kuuluvuuden parantamiseksi	8
4.1 RF-aukot	8
4.2 Antennielementit	9
4.3 Ikkunat	11
5 Sisäantenniverkko kuuluvuuden parantamiseksi	12
5.1 Sisäantenniverkon rakenne	12
5.2 Sisäantenniverkon toteuttaminen	18
6 Sisäantenniverkon huomiointi suunnitteluvaiheessa	24
6.1 Laitetilan tilavaraukset	24
6.2 Sähkönsyöttö	25
6.3 Kaapelireitit	26
6.4 Maadoitus ja potentiaalintasaus	27
7 Yhteenveto	28
Lähteet	29

Lyhenteet

GSM	Toisen sukupolven matkapuhelinverkko, jota käytetään pääasiassa puheluiden ja tekstiviestien välittämiseen.
3G	Kolmannen sukupolven matkapuhelinverkko, jota käytetään pääasiassa datasiirtoon.
4G	Neljännän sukupolven matkapuhelinverkko. Erona 3g-verkkoon on suuremmat datasiirtonopeudet.
VIRVE	Lyhenne viranomaisverkosta.
MHz	Taajuuden yksikkö (Megahertsi).
dB	Desibeli on suhdeluku joka kuvaa signaalien tason muutosta.
Sisäantenniverkko	Rakennuksen sisätiloissa oleva matkaviestinverkko.
WLAN	Langaton lähiverkko, josta käytetään myös nimitystä Wi-Fi.
RF	(Radio frequency) Radiotaajuus.
RF-aukko	Rakenne joka läpäisee radiosignaaleja ympäröivää rakennetta paremmin.

1 Johdanto

Uusissa asuin kerrostaloissa on havaittu suuri ongelmia matkapuhelinverkkojen toimivuudessa, joissain tapauksissa rakennuksen sisällä ei ole ollut lainkaan toimivaa matkapuhelinverkkoa. Huonon sisäkuuluvuuden perimmäisenä syynä pidetään tiukentuneiden energiamääräysten vaatimia rakennusmateriaaleja ja ratkaisuja, jotka haittaavat matkapuhelin signaalien kulkeutumista rakennuksen ulkokuoren läpi.

Tämän insinööriyön tarkoituksena on selvittää eri kuuluvuusratkaisuja ja miten niihin voitaisiin varautua jo aikaisessa vaiheessa. Työssä perehdytään erityisesti sisäantenni-verkkoratkaisuun sekä sen vaatimiin tilavarauksiin, sähkönsyöttöön ja kaapelireitteihin. Sisäantenniverkko joudutaan yleensä rakentamaan pakonedessä rakennuksen ollessa melkein valmis, joten aikaisessa vaiheessa suunnitelluilla laitetiloilla ja kaapelireiteillä pystytään huomattavasti helpottamaan sisäantenniverkon rakentamista.

Insinööriyön tavoitteena on luoda ohje sähkösuunnittelijalle, jonka avulla voidaan perehtyä eri kuuluvuusratkaisuihin. Työssä tarkastellaan erityisesti sitä miten sisäantenniverkon mahdolliseen tulemiseen voitaisiin varautua tilavarauksia ja varsinaisia sähkösuunnitelmia tehdessä.

Aiheen insinööriyölle sain Optiplan Oy:n sähkösuunnitteluosastolta. Optiplan Oy tarjoaa kokonaissuunnittelupalveluita asunto-, toimitila- ja korjausrakentamiseen. Kokonaissuunnittelu sisältää arkkitehti-, rakenne-, LVIA- ja sähkösuunnittelun. Päätoimipiste sijaitsee Helsingissä ja muut toimipisteet Turussa, Tampereella ja Oulussa.

2 Matkapuhelinverkko

Suomessa käytettävä matkapuhelinverkko koostuu useasta eri tekniikasta. Tällä hetkellä kuluttajille suunnattuja matkapuhelinverkkoja ovat GSM-, 3G- ja 4G-verkot. Tulevaisuudessa on tulossa myös uusia mobiiliverkkotekniikoita kuten 5G verkot.

Suomessa toimii useampi teleoperaattori, joista suurimmat liittymien markkinaosuuksien mukaan ovat Elisa 38%, Telia Finland 34% ja DNA 27%. Kaikki edellä mainitut teleoperaattorit tarjoavat kuluttajille GSM-, 3G-, ja LTE-verkkoja. [1.]

Toimiva matkapuhelinverkko on nykypäivänä erittäin tärkeä, ja sen toimivuudelle on asetettu tiukat vaatimukset. Tällä hetkellä matkapuhelinverkot kattaa lähes koko Suomen. Matkapuhelinverkon käytettävyyden kannalta on myös tärkeää, että se toimii moitteettomasti rakennusten sisätiloissa.

GSM-verkko

GSM-verkko on toisen sukupolven matkapuhelinverkko ja sitä käytetään pääsääntöisesti puhepalveluiden ja tekstiviestien välittämiseen. Verkossa voidaan välittää myös dataa, mutta siirtonopeus on erittäin hidas verrattuna uusimpiin mobiiliverkkotekniikoihin. Suomessa GSM-verkot toimivat 900 MHz:n ja 1800 MHz:n taajuudella. Tällä hetkellä GSM-verkko on kattavin käytössä oleva tekniikka, mutta lähitulevaisuudessa 3G-verkot tulevat todennäköisesti korvaamaan sen. [2.]

3G- ja LTE-verkko

3G:llä tarkoitetaan UMTS-verkkoa, joka on alkujaan multimedian ja datasiirtoon kehitetty verkko. Nykyään 3G-tekniikkaa käytetään datan siirtoon sekä puhepalveluiden ja tekstiviestien välittämiseen. Suomessa käytössä olevat UMTS-verkot toimivat 900 MHz:n ja 2100 MHz:n taajuuksilla.

LTE-tekniikka on 3G-tekniikan seuraajaksi kehitetty tekniikka, jonka tarkoitus on mahdollistaa entistä suuremmat datasiirtonopeudet. LTE-tekniikasta käytetään myös yleisesti nimitystä 4G. Suomessa käytössä olevat LTE-taajuudet ovat 800 MHz, 1800 MHz ja 2600 MHz. Matalampia taajuuksia käytetään lähinnä taajamien ulkopuolella, koska matalammalla taajuudella saavutetaan pidempi kantomatka. Korkeampia taajuuksia käytetään taajamissa, joissa on suurempi kapasiteettitarve. Nykyään myös LTE-verkossa

voidaan välittää tekstiviestejä ja puhepalveluita. MIMO (Multi In Multi Out) -tekniikan ansiosta dataa voidaan lähettää ja vastaanottaa samanaikaisesti. [2.]

VIRVE-verkko

VIRVE-verkko on TETRA-standardiin perustuva mobiiliverkko, jota käyttävät viranomaiset, kuten poliisi, pelastusviranomaiset ja puolustusvoimat. VIRVE-verkko toimii matalammalla taajuudella kuin kuluttajille suunnatut matkapuhelinverkot. Taajuutena käytetään 400 MHz, joka mahdollistaa pidemmät toimintamatkat ja rakenteiden läpäisykyvyn. [3.]

Joissain tapauksissa pelastusviranomaiset voivat vaatia VIRVE-verkon toiminnan varmistamista rakennuksen sisätiloissa. VIRVE-verkon toimivuus joudutaan yleensä varmistamaan julkisissa rakennuksissa, joissa VIRVE-verkon toiminta voi olla kriittisessä roolissa onnettomuuden sattuessa.

3 Sisäkuuluvuuteen vaikuttavat tekijät

Sisäkuuluvuuteen vaikuttavia tekijöitä on yleensä monta, ja osaa niistä on vaikea arvioida etukäteen. Tästä syystä arvioinnissa käytetään apuna samankaltaisia rakennuksia ja kohteita, jotka vastaavat rakenteelta ja ympäristöltään suunniteltavaa kohdetta. Esi-merkkikohteiden ja kokemuspohjan avulla voidaan tehdä suuntaa antavia arvioita mahdollisista sisäkuuluvuuden parantamistarpeista. Tässä luvussa pohditaan sisäkuuluvuuteen vaikuttavia tekijöitä ja selvitetään niiden vaikutusta matkapuhelinverkon sisäkuuluvuuteen.

Rakennuksen ulkokuoressa käytettävät rakenteelliset ratkaisut sekä materiaalivalinnat vaikuttavat oleellisesti siihen kuinka hyvin radiosignaalit läpäisevät rakennuksen ulkokuoren, joten rakenteellisiin ratkaisuihin ja materiaaleihin tulisi kiinnittää huomiota jo suunnitteluvaiheessa. Myös ulkopuoliset tekijät, kuten muut rakennukset sekä tukiasemien sijainnit ja niiden suuntaukset tulisi huomioida kuuluvuusratkaisuja suunnitellessa. Taulukossa 1 on esitetty eri tekijöiden vaikutusta signaalin vaimenemiseen.

Taulukko 1. Eri tekijöiden vaikutus signaalin vaimenemiseen. [4.]

Vaikutustapa	Muutos (dB)
Uusi talo verrattuna vanhaan (keskiarvo)	-13
Uusi talo verrattuna vanhaan (pahimmillaan)	-20
Ikkunoiden korvaaminen selektiivikalvolla	-25
Tukiasematiheyden nelinkertaistaminen	6
Betonielementtien korvaaminen kevytlekaharkoilla (RF-aukko)	11
Ikkunan selektiivikalvon poistaminen osittain (RF-aukko)	20
Ikkunan selektiivikalvon poistaminen kokonaan (RF-aukko)	23
Alumiinipintaisen eristelevyn korvaaminen lasivillalla (RF-aukko)	25

3.1 Rakenteelliset ratkaisut

Rakenteelliset ratkaisut vaikuttavat sisäkuuluvuuteen oleellisesti, ja siksi ne tulisi huomioida arvioidessa erityisten kuuluvuusratkaisuiden tarvetta. Uusien rakennusten energia- ja tehokkuusvaatimusten takia rakennusten uudet eristeet ja ikkunaratkaisut tuovat haasteita radiosignaalin kulkeutumiselle rakennuksen sisään. Eristemateriaaleissa saadaan käyttää metallia sisältäviä pinnoitteita, jotka heijastavat sisäpäin tulevaa lämpösäteilyä takaisin sisälle. Tämän tyyppiset eristeet estävät myös tehokkaasti radiosignaalin kulkeutumisen sisälle. Taulukossa 2 on esitetty tyypillisten rakennusmateriaalien vaikutusta signaalin vaimenemiseen eri taajuuksilla.

Taulukko 2. Rakennusmateriaalien aiheuttama vaimennus eri taajuuksilla [4.]

Taajuus (MHz)/ Läpäisyvaimennus (dB)	500	1000	2000	3500	5000
Tiili (180 mm)	4	5,5	8	20	32
Tiili (180 mm) ja betonielementti (203 mm)	21	25	33	60	67
Tiili (180 mm) ja kevytlekaharkko	8	11	10	29	33
Betonielementti (208 mm)	20	23	29	47	49
Kevytlekaharkko (2 x 203 mm)	13	17	18	25	28
Raudoitettu betonielementti (203 mm) 140 x 140 mm	22	28	31	50	53
Raudoitettu betonielementti (203 mm) 70 x 70 mm	26	30	37	53	58
Ikkunalasi (13 mm)	1	2	3	0,5	0,5
Kuiva puu (38 mm)	2	3	3	3	3
Kuiva puu (152 mm)	5	6	9	19	20

Lämpörappaus on yleisesti käytetty ratkaisu asuin- ja toimistorakennusten julkisivussa. Tämänkaltaisessa ratkaisussa rappaus kiinnitetään julkisivuun usein tiheään metalliverkon avulla, joka saattaa vaikuttaa oleellisesti ulkokuoren RF-vaimennukseen.

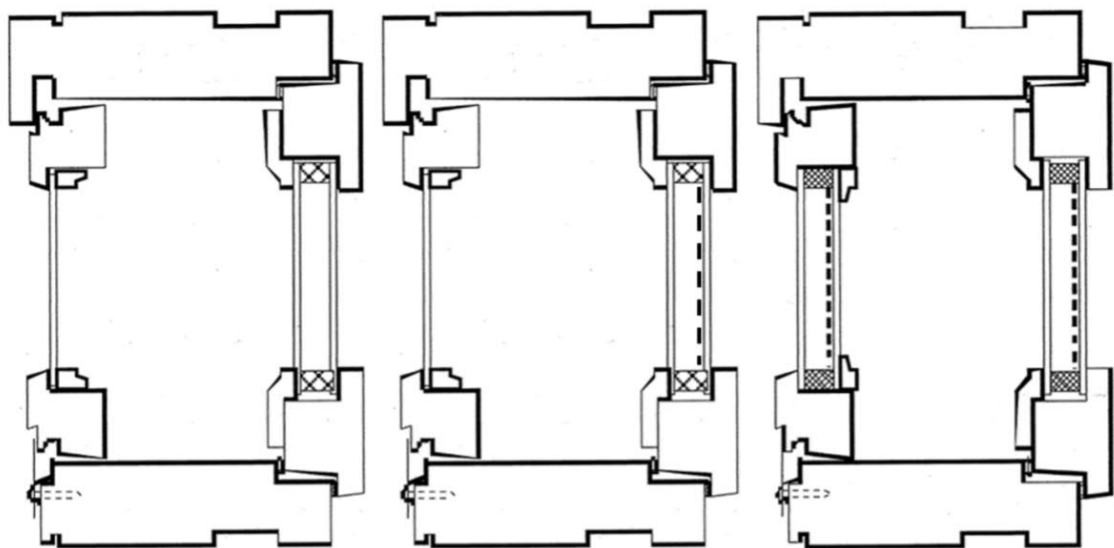
Julkisivukasetit tai -lamellit ovat yksitapa toteuttaa rakennuksen julkisivu. Julkisivukasetti on yleensä teräksestä tai alumiinista valmistettu seinään kiinnitettävä paneeli. Kasteilla voidaan verhoilla kokonaisia julkisivuja tai käyttää tehosteena muun julkisivumateriaalin kanssa. Jos metallisilla paneeleilla verhoillaan suuria pinta-aloja julkisivusta ne saattavat aiheuttaa voimakasta RF-vaimennusta. Pieniä pinta-aloja verhoiltaessa paneelit eivät aiheuta suurtakaan vaimennusta, jos muu julkisivurakenne läpäisee hyvin RF-signaaleja.

Tiilijulkisivu on yleisesti käytetty julkisivuratkaisu, jossa seinään muurataan tiiliverhous suojaamaan eristeitä ja varsinaista kantavaa seinää. Tiilen huokoisuuden ansiosta tämänkaltainen seinärakenne on hieman paremmin RF-signaaleja läpäisevä.

Ulkokuoren lisäksi myös varsinainen kantavaseinärakenne vaikuttaa RF-signaalien kulkeutumiseen rakennuksen sisälle. Asuinrakentamisessa usein käytetyissä betonielementeissä on paljon tukirauoituksia jotka aiheuttavat ongelmia RF-signaalien etenemiselle. Jos ulkoseinän kantavanarakenteena käytetään esimerkiksi puuta on RF-signaalien vaimeneminen huomattavasti vähäisempää verrattuna betonielementteihin.

3.2 Selektiivilasit

Selektiivilasilla tarkoitetaan lasia, jonka pinnalle on asennettu metallista tai metallioksideista koostuvia pinnoitteita. Pinnoitteiden ansiosta pitkäaaltoinen lämpösäteily heijastuu takaisin sisälle, mutta lyhytaaltoinen säteily pääsee ulkoa lasin läpi sisälle. Nykyisten energiamääräysten takia lähes jokaisessa ikkunassa on yksi tai useampi selektiivikerroksella varustettu ikkunalasi. Kuvassa 1 on esitetty tyypillinen selektiivi-ikkuna ja sen aiheuttamat vaimennukset.



Ikkuna 1. Ei pinnoitteita
U-arvo 1.7 W/m²K
RF 5 dB = pieni

Ikkuna 2. Yksi pinnoite
1.0 W/m²K
25 dB = suuri

Ikkuna 3. Kaksi pinnoitetta
0.7 W/m²K
35 dB = suuri

Kuva 1. Selektiivilasien pinnoitteiden aiheuttama vaimennus (dB). [5.]

Selektiivilasit läpäisevät erittäin huonosti RF-signaaleja, niissä olevan metallikerroksen takia. Tämän takia selektiivilaseja on pidetty suurimpana yksittäisenä syynä sisäkuuluvuusongelmiin uudisrakennuksissa. Ongelmia sisäkuuluvuuden kanssa on tullut myös saneerauskohteissa, joissa vanhat ikkunat on korvattu uusilla energiatehokkaammilla selektiivi-ikkunoilla.

3.3 Ympäristön vaikutus

Rakennuksesta riippumattomat tekijät vaikuttavat myös osaltaan verkon kuuluvuuteen sisätiloissa edellä mainittujen rakenteellisten seikkojen lisäksi. Rakennuksesta riippumattomiin tekijöihin vaikuttaminen on yleensä hankalaa, mutta niiden tunteminen on tärkeää kartoittaessa sisäkuuluvuusratkaisuja. Tässä luvussa kerrotaan sijainnin, muiden rakennusten, maaston, tukisemien ja kuluttajalaitteiden vaikutuksesta sisäkuuluvuuteen.

Tukiasemien etäisyys vaikuttaa oleellisesti siihen kuinka hyvä sisäkuuluvuus rakennuksessa on. Etäisyyden lisäksi signaalin tulokulmalla rakennuksen ulkokuoreen on vaikutusta. Signaalin tuloa kohtisuoraan ulkoseinään se läpäisee seinän helpommin. Jos signaali tulee viistossa, suurempi osa siitä heijastuu rakennuksen seinästä. Tukiasemien sijaintiin tai suuntaukseen ei yleensä pystytä vaikuttamaan yksittäistapauksissa. Signaalin tulosuuntaa ja voimakkuutta tulisi tarkastella kartoittaessa sisäkuuluvuusratkaisuja, koska joissain tapauksissa tukiasemien etäisyydellä ja signaalien tulosuunnalla on havaittu olevan suuri vaikutus sisäkuuluvuuteen. [5.]

Tarkastellessa tukiasemien etäisyyksiä ja suuntauksia tulee huomioida myös mahdolliset muutokset tukiasemien sijainnissa ja suuntauksissa, jotka voisivat myöhemmin aiheuttaa ongelmia sisäkuuluvuuden kanssa. Verkon muutoksen aiheuttamat riskit ovat suurempia kasvukeskuksissa, joissa asukastiheyden muutos aiheuttaa muutoksia myös matkapuhelinverkkoon.

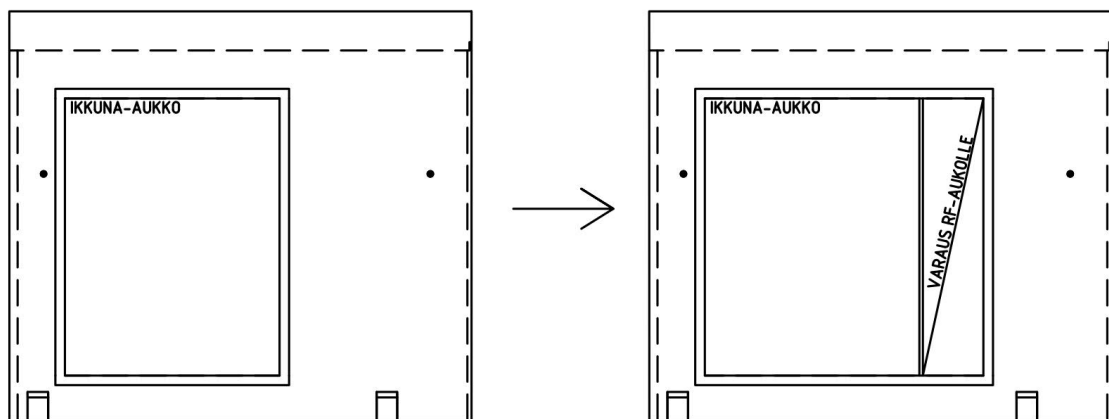
Maastolla ja muilla rakennuksilla on myös vaikutusta sisäkuuluvuuteen. Rakennuksen ja tukiaseman väliset esteet vaimentavat signaaleja. Korkeat rakennukset ovat yleisin este jonka matkapuhelinsignaalit kohtaavat kaupunkialueilla. Maaston muodot voivat jo itsessään aiheuttaa esteitä ja katvealueita, joissa signaalinvoimakkuus on heikompi. Tämänkaltaisissa tapauksissa, joissa on jo lähtökohtaisesti huono kuuluvuus ulkona niin rakennuksen sisäkuuluvuusongelmat ovat todennäköisiä.

4 Rakenteelliset ratkaisut kuuluvuuden parantamiseksi

Kuten aikaisemmissa luvuissa todettiin, rakenteellisilla ratkaisuille ja materiaalivalinnoilla on suuri merkitys verkon sisäkuuluvuuteen, joten oikeilla ratkaisuille ja materiaaleilla voidaan vaikuttaa siihen, kuinka hyvin radiosignaalit kulkeutuvat rakennuksen sisätiloihin.

4.1 RF-aukot

RF-aukoilla tarkoitetaan rakennuksen ulkokuoressa olevaa aukkoa, joka läpäisee RF-signaaleja helpommin kuin ympäröivä seinärakenne. RF-aukko voidaan toteuttaa esimerkiksi jättämällä aukko betonielementtiseinään ja paikkaamalla se hyvin RF-signaaleja läpäisevällä materiaalilla. Helpoin tapa RF-aukon toteuttamiselle on sijoittaa se ikkunan tai parvekkeen viereen, jolloin elementtiin tulevaa ikkuna- tai oviaukkoa laajennetaan eikä tarvitse tehdä erillistä aukkoa. Kuvassa 2 esimerkki RF-aukon sijoittamisesta ikkunan viereen. [5.]



Kuva 2. Betonielementtiin jätetty varaus RF-aukolle.

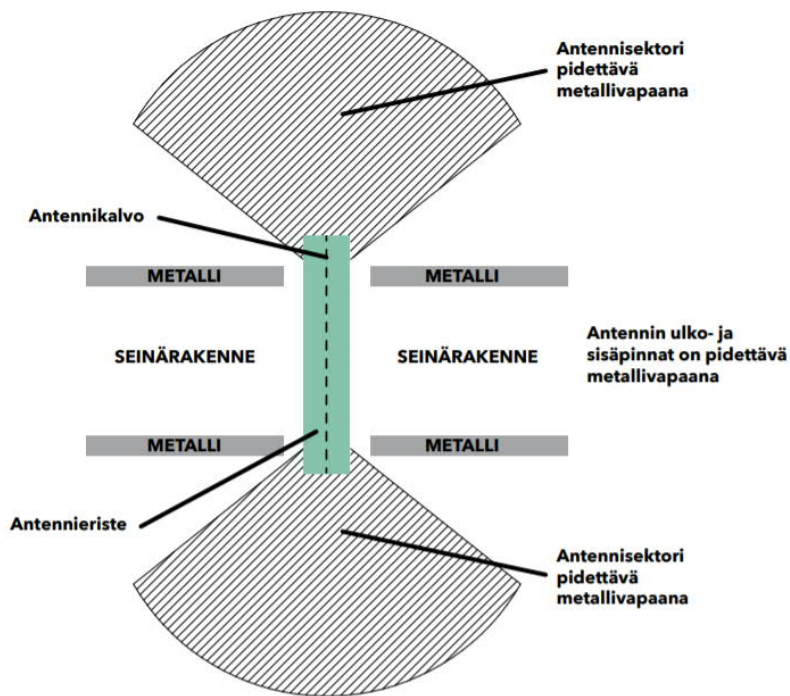
Julkisivussa oleva RF-aukko voidaan verhoilla eri tavalla kuin muu julkisivu jättäen siitä ns. tehostepinta. RF-aukko voidaan peittää myös esimerkiksi rappauksella tai tiiliverhoilulla, mutta tämän kaltaisessa ratkaisussa on huomioitava, ettei aukon eteen laiteta materiaaleja jotka vaimentavat liikaa signaalia. Kuvassa 3 havainnollistettu yksi mahdollinen RF-aukon toteutustapa. [6.]



Kuva 3. RF-aukotuksen mahdollisuuksia. [6.]

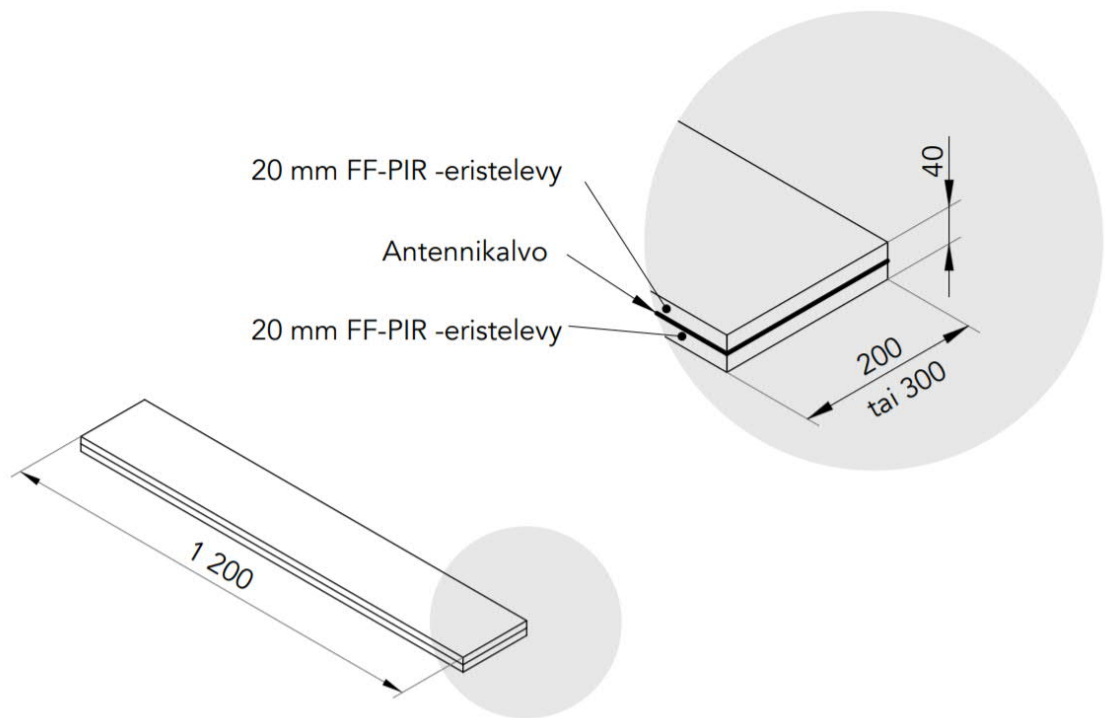
4.2 Antennielementit

Viime aikoina Finnfoam Oy on tuonut markkinoille antennielementtejä, jotka johtavat matkapuhelinsignaalit seinärakenteen läpi toimien samalla toimintaperiaatteella kuin passiivinen antenni. Antennielementit asennetaan rakennuksen julkisivuun esimerkiksi ikkunan tai parvekkeenoven viereen. Paras tulos saadaan asentamalla jokaiseen huoneeseen oma antennielementti tai vähin yksi antennielementti 30-40 m² kohden. Elementti asennetaan seinään pystysuoraan, joten se vaatii vain 40 mm leveään asennustilan seinästä. Kuvassa 4 on esitetty elementin asennusperiaate ylhäältäpäin kuvatun leikkauksen avulla. [7.]



Kuva 4. FF-SIGNAL-signaalinvahvistimen asennusperiaate. [7.]

Materiaalina käytetään eristelevyjä, joiden väliin on asennettu antennikalvo. Toteutustavan ansiosta ratkaisu on myös erittäin energiatehokas. Antennielementin mitat ovat: pituus 1200 mm, leveys 200 tai 300 mm ja paksuus 40 mm. Leveys valitaan ulkoseinäarakenteen paksuuden mukaan. Kuvassa 5 on esitetty antennielementin rakenne.



Kuva 5. FF-SIGNAL-signaalinvahvistimen rakenne. [7.]

4.3 Ikkunat

Oikeanlaisilla ikkuna valinnoilla voidaan vaikuttaa, kuinka hyvin ikkuna-aukosta pääsee kulkeutumaan RF-signaaleja.

Yhtenä ratkaisuna on esitetty selektiivikerrosten vähentämistä tai jättämistä kokonaan pois osasta ikkunoista. Tutkimuksissa on havaittu, että selektiivikerrosten pois jättäminen parantaisi huomattavasti matkapuhelinverkon voimakkuutta sisätiloissa. Selektiivikerrosten vähentäminen on kuitenkin huono vaihtoehto, koska selektiivikerrosten poisto heikentää huomattavasti ikkunan energiatehokkuutta. Kerroksia jouduttaisiin käytännössä poistamaan jokaiselta julkisivulta, eikä sekään vielä välttämättä takaisi täydellistä ratkaisua sisäverkon ongelmiin. [4.]

Markkinoille on myös kehitetty ikkunalaseja, jotka läpäisevät RF-signaaleja paremmin kuin normaalit selektiivilasit. Ikkunavalmistajat ilmoittavat tämänkaltaisten ikkunalasien läpäisevän huomattavasti paremmin RF-signaaleja, mutta tutkittua tietoa kyseisistä ikkuna ratkaisuista löytyy erittäin vähän tai ei ollenkaan. Hyvin RF-signaaleja läpäisevät

ikkunat voisivat monessa tapauksessa olla ratkaisu kuuluvuusongelmiin. Todennäköisesti lähitulevaisuudessa saadaan kokemuksia ja tutkimustuloksia uuden sukupolven RF-signaaleita läpäisevistä ikkunoista.

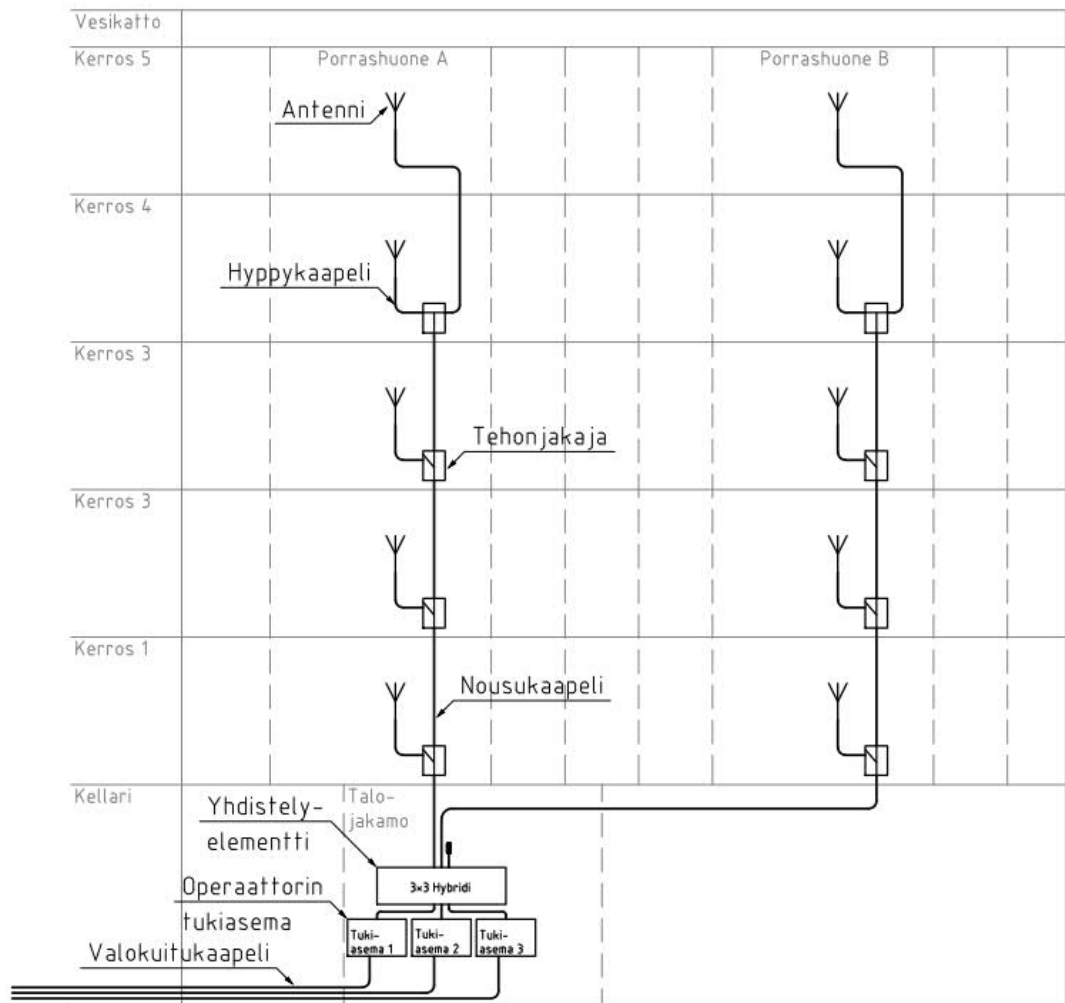
5 Sisäantenniverkko kuuluvuuden parantamiseksi

Sisäantenniverkolla tarkoitetaan ratkaisua, jossa rakennuksen sisällä on erillinen matkaviestinverkko. Sisäantenniverkko on yleisesti käytetty ratkaisu uudisrakennuksissa, joissa on ilmennyt ongelmia sisäkuuluvuuden kanssa. Sisäverkossa voidaan välittää VIRVE-, GSM-, 3G ja 4G signaalit tai verkkoon voidaan liittää pelkästään VIRVE, jos kuluttajille suunnattuja matkapuhelinverkon taajuuksia ei tarvitse välittää verkossa. Sisäverkko voi kattaa koko kiinteistön tai vain osan siitä esimerkiksi maanalaiset osat joihin signaalit eivät pääse kulkeutumaan ulkoa. Lisäksi tarpeen vaatiessa verkko voidaan toteuttaa siten että se voidaan liittää kiinteistön WLAN-verkkoon. [8.]

5.1 Sisäantenniverkon rakenne

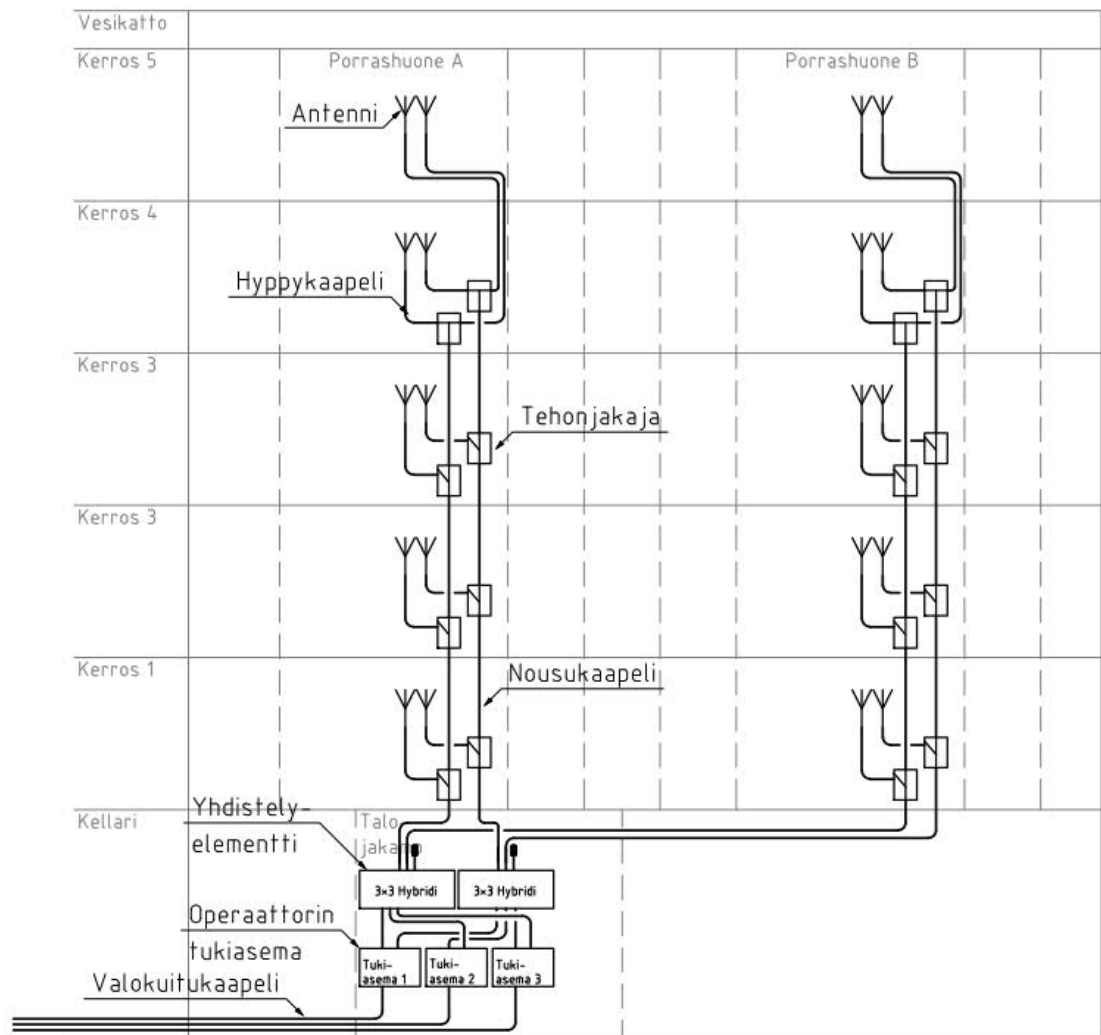
Sisäantenniverkko koostuu antenneista ja laitetilan aktiivilaitteista, jotka on yhdistetty toisiinsa koaksiaalikaapeleilla. Monioperaattorikäyttöön soveltuvia sisäantenniverkkoratkaisuja on kahdentyyppisiä, SISO (Single In Single Out) ja MIMO (Multi In Multi Out). Tällä hetkellä lähes kaikki toteutetut sisäantenniverkot perustuvat SISO-tekniikkaan, mutta todennäköisesti myös MIMO-tekniikka tulee yleistymään sen suuremman tiedon- siirtokapasiteetin ansiosta. [9]

SISO sisäantenniverkolla tarkoitetaan verkkoa, jossa samoja antenneja ja linjoja pitkin välitetään lähtevät sekä tulevat signaalit. SISO-tekniikan etuina pidetään yksinkertaista rakennetta sekä tarvetta vain yhdelle siirtolinjalle antennien ja aktiivilaitteiden välille. Myös antennit ovat edullisempia ja yksinkertaisempia SISO-tekniikassa. Kuvassa 6 on esitetty tyypillinen monen operaattorin käyttöön soveltuva SISO-verkko antennien, kaapeleiden ja tehonjakajien osalta. [9.]



Kuva 6. SISO-sisäantenniverkon periaatekaavio.

Kaksisyötteisessä MIMO-sisäantenniverkossa on omat siirtolinjat lähteille ja saapuville signaaleille. Käytännössä MIMO-verkko on samankaltainen kuin SISO-verkko, mutta siinä on kaksi identtistä siirtolinjaa sekä saapuville ja lähteille signaaleille omat antennit. MIMO-ratkaisun etuja ovat lähes kaksinkertainen tiedonsiirtokapasiteetti ja se pystyy hyödyntämään LTE-tekniikan MIMO-ominaisuutta. Käytettävät antennit ovat ristipolarisaatioantenneja joissa lähettävä ja vastaanottava antenni on asennettu 90 asteen kulmaan toisiinsa nähden. Polarisaatio aiheuttaa muutaman desibelin vaimennuksen, mutta on välttämätön, etteivät antennit häiritse toisiaan. Kuvassa 7 on esitetty MIMO-sisäantenniverkko. [9.]



Kuva 7. MIMO-sisäantenniverkon periaatekaavio.

Antennit

Antenni on sisäantenniverkon komponentti, joka muuttaa aktiivilaitteilta kaapelia pitkin tulevan signaalin radiosignaaliksi. Antennit sijoitetaan tiloihin, joissa on tarve saada hyvä kuuluvuus. Sisätiloissa käytetään tyypillisesti kattoon asennettavia ympärisäteileviä antenneja tai seinään asennettavia suunta-antenneja. [9.]

Kaikissa tapauksissa antenneja ei pystytä sijoittamaan suoraan haluttuun tilaan esim. kerrostalon asuinhuoneistoon, joten tämän kaltaisissa tilanteissa antennit pyritään sijoittamaan lähelle tilaa, jossa tarvitaan hyvä kuuluvuus. Asuinkerrostaloissa antennit sijoi-

tetaan tyypillisesti käytäville ja porrastasanteille, joista verkko kantautuu asuinhuoneistoihin. Sijoitettaessa antennia porrashuoneeseen tulisi huomioida, ettei antennin ja asuintilojen välissä ole suuria esteitä, jotka haittaavat signaalien kulkua. On havaittu, että tietyt rakenteet aiheuttavat katveja sisääntenniverkon toimintaan. Tällaisia rakenteita ovat kylpyhuone-elementit, joissa käytetään metallirunkoja, sekä saunat, joissa käytetään alumiinipintaisia lämmöneristeitä. Kuvassa 8 sisäverkkoantenni.



Kuva 8. Sisääntenniverkon MIMO-antenni. [10.]

Kaapelit ja tehonjakajat

Sisääntenniverkon nousukaapeloinnissa käytetään yleensä 1/2" tai 7/8" koaksiaalikaapeleita ja yksittäisten antennihaarojen kaapeloinnissa 1/2" koaksiaalikaapeleita. Kaapeleiden valintaan vaikuttaa niiden aiheuttama läpimenvaimennus. Taulukossa 3 on esitetty tyypillisiä läpimenvaimennusarvoja erilaisille koaksiaalikaapeleille. Läpimenvaimennusarvot saattavat vaihdella eri kaapelivalmistajien kesken. [9.]

Taulukko 3. Tyypillisiä koaksiaalikaapeleiden läpimеноvaimennusarvoja.

Taajuus	400 MHz	450 MHz	800 MHz	950 MHz	1800 MHz	2200 MHz	2600 MHz
Vaimennus	dB/100 m	dB/100 m	dB/100 m	dB/100 m	dB/100 m	dB/100 m	dB/100 m
1/2" superflex	6,5	6,9	9,4	10,3	14,7	16,4	18,0
1/2"	4,4	4,7	6,4	7,1	10,0	11,3	12,4
7/8"	2,3	2,5	3,3	3,7	5,2	5,8	6,4
1 1/4"	1,7	1,8	2,5	2,7	3,9	4,4	4,9
1 5/8"	1,4	1,5	2,0	2,2	3,2	3,6	4,0

Nousukaapelit haaroitetaan tehonjakajilla siten, että jokaiselle antennille saadaan aina yhtä suuri teho. Tehonjakajat ovat symmetrisiä tai epäsymmetrisiä, ja niiden haaroitusporttien määrä vaihtelee tyypillisesti kahdesta kolmeen. Kuvassa 9 on tyypillinen sisäantenniverkossa käytettävä epäsymmetrinen tehonjakaja.



Kuva 9. Sisäantenniverkoissa käytettävä epäsymmetrinen tehonjakaja. [11.]

Yhdistelyelementit (hybridit)

Yhdistelyelementtien avulla saadaan kytkettyä monen operaattorin toistimet tai tukiasemat sisäantenniverkkoon. Erona tehonjakajaan yhdistelyelementissä on suurempi vaimennus eri porttien välillä, jonka tarkoituksena on vähentää operaattoreiden välisiä häiriöitä. Yhdistelyelementit ovat kriittisessä asemassa, kun operaattorien laitteita sovitetaan sisäantenniverkkoon ja yritetään vähentää passiivisessa verkossa esiintyviä PIM-

säröjä. Yleensä yhdistelyelementteinä käytetään 3x3- tai 4x4-hybridejä riippuen operaattorien liittymismäärästä ja VIRVE-verkon tarpeesta. Kuvassa 10 on tyypillinen sisäantenniverkoissa käytetty yhdistelyelementti (hybridi). [9.]



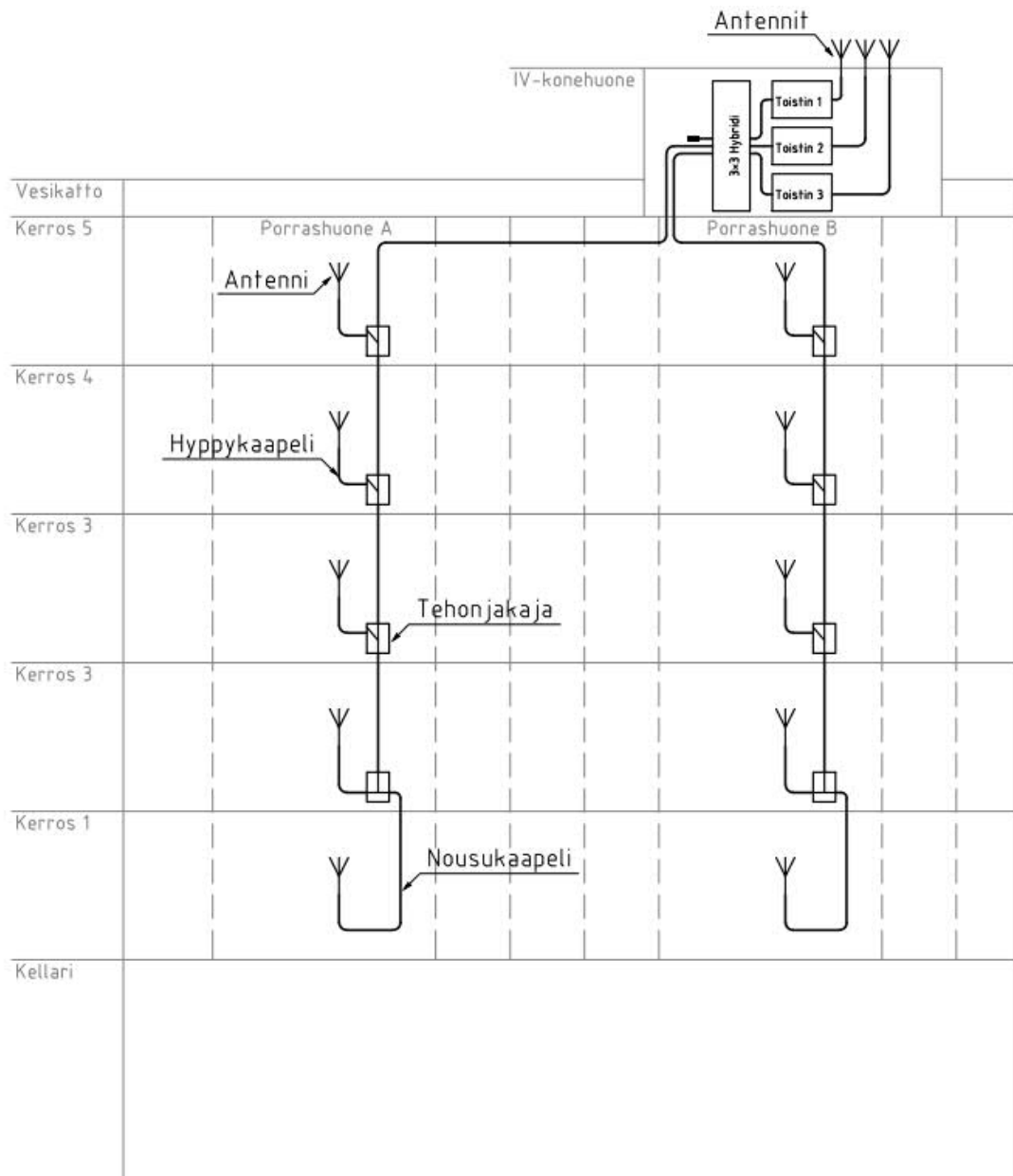
Kuva 10. Sisäantenniverkoissa käytettävä yhdistelyelementti [11.]

Tukiasemat ja toistimet

Tukiasemat ja toistimet ovat sisäantenniverkon aktiivilaitteita, jotka ovat operaattorikohtaisia. Ne sijoitetaan laitetilassa oleviin laitekaappeihin tai -telineisiin.

Tukiasema on operaattorikohtainen laite, jonka tarpeen ja tyyppin operaattori määrittelee itse. Tukiasema liitetään valokuidulla kiinteistön yleiseen viestintäverkkoon. Tukiasemat tarvitsevat toimiakseen virtalähteen ja akuston, jotka vaativat oman sähkönsyötön. Virtalähde ja akusto voivat olla monen operaattorin yhteiskäytössä, jolloin yksi yhteinen virtalähde ja akusto riittävät. Akuston tarkoituksena on varmistaa tukiasemien toiminta myös sähkökatkon aikana.

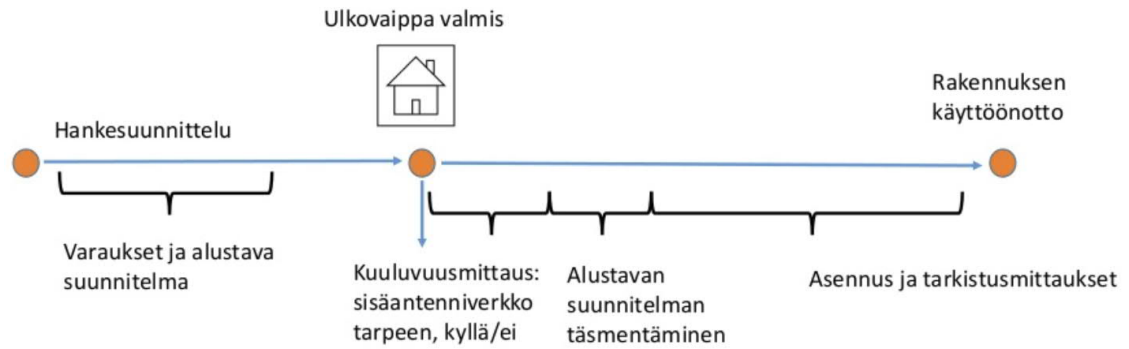
Toistimia käytetään yleensä pienemmissä kiinteistöissä, joissa operaattorit eivät koe tarvetta tukiasemaratkaisulle. Käytettäessä toistinta kiinteistön katolle tai korkealle seinään asennetaan ulkoantenni, jonka kautta radiosignaalit kulkevat koaksiaalikaapelia pitkin toistimelle. Kuvassa 11 toistinratkaisulla toteutettu sisäantenniverkko, jossa talon katolle on sijoitettu ulkoantennit.



Kuva 11. Toistin ratkaisulla toteutettu SISO-sisäantenniverkon periaatekaavio.

5.2 Sisäantenniverkon toteuttaminen

Sisäantenniverkon toteutus on koko suunnittelu- ja rakennusvaiheen mittainen prosessi, joka tulisi aloittaa jo aikaisessa vaiheessa. Kuvassa 12 on esitetty pääpiirteittäin sisäantenniverkon toteutusvaiheet rakennusprojektissa.



Kuva 12. Sisäantenniverkon toteutuksen vaiheet. [12.]

Tarvekartoitus

Sisäantenniverkon toteuttaminen aloitetaan tekemällä kohteesta tarvekartoitus. Tarvekartoituksessa selvitetään, tarvitseeko kiinteistöön rakentaa sisäantenniverkko vai saavutetaanko muilla ratkaisuilla tarpeeksi laadukas ja toimiva sisäkuuluvuus kiinteistöön. Tässä vaiheessa selvitetään operaattorien halukkuus liittyä sisäantenniverkkoon ja pelastusviranomaisen vaatimukset VIRVE-verkon toiminnasta. Tarvekartoituksessa huomioidaan mahdollisesti sisäkuuluvuuteen vaikuttavat tekijät, kuten käytettävät rakennusratkaisut ja alueen matkapuhelinverkon voimakkuus. Alueen matkapuhelinverkosta ja sitä koskevista tulevista muutoksista saadaan tietoa operaattoreilta. Tarvittaessa tontilla voidaan suorittaa mittauksia, joista selviää matkapuhelinverkon voimakkuus kyseisellä alueella.

Hankesuunnittelu

Tarvekartoituksesta edetään hankesuunnitteluun, jos todetaan että rakennuksessa saattaa muodostua ongelmia sisäkuuluvuuden kanssa eikä muilla ratkaisuilla pystytä takaamaan toimivaa matkapuhelinverkkoa sisätiloihin. Hankesuunnitteluvaiheessa päätetään sisäantenniverkon toteutustapa sekä laajuus tilaajan, operaattorien ja suunnittelijoiden yhteistyönä. Hankesuunnitelman tuloksena syntyy alustavat suunnitelmat sisäantenniverkon rakenteesta, laitteiden määrästä ja sijainnista sekä alustava kustannusarvio. [9.]

Kuuluvuuskartoitus

Lopullinen päätös sisäantenniverkon toteuttamisesta tehdään kuuluvuusmittausten perusteella, jotka tehdään paikan päällä rakennuksessa. Kuuluvuusmittauksia päästään tekemään siinä vaiheessa, kun rakennus vastaan RF-ominaisuuksiltaan valmista rakennusta. Jos rakennuksesta puuttuu vielä tässä vaiheessa RF-ominaisuuksiin vaikuttavia rakenteita, kuten ovia tai ikkunoita, tulee ne korvata vastaavalla RF-ominaisuuden omaavalla tai kokonaan signaaleja läpäisemättömällä materiaalilla. Mittaukset suoritetaan kuuluvuuskartoituksen tarkoitetulla mittarilla siten että rakennuksen jokainen tila mitataan erikseen, jossa matkapuhelimen tulee toimia. Tuloksista käy ilmi jokaisen operaattorin osalta signaalien laatu, puhepalvelun onnistuvuus ja datasiirron nopeus. [9.]

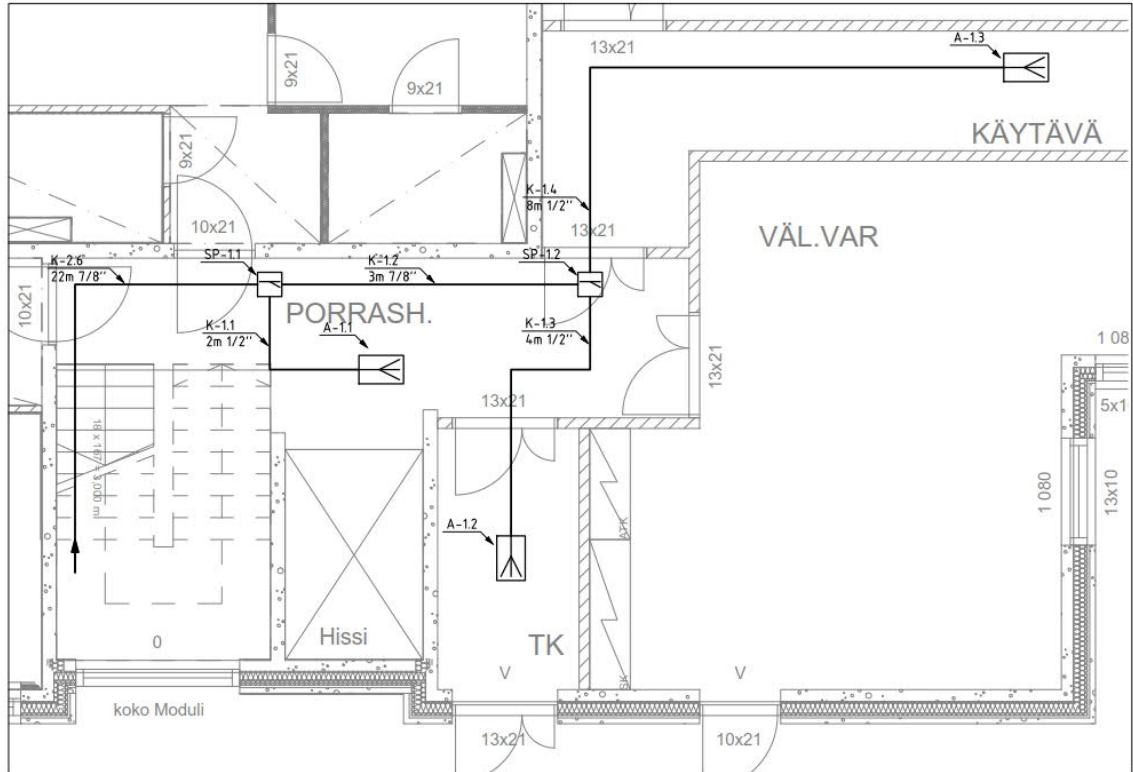
Toteutussuunnittelu

Jos tarvekartoituksen ja kuuluvuuskartoituksen perusteella päätetään, että kiinteistöön rakennetaan sisäantenniverkko, edetään toteutussuunnitteluvaiheeseen. Toteutussuunnittelussa määritetään tarkasti sisäantenniverkon komponentit ja laitteet, kuten antennit, kaapeloinnit, tehonjakajat ja yhdistelyelementit sekä laitetila, kaapelireitit ja antennien sijainnit. Edellä mainittujen lisäksi verkosta tehdään linkkibudjettilaskelmat tukiasemalta päätelaitteelle (alalinkki) ja päätelaitteelta tukiasemalle (ylälinkki). Linkkibudjettilaskelmissa varmistetaan laskennallisesti sisäverkon toimivuus. Sisäantenniverkon suunnittelussa olisi hyvä noudattaa ST-korttia 625.10 (ST 625.10 matkaviestinjärjestelmien sisäantenniverkot. suunnitteluohje), joka on tehty sisäantenniverkon suunnittelun avuksi ja luomaan yhteisiä käytäntöjä. Suunnittelussa tulee huomioida STUK:n antamat väestöön kohdistuvat enimmäisradiosäteilyarvot sekä STUK:n antenniasennusohjeistuksen maksimisäteilyarvot. [9.]

Toteutussuunnitteluvaiheen dokumentit sisältävät

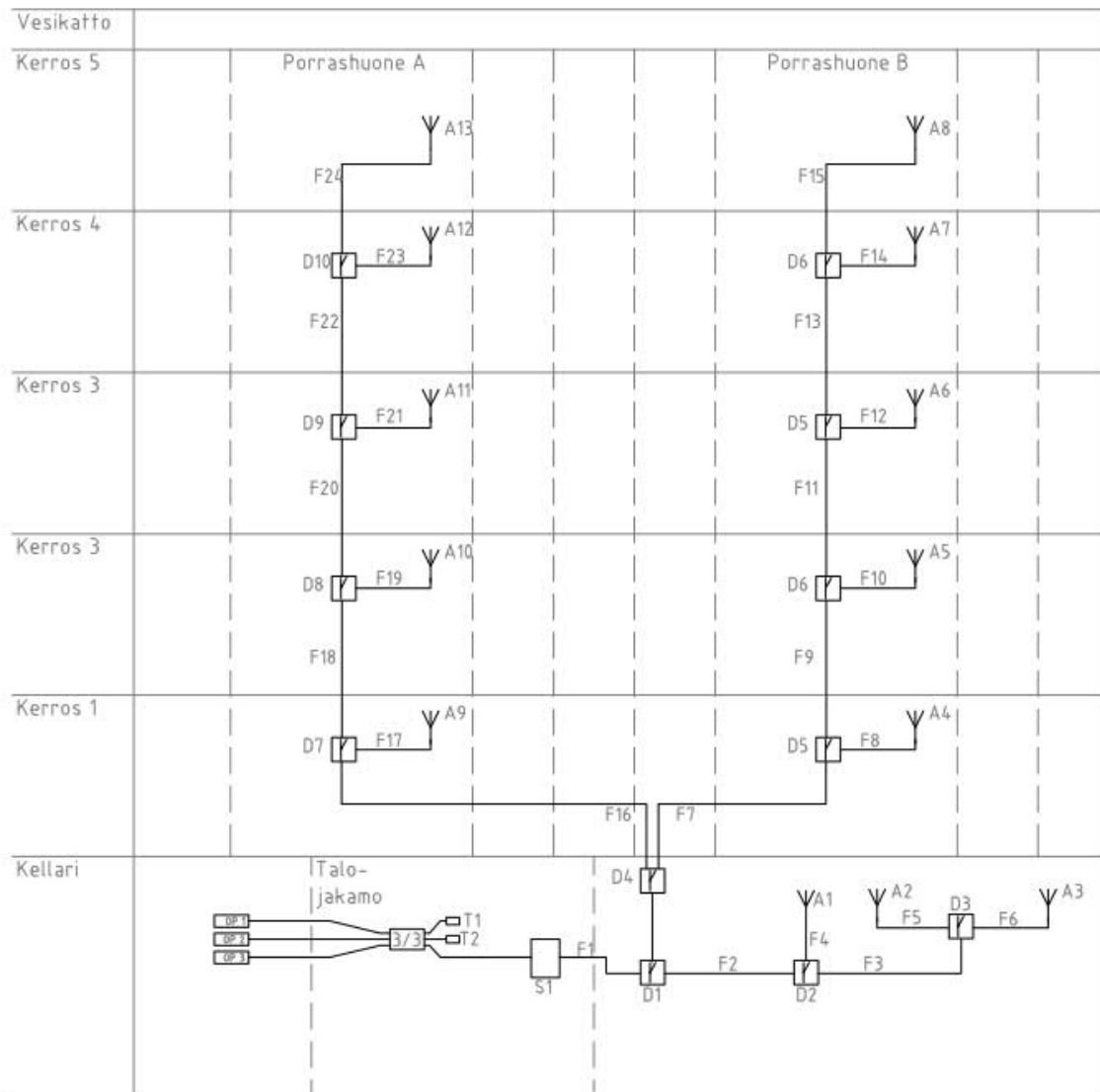
- tasopiirustukset, joista selviää antennien, kaapelien ja muiden kojeiden sijainnit
- periaatekaavio, josta selviää sisäantenniverkon rakenne
- linkkibudjettilaskelmat
- laiteluettelo
- operaattorien vaatimat dokumentit.

Tasopiirustuksissa käytetään pohjana rakennuksen pohjapiirustusta, johon merkitään antennien, tehonjakajien ja kaapelireittien sijainnit sekä niiden tyypit ja tunnukset. Kuvassa 13 on osa sisääntenniverkon tasopiirustusta, jossa on esitetty runkokaapelointi, tehonjakaja, haarakaapeli ja antenni.



Kuva 13. Tasopiirustus sisääntenniverkosta.

Periaatekaaviossa esitetään komponenttien asema sisääntenniverkossa sekä kaapelointien ja kojeiden sijainti kerroskohtaisesti. Kaaviosta käy ilmi myös laitetilassa olevat tukiasemat tai vahvistimet ja yhdistelyelementit sekä kaapelointiperiaate. Kuvassa 14 on 5 kerroksisen asuinkerrostalon sisääntenniverkon periaatekaavio, jossa laitetila sijaitsee kellarikerroksessa ja antennit jokaisen kerroksen porrastasanteella.



Kuva 14. Sisäantenniverkon periaate- ja johdotuskaavio.

Linkkibudjettilaskelmien tarkoituksena on varmistaa sisäantenniverkon tekninen toiminta molempiin siirtosuuntiin eli tukiasemalta päätelaitteelle (alalinkki) ja päätelaitteelta tukiasemalle (ylälinkki). Laskelmilla saadaan varmistettua, että kuluttajan päätelaitteelle saadaan tarpeeksi voimakas ja laadukas signaali.

Linkkibudjettilaskelmassa lasketaan verkon komponenttien aiheuttama vaimennus, joka tulee pääasiassa tehonjakajista, kaapeleista ja antennista. Verkon komponenttien lisäksi laskelmassa huomioidaan vapaantilavaimennus, joka syntyy antennin ja päätelaitteen välisellä matkalla. Summana saadaan koko verkon vaimennus- ja tehollaskelma, jonka

tulee täyttää operaattorien vaatimukset. Taulukossa 4 alalinkkilaskelma 1800 MHz:n LTE-verkosta. [9.]

Taulukko 4. Linkkibudjettilaskelma. [9.]

LTE 1800 MHz

Linkkibudjetti

Alalinkki (tukiasemalta päätelaitteelle)

		6./5.krs	4. krs	3.krs	2.krs.	1.krs
Operaattorin tukiaseman teho	1 x 10 W = 40 dBm	40 dBm	40	40	40	40
OK1.1, operaattorikaapeli		-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
hybridi	3 x 3	-5,5 dB	-5,5	-5,5	-5,5	-5,5
K0.1, syöttökaapeli		-0,5 dB	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
J1.1, tehojako		-0,5 dB	-0,5	-0,5	-0,5	-10
K1.1, syöttökaapeli		-0,5 dB	-0,5	-0,5	-0,5	
J2.1, tehojako		-1 dB	-1	-1	-7	
K2.1, syöttökaapeli		-0,5 dB	-0,5	-0,5		
J3.1, tehojako		-1 dB	-1	-7		
K3.1, syöttökaapeli		-0,5 dB	-0,5			
J4.1, tehojako		-1 dB	-7			
K4.1, syöttökaapeli		-0,5 dB				
J5.1, tehojako		-3,5 dB				
KA6.1, KA5.1, antennikaapeli		-0,5 dB	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
Vaimennus	Kokonaisvaimennus	-16 dB	-18	-17	-15	-17
STUK	STUK-suositus kokonais 1 W = 30 dBm	24 dBm	22	23,5	25	23
Antenni	Vahvistus	7 dBi	7	7	7	7
Antenni Tx	Operaattorivaatimus > 5 dBm	31 dBm	29	30,5	32	30
Vapaantilanvaimennus	Etäisyys antenni–kännykkä 20 m	-66 dB	-66	-66	-66	-66
Sisäseinien vaimennus	2 kpl	-30 dB	-30	-30	-30	-30
Kännykän vastaanottotaso Rx	Operaattorivaatimus > -95 dBm	-65 dBm	-67	-66	-64	-66

Yliainkki (päätelaitteelta tukiasemalle)

		23 dBm	23	23	23	23
Kännykän lähetysteho Tx		23 dBm	23	23	23	23
sisäseinä vaim	2 kpl	-30 dB	-30	-30	-30	-30
vap tila vaim	2 kpl	-66 dB	-66	-66	-66	-66
antenni		7 dBi	7	7	7	7
kaapelireitin vaimennus	5./6. kerros	-16 dB				
kaapelireitin vaimennus	4. kerros		-18			
kaapelireitin vaimennus	3. kerros			-17		
kaapelireitin vaimennus	2. kerros				-15	
kaapelireitin vaimennus	1. kerros					-17
Tukiasema vastaanottotaso Rx	Operaattorivaatimus > -95 dBm	-82 dBm	-84	-83	-81	-83

Linkkibudjettilaskelman pohjalta pystytään tekemään verkon kohinatasolaskelma. Kohinatasolaskelmalla varmistetaan, ettei kohinataso nouse liian suureksi sisäantenniverkossa. Jos sisäantenniverkossa käytetään LTE-tekniikkaa, kohinataso laskemisen tärkeys korostuu. Taulukossa 5 on esitetty linkkibudjettilaskelman pohjalta tehty LTE-kohinatasolaskelma.

Taulukko 5. Ylälinkin kohinalaskelma. [9.]

**Uplink-
kohinalaskelma**

LTE-peruskohina	-114 dBm		
Tukiasemakohina	3 dB	2	F2
Kaapelin kohina	18 dB	63	F1
Kaapelivahvistus	-18 dB	0,01569	G1
F-muutos	21 dB		
Tukiasema Rx -kohina	-93 dBm		

Signaali/kohina	9 dB	16 QAM
Min tukiasema Rx	-84 dBm	Hyväksytty

Osa- ja materiaaliluettelossa esitetään kaikki sisäantenniverkon komponentit ja kaapelit, kuten yhdistelyelementit (hybridit), tehonjakajat, antennit sekä runkokaapelit ja antennien haarakaapelit.

6 Sisäantenniverkon huomiointi suunnitteluvaiheessa

Varautuminen mahdolliseen sisäantenniverkkoon jo aikaisessa vaiheessa helpottaa huomattavasti sisäantenniverkon toteutussuunnittelua ja ennen kaikkea varsinaista rakentamista, varsinkin jos se joudutaan rakentamaan lähes valmiiseen rakennukseen. Sisäantenniverkon tulemiseen voidaan varautua huomioimalla sen tarvitsemat laitetilat, kaapelireitit ja sähkönsyöttö. Varautuminen sisäantenniverkkoon on verrattain edullista eikä vaadi suuria muutoksia suunnitelmiin.

6.1 Laitetilan tilavaraukset

Laitetilojen tilavarauksia suunnitellessa tulisi huomioida mahdollisen sisäantenniverkon laitteiden vaatimat tilat. Pääsääntöisesti verkon aktiivilaitteet sijoitetaan talojakamoon tai ilmanvaihdon konehuoneeseen, joka sijaitsee rakennuksen katolla. Pienissä rakennuksissa sisäantenniverkon vaatimat aktiivilaitteet pystytään sijoittamaan keskitetysti yhteen laitetilaan, esim. talojakamoon muiden telejärjestelmien kanssa. Isoissa rakennuksissa, joissa joudutaan käyttämään pitkiä kaapelipituuksia, voi olla tarpeen suunnitella hajautettu sisäantenniverkko. Tämänkaltaisessa tapauksessa on syytä varautua myös alijakamotiloihin tuleviin aktiivilaitteisiin.

Sisäantenniverkon aktiivilaitteet, kuten toistimet, tukiasemat, yhdistelyelementit ja virtalähteet asennetaan pääsääntöisesti laitekaappeihin tai -telineisiin. Laitekaappien tilantarve ja tarvittavat määrät on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Laitekaappien tarvitsema tila. [9.]

Huoneistojen lukumäärä	Laitekaappien määrä	Laitekaapin koko
20-50 (ei sähkövarmistusta)	2	2 x (600 x 600 x 2000) mm
51-150 (sähkön varmistus)	4	4 x (600 x 600 x 2000) mm
>150	n x 4 (useita tiloja)	n x 4 x (600 x 600 x 2000) mm

Jos aktiivilaitteet sijoitetaan muuhun kuin talojakamoon tai teletilaan, tulee tilan täyttää Viestintäviraston M65/C-määräyksen ohje laitetiloista. Huomiota tulisi kiinnittää erityisesti siihen, että

- tilan ilmanvaihto on riittävä ja lämpötila-alue on sopiva
- laitetila on puhdas, pölytön ja ilmankosteus on sopiva
- laitetila tai -kaappi pystytään lukitsemaan M65/C-määräyksen mukaisesti.

Lisäksi laitetilan tulee sijaita sellaisessa paikassa, että operaattorin on helppo päästä suorittamaan huoltotoimenpiteitä laitteistoissa. [13.]

6.2 Sähkönsyöttö

Laitetilassa olevat sisäantenniverkon aktiivilaitteet tarvitsevat sähkönsyötön, joka on järjestetty omana ryhmänä. Käytön kannalta helpoin ratkaisu on, että syöttö otetaan pääkeskuksesta tai mittauskeskuksesta, jossa sillä on oma sähköyhtiön sähkömittari. Tässä tapauksessa operaattorit pystyvät tekemään omat sähkösopimukset sähköyhtiön kanssa. Joissain tapauksissa sisäantenniverkon laitteiden lisäksi operaattorit tuovat omia tukiasemia ja katolle sijoitettavia antennejä oman matkapuhelinverkkonsa parantamiseksi alueella. Sähkönsyöttö olisi hyvä järjestää siten, että jokainen operaattori saa

tarvittaessa oman mittarin. Jos mittaus suoritetaan sähköyhtiön mittarin sijasta alamittauksena, tulee operaattorien erikseen sopia sähkömaksusta kiinteistönhaltijan kanssa.

Jos sisääntenniverkon toteutuksesta tai operaattorien omista tarpeista ei ole tietoa suunnitteluvaiheessa tulisi niihin kuitenkin varautua. Kiinteistön pääkeskukseen tai mittauskeskukseen tulisi järjestää kolme 3 x 25 A:n syöttöä, joilla on omat sähköyhtiön mittarit tai tehdä vähintään tilavaraus syötöille ja mittareille. Toissijaisena vaihtoehtona on järjestää alamittauksella varustettu syöttö kiinteistökeskukselta.

Tiedettäessä operaattorien omat vaatimukset ja sisääntenniverkon toteutustapa voidaan sähkönsyötöt järjestää ohjeiden mukaan. Toistintratkaisulla toteutetun sisääntenniverkko vaatii yleensä oman 16 A:n syötön ja tukiasemaratkaisu puolestaan 3 x 25 A:n syötön. [9.]

6.3 Kaapelireitit

Kuten aikaisemmin esitetyistä periaatekaavioista huomataan, on sisääntenniverkon kaapelointi yksinkertainen eikä vaadi suuria kaapelimääriä. Sisääntenniverkon kaapelointi voidaan asentaa samoille kaapelireiteille ja hyllyille kuin muut rakennuksen antenni- ja yleiskaapeloinnit. Rakennusvaiheessa kaapeleiden asentaminen on helppoa, koska johdotit ovat vielä auki. Rakennuksen valmistuessa kaapelireitit jäävät alakattojen sisään ja läpiviennit tukitaan palo-osastojen väliltä. Jos tässä vaiheessa aloitetaan sisääntenniverkon kaapelointi, on se huomattavasti vaikeampaa.

Jälkeenpäin asennettaviin kaapeleihin voidaan varautua suunnittelu ja rakennusvaiheessa, jolloin kaapeleiden asentamisen jälkeenpäin helpottuu. Keskus- ja teletilojen välille sekä reiteille, joihin mahdollisesti tulee kaapeleita myöhemmin, voidaan asentaa läpivientiaihioita. Kuvassa 15 sähkökaapeleilla tarkoitettu EI60-läpivientiaihio. [14.]



Kuva 15. Läpivientaihia kaapeleille. [14.]

6.4 Maadoitus ja potentiaalintasaus

Jokainen laitetilan kaappi ja teline vaativat oman potentiaalintasausjohtimen, jolla se liitetään tilassa olevaan potentiaalintasauskiskoon. Laitetilassa pitää olla potentiaalintasauskisko tai -liitin, johon laitekaappien potentiaalintasausjohtimet voidaan liittää. Laitetilän potentiaalintasauskiskosta asennetaan standardin SFS-EN 50310 vaatima potentiaalintasausjohtin rakennuksen päämaadoituskiskoon.

Potentiaalintasauskiskon ja laitekaappien välisen johtimien poikkipinta-alat tulee valita standardin SFS 6000-5-54 mukaisesti. Potentiaalintasausjohtimen poikkipinta-ala ei saa kuitenkaan olla pienempi kuin

- 4 mm² Cu, jos kaappi tai teline matalampi tai yhtä korkea kuin 21 U
- 16 mm² Cu, jos kaappi tai teline on korkeampi kuin 21 U.

Palvelinkaappien mitoituksessa käytetty rack unit (U) on 44,45 mm, eli 21 U:n laitekaapin korkeus on noin 933 mm.

Laitelilan potentiaalintasauskiskon ja rakennuksen päämaadoituskiskon välisen johtimen poikkipinta-ala tulee olla 25 mm² Cu, ellei standardi SFS 6000-5-54 vaadi suurempaa poikkipinta-alaa. [9.]

7 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli selvittää sisäkuuluvuuteen vaikuttavia tekijöitä, eri ratkaisuvaihtoehtoja sisäkuuluvuuden parantamiseksi ja niiden huomiointia aikaisessa suunnitteluvaiheessa. Alussa perehdyttiin kuuluvuusongelmia aiheuttaviin seikkoihin ja selvitetiin sisäkuuluvuuden kannalta riskirakenteet.

Työssä perehdyttiin erityisesti sisäantenniverkkoihin, jotka ovat yleisesti käytetty ratkaisu sisäkuuluvuuden parantamiseen. Tarkoituksena oli selvittää sisäantenniverkon suunnittelun ja rakentamisen eri vaiheet sähkösuunnittelijan näkökulmasta. Työssä tutkittiin myös, miten sisäantenniverkkoon voidaan varautua suunnitellessa laitetilojen tilavarauksia, sähkönsyöttöjä ja kaapelireittejä.

Toissijaisesti perehdyttiin rakenteellisiin ratkaisuihin ja toteutuksiin, joilla sisäkuuluvuutta voidaan parantaa. Rakenteellisilla ratkaisuilla voidaan joissain tapauksissa parantaa sisäkuuluvuutta tarpeeksi, jolloin sisäantenniverkkoa ei välttämättä tarvita. Työssä selvitettiin RF-aukkojen peruseriaatteita sekä niiden hyviä ja huonoja puolia. Myös selektiivilasiin rakennetta ja vaikutusta sisäkuuluvuuteen pohdittiin.

Työn tuloksena saatiin insinööriyö, jota voidaan käyttää apuna kartoittaessa sisäkuuluvuusratkaisuja ja sähkösuunnittelun tukena kohteessa, johon mahdollisesti rakennetaan sisäantenniverkko. Lisäksi työssä selvitetään operaattorien vaatimuksia laitetiloille ja sähkönsyötölle, jos rakennukseen asennetaan erillinen operaattorin tukiasema parantamaan alueen matkapuhelinverkkoa.

Lähteet

- 1 Matkaviestinverkon liittymien markkinaosuudet. 2018. Tilasto. Viestintävirasto <https://www.viestintavirasto.fi/tilastotjatutkimukset/tilastot/2013/matkaviestinverkonliittymienmarkkinaosuudet.html>. Luettu 15.3.2018.
- 2 Matkapuhelinverkon toiminta ja tukiasemat. 2015. STUK. Verkkodokumentti. <http://www.stuk.fi/aiheet/matkapuhelimet-ja-tukiasemat/matkapuhelinverkko/matkapuhelinverkon-toiminta-ja-tukiasemat>. Luettu 26.2.2018.
- 3 Mikä on Virve? 2017. Verkkodokumentti. Erillisverkot. https://www.erillisverkot.fi/files/179/Erillisverkot_Virve_Factsheet_A4_2017_-_Copy.pdf. Luettu 12.1.2018.
- 4 Rakennusten sisätiloissa esiintyvien matkapuhelinten kuuluvuusongelmien ratkaisuvaihtoehtojen kartoitus. 2013. Verkkodokumentti. Rakennusteollisuus RT ry. https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/rakentamisen-kehittaminen/matkapuhelinten_kuuluvuusongelmat_raportti.pdf. Luettu 15.12.2017.
- 5 Matkapuhelimien kuuluvuus sisätiloissa – Energiatehokas uudis- ja korjausrakentaminen. 2013. Suunnitteluohje. Rakennusteollisuus RT ry. https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/rakentamisen-kehittaminen/suunnitteluohje_matkapuhelimien_kuuluvuus.pdf. Luettu 20.12.2017.
- 6 Opas matkapuhelimenverkkojen sisäkuuluvuudesta. 2015. Opas. Viestintävirasto. https://www.viestintavirasto.fi/attachments/Opas_matkapuhelinverkkojen_sisatilakuuluvuudesta_2015_11.pdf. Luettu 3.1.2018.
- 7 Finnfoam FF-SIGNAL esite. 2018. Esite. Finnfoam Oy https://www.finnfoam.fi/files/8015/1853/4338/FF-SIGNAL_uutuus_A4_2018_WEB.pdf. Luettu 1.3.2018
- 8 Kuuluvuutta sisätiloihin. 2013. Verkkojulkaisu. Orbis Oy. <http://www.orbis.fi/kuuluvuutta-sisatiloihin>. Luettu 20.12.2017.
- 9 ST 625.10 Matkaviestinjärjestelmien sisäantenniverkot. 2015. Suunnitteluohje. Sähkötieto ry. <https://severi-sahkoinfo-fi.ezproxy.metropolia.fi/item/5856?search=625.10>. Luettu 20.11.2017.
- 10 Antennas. Rosenberger. Verkkodokumentti. Hochfrequenztechnik GmbH & Co. KG. http://www.rosenberger.com/0_images/br/home/PDF_Catalogo_RF/10_Antenas.pdf. Luettu.14.3.2018.
- 11 DAS Components. Verkkodokumentti. Rosenberger Hochfrequenztechnik GmbH & Co. KG. <https://www.rosenbergeronline.us/usercontent/documents/RSS-DAS-Components.pdf>. Luettu 15.3.2018.

- 12 Matkapuhelinten sisäkuuluvuuden varmistaminen rakennushankkeessa. 2016. Verkkodokumentti. Radiotie Suomi Oy. <https://www.slideshare.net/EevaPekonen1/siskuuluvuuden-varmistaminen-rakennushankkeessa-radiotie-suomi-oy>. Luettu 6.1.2018.
- 13 Määräys 65 kiinteistön sisäverkoista ja teleurakoinnista (Määräys 65 C/2018). 2018. Määräys. Viestintävirasto. https://www.viestintavirasto.fi/attachments/maaraykset/M_65_C_2018.pdf. Luettu 10.2.2018.
- 14 S-sarjan seinäläpiviennit sähkökaapeleille. Esite. Sewatek Oy. https://daks2k3a4ib2z.cloud-front.net/5825c7a60bfbf48f64f17621/5939389002aed362ec1f4d17_S-sarjan_esite_kaapelit.pdf. Luettu 5.2.2018