



Liikenne- ja  
viestintäministeriö

# RF-luvun käyttömahdollisuudet rakennusten signaalinvaimennusten arvioinnissa

Esiselvitys

Liikenne- ja viestintäministeriön

visio

Hyvinvointia ja kilpailukykyä hyvillä yhteyksillä

toiminta-ajatus

Liikenne- ja viestintäministeriö edistää väestön hyvinvointia ja elinkeinoelämän kilpailukykyä. Huolehdimme toimivista, turvallisista ja edullisista yhteyksistä.

arvot

Rohkeus

Oikeudenmukaisuus

Yhteistyö



# Liikenne- ja viestintäministeriö

Julkaisun päivämäärä  
16.10.2013

Julkaisun nimi

RF-luvun käyttömahdollisuudet rakennusten signaalinvaimennusten arvioinnissa. Esiselvitys

Tekijät

Tutkija Ari Asp, RSV Measurements Oy

Toimeksiantaja ja asettamispäivämäärä

Liikenne- ja viestintäministeriö, 22.8.2013

Julkaisusarjan nimi ja numero

Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 27/2013

ISSN (verkkajulkaisu) 1795-4045  
ISBN (verkkajulkaisu) 978-952-243-361-9  
URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-361-9>  
HARE-numero

Asiasanat

matkaviestintä, asuminen, rakentaminen, matalaenergiatalot

Yhteyshenkilö

Ari Asp, puh. 050 307 5388

Muut tiedot

Tiivistelmä

Globaali ilmastonmuutos on tosiasia, ja Suomikin on kansallisesti sitoutunut EU:n yhteiseen tavoitteeseen energian kulutuksen vähentämiseksi. Yksi merkittävistä energiankulutuksen osa-alueista on rakennusten lämmitys, johon tavoitellaan säästöjä mm. rakennusmateriaaleja kehittämällä. Rakennusmateriaalit ovat entistä parempia energiataloudellisesti, mutta monissa uusissa materiaaleissa on pintoja tai osia, jotka vaimentavat radiotaajuisia signaaleja voimakkaasti. Tämän seurauksena monissa uusissa rakennuksissa on havaittu ongelmia mm. matkapuhelinverkkojen kuuluvuudessa.

Matkapuhelinverkkojen aikaisempaa voimakkaammat vaimennukset rakennusten ulkoseinissä tulisi ottaa huomioon jo rakennuksia suunniteltaessa, mutta toistaiseksi sopivaa työkalua suunnittelijoille ei ole ollut tarjolla. Tavoitteena on löytää yksinkertainen materiaalien radiovaimennusta kuvaava suure tai ilmaisu, jonka perusteella rakennuksen sisäosissa esiintyvää matkapuhelinverkkojen signaalitasoa voidaan ennakoita. Tämän ns. "RF-luvun" perusteella voidaan tehdä arvioita rakennusten ulkovaipan radiosignaali vaimennuksista ja suurten vaimennusten tapauksissa pyrkiä mahdollisesti materiaalivalinnoilla pienentämään kuuluvuusongelmien todennäköisyyttä. Mikäli paikallisestikaan ei ole mahdollista muokata rakenteita tai materiaalivalintoja vähemmän radiosignaaleita vaimentaviksi, tulisi suunnittelussa varautua muulla tavoin kuuluvuusongelmien ratkaisemiseen esim. sisäverkkokaapelivarauksin.



Publiceringsdatum  
16.10.2013

Publikation

Möjligheter att utnyttja RF-tal för bedömningen av signaldämpning i byggnader.  
Preliminär utredning

Författare

Forskare Ari Asp, RSV Measurements Oy

Tillsatt av och datum

Kommunikationsministeriet, den 22 augusti 2013

Publikationsseriens namn och nummer

Kommunikationsministeriets  
publikationer 27/2013

ISSN (webbpublikation) 1795-4045  
ISBN (webbpublikation) 978-952-243-361-9  
URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-361-9>  
HARE-nummer

Ämnesord

mobilterminal, boende, byggande, lågenergihus

Kontaktperson

Ari Asp, tfn 050 307 5388

Rapportens språk

Finska

Övriga uppgifter

Sammandrag

Den globala klimatförändringen är ett faktum och även Finland har nationellt förbundit sig till EU:s gemensamma mål för att minska energiförbrukningen. Uppvärmningen av fastigheter utgör en stor del av energiförbrukningen och därför eftersträvas besparingar bl.a. genom att man utvecklar byggmaterial. Energiekonomiskt sett är byggmaterialen bättre än förut, men många av de nya materialen har ytor eller delar som mycket starkt dämpar signaler som utnyttjar radiofrekvenser. Till följd av detta har man i många nybyggda hus träffat på problem med hörbarhet och täckning i mobilnätet.

De allt starkare dämpningarna i byggnadernas ytterväggar borde tas i beaktande redan i planeringen av fastigheter, men hittills har det inte funnits något lämpligt verktyg till hands. Målet är att hitta en enkel storhet eller uttrycksform för radiodämpningen i olika material för att göra det möjligt att förutse signalnivån på mobilnätet inne i byggnaden. Utifrån detta s.k. "RF-tal" kan man uppskatta radiosignaldämpningen i byggnadens ytterväggar. Om dämpningen visar sig vara stor kan man sedan med hjälp av lämpliga val av material minska sannolikheten för problem med den mobila hörbarheten. Om det inte är möjligt att påverka konstruktionerna eller materialvalet för att motarbeta dämpade radiosignaler bör man i planeringen på annat sätt kunna tackla eventuella problem med hörbarheten till exempel så att man reserverar plats för kablar för ett fastighetsnät.

Date  
16 October 2013

Title of publication  
The use of the RF figure in preventing signal interference inside buildings.  
Preliminary study

Author(s)  
Researcher Ari Asp, RSV Measurements Oy

Commissioned by, date  
Ministry of Transport and Communications, 22 August 2013

|   |   |
|---|---|
| Publication series and number<br><br>Publications of the Ministry of<br>Transport and Communications<br>27/2013 | ISSN (online) 1795-4045<br>ISBN (online) 978-952-243-361-9<br>URN <a href="http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-361-9">http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-361-9</a><br>Reference number |
|---|---|

Keywords  
  
mobile communications, housing, construction, low-energy buildings

|  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| Contact person<br>Mr. Ari Asp, tel. 050 307 5388 | Language of the report<br>Finnish |
|--|-----------------------------------|

Other information

Abstract  
Global climate change is a fact, and Finland, too, is committed to the EU common goal of reducing energy consumption. A significant contributor to energy consumption is the heating of houses. One way to achieve savings in that area is to improve building materials. In terms of energy economy building materials have developed, but many of the new materials include surfaces or components that strongly interfere radio signals. As a result, many new buildings suffer from problems in mobile phone reception for example.

Stronger interference to mobile phone networks caused by external walls of buildings should be taken into account already in the planning stage, but so far no appropriate tool has been available. The aim is to find a simple variable or expression describing the radio interference, which could be used to anticipate the strength of the mobile phone network signal inside buildings. This so called "RF figure" could help estimate the radio signal interference caused by external materials of the buildings. In the case of severe interference, the likelihood of reception problems could be reduced by means of material choices. If it is not possible to change the materials or adjust the material choices to weaken radio signal interference, other means should be taken into use to solve the reception problems, such as the cabling of intranets.

## Esipuhe

Matkapuhelinyhteydet ovat nykypäivän perustarve, joiden toimivuus on turvattava kaikissa tilanteissa. Puhelujen kuuluvuuteen vaikuttavia tekijöitä on useita, joista yksi on tukiaseman ja päätelaitteen välillä olevat rakennukset. Uuden tiiviin, energiatehokkaan rakentamisen on osaltaan todettu aiheuttavan radiosignaaleille aikaisempaa vahvempia vaimennuksia. Tämän on arvioitu johtavan lisääntyviin kuuluvuusongelmiin rakennusten sisätiloissa. Kiristyvien energiatehokkuusmääräysten myötä kuuluvuusongelmat todennäköisesti konkretisoituvat lähitulevaisuudessa erityisesti tietyissä rakennustyypeissä.

Asunto- ja viestintäministeri asetti syyskuussa 2012 työryhmän selvittämään näiden eräissä matalaenergiataloissa esiintyvien kuuluvuusongelmien laajuutta ja arvioimaan eri ratkaisumalleja niiden ehkäisemiseksi. Lokakuussa 2013 julkaisemassaan loppuraportissa työryhmä korosti tehokkaan tiedonkulun merkitystä, jotta eri ratkaisuvaihtoehdot mahdollisiin kuuluvuusongelmiin voitaisiin ottaa ennakoivasti huomioon sekä rakentamisen yhteydessä että matkaviestinverkkojen ja -palvelujen suunnittelussa. Ennakoivan suunnittelun parantamiseksi työryhmä ehdotti erääksi lyhyen aikavälin toimenpiteeksi radiosignaalin kuuluvuusarvon määrittelyä yleisemmille rakennusmateriaaleille vaimennusarvon eli ns. RF-luvun avulla. RF-luvun huomioivalla rakennustavalla voitaisiin kiinnittää rakentajien ja suunnittelijoiden huomio kuuluvuusasioihin jo rakennusprojektin aloitusvaiheessa ja sen myötä varmistaa, että poikkeuksellisen paljon radioaaltoja vaimentavia rakennuksia ei rakennettaisi.

RF-luvussa on kyse uudesta ideasta, jonka käyttöönotto edellyttää huolellista esitutkimusta luvun mahdollisista hyödyistä ja käyttökohteista sekä myöhemmässä vaiheessa konkreettista ohjeistusta, tiedotusta ja laskentamallia. RF-luvun hyödyntämistä koskevan syvällisemmän analyysin käynnistääkseen liikenne- ja viestintäministeriön tilasi tämän esiselvityksen, joka käsittelee luvun käytön mahdollisuuksia rakennusten signaalinvaimennusten hallintaa ohjaavana elementtinä.

Sini Wirén  
Ylitarkastaja  
Liikenne- ja viestintäministeriö

## Sisällysluettelo

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1.   | RF-luvun käsite .....                                 | 2  |
| 2.   | RF-luvun etenemisen lyhyt teoria .....                | 2  |
| 2.1  | Heijastuminen.....                                    | 2  |
| 2.2  | Diffrakatio (taittuminen) .....                       | 3  |
| 2.3  | Heijastuksen ja diffraktion yhteisvaikutus.....       | 4  |
| 3.   | RF-luvun taajuusriippuvuus .....                      | 4  |
| 4.   | RF-luku materiaalien ominaisuuksien kuvaajana.....    | 6  |
| 5.   | RF-luvun muoto .....                                  | 9  |
| 5.1  | Numeroarvojen käyttö RF-vaimennuksen kuvaajana .....  | 9  |
| 5.2  | Kategorisointi numeroarvon sijaan.....                | 9  |
| 6.   | RF-luvun määrittäminen.....                           | 10 |
| 7.   | RF-luvun tulkinta.....                                | 11 |
| 8.   | RF-luvun vaikuttavuus .....                           | 11 |
| 9.   | RF-luvun velvoittavuus.....                           | 12 |
| 10.  | Käytännön eteneminen RF-lukujen käyttöön otossa ..... | 12 |
| 10.1 | RF-luvun taulukon tuottaminen .....                   | 12 |
| 10.2 | Tiedottaminen RF-luvusta.....                         | 12 |
| 11.  | Ulkokentän huomioiminen .....                         | 13 |
| 12.  | Yhteenveto.....                                       | 13 |

## 1. RF-luvun käsite

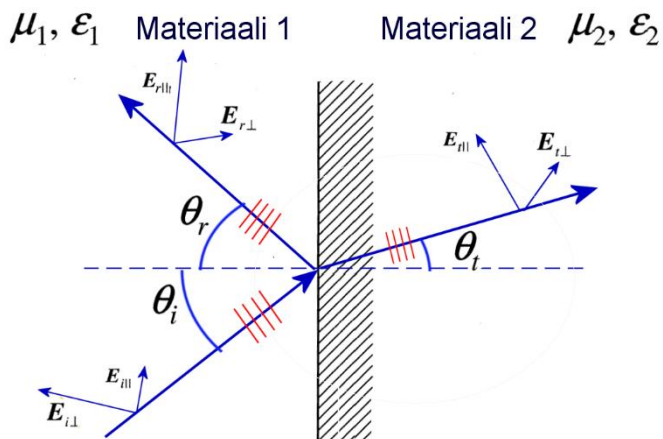
RF –luvulla tässä selvityksessä tarkoitetaan materiaali-kohtaista numeroarvoa tai muuta kuvausta, jolla kuvataan ko. materiaalin keskimääräistä vaimennusta tällä hetkellä käytössä oleville matkapuhelinverkojen käyttämille taajuuksille.

## 2. RF-luvun etenemisen lyhyt teoria

Signaalin etenemistä ilmassa ja väliaineissa on laajasti tutkittu teoreettisella tasolla, ja keskeiset käsitteet vapaan tilan vaimennus, heijastus ja taittuminen ovat laajasti esillä kirjallisuudessa. RF –luvun näkökulmasta, jossa huomio keskittyy signaalin etenemiseen tietyn materiaalin läpi, tärkeimmät yksittäiset teoreettiset taustatiedot ovat heijastuminen ja taittuminen. Niistä on seuraavassa hyvin lyhyt tiivistelmä.

### 2.1 Heijastuminen

Heijastuminen on keskeinen teorian osa-alue materiaalin vaimennuksen tutkimisessa, sillä käytännössä lähes kaikista materiaaleista osa siihen osuneesta säteilystä heijastuu alkuperäisen säteilyn tulokulmasta ja materiaalin ominaisuuksista riippuen takaisin. Se osa säteilystä, joka ei heijastu, imeytyy materiaaliin tai jatkaa kulkuaan materiaalin läpi. Seuraavassa periaatekuva heijastumisesta [1].



Kuva 1 heijastumisen periaatekuva

Kuvassa nuoli, jonka suureissa on alaindeksi  $i$ , kuvaa etenevää signaalia, joka kohtaa toisen materiaalin pinnan kulmassa  $\theta_i$ . Tässä kuvassa etenevä signaali on radiotaajuinen sähkömagneettisista kentistä muodostunut tasoaalto, jossa sähkökentän suuntaa kuvaa  $E$  –merkkintä. Etenemissuuntia kuvaavien nuolien päällä olevat punaiset viivat korostavat sitä, että kysymys on kaukokentässä etenevistä tasoaaltoista.

Heijastusta käsiteltäessä ajatellaan yleisesti säteen kulkevan ensin aineessa tai materiaalissa 1, jonka jälkeen se saavuttaessaan toisen aineen (materiaali 2) heijastuu osin takaisin (merkitty alaindeksillä  $r$ ) ja osin jatkaa matkaansa toisen aineen läpi (alaindeksit  $t$ ). Heijastuneen säteen voimakkuus riippuu tulevan säteen tehosta ja materiaalien 1 ja 2 ominaisuuksista. Teoriaa on tavallisesti lähestytty kirjallisuudessa Snell:n lain avulla, joka määrittelee lähinnä saapuvan säteen ja heijastuvan säteen kulmat.



Radiotaajuisten signaalien kannalta RF-luvun näkökulmasta materiaali 1 on tavallisesti ilma, jolloin signaali kohtaa ilmassa edettyään jonkin rakennusmateriaalin. Yleisesti radiosignaali osin tunkeutuu materiaaliin ja osin heijastuu materiaalin pinnasta. Heijastuksen voimakkuuden määräävät materiaalien ominaisuudet, suhteellinen johtavuus, permittiivisyys ja permiabiliteetti. Käytännön materiaaleilla heijastusten määrää voidaan arvioida rakenteiden metalleja sisältävien osien yhtenäisyydellä ja niiden osuudella koko rakenteen pinta-alasta. Materiaalin johtavuus määrää karkeasti sen vaikutuksen radiosignaalien vaimennuksessa.

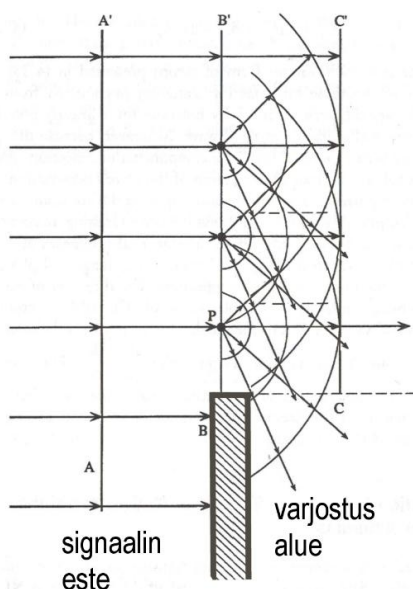
Materiaalien heijastuskertoimet ( $R_{\parallel}$  ja  $R_{\perp}$ ) sekä transmissiota eli materiaalin läpäisyä kuvaavat kertoimet ( $T_{\parallel}$  ja  $T_{\perp}$ ) ovat erikseen vertikaaliselle ja horisontaaliselle polarisaatiolle. Seuraavassa kaavassa esiintyvät kertoimet  $Z_1$  ja  $Z_2$  kuvaavat materiaalien aaltoimpedansseja.

$$R_{\parallel} = \frac{E_{r\parallel}}{E_{i\parallel}} = \frac{Z_1 \cos \theta_i - Z_2 \cos \theta_t}{Z_2 \cos \theta_t + Z_1 \cos \theta_i} \quad R_{\perp} = \frac{E_{r\perp}}{E_{i\perp}} = \frac{Z_2 \cos \theta_i - Z_1 \cos \theta_t}{Z_2 \cos \theta_t + Z_1 \cos \theta_i}$$

$$T_{\parallel} = \frac{E_{t\parallel}}{E_{i\parallel}} = \frac{2Z_2 \cos \theta_i}{Z_2 \cos \theta_t + Z_1 \cos \theta_i} \quad T_{\perp} = \frac{E_{t\perp}}{E_{i\perp}} = \frac{2Z_2 \cos \theta_i}{Z_2 \cos \theta_t + Z_1 \cos \theta_t}$$

## 2.2 Diffraktio (taittuminen)

Toinen keskeinen teorian osa tarkasteltaessa radiosignaalien etenemistä sisätiloihin on diffraktio eli taittuminen. Taittuminen selittää yhdessä heijastumisen kanssa sen, miksi säteen tiellä olevan esteen takana ei ole täydellistä "pimeää aluetta", vaan signaali säkyi myös esteen takana, joskin voimakkaasti vaimentuneena. Perusajatus kuvataan tavallisesti ns. Huygensin periaatteella, jolloin tasoallon pisteet voidaan ymmärtää uusiksi, eri kulmissa säteileviksi säteilylähteiksi. Näiden uusien säteilylähteiden muodostama kokonaiskenttä muodostaa esteen taakse taittuvan signaalin [2].

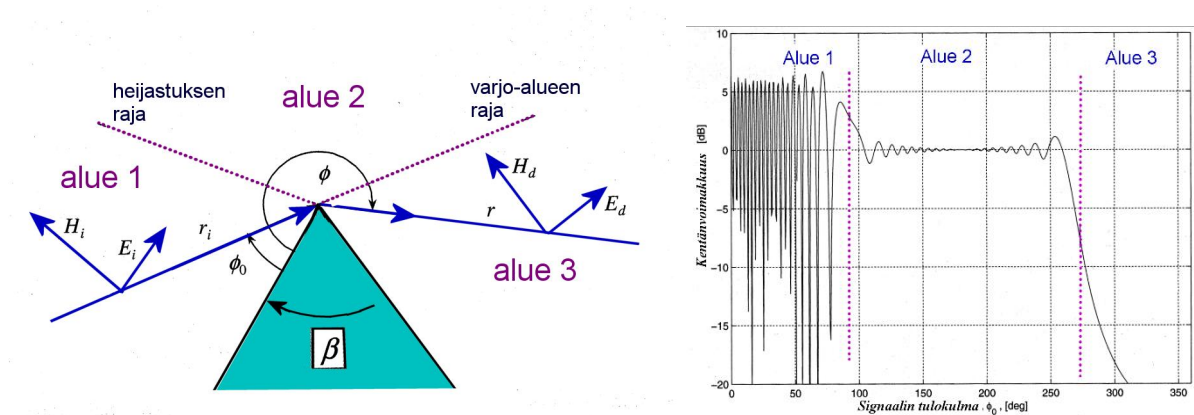


Kuva 2. Huygensin periaate.

### 2.3 Heijastuksen ja diffraktion yhteisvaikutus

Seuraavissa periaatekuivissa esitetään heijastuksen ja diffraktion yhteisvaikutus [3]. Vasemmanpuolisen kuvan sinisellä kolmiolla kuvataan signaalin kulkusuunnassa olevaa estettä, jonka etupuolelle muodostuu alue 1. Tämän alueen signaalitason paikallista vaihtelua kuvaa vasemman kuvan alueen 1 voimakkaasti vaihteleva käyrämuoto. Voimakas vaihtelu syntyy esteen etupinnan heijastusten ja suoraan edenneen alkuperäisen signaalin yhteisvaikutuksesta.

Alue 2 kummassakin kuvassa kuvaa tasaista aluetta, jossa signaali etenee suoraan vapaan tilan vaimennusta noudattaen. Kolmas alue kuvaa kummassakin kuvassa esteen takana olevaa voimakkaan vaimennuksen aluetta, jonne signaalitaso syntyy diffraktion vaikutuksesta. Diffraktioon liittyy olennaisena osana esteen geometria, joka määrää esteen takana olevan signaalitason.

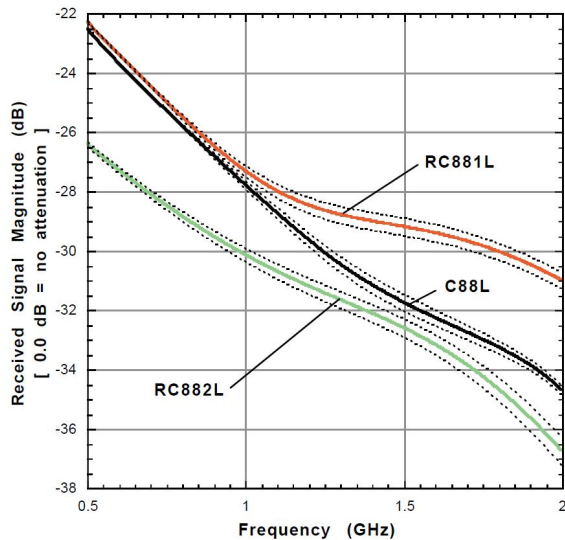


Kuva 3. Heijastuksen ja diffraktion yhteisvaikutus

Edellä esitettyjen teoreettisten tarkastelujen perusteella voidaan arvioida erilaisten materiaalien vaikutusta ympäröiviin radiosignaalitasoihin. Edellä kuvattu heijastuksen ja diffraktion yhteisvaikutus näkyy selvästi esimerkiksi ikkunapuitteiden läheisyydessä, jossa puisen ikkunapuitteen päällysteenä käytetty alumiiniprofiili sekä heijastaa että taittaa radiotaajuisia signaaleja.

### 3. RF-luvun taajuusriippuvuus

On tunnettua, että materiaalien radiotaajuisien signaalien vaimennus riippuu ratkaisevasti tarkasteltavasta taajuudesta. Tyypillisesti vaimennus nousee voimakkaasti taajuuden kasvaessa. Vaimennuksen nousua taajuuden funktiona kuvaa seuraava esimerkkikuva [4], josta nähdään GSM -järjestelmän käyttämillä n. 900 MHz taajuuksilla keskimääräinen vaimennus on puhtaalla betonilla (käyrä C88L) 27 dB:ä, ja nykyisen 3G -verkon käyttämillä 2,1 GHz taajuuksilla jo yli 35 dB:ä. Toiset käyrät kuvaavat betonirakenteita, joissa on rauditus, RC881L:ssä teräksen osuus 1% ja RC882L:ssä vastaavasti 2%. Kaikissa kuvaajissa materiaalin paksuus on ollut 203 mm.



Kuva 4. Materiaalin radiosignaalin vaimennuksen taajuusriippuvuus

Tästä voimakkaasta taajuusriippuvuudesta johtuen ei ole lähtökohtaisesti tarkoituksenmukaista ilmoittaa RF-lukua vain yhtenä lukuna, vaan kahtena erillisenä lukuna eri taajuusalueille. Syytä on painottaa erityisesti järjestelmien sijaan eri taajuusalueita, sillä taajuusalueita käyttävät verkot ja teknologiat muuttuvat nopeasti, kun vertailukohtana pidetään rakennuksen elinkaaren ajanjaksoa. Toisena taajuutena voidaan ajatella käytettävän nykyisen GSM –verkon taajuutta, eli 900 MHz:n aluetta, sillä GSM järjestelmänä tulee todennäköisesti olemaan käytössä vielä pitkään. Tämän perusteena on GSM:ää käyttävien matkapuhelinten suuri määrä, ja verkon hyvä peittoalue varsinkin haja-asutusalueilla. Vaikka GSM:ää ei ajateltaisikaan järjestelmänä, tulee 700-1000 MHz:n taajuusalue kuitenkin todennäköisesti säilymään matkaviestimien peruskäytössä pitkälle tulevaisuuteen. Tällä hetkellä on erityisesti kiinnitetty huomiota 800 MHz:n taajuusalueelle, jolle on vapautunut taajuuskaistaa vanhoista TV:n lähetystaajuuksista. Tällä perusteella 900 MHz taajuusalueen vaimennusta voidaan pitää yhtenä perusteltuna tunnuslukuna.

Toinen tunnusluku RF-luvulle voisi olla 2,1 GHz:n taajuudella mitattava materiaalin vaimennus. Tämän perusteena on se, että tällä taajuusalueella on nyt laajasti käytetty 3G –järjestelmä, ja aikaisemmissa mittaustuloksissa on havaittu merkittävä ero eri materiaalien vaimennuksissa 900MHz:n ja 2100 MHz:n välillä. 900 MHz:n taajuuksilla esiintyvistä vaimennuksista on vaikea arvioida 2100 MHz vaimennustasoa. 2100 MHz taajuusalue tulee sekin ilmeisesti säilymään matkapuhelinkäytössä, ja sen yläpuolella on taajuuksia varattu 2,6 GHz:n taajuuksilla LTE:n käyttöön. Ilmoitettaessa esim. materiaalin vaimennus 2100 MHz:llä on melko helppo arvioida vaimennuksien suuruusluokka 1800-3000 MHz:n taajuusalueelle.

Nyt voidaan perustellusti esittää kysymys: Jos halutaan arvioida toisella taajuusalueen pisteellä ilmaistavan 1800 – 3000 MHz alueen keskimääräistä vaimennusta, miksi esimerkkitajuudeksi ei valittaisi esim. 2400 GHz taajuuspistettä, joka olisi keskellä em. taajuusaluetta? Perusteluna 2100 MHz:n valinnalle voidaan esittää edelleen 3G –järjestelmä, mutta myös epäily siitä että yli 2,6 GHz:n taajuudet tulisivat laajasti käyttöön sellaisissa matkaviestinverkoissa, joissa tukiasemat sijoittuisivat talojen ulkopuolelle. Koska rakennusten ulkoseinien vaimennukset kasvavat hyvin voimakkaasti taajuuksien kasvaessa, on epätodennäköistä että voidaan taloudellisesti rakentaa rakennusten sisäosiin hyvän peiton tarjoamaa solukoverkkoa yli 3 GHz:n taajuuksille. Mahdollista se on, mutta talojen ulkopuolisen tukiasemaverkon tulee olla tiheä ja sekä tukiasemien että mobiilipäätelaitteiden lähetystehojen verrattain suuria. Näiden lähetystehojen kasvattaminen on hyvin haasteellista, suurimpina esteinä ovat käyttäjien

ja asukkaiden epäluulot kasvavaa radiosäteilyä kohtaan ja mobiililaitteiden akkujen rajoitukset. Näillä perusteilla toisen taajuuspisteen paikka voisi sijoittua 1,4 ja 2 GHz:n väliin.

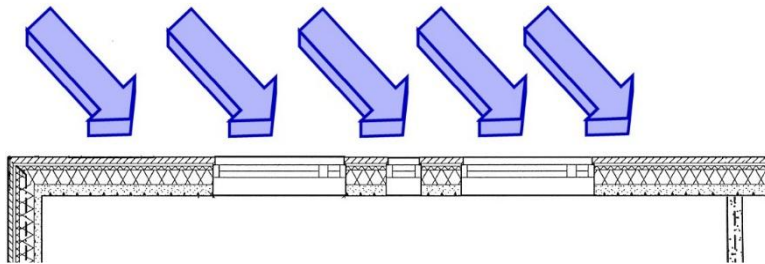
Edellisten perusteella voidaan arvioida kahden eri taajuusaluetta edustavan luvun kuvaavan RF- vaimennusta riittävän kattavasti, mikäli materiaalivaimennukset päädytään ilmoittamaan lukuarvoina.

Edellisessä arvioissa huomiotta ovat jääneet viranomaisverkkojen taajuudet, joita erityisesti palo- ja pelastustoimi hyödyntää omassa tiedonsiirrossaan. Toinen merkittävä sivuutettu radiotaajuusalue on yleisradiotoiminta, jolla on suuri merkitys paitsi ihmisten tiedonsaanti- ja viihdekanavana, myös viranomaisten tiedotuskanavana poikkeustilanteissa.

Näiden taajuusalueiden vaimennuksien kuvaaminen ei erikseen kuitenkaan ole välttämätöntä, sillä kahden korkeamman taajuuden tunnusluku antaa käytännössä riittävät tiedot arvioida myös näiden matalampien taajuusalueiden vaimennuksia. Poikkeuksen muodostaa tilanne, jossa tulevaisuudessa mahdollisesti otettaisiin käyttöön laajemmin taajuusselektiivisiä rakenteita (FSS), joiden vaimennus olisi materiaalin rakennetta modifioimalla saatu pienemmäksi tietyllä taajuusalueella. Tällaisissa tilanteissa yksikäsitteistä RF-luvun tulkintaa ei voida tehdä. Todellisuudessa tämä ei muodostu ongelmaksi, sillä taajuusselektiivisten ratkaisujen käyttöönotto sinällään vähentää vaimennuksia ja niin ollen pienentää tarvetta RF-luvun tarkkaan tulkintaan.

#### 4. RF-luku materiaalien ominaisuuksien kuvaajana

RF-luvun varsinainen tarkoitus on kuvata yksittäisen materiaalin radiotaajuisten signaalien vaimennusta, jolloin rakennuksen suunnitteluvaiheessa materiaalivalintojen yhdeksi valintanäkökulmaksi muodostuu kokonaisten ulkoseinien radiotaajuuksien läpäisy. Tässä yhteydessä on huomioitava rakennusten ulkokuoren tai vaipan kokonaisrakenne, joka yksittäisen asunnon tai yhtenäisen tilan osalta tavallisesti käsittää erilaisten seinäelementtien lisäksi ikkunat lasipintoihin ja puitteineen.



Kuva 5. Rakennuksen ulkovaipan erilaisia osia ja rakenteita

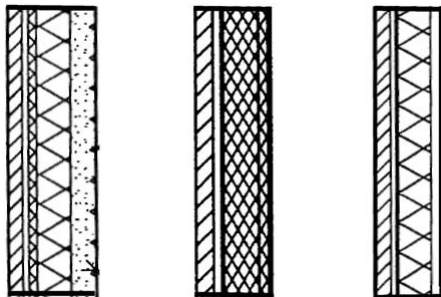
Rakennuksen sisällä vaikuttavan radiotaajuisten kentän voimakkuuden määräävät normaalissa matkapuhelinverkon tapauksessa ulkokentän voimakkuus ja ulkovaipan aiheuttama radiotaajuisten signaalien vaimennus. Kysymys on aina huone- tai muuta yhtenäistä tilaa rajoittavien ulkovaipan osien yhteisvaikutuksesta. Vaikka yhteisvaikutus muodostuu eri rakenneosien vaikutuksen summasta, sisätilojen kentän voimakkuus määräytyy kuitenkin pääosin sen seinän yksittäisen rakenneosan vaimennuksen perusteella, jonka vaimennus on pienin. Signaali siis tulee pääosin pienimmän vaimennuksen omaavan materiaalin läpi.

Signaalin etenemisessä materiaalin läpi on kuitenkin rajoituksia. Keskeisin näistä on se, että pienet paikalliset radiosignaaleita hyvin läpäisevät rakenteet eivät radioaaltojen kenttäteorian vuoksi kuitenkaan läpäise kuin suuria taajuuksia. Karkeasti arvioiden

radiotaajuisia signaaleita hyvin läpäisevien rakenteiden tulisi olla ainakin kaksi kertaa aallonpituuden suuruusluokkaa, joka käytännössä tarkoittaa pienimmän vaikuttavan rakenteen koko 900 MHz:n alueella on noin 60 x 30cm. Suorakaiteen suunta määräytyy järjestelmässä käytettävän polarisaation perusteella. Sähkö- ja magneettikenttien teoreettisen tarkastelun perusteella aallonpituuden suuruusluokka radioaaltoja läpäisevien rakenteiden mitoituksessa riittäisi, mutta se edellyttäisi radioaaltojen tulevan kohtisuoraan tarkasteltavaa aluetta kohti. Näin ei kuitenkaan yleensä käytännön tilanteessa ole, vaan signaalien tulosuunnan jakauma on satunnainen. Tämän vuoksi rakennuksessa ulkokuoren osana mahdollisesti olevat pienet hyvin radioaaltoja läpäisevät rakenteet eivät vaikuta sisätiloissa vaikuttaviin radioverkkojen signaalien tehotasoihin. Tästä johtuen RF-luvun määrittämisessä tai tulkinnoissa esim. tavallisten ikkunarakenteiden puitteiden kokoluokan rakenteiden arvioinnilla ei ole merkittävää vaikutusta.

Käytännössä RF-luku on tarkoituksenmukaista määrittellä vain ulkovaipan rakenneosille, joiden koko on yli 60 cm (korkeus) x 30 cm (leveys). Näitä rakenteita tyypillisesti ovat erilaiset ulkoseinäelementit, elementeissä käytettävät eristeet ja ikkunat.

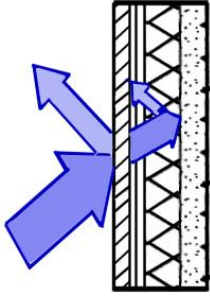
RF-lukua määriteltäessä ei kuitenkaan yhden seinämateriaalin vaimennusarvon määrittäminen riitä todelliselle seinäelementille. Tässä seinäelementillä tarkoitetaan seinää rakenneosana, ilman mahdollisia ikkunoita tai muita siihen liitettäviä rakenteita. Yhden RF-luvun rajoitukset syntyvät siitä, että seinärakenteessa on käytännössä aina useita päällekkäisiä erilaisia materiaalikerroksia. Kerrosten lukumäärä ja eri rakenteiden vahvuudet vaihtelevat tapauskohtaisesti, joten yhtä arvoa ei voida käyttää ns. standardirakenteelle. Alla oleva kuva kertoo uusien talojen esimerkinomaisista seinärakenteista.



Kuva 6 Esimerkkejä rakennusyhtiöiden seinärakenteista

Kuvassa 6 on kuvattu kolme erilaista seinäelementin rakennetta, joissa kaikille on yhteisenä piirteenä tiilipintainen ulkoverhous. Tiilipintainen ulkoverhous ei kuitenkaan ole rakennustuotannon yleisin ratkaisu, vaan vain yksi monista mahdollisista. Näin voidaan todeta erilaisten kombinaatiomahdollisuuksien määrän olevan niin suuri, että yleiselle ulkoseinärakenteelle ei voida antaa yhtä kuvaavaa arvoa, joka kuvaisi yleisesti rakenteen vaimennusta.

Sen sijaan RF-luku on helposti määriteltävissä kerroksittain seinälle, jolloin otetaan huomioon seinän eri kerrosten materiaalien omat RF-luvut. Kokonais RF-luvuksi muodostuu tällöin yksittäisten RF-lukujen summa. Tällöin RF-lukua määriteltäessä tulee tietää vain seinän rakenne ja käytettävien rakenteiden paksuudet. Radiosignaalien kannalta seinärakenteen erilaiset kerrokset muodostavat erilaisten materiaalien rajapintoja, joissa syntyy lukuisia heijastumisia. Heijastumien periaatetta esitetään kuvassa 7.



Kuva 7. Seinärakenteessa muodostuvia heijastuksia.

Kuvan 7 mukaisesti tukiasemalta saapuva signaali heijastuu ulommaisesta verhoilumateriaalista kunkin materiaalin omien ominaisuuksien määräämällä tavalla. Osa kuitenkin läpäisee ulomman rakenteen ja kohtaa seuraavan materiaalin rajapinnan, jossa tapahtuu toinen heijastuminen. Matkapuhelinverkon päätelaitteen, tyypillisesti matkapuhelimen, kannalta heijastumien järjestys on päinvastainen.

Tarkasteltaessa heijastumisen ja materiaalivaimennuksen määrittämistä tulee huomioida olosuhteiden vaikutus. Yhtenä keskeisenä heijastumiseen ja vaimennukseen liittyvänä tekijänä varsinkin seinäelementtien ulkoverhouksen osalta on ilman ja materiaalin kosteus. Sateen kastelema tiiliverhous on johtavuudeltaan erilainen kuin kuiva tiilipinta pakkasella tai pitkän poutajakson jälkeen. Rakenteen kostuminen on kuitenkin pääasiassa ulkopinnan RF-luvun tarkkuuteen liittyvä seikka, esim. betonielementin sisimmäiset rakenteet säilyvät lähes muuttumattomissa olosuhteissa säätilan vaihtelusta riippumatta.

Rakenneosat, joiden RF-luku tulisi määrittellä, ovat karkeasti jaoteltuna seuraavat:

- Betonielementti, raudoitettulla betonilla, villa- tai mineraalivillaeristeellä
- Betonielementti, alumiinipintaisella polyuretaanilevy-eristeellä
- Kevytsoharkko
- Puuelementti
- Ulkoseinärappaus
- Metalliprofiililla toteutettu ulkoverhous
- Tiiliseinä
- Ikkunat ilman selektiivikalvoa
- Ikkunat yhdellä selektiivikalvolla
- Ikkunat kahdella selektiivikalvolla

Edellä esitettyä listaa tulee arvioida tässä vaiheessa ohjeellisena ja suuntaa antavana, todellinen mittauksia ja selvityksiä vaativien rakenteiden ja materiaalien kirjo tulee tämentää niiden käytön yleisyyden perusteella yhteistyössä suunnittelutoimistojen kanssa.

Ulkokuoren vaimennusta määritettäessä on siis tutkittava koko tilaa ympäröivää seinäratkaisua ja ikkunaratkaisua erikseen (ikkunan koosta riippuen) ja tutkittava millä rakenteella on pienin vaimennus. Tässä rakenteella ymmärretään ulkokuoren kokonaisrakennetta, siis esim. seinän osaa, joka koostuu useista päällekkäisistä materiaaleista. Samoin ikkunaa käsitellään yhtenä rakenteena, jonka osana ovat päällekkäiset lasielementit ja puitteet.

## 5. RF-luvun muoto

RF-luvun muodolle on useita erilaisia perusteltavissa olevia vaihtoehtoja. Aikaisemmin jo kappaleessa 3 (RF-luvun taajuusriippuvuus) käsiteltiin tarvetta esittää radiotaajuisten signaalien vaimennus eri taajuusalueille omalla lukuarvolla. Lukuarvojen sijaan on mahdollista ilmaista vaimennus karkealla jaottelulla jakamalla materiaalit ryhmiin niiden vaimennuksen perusteella. Näitä eri mahdollisuuksia tarkastellaan seuraavassa tarkemmin.

### 5.1 Numeroarvojen käyttö RF-vaimennuksen kuvaajana

Numero- tai lukuarvon käyttö materiaalien eri ominaisuuksien kuvaamisessa on vakiintunut käytäntö. Tavallisesti materiaalien ominaisuuksista on koottu taulukoita, joiden perusteella eri materiaaleja on helppo vertailla keskenään.

Lukuarvot voivat olla joko tavallisia desimaalilukuja tai logaritmiseen asteikkoon perustuvia dB –arvoja. Desimaaliluvulla on mahdollista ilmaista vaimennus yksinkertaisesti, ja eri materiaalien suuruusluokkaerot tulevat havainnollisesti ilmi. Haittapuolena desimaalilukujen käytössä on lukuarvojen kasvaminen materiaaleilla, joilla vaimennus on poikkeuksellisen suuri. Aikaisemmin julkaistujen mittaustulosten perusteella osalla materiaaleista on yli 30 dB:n vaimennuksia, jolloin desimaaliluku nousee yli 1000 lukuarvona.

Lukuarvojen suuruutta vaikeampi käytännön ongelma syntyy kuitenkin seinäelementin kokonaisvaimennusta kuvaavan luvun muodostamisessa. Eri materiaalien aiheuttamat vaimennukset tulee laskea yhteen jolloin desimaaliluvuilla vaimennusarvot tulee kertoa keskenään. Tällöin kokonaisvaimennuksen tasoa on vaikea hahmottaa yhdellä silmäyksellä. Desibeli muotoisten lukuarvojen yhteenlasku vastaa desimaalilukujen kertolaskua, jolloin useankin dB arvon yhteenlaskuna saatavan lukuarvon suuruutta arvioitaessa ei synny vaikeuksia. Tulee muistaa, että dB arvoiset luvut eri materiaalien RF-vaimennuksille ovat yleisesti välillä 1-40.

Desibeliarvon käytössä on periaatteellinen ero verrattuna desimaalilukuun. Desimaaliluku on yksittäinen lukuarvo, joka kuvaa materiaalin tiettyä ominaisuutta, mutta dB –arvo perustuu vertailuun. Desibeli arvoa käytettäessä tulee siis ensimmäisenä määritellä se referenssitaso tai arvo, johon käsiteltävää arvoa on verrattava. Materiaalin radiosignaali vaimennusta tutkittaessa luonnollinen vertailuarvo on ns. Line-Of-Sight (LOS) –arvo, jossa signaali etenee vapaassa tilassa tietyn välimatkan, ilman mitään estettä.

### 5.2 Kategorisointi numeroarvon sijaan

Esiin on noussut myös vaihtoehto, jossa numeroarvoa ei vaimennukselle esitetä lainkaan, vaan eri materiaalin kategorisoidaan esim. kolmeen luokkaan; hyvin vähän vaimentaviin, vaimentaviin ja voimakkaasti vaimentaviin. Tässä lähestymistavassa mahdollisiin olosuhteiden muutoksiin tai pieniin materiaalipaksuuden muutoksiin ei tarvitse kiinnittää huomiota, kategorisoinnin tulee olla riittävän väljä kattamaan pienet, käytännön suunnittelun kannalta merkityksettömät virhelähteet. Kategorisoinnin etuna on se, että hyvin nopealla arvioinnilla on mahdollista tarkistaa kuuluuko rakenteen kokonaispaksuuden muodostavista osista jokin voimakkaasti vaimentavien materiaalien ryhmään. Jos tällainen materiaali on rakenteen osana, voidaan välittömästi sen mahdollinen korvaaminen vähemmän vaimentavalla materiaalilla tai harkita varauksia vaimennuksen kompensoimiseksi muilla ratkaisuilla.

Kategorisoinnilla on myös mahdollista rajoittaa taajuusriippumattomaan tarkasteluun, pääsääntöisesti eri materiaalien vaimennus noudattaa samankaltaista riippuvuutta taajuuden ja vaimennuksen välillä, vaimennuksen noustessa voimakkaasti taajuuden kasvaessa. Poikkeuksena ovat rakenteet, joihin on tarkoituksellisesti tai tahattomasti valmistus- tai suunnitteluvaiheessa aiheutettu taajuusselektiivinen käyttäytyminen, mutta nämä ovat poikkeuksia, jotka tulee joka tapauksessa käsitellä erikseen.

Kategorisoinnin puolesta puhuvia argumentteja ovat siis yksinkertaisuus, taajuusriippumattomuus ja tulkinnan helppous. Jos RF-luvun käyttöönoton perusteena ja tarkoituksena nähdään olevan rakenteiden suunnitteluvaiheeseen sisällytettävän matkapuhelinsignaalien vaimennuksen arvioinnin yleistymisen, on eri kategorioihin perustuva tarkastelutarkkuus riittävä.

## 6. RF-luvun määrittäminen

RF-luvulle on sen merkintätavasta riippumatta määritettävä mittauksilla materiaali-kohtaiset arvot. Mittausten tarpeellisuus selittyy sillä, että vaikka osasta laajasti käytetyistä rakennusmateriaaleista on suuntaa antavat vaimennusarvot saatavissa - joko aikaisemmin tehtyjen mittausten tuloksina tai ns. valmistuneina arvioina - ei eri materiaalien välisiä vaimennusarvoja voi suoraan vertailla keskenään, jos vaimennusarvot on saatu eri menetelmien tuloksina.

Mittausten tulisi ottaa kantaa yleisimpien ulkoseinän materiaalien vaimennuksiin niillä rakenneosilla ja ainevahvuuksilla, joita on yleisimmin kansallisesti käytössä. Tässä saattaa olla merkittäviäkin eroja EU:n alueella, johtuen rakennuskulttuurista, paikallisesta rakennustavasta, ilmastosta ja paikallisista ohjeista ja määräyksistä. Tästä johtuen pääpaino on alussa syytä pitää kansallisissa materiaaleissa ja rakenteissa.

Määrittämisen taustalla olevien mittausten tai selvitysten tulee olla hyvin dokumentoituja, jolloin uusien materiaalien RF-lukujen määrittäminen voidaan suorittaa samalla menetelmällä, vertailukelpoisesti aikaisempien mittausten ja määritysten kanssa. Tämän vaatimuksen taustalla on tosiasia, jonka mukaan materiaalit ovat koko ajan taloudellisten, tuotannollisten ja ympäristövaatimusten vuoksi tuotekehityksen kohteena, joten materiaalien ominaisuudet voivat muuttua merkittävästi lyhyenkin ajanjakson kuluessa.

RF-luvun määrittämisen perusteena tulisi olla useiden erilaisten mittauspisteiden antama vaimennuksen keskiarvo, riippumatta siitä ilmaistaanko materiaalin vaimennus numeroarvoilla vai kategorisoinnilla. Useiden mittauspisteiden vaatimus perustuu siihen, että mahdolliset rakenteiden omien mittojen suhteet saattavat aiheuttaa materiaalarajapintojen etäisyyksien ja aallonpituuksien välisten suhteiden kautta taajuusriippuvaista käytöstä joillekin materiaaleille. Tämä ilmiö voidaan poistaa käyttämällä useampien taajuuspisteiden keskiarvoja.

Tosiasia materiaalien muuttumisesta ja paikalliset käytännöt puoltavat karkeahkon kategorisoinnin käyttöä RF-luvun muotona. Varsinkin EU:n laajuista käyttöä ajatellen tarkat numeroarvoiset kuvaukset eri materiaalien vaimennuksista aiheuttavat todennäköisesti sekaannuksia pidemmällä aikavälillä, mahdollisesti eri kansallisten mittausten tai arviointien yhteydessä.



## 7. RF-luvun tulkinta

RF-luvun tarkoitus on tarjota lähinnä talojen rakennesuunnittelijoille kuva siitä, millainen kokonaisuus yhtä tilaa rajoittavien rakennuksen ulkokuorirakenteiden kokonaisvaikutus on radiosignaalien vaimennuksen näkökulmasta. Tavoitteena on antaa yksinkertainen työkalu rakenteiden matkaviestimien taajuuksille aiheutuvien kokonaisvaimennusten hahmottamiseen, jonka toivotaan ohjaavan materiaalivalintoja siten, että ainakin rakenteiden jokin osa läpäisee radiosignaaleja riittävän hyvin.

Radiosignaaleja läpäisevän osuuden ei välttämättä tarvitse olla pinta-alaltaan suuri, tavoitteena on vain huolehtia että tämänkaltaisen rakenteen tarpeellisuus tiedostetaan. Mikäli rakennevalinnassa ei syystä tai toisesta voida käyttää RF-signaaleja läpäiseviä osia, tulee suunnittelijoiden varautua sisätilojen riittävien signaalitasojen tarjoamiseen muilla tavoin, esim. varautumalla erilliseen matkaviestinjärjestelmien sisäverkkoon laitetilavarauksin ja kaapeloinnein, vähintään kaapelireitein.

RF-luvun muodon, numeroarvon tai kuvauksen tulee olla sellainen, että rakennesuunnittelija, jolla ei ole erityisosaamista radiotaajuisten signaalien etenemisestä, voi hahmottaa ulkokuoren signaalivaimennuksen RF-luvun avulla. Hahmottaminen yksinkertaisimmillaan voi perustua esim. kappaleessa 5.2 käsiteltyihin kategorisointeihin.

Eryistä huomiota on kiinnitettävä RF-luvun yksinkertaisuuteen. Jos RF-luvun käytännön tulkinta edellyttää useita laskutoimituksia ja lukuarvomuunnoksia, on olemassa vaara, että alkuperäinen ohjaava vaikutus hämärtyy yksityiskohtien taakse. Pahimmassa tapauksessa luvun tarkoituksena ollut arviointi sivuutetaan täysin.

## 8. RF-luvun vaikuttavuus

Keskeisin tavoite RF-luvun käyttöön otossa on saavuttaa tilanne, jossa rakennesuunnittelijat tiedostavat ulkokuorirakenteiden vaimennuksien vaikutuksen rakennusten sisätiloissa käytettävien matkaviestimien toimintaan.

Suunnittelijoilla ja arkkitehteillä on käytössään lukuisia vaihtoehtoja radiosignaaleita läpäisevien rakenneosien valintaan. Nämä rakenteet voivat olla osia, joita käytetään yleisesti elävöittämään rakennusten ulkoverhosten yleistä linjaa. Seuraavassa on koottu muutamia kuvia, joissa paikallisesti olisi mahdollista järjestää muusta ulkoseinämateriaalista poikkeava pinnan osa, jolla on muuhun rakenteeseen verrattuna erilainen radiosignaalivaimennus.



Kuva 8. Ulkoseinärakenteen muuntelumahdollisuuksia

RF-luvun tarkoitus on ohjata pääosin suunnittelijoiden toimintaa, mutta sivuuttaa ei voi mitään rakennustoiminnan sidosryhmiä, rakentajia ja rakennuttajia. Varsinkin rakennuttajille suunnattavassa valistuksessa RF-lukua voidaan käyttää konkreettisenä

indikaattorina mahdollisten kuuluvuusongelmien esiintymistodennäköisyyden arvioinnissa.

## 9. RF-luvun velvoittavuus

RF-luvun tarkoitus ei ole velvoittaa rakennesuunnittelijoita, arkkitehtejä, rakentajia, rakennuttajia tai muita tahoja käyttämään erityisiä materiaaleja tai ratkaisuja. Keskeinen tavoite on tarjota apuväline suunnitteluun, jotta mahdollisten kuuluvuusongelmien todennäköisyyttä uusissa rakennuksissa kyettäisiin pienentämään. Kuuluvuusongelmien todennäköisyyksien pienentäminen tulee tehdä muun suunnittelun osana, ratkaisulla joiden avulla entisestään kohennetaan kuvaa laadukkaasta suomalaisesta suunnittelusta ja rakentamisesta.

## 10. Käytännön eteneminen RF-lukujen käyttöön otossa

### 10.1 RF-luvun taulukon tuottaminen

RF-luvun käyttöön oton käytännön etenemisen arvioinnissa tulee ensimmäiseksi ratkaista kaksi peruskysymystä:

- Riittääkö kategorisointi vai halutaanko numeroarvoja, ja
- Voidaanko alussa rajoittua vain kansallisesti yleisimpiin materiaaleihin.

Kysymyksiin annettavat vastaukset määrittävät käytännön toimia oleellisesti. Mikäli kategorisoinnista saatava tarkkuus riittää, materiaalien mittaus- ja arviointiprosessi on merkittävästi helpompi, halvempi ja nopeampi suorittaa. Samalla nopeutuu RF-luvun mahdollinen käyttöön otto. Toisaalta kategorisoinnissa ei saada kaikkea sitä tietoa käyttöön, joka olisi mahdollisesti saatavissa rakenteiden arvioinneista ja/tai mittauksista.

Mikäli ainakin alussa rajoitutaan vain kansallisesti käytettäviin yleisimpiin materiaaleihin, esim. kappaleessa 4 esitetyn alustavan listan mukaan, materiaaleja koskeva selvitystyö pienenee verrattuna siihen, että heti alussa pyritään luomaan EU tasoinen taulukointi tai kategorisointi. Selvitystyön vähentyminen johtuu siitä, että muissa EU-maissa vallitsevista säännöistä määräyksistä sekä käytetyistä materiaaleista luotettavan yleiskäsityksenkin saaminen on haasteellinen tehtävä, ja todennäköisesti tuotevalikoima ja materiaalien ominaisuudet muuttuvat muissakin EU:n jäsenmaissa koko ajan.

### 10.2 Tiedottaminen RF-luvusta

RF-luvun taulukointia tulee seurata asiasta tiedottaminen, jotta luvun käyttö leviäisi toimijoiden keskuuteen. Tiedottaminen on haastava tehtävä, joka tulisi kytkeä muiden merkittävien ohjeiden julkaisemiseen. Näin se voidaan tuoda esiin koulutustilaisuuksissa, messuilla ja muissa tilaisuuksissa, joissa uusia ohjeita ja säännöksiä esitellään. Tällöin tulee huolehtia siitä, että kaikki huomioita vaativat asiat tulevat esitellyiksi ja nousevat esiin.

Tiedotuskanaviksi RF-luvulle voidaan ajatella Asunto-, toimitila- ja rakennuttajaliittoa (RAKLI ry) sekä Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liittoa (SKOL ry), joiden yhteistyöverkosto voisi olla käytettävissä tiedotukseen.

Tiedotuksessa tulisi näkyä viranomaisten mukanaolo ainakin taustavaikuttajan roolissa, jottei hanke leimautuisi kaupalliseksi edunvalvonnaksi.

## 11. Ulkokentän huomioiminen

Rakennusten sisäosissa vaikuttavaa matkaviestinjärjestelmien signaalitasoa määrittää rakennuksen ulkokuoren vaimennusten lisäksi rakennuksen ulkopuolella oleva kentänvoimakkuus. Kenttien paikalliset voimakkuudet vaihtelevat suuresti eri puolella rakennusta, riippuen tukiasemien sijainnista rakennuksen ja ympäristön suhteen.

Tavoiteltaessa luotettavaa arviota rakennuksen sisätiloissa oleville radioverkkojen kentänvoimakkuuksille, tulee selvittää sekä rakennuksen ympärillä olevat eri operaattoreiden keskimääräiset signaalitasot, signaalien pääasialliset tulosuunnat ja rakennuksen ulkokuoren vaimennukset.

Rakennuksen ulkopuolisen kentän mittaus on verraten helposti toteutettavissa, mutta vaatii erityismittalaitteet. Ulkopuolisen kentän arviointiin tulisi sisällyttää myös arvio tulevasta ympäristön rakennuskannasta ja maankäytöstä, jotta arviointi ei rajoittuisi ainoastaan senhetkiseen tilanteeseen.

## 12. Yhteenveto

Matkaviestimien käyttö kasvaa koko ajan, ja yhä suurempi osa päätelaitteiden käytöstä tapahtuu nykyisin rakennusten sisätiloissa. Uudet matkapuhelinsukupolvet tukevat yhä suurempaa sovellusvalikoimaa ja samaan aikaan datasiirron nopeuden vaatimukset kasvavat tasaisesti. Rakennustekniikassa rakennusmateriaalit kehittyvät ja etenkin uusissa asuinkerrostaloissa on havaittu kuuluvuusongelmia matkaviestinverkkojen käytössä.

Matkapuhelinverkkojen kuuluvuusongelmia voidaan vähentää erillisillä matkapuhelinjärjestelmiä tukevilla sisäverkoilla ja rakennusten ulkokuoren materiaalivalinnoilla. Materiaalivalinnat ovat kustannustehokas tapa parantaa sisätilojen kentänvoimakkuuksia ja niiden etuna on riippumattomuus taajuuksista, operaattoreista ja järjestelmistä.

Materiaalivalintojen keskeisenä haasteena tällä hetkellä on tiedon puute, sillä vaikka kuuluvuusongelmista on ollut keskustelua viime aikoina, ovat ilmiö ja sen taustalla olevat radiosignaalien etenemismekanismit verraten pienten piirien tiedossa. Suurimpana rajoitteena on rakennusten suunnittelijoille, rakentajille ja rakennuttajille tarjottavan yksinkertaisen eri rakennusmateriaalien radiotaajuuksien vaimennusta kuvaavan taulukkomuotoisen informaation puuttuminen. Ilman tietoa eri materiaalien vaimennuksista ei ole mahdollista tehdä perusteltuja valintoja kuuluvuusongelmien vähentämiseksi, vaikka yleistä tahtoa ja erilaisia vaihtoehtoja olisikin olemassa.

Johtopäätöksenä voidaan todeta RF-luvun olevan helposti käyttöönotettava ja nopeasti tuotettava työväline rakennesuunnittelijoille rakennuksen materiaalien radiosignaali vaimennusten arvioimiseksi. RF-luvun käyttöönotto edellyttää paitsi yleisempien rakennusmateriaalien mittauskampanjaa, myös huolellisesti suunniteltua ja toteutettua tiedotusta alalla vaikuttaville toimijoille.

Suunniteltavan rakennuksen ympäristössä olevien matkaviestinjärjestelmien signaalitasojen selvittämisen ja RF-luvun perusteella arvioitujen ja valittujen materiaalien perusteella on mahdollista muodostaa selkeä kuva uuden rakennuksen

sisällä olevista signaalitasoista. Näiden signaalitaso-arvioiden perusteella on helppoa arvioida eri ratkaisuvaihtoehtoja, jos signaalitasot näyttävät jäävän liian alhaisiksi.

## Lähteet

- [1] S.R. Saunders, A.Aragon-Zavala "Antennas and propagation for wireless communication systems", second edition, John Wiley & Sons, Ltd, 2007
- [2] Nathan Blaunstein "Radio propagation in cellular networks", Artech House London, 1999
- [3] NIST Construction Automation Program Report No. 3, "Electromagnetic Signal attenuation in Construction Materials", 1997.