



SZENT ISTVÁN EGYETEM

Épületszerkezetek hatása a beltéri  
elektromágneses terekre

Doktori (PhD) értekezés tézisei  
Vizi Gergely Norbert

Gödöllő  
2018

**A doktori iskola  
megnevezése:**

Szent István Egyetem  
Műszaki Tudományi Doktori Iskola

**tudományága:**

Agrár műszaki tudományok

**vezetője:**

Prof. Dr. Farkas István  
egyetemi tanár, DSc  
SZIE, Gépészmérnöki Kar

**témavezető:**

Prof. Dr. Szász András  
egyetemi magántanár, a fizika tudományok kandidátusa  
SZIE Gödöllő, Gépészmérnöki Kar  
Géptani Intézet, Biotechnikai Tanszék

**Társ-témavezető:**

Prof. Dr. Szendrő Péter  
egyetemi tanár, a mezőgazdasági tudományok doktora  
SZIE Gödöllő, Gépészmérnöki Kar  
Géptani Intézet

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
a témavezető jóváhagyása

# TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK .....	4
<b>1.1. A téma időszerűsége és jelentősége .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. Célkítűzések .....</b>	<b>4</b>
2. ANYAG ÉS MÓDSZER .....	6
<b>2.1. Mérések valós körülmények között.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2. Épületeken végzett számítógépes szimulációk .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3. Mérések reflexiómentes kamrában .....</b>	<b>8</b>
3. EREDMÉNYEK.....	10
<b>3.1. Lakásokra jellemző általános elektromágneses következtetések .....</b>	<b>10</b>
3.1.1. Lakástípusok elektromágneses jellemzői.....	10
3.1.2. A földelés szerepe az elektromos és mágneses tér értékében .....	10
<b>3.2. Az építészeti nyílások hatása a beltéri elektromágneses terekre.....</b>	<b>11</b>
<b>3.3. Épületet határoló szerkezetek hatása az elektromágneses terekre .....</b>	<b>12</b>
3.3.1. Az építészeti tömegformálás hatása a beltéri elektromágneses terekre .....	12
3.3.2. Tetőtér beépítésnél alkalmazott szerkezetek hatása az elektromágneses térre	13
<b>3.4. A hagyományos vasbeton falszerkezetek árnyékolása nagyfrekvencián.....</b>	<b>14</b>
<b>3.5. Szerkezetbe épített elektromágneses árnyékoló réteg rácssűrűsége és helye.</b>	<b>14</b>
4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	16
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS A JAVASLATOK .....	18
6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT PUBLIKÁCIÓK .....	19

# 1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

Az értekezésem első fejezetében a téma jelentőségét fogalmazom meg, valamint a munkám célkitűzéseit mutatom be.

## 1.1. A téma időszerűsége és jelentősége

Az emberiség megjelenése óta a társadalomban az egyik legfontosabb kérdés a megfelelő védelmet és kényelmet nyújtó lakhely kialakítása, hiszen életünk egyharmadát itt töltjük. Az építéstudomány fejlődésével és az épületekkel, épületszerkezetekkel szemben támasztott követelmények szigorodásával, egyre különbözőbb épületszerkezetek egyre több funkciót látnak el. A természeti hatásokon túl, napjainkban egyre fontosabb a városokban mesterségesen keltett hatások elleni védekezés is. Ilyen a zaj és a fény, melyek bár természetes hatások is lehetnek, főleg a mesterségesen keltett változatuk ellen védekezünk. A fent említett hatásokat valamely érzékszervünkkel észlelhetjük, ami miatt zavaró mivoltától szabadulni szeretnénk, de fontos a nem látható, azonnal nem érezhető hatások elleni védekezés is. Ilyen a radon, az elektromos, mágneses és elektromágneses sugárzás is.

Ez utóbbiak általában emberi érzékszervekkel nem érzékelhetők, de hatásuk megbetegedés formájában megjelenhet. Az ilyen sugárzások észlelésére léteznek kifinomult eszközök, melyekkel kimutathatjuk a sugárzás jelenlétét és intenzitását. Az 1990-es évek elején megjelenő, és folyamatosan fejlődő vezeték nélküli kommunikáció által mesterségesen gerjesztett elektromágneses tér hatásának vagyunk kitéve. A GSM, az UMTS, és a vezeték nélküli internet csupán néhány közismert eszköz, melyek megjelentek mindennapi életünkben, és amelyeknek hatására a mesterséges nem-ionizáló EM terek a sugárterhelés értékét az elmúlt 50 évben városi környezetben  $1,4 \cdot 10^{-9} \mu\text{W}/\text{m}^2$ -ről  $5 \cdot 10^{-7} \mu\text{W}/\text{m}^2$ -re, körülbelül 350-szeresére növelte. A mai napig vitákat kelt, hogy ez az elektromágneses sugárzás hátrányosan befolyásolja-e az emberi szervezet precíz biológiai egyensúlyát. Mindazonáltal a tudománnyal foglalkozók etikai kötelessége, hogy az úgynevezett civilizációs betegségek okait kutassák. A szakirodalomban található kutatások és vizsgálatok többsége a telekommunikációban alkalmazott elektromágneses sugárzás terjedését városi környezetben, a terjedési veszteségek szempontjából vizsgálta azzal a céllal, hogy kellő mértékű lefedettség fenntartható legyen, de az épületek tervezői semmilyen iránymutatást nem kaptak arról, hogyan tervezzenek, a megtervezett épületek várhatóan hogyan fognak működni, és milyen hatást fognak kelteni ebben az elektromágneses hullámokkal telített környezetben.

## 1.2. Célkitűzések

Kutatásom célja tehát, hogy alapjául szolgáljon a meglévő és megépítendő épületeken belüli, nemzetközi egészségügyi ajánlásoknak megfelelő belső elektromágneses tér szint kialakítását biztosító, és a jövő építészeti trendjeihez

igazodó épületszerkezettani és tervezői módszernek. Megvizsgálom a modern építészeti megoldások és a gyorsan növekvő elektromágneses hatások kapcsolatát, ezek problémáit és megoldásait.

1. Disszertációmban bemutatom és értékelem a lakóegységen kívüli forrásokkal szemben támasztott előírásokat, megvizsgálom és értékelem a különböző lakástípusokban mérhető tér és sugárzás szintet.

2. Számítógépes modellen és mérésekkel megvizsgálom a függőleges térhatároló szerkezeteken elhelyezett különböző méretű és elosztású építészeti nyílások hatását a beltéri elektromágneses terekre.

3. Az anyagok hatásán túl az építészeti térformálás hatását és következményeit kutatom, melyekbe a szerkezetek geometriai törései, a szerkezeti falak függőlegetől különböző kialakítása is beletartozik, így a tetőtérbeépítések könnyű- és vasbeton szerkezeteit is meg kívánom vizsgálni.

4. Kutatásom megvizsgálja a magasház építésre alkalmas hagyományos vasbeton panel falszerkezetű lakóépületek árnyékolási képességét és hatását nagyfrekvencián.

5. Célom az épülethatároló szerkezetek rétegrendi kialakításának optimalizálása, amely alkalmas a nemzetközi szabványokon túl a nemzetközi ajánlások szintjére csökkenteni a beltéri elektromágneses sugárzás szintjét.

## 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Ebben a fejezetben bemutatom a kutatási céljaim megvalósításához használt kísérleti módszereket és eszközöket. Első lépésként lakásokon belüli mérésre dolgoztam ki eljárást, majd számítógépes virtuális térben létrehozott épületen végeztem méréseket, melyekhez kiegészítésként reflexiómentes kamrában építettem és vizsgáltam téglafalat különböző sűrűségű fém háló borítással.

### 2.1. Mérések valós körülmények között

A különböző lakásokban az alacsony frekvenciás méréseket egy Gigahertz Solution NFA 1000 eszközzel végeztem, mely eszköz egy 3D analízátor 5Hz és 1000kHz között. Az ELF-EF és az ELF-MF méréseket két lépésben végeztem el, először az elektromos teret mértem, másodjára mágneses teret. A mérést a helyiség bejáratától kezdve a falak mentén haladva, majd spirálszerűen a szoba közepe felé haladva mértem, különös figyelmet fordítva az ágyakra, kanapákra, hiszen ezek azok a helyek, ahol az ember hosszabb ideig marad egy helyben pihenés céljából.

Az érzékelt tér értéket a műszer a digitális kijelzőjén folyamatosan mutatja. Ezeket a tér értékeket egy előzetesen rajzolt alaprajzon rögzítettem abban a pontban, ahol az adott értéket mértem. Az értékeket nagyjából 1 méteres távolságokban jegyeztem fel, illetve azokon a pontokon, ahol az érték kimagaslóan nagy vagy alacsony volt. Az alaprajzra feljegyzet értékeket később táblázatos formában számítógépben rögzítettem és kiértékeltem. Megvizsgáltam az ELF-EF és MF tereknek a lakáson belüli átlagos nagyságát, a különböző helyiségek közötti, illetve az egy-egy helyiségen belüli eloszlását.

Nagyfrekvenciás mérések elvégzéséhez a Gigahertz Solution HF59B nagyfrekvenciás analízátort használtam háromszögletű antennával, ami 800MHz - 2,5 GHz tartományban alkalmas mérésekre. Ezzel az eszközzel lassan mozogtam a helyiségben megállva több ponton, körbe fordulva, hogy megállapítsam a legnagyobb besugárzás irányát. Az értéket a korábban említett alaprajzon rögzítettem, és nyíllal jelöltem az irányt, amely felől a sugárzás érkezett. Mivel a kutatásom célja, hogy megvizsgáljam a külső, nem kontrollálható sugárzások hatását, ezért mindig megkértem a tulajdonost, hogy a saját WiFi útválasztót (routert) kapcsolja ki. A sugárzás iránya a legtöbb esetben a homlokzati fal felől érkezett néhány esetben pedig a szomszédos lakás felől.

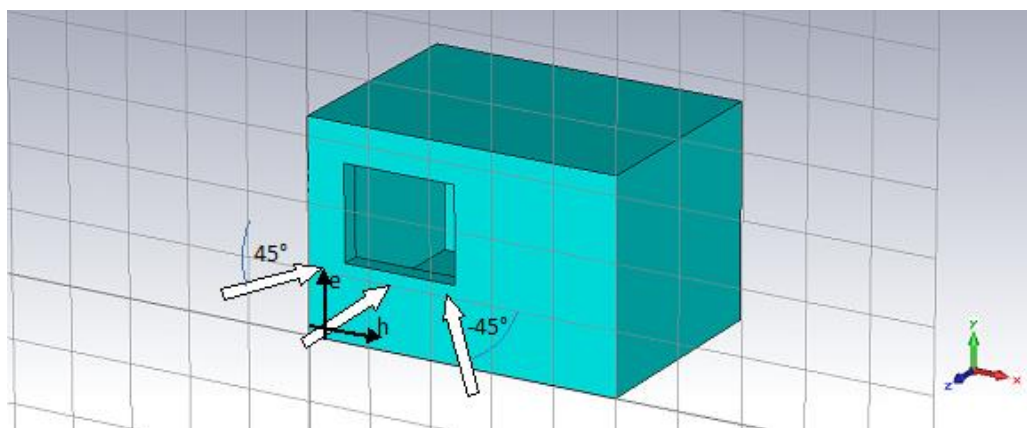
### 2.2. Épületeken végzett számítógépes szimulációk

Az elemzéshez számítógépes szimulációs szoftvert is használtam, mivel nem lehet minden helyzetre egy külön épületet létrehozni. Az ehhez szükséges számítástechnikai háttérnek a CST Microwave Studio teljes hullámú elektromágneses megoldó programját választottam. A program a Maxwell egyenleteket oldja meg a megadott paraméterek alapján, aminek elvégzéséhez FIT

technikán alapuló véges elemes integrációs numerikus módszert használ, ami időtartományban az FDTD módszert közelíti.

A programon belül létrehozott virtuális épületmodellen szimuláció sorozatok segítségével vizsgáltam a helyiség méretének hatását, a nyílászárók helyének és méretének hatását, az egyes nyílások közötti falszakasz méretének hatását a belső térben mérhető elektromágneses sugárzásra.

A virtuális épület (1. ábra) tulajdonképpen egyetlen szoba 5 x 3,6 x 3,3 m-es külső méretekkel. A fal, a padló és a födém 30 cm vastag betonból készült. Az építőanyag tulajdonságok, dielektromos tulajdonságokat a CST szoftver könyvtárából választottam ki. A falszerkezetként figyelembe vett anyag: „one year old concrete” (egy éves beton). A dielektromos állandó (relatív permittivitás) 5,608 a képzetes rész 0,217 a szakirodalomnak megfelelő. Ebbe a „referencia épületbe” később ajtót és ablakokat helyeztem el. Peremfeltételeknek a sztenderd nyitott, azaz „open boundary” feltételt választottam. A minimális távolság a szerkezet oldalai és a szimulációs terület felülete között 1/8-ad hullámhossz.



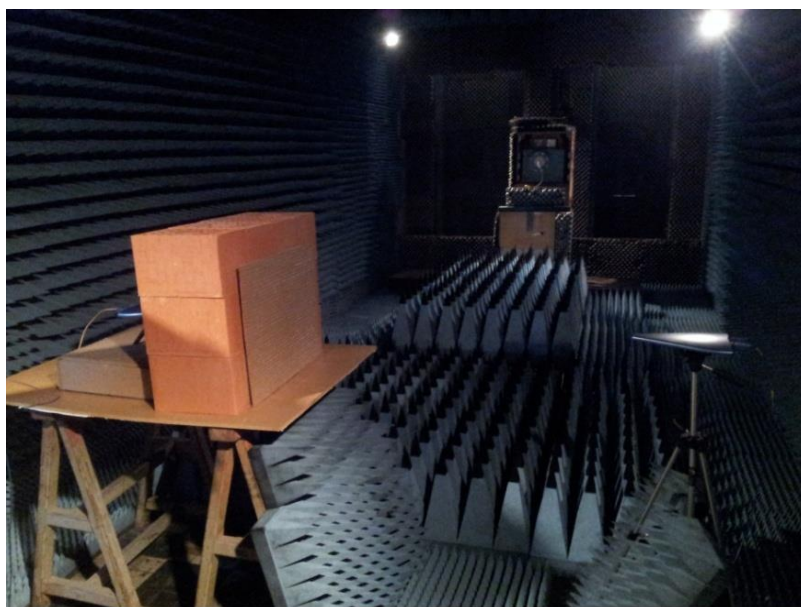
1. ábra A választott referenciaépület és a használt besugárzási irányok. Az ábrázolt ablak csak egy példa.

A sugárzás érkezési iránya horizontális, ami megfelel a valós helyzeteknek. A vízszintes szögnek 90 fok, +45 fok, -45 fokot vettem fel. A vizsgált frekvencia 1GHz, ami közel van a mobiltelefonoknál alkalmazott 900MHz-es GSM sávhoz, amplitúdónak 1V/m-t határoztam meg. Mivel a folyamat lineáris, más amplitúdók könnyen kiszámíthatók arányossággal. A vizsgált polarizáció vertikális, amelynek oka, hogy a gyakorlatban is ezt a polarizációt használják leginkább, mert ez terjed legkönnyebben a föld felett.

A megfigyelési pontok meghatározására két horizontális síkot választottam ki Le Corbusier modulator rendszere szerint, ahol a fej hosszabb ideig mozdulatlan marad. Ez a két testhelyzet, a fej alvási magassága 0,5m-en, és az ülési magasság 1,40m-en.

### 2.3. Mérések reflexiómentes kamrában

A számítógépes szimulációk mellett Belgiumban a Leuveni Egyetem (KU Leuven) Mikrohullámú Telekomunikáció Tanszékének reflexiómentes kamrájában is végeztem méréseket, ahol különböző rácssűrűségű fém hálókat teszteltem az árnyékoló képesség megállapítása céljából (2. ábra). A frekvenciát 900MHz és 3 GHz között 1 V/m –esnek választottam. A mérést 1 m x 0,75m, 30 cm vastag porotherm téglafalon végeztem, amely elé majd második lépésben mögé 1,25x 1,25 cm, 2,5 x 2,5 cm 0,65 mm átmérőjű alumínium és 5 x 5 cm rácssűrűségű 1,4 mm átmérőjű réz hálót helyeztem. A hálókat előzetesen egy hullámkarton lapra erősítettem, és úgy helyeztem a téglafal elé, vagy mögé.



2. ábra A mérés elrendezése a reflexiómentes kamrában Hyperlog antenna esetén

A mérési sorozatot két Horn antennával és két Hyperlog antennával is elvégeztem. A két antenna között először 150 cm volt a távolság úgy, hogy a második antenna 15 cm-re helyezkedett el a faltól. Két ellenőrző méréssorozatot is végeztem. Az elsőnél a két antenna 150 cm helyett 140 cm-re helyezkedett el egymástól, a másodiknál a fal mögötti antennát egy zárt alumínium dobozban helyeztem el, annak érdekében, hogy minden esetleges visszaverődő sugárzást kizárjak. A számítógép által rögzített jelerősség értékeket egy előzetesen a téglák nélkül mért referencia jelerősség értékkel hasonlítottam össze, és a MATLAB program segítségével értékeltem ki.

A visszhangmentes kamrában végzett mérésekkel több célom is volt. Egyrészt vizsgáltam azt, hogy mekkora rácssűrűségtől kezdve mérhető hasznos árnyékolás, másrészt megvizsgáltam azt is, hogy az árnyékolás kívül, vagy belül hatékonyabb.



Ellenőriztem annak az általános elvnek az érvényességét, hogy a forráshoz közelebbi oldalon hatékonyabb-e ebben az esetben is az árnyékolás.

A rácssűrűség vizsgálata azért érdekes, hogy választ kapjunk arra, hogy a vasbeton szerkezetek vasalatainak, rácsozatának, van-e árnyékoló hatása. Azaz a vasbeton panelekből, vagy csúsztatott zsalus eljárással épült épületeknek van-e a Faraday-kalitkához hasonló árnyékoló hatása.

Ugyanakkor az építészeti eljárások célja az is, hogy a magas frekvenciás telekommunikációra használt sugárzást ne zárjuk ki teljesen, ezért meg kell határozni azt a tartományt, amelytől már hatékony az árnyékolás, de csak a kívánt szintre csökkenti annak mértékét.

### 3. EREDMÉNYEK

Ebben a fejezetben bemutatom a kutatómunkám során elért új tudományos eredményeket, amelyek az épületszerkezetek elektromágneses sugárzásokra való hatásainak megértésében és a beltéri elektromágneses sugárzás csökkentésében nyújtanak segítséget.

#### **3.1. Lakásokra jellemző általános elektromágneses következtetések**

Kültéri forrásként szolgáló magasfeszültségű távvezetékek közelében végzett méréseim során megállapítottam, hogy a betartott legalább 13 méteres védőtávolság esetén is a WHO és az épületbiológusok által javasolt értékek kétszeresét, valamint a nem nagyfeszültségű villamoshálózatok közelében lévő lakásokban mért átlagérték 20-szorosát mértem.

##### *3.1.1. Lakástípusok elektromágneses jellemzői*

46 lakásban készítettem méréseket, melyek során megfigyeltem, hogy különböző típusú lakásokban, mint például a belvárosi bérházak, új építésű társasházak, panelházak lakásaiban lakás típusonként hasonló, de a típusok között erősen eltérő eredményeket kapok. Bemutattam, hogy kisfrekvencián a bérházakban mért értékek legalább kétszeresei a panelházakban mért értékeknek, még nagy frekvencián az ellenkező eredményt kapom. A bérházakban mért teljesítménysűrűség a panelházakban mért teljesítménysűrűség tizede. A magyarázatot nagy frekvencián a homlokzatifal épületszerkezettani különbségeire, az ablakok és tömör fal arányában levő eltérésekre, és településtervezési, avagy város-szöveti okokra vezetem vissza. Különböző lakástípusok tehát különböző kezelést igényelnek. Külön kategóriában kell megkülönböztetnünk az 1920 előtt épült többlakásos téglaházakat (az ún. bérházakat), a paneles lakóépületeket és a családi házakat.

##### *3.1.2. A földelés szerepe az elektromos és mágneses tér értékében*

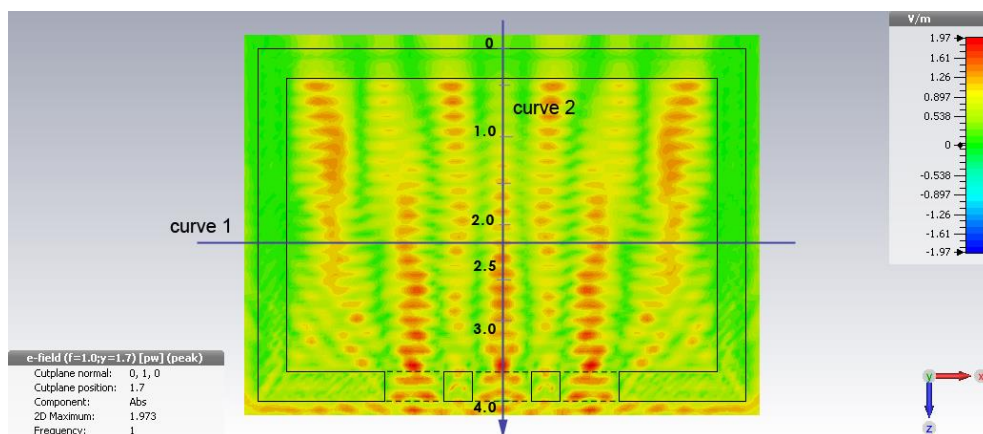
Alacsony frekvencián végzett mérések során egyértelművé vált, hogy a földelés megléte, vagy hiánya kihat az alacsony frekvenciás beltéri elektromos és mágneses tér nagyságára. Elektromos térben a 3—10-szeres, mágneses térben a 2—4-szeres különbséget mértem a földelt és a földelés nélküli lakások között. Megállapítottam ezen kívül, hogy az egyes használati berendezések esetén nem mindegy, hogy a hálózati csatlakozó milyen állásban van csatlakoztatva az aljzathoz, ugyanis a keletkező elektromos térben 1,5—3-szoros nagyságbeli különbséget mértem.

Elektromos rendszer felújítását követően, amit két épületben vizsgáltam, az elektromos tér átlagosan 50%-ra csökkent, a mágneses tér az egyik esetben átlagosan elhanyagolható mértékben, a másik esetben 83% -ra csökkent.

### 3.2. Az építészeti nyílások hatása a beltéri elektromágneses terekre

Magas frekvencián végzett nemzetközi kutatások és a saját mérések tapasztalatán alapuló számítógépes szimulációk segítségével vizsgáltam, hogyan befolyásolja egy épület, vagy épületrész az elektromágneses tereket. A helyiség méretével és az ablakok helyével és osztásával kapcsolatos vizsgálatokból az derült ki, hogy ezek elhanyagolható mértékben hatnak a beltéri elektromágneses sugárzásra (3. ábra).

Az ablakok közötti falszakaszok vizsgálatánál ugyanakkor megállapítottam, hogy a legkisebb elektromos és mágneses tér 50 cm-es falszakasz esetében, a legnagyobb az építészetben gyakran alkalmazott 20-30 cm-es tartományban mérhető.



3. ábra 1-es és 2-es vonala mentén az E-tér nagysága látható, abban az esetben, amikor a homlokzati falon három egyenlő méretű ablak van 30 cm-es falközszel.

További szimuláció sorozattal vizsgáltam a beltér árnyékolási lehetőségeit, és megvizsgáltam, hogy az egyes szerkezetek árnyékolásával mekkora sugárzás csökkenés érhető el. A vizsgálatok során kiderült, hogy pusztán a falak árnyékolásával az árnyékolatlan állapothoz képest magasabb sugárzási érték alakul ki, mivel az árnyékoló réteg a hátsó falon visszaveri az ablakon bejutó hullámokat, amik összeadódva interferálnak a bejövő hullámokkal, így adva nagyobb maximum értéket. Pusztán az ablakok árnyékolásával azonban ez a visszaverődő hatás csökkenthető, de a falak továbbra is gyenge árnyékoló képessége miatt jelentős csökkenés a belső tér sugárzás értékében nem mérhető. Ugyanakkor megállapítottam, hogy az ablakok árnyékolása lényeges, tulajdonképpen hatékonyabb módszer csak az ablakot, mint csak a falat árnyékolni.

Javasolt a minél kisebb ablak-homlokzati fal arány, természetesen a kívánt és a szabályban előírt bevilágítási arány (1:6 bevilágítás: alapterület) betartásával. Elektromágneses szempontból javasolt inkább több 50 cm falközszel beépített ablak használata, mint az egybefüggő nagy felület, kivéve, ha az ablak elektromágneses

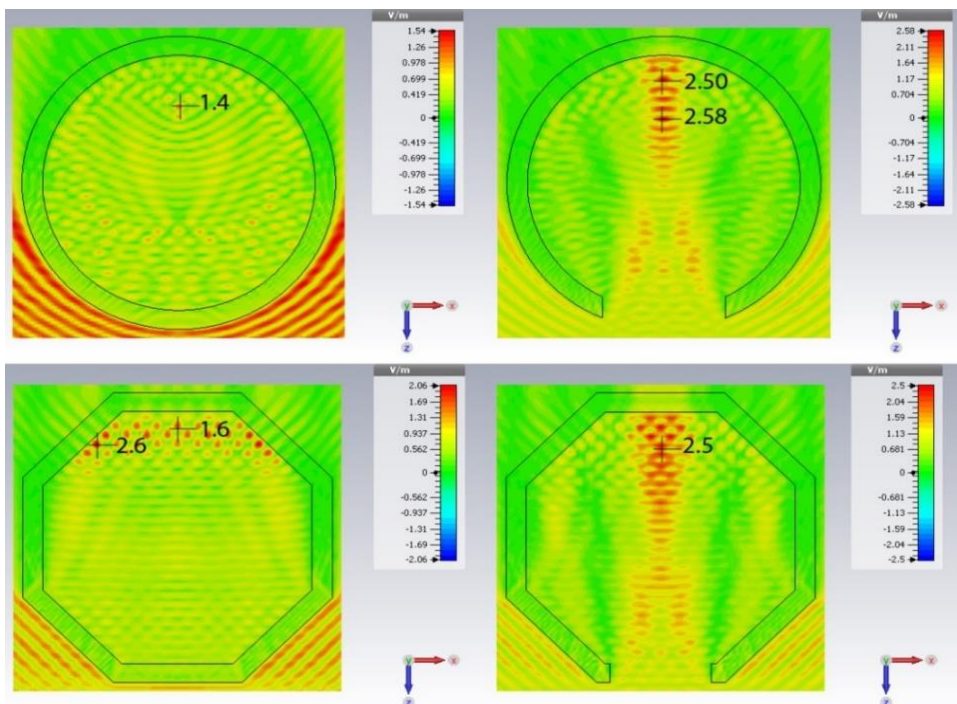
sugárzás elleni védőfóliát kap, ez esetben célszerűbb a kevesebb és nagyobb ablak, mint több kisebb.

### 3.3. Épületet határoló szerkezetek hatása az elektromágneses terekre

#### 3.3.1. Az építészeti tömegformálás hatása a beltéri elektromágneses terekre

Az elektromagnetikában jól ismert, hogy a sarkok lekerekítése megváltoztathatja a hullámok diffrakcióját az adott sarokban. Ahhoz, hogy ennek hatását megvizsgáljam, a helyiség sarkait a falvastagsággal megegyező sugárral lekerekítettem. A vizsgálat megmutatja, hogy a mintázat hasonló marad, és ugyanabban a pontban mért maximum értékek is csupán elhanyagolható mértékben csökkennek. Ablak nyílásokkal végzett vizsgálatok sem mutatnak nagy eltérést szögletes, illetve lekerekített falsarkok és ablakkávák esetén.

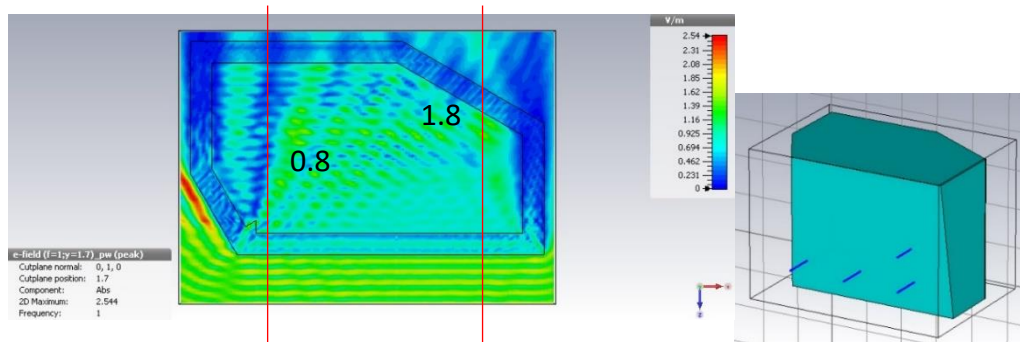
A lekerekítés módszerét tovább gondolva, a következő szimuláció sorozatban a referencia épület formáját változtattam meg azonos alapterületű helyiséget véve alapul. Vizsgáltam, hogy kör és nyolcszög alaprajzú terekben hogyan viselkedik az elektromágneses sugárzás, és mindkét esetben a besugárzási irány középtengelyében tapasztaltam koncentrálódást, különösen az ablakkal ellátott helyiség esetében. Nyílás nélküli helyiség esetében a hullámok pontokban additíven interferálódtak (4. ábra).



4. ábra Szabályos kör és nyolcszög alaprajzú helyiségek elektromos tere

### 3. Eredmények

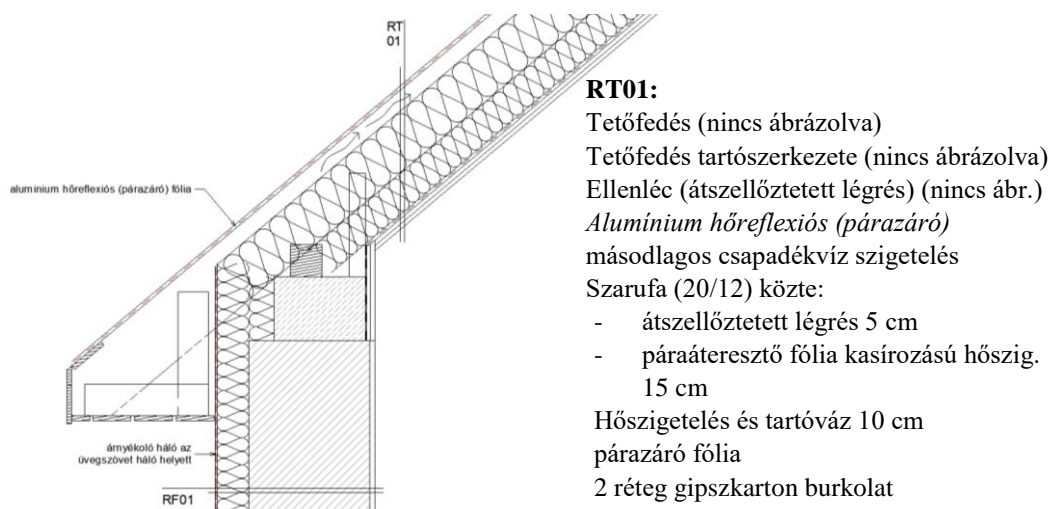
A modern építészeti formavilágra jellemző szabálytalan tereket közelítve a referencia épületet különböző síkokkal csonkoltam és vizsgáltam a beltéri sugárzás alakulását. A csonkolásoknál azt figyeltem meg, hogy azon az oldalon, ahol a sarok lecsapásra került ott alacsonyabb, az ellenkező oldalon magasabb maximális tér érték alakult ki, mint a lecsapás nélküli referencia épületben (5. ábra).



5. ábra Három oldalról csonkolt épület alaprajzi tér-eloszlása az egyenesek mentén mérhető legnagyobb tér-értékkel(balra), és tömege (jobbra)

#### 3.3.2. Tetőtér beépítésnél alkalmazott szerkezetek hatása az elektromágneses térre

Tetőtér kialakítás vizsgálatnál hatékony árnyékolásnak bizonyul, ha a rétegrendben a külső páraáteresztő fólia egyben alumínium felületű hőreflexiós fólia, mert ez visszaveri az elektromágneses sugárzást (6. ábra). E nélkül a beltér épített falairól visszaverődő hullámok additív interferenciájának köszönhetően a kültérből érkező sugárzásnál nagyobb értékű pontok keletkeznek.



#### RT01:

Tetőfedés (nincs ábrázolva)

Tetőfedés tartószerkezete (nincs ábrázolva)

Ellenléc (átszellőztetett légrés) (nincs ábr.)

Alumínium hőreflexiós (párazáró)

másodlagos csapadékvíz szigetelés

Szarufa (20/12) közte:

- átszellőztetett légrés 5 cm
- páraáteresztő fólia kasírozású hőszig. 15 cm

Hőszigetelés és tartóváz 10 cm

párazáró fólia

2 réteg gipszkarton burkolat

6. ábra Árnyékolásra alkalmas alumínium másodlagos csapadékvíz szigetelő fólia helye a rétegrendben

Koporsófödém keresztmetszetének vizsgálata során kiderült, hogy a besugárzással átellenes oldalon koncentrálódik a teljesítmény sűrűség, és hogy a térdfal megemelésével a koncentrált terület nem emelkedik, hanem kissé lefelé mozdul el.

### 3.4. A hagyományos vasbeton falszerkezetek árnyékolása nagyfrekvencián

Szimulációkat futtattam a vasbeton falakon a szokásos szerkezeti vasalat sűrűségekkkel. A vasbeton fal számítógépes szimulációs vizsgálatát beton falban elhelyezett 1 cm átmérőjű rudakból készült, különböző rácssűrűségű acélháló betétekkel végeztem. A vizsgálattal megállapítottam, hogy a hagyományosan alkalmazott 20 és 10 cm-es acélhálónak nagyon csekély árnyékoló képessége van, ezért a panelekből épült házak nem működnek Faraday-kalitkaként. Anyagtulajdonságok vizsgálatánál megállapítottam továbbá, hogy fél méter vastag tömör téglá falnak jobb az árnyékoló képessége (7,74 dB), mint egy 5x5 cm acélháló vasalattal ellátott vasbeton falnak (6,10 dB) (1. táblázat).

1. táblázat A különböző építőanyagú falazatok árnyékolása szimulációs eredmények alapján

Építőanyag	falvastagság	Referenciaépületben	
		E- tér	SE
Tégla	50 cm	0.41	<b>7.744 dB</b>
Beton	30 cm	0.903	0.886 dB
Vasbeton 20x20	30 cm	0.86	1.310 dB
Vasbeton 10x10	30 cm	0.84	1.154 dB
Vasbeton 5x5	30 cm	0.495	<b>6.107 dB</b>

### 3.5. Szerkezetbe épített elektromágneses árnyékoló réteg rácssűrűsége és helye

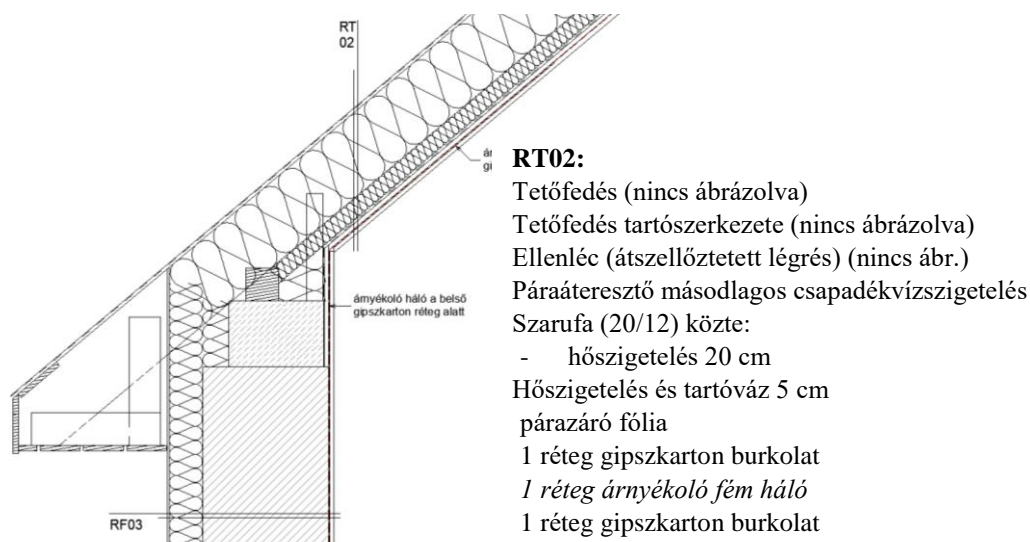
A szabványoknak megfelelő elektromágneses sugárzást a nemzetközi ajánlások szintjére lehet csökkenteni fém árnyékoló réteg vagy háló alkalmazásával. A szimulációk segítségével számított és a reflexiómentes kamrában mért árnyékolás 1 GHz-en 5x5 cm-es, 2,4 GHz-en 2,5x2,5 cm-es hálósűrűségtől kezd hatékonyá válni (5-9 dB) Vizsgálataimat a rácssűrűség felezésével folytattam, melyekre 1 GHz frekvencián 2,5x 2,5 cm rács esetén, anyagtól és átmérőtől függően 8-14 dB, 1,25x1,25 cm rács esetén 20 dB, 0,625x0,625 cm rács esetén 25 dB árnyékolási értéket kaptam. 2,4 GHz frekvencián 1,25x1,25 cm rács esetén 15 dB, 0,625x0,625 cm rács esetén 20 dB árnyékolási értéket kaptam. 6 dB esetén az áthatolt sugárzás a besugárzási érték fele, 12 dB esetén a negyede, 20 dB esetén a tizede.

A lakásokban általam mért átlagos  $10 \mu\text{W}/\text{m}^2$  teljesítménysűrűség, ami épületbiológiai értékelés szerint az 'erős anomália' kategóriába tartozik, az eredményeim alapján a tizedére csökkenthető 0,625x0,625 cm rácsozatú hálóval.

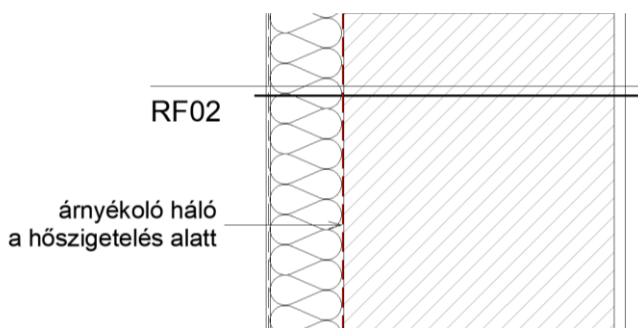
### 3. Eredmények

Az  $5 \mu\text{W}/\text{m}^2$  teljesítménysűrűség alatti értékek a 'gyenge anomália' kategóriába soroltak, ugyanakkor a telekommunikáció lehetőségét biztosítják. Az általam megcélzott és ez által az árnyékolás által elért teljesítménysűrűség átlagosan  $1 \mu\text{W}/\text{m}^2$ .

A fém hálót a rajta kialakuló páralecsapódás elkerülése végett a belső oldalon érdemes elhelyezni (7. ábra és 8. ábra)



7. ábra Árnyékoló fém háló javasolt helye a rétegrendben



8. ábra Homlokzati hőszigetelésnél alkalmazható fémszövet háló javasolt helye a hőszigetelés mögött.

## 4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

A mérések és számítások tapasztalatait összegezve kimutattam az épületszerkezetek hatását a nagy ütemben megjelenő elektromágneses sugárzásokra, valamint megoldásokat adtam az elektromágneses terhelés épületen belüli csökkentésére. Az új tudományos eredményeimet az alábbiakban pontokba szedve foglalom össze:

### *1. Lakások csoportosíthatósága elektromágneses tér alapján épülettípusok szerint*

Megállapítottam, hogy épülettípusonként hasonló nagyságrendű elektromos tér, mágneses tér és elektromágneses sugárzás mérhető, ezért a beltéri elektromágnesesség szempontjából is lehet csoportosítani a különböző épülettípusokban elhelyezkedő lakásokat. Ennek oka, hogy az 1946 előtt eredetileg bérháznak épült téglalakóépületekben a kisfrekvenciás elektromos és mágneses tér nagyobb (20-187 V/m, 31-82 nT), mint a blokktéglából vagy vasbeton panelekből épült lakóépületekben (1,6-54 V/m, 21-41 nT). A panelépületekben pedig, ezekhez a típusokhoz képest (3-7  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ) nagyobb a nagyfrekvenciás elektromágneses sugárzás (12-94  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ). Megállapítottam, hogy az alacsony frekvenciás elektromos és mágneses terek tekintetében a régi téglalakóépületek elavult, gyakran földelés nélküli elektromos hálózatai nagyobb elektromos és mágneses teret okoznak, mint az új építésű hálózatok. Bemutattam, hogy az épületek elektromos hálózatának felújításával az elektromos térben átlagosan 50% -os csökkenést lehet elérni.

### *2. Az építészeti nyílások és árnyékolásuk hatása a beltéri elektromágneses terekre*

Az épületen lévő nyílásokkal kapcsolatban bizonyítottam, hogy árnyékolás nélkül a belső terekben az elektromágneses sugárzás eloszlása változik, de maximum értéke azonos marad függetlenül attól, hogy a homlokzaton hol helyeztem el az azonos nagyságú nyílásokat. Bizonyítottam, hogy kizárólag a fal árnyékolása – az ablak árnyékolása nélkül – jelentősen növeli a belső elektromágneses tér terhelését (1 V/m-ről 3,13 V/m-re). Amennyiben választani lehet az ablakok vagy a falak árnyékolása között, az ablakok árnyékolásával lehet jelentős eredményt elérni (1 V/m-ről az additív interferáció miatt kialakuló pontokban csupán 1,25 V/m-re emelkedik).

### *3. Épületet határoló szerkezetek hatása az elektromágneses terekre*

Bizonyítottam, hogy árnyékolás nélküli, nem szerelt jellegű falszerkezettel határolt belső terek elektromágneses sugárzás maximum értéke nagyobb az épületet kívülről érő besugárzási értéknél. Az épületszerkezetek nagyfrekvenciás elektromágneses sugárzást befolyásoló viselkedésével kapcsolatban bizonyítottam, hogy a falsarkoknál, falszakaszoknál és ablakkáváknál geometria



váltás következtében az elektromágneses hullámok torzulnak, melyek hatására az elektromágneses belső térben sávok, erősítési pontok (hot spot) jönnek létre, amelyek a sarkok, kávak lekerekítésével csupán elhanyagolható mértékben csökkennek. Ugyanilyen erősítési sávok jönnek létre vízszintesen koporsófödém szerkezetű tetőterek esetében is. 45-fokos tető dőlésszög esetén a hullámkoncentráció nagyjából 1 méter magasságban alakul ki és a térdfal magasságának növelésével kissé lefelé mozdul el.

#### *4. A hagyományos vasbeton falszerkezetek árnyékolása nagyfrekvencián*

Bizonyítottam, hogy a hagyományos háló vasalattal (rácssűrűség 20 cm) épült vasbeton és vasbeton panel épületek nem működnek Faraday-kalitikaként és nem csökkentik a vizsgált 900 MHz feletti nagyfrekvenciás elektromágneses sugárzást.

#### *5. Szerkezetbe helyezett elektromágneses árnyékoló réteg rácssűrűsége*

Megállapítottam, hogy az épületszerkezetekben használt építőanyagok a túlzott falvastagság elkerülése érdekében önmagukban nem alkalmasak hatékony árnyékolásra. Ugyanakkor az épületet érő külső sugárzás szükséges mértékű kizárása, a belső terek elektromágneses sugárzásának a nemzetközi ajánlás szintjére ( $<5 \mu\text{W}/\text{m}^2$ ) való csökkentése megvalósítható a rétegrend helyes megválasztásával, a kitűzött árnyékolási célnak megfelelő sűrűségű, elektromosan vezető háló beépítésével. Ehhez 1GHz-en hatékony árnyékolást 1,25x1,25 cm, 2,4 GHz-en 0,625x0,625 cm rácssűrűségtől kezdve kaptam, aminek hatására az áthatolt sugárzás a besugárzási érték 1/10-ére csökken.

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS A JAVASLATOK

A fentiek alapján elmondható, hogy az elektromágnesesség a XXI. században építészeti szempontból egy eddig építészeti szempontból figyelembe nem vett problémakört vet fel, amelyet a jelen és a jövő építészetében számításba kell venni, szükség esetén műszaki megoldások alkalmazásával kell befolyásolni. Ehhez iránymutatás valamint szempontrendszer létrehozása szükséges az építész tervezők számára. A hullámjelenségek miatt a belső terek elektromágneses jelenségeit nem szabad még nagy gyakorlattal sem ösztönösen kezelni, hanem mérések és szimulációk segítségével kell hiteles tervezési javaslatokat tenni.

Az eredményekből javaslatként az alábbi ajánlás fogalmazható meg:

Belső forrás okozta sugárzás ellen, amennyiben szükséges, kontrolálással, tudatos használattal, és tervezéssel lehet hatékonyan védekezni. Javasolt, hogy a magas frekvenciás sugárzás forrásként működő WiFi útválasztót (routert) ne helyezzünk hálószobába. A háló falszerkezetére javasolt a 12 dB árnyékolási követelmény, amely 0,625x0,625 cm rácssűrűségű acélháló réteg vakolatba ágyazásával érhető el. Így a teljesítménysűrűség szintje még használatra alkalmas marad (-77dBm).

Különböző lakástípusok különböző kezelést igényelnek. Külön kategóriában kell megkülönböztetnünk az 1920 előtt épült többlakásos téglaházakat (az un. bérházakat), a paneles lakóépületeket és a családi házakat. Javasolt az elektromos hálózat földelésének meglétét ellenőrizni, illetve az egész hálózatot felújítani, főként a bérházak esetében. A vezetékeket javasolt a mennyezet alatt fél méterrel és nem a padlótól nagyjából fél méterre -pont az ágy és az ülőbútorok magasságában- vezetni különösen a háló helyiségekben. Társasházak lakások elválasztó falait a hanggátlási követelményen túl javasolt minimum 20dB elektromágneses sugárzás csökkentési követelménnyel építeni. Erre önmagában nem alkalmas a 30 cm vastag lakáselválasztó célú téglá (2,4 GHz-en 9 dB).

Külső forrás okozta sugárzás ellen, amennyiben szükséges, árnyékolással, az árnyékolás tudatos épületbe tervezésével lehet hatékonyan védekezni, különösen odafigyelve az építészeti nyílások árnyékolására.

Javaslatként jegyzem meg, hogy az irodák kialakítása során a munkaasztalok elhelyezése, azonos besorolású a lakásokban az ágyak elhelyezésével, mivel a dolgozó ezen a helyen több-kevesebb mozgással körülbelül napi nyolc órát ül.

Végül szeretném felhívni a figyelmet az egyéni használat különbségeiből adódó hatásokra, melyeknek vizsgálata nem feladatom. Ilyen például a mobiltelefon használat, ugyanis használat közben a telefon sugárzása megnő, amely a normális működés következménye. A saját eszközök és mások által a helyiségbe bevitt források hatása, és szükség esetén ezen hatás ellen való személyes védekezési lehetőségek további tanulmányok témája lehet.

## 6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT PUBLIKÁCIÓK

*Lektorált cikk világnyelven:*

1. **Gergely Vizi**, Guy A. E. Vandenbosch, (2015): Building materials and electromagnetic radiation: The role of material and shape, Journal of Building Engineering pp. 96-103
2. **Vizi G.** (2015) Comparing examination of electromagnetic field levels in downtown apartment houses with flats in housing estates, Hungarian Agricultural Engineering No. 28/2015, pp. 34-38, HU ISSN 0864-7410, DOI: 10.17676/HAE.2015.28.34

*Lektorált cikk magyar nyelven:*

3. **Vizi G., Szász A.** (2012): Lakások elektromágneses mértéke és ezek csökkentési lehetőségei. Víz, gáz, fűtéstechika, Épületgépészeti szaklap XIII. évfolyam 6. szám, 74-79. o., ISSN 1786-8238
4. **Vizi G., Szendrő P., Szász A.** (2013): Elektromágneses tér kibocsátás különböző környezetben. Mezőgazdasági Technika, LIII. évf. május, 5-7. o.
5. **Vizi G., Vandenbosch G. A. E.** (2015) Beltéri elektroszmog - Az építészeti nyílások hatása, Magyar Építőipar 5 szám, 2015. nov, 193-200.o.