



SZENT ISTVÁN EGYETEM

Épületszerkezetek hatása a beltéri elektromágneses
terekre

Doktori (PhD) értekezés
Vizi Gergely Norbert

Gödöllő
2018

**A doktori iskola
megnevezése:**

Szent István Egyetem
Műszaki Tudományi Doktori Iskola

tudományága:

Agrárműszaki tudományok

vezetője:

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

Témavezető:

Prof. Dr. Szász András
egyetemi magántanár, a fizika tudományok kandidátusa
SZIA 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

| | |
|---|-----------|
| RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE | 5 |
| 1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK | 8 |
| 1.1. A téma időszerűsége és jelentősége | 8 |
| 1.2. Célkitűzések | 9 |
| 2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS | 10 |
| 2.1. Sugárzás fajták forrásuk szerint..... | 10 |
| 2.1.1. Természetes sugárzások | 10 |
| 2.1.2. Technikai sugárzások | 11 |
| 2.2. A technikai sugárzások forrásai..... | 15 |
| 2.2.1. Lakótéren kívüli forrás | 15 |
| 2.2.2. Lakótéren belüli forrás..... | 18 |
| 2.3. Technikai sugárzások mérése..... | 19 |
| 2.3.1. A technikai sugárzások mérése kisfrekvencián | 19 |
| 2.3.2. A technikai sugárzások mérése nagyfrekvencián | 20 |
| 2.3.3. A technikai sugárzások kölcsönhatásainak mérése..... | 20 |
| 2.4. Határértékek és szabványok..... | 24 |
| 2.4.1. Határértékek és szabványok nagyfrekvencián..... | 24 |
| 2.4.2. Határértékek és szabványok kis frekvencián | 26 |
| 2.5. Építőanyagok elektromágneses viselkedése | 27 |
| 2.6. Építészeti vonatkozások..... | 30 |
| 2.6.1. Építészeti trendek | 30 |
| 2.6.2. Belsőépítészeti trendek | 34 |
| 2.6.3. Gépészeti és épületvillamossági trendek..... | 34 |
| 2.7. A szakirodalmi áttekintés összefoglaló értékelése | 35 |
| 3. ANYAG ÉS MÓDSZER..... | 36 |
| 3.1. Mérések valós körülmények között | 36 |
| 3.1.1. Beltérben végzett mérések | 36 |
| 3.1.2. Belső teret befolyásoló külső források vizsgálata | 38 |
| 3.2. Épületeken végzett számítógépes szimulációk..... | 42 |
| 3.3. Mérések reflexiómentes kamrában..... | 46 |
| 4. EREDMÉNYEK | 49 |
| 4.1. Lakásokra jellemző általános elektromágneses következtetések..... | 49 |
| 4.1.1. Lakástípusok elektromágneses jellemzői..... | 49 |
| 4.1.2. A földelés szerepe az elektromos és mágneses tér értékében | 52 |
| 4.1.3. A villamos hálózat felújításából kapott eredmények..... | 53 |

| | |
|--|------------|
| 4.2. Az építészeti nyílások hatása a beltéri elektromágneses terekre | 56 |
| 4.2.1. <i>Ideális ablak pozíció és ablakosztás.....</i> | 56 |
| 4.2.2. <i>Ablakok közötti falszakaszok hatása</i> | 63 |
| 4.2.3. <i>Belső elektromágneses árnyékolás használata</i> | 64 |
| 4.3. Épületet határoló szerkezetek hatása az elektromágneses terekre..... | 69 |
| 4.3.1. <i>Az üregrezonátor hatás</i> | 69 |
| 4.3.2. <i>Az építészeti tömegformálás hatása a beltéri elektromágneses terekre.....</i> | 69 |
| 4.3.3. <i>Tetőtér beépítésnél alkalmazott szerkezetek hatása az elektromágneses térre.....</i> | 75 |
| 4.3.4. <i>Az épület építőanyagának hatása.....</i> | 77 |
| 4.4. A hagyományos vasbeton falszerkezetek árnyékolása nagyfrekvencián | 78 |
| 4.5. Szerkezetbe helyezett elektromágneses árnyékoló réteg rácssűrűsége és helye ... | 79 |
| 4.6. Új tudományos eredmények..... | 87 |
| 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK..... | 89 |
| 6. ÖSSZEFOGLALÁS | 90 |
| 7. SUMMARY | 91 |
| 8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS..... | 92 |
| 9. MELLÉKLETEK | 93 |
| M1: Szakirodalmi hivatkozások jegyzéke..... | 93 |
| M2: Az értekezés témaköréhez kapcsolódó saját publikációk..... | 101 |

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

- AM – Amplitúdó Moduláció A műsor jelének kódolása a kisugárzott jel amplitudójának (erősségének) változtatásával történik, miközben frekvenciája állandó marad
- ANSI – American National Standards Institute (Egyesült Államok Nemzeti szabványügyi Intézete)
- BBB – Blood-brain barrier (vér-agy gát)
- BC – citizens band (a walkie-talkie rádiók számára kijelölt 27 MHz-es frekvenciasáv)
- CAD – Computer-Aided Design (számítógéppel segített tervezés)
- CEM – computational electromagnetics (számításos elektromágnesesség)
- DCS – digital communication system (digitális kommunikációs rendszer)
- DECT – Digital Enhanced Cordless Telecommunications (továbbfejlesztett, vezeték nélküli digitális távközlés)
- DIN – Deutsches Institut für Normung (Német Szabványügyi Hivatal)
- EEG – Electroencephalography (Elektroenkefalográfia)
- EHS – Electromagnetic Hypersensitivity (Elektromágnesességre hiperérzékeny emberek, akik nem specifikus egészségügyi tüneteiket az elektromágneses tereknek tulajdonítják. Vitatják, hogy az aktuális szabványok határértékei elegendően alacsonyak.)
- ELF – Extremely Low Frequency (extrém alacsony frekvencia)
- EM – electromagnetic (elektromágneses)
- EMF – Electromagnetic Field (elektromágneses tér a 0 Hztól a 300 GHz közötti frekvenciatartományú elektromágneses erőtér)
- EMS – Electromagnetic Sensitivity (elektromágneses túlérzékenység)
- ENSZ – Egyesült Nemzetek Szövetsége
- EU – European Union (Európai Unió)
- FCC – Federal Communications Commission (Szövetségi Kommunikációs Bizottság)
- FDTD – finite difference time domain (időtartománybeli véges differenciák)
- FEM – Finite Element Method (véges elemes módszer)
- FIT – Finite Integration Technique (véges integrációs technika)
- FM – Frequency Modulation (Frekvencia moduláció. A műsor jelének kódolása a kisugárzott jel frekvenciájának változtatásával történik, miközben amplitudója (erőssége) változatlan marad.)
- FNFT – Frekvenciasávok Nemzeti Felosztási Táblázata (Magyarországra érvényes frekvenciaelosztási táblázat)
- GO – Geometrical Optics (geometriai optika)
- GSM – Global system mobile (948 MHz-en működő globális mobil rendszer)
- IARC – International Agency Research on Cancer (A WHO rákkutatásra specializálódott intézménye)

| | |
|---------|--|
| ICNIRP | – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection http://www.icnirp.de/ (Nemzetközi Nem-ionizáló Sugárvédelemi Bizottság) |
| IEI-EMF | – Idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (elektromágneses tér hatásának tulajdonított ismeretlen eredetű környezeti intolerancia). A szakirodalom utal rá elektromágneses hiperszenzitivitásként, vagy elektroszenzitivitásként is. |
| IEGMP | – Independent Expert Group on Mobile Phones (a mobiltelefonon egészségre gyakorolt hatásának vizsgálatára az angol egészségügyi miniszter által felkért független szakértői csoport) |
| IRPA | – International Radiation Protection Agency (Nemzetközi Sugárvédelmi Ügynökség) |
| MLFMM | – Multilevel Fast Multipole Method (többszintű, többpólusú gyors módszer) |
| MoM | – Method of moments (momentumok módszere) |
| MSZ | – Magyar Szabvány |
| NCRPM | – National Council on Radiation Protection and Measurements (Sugárvédelmi és Mérésügyi Nemzeti Tanács) |
| NIOSH | – National Institute for Occupational Safety and Health (Foglalkozásbiztonsági és Egészségügyi Nemzeti Intézet) |
| NREM | – Non-rapid eye movement (nincs szemmozgás) mély alvási szakasz |
| NRPB | – National Radiological Protection Board (angol, sugárvédelemmel foglalkozó tanács) |
| OAH | – Országos Atomenergia Hivatal |
| OSSKI | – Országos Sugáregészségügyi és Sugárbiológiai Kutató Intézet |
| PO | – Physical Optics (fizikai optika) |
| REM | – Rapid eye movement (gyors szemmozgás) az alvási folyamat egyik szakasza |
| RF | – Rádiófrekvencia |
| RFID | – Radio frequency identification (rádió frekvenciás azonosítás) |
| SA | – Specific Absorption (egységnyi tömegű élőszövet által elnyelt energia, J/Kg) |
| SAR | – Specific Absorption Rate (1kg testsúlyra vetített sugárzás teljesítmény, W/Kg) |
| SCENIHR | – Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (kialakulóban lévő és újonnan azonosított egészségügyi kockázatok tudományos bizottsága) |
| SE | – Shielding efficiency (árnyékolási hatékonyság) |
| SRD | – Short range devices (Kis hatótávolságú eszközök) |
| UHVDC | – Ultrahigh voltage direct-current (ultranagy feszültségű egyenáram) |
| UMTS | – Universal mobile telecommunication system (univerzális mobil telekommunikációs rendszer, mely 2140 MHz-en működik) |
| UNSCEAR | – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (Az Egyesült Nemzetek Szövetségének atomsugárzás hatásokat vizsgáló tudományos bizottsága) |

- UTD – Uniform Theory of Diffraction (elektromágneses hullámok elhajlásának általános elmélete)
- VLF – Very Low Frequency (nagyon alacsony frekvencia)
- WHO – World Health Organization (Egészségügyi Világszervezet)

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 társadalom egyik legfontosabb kérdése a megfelelő védelmet és kényelmet nyújtó lakhely kialakítására vonatkozik, hiszen életünk egyharmadát itt töltjük. A kezdetleges sátrak alapvető védelmi funkciókkal rendelkeztek: az esőtől, a napsütéstől, és a hidegtől védtek, azonban az idők során tájegységek szerint, és a rendelkezésre álló alapanyagoknak megfelelően változtak az épületek szerkezetei, és bővültek, fejlődtek a lakóegységgel szemben támasztott követelmények. A funkciót szorosan követte az anyaghasználat és a szerkezet kialakítása. Nagy szilárdsággal rendelkező kőből épültek a középkorban főként védelmi funkciót ellátó várak, az újkori többemeletes lakóépületek építőanyaga a téglá, majd a magasság növelésének igényével megjelent az acél vázszerkezet. Az egyes épületszerkezetek egyre több, és egyre különbözőbb funkciókat láttak el. Megjelentek a különböző anyagokból épített „vegyes” szerkezetek (pl.: Fachwerk), és a különböző rétegeket tartalmazó „réteges” szerkezetek (pl.: paticsfal, vagy pórfödém), ahol a tartószerkezet (pl.: fa) és a hőszigetelő funkciót betöltő szerkezet (pl.: agyagtapasztás) elvált egymástól.

Az építéstudomány fejlődésével és az épületekkel, épületszerkezetekkel szemben támasztott követelmények szigorodásával, az egyre különbözőbb épületszerkezetek egyre több funkciót látnak el. A korábban használt tömör és nagy teherbírású téglák helyett üreges, kisebb teherbírású téglákból építünk annak érdekében, hogy a hőszigetelő funkciót jobban kielégítse a szerkezet, de a nagy hőszigetelő képesség eléréséhez ma már különböző anyagú (természetes szálak, vagy műanyaghab), alacsony hőátbocsátó képességgel rendelkező, kimondottan hőszigetelésre használatos anyagot is beépítünk. A nedvesség különböző formái ellen más és más épületszerkezeti kialakítással és megfelelő anyag beépítésével védekezünk magastetön, lapostetön, lábazatnál, vagy a pincében.

Az építésznek gondolni kell minden olyan forrásra – legyen az akár esőzés, talajvíz, egy lapostetőn telepített fa gyökere, vagy egy trafóház sugárzása – ami közvetlenül, vagy közvetve hatással van a belső térre, és ezek ellen különböző funkciójú épületszerkezeti megoldással – a szükséges mértékben – védekeznie kell. A kedvezőtlen hatást ki kell küszöbölni (pl.: a nedvesség ellen vízszigeteléssel, a hővesztés ellen hőszigeteléssel), de mindezeket úgy kell kialakítani, hogy közben más követelményeknek is megfeleljen a megoldás, hiszen a teljesen légmentes lezárás nem megfelelő egy lakótér esetében, mivel a szükséges légcseréről – lehetőleg természetes úton – gondoskodni kell.

Eddig főleg a természeti hatások mérséklése volt a cél, napjainkban azonban 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 természetes és mesterséges hatásokat valamely érzékszervünkkel észlelhetjük, melyeknek zavaró mivoltától szabadulni szeretnénk, de fontos a nem látható, azonnal nem érezhető hatások elleni védekezés is. Ilyen hatás a radon, az elektromos, mágneses és az elektromágneses sugárzás is.

Ez utóbbiak a legtöbb esetben nem érzékelhetők az emberi érzékszervekkel, 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 azóta folyamatosan fejlődő vezeték nélküli kommunikáció által mesterségesen gerjesztett elektromágneses tér hatásának vagyunk kitéve. A GSM, az UMTS, a vezeték nélküli internet csupán néhány közismert eszköz, amely mindennapi életünkben megjelent, 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.

Az elektromágneses terekkel kapcsolatos kutatások baktériumokkal, állatokkal, növényekkel kapcsolatos vizsgálatokra is kiterjednek. Ezek főként a mezőgazdaságban bírnak jelentőséggel, például a növények csírázóképeségének növelése (Szász és tsai, 2003, Szendrő és tsai, 1997) vagy magaszeparációs eljárások szempontjából (Szendrő és tsai, 2003). Azonban a mai napig vitát kelt az, hogy az elektromágneses sugárzás hátrányosan befolyásolja-e az emberi szervezet precíz biológiai egyensúlyát. Mindazonáltal, a tudományos munkát végzők etikai kötelessége, hogy az úgynevezett civilizációs betegségek lehetséges okait kutassák.

A szakirodalomban található kutatások és vizsgálatok többsége a telekommunikációban alkalmazott elektromágneses sugárzás terjedését vizsgálta városi környezetben a terjedési veszteségek szempontjából azzal a céllal, hogy kellő mértékű lefedettséget tudjon fent tartani, de az épületek tervezői semmilyen iránymutatást nem kaptak arra nézve, hogyan tervezzenek, és 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 épületszerkezeti és tervezői módszernek. Célom megvizsgálni 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 függőlegestől különböző kialakítása is beletartozik, így a tetőtérbeépítések könnyű- és vasbeton szerkezeteit is meg kívánom vizsgálni.
4. Kutatási célom megvizsgálni a magasház építésre alkalmas hagyományos vasbeton panel falszerkezetű lakóépületek árnyékolási képességét, és hatását nagyfrekvencián.
5. Célom az épülethatároló szerkezetek rétegrendi kialakításánk optimalizálása, amely alkalmas a nemzetközi szabványokon túl a nemzetközi ajánlások szintjére csökkenteni a beltéri elektromágneses sugárzás szintjét.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

Ebben a fejezetében a hazai és nemzetközi szakirodalom segítségével bemutatom a sugárzás fajtákat, a különböző típusú elektromágneses terek forrásait, határértégeit, mérési és tervezési módszereit, valamint az építéstudománnyal kapcsolatos kutatási eredményeket.

2.1. Sugárzás fajták forrásuk szerint

A sugárzásokat többféleképpen lehet csoportosítani. Lehet csoportosítani az emberre való hatása szerint gyógyító, semleges és veszélyes sugárzásként. Hatása szerint lehet közvetlen vagy közvetett, fizikálisan megkülönböztethetjük a közeltéri sugárzást, a távöltéri sugárzást, és a kettő közti átmeneti zónát. A legtágabb és legegyszerűsebb csoportosítás, ami a kutatásomhoz kapcsolódik az a sugárzások forrása szerinti csoportosítás, ahol megkülönböztetjük a természetes forrású, és a mesterséges forrású sugárzásokat.

2.1.1. Természetes sugárzások

Természetesek a föld mélyéből és a világűrből érkező sugárzások.

Az egyik legnyilvánvalóbb természetes sugárzás fajta a napsugárzás, mely elsősorban ibolyántúli, látható és infravörös sugárzásként elektromágneses hullám formájában érkezik a Földre. A Nap sugárzó energiájának 7%-a az ultraibolya és röntgen tartományba tartozik (0,01-380nm), 46%-a a látható fény-, a további 47% pedig az infravörös tartomány része.

A föld mágneses mezeje: A mágneses mező oka a Föld belső szerkezetében működő dinamo-mechanizmus, melynek felfedezéséért Hannes Alfvén 1970-ben Nobel díjat kapott (Nobelprize.org). A Föld mágneses mezeje 30-60 μT erősségű. Erre a mezőre szükség van az emberi léthez. A NASA kutatói már a 70-es években felfigyeltek arra, hogy az űrhajósok a föld mágneses mezőjét elhagyva fáradtságra, gyengeségre panaszkodtak, (Hamer, 1968), (Gavalas et al., 1970), más vizsgálatkor kiderült, hogy kalciumvesztés és izomgörcs tünetek léptek fel. (Kaczmarek, Adey, 1973). Az űrhajósoknak most már mesterségesen állítják elő a mágneses teret az űrhajóban és az űrruhában.

Schumann-rezonanciáknak nevezzük leírójáról a Föld felszíne és az ionoszféra által határolt gömbréteg elektromágneses sajátfrekvenciáit. A Schumann rezonancia hullám 7,8 Hz rezgésű (Sátori, 2009). Ennek központi szerepe van az agy összpontosítási képességében és a tanulási folyamatokban is. A NASA az űrkutatások során felfigyelt ennek jelentőségére, és ma már mesterségesen gerjesztik ezt az űrhajóban (Hamer, 1968).

A kozmikus sugárzás a Földre káros sugárzások formájában érkezik a világűrből, melyek erősen ionizáló hatásukkal komoly károkat okozhatnak. Ugyanakkor a föld mágneses tere és ionoszférája ezeket az igen káros sugárzásokat döntő részben kiszűri (Stanev, 2010) (Jánossy, 1963).

Radiesztéták állítása szerint léteznek más természetes sugárzások is. Szerintük az emberi szervezetre azok a földből eredő sugárzások a legártalmasabbak, amelyek a föld alatti vízfolyásokból származnak. Több, tudományosan nem megalapozott és nem elfogadott sugárzási fajtát is vizsgált a radiesztétika, melyekkel nem foglalkozom.

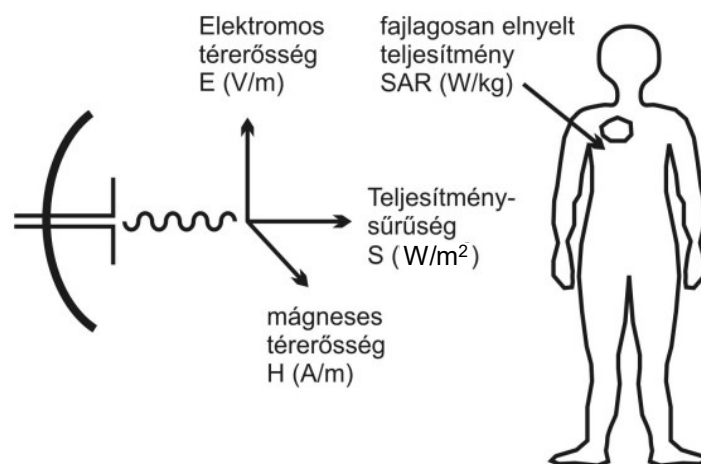
A radon sugárzása nem elektromágneses, de a radon gáz feldúsulása és szervezeti inkorporálása elektromágneses hatásokkal is összefügg.

A radonra visszavezethető betegségeket a XV. században először az ércbányászok körében írták le, bár a radont tudományos kutatások eredményeképpen csupán a XIX. és a XX. század fordulóján sikerült azonosítani, és pontosan leírni annak az emberi szervezetre gyakorolt káros

hatásait, és csak a XX. század közepén születtek meg a radonnal kapcsolatos első munkavédelmi szabályozások és ajánlások. Az első beltéri méréseket az 1950-es években kezdték (Hultquist, 1956), de ezek nem keltettek nagy érdeklődést (ICRP 65, 1993). A lakótérben lévő radon felmérése pedig csak 1976-ban kezdődött meg. Az épületbiológusok figyelmét ma már egyre inkább felkelti a radon sugárzás, hiszen a természetes hatásokból évente majdnem 1 mSV sugárzást kapunk átlagosan belőle.

2.1.2. Technikai sugárzások

A technikai sugárzásokat a 2.1. ábra mutatja.



2.1. ábra A technikai sugárzások ábrázolása

2.1.2.1 Sztatikus tér

Ahol sztatikus feltöltődés történik ott egyenfeszültség keletkezik. A gyakorlatban ez a feltöltődés legtöbbször dörzsölés által keletkezik. Nagyon könnyen feltöltődnek a szintetikus anyagok (függöny, szőnyeg), a síkfelületű műanyag, lakk bevonatok, de a természetes anyagok (gyapjú) és az emberi haj is. A töltések természetes egyensúlya megbomlik a porok, mikrobák, a pólusok vonzása és taszítása folytán és folyamatosan keverednek a levegőben. Minél szárazabb a levegő annál valószínűbb az elektrosztatikus feltöltődés. A levegő ajánlott relatív légnedvessége a 40-60% közötti érték. Az épületbiológiai irányelveket a német Institut für Baubiologie a sztatikus terekre a 2.1. táblázat és a 2.2. táblázat szerint csoportosítja:

2.1. táblázat A sztatikus elektromos tér épületbiológiai irányelvei

| | Extrém anomália | Magas anomália | Gyenge anomália | Ajánlott érték |
|--------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Felületi feszültség (V) | > 2000 | 500-2000 | 100-500 | <100 |
| Kisülési idő (s) | > 30 | 20-30 | 10-20 | <10 |

2.2. táblázat A sztatikus mágneses tér épületbiológiai irányelvei

| | Extrém anomália | Magas anomália | Gyenge anomália | Ajánlott érték |
|---|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Indukció eltérés (μT) | > 20 | 5-20 | 1-5 | <1 |
| Indukció ingadozás (μT) | > 10 | 2-10 | 1-2 | <1 |
| Iránytű eltérés fokban ($^\circ$) | > 100 | 10-100 | 2-10 | <2 |

2.1.2.2 Kisfrekvenciás elektromos változó tér

Az elektromos változó tér a váltakozó feszültség hatására keletkezik. A mesterséges sugárzásokon belül a sugárzásokat két fő csoportra oszthatjuk: kis frekvenciás sugárzásokra (0Hz- 30kHz) és nagy frekvenciás sugárzásokra (30kHz- 300GHz). Elektromos tér minden feszültség alatt álló berendezés, kábel, csatlakozóknál megtalálható, még akkor is, ha nem folyik rajtuk áram. Az elektromos tér erőssége függ a jelenlevő feszültség nagyságától, jele E és V/m -ben fejezzük ki. A kábelen folyó áram hő termel, mégpedig az áramerősség négyzetével arányosan. Amennyiben adott teljesítményt akarunk átvinni, a feszültség és az áramerősség szorzata konstans, tehát nagyobb feszültség mellett kisebb áramerősségre van szükség. 50 Hz frekvencia hullámhossza 6000 km, ami azt jelenti, hogy a kábelek környékén 1 hullámhosszon belül, azaz a közeltérben tartózkodunk.

Egészségügyi, biológiai hatás: Kisfrekvenciákon (néhány 100 kHz alatt) a sejtmembrán leárnýékolja a külső elektromos jelet, ezért elsősorban sejtmembránra gyakorolt hatást feltételeztek (Repacholi, 1998 és Tenforde, 1996). Ugyanakkor a hosszabb időre elektromos térnek kitett embernél különböző tünetek léphetnek fel, mivel elektromágneses tér szabályozza, váltja ki és hangolja össze szervezetünk sokmilliárdnyi sejtjének összes élettani folyamatát is. Testünk szerveződési folyamatai, de a gondolkodás közben kialakuló agyhullámok is a 0,1-100 Hz-es frekvenciasávba esnek. Ugyanebben a frekvencia-tartományban kelt elektromágneses jeleket a Föld mágneses tere, az időjárás zavarok, sőt a háztartási gépek is. (Blackman, 2009) Szervezetünk rendkívül érzékeny az elektromos és mágneses tér változásaira. A neocortex alacsony frekvencián küldi a parancsokat, ami hat az alvási periódusra és a kognitív tevékenységekre (Traub, 2007). Saunders szerint az agy normál működésében az elektromágneses terek okozta interferencia meggátolja a melatonin termelődést, ami alvási zavarokhoz, kialvatlansághoz vezet, valamint gátolja egyéb rin hormon kiválasztását is, amely az immunrendszer normális működéséhez szükséges (Saunders, 2003).

Más tünetek is előléphetnek mint magas vérnyomás, fejfájás, depresszió, idegi feszültség, kimerültség, szívritmuszavarok, éjszakai verejtékezés, de ezek többségét a kutatók nem tudták teljes biztonsággal az elektromos tér következményének tulajdonítani. (Milde-Busch et al., 2010, Legros et al., 2011)

Vizsgálatok IEI-EMF tünetekkel rendelkező embereket is összehasonlítottak IEI-EMF tünet nélküli emberekkel, hogy megállapítsák melyik csoport határozza meg pontosabban az ELF jelenlétét, és megállapították, hogy a hiperszenzitivitás tüneteivel rendelkező csoport pontosabb eredményt produkált. (Köteles és tsai, 2013)

Kutatók vizsgálataikban kimutatták, hogy az elektromos és mágneses térnek nem csak közvetlen hatása van az élő szervezetre. Megállapították, hogy a nagyfeszültségű vezetékek körül por és radon feldúsulás várható, amely passzív egészségkárosító hatás. (Swanson et al., 1996). EU lakosságra vonatkozó határérték (2013/35/EC Direktíva): 5000 V/m, ami 100 szor nagyobb az épületbiológusok által javasolt értéknél (SBM 2008) (2.3. táblázat).

2.3. táblázat Az alacsony frekvenciás változó elektromos tér épületbiológiai irányelvei

| | Extrém anomália | Magas anomália | Gyenge anomália | Ajánlott érték, tul. kép. mentes környezet |
|----------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|---|
| Térerősség (V/m) | > 50 | 5-50 | 1-5 | <1 |
| Testfeszültség (mV) | > 1.000 | 100-1.000 | 10-100 | <10 |

Épületbiológiai kiértékelés: Extrém anomáliát rövidtávon meg kell szüntetni, beavatkozást igényel. Magas anomáliát épületbiológiai megközelítéssel már nem lehet elfogadni. Gyenge

anomália esetén érzékeny, vagy beteg emberek esetén ajánlott az értéket a lehetőségek szerint tovább csökkenteni. Az ajánlott érték lényegében a természetes állapotnak felel meg. Hálószobákban és a gyerekek tartózkodási helyén törekedni kell ezeknek az értékeknek az elérésére.

2.1.2.3 Kisfrekvenciás mágneses változó tér

Alacsonyfrekvenciás mágneses tér akkor keletkezik, ha áram folyik a bekapcsolt elektromos fogyasztókon és a vezetéseken. A mágneses térerőssége függ az áram nagyságától, de függ az oda és visszavezető kábelek távolságától is (ideális esetben a terek kioltják egymást), jele: H, mértékegysége A/m. (1 A/m mágneses térerősség=1,26 μ T mágneses indukciónak (jele:B) felel meg.) Hétköznapi forrásai a bekapcsolt elektromos berendezések, készülékekbe beépített, illetve különálló transzformátorok, tápegységek, nagyfeszültségű vezeték. Mivel adott villamos teljesítmény esetén kisebb feszültséghez nagyobb áram tartozik, a kisfeszültségű berendezések is meglehetősen nagy mágneses erőteret kelthetnek. Ehhez járulnak a ki- és bekapcsolási jelenségek extrémításai. További forrása az épületekben a nem megfelelő földelés, elektromos hibák hatására víz és fűtési vezetéseken folyó kiegyenlítő áram. A változó mágneses tér ellen nehéz védekezni, ezért különösen kritikus a kívülről a nagyfeszültségű vezetésektől, transzformátor állomásoktól jövő mágneses tér. A mágneses indukció nagysága vezetéseken a távolság növelésével egyenes arányban csökken.

Egészségügyi, biológiai hatás:

A mágneses tér a szervezetben természetellenes örvényáramot indukál. A legjobb védekezés a különböző berendezésektől a megfelelő távolságot megtartani. Alacsony frekvenciás mágneses tér ingerli a mielizált idegrostokat, ha a szövetben kialakult térerő elég erős. Számos kutatási eredmény arra enged következtetni, hogy a 10-5200 μ T közötti mágneses indukció kísérleti állatokban csökkenti az éjszakai tobozmirigy és vér melatonin koncentrációját. Az IARC (2002) rákkeltő hatás szerinti besorolásban „Lehetséges emberi rákkeltő” (2B) minősítést kapott. Igazolást nyert az a hipotézis, mely szerint a daganatos betegségek kialakulásában szerepet játszik az ELF a gyermekkori leukémia kockázatának kismértékű abszolút növekedésében. (Li et al., 2009, Keegan et al., 2012)

EU lakosságra vonatkozó határérték (2013/35/EC Direktíva): 100 μ T és az épületbiológusok javasolt határértékei (2.4. táblázat) között itt is nagyságrendi a különbség. Az elektromos tér és mágneses indukció 2013/35/EC Direktíva szerinti általános értékeit a 2.5. táblázat mutatja.

2.4. táblázat Az alacsony frekvenciás mágneses váltakozótér épületbiológiai irányelvei

| | Extrém anomália | Magas anomália | Gyenge anomália | Ajánlott érték: mentes környezet |
|-------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------------------------|
| Mágneses indukció (nT) | > 500 | 100-500 | 20-100 | <20 |

2.5. táblázat Az igen alacsony frekvenciájú terek általános értékei

| | Elektromos tér | Mágneses indukció |
|------------------------------|----------------|-------------------|
| típus (ELF) | E (V/m) | B (μ T) |
| természetes háttér | 10^{-4} | $5 \cdot 10^{-4}$ |
| távvezeték (756kV) alatt | 12000 | 30 |
| transzformátor | | 10-15 |
| háztartási hálózat/ eszközök | 10-70 / 500 | 0,05-0,3 / 50-150 |

2.1.2.4 Nagyfrekvenciás terek

A környezeti elektromágneses hullámok egy jelentős részét az ember állítja elő, azzal, hogy az információkat nagy frekvenciával (100 kHz-től 300 GHz-ig) vezeték nélkül a levegőn keresztül továbbítja, vagy például azzal, hogy az ételt a mikrohullámú sütőben felmelegíti. Az ilyen nagy frekvenciáknál az elektromos- és mágneses tér gyakorlatilag összeolvad, hullám propagáció történik, ilyenkor beszélünk elektromágneses hullámokról. Az elektromágneses hullámokat legtöbbször az információ átvitelére használjuk. Nagy frekvencián nem a tér nagyságát, hanem az átmenő teljesítményt, azaz a teljesítmény sűrűséget mérjük. Jele: S (W/m^2). Az elmúlt 50 évben a használt sávzélességek lényegesen kitágultak. A '60-as években a rádióadó még 0,5 MHz-en sugárzott addig a modern UMTS hálózat 2,2 GHz frekvencia tartományt használ. A pulzáló források az egészségre ártalmasabbak, mert a fiziológiai szervezetek másodperces/perces reakcióidővel rendelkeznek a pulzáló térhez képest. Ami ennél gyorsabban változik, ahhoz nehezebben alkalmazkodnak.

Egészségügyi, biológiai hatás:

A sugárzás elnyelődésének mértéke az emberi szövetekben a test elektromos permittivitásától (ϵ), illetve mágneses permeabilitásától (μ) függ. Mivel az energiafelvétel dielektromos polarizáció útján történik, ha a külső elektromos tér periódusideje és az elnyelő anyagban található kis dipólusok (pl. vízmolekulák) mozgásának (vibráció, rotáció stb.) periódusideje megegyezik, maximális elnyelődést, abszorpciót tapasztalhatunk. A sugárzás makroszkopikus behatolási mélysége az a távolság a testfelszíntől befelé, ahol az elektromágneses térerősség az e -ed részére (36,8%-ára) csökken. A mikrohullámú és RF sugárzások biológiai hatásait a termoreguláció érintettsége szempontjából három részre szokás bontani, amelyekhez három expozíciós (SAR) tartomány is rendelhető (Thuróczy, 2002).

- hőhatás: hőmérséklet-emelkedéssel járó expozíció (2-8 mW/g felett), amely 1 °C-nál nagyobb hőmérséklet-emelkedést okozhat;

- atermikus (kompenzált) hatás: a hőmérséklet nem emelkedik a termoreguláció miatt (0,5-2 mW/g között);

- nem termikus: nincs hőmérséklet-emelkedés, termoreguláció nem érintett (0,5 mW/g alatt).

E három kategória szerinti besorolás sok esetben nehéz, ugyanis pl. a SAR hőhatás okozó értékeiben nagy átfedés lehetséges az adott biológiai rendszer és a szerv termoregulációs képessége szerint. Például a szemlencsének nincs vérrellátása, így ott a hőmérséklet az alacsonyabb SAR értékeknél emelkedik meg, míg az agyszövet termoregulációs képessége igen nagy. Bonyolítja a besorolást az is, hogy az adott objektum frekvenciafüggő elnyelési képességének megfelelően ugyanazon SAR-hez különböző, levegőben mérhető teljesítménysűrűség is tartozhat. Ezért különösen nehéz megítélni, hogy pl. a rádiótelefon sugárzásából keletkező elnyelt teljesítmény, amely 0,1-15 W/kg között is változhat, melyik kategóriába sorolható (ICNIRP, 1998, Repacholi, 1998).

Továbbra is központi kérdés, hogy a nagyfrekvenciás sugárzások elősegítik-e a daganatos betegségek kialakulását, illetve felgyorsítják-e lefolyási idejét. A gyermekkori rák, az agyi- illetve nyak környéki gilómák kialakulásának megnövekedett kockázatát a legutóbbi tanulmányok elvetik (Bunch et al., 2014), de az akusztikus idegdaganatok kialakulásának kockázatát még nyitott kérdésként hagyják (SCENIHR 2015). Tanulmányok kimutatták, hogy a mobiltelefon használat hatása nem csak lokálisan fontos a fej és a nyak környékén, de a távóter sugárzásának hatása fontosabb lehet a test más területein. Például a terhes nők mobiltelefon-használatának hatása, illetve a férfiak mobiltelefon-használata és nemzőképességük változásának vizsgálata. Bár az eredmények ellentmondások,

megállapították, hogy az alacsony sugárzás miatt a hatások nem valószínűek (Divan et al., 2011; Guxens et al., 2013; Vrijheid et al., 2010).

Egy németországi vizsgálat nagyfrekvenciás sugárzások összefüggésében gyerekek és tinédzserek magatartási problémáit vizsgálta, és megállapította, hogy nagyobb volt a viselkedési problémák előfordulása azoknál a fiataloknál, akiknél magasabb sugárzást mértek (Thomas, 2010).

Az alvási és ébredési szakaszokra gyakorolt hatásról nem tudtak egyértelmű következtetéseket hozni, de az EEG vizsgálatok bemutatták, hogy nem csak a NREM, hanem a REM fázisra is hatással van az elektromágneses tér (Danker-Hopfe et al., 2010, Lowden et al., 2011).

Lakossági határérték (63/2004(VII. 26.) ESzCsM rendelet) szerint: $450-1000\mu\text{W}/\text{cm}^2$

Épületbiológusok sokkal szigorúbb osztályozást adnak meg, amit az alábbi 2.6. táblázat mutat. Jól látható a nagyságrendi különbség.

2.6. táblázat A nagyfrekvenciás elektromágneses sugárzás épületbiológiai irányelvei

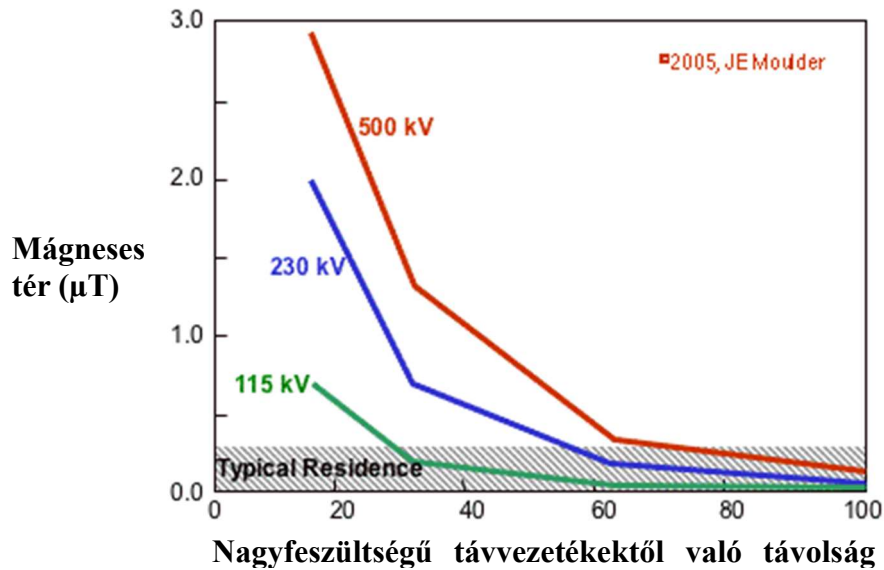
| | Extrém anomália | Magas anomália | Gyenge anomália | Ajánlott érték |
|---|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Nem pulzáló sugárzás ($\mu\text{W}/\text{m}^2$) | > 1000 | 500 - 1000 | 10-500 | < 10 |
| Pulzáló sugárzás ($\mu\text{W}/\text{m}^2$) | > 100 | 5 - 100 | 0,1 - 5 | < 0,1 |

2.2. A technikai sugárzások forrásai

2.2.1. Lakótéren kívüli forrás

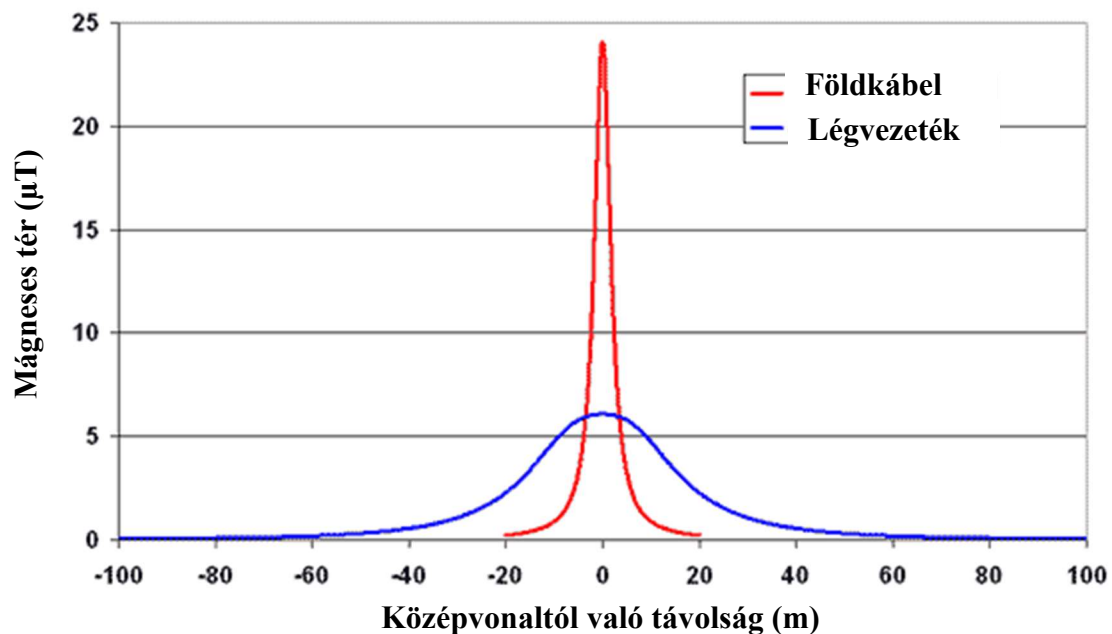
Statikus mező forrása lehet a nagy feszültségű egyenáramú távvezeték. Budapest egyes kerületeiben az 1950-es években az egyenáram volt az egyeduralkodó, Edison útját követve. Manapság a megújuló energiatermelési módszereknek és az egymástól távol elhelyezkedő helyszíneknek köszönhetően, újra előtérbe került ez a megoldás, ugyanis a nagy távolságokat könnyebb nagyfeszültségű egyenáramú hálózatokkal veszteségmentesebben megoldani. A hálózatokat UHVDC hálózatoknak hívják és főleg Kínában, de Németországban is egyre szélesebb körökben használják. (www.siemens.com/energy; Xionjun, Tian, 2016)

Mivel kis frekvencián (ELF) az elektromos tér a távolsággal négyzetesen, a mágneses tér pedig harmadik hatványával csökken, a külső hatások legfőbb forrásai a nagyfeszültségű távvezetékek, a vonat, a villamos felsővezetékek, de a figyelem középpontjába kerültek a társasházak transzformátorai is. Európában megközelítőleg 360 000 km magasfeszültségű távvezeték található, melyek 110 és 750 kV közöttiek lehetnek (ENTSO-E, 2009). Az ezek körül kialakuló mágneses tér nagyságát a 2.2. ábra mutatja, melyet J.E. Moulder (Electromagnetic Fields and Human Health Medical College of Wisconsin, 2005) a National Research Council (1996) kutatása alapján készített.



2.2. ábra Különböző magasfeszültségű hálózatok mágneses terének összehasonlítása (Neitzke et al., 2010).

Magyarországon körülbelül 3 800 km ilyen nagyszültségű táv- illetve elosztóvezeték található. Nagyon kevés föld alatti vezeték van (2%) annak ellenére, hogy ilyen esetben az elektromos tér elhanyagolható, a mágneses tér pedig jelentősen kisebb a kábel tengelyétől távolodva, habár közvetlenül a tengely vonalán nagyobb is lehet (2.3. ábra) (Neitzke et al., 2010).



2.3. ábra Légvezeték és a föld alatti vezeték mágneses terének összehasonlítása (Neitzke et al., 2010)

Használják gáz szigetelésű úgynevezett GIL rendszert is föld alatti hálózat esetében, amely egy alumínium csőbe központosan elhelyezett alumínium vezetőből és a közéjük töltött nem gyúlékony szigetelő gázból áll (2.4. ábra). Ez a rendszer nagyon gyenge mágneses teret és nulla elektromos teret gerjeszt maga körül (Neitzke et al., 2010).



2.4. ábra GIL rendszerű nagyfeszültségű vezeték burkolatának részlete

Több tanulmány, köztük magyar kutatás is (Szabo et al., 2007) vizsgálta a transzformátorok feletti lakásokban mért mágneses fluxussűrűséget. Az eredmények a magyar tanulmányban: $0,66 \mu\text{T}$, egy finn tanulmányban $0,62 \mu\text{T}$ (Ilonen et al., 2008), egy svájci tanulmányban $0,59 \mu\text{T}$ (Röösli et al., 2011) egy bolgár tanulmány szerint $0,37$ (Zaryabova et al., 2013). Saját méréseket egy irodaház transzformátor állomása felett végeztem a padlótól 95 cm magasságban 2014-ben. A mért értékek $1,4\text{-}3,8 \mu\text{T}$ között voltak. Ez a szint raktár szintként funkcionált. A következő szinten, az irodák szintjén már csak $0,1\text{-}0,13 \mu\text{T}$ mágneses fluxussűrűséget mértem. Elmondható tehát, hogy azokra az emberekre, akik az ilyen transzformátorok közelében élnek, az ELF mágneses tér hosszú távon néhány tized μT -val hat.

Keikko és társai (Keikko et al. 2006) a beltéri elektromos elosztó alállomások ($20 - 0,4 \text{ kV}$ között) mágneses terét vizsgálták, különösen a harmonikus komponensekre való tekintettel. Extrapolálták a méréseiket, hogy közvetlenül a transzformátor helyiség feletti lakossági kitettséget számítsák és arra jutottak, hogy a harmonikusoknak nagy szerepe van a sugárzásban.

Nagy frekvenciás források között található a rádió és televízió adóállomások, valamint a mobiltelefon bázisállomásai.

Magyarországon 1925-ben indult be a rádiózás, de akkor még kis teljesítményű adók léteztek és csak néhány csatorna üzemelt AM sávokon $600\text{kHz}\text{-}1,6\text{MHz}$ között. A hosszú-, közép- és rövidhullámok, mivel követik a Föld görbületét, kis adóteljesítménnyel sugározva is elértek a földfelszín minden részébe. A Föld görbületét nem követő URH (ultrarövidhullám) adóknál nagyobb teljesítményre van szükség, vagy pedig sűrűbben, és magasabbra kell telepíteni az adótornyokat. Az 1960-as, de különösen a '70-es évektől megjelentek az FM sávú URH rádióadók, melyek száma napjainkban is egyre gyarapszik. Ez újabb teher az emberi szervezetre, s az élővilágra is. Korábban hazánkban, mint más volt szocialista országban, a $65\text{-}73\text{MHz}$ volt használatos, azonban ma már a $88\text{-}108\text{MHz}$ a szabvány. A középhullámú adók, mint például a Solti adó, nagy teljesítménnyel (MW) sugároznak a kHz-es tartományban. Ezek védő övezettel vannak körülvéve, és a védőövezeten kívül a megengedett szint alatti sugárzási értékkel működnek.

A $80\text{-}800 \text{ MHz}$ -es URH adók közelében (pl. Szabadsághegyi adó) az utcai légvezetékek az épületekre másodlagos sugárforrásként hatnak. Az URH adók kisugárzott teljesítménye néhány 100 W -tól néhány 100 kW -ig terjed. Természetesen ezeket az adóállomásokat a lakott területtől távol telepítették.

Magyarországon 1992-ben jelentek meg az első mobil-szolgáltatók, a mobil-tornyok és a mobil-telefonok. A rádiótelefon tornyok teljesítménye ($P = 8 \text{ W}$, frekvenciája: $f = 1817 \text{ MHz}$, effektív kisugárzott teljesítmény: $\text{EIRP} = 505 \text{ W}$) lényegesen alacsonyabb a rádió és tévé adókéhoz képest, ezért a teljes területi lefedettség érdekében minden országban több ezer darab átjátszótoronyt hoznak létre, melyek már a lakott területen belül helyezkednek el, egymást átfedő cella hálózatban. Frekvencia modulációval működnek azért, hogy zajmentesen egyszerre több adatot tudjanak közvetíteni adott időegység alatt. Kockázati elemként az jelent nagyobb veszélyt, hogy a testfelületet több irányból, eltérő távolságból, más intenzitású impulzusok érik, melyek időben és térben folyamatosan változnak és üzemelnek.

A rádiótelefon bázisállomások a rádiófrekvenciás jeleket antennákon keresztül sugározzák ki. Az antennákat magasan, a földfelszíntől 15-70 m magasan helyezik el, hogy a rádiófrekvenciás jelek szabadon el tudják érni a kívánt körzetet. Az antennákat erre a célra épített toronyra, épület tetejére, esetenként az épület oldalára telepítik. A bázisállomásoknál használt antennák a sugárzást irányítottan bocsátják ki. A bázisállomás antennától a környezetbe függőleges, téglatest alakú sugárzókból jut ki a rádiófrekvenciás jel, melynek fő sugárnyalábja általában vízszintesen $60\text{-}120^\circ$ -os, függőlegesen $6\text{-}15^\circ$ -os nyílásszöggel, általában $5\text{-}10^\circ$ -os döntési szögben lefelé hagyja el a sugárzót. Ebből adódik, hogy közvetlenül az antenna alatti területeken az elektromágneses tér nagysága kisebb, mint távolabb. A legnagyobb teljesítménysűrűség a sugárzási kúpban elhelyezkedő szomszédos házakban mérhető. Az elektromágneses sugárzás intenzitása a levegőben a távolsággal négyzetesen csökken.

A következő sugárzás forrás a WiFi, amely 2,4 GHz-en és 5GHz-en működik, teljesítménye pedig 100 mW. Fontos lakáson kívüli forrásként is megemlíteni, mivel lakóterekben – főként társasházban – a szomszédoktól több, akár egy tucat WiFi hálózat sugárzása is elérhető.

2.2.2. Lakótéren belüli forrás

Kisfrekvenciás forrásként szolgálnak a lakótéren belül a háztartási elektromos installációk, háztartási berendezések. Gyakran a hálószobában az ágyak közelében feleslegesen sok kábel, elektromos berendezés (ébredtőóra, olvasólámpa, hosszabbító) található, a hálózat pedig nincs megfelelően, vagy nincs egyáltalán leföldelve, ami az elektromos tér nagyságát növeli. A mikrohullámú sütőről köztudott, hogy 2,45 GHz-es nagyfrekvencián működnek, de kevesen tudják, hogy statikus (a magnetron egy statikus mágnes táplálja) és kisfrekvenciás sugárzást is kibocsátanak, ez utóbbit Preece és kollégái vizsgálták több mint 30 készüléken (Preece et al., 1997). A több távolságban mért értékek közül 5cm távolságban néhány $10 \mu\text{T}$, 50 cm távolságban már csak néhány μT nagyságú mágneses teret mértek.

Egyre több középfrekvencián (IF) működő eszköz jelenik meg. Háztartásokban jellemző példa az indukciós főzőlap (működési frekvenciája 25-50 kHz), illetve az üzletekben működő biztonsági eszközök (8,2 MHz), melyek szintén ebben a frekvencia tartományban működnek. Kevés kutatás készült eddig ezen a területen, pedig fontos lenne vizsgálni, hogy milyen hatással vannak ezek az eszközök, például a terhesség során, hiszen az említett eszközök közelében főleg nők dolgoznak.

Nagyfrekvenciás forrásként tekinthetjük a mikrohullámú sütőt, mely 2,45 GHz-es frekvencián működik, és új állapotban legtöbbször kielégítik a szabványban előírtakat, mi szerint a mikrohullámú sütő ajtaja előtt 5 cm-rel a teljesítménysűrűség nem lehet nagyobb 5 mW/cm²-nél (Matthes, 1992; Alhekail, 2001).

A WiFi ma már szinte minden háztartásban megtalálható, általában folyamatos működő szolgáltatás, mely ahogy korábban említettem 2,4 vagy 5 GHz-en 100mW teljesítménnyel sugároz. Hatótávolsága néhány 10 méter. Fontos megjegyezni, hogy például egy átlagos szemüvegszár hossza pont ennek a 2,4 GHz-es frekvencia hullámhosszának a fele, emiatt

antennaként működik (Joó, 2005). A saját tulajdonban lévő eszközünket tetszés szerint kikapcsolhatjuk, sőt több készülék esetében a WiFi útválasztót (router) be lehet programozni alvó módra, mely ha nem használjuk a beállított időpont után reggelig (például éjfél után reggel 7 óráig), akkor nem sugároz.

2.3. Technikai sugárzások mérése

2.3.1. A technikai sugárzások mérése kisfrekvencián

Kisfrekvencián elektromos térerősséget (V/m) és mágneses indukciót (fluxussűrűséget: nT), vagy mágneses térerősséget (A/m) mérhetünk egymástól függetlenül. Az elektromos térerősséget egy olyan eszköz segítségével mérjük, amely kapacitíven méri a töltésváltozást. A mágneses térerősség mérése egy olyan eszközzel történik, ami indukciósan egy tekercsben méri a mágneses térerősség változását. Az elektromos és mágneses térerősség méréséhez a két eszközt általában egy műszerbe építik. Ilyen például az NFA 1000, mellyen egy kapcsoló átváltásával a két mérést külön-külön el lehet végezni.

A mérések lehetnek alkalmi vagy tartós idejű mérések is. Alkalmi mérések esetén a terek pillanatnyi nagysága mérhető. Egy helyiség több pontján történő alkalmi mérés elvégzésével a helyiségben kimutatható a tér érték változása. Gyakorlatban a mérőeszközt vízszintesen tartva, a szoba egyik fala mentén elindulva csigavonalú, vagy oda-vissza haladó mozgással kell a helyiséget felmérni. Az elektromos vagy mágneses tér nagyságának értékét az eszköz kijelzi, melyet nagyjából 1 méteres rácpontokban papíron, vagy az eszköz memóriájában kell rögzíteni. Tartós idejű mérés esetben a terek változásának időbeli lefolyását vizsgáljuk, mely egy összetett vizsgálat, mivel az expozíció nagysága és időbeli eloszlása változó lehet. Ilyenkor egyszerűbb esetben a mérő eszköz általában egy rögzített helyen van, és a tér változásokat az idő függvényében egy memória kártyára rögzíti, melyet egy kiértékelő program, például NFASoft segítségével akár grafikonos formában is meg lehet jeleníteni.

Több epidemiológiai tanulmány és összevont elemzés (Ahlbom et al., 2000; Greenland et al., 2001) alapján az IARC lehetséges rákkeltő hatásúnak sorolta be az ELF mágneses mezőt és a 0,4 μT -nál nagyobb teret a gyermekkori leukémia lehetséges okozójának tartja. A kutatást megelőzően és a bejelentést követően több országban is végeztek méréseket 7 évesnél fiatalabb gyermekekkel rendelkezők között (2.7. táblázat).

Egyes mérési csoportok (Li et al. 2007) a konyha, nappali, hálósobák közepén hajtottak végre alkalmi mérést. A mérések számtani átlagát lakásonként számították ki, hogy megkapják, a gyerekek mekkora expozíciónak vannak kitéve. A 2.7. táblázat adatai azt mutatják, hogy az összesen mért helyiségek hány százalékában volt a mágneses térerősség nagyobb mint 0,3 és 0,4 μT .

2.7. táblázat Több tanulmány összehasonlítása mágneses terek tekintetében

| Ország | Szerző (év) | Mérés típusa | >0,3 μT | >0,4 μT |
|-------------|------------------------------|---|--------------------|--------------------|
| Taiwan | Li et al. 2007 | Alkalmi, 2214 db. 7 éves gyerekekkel rendelkezők otthonában | 16,2% | 12,6% |
| Kanada | McBride et al. (1999) | személyes, kontrol csoporttal | 6,8% | 4,1% |
| Németország | Schuz et al. (2001) | 24-órás, kontrol csoporttal (hálósobában) | | 0,2% |
| Anglia | UKCCS (1999) | alkalmi, kontrol csoporttal | | 0,4% |
| USA | Zaffanella and Kalton (1998) | Személyes, (1000 személy részvételével) | 4,9% | 3,6% |
| USA | Zaffanella (1993) | Alkalmi, (1000 otthonban) | 5,0% | 2,8% |

Tomitsch és Dechant (2015) ausztriai lakásokban végzett alkalmi méréseket nappal és egész éjszakán át (22:00-6:00), 3 különböző évben 95 azonos helyen az ELF sávban és 103 azonos helyen a RF sávban. Amért ELF-EF mediánja 23,2V/m-ről (2009) 13,9 V/m-re (2012), a ELF-MF mediánja 13,5nT-ről 11,37nT-ra csökkent. Az RF-EMF ugyanakkor szinte megkétszereződött 28,13-ról 52,16 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ -re nőtt. A kutatók alacsony frekvencián a csökkenésre nem adnak indokot, magas frekvencián az emelkedést a megnövekedett GSM és újonnan bevezetett UMTS valamint WLAN hálózatokkal magyarázzák.

2.3.2. A technikai sugárzások mérése nagyfrekvencián

Nagyfrekvencián nem választható szét az elektromos és mágneses tér, ezért itt az elektromágneses teljesítmény sűrűséget mérünk.

Az eddigi vizsgálatok az elektromágneses terek kapcsán a városi környezetben lévő vezeték nélküli rendszereket főként a terjedési veszteségek szempontjából vizsgálták azért, hogy megfelelő lefedettséget biztosítsanak számukra. Lakókörnyezetben és a körülötte levő vezeték nélküli hálózat beltéri lefedettségének valószínűségi számítására már készültek tanulmányok (Durgin, 1998; Tarng 1999), de ezek többsége valós állapotokkal foglalkozik (Durgin, 1998; Tarng, 1999; Lott, Forkel, 2001). Családi házban és az körüli terjedés veszteségéről Durgin (1998) tanulmányában olvashatunk, aminek érdekessége, hogy nem csak az épület, hanem a telken lévő nagy lombkoronájú fa is némiképp elektromágneses árnyékoló hatást fejtett ki a mögötte levő területre. A kutatások vizsgálták a kompozit falak hatását nagy (>1km) és rövid távolságú (<1km) terjedés esetén, ahol azt találták, hogy nagy távolságban a kompozit és a tömör falak árnyékolási hatása közelít egymáshoz, mivel a nagy távolság miatt a hullám beesési szöge közelít a 90 fokhoz ezért a fal típusától függetlenül a reflexiós együttható közelít az egyhez. Rövid távolságú terjedés esetén ellenben 5-10dB nagyságú eltérést kaptak a két fal esetén. Modellezésnél ezért kidolgoztak egy homogenizáló módszert, ami alkalmas üreges falak pontosabb modellezésére, reflexiós és transzmissziós együtthatóinak kiszámítására, de nem alkalmas vasalt betonszerkezetek modellezésére mivel az acél és a beton anyag tulajdonsága nagyon eltérő (Holloway et al., 1997). Érdekes megfigyelést publikált Lott és Forkel: több válaszfalon át történő terjedést vizsgálva azt figyelte meg, hogy az első áthatolt válaszfal csökkentése nagyobb, a további válaszfalak csökkentő hatása pedig lényegesen kisebb (Lott, Forkel, 2001). Elektromágneses árnyékolás szempontjából vasbeton falszerkezeteket is vizsgáltak. Antonini és kutatótársa két vasbeton fal között mérte az árnyékolás hatékonyságot (SE) a GSM, DCS és UMTS mobil kommunikációs hálózatok letöltési középfrekvenciáján (948, 1864, 2140MHz), és azt találta, hogy a vasbeton falak árnyékolási hatékonysága 5 dB átlagos értéket mutat (Antonini, 2003). Ablakokat vizsgálva Vaessen és kutatótársai (1988) megállapították, hogy vékony fémszálalás üvegek alkalmazása hatékony és szemmel nem látható megoldás RF sugárzás árnyékolására, ha a szál átmérője $R/3438$ mm, ahol R a néző távolsága az üvegtől. Egy korábbi tanulmány megmutatja, hogy elektromosan olyan vékony fém bevonat, ami az elektronok öntött fémbe való átlagos szabad útjánál és a klasszikus behatolási mélységnél vékonyabb, magasabb ellenállással rendelkezik, így alkalmasak árnyékolásra. Ez a viselkedés a vezető elektronok domináns ütközéseinek csökkentése miatt alakul ki, ami a fémréteg fizikai határának köszönhető (Chen, 1987). Ebből kiindulva Vaessen kijelenti, hogy amíg a vékony fém szálalás üvegeket adott frekvenciára méretezni kell, a vékony fém bevonat univerzálisan alkalmas a különböző frekvenciákon érkező elektromágneses hullámok elleni árnyékolásra.

2.3.3. A technikai sugárzások kölcsönhatásainak mérése

2.3.3.1 Elméleti modell, Számítógépes szimulációk

Frekvenciatartományokban különböző módszereket használó, korszerű számítógépes szimulációk alkalmazásával vizsgálhatjuk az elektromágneses spektrumban megjelenő,

megoldásra váró feladatokat. Az ilyen eljárást összefoglalóan CEM-nek (computational electromagnetics) hívunk. Ezek mindegyike egy-egy problémahalmaz megoldására a Maxwell egyenletek matematikai megoldásán alapuló eljárást alkalmazza különböző megoldási módszerek segítségével. A numerikus megoldások minden esetben közelítő eredményt adnak, de pontosságuk szinte bármennyig növelhető (Gustrau, 2006). Az elektromágneses hullám terjedésében leggyakrabban alkalmazott eljárásokat a következőkben ismertetem.

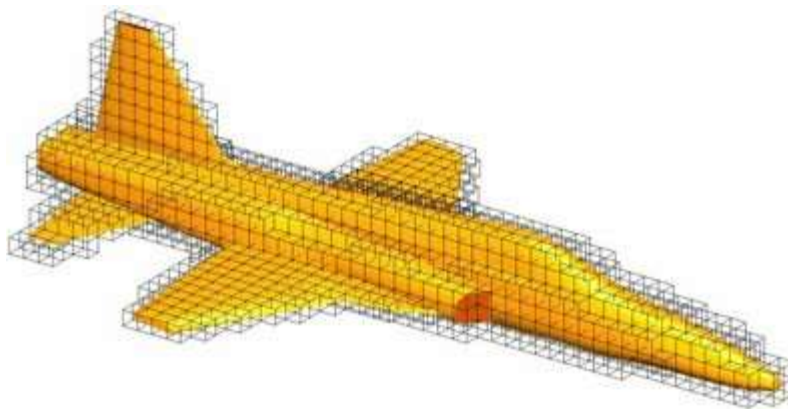
A FEM véges elem-módszer olyan matematikai eljárás, amely tetszőleges geometria kisebb tartományokra, véges méretű elemekre osztásán és az ezekben lejátszódó folyamatokat leíró egyenleteken keresztül az elemek vizsgálatán alapul. A parciális differenciálegyenletekkel közelítő megoldást adó technika pontossága a modell nagyságától erősen függ. (Bojtár, Gáspár, 2003; Jin, 2014) A FEM teljes hullámú tér diszkrétizáló módszer, amely jól alkalmazható inhomogén dielektomos anyagokra, mint amilyenek az építőanyagok, vagy akár az emberi test vagy annak szervei. Ennél a módszernél nem az áramot diszkrétizáljuk, hanem a mezőket. (Weiland 1996) A számítások eredményeként a keresett potenciálok közelítőmegoldását kapjuk a végeselemek csomópontjaiban vagy azok élein. Az ezek alapján számított approximáció adja a konkrét probléma megoldását. Az előbbieket után, a potenciálok ismeretében bármely elektromágneses térjellemző, mint a mágneses térerősség, a mágneses fluxussűrűség, vagy bármely elektromágneses mennyiség, például az induktivitás, a kapacitás, vagy a mágneses- és elektromos energia kiszámítható.

Az FDTD módszert először Kane Yee publikálta 1966-ban (Yee, 1966). Módszere könnyen alkalmazható egyszerű szoftverekben, ezért hatékony egyszerűbb problémák megoldásában. Segítségével burkolatok árnyékoló képességét szimulálták kisebb elemeken, például a nyomtatott áramkörök esetében, és megállapításra került, hogy a módszer alkalmas nagyobb léptékű problémák szimulálására is (Unno et al., 2012). Az FDTD alkalmazása során a geometriát szabályos részekre (négyzet, kocka) bontjuk, majd a Maxwell-egyenletek időtől függő alakjából levezetett parciális differenciálegyenlet-rendszert a centrális differenciaséma szerint közelítjük. A módszer egyik nagy hátránya, hogy a diszkrétizálási eljárásnak köszönhetően a görbült felületeket lépcsős felületekkel közelíti. Szintén bonyolítja alkalmazását az, hogy a végeselem-módszerhez hasonlóan nem csak a vizsgált objektumot, hanem az azt körülvevő területet is diszkrétizálnunk kell, illetve a számított tartomány határainál peremfeltételeket kell alkalmaznunk (Iványi, 2003).

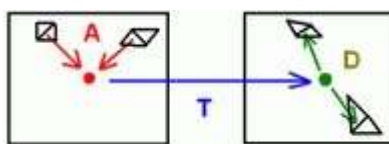
A MoM módszer alkalmazásánál a Maxwell-egyenletekből kiindulva olyan integrálegyenleteket építünk fel, amelyeket a vizsgált objektum felületén megoldva a keresett probléma közelítő megoldását kapjuk. Nagy előny, hogy a vizsgált tárgynak csak a felületén kell rácsot alkotni, ezáltal lényegesen kevesebb egyenletet kell megoldani. Ezzel a módszerrel tehát ugyanazt a problémát kevesebb számítási erőforrás segítségével tudjuk elvégezni. További előny, hogy nem kell peremfeltételeket alkalmazni, ami tovább egyszerűsíti a számításokat. A MoM módszerrel egy tárgy egyes háromszög elemeire bontott részei közötti elemi áram interakciót számítjuk, majd egy függvény segítségével a feszültség elemek okozta tereket számíthatjuk a 3D tér bármely pontján (Gibson, 2008). A módszer azonban leginkább homogén, lineáris közegekben fellelhető problémák megoldására alkalmazható hatékonyan. Más esetben az integrálegyenletek kombinálására van szükség, például végeselem- módszerrel, így az inhomogén objektumok is kezelhetővé válnak.

MLFMM módszer nagyméretű objektumok szimulációjára optimalizált, MoM-alapú szimulációs technika. Olyan esetekben alkalmazzák, amikor hullámhosszhoz képest nagy elrendezések hullámtani szimulációját kell elvégezni, ahol a MoM már nem használható. A különbség az MLFMM és a MoM módszer között az, hogy az MLFMM csoportosítja az alap függvényeket és a függvénycsoportok interakcióit számítja, az egyes függvények interakciója helyett. Programok, mint például a FEKO dobozoló algoritmust alkalmaz, amely a legfelső

szinten az egész vizsgálandó teret egyetlen dobozként foglalja magába. Ezt követően a dobozt három dimenzióban maximum 8 aldobozra bontja, létrehozva ezzel egy alsóbb szintet, majd a lebontó folyamatot ezeken a dobozokon is iteratívan elvégzezi egészen addig, amíg a legalsó szinten minden aldoboz oldalhossza körülbelül a hullámhossz negyede lesz (2.5. ábra). Az objektum részeit tartalmazó dobozok minden szinten tárolásra kerülnek, és ezzel egy hatékony adatfa-struktúra jön létre. A MoM keretrendszerben az MLFMM módszert a különböző szinteken végzett csoportosítási, fordítási, csoportbontási folyamatokon keresztül (2.6. ábra) lehet végrehajtani. A módszer előnye, hogy kevesebb memóriát és processzor időt igényel (FEKO MLFMM).



2.5. ábra MLFMM dobozok



2.6. ábra Csoportosítás (A), fordítás (T), csoportbontás(D)

Ezekon a módszereken kívül léteznek még hibrid módszerek is, amelyek a fenti megoldások kombinációjának tekinthetők. A rácselemek csökkentése érdekében az elektromágneses hullámterjedés modellezésére használják az elektromágneses hullámok elhajlásának általános elméletét (UTD - Uniform Theory of Diffraction), illetve a fizikai optika (PO) és geometriai optika (GO) tudományát is. Ezek lényege, hogy a hullámhosszhoz képest nagy felületek diszkretizálása nélkül is meghatározható a rájuk beeső elektromágneses hullámok tovaterjedése, visszaverődése és viselkedése. Természetesen az utóbbi három módszer önmagában nem alkalmazható, csak az előbbieik kiegészítéseként.

A korszerű szimulációs programok átfogó és minden területre kiterjedő megoldó alprogramokkal rendelkeznek, melyek lehetővé teszik, hogy a teljes méretű szerkezetek, vagy méretarányos modellek drága vizsgálata helyett a számítógéppel végezzük a vizsgálatokat. Ezek a programok manapság hatékony segítséget nyújtanak az antennák tervezésében elhelyezésében, radarok tervezésében, vagy az elektromos berendezések, rendszerek, kábelek közötti elektromágneses kompatibilitás megtervezésében. Használják a programot árnyékolás tervezésére sugárzás kockázat elemzésre is. A programban a különböző problémákra kidolgozott alprogramok kombinálhatók egymással, így a legösszetettebb probléma szimulálására is alkalmasak. A programoknak általában két főbb részük van, az egyik a CAD rész, ahol megépíthetjük a vizsgálni kívánt modellt, beállíthatjuk a környezeti paramétereket és megadhatjuk, hogy milyen eredményekre (például: közeltér, távöltér) vagyunk kíváncsiak. A

másik rész a számítások végrehajtására és értékelésére, grafikus, grafikonos megjelenítésére szolgáló rész.

2.3.3.2 Kísérleti modell. Elektromágneses reflexió mentes kamrában végzett mérések

A reflexiómentes kamrák (elektromágneses süket szobák) falai rendszerint valamilyen komplex geometriájú elnyelő anyaggal vannak lefedve. Számítógépes szimulációk ellenőrzésére, különböző elektronikus berendezések által kibocsátott elektromágneses mező mérésére, EM kompatibilitás, antenna tervek ellenőrzésére használják ezeket a kamrákat azzal a céllal, hogy ellenőrizzék nem lép-e fel interferencia más berendezésekkel, illetve azt, hogy a terveknek megfelelően működik az antenna.

Nimtz G, és Enders A. egy új elnyelő anyagot találtak fel és szabadalmaztattak (Nimtz, Enders, 1998) melynek használata ma már széles körben elterjedt. Az új kialakítás egy éghetetlen piramis alakú hordozóanyagon elhelyezett 10 nano méteres fém film, amely a klasszikus szén habos anyaggal szemben nem mérgező és nem éghető.

Testre helyezett textil antennák (Soh, Vandenbosch, 2016), RFID azonosítók (Rao et. al 2005) tesztelését is végezték reflexiómentes kamrában. Méréssel ellenőrzik és validálják a virtuális környezetben szimulált eredményeket, melyek a fenti esetekben jó egyezést mutattak.

Kis méretű rendszerek mellett gyakran nagyobb méretű rendszereket, köztük közlekedési eszközöket, mint például buszokat, vagy harcászatanban használt repülőgépeket is vizsgálnak elektromágneses kompatibilitás szempontjából ilyen új fajta, Nimtz fejlesztette elnyelőkkel burkolt kamrákban, melyek utóbbiak már inkább hangár méretűek (2.7. ábra). Az autógyártásban az ilyen tesztek magukba foglalják például az ABS és a kipörgésgátló rendszerek ellenőrzését is.

Ezeket a drága méréseket egyre inkább helyettesítik a kiforrott 2.2.3.1 pontban ismertetett számítógépes szimulációs megoldások.



2.7. ábra Nagy méretű reflexiómentes kamra

2.4. Határértékek és szabványok

Az 1980-as évektől kezdődően megugrott Magyarországon a különböző mikrohullámú technológiák lakossági felhasználása. Kezdetben a mikrohullámú sütők, majd egy évtizedre rá a mobil telefonok terjedtek el és kerültek használatba mely szinte az egész lakosságot érintette. Ezzel egy időben a kapcsolódó szabályozások tudományos tartama nem tartott lépést a technikai fejlődéssel. Példának megemlíthető, hogy a háztartási mikrohullámú sütőkre a rádióberendezésekre vonatkozó előírások voltak akkor még érvényesek. Csak 2008-ban született meg az MSZ EN 62233:2008 szabvány, amely a háztartási készülékek emberi expozíciójának mérési módszereit definiálta. A határértékek tekintetében sem volt egyetértés, mivel a szovjet állat-kísérletek alapján levezetett alacsony határértékek több mint három nagyságrenddel eltértek az amerikai haditengerészet által meghatározott határértéktől.

Lakossági gyanakvás hatására kezdeményezett és katonai célú kutatások is folytak, de egyik tudományos vizsgálat sem adott egyértelmű korlátot, ezért a szabályozás a hőhatásból indult ki. Az ismert káros egészségügyi hatások ellen való védekezés érdekében, expozíciós határértékeket javasoltak az elektromágneses terekre az ELF és RF tartományban, melyeket ma már több országban bevezettek világszerte. A védekező stratégia a testen belüli sugárzásmennyiség által kialakuló biológiai interakciók korlátozásán alapszik, melyeket az első egészségre ártalmas interakciós szintből származtatják, úgy hogy az ismeretlen bizonytalanság érdekében annak tizedét határozták meg az ilyen munkakörben foglalkoztatottak számára, és figyelembe vették a nagyobb érzékenységet a lakosság bizonyos csoportjaiban, mint például az idősek, gyerekek, gyógyszeres kezelés alatt levők között, amely megzavarhatja érzékelő képességüket és/vagy hőtoleranciájukat. Az általános lakosságra nézve pedig további ötös osztó került bevezetésre az áramsűrűség csökkentésére az ELF sávban és teljesítmény elnyelésben (SAR) az RF sávban. A szabványok minden esetben figyelembe veszik, hogy az emberi testben átlagosan elnyelődő energia erősen függ a külső elektromágneses sugárzás frekvenciájától, emellett a sugárterhelés tárgyalásában és megítélésében különbséget tesznek a lakossági (nem ellenőrzött) és a foglalkozási (ellenőrzött) expozíció között.

2.4.1. Határértékek és szabványok nagyfrekvencián.

A GSM rendszereket tekintve a határérték munkahelyen (foglalkozási határérték) az a maximálisan megengedett lokális expozíció, amit SAR-nak – fajlagosan elnyelt teljesítménynek- neveznek, amely egy 0,4 W/kg egésztestre vonatkozó SAR-hez rendelhető, 6 percre vonatkozó átlagos teljesítménysűrűség, ill. térerősségszint. Ugyanakkor ennek ötödrészt a 0,08 W/kg SAR értékhez tartozó átlagos (30 perces átlag) szinteket javasolják a lakosságra vonatkozó megengedhető határértéknek. Az SAR-en alapuló ajánlások tartalmazznak egy lokálisan megengedhető maximális SAR értéket is, amely foglalkozási esetben 8 W/kg, a lakosság esetében pedig 2 W/kg (2.8. táblázat) (ICNIRP, 1998; 63/2004. (VII. 26.) EszCsM rendelet). Ez az emberi szervezetben egyébként is képződő hő nagyságrendjébe esik. (Fonyó, 2011) Ha lokálisan ennyi hő képződik, azt a véráram káros túlmelegedés nélkül elszállítja, ez a szervezet ún. termoregulációs képessége. A szabályozás kialakulása az ICNIRP és a CENELEC ajánlásai alapján jött létre és bár a 90-es évektől gyakorlatilag ezt a vizsgálati módszert használták csak 2001-ben véglegesítették az EN 50361:2001 szabályzatban. (Basic standard for the measurement of Specific Absorption Rate related to human exposure to electromagnetic fields from mobile phones (300 MHz-3 GHz)). A magyar szabvány ezt később az MSZ EN 50361:2002 szabályzatban átvette, amit 2008-ban leváltott a MSZ EN 62233:2008.

2.8. táblázat Az ICNIRP ajánlásának SAR-re vonatkozó alapkörlátai (Magyarországon: 63/2004. (VII. 26.) EszCsM rendelet)

| | frekvencia-tartomány | átlagos SAR egész testre (W/kg) | lokális SAR fej, törzs (W/kg) | lokális SAR végtagok (W/kg) |
|----------------------|----------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| lakossági esetben | 10MHz – 10 GHz | 0,08 | 2 | 4 |
| foglalkozási esetben | 10MHz – 10 GHz | 0,04 | 10 | 20 |

A 63/2004. (VII. 26.) EszCsM rendelet a 0 Hz-300 GHz közötti frekvenciatartományú elektromos, mágneses és elektromágneses terek lakosságra vonatkozó egészségügyi határértékeiről szóló részben a következő határértékeket határozta meg (2.9. táblázat):

2.9. táblázat Elektromos, mágneses határértékek különböző frekvenciák szerint

| | Elektromos térerősség | Mágneses térerősség | Mágneses indukció | Helyi SAR |
|---------------------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|-----------|
| 1-25Hz frekvencián | 10.000V/m | | | |
| 50Hz frekvencián (Villamos vezetékek) | 5.000V/m | 80 A/m | 100 μ T | |
| 100 kHz (TV) | 87 V/m | 5 A/m | 6,25 μ T | - |
| 900 MHz (GSM) | 618,75 V/m | 1,665 A/m | 2,07 μ T | 2 W/kg |
| 1800 MHz (3G) | 1237,5 V/m | 3,3 A/m | 4,14 μ T | 2 W/kg |
| 2400 MHz (Wifi) | 61 V/m | 0,16 A/m | 0,2 μ T | 2 W/kg |

2.10. táblázat RF tartomány határértékei és javaslatok

| | |
|--|---|
| ICNIRP (és 63/2004. (VII. 26.) EszCsM) | 10.000.000 μ W/m ² |
| DIN/VDE (német) | 10.000.000 μ W/m ² |
| Salzburg Res. / Vienna Medical Assoc. | 1000 μ W/m ² |
| EU-Parliament STOA | 100 μ W/m ² |
| SBM-2008 Épületbiológiai javaslat | 0,1 μ W/m ² (<5 μ W/m ²) |

2013/35/EU Direktíva, ICNIRP GUIDELINES 2010, SCENIHR 2015 jelentés megerősítette, hogy az egészségügyi határértékeiről szóló 32/2000. (XI. 16.) EüM rendelet határértéke érvényben van, ami szerint a vezeték nélküli távközlési építmény által kibocsátott elektromágneses sugárzás határértéke 10 μ W/cm² (elektromágneses térerősségre átszámítva 6,24 V/m)

Fontosnak tartom itt megjegyezni, hogy az elektromágneses terek egészségügyi határértékeinek kialakításánál két egymástól eltérő szemlélettel találkozhatunk, ezért is adódnak a határértékeket/javaslatokat tartalmazó táblázatokban feltüntetett értékekben ilyen

nagy különbségek. Az egyik ugyanis az *egészség védelmének* irányából, a másik az *elővigyázatosság* irányából közelíti meg a határértékeket.

Az egészség védelme alapján beállított határértékek tudományos folyóiratokban megjelent eredmények alapján, kutatók egyetértésével kerülnek kialakításra. Ha egy bizonyos dózismagyságnál bármilyen egészségre gyakorolt hatást találnak, ez alapot ad a biztonsági faktorok alkalmazására. A biztonsági faktor a lakosság esetében általában ötvenszeres, ami azt jelenti, hogy a megengedett felső határérték a hatásost kiváltó dózis legalább ötvened része. A WHO és az ICNIRP az egészség védelme irányából alakítja ki határértékeit.

A másik megközelítés, az elővigyázatosság elve szerinti határértékek, amely a technológiailag megvalósítható legalacsonyabb értékekből indul ki, és amelytől az összegyűlt tudományos ismeretek és gazdasági megfontolások alapján el lehet mozdulni. Jellemző erre a megközelítésre, hogy mindennemű biológiai hatásról feltételezi, hogy az egészségi következménnyel járhat. Ilyen elővigyázatos megközelítés például, hogy önkéntesen alacsonyabb határértékeket tartanak (és tartatnak) be, biztonsági (elkerülési) távolságokat vezetnek be. Ilyen például Svájc is ahol nemrégiben, 2018 március 8-án, leszávagták azt a törvényjavaslatot, ami a nem ionizáló sugárzások szigorú szabályozását kívánta a nemzetközi szinthez csökkenteni (link: TeleGeography, 2018). Témám emiatt is fontos kutatás.

2.4.2. Határértékek és szabványok kis frekvencián

A 2.11. táblázat és a 2.12. táblázat adataiból láthatjuk, hogy alacsony frekvencián is nagyságrendi különbség van a különböző szervezetek által meghúzott határértékek és javaslatok között. Magyarországon ebben az esetben is az ICNIRP-ben meghatározott értékek érvényesek a 63/2004. (VII. 26.) ESzCsM rendelet szerint.

2.11. táblázat Az elektromos tér határértékei különböző szabványok szerint

| | |
|--|----------------|
| ICNIRP (és 63/2004. (VII. 26.) ESzCsM) | 5000V/m |
| DIN/VDE (német) | 7000 V/m |
| TCO (svéd) | 10 V/m |
| US Congress | 10 V/m |
| SBM-2008 Épületbiológiai javaslat | 1 V/m (< 5V/m) |

2.12. táblázat A mágneses tér (lakossági) határértékei különböző szabványok szerint

| | |
|--|-----------------|
| ICNIRP (és 63/2004. (VII. 26.) ESzCsM) | 100 000 nT |
| DIN/VDE (német) | 400 000nT |
| Svájc | 1000 nT |
| US Congress | 200 nT |
| WHO | 400 nT |
| SBM-2008 Épületbiológiai javaslat | 20 nT (<100 nT) |

A 2011-ben hatályba lépő 122/2004. (X.15.) GKM rendelet 7. paragrafusa tartalmazza a villamosmű biztonsági övezetek méretét. Ezt a rendeletet 2013-ban módosította a 2/2013 (I. 22.) NGM rendelet, amely a dolgozat készítésének pillanatában hatályos. Az alábbi 2.13. táblázat mutatja a védőtávolságok értékeit:

2.13. táblázat Különböző feszültségű vezetékek védőtávolságai föld feletti szabadvezetékek esetén

| | 122/2004 GKM | 2/2013 NGM |
|---|-----------------|------------|
| 500 kV-ot meghaladó névleges feszültség szint fölött | 40 méter | 40 méter |
| 300-500 kV névleges feszültség szint között | 28 méter | 28 méter |
| 200-300 kV névleges feszültség szint között | 18 méter | 18 méter |
| 100-200 kV névleges feszültség szint között | 13 méter | 13 méter |
| 35-100 kV névleges feszültség szint között | nem specifikált | 13 méter |
| 1-35 kV névleges feszültség szint között | 5 méter | 5 méter |
| 1-35 kV névleges feszültség szint között a vezeték azon szakaszán, amely a belterületre és a fokozott biztonságra vonatkozó előírásainak megtartásával létesült | 2,5 méter | 2,5 méter |
| 1kV alatt | 1 méter | 1 méter |

Mint látható változás csak a korábban kimaradt 35-100 kV névleges feszültség szint közötti vezetékek 100-200 kV névleges feszültség szint közötti vezetékekhez csatolását tartalmazta a védőtávolságok lényegében nem változtak.

Földben elhelyezett vezeték biztonsági övezete mindkét oldalon a vezeték névleges feszültségétől függően:

- a) 35 kV-nál nem nagyobb névleges feszültség esetében 1 méter,
- b) 35 kV-nál nagyobb névleges feszültség esetében 1,5 méter

a vezeték szélső pontjától vízszintesen és nyomvonalára merőlegesen mért távolságokra lévő függőleges síkokig terjed.

7. § (1) A szabadtéri elhelyezésű, tartószerkezeten elhelyezett átalakító és kapcsoló berendezés biztonsági övezete a berendezés szélétől vízszintesen:

- a) 35 kV névleges feszültség szintig 5 méter,
- b) 35 kV felett 500 kV névleges feszültség szintig 10 méter,
- c) 500 kV névleges feszültség szint felett 15 méter.

2.5. Építőanyagok elektromágneses viselkedése

Minden (építő)anyagnak megvan a sajátos elektromágneses tulajdonsága, éppúgy mint van például a mechanikai, vagy hőtechnikai tulajdonság. Az elektromágneses tulajdonság a permittivitással (más néven dielektromos állandó) (ϵ), villamos konduktivitással (vezetőképességgel) és mágneses permeabilitással (áteresztő képességgel) írható le.

Egy homogén anyag lineáris permittivitását rendszerint a vákuumhoz viszonyított relatív értékben (relatív permittivitás) adják meg.

A fenti tulajdonságok szükségesek ahhoz, hogy megadhassuk egy fal reflexiós és a áthatolási veszteségeit. Ezek a tulajdonságok frekvencia függőek, mérésükhöz speciális berendezésre és reflexiómentes kamrára van szükség. A legtöbb anyag dielektromos tulajdonsága hozzáférhető a szakirodalomban, bár ezek a szakirodalmak legtöbbször nem ismertek, esetleg nem-, vagy nehezen hozzáférhetőek egy építésmérnök számára. Kutatómunkám folyamán szerzett információkat ezért most itt összefoglalom:

A használt építőanyagaink az elmúlt néhány évezredben változáson mentek keresztül. A mai napig használt építőanyag a téglá, azonban az építőanyag, amit Kr.e. 3000-ben használtak, ma már formájában és kialakításában is teljesen más. A mérések (Sou et al., 1992) a villamos relatív permittivitásra 4,62 (1,7GHz) és 4,11 (18GHz) közötti értéket adtak. Fontos kiemelnünk, hogy a permittivitás nem feltétlenül változik lineárisan. A konduktivitás 0,0174 - 0,364 S/m között változott ugyanebben a frekvencia tartományban. Más mérések (Landron, 1996) amik 3 és 9 GHz között voltak kisméretű tömör téglafalon a permittivitást majdnem konstansan 3,7 és 4 között adták. A téglá lehet tömör, vagy üreges falazóblokk, mely esetben az üregek hatását Holloway (1997) vizsgálta.

A beton, már az ókori Rómában is ismert volt, csak Joseph Aspdin 1824-es újrafelfedezése után terjedt el világszerte. Mivel ez az anyag víz, cement és homokos kavics keveréke és különböző arányban is keverhető, felmerül a kérdés, hogy a különböző keverékek más árnyékolási tulajdonsággal bírnak-e. Több különböző keveréket vizsgáltak meg (Shah, 1965) (Hasted 1964) 900 MHz és 24 GHz között és megállapították, hogy a permittivitás relatív értéke 5 és 7 között változik, az imaginárius rész pedig 0,1 és 0,7 között. Ezek az eredmények azt mutatják, hogy a permittivitás nem változik jelentősen a frekvencia változás függvényében, vagy az összetevők különböző keverési aránya által. A legnagyobb megfigyelt különbség a beton és a könnyűbeton között adódott, mert az utóbbinak a permittivitása 2-2,5 és az imaginárius része 0,12-0,5 volt. (Shah, 1965).

Korszerűbb és több területen használt építőanyag a vasbeton, ahol az acél és a beton hasznos szilárdsági tulajdonságai úgy vannak összepárosítva, hogy egymást kiegészítve a legjobb terhelhetőséget kapjuk. Ebben az esetben az acélrudak befolyásolják az anyag elektromos átbocsátó képességét attól függően, hogy milyen távol vannak egymástól és mekkora az acélbetétek átmérője. A beton dielektromos tulajdonságai nem változnak a fent említettekhez képest, ezért több szerző is, köztük Antonini is azokat használja. Ő a vasbeton szerkezetek átbocsátó tulajdonsága és visszaverő képességének számításakor a beton konduktivitáshoz 0,004 S/m, a relatív permittivitáshoz 5 értéket vett alapul, az acélbetétekhez pedig $2,3 \times 10^{-6}$ S/m értéket használt.

Az üveg egyre népszerűbb anyag az építészetben. Luxus házak hatalmas toló- és teraszajtói, üvegfödémek, lépcsők, irodaépületek homlokzati üvegfalai épülnek belőle. A betonnal ellentétben az üveg összetétele nagy hatással van a villamos permittivitásra. Például PbO hozzáadásával növelhetjük az árnyékolási képességet ezáltal speciális ablakok készíthetők. A normál üvegtáblák permittivitása ezzel szemben 4-9 a magas frekvencia alsó részétől a mikrohullámú sugárzásig. A tangens delta értéket, -ahol a delta a permittivitás szöge a komplex térben, ami ez által meghatározza az anyagban történő veszteséget- 0,00005 és 0,035 között határozták meg (Stevens 1957). Szimulációk és mérések bebizonyították, hogy a hagyományos üveg ablak a mikrohullám frekvencia tartományban teljesen áteresztő az elektromágneses hullámok számára, úgy viselkedik mintha az ablak ott sem lenne.

A hagyományos üvegtől eltérően, az alacsony hőátbocsátású (low-emissivity, low-E) üvegeknek van egy speciális, mikroszkopikus vastagságú, optikailag átlátszó, két anti-reflektív metál oxid közti ezüst réteg bevonata. Ezeket a low-E üvegeket egyre gyakrabban használják a lakó és irodaépületekben, mivel ezek az üvegek jelentősen csökkentik a hőveszteségeket. A legtöbb ilyen termék az ablakon keresztül történő nem kívánt szoláris nyereséget is minimalizálja anélkül, hogy a színhűséget vagy a látható fény átbocsátást csökkentené. Kutatások azt is bizonyították, hogy a mikrohullámú elektromágneses sugárzás tartományában is jelentősen árnyékol az ilyen bevonat. Az árnyékoló képesség növekszik a frekvencia növelésével. Egy low-E ablakon elhelyezett bevonat 20-35 dB átviteli csillapítást is eredményezhet a rádió kommunikációra használt 1-2GHz között (Gustafsson, 2006).

A fa is használható építőanyagként, készülhet belőle teljes faszerkezetű családi ház, de főként a tetőterek szerkezetének építésére használatos. A relatív permittivitás a fa fajtájától függ, ami szorosan kapcsolódik a faanyag sűrűségéhez, nedvességtartalmához, valamint függ attól is, hogy kapott-e a fa valamilyen merítési vagy kémiai kezelést. A szakirodalom (Torgovnikov 1993) a szárítóban szárított $0,13-1,53 \text{ g/cm}^3$ sűrűségű fánál a relatív permittivitást 1,2 és 4,5 között változónak, a tangens deltát $0,007-0,061$ között változónak adja meg a $100\text{MHz} - 10\text{GHz}$ tartományban. Ezek a számadatok azokra az esetekre vonatkoznak, amikor az elektromágneses mezőt a rostokra merőlegesen irányították. Az elektromágneses tér és a rostok irányának viszonyát jelentős tényezőnek találták az anyag dielektromos tulajdonságának vizsgálatakor.

Fa alapú építőlapokat mint például OSB vagy MDF lapokat is használunk. Az OSB lapok (Oriented Strand Board) azaz az irányított szálelrendezésű (faforgács)lap előállításánál a hánccsarabokat több rétegben, egymáshoz képest merőlegesen egymásra terítik, majd magas hőmérsékleten műgyanta segítségével, magas nyomáson összepréselik. Az MDF lapokat (Medium-Density Fibreboard) azaz közepes sűrűségű farostlemezt farostból, nagy nyomáson, gyantával, vagy a nélkül préselik bútorigipari alapanyagot „fa-agglomerált” lapot készítenek. A faanyag mindkét típus esetében ki van téve hő és nedvesség ellenállási kezelésnek. Az építőlapok dielektromos tulajdonsága változik a sűrűség, nedvességtartalom, használt fa típus, hőmérséklet és frekvencia függvényében. A száraz építőlapok és a száraz fa dielektromos tulajdonságai közötti kapcsolatot különböző frekvencián történő összehasonlítással meg lehet becsülni, feltételezve, hogy a rostok párhuzamosak a lap oldalával. Ez az építőlapok és faanyagok táblázatban történő közvetlen összehasonlíthatóságát teszi lehetővé, mely táblázatok az irodalomban megtalálhatók. (Holloway, 1997) A vizsgálatok során az elektromágneses teret a lapok hossz tengelyére merőlegesen sugározták be.

A következő 2.14. táblázat tartalmazza az előbb tárgyalt építőanyagok dielektromos tulajdonságait. Fontos hangsúlyozni, hogy minden említett anyag mágnesesen inaktív, ami azt jelenti, hogy a relatív mágneses permeabilitásának az értéke 1. Még a vasbeton acél betétjének mágneses permeabilitása is elhanyagolható. Azáltal, hogy az acélt rúd formájában használják a konduktivitás válik az irányító faktorrá.

2.14. táblázat Építőanyagok dielektromos tulajdonságai

| Anyag | Frekvencia | Permittivitás | Konduktivitás (S/m) | Permittivitás képzetes része | tangent delta | Referencia |
|---------------------|---------------------|---------------|-------------------------------|------------------------------|---------------|-------------------------|
| Tégla | 1.7-18 GHz | 3.70-4.11 | 0.0174-0.0364 | | | (Sou), (Landron) |
| Beton | 0.9-24 GHz | 5-7 | | 0.1-0.7 | | (Shah), (Hasted) |
| Könnnyű-beton | 0.9-24 GHz | 2-2.5 | | 0.12-0.5 | | (Shah) |
| Vasbeton (+acéllal) | 948, 1865, 2140 MHz | 5 | 0.004 2.3×10^{-6} | | | (Antonini) |
| Üveg | 0.003-300 GHz | 4-9 | 10^{-12} | | 0.0005-0.0350 | (Stevels), (Gustafsson) |
| Fa | 0.1-10 GHz | 1.2-4.5 | | | 0.007-0.061 | (Torgovnikov) |

2.6. Építészeti vonatkozások

2.6.1. Építészeti trendek

Az építészeti trendek összefoglalása, kategorizálása nem e dolgozat feladata, a téma kifejtéséhez viszont szükséges egy az összes ma jelen lévő építészeti irányzatot nem magába foglaló, vázlatos áttekintést adni az aktuális és a téma szempontjából releváns építészeti tendenciákról, mely a jövő építészeti produktumaira (így a vizsgálat fókuszába helyezett lakóház-építészetre is) befolyással lehetnek.

2.6.1.1 Kortárs építészet

A kortárs építészet kifejezés definíciója: „ugyanabban a korban élő”. Gyakran használják a kortárs szó szinonimájaként a „modern”-et, és kötik hozzá a „korszerű”-t is.

A forma és formálás, valamint az ehhez kapcsolható anyaghasználat kérdéskörével foglalkozik Framton és jelenleg a zürichi Eidgenössische Technische Hochschule (ETHZ) egyetemen praktizáló professzor, Andrea Deplazes is a Constructing Architectures című könyvében. Írásukban úgy vélekednek, hogy minden anyagnak - függetlenül attól, hogy felismerhető-e a formálási szándék - van egy alakja. Két vizsgálható irány létezik az építészetben: egyrészt a külső hatások: például a geográfiai tulajdonságok, az adott közösség kulturális, történelmi emlékei, természetesen a megbízó, megrendelő személye stb., melyek akarva, akaratlanul is kihatnak a forma alakulására, másrészt a belső hatások: az építészeti szándék, a gondosan megfogalmazott kritériumok. (Deplazes, 2013).



2.8. ábra Frank O. Gehry: Walt Disney Concert Hall, Los Angeles, California; Dancing House, Prague, Czech Republic; Richard B. Fisher Center, Annandale-on-Hudson, New York



2.9. ábra Zaha Hadid: Kikötő épület Antwerpen, Tűzoltóság kívülről és belülről, Svájc

A ma oly divatos dekonstrukció térstruktúrája a konstruktivisták háromdimenziós koordinátarendszerét összetettebb, számítógép segítségével minden irányban elfordítható, dönthető koordinátarendszerek sokaságával váltja fel. A dekonstrukció filozófiája Jacques Derrida nevéhez köthető, aki számos építésszel (például Peter Eisenman, Bernard Tschumi) dolgozott együtt. Az organikus dekonstrukció (2.8. ábra) egyik legérdekesebb példája Frank

O. Gehry bilbaói Guggenheim Modern Művészeti Múzeuma (2.11. ábra), ahol már nem a Zaha Hadidnál (2.9. ábra), Coop Himmelbaunál (2.10. ábra) vagy éppen Daniel Libeskindnél megszokott egyenes metszéspontok, hanem organikusán görbülő terek alkotják az épületet (Kunszt, 2003). Az ilyen módon létrejövő görbült belső és külső építészeti tereknek a hatásait az elektromágneses terekre még nem vizsgálták. Kutatásom első lépés kíván lenni a tekintetben, hogy milyen szempontokra kell odafigyelni és milyen következményekkel jár az ilyen építészeti terek tervezése.



2.10. ábra Coop Himmelblau: Musée des Confluences, Lyon, Franciaország, 2014



2.11. ábra Frank O. Gehry: Guggenheim Modern Művészeti Múzeum, Bilbao, 1997

2.6.1.2 Alternatív építészeti irányok

Az alternatív szó jelentése általában választhatót, lehetőségeket felkínálót jelent. Az építészetben napjainkban a szokványostól, a szabványostól való eltérést jelenti, például a kommersz építőanyagok és megoldások helyett alternatív anyagok, szerkezetek, továbbá metódusok használatát.

Az energiagazdálkodás terén a hétköznapi szóhasználat szintjén is elterjedtek korábban nem használt fogalmak, mint például: zöld, fenntartható vagy energiatudatos, ami szintén egy-egy „választható” lehetőséget jelöl. A világ energiafelhasználásának közel 45%-át épületeink üzemeltetése fedezi. Ennek tekintetében bizonyos rendeltetések esetén a jól szigetelt ház és az energiafelhasználási koncepciók ma már megkérdőjelezhetetlen alapvetések, mondhatni egy új paradigma részei (Sztranyák, 2014), mely a korábban is jelenlévő posztmodern irányzatból kiágazó high-tech építészet egy sajátos válfaja, és melynek összefoglaló neve „ökologikus építészet”.

2.6.1.2.1 Ökológikus építészet (avagy a fenntartható építészet)

Az ökológikus építészet a high-tech egy sajátos kiágazásának tekinthető irányzata, bár ezt leginkább nem a stilitás, hanem a működési elvek, és a szerkezetorientáltság alapján állíthatjuk.

Az „ökológia” görög eredetű szó, jelentése: környezettan, valamint építészeti értelemben környezetvédelmi feladatok ellátása építészeti eszközökkel. Az építészeti környezetvédelem makro kiterjedésben a kültéri feladatokra, a mikrovilág tekintetében a belső térre, tehát az épített zárt terekre irányul. Ezeknél az épületeknél fontos szempont, hogy az a környezet minél kevesebb energiáját, erőforrását használja fel, az egyén egészségének védelmét is szem előtt tartva. Így tehát egyértelmű, hogy ebben a megoldásban egyesül a környezet- és energiatudatosság (2.12. ábra). Természetesen a fűtés, a megújuló energiák felfedezése és használata mind részei ennek az építkezési módszernek. Az ökológikus építészet továbbá olyan tevékenységek összessége, amelynek célkitűzése az épületek építése és működése által bekövetkező káros kibocsátások, sugárzások, szennyező hulladékok stb. keletkezése és ártalmait elleni védelem, mind a külső, mind a belső terek vonatkozásában. Feladata megóvni az élő természetet, fenntartani és javítani az emberi élet minőségét (Kuba, 2013). Az ökológikus építésmód tehát gondolkodásmódjában szorosan kapcsolódik kutatási témámhoz.



2.12. ábra ACROS Fukuoka Prefectural International Hall, 1994

Az emberi élet minőségének és az élő környezet romlásának legfőbb okozója a környezet szennyezés. Szubjektív megítélés szerint a városi környezetben élőkénél a közlekedés és az ipar, a vidékieknél a helyi ipar, a közlekedés és a mezőgazdaság kemikalizációja kerül az első helyre a szennyező-források közül. Itt meg kell itt említenem az elektromágneses terek jelenlétének növekedését, amelynek hatása, mint a bevezetőben láttuk vita tárgya a kutatók között.

Az ökológikus építészet területén rendelkezésre állnak viszont olyan építészeti eszközök, melyek által mind a belső téri, mind a külső téri épületek által okozott környezet szennyezés megakadályozható, illetve jelentős mértékben csökkenthető. (Novák, 2001) Ehhez a tudatossághoz már csak kis további kíváncságot az elektromágneses minimalizálás elvének is figyelembe vétele, amelyhez kutatásom kapcsolódik.

2.6.1.2.2 Parametrikus építészet

A korábbiakban tárgyalt trendektől eltérő logika szerint szerveződő, de e sorban mégis megemlítendő új irányzat: a „parametrikus építészet”. Ez a más néven „generatív építészetnek” is nevezett irányzat alapvetéseiben is teljesen különböző rendszerrel rendelkező építészeti kategória.

A parametrikus építészetet esetében a szabadkézzel elképzelt forma szerkezeti megvalósítására, és/ vagy akár tervezésre is generatívan használható módszerről van szó. Korunkban az egyre fejlettebb számítógépes és kivitelezési technikának köszönhetően egyre inkább teret nyer egyfajta kísérletező, virtuális építészet. A kísérletek ihletője és centruma a háromdimenziós forma, amelyet vagy intuitív, személyes alkotómódszerekkel alakítanak, vagy matematikai algoritmusokkal generálnak- írja Cságo Ferenccs Tartósság c. könyvében (Cságo, 2014). A kivitelezési technikák bár fejlődnek, még nem mindenben képesek megvalósítani ezeket a virtuális térben már létező, kavargó-lebegő fantáziadús elképzeléseket. Tagadhatatlan azonban, hogy a számítógépeknek egyre nagyobb szerepe van az építészeti

formálásban (Cságoly, 2014). Olykor az eredeti elképzelés megépíthető, bár veszt eredeti kecsességéből, könnyedségéből, ilyen a Sevillai Metropolitan Parasol (2.13. ábra) is.



2.13. ábra Metropolitan Parasol, építész: Jürgen Mayer, Sevilla, 2011

A parametrikus építészethez kapcsolódó kutatások több tudományágból merítenek, ilyen például az evolúciós biológia vagy a diszkrét matematika. Ezekből a kutatásokból-fejlesztésekből azután az egész szakma profitál, nemcsak az újítók, mint Lars Spuybroek vagy Hani Rashid (2.14. ábra), hanem a műemlékvédelmi szakemberek ugyanúgy, mint a nagy projektekkal foglalkozó Richard Rogers és Norman Foster irodái is. (Botzheim 2017).



2.14. ábra balra: Lars Spuybroek: Új World Trade Center (terv) 2001; jobbra: Hani Rashid: PGCC, Malaysia (terv) 2008

A képekről is jól látható, hogy a négyzetes terek helyett az íves, csavart formák, hullámzó formák dominálnak. A számítógépes modellezésben rejlő lehetőségeket maximálisan kihasználó, paraméterezzhető elemek és formák építészetéről van szó. Az építészeti trendeknek megfelelően a szögletes tér mellett néhány egyszerűbb torz formán is végeztem vizsgálatokat az elektromágnes sugárzás tekintetében.

Ezekon a nagy építészeti trendeken kívül léteznek kisebb trendek is az építésben, például a bérházak és családi házak felújításához kapcsolódó egyre terjedő tetőtér hasznosítási, beépítési trend. Ebben az esetben sem négyzet alakú belső tér, hanem egy csonkolt tér alakul ki, amely az elektromágneses térre hatással van.

Az építőanyag felhasználással kapcsolatban már a fentiekben részleteztem, hogy az építkezés a tömör vastag téglafalaktól a 30 cm vastag üreges téglá és 15-20 cm hőszigeteléssel rendelkező falak irányába mozdult el, amellyel párhuzamosan a szintén 15-20 cm hőszigeteléssel készülő, öntött 20-25 cm vastag beton falak használata is terjed a gyors kivitelezhetőség miatt. Emellett nem ritka az acélváz szerkezetek használata sem egyes gyorsan kivitelezhető, úgynevezett kész ház típusnál.

Összefoglalva a modern kori építészetben láthatjuk a szögletes formáktól való elrugaszkodást, a több koordináta-rendszerben való tervezést, az egészséges belső terekre, a környezet tudatosságra való törekvést, az íves felületek bátor használatát, hiszen a számítógéppel segített tervezés után a gyártóműhelyben szintén automatizálható gyártási folyamattal ma már ezek a tervek az elmúlt századokhoz képest könnyebben kivitelezhetők.

2.6.2. Belsőépítészeti trendek

Ahogy az építészeti trendek bemutatásánál, úgy itt sem törekszem a trendek részletes ismertetésére, mivel a disszertációmnak nem ez a fókusz. Mindazonáltal szükséges néhány gondolatot ejteni erről a területről is, hiszen az építészeti trendeken túl a belsőépítészet is hatással van a belső terek elektromágneses terének kialakulására, befolyásolja azt.

Ma a belsőépítészeti megoldások egyik jellemzője a rejtett, süllyesztett lámpatestek, kapcsolók, beépített, fal szerűen megjelenő szekrények, kevés, egyszerű, vonalvezetésű bútorokat tartalmazó helyiségek kialakítása. A könnyen áttekinthető belsőben cél a letisztultság, légiesség, a díszítetlen felületek szinte steril megjelenítése. Az ülő bútorok és asztalok geometrikus formáinak egyszerű mindenféle díszítés nélküli megfogalmazása, a funkcionalitásra törekedve járul hozzá a belső térélményhez.

Másik divatos belsőépítészeti irányzat a „vintage”, amely a régi, valódi fából készült bútorokat kombinálja mai modern bútorokkal és elemekkel. Megjelenhet együtt egy felújított régi faragott konyha kredenc és egy dísztelen, egyszerű, geometrikus elemekből álló étkező asztal. Újra népszerűek a többkaros dísz csillárok, stukkók, díszítőelemek, és a különböző textíliák használata is.

A belső elektromágneses tér szempontjából cél az erősítési pontok (hot spot) kialakulásának elkerülése, melyeknek egyik oka a különböző nagyobb felületek reflexiója. A térben elhelyezett letisztult formák tehát hátrányosak az általam elérni kívánt erősítési pont mentes belső elektromágneses tér tekintetében. A díszítőelemekkel készített bútorok, csillárok, stukkók, szórják a rájuk eső sugárzást, úgy működnek, mint a reflexiómentes kamra falán lévő tüskék, elosztják és csökkentik a sugárzás intenzitását.

Belsőépítészeti kialakításoknál javasolt az adott hullámhossznál kisebb (2,4 GHz frekvencián 12 cm) felületű törések szórófelületként való kialakítása. Elnyelést növelő felületként vastag függönyök alkalmazhatók.

2.6.3. Gépészeti és épületvillamossági trendek

Jelenlegi épületgépészeti trendeket nézve az első dolog, ami megállapítható, hogy egyre jobb teljesítményű, egyre kisebb helyigényű berendezések készülnek, környezetbarát megoldásokkal. Ezen megoldások alkalmazásakor, például napelemek, hőszivattyúk, szélgenerátorok használatakor, nem szabad elfelejteni, hogy a nyert energia háztartásban használhatóvá tételéhez alkalmazott transzformátor használata által, mágneses tér keletkezik.

A gépészeti és épületvillamossági trendekhez sorolom másodikként a manapság egyre népszerűbb épület automatizálási rendszerek otthonokban való egyre elterjedtebb alkalmazását. Ezekbe az úgynevezett okos otthonokba, intelligens házakba egyre több belső

forrást (motorok, érzékelők, vezetékek, vezeték nélküli kommunikáció) építenek be, melyek hatásának kutatása a jövő feladata.

Ezzel párhuzamosan terjednek az impulzus kapcsolók, melyekhez nem kell a 230 V-os vezetéket elvezetni, mivel csupán 12 V-os impulzust küld a központba, minek következtében működésbe lép az adott helyiségben a világítás.

2.7. A szakirodalmi áttekintés összefoglaló értékelése

Kutatási munkám előkészítéséhez áttekintettem a kisfrekvenciás terek és a nagyfrekvenciás sugárzások forrásait, biológiai hatásainak kutatását. Bemutattam, hogy az elektromos és mágneses terek, elektromágneses sugárzások biológiai hatásaiban nincs egyetértés a kutatók között, ugyanakkor a problémakör a figyelem középpontjában van.

Kifinomult eszközök állnak rendelkezésre a terek alkalmi, illetve tartós idejű mérésének különböző módszerek szerinti elvégzésére. A mérési módszerre nincs egységesen kidolgozott eljárás, és néhány esetben az értékelés pontatlansághoz vezethet, ezért saját módszert használok, amellyel egy-egy szoba a lehető legpontosabban értékelhető. Az épületek típusa és elhelyezkedése alapján nem készült kategorizálás, ami az épületeket tervező mérnököket segítené.

Az elektromágneses terek egészségügyi határértékeinek elemzésekor bemutattam, hogy két egymástól eltérő szemlélettel találkozhatunk a határértékek beállításánál, amiből nagy különbségek adódnak a határértékek és a javaslatok között. Az egészség védelme felől közelítő határértékek egy tényleges biológiai hatást okozó dózisnagyság biztonsági faktorokkal történő csökkentéséből, még az elővigyázatosság elve a technológiailag megvalósítható lehető legalacsonyabb értékből indul ki. Kutatásomban ennek az elvnek megfelelően a beltérben a lehető legkisebb tér kialakítását célozom meg.

Az építőanyagokat több kutató is vizsgálta nagyfrekvenciás tartományban, mely kutatásokból kiderült, hogy az anyagok permittivitása és konduktivitása a frekvencia függvényében változik. Ezeket az értékeket használok fel a számítógépes szimulációk során 1 és 2,4 GHz frekvencián. A témához kapcsolódó szakcikkekből kiderült, hogy nem készült kutatás, ami az építészeti oldalról vizsgálná a kérdéskört, és az építész tervezői döntéshozatalban ez a témakör kevéssé ismert. Nem készült vizsgálat, ami a magasház építésben alkalmazott vasbeton panelek elektromágneses árnyékolását kutatja. Nem készültek vizsgálatok a tekintetben sem, hogy az épületek falain elhelyezett nyílászárók milyen módon hatnak egy helyiség elektromágneses terére.

Az építészeti trendek rövid értékeléséből kiderült, hogy a szögletes formákat egyre inkább felváltják az ívelt formák, torz felületek. A számítógéppel segített tervezés új lépcsőfokra lépett, ahol már matematikai egyenletek és paraméterek segítségével alakulnak az épületek. Ugyanakkor az energia- környezet- és egészségtudatosság is egyre jellemzőbb az építészeti megoldások során. Azonban nem készültek eddig vizsgálatok, hogy a hagyományosan, vagy a trendeknek megfelelően a szerkezetbe tervezett szögtörések, torz felületek hogyan hatnak elektromágneses szempontból a belső térre.

Az árnyékolás tervezésével kapcsolatos kutatások a berendezések árnyékolására fókuszál, nem készült még kutatás, ami az épületek árnyékolását az épületbiológiai ajánlások szempontjából vizsgálná. Nem található rétegfelépítési javaslat, nem történt kutatás az épületszerkezetek, építészeti eszközök alkalmazásának az elektromágneses terekre történő hatásvizsgálatára.

Ezen összefoglaló értékelés alapján kerültek a célkitűzéseim véglegesítésre.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

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

3.1. Mérések valós körülmények között

3.1.1. Beltérben végzett mérések

Ahhoz, hogy a későbbiekben bármilyen következtetéseket le tudjak vonni szükséges volt megismernem a helyi lakásokon belüli ELF-EF, MF és RF-EMF terek nagyságát. A méréseket különböző típusú lakásokban végeztem főként Budapest különböző kerületeiben elszórva.

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

Az első néhány tucat mérést úgy végeztem, hogy a műszer automatikusan arra a frekvenciára állt amelyiken a legnagyobb elektromos vagy mágneses teret érzékelt. Ez a legtöbb esetben, ahogy az várható is volt, az 50Hz-es hálózati frekvencia volt, így a későbbiekben, mivel amúgy is a hálózati vezetékek és háztartási berendezések által kibocsátott terek vizsgálatát akartam elvégezni, innentől kezdve a mérések előtt manuálisan rögzítettem, hogy a mérőműszer csak az 50 Hz frekvencia sávjában mérjen. Az érzékelt tér értékét a műszer a digitális kijelzőjén folyamatosan mutatja. Ezeket a tér értékeket egy előzetesen rajzolt alaprajzon rögzítettem abban a pontban, ahol az értéket mértem. Az értékeket nagyjából 1 méteres távolságokban, illetve azokon a pontokon jegyeztem fel, 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 egy-egy helyiségen belüli eloszlását.

Tapasztalatom szerint minimum 5 (4 a sarkoktól 80 cm-re és egy közepen) de inkább 7 vagy 9 mérési pont felvétele szükséges ahhoz, hogy megfelelő képet kapjunk egy helyiség elektromos teréről mert az értékek tízes nagyságrenddel változhatnak kis távolságon belül. Bizonyos használati tárgyak körül, mint például egy fém vázas rúd lámpa körül az elektromos tér 10-20 szorosára is ugorhat, a helyiség mégsem ezzel az értékkel jellemezhető.

Mágneses terek tekintetében a tér értékek nem változnak nagyságrendekkel, így minimum 3 jól megválasztott mérési pontból megfelelően lehet értékelni egy helyiséget. A jó megválasztáshoz azonban itt is több ponton kell mérni, de az értékeket elegendő azokon a pontokban feljegyezni, amelyek eltérést mutatnak. Egy helyiség kiértékeléséhez nem találok elegendőnek egy adott helyiség egy pontján végzett mérést így megállapítom, hogy nem elég pontos, és nem ad megfelelő visszajelzést a 2.4.3.3. pontban ismertetett Li és munkatársai (Li et al., 2007) által végzett mérés.

Nagy frekvenciás mérések elvégzéséhez a Gigahertz Solution HF59B nagy frekvenciás analizátort használtam háromszögletű antennával, ami 800MHz -2,5 GHz tartományban alkalmas mérésekre. Ezzel az eszközzel lassan mozogtam a helyiségben megállva több ponton

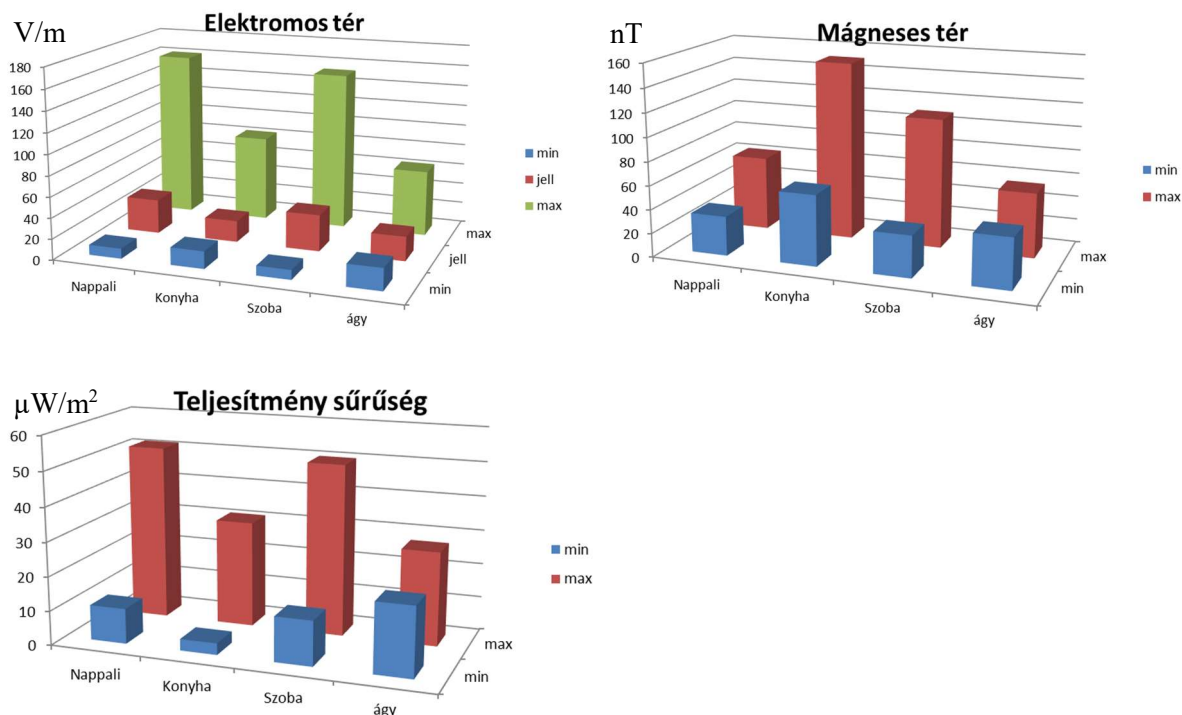
körbefordulva, hogy megállapítsam a legnagyobb besugárzás irányát. Az értéket a korábban említett alaprajzon rögzítettem és nyíllal jelöltem az irányt, amely felől a sugárzás érkezett. Mivel a kutatásom a külső, nem kontrolálható sugárzások hatását vizsgálja, ezért minden esetben megkértem a tulajdonost, hogy a saját WiFi útválasztóját (routert) kapcsolja ki. A sugárzás iránya a legtöbb esetben a homlokzati fal felől érkezett néhány esetben pedig a szomszédos lakás felől.

A táblázatos kiértékelésnél az értékeket helyiségenként minimum, maximum és jellemző-értékekkel tüntettem fel, ahol a jellemző érték azt a fő-értéket jelenteti, amelyet a helyiségben a legtöbb ponton lehetett mérni. Egy mérés táblázatos rögzítését a 3.1. táblázat mutatja.

3.1. táblázat Példa a mérések táblázatos rögzítésére. Budaörsi út 19 - modernista bérház
2012.05.16

| Helyiség | Elektromos tér(V/m) | | | | Mágneses tér(nT) | | | Telj.sűrűség ($\mu\text{W}/\text{m}^2$) | |
|----------|---------------------|------|------|-------------------|------------------|-----|-----------------|---|-----|
| | Mín | jell | Max | oka: | Mín | Max | oka: | Mín | Max |
| Konyha | 28 | 60 | 800 | Rádió, elosztó | 48 | 94 | elektr. sütő | | |
| Nappali | 13 | 22 | 1122 | TV | 58 | 60 | | 1,6 | 8,1 |
| Háló | 9 | 20 | 237 | HiFi | 47 | 48 | | 1,3 | 1,3 |
| ágy | 9 | 10 | 15 | | 47 | | | 1,3 | 1,3 |
| Fürdő | | | 114 | halogén izzó | | | | | |

Az összesített értékeket a különböző helyiségek között az ott mért minimum, jellemző érték és maximum érték szerint a vizuális érthetőség kedvéért a következő grafikonokon szemléltetem (3.1. ábra). Az első az elektromos tér, a másodikon a mágneses tér, a harmadikon a mért teljesítménysűrűség eloszlását lehet látni.



3.1. ábra Különböző helyiségekben mért összesített jellemző, és maximum értékek

3.1.2. Belső teret befolyásoló külső források vizsgálata

Az alacsony frekvenciás források közül eddig a házon belüli forrásokat vizsgáltam, de vannak esetek, amikor külső források is okoznak elektromos, illetve mágneses teret a lakáson belül. Ilyenek a magas feszültségű távvezetékek és a transzformátorok.

Magas feszültséget használnak a villamos áram nagy távolságokba történő szállításához, mert a kapcsolódó csökkent áramerősség kisebb teljesítmény veszteséget jelent, mert a hőveszteség az áramerősséggel arányos. A lakások és irodák azonban – biztonsági okokból – alacsonyabb feszültséget használnak (230V), amelyhez nagyobb áramerősség tartozik. Épületen belül, mivel a vezetékek rövid hosszúságúak, és az áramerősség több vezetéken kerül szétosztásra, ezért az ellenállás okozta teljesítmény veszteség a házon belüli vezetékeken elfogadható.

Az országos elektromos áram hálózat többlépcsős rendszerek szabályozott együttműködésével valósul meg. Fő részei az alaphálózat (750, 400, 220kV) és az elosztóhálózat. Az alaphálózat feladata a hazai nagy erőművek kooperációjának biztosítása, kapcsolattartás a szomszédos országok villamosenergia-rendszerével és az országon belüli nagy teljesítményű villamosenergia szállítás. Az elosztóhálózat 3 részre bontható: a 120 kV-os főelosztó hálózatra, melyeket csak sűrűn beépített, nagy fogyasztású települések belterületén alakítanak ki, a 10-35kV középfeszültségű elosztó hálózatra, melynek feladata a villamos energia továbbítása a főelosztó hálózat és a kiefeszültségű elosztóhálózat között, végül a 0,4kV-os kiefeszültségű elosztóhálózatra, mely a lakossági kommunális kiefogyasztókat szolgálja ki. Minél nagyobb a távvezeték feszültsége és áramerőssége, annál nagyobb elektromos és mágneses tér terhelést jelent a környezetére. Azonban nem is az elektromos, hanem a mágneses tér jelenti a nagyobb egészségügyi kockázatot, és a mágneses tér ellen nehéz védekezni. Erre a megfelelő távolság megtartása a legjobb módszer.

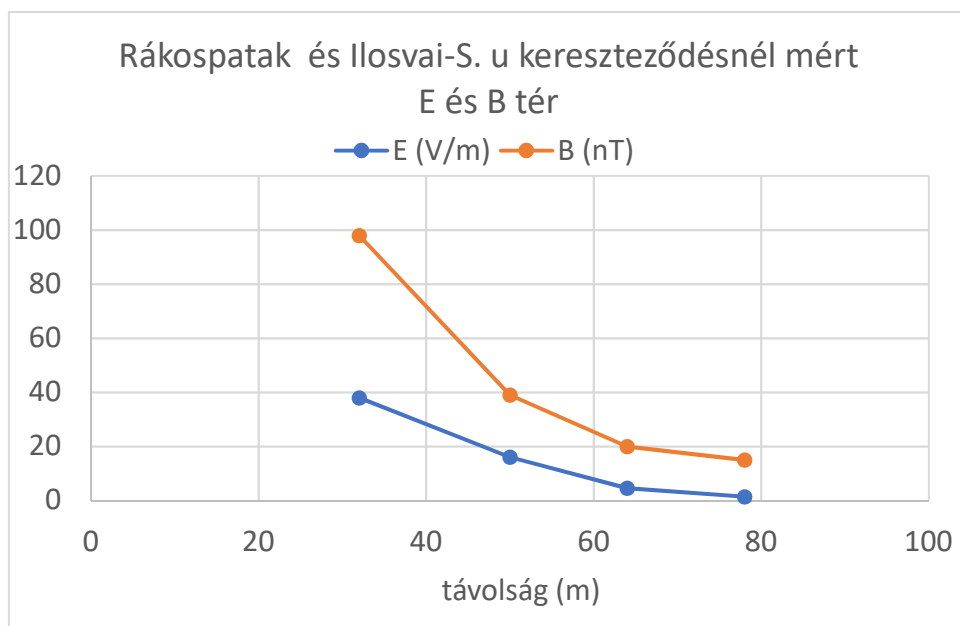
Budapesten belül több 120kV-os szabadvezetékes főelosztó hálózat fut, ezen kívül megtalálható 220kV-os alaphálózat központ Zuglóban és Albertfalván is. Egyik tudományos cikkem (Vizi, 2012) megjelenését követően, valamint olyan családok tovább ajánlása által, akiknél mérést végeztem, további magánszemélyeknek megkeresésére három magasfeszültségű vezeték közelében végeztem méréseket.

A kültérben végzett méréseket a beltéri mérésekhez hasonlóan végeztem: Először a helyszín rajzát készítettem el, majd a mérőműszeren az elektromos és mágneses teret külön mértem. Az eredményeket a helyszínrajzon jellegzetes pontokon, mint például épületek sarkai, bejárata feljegyeztem. A műszerrel mindig a távvezetékek felé közelítve végeztem a méréseket.

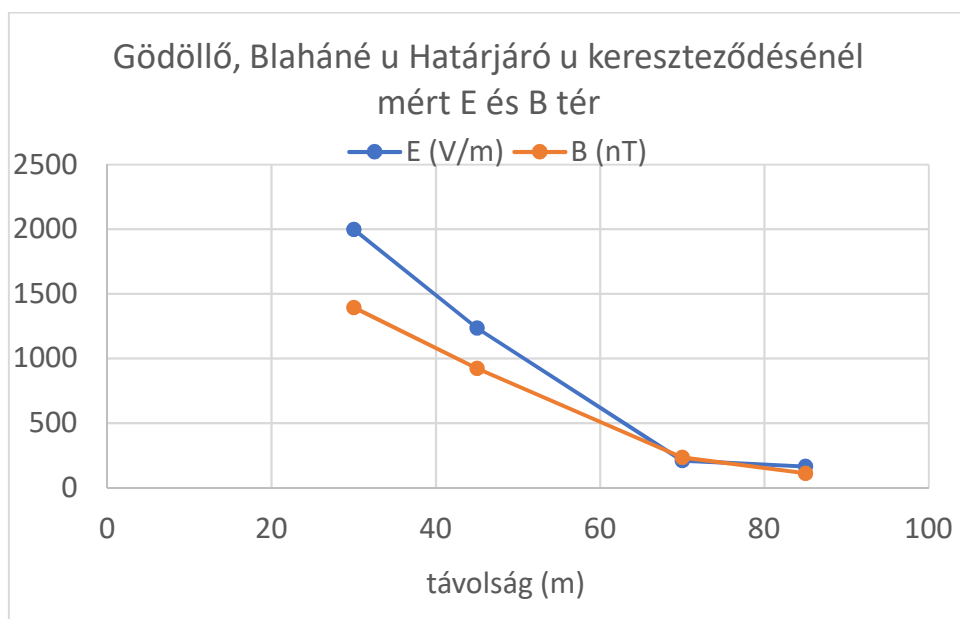
A IX. kerületben a Népligeti állomást a Csepeli állomással összekötő 120kV főelosztó távvezetékétől az Epreserdő utcánál 25 méterre csúsztatott zsalus négyemeletes lakóépületek helyezkednek el. Az épület sarkánál 3,8V/m, 830nT tér mérhető. A főelosztó hálózat nyomvonalától 90 méterre lévő általános iskola Börzsöny utcai kerítésénél 4,6 V/m, 97nT volt a tér alap értéke.

A XIV kerületben, Zuglóban a Rákospatak mentén húzódó 120kV-os hálózat nyomvonalától 32 méterre lakóházak és egy óvoda (Ilosvai Selymes u.- Rákospatak u kereszteződése) is épült. Az épület sarkánál 38V/m, 98nT, a következő traktusnál a nyomvonalától 50 méterre 16 V/m, 39nT, a harmadik traktusnál, a nyomvonalától 64 méterre 4,6V/m, 20nT, a negyedik traktusnál, 78 méternél 1,4V/m, 15nT volt mérhető.

Gödöllőn a Határjáró út és a Blaháné utca kereszteződésénél mértem ahol a 120kV-os hálózat nyomvonalától 45 méterre lakóházak épültek. Az elosztó hálózat nyomvonalától 35 méterre 1999 V/m (a műszer mérési határa), 1395nT, az épület sarkánál 1235V/m, 924nT, a következő telken a nyomvonalától 65 méterre 209 V/m, 235nT, a harmadik telek kerítésénél, a nyomvonalától 85 méterre 164 V/m, 111nT volt mérhető.

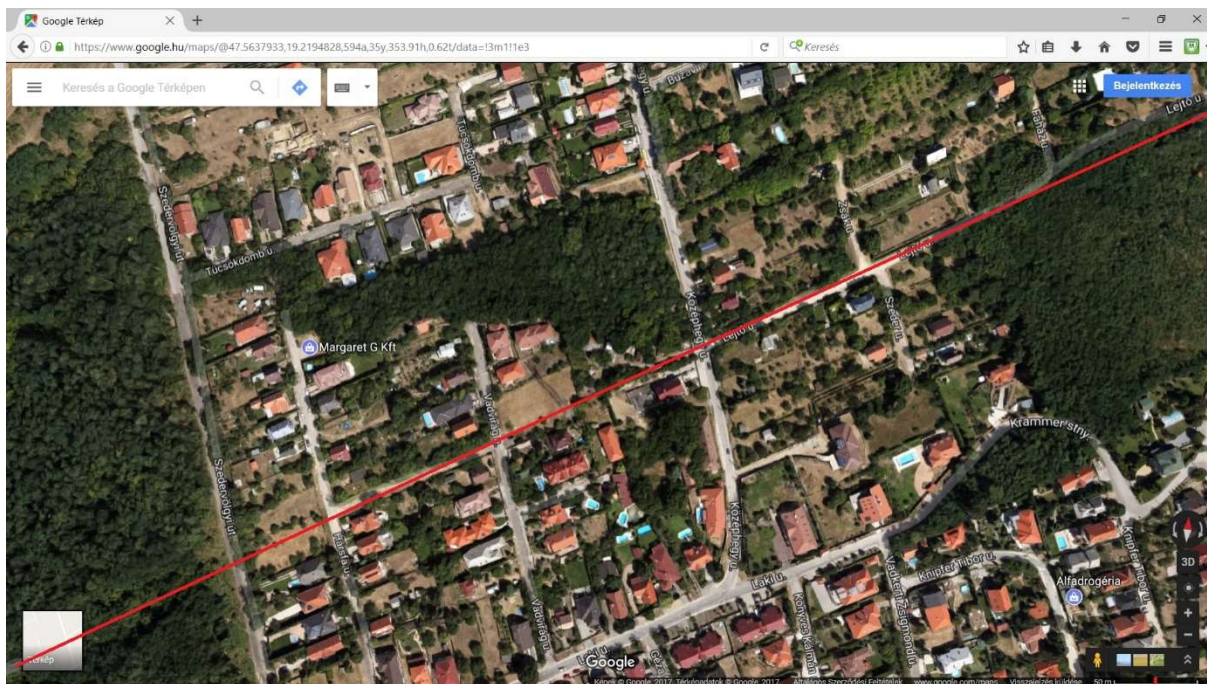


3.2. ábra Budapesten a Rákospatak utca és Ilosvai-Selymes utca kereszteződésében lévő óvoda traktusainál mért elektromos és mágneses tér

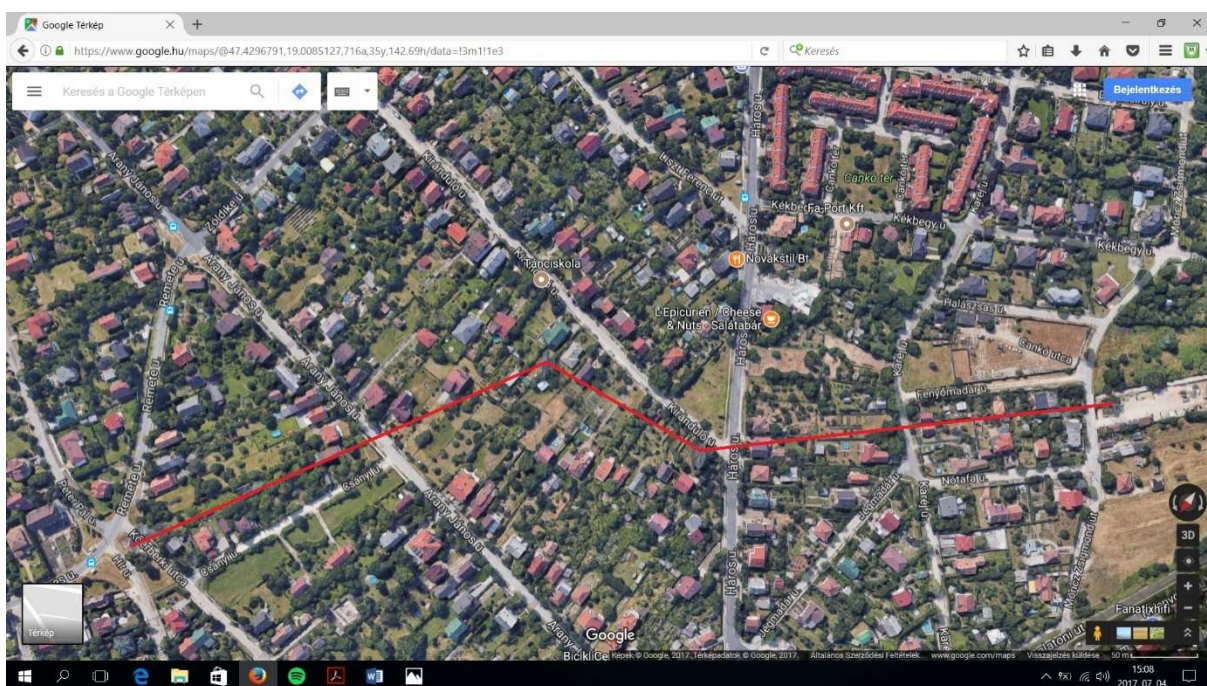


3.3. ábra Budapesten a Rákospatak utca és Ilosvai-Selymes utca kereszteződésében lévő óvoda traktusainál mért elektromos és mágneses tér

Csömörön a Vadvirág utca a 15. szám alatti házban végeztem mérést, ami 50 méterre helyezkedik el a 120kV-os főelosztó hálózattól, a lakásban 150nT-mágneses teret mértem. A fő észrevételem az volt, hogy több ház is épült a vezeték közelében, amelyek még az előírt 13 méteres védőtávolságot (3.2. táblázat) sem tartja be (3.4. ábra)! Sajnos ilyen esetet Budapesten is találtam például a XXII. kerületben is (3.5. ábra).



3.4. ábra Csömörön átfutó elektromos főelosztó hálózat a vadvirág utcánál.



3.5. ábra XXII. kerületben futó elektromos elosztóhálózat

Bár az általam mért esetekben a 2/2013 NGM rendelet szerinti a védőtávolság mely 120kV esetén 13m, mindhárom általam mért esetben be volt tartva és a mágneses terek Magyarországon érvényes egészségügyi határértékét meghatározó ICNIRP (és 63/2004. (VII. 26.) ESzCsM) szerinti 100.000nT alatti értéket mértem (3.4. táblázat), a IX. kerület esetében a WHO és az épületbiológusok által javasolt mágneses tér érték kétszeresét, valamint a nem nagyfeszültségű villamoshálózatok közelében lévő lakásokban mért mágneses tér átlagértékének 20 szorosát mértem. A Zuglói óvoda esetében a távolság az előírt védőtávolság

közel háromszorosa volt, amely már viszonylag jól megközelítette egy átlagos épületben mért mágneses tér értékét. A csömöri és a XXII kerületi eseteknél nyugtalanító azonban, hogy az építési hatóságok nem tartják, illetve nem tartatják be a rendeletekben előírtakat.

3.2. táblázat Nagyfeszültségű távvezetékekre vonatkozó védőtávolságok

| Nagyfeszültségű védőtávolságok | 110-120kV | 220 kV | 380-400kV |
|---|-----------|----------|-----------|
| Minimális védőtávolság Magyarországon | 13 m | 18 m | 28 m |
| Ajánlott védőtávolság Svájcban | 110 m | 220 m | 380 m |
| Katalyse Intézet által ajánlott védőtáv | 20-95 m | 30-120 m | 40-160 m |

3.3. táblázat Az átlagos térerősségek nagy feszültségű vezeték alatt 1 m magasságban

| Nagyfeszültségű vezeték átlagos térerősségei | Mágneses térerősség | Elektromos térerősség |
|--|---------------------|-----------------------|
| 110 kV /1000 A vezeték | 9,7 μ T | 1100 V/m |
| 220 kV / 1000 A vezeték | 9,1 μ T | 2300 V/m |
| 380 kV / 1000 A vezeték | 11,9 μ T | 4200 V/m |

A fentiek alapján kimondható, hogy a nagyfeszültségű távvezetékek védőtávolsága további vizsgálatokat igényel ahhoz, hogy ezen kültéri mágneses források ne növeljék a lakásokon belüli mágneses teret. Méréseim alapján a védőtávolságot a jelenlegi 13 méterről legalább 50 méterre kellene növelni 120kV-os hálózat esetén.

3.4. táblázat A jelenleg érvényes szabványok és javaslatok, az általam mért értékek átlagával

| | Érvényben lévő ICNIRP határérték | más szabvány szerinti javaslat | általam mért átlag | Épület-biológia határérték | Épület-biológiai értékelés |
|---|----------------------------------|--------------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------|
| elektromos (V/m) | 5000 | 10 | 33 | 1 | 5-50 között: magas anomália |
| mágneses (nT) | 100.000 | 200 | 33 | 20 | 20-100 között: gyenge anomália |
| teljesítmény sűrűség (μ W/m ²) | 10.000.000 | 1000 | 10 | 0,1 | 5-100 között: magas anomália |

A 3.4. táblázat értékeiből látható, hogy a biológiailag káros hatásúnak tartott mágneses tér jellemző értéke a lakásokban átlagosan, épületbiológiai értékelés szempontjából, a gyenge anomália kategóriájába sorolható.

Solti rádióállomáson végzett mérések

Magyarországon található Európa jelenlegi legnagyobb teljesítményű (2MW) rádióadója Solttól 4,5km-re. Ennél az adótoronynál is végeztem méréseket, mely ma már elsősorban a Kossuth rádió középhullámú sugárzását biztosítja 540 kHz-es frekvencián, valamint az adótorony kiszolgáló épületben.

A méréseket még a létesítmény 2017-es felújítása előtt végeztem 2016 áprilisában. 50 Hz-en és 540 kHz-en külön mértem, a kiszolgáló épület főbb helyiségeiben, és a kültérben. A 3.5.

táblázat egyértelműen mutatja, hogy épületen belül ez esetben is a hálózati frekvencia dominál, sőt 540kHz frekvencián nagyon alacsony mágneses teret mértem. Ennek miertjére a magyarázatot az épület dokumentációjából nyertem: „Az épületkomplexumot a munkahelyekre megengedett rádiófrekvenciás térerősség túllépésének elkerülésére 1x1 méteres árnyékoló hálóval borították be.”

3.5. táblázat Solti rádiótorony kiszolgáló épületében mért mágneses tér

| Helyiség neve | 50 Hz-en | 540 kHz-en |
|-------------------------------|----------|------------|
| Szolgálati hsg | 160 nT | 23nT |
| Adóterem | 349 nT | 20 nT |
| 12kV-os fogadó | 370 nT | 0 nT |
| Folyosó | 105 nT | 6 nT |
| Műhely | 119 nT | 0nT |
| Étkező | 13 nT | 0 nT |
| Kint antenna oldalán | | 527nT |
| Kint baloldalon | | 50-71 nT |
| Jobb oldalon | | 62-78 nT |
| Antennával ellentétes oldalon | | 84 nT |

A dokumentációból ugyanakkor az is kiderült, hogy ez a védelem az épületben dolgozók és családjaik számára folyamatos tartózkodás esetén nem elégséges: „A létesítményt kiszolgáló személyzet (20 család) számára a lakhatást szolgálati lakásokkal biztosították Solton, mivel egészségvédelmi szempontokból az adóállomás területén az életvitelszerű tartózkodás a megfelelő árnyékolóháló beépítése ellenére sem volt biztonságosnak tekinthető.”

Látható tehát, hogy már akkoriban is törekedtek adott frekvencián árnyékoló védelemmel ellátott épületek építésére.

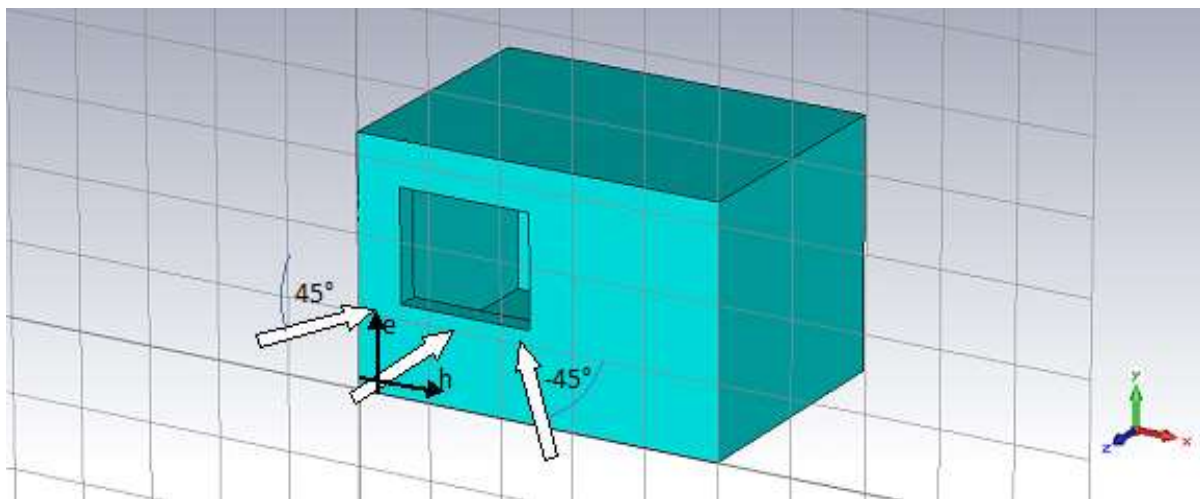
3.2. Épületeken végzett számítógépes szimulációk

Magas frekvencián, a kezdeti mérések tanulsága szerint is, a különböző épületszerkezetek, építőanyagok, építészeti megoldások befolyásolják a kültérből érkező, de az épület belső terében kialakuló teljesítménysűrűséget. Ezért szakirodalmon és saját mérések tapasztalatán alapuló számítógépes szimulációk segítségével vizsgáltam meg, hogyan befolyásolja egy épület, vagy épület rész, az elektromágneses tereket. Az elemzéshez szükséges számítástechnikai háttérnek a CST MicrowaveStudio teljes hullámú elektromágneses megoldó programját választottam. A program Maxwell egyenleteket old meg a megadott paraméterek alapján, aminek elvégzéséhez FIT technikán alapuló véges elemes integrációs numerikus módszert használ, ami idő tartományban az FDTD módszert közelíti. (Gastrau, 2006). A CST MicrowaveStudio egy sztenderd, széles körben elterjedt eszköz a mikrohullámok és az antennatervezés kutatói között.

Fontos azt leszögezni, hogy az ehhez hasonló tanulmányok elvégezhetőek megalapozott elektromágneses számítástechnikai szimulációs eszközökkel, nem csak azért, mert a mérések költségesek és sokáig tartanak, ellenben a gyorsabb, olcsóbb és flexibilisebb szimulációval, hanem azért is, mert a szimulációs technikák ma már olyan fejlettek, hogy megbízható eredményeket nyújtanak. A tudomány más területein, például az áramkörök tervezésében, az antennák lefedettségének tervezéséhez ezek a szimulációs technikák már beváltak. Tudomásom szerint én alkalmazom ezt a módszert először az épületen belüli (szükségtelenül magas) elektromágneses terek vizsgálatára.

A vizsgálat beállítását több paraméter befolyásolta: az épület mérete, a besugárzási körülmények és a vizsgálati helyek. Mivel az épületek kialakításában óriási a tervezési szabadság (hiszen ez az építész művészi szabadságának része), és lehetetlen valamennyi változó vizsgálatára, meg kellett határoznom, hogy milyen kialakítás kerüljön tanulmányozásra. Ehhez a következő kritériumokat vettem figyelembe:

1. több olyan esetre nézve reprezentatívnak kell lennie, amelyben az átlagember él és dolgozik, valamint
2. elég egyszerűnek kell lennie ahhoz, hogy elemezni lehessen. A 3.6. ábra mutatja az általam választott „referenciaépületet” ablakkal, ami 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 tulajdonságok a CST szoftver könyvtárából lettek választva. 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 (Shah 1965). Ebbe a kezdetben nyílás nélküli „referenciaépületbe” később ajtót és ablakokat helyeztem el, és a méretüket, valamint pozíciójuk változásának hatását vizsgáltam az elektromágneses térre. 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.



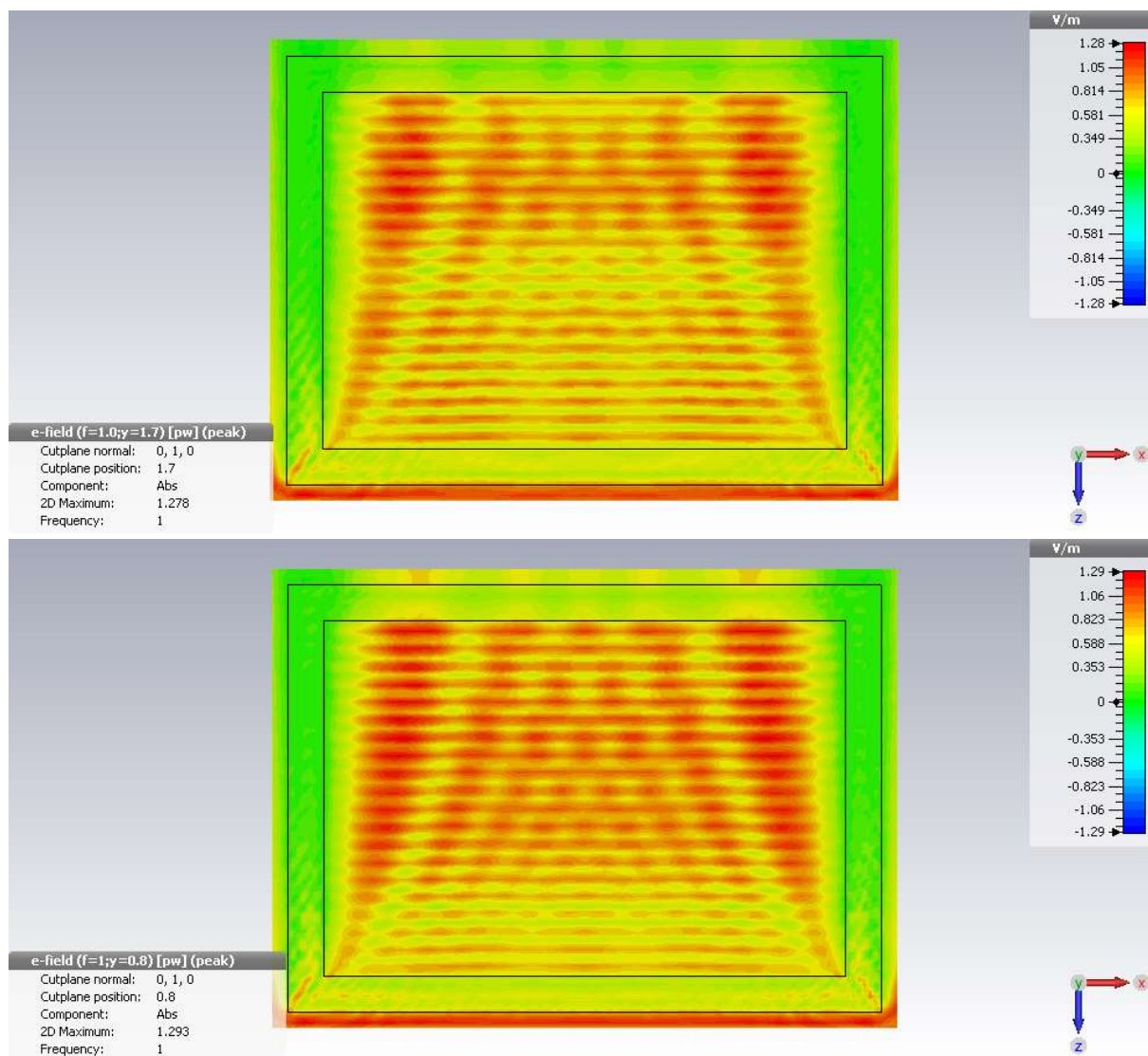
3.6. ábra A választott referenciaépület és a használt besugárzási irányok. Az ábrázolt ablak csak egy példa.

3. Meg kellett határozni, hogy milyen sugárzási körülményeket veszek figyelembe. Az előzőkhez hasonlóan, itt is kritérium volt, hogy a gyakorlatban előforduló helyzeteket modellezze. Mivel minden sugárzási szcenárió eredendően elektromágneses síkhullámok szuperpozíciójának tekinthető, ezért ezt az alaptípusú hullámot vizsgáltam számítógépes környezetben. A sugárzás érkezési iránya horizontális, ami megfelel a valós helyzeteknek. A vízszintes szögnek 90 fokot, +45 fokot és -45 fokot vettem fel. A vizsgált frekvencia 1GHz, ami közel van a mobiltelefonoknál alkalmazott 900MHz-es GSM sávhoz, majd 2,4GHz, amplitúdónak 1V/m-t határoztam meg. Mivel a folyamat lineáris, más amplitúdók arányossággal könnyen kiszámíthatók. A vizsgált polarizáció vertikális, amelynek oka, hogy a gyakorlatban is ezt a polarizációt használják leginkább, mert ez terjed legkönnyebben a föld felett.

4. A negyedik problémakör az épületen belüli megfigyelési pontok meghatározása volt. Két horizontális síkot választottam ki Le Corbusier modulor 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. A maximum értéket a program az eredmény ábra melletti bal alsó sarokban adja meg, az elrendezést pedig színskálán mutatja. A kurzor az ábra feletti mozgásával a sík minden egyes pontján kijelzi a tér értékét. Az értékek vonalmenti változása a síkon tetszőleges helyen elhelyezett egyenes mentén megkapható. Ilyen egyenest helyeztem el a referencia épület középvonalában, és azokon a helyeken, ahol a sík ábra szerinti maximum értékeket kaptam. Ezeket az eseteket a méréseknél külön jelzem.

Az első vizsgálat a referencia helyiség számítása volt, mindenféle nyílás nélkül (3.7. ábra). A további szimulációk ennek az alapformának a változtatásával, falain nyílások elhelyezésével történt.

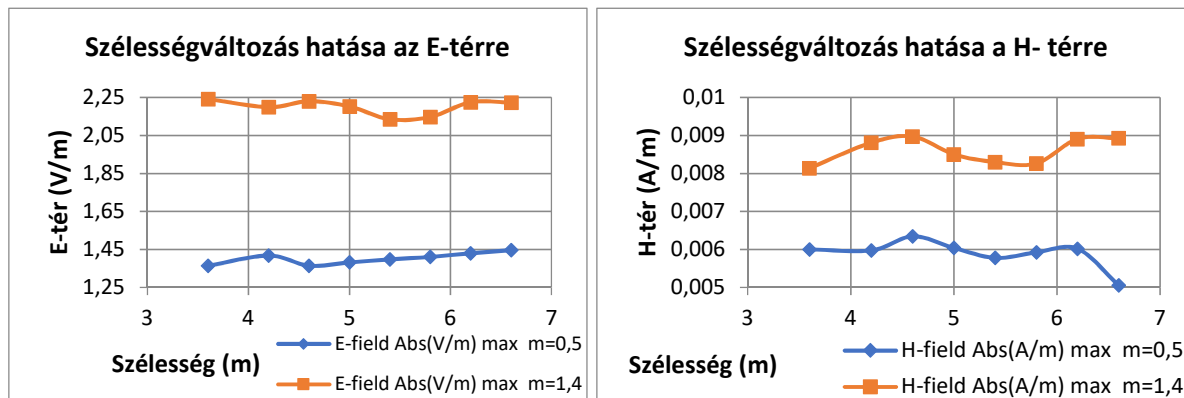


3.7. ábra Nyílások nélküli állapot, merőleges besugárzás, elektromos tér vizsgálata 1.4 m (fent) és 0.5 m (lent) magasságban.

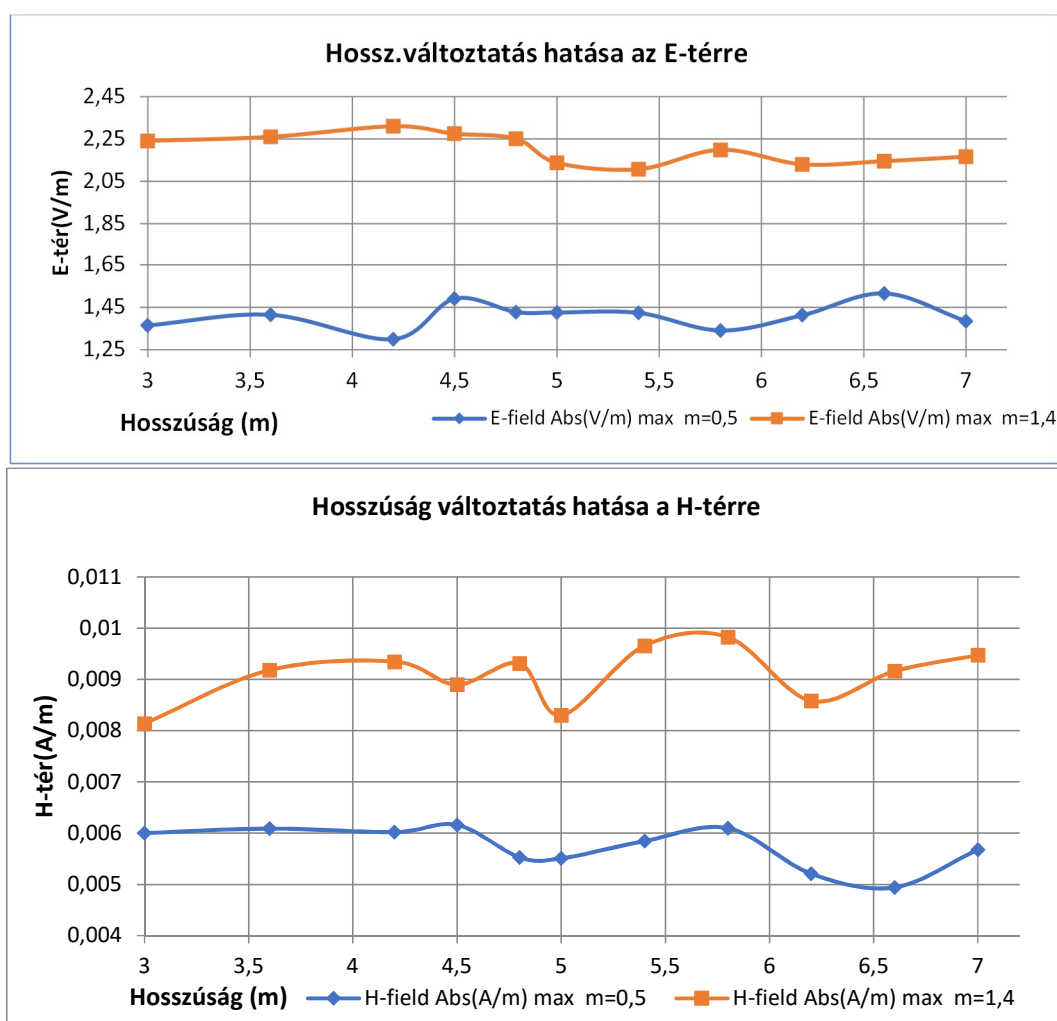
A második vizsgálat során arra kerestem a választ, hogy mekkora az ideális négyszögletes szobaméret, amiben a transzmissziós és a reflexiós elektromágneses hullámok a legkisebb elektromos és mágneses teret hozzák létre. Ehhez a referenciaépület hosszúságát és szélességét változtattam 3,6 és 7 méter között 40 cm-s lépcsőben. A homlokzaton két kisméretű ablakot hoztam létre 120 x 90, valamint 90 x 90 cm mérettel, 180-as parapet magassággal mintha egy

fürdőszoba és WC ablakai lennének. A szélesebb ablak a bal oldali faltól 60 cm-re helyezkedett el, és a két ablak közötti távolság is 60 cm volt.

Az eredményeket a 3.8. ábra és a 3.9. ábra mutatja. A helyiség méretének változtatása elhanyagolható hatással van az 1GHz frekvencián belső térben kialakuló elektromos és mágneses térre.



3.8. ábra Szélességváltozás hatása az elektromos és mágneses terekre



3.9. ábra Hosszúságváltozás hatása az elektromos és mágneses terekre

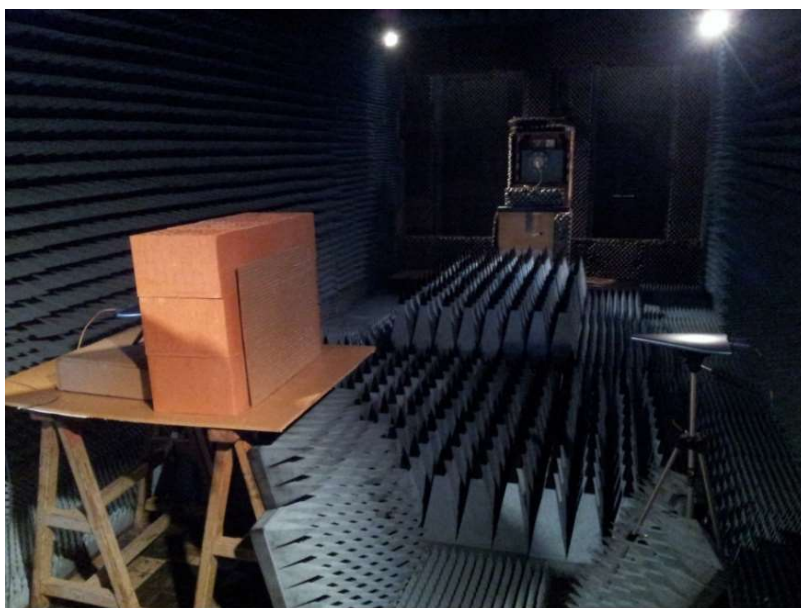
A kapott elektromos és mágneses különbségek minimálisak, ezért a referencia épületet alkalmasnak tartom arra, hogy az eredményekből általánosítható eredményeket vonjak le. A jövőben meg kívánom ismételni ezt a vizsgálatot 5GHz frekvencián is, mivel a nagyvárosok ingyenes WiFi hálózatai, valamint a mobiltelefon hálózatok is ezt a frekvenciát fogják hamarosan használni.

A szimulációk során a nem árnyékolt ablakokat egyszerű nyílásként kezeltem, hogy a számítási idő csökkenjen. Ez azért elfogadható, mert a szokásos ablaküveg nem árnyékol az anyag tulajdonságainak és a vékonyságának köszönhetően. Az üveg összetételétől függően az üveg dielektromos állandója erősen változik, ugyanez azonban a frekvenciaváltozással kapcsolatban nem mondható el. Az előzetes vizsgálatban alkalmazott dielektromos állandó (permittivitás) 4,82, a tangens delta 0,0054. A tangens delta határozza meg az anyagban tapasztalható veszteséget. Az így lefutott előzetes szimulációk igazolták, hogy a belső térben mérhető elektromágneses térerősség értékei üveggel vagy üveg nélkül tulajdonképpen azonosak.

3.3. Mérések reflexiómentes kamrában

A számítógépes szimulációkat kiegészítő mérések a Leuveni Egyetem (KU Leuven) reflexiómentes kamrájában készültek, ahol különböző rácssűrűségű fém hálókat teszteltem az árnyékoló képesség megállapítása céljából. 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 raktam a téglafal elé, vagy mögé.

A mérés sorozatot két Horn antennával és két hyperlog antennával (3.10. ábra) 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 mérésorozatot is végeztem. Az elsőnél a két antenna 150 cm helyett 140 cm-re helyezkedett el egymástól, a másodiknál a fal mögötti antenna egy zárt alumínium dobozban volt annak érdekében, hogy minden esetleges visszaverődő sugárzást kizárjak (3.6. táblázat).



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

3.6. táblázat Az egyes mérési beállítások, valamint azok adat fájl nevei

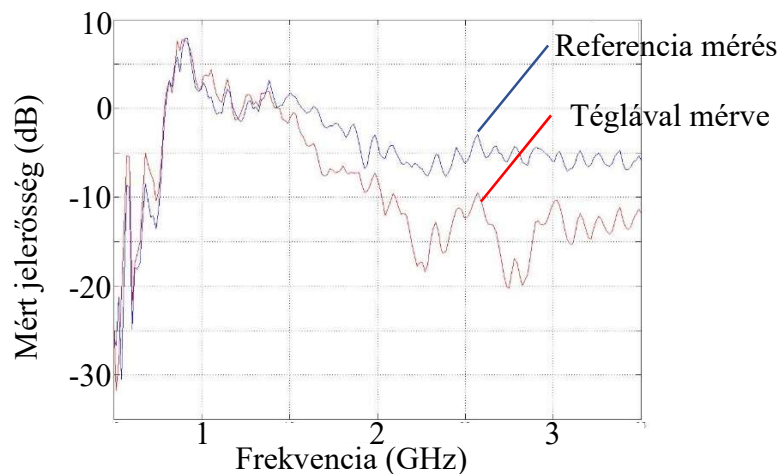
| | 2 HORN | HYPERLOG | HYPERLOG | HYPERLOG | HYPERLOG+ BOX |
|---|---------------------------------|--|---|--|----------------------------|
| A két antenna távolsága | 150 cm, | 150 cm, | 140 cm, | 140 cm, | 140 cm |
| Hátsó antenna táv. a faltól | 15 cm | 1 cm | 1 cm | 10 cm | 5 cm |
| Kalibrálás | DD_CAL | LCAL, LCAL2, LCAL3 | DD_CAL | DD_CAL DD_1CAL2 | DD_BCAL |
| tégla | BR01 | LBR | DD_BR | DD_1LBR | DD_XBR |
| tégla+háló1 (előtte) (álló) (hátsó, álló) | BRN1 BRN1F BRF1S BRB1S | LBN1 LBN1F LBN12 | _BN1 _BN1F _BN1B (mindkét oldalon) | 1BN1 1BN1F 1BN1D (dupla hátsó) 1BNDF (dupla elől) | _XBN1 _XBN1R (ismét) |
| tégla +háló2 | BRN2 BRN2F | LN2B LBN2 LBN2F | _BN2 _BN2F | 1BN2 1BN2F | DD_XBN2 |
| tégla +háló5 (álló, elől) | BRN5 BRN5F BR5SF BR12 | | _BN5 _BN5F | 1BN5 1BN5F | DD_XBN5 |
| Csak háló | | LN1 – LN1B LN2 – LN2B LN5 – LN5B | | | |
| Fém lap | | | | | DD BMET |

A számítógép által rögzített jelerősség értékeket a MATLAB program segítségével egy előzetesen a téglák nélkül mért referencia jelerősség értékkel hasonlítottam össze (3.11. ábra) és a két érték különbségéből számítottam az árnyékolás értékét dB-ben. Az eredeti méréssorozat és a két ellenőrző mérés eredményei között 5%-on belüli eltérés volt. Annak érdekében, hogy a fal sarkain kialakuló elkerülhetetlen diffrakciót eltávolítsam egy speciális eljárást alkalmaztam a nyers eredményeken a pontos árnyékolási értékeinek kinyerésére (Volski et al., 2010). A mérési eredmények MATLAB program segítségével árnyékolásra átszámított grafikonjait a 3.12. ábra mutatja.

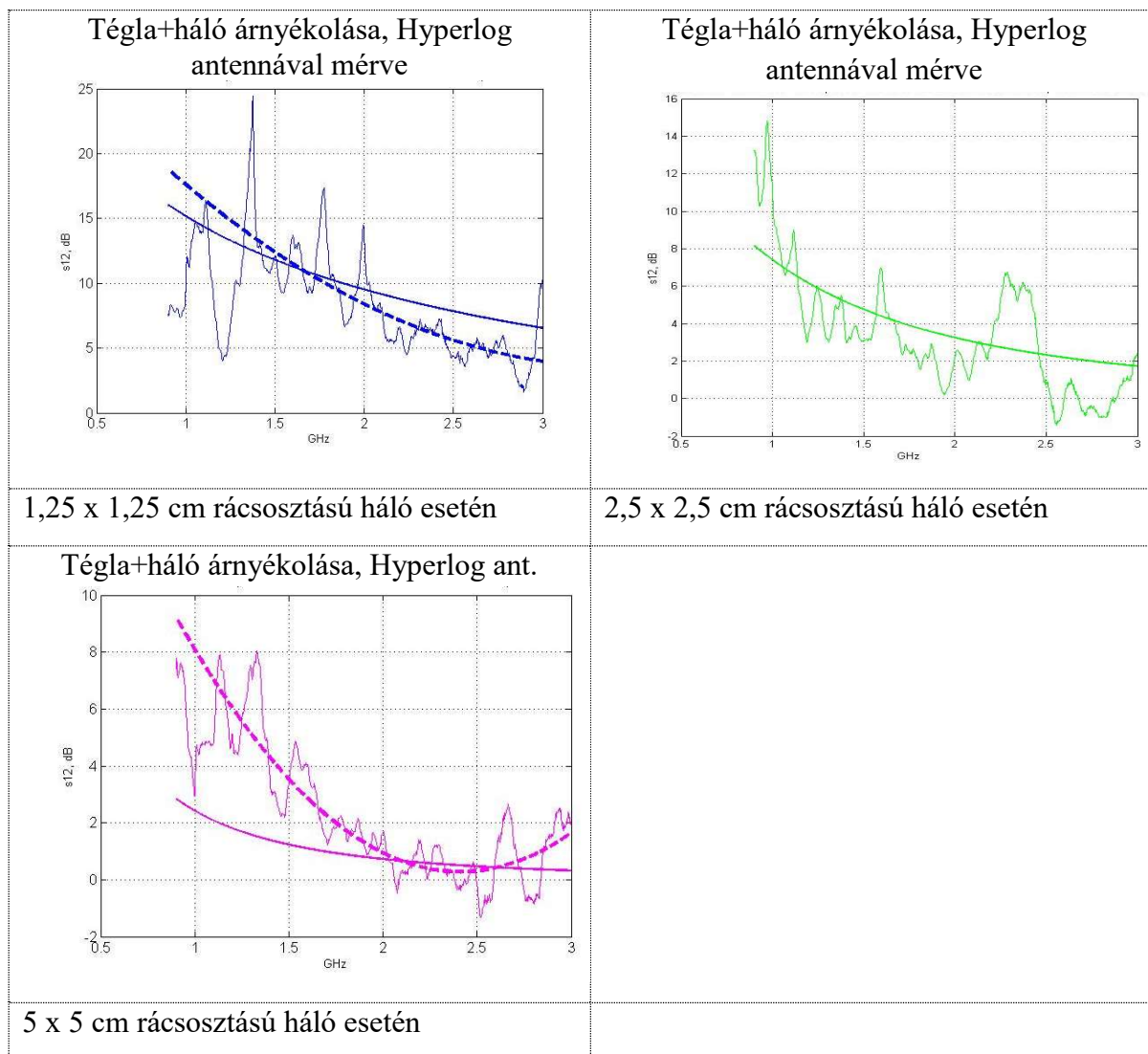
A visszhangmentes kamrában végzett mérésekkel több célt is vizsgáltam. Egyrészt vizsgáltam azt, hogy mekkora rácssűrűségtől kezdve mérhető hasznos árnyékolás, másrészt megvizsgáltam azt is, hogy az árnyékolás kívül, vagy belül hatékonyabb. Ellenőriztem annak az általános elvnek az érvényességét, hogy a forráshoz közelebbi oldalon hatékonyabb-e ebben az esetben is az árnyékolás.

Harmadrészt a rácssűrűség vizsgálata azért érdekes, mert azt is vizsgáltam, hogy a hagyományos vasbeton szerkezetekből (vasbeton panelekből, vagy csúsztatott zsalus módszerrel) épült épületeknek vasalatának van-e a Faraday kalitkához hasonló árnyékoló hatása. Ugyanakkor cél 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.

Negyedrész a szimulációk során tömör anyagokkal dolgoztam, a vázkerámia árnyékolását, ami szintén gyakori építőanyag, így tudtam meghatározni.



3.11. ábra Referencia jelerősség és téglafalon keresztüli jelerősség



3.12. ábra Az árnyékolás változása a frekvencia függvényében 30 cm téglafal mögé helyezett különböző rácssűrűségű hálók esetén

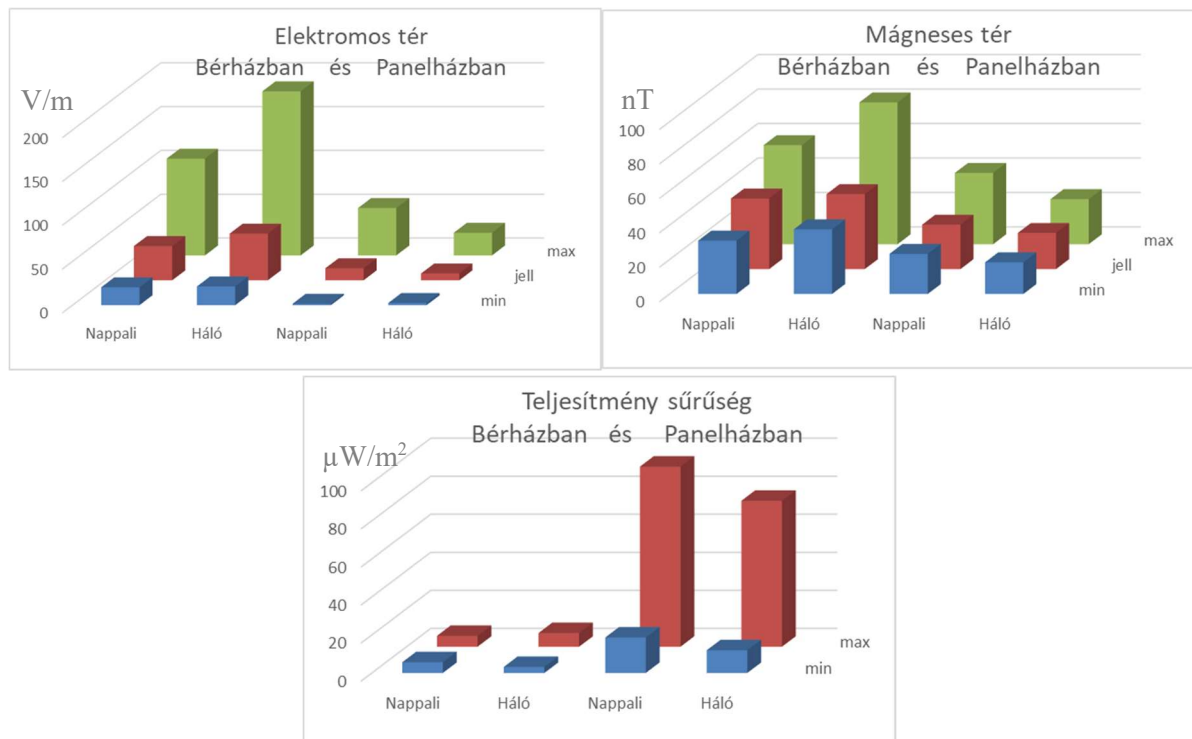
4. EREDMÉNYEK

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.

4.1. Lakásokra jellemző általános elektromágneses következtetések

4.1.1. Lakástípusok elektromágneses jellemzői

46 lakásban készítettem méréseket, melyek során megfigyeltem, hogy különböző típusú lakásokban, mint például a belvárosi 1946 előtti régi téglá épületek, új építésű társasházak, panelházak lakásaiban lakás típusonként hasonló, de a típusok között erősen eltérő eredményeket kapok. Budapesten az 1946 előtt épült épületek teszik ki a lakásállomány 80-100%-át a belső és 60-80%-át a középső kerületekben. Az 1970-es években kezdődő előregyártott vasbeton panelekből épülő lakótelepeknek köszönhetően, ma ezekben az épületekben lévő lakások teszik ki a lakásállomány 24%-át. 2000 után épülő lakások eltérő arányban vannak jelen különböző kerületekben, de összességében körülbelül 20%-át teszik ki a lakásállománynak. Ezekből a számokból is látható, hogy a lakásállomány nagy része a XIX-XX. század eleji, akkor bérelhető lakásokat tartalmazó ezért még ma is „belvárosi bérházak”-nak nevezett épületekből, és panelházakból áll, ezért fontosnak tartom külön megvizsgálni a lakástípusok közötti tapasztalt különbséget. A felvett adatokból az egyes lakások nappalijában és hálószobájában mért minimum, jellemző, és maximum tér értékeit egymás alatt kis frekvencián, valamint a mért teljesítménysűrűséget nagy frekvencián a 4.2. táblázat mutatja.



4.1. ábra Elektromos, mágneses és elektromágneses tér összehasonlítása bérházakban és panelházakban

4.1. táblázat A mért elektromos, mágneses tér és teljesítménysűrűség minimum, jellemző, és maximum értékei különböző típusú lakásokban

| Elektromos tér értéke bérházakban (V/m) | | | | | | | | | | | | Panelházakban (V/m) | | | | | | | | | |
|--|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-------------|-----|--|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 5 | 6 | 8 | 9 | 10 | 11 | Köz | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Köz |
| Nappali | 19 | 30 | 14 | 7,8 | 8,8 | 40 | 10 | 31 | 23 | 20,4 | 6,2 | 0,2 | 0,3 | 0,6 | 0,7 | 10 | 18 | 1,7 | 2 | 0,2 | 3,99 |
| | 34 | 30 | 15 | 21 | 19 | 75 | 80 | 45 | 33 | 39,1 | 30 | 12 | 1,7 | 2,1 | 23 | 34 | 40 | 3,1 | 16 | 5 | 16,69 |
| | 82 | 151 | 97 | 115 | 72 | 208 | 104 | 98 | 67 | 110 | 48 | 12,5 | 111 | 28 | 71 | 127 | 78 | 6,2 | 33 | 8,6 | 52,33 |
| | 20 | 17,3 | 22 | 5,7 | 16 | 5,4 | 26 | 54 | 26 | 21,4 | 3,6 | 0 | 0 | 8 | 1,1 | 0,1 | 10 | 1,2 | 0,1 | 2,7 | 2,68 |
| Háló | 33 | 36 | 68 | 20 | 24 | 47 | 85 | 123 | 43 | 53,2 | 7,4 | 7,2 | 1,1 | 10 | 13 | 0,7 | 15 | 4 | 0,8 | 5,2 | 6,44 |
| | 61 | 245 | 200 | 72 | 99 | 485 | 103 | 310 | 111 | 187 | 9,3 | 32 | 30 | 13 | 45 | 10,2 | 166 | 46 | 1,2 | 36 | 38,87 |
| Mágneses tér értéke bérházakban (nT) | | | | | | | | | | | | Panelházakban (nT) | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 5 | 6 | 8 | 9 | 10 | 11 | Köz | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Köz |
| Nappali | 59 | 20 | 36 | 48 | 17 | 59 | 22 | 8 | 10 | 31 | 8 | 16 | 27 | 56 | 9,4 | 14 | 22 | 37 | 4 | 30 | 22,34 |
| | 65 | 40 | 42 | 52 | 28 | 77 | 33 | 14 | 18 | 41 | 14 | 19 | 27 | 56 | 13 | 14 | 23 | 38 | 18 | 30 | 25,2 |
| | 82 | 60 | 66 | 57 | 36 | 134 | 36 | 19 | 28 | 57,6 | 18 | 24 | 83 | 67 | 15 | 22 | 30 | 54 | 22 | 62 | 39,7 |
| | 56 | 42 | 28 | 41 | 26 | 52 | 58 | 8 | 27 | 37,6 | 12 | 14 | 19 | 36 | 11 | 44 | 19 | 27 | 9 | 19 | 21 |
| Háló | 56 | 42 | 33 | 42 | 32 | 52 | 94 | 10 | 31 | 43,6 | 14 | 16 | 19 | 36 | 20 | 62 | 24 | 39 | 14 | 20 | 26,4 |
| | 79 | 74 | 55 | 64 | 38 | 188 | 192 | 10 | 41 | 82,3 | 16 | 29 | 20 | 44 | 22 | 149 | 29 | 37 | 17 | 28 | 39,1 |
| Teljesítménysűrűség bérházakban $\mu\text{W}/\text{m}^2$ | | | | | | | | | | | | Panelházakban $\mu\text{W}/\text{m}^2$ | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 5 | 6 | 8 | 9 | 10 | 11 | Köz | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Köz |
| Nappali | 2,2 | | 30 | 2 | 2,4 | 4,6 | 2,8 | 1,02 | 0,38 | 5,68 | 0,4 | 5 | 68 | 1,8 | 18 | 14,7 | 1 | 2,2 | 39 | 5 | 15,51 |
| | 4,6 | | 18 | 3 | 3,8 | 8 | 4,9 | 2,67 | 0,93 | 5,74 | 0,4 | 90 | 176 | 109 | 98 | 22 | 17 | 2,2 | 250 | 13 | 77,76 |
| Háló | | | 3 | 12 | 5 | 0 | 0,4 | 1,05 | 0,79 | 3,18 | 2,9 | 13,9 | 12 | 13 | 18 | 44 | 2,5 | 1,2 | 76 | 12 | 19,55 |
| | | | 9,3 | 20 | 10 | 1,6 | 6,5 | 1,98 | 0,86 | 7,18 | 9,6 | 32 | 110 | 190 | 42 | 149 | 22 | 1,2 | 152 | 80 | 78,78 |

4.1. ábra szemlélteti, melyen jól megfigyelhető, hogy kis frekvencián a bérházakban mért értékek legalább kétszeresei a panelházakban mért értékeknek, míg nagy frekvencián mérve az ellenkező eredményt kapom. A bérházakban mért teljesítmény sűrűség a panelházakban mért teljesítmény sűrűség tizede.

Az eltérést nagy frekvencián épületszerkezetani és településtervezési, azaz városszöveti okokra vezetem vissza (Vizi 2015b). Először is az épületek építőanyaga különböző. A bérházak anyaga tömör téglá, a panelházak előregyártott vasbeton falpanelekből épültek. Az építőanyagok különböző dielektromos tulajdonságának következményeit számítógépes szimulációkon vizsgáltam, melyekről a III/2 fejezetben írok részletesen. A dielektromos tulajdonság beton esetén: a permittivitás valós része 5,608, a képzetes rész 0,217, téglá esetében a permittivitás 4,64 a vezetőképesség 0,02 S/m (Shah, 1965; Sou, 1992). A vizsgálatokból kiderült, hogy a téglából készült falnak magas frekvencián jobb az abszorpciós képessége, mint a betonból készült falnak. A betonban található vasalat rácsávolsága (20-25 cm) pedig nagyobb, mint ami a nagyfrekvenciás rádióhullámokra hatással lehetne.

A lakástípusok közötti második különbség a falak vastagsága, hiszen bérházakban a falak gyakran 51-64 cm vastagok, ellenben a vasbeton panelekkel melyek 25 cm vastagok. Számítógépes szimulációk alapján 30 cm vastag téglafal esetén 4,73 dB, beton fal esetén 1,93 dB, 50 cm vastag téglafal esetén 10,17dB, beton fal esetén 3,09dB az árnyékolási hatékonyság.

A harmadik fő különbség az ablakok mérete és az ablak-tömör fal arány. A tömör falakon a vékony üveg ablaknak szinte semmilyen ellenállása nincs a nagyfrekvenciás elektromágneses sugárzásokkal szemben. Bérházak szobáinak belmagassága 3,80m körüli, amihez építészeti az álló téglalap alakú ablak forma passzol. Az ablakok mérete általában 1,20m, magasságuk 2,30m. Az ablaknyílás és a fal aránya 20-29%. Egy panellakás belmagassága 2,50-2,70m. Az ablak a falpanel közepén helyezkedik el a fal majdnem teljes szélességét kitöltve. Az ablak magassága leggyakrabban 1,5 méter (4.2. ábra). Az ablak és a homlokzati fal aránya az ilyen lakásoknál 32-44%, ami 62-65 százalékkal több, mint a bérházaknál (4.3. táblázat).

4.3. táblázat ablakok aránya a homlokzati falon

| Helyiség | Szoba szélessége (m) | ablak mérete (m) | ablak és a homlokzati fal aránya |
|------------------------|----------------------|-------------------|----------------------------------|
| Bérház, hálószoba | 3.6 | 1.20 x 2.30 | 20% |
| Bérház, nappali | 5 | 2 x 1.20 x 2.30 | 29% |
| Panel lakás, hálószoba | 2.6 | 1.50 x 1.50 | 32% |
| Panel lakás, nappali | 3 | (0.9+1.50) x 1.50 | 44% |



4.2. ábra Homlokzati nyílászáró arányok bérház és panelház esetben

Épületszerkezettani szempontból tehát, a kisebb ablak-homlokzati fal aránnyal rendelkező vastagabb téglafalak, kevesebb nagyfrekvenciás sugárzást engednek a belső terekbe.

Településtervezési, vagy városszöveti okok is közrejátszanak a kétféle lakástípusban mért különbségekhez, ugyanis a bérházak a sűrű városszövetben egymáshoz közel helyezkednek el. Magasságuk körülbelül 25 méter. A panelházak tűzvédelmi szabályzatok miatt egymástól távolabb épültek, magasságuk 10 emeletes ház esetén eléri a 33 métert. Már Tomitsch és Dechant (2015) kutatása alapján ismert, hogy a mobil kommunikációs hálózatok teljesítménysűrűsége kisebb a földszinten és egyre nagyobb a második szinttől kezdve. Tehát minél magasabban levő lakásról van szó, az annál jobban ki van téve az adótorony fő sugárnyalábjának, amely nagyobb teljesítménysűrűséget eredményez. Ehhez hozzáadódik az, hogy a bérházak a sűrű városszövetben ritkán kapnak szemből közvetlen sugárnyalábot, az egymástól távolabb levő panelházaknál ellenben ez könnyebben előfordul.

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. Javasolt az elektromos hálózat földelésének meglétét ellenőrizni, illetve az egész hálózatot felújítani, főként a bérházak esetében. A falban lévő régi, nem használt vezetékeket célszerű megkeresni és eltávolítani. A lakóterén kívüli magas frekvenciás sugárzás csökkentésére javasolt legalább szintenként az egyedi tervezés.

4.1.2. A földelés szerepe az elektromos és mágneses tér értékében

Vizsgálatom során alacsony frekvenciás elektromos és mágneses terek tekintetében megállapítottam, hogy a régi téglabérházak régi, gyakran földelés nélküli vezetékei nagyobb elektromos és mágneses teret okoznak. Gyakran két eres MM falvezetékeket használtak ezekben a lakásokban a legtöbb falicsatlakozóhoz vagy lámpához, ami egyértelmű jele a földelés hiányának. A 4.4. táblázat három-három példát mutat be földelt és földelés nélküli 1946 előtti téglaházakban mért átlagos elektromos és mágneses térre. Jól látható elektromos térben a 3-10 szerez, a mágneses térben pedig a 2-4 szerez különbség. Megjegyzem, hogy a földelt lakásokban mért mágneses tér még a szigorú épületbiológiai határértékeknek is megfelel.

4.4. táblázat Példák földelés nélküli és földelt lakások elektromos és mágneses terére

| | Helyszín | mágneses tér | elektromos tér |
|--------------------|-------------------|---------------------|-----------------------|
| Nem földelt | Dohány u 84 | 77-157 nT | 68-88 V/m |
| | Bródy Sándor u 36 | 45-90 nT | 56-116 V/m |
| | Bródy Sándor u 17 | 33-40 nT | 98-150 V/m |
| Földelt | Hunyadi tér 1 | 18-28 nT | 23-33 V/m |
| | Zoltán utca | 20-21 nT | 5,1-6,1 V/m |
| | Garay tér 11 | 19-26 nT | 19-29 V/m |

Az elektromos és mágneses tér alacsonyan tartásához elengedhetetlen tehát a jól földelt elektromos hálózat – ahol a földelésen nem folyhat áram. Ebben az esetben ugyanis a mágneses tér szinte kioltja magát az egymáshoz közel fekvő vezetékpárban, mert az „előremenő és a „visszatérő” áram megegyezik. Azonban, ha a földelésen is fut feszültség (pl.: TN-C rendszerek), és ha a földelés a fűtés, vagy vízvezeték hálózathoz van kötve, akkor kóboráram alakulhat ki, és a vezetékpárban nem egyenlő nagyságú feszültség fut, ami miatt megnő a mágneses tér. Ezekben az esetekben a fűtés vagy vízvezetékek közelében 300-600nT teret lehet mérni.

4.1.3. A villamos hálózat felújításából kapott eredmények

Régi villamos hálózat felújításával kapcsolatban két helyszínen végeztem méréseket, melyek bár méretben és helyszínen eléggé eltértek, de végeredményben nagyon hasonlóak egymáshoz. Az egyik egy 16 szobás kollégium épülete Leuvenben (Belgium), amiből 12-öt 2013-ban mértem fel, majd 2015ben felújították az elektromos hálózatot korszerű MBCU 3eres vezetékek használatával. Ez után a második felmérés 2017ben történt.

4.5. táblázat Kollégium szobáinak elektromágneses felmérési adatai elektromos hálózat felújítása előtt és után

| Szoba szám | Emelet | 2013.01.13 | | | 2017.06.25 vasárnap délelőtt | | | Elektromos tér | | Mágneses tér |
|---------------------|--------|------------|--------------|----|------------------------------|--------------|----|----------------|--------------|-----------------|
| | | V/m max | Jell main | nT | V/m max | Jell main | nT | max | Jell main | |
| 11 | 0,5 | 71 | 6,2 | 21 | 5 | 1,6 | 18 | 7% | 26% | 86% |
| 12 | 0,5 | 13 | 4,7 | 21 | 10 | 6,2 | 21 | 77% | 132% | 100% |
| 13 | 1 | 119 | 23 | 82 | 39 | 4,8 | 69 | 33% | 21% | 84% |
| 14 | 1 | 51 | 18 | 72 | 34 | 7,9 | 56 | 67% | 44% | 78% |
| 15 | 1 | 65 | 27,7 | 61 | 14 | 8,1 | 57 | 22% | 29% | 93% |
| 21 | 1,5 | | | | | | | | | |
| 22 | 1,5 | 38 | 9 | 30 | 11 | 2,5 | 33 | 29% | 28% | 110% |
| 23 | 2 | 43 | 15 | 44 | 6,3 | 3,6 | 46 | 15% | 24% | 105% |
| 24 | 2 | | | | | | | | | |
| 25 | 2 | 89 | 45 | 36 | 34 | 7,7 | 34 | 38% | 17% | 94% |
| 31 | 2,5 | | | | 14,9 | 11 | 46 | | | |
| 32 | 2,5 | | | | | | | | | |
| 33 | 3 | 15,2 | 10 | 25 | 21 | 8 | 33 | 138% | 80% | 132% |
| 34 | 3 | 53 | 23,5 | 39 | 25 | 5,6 | 31 | 47% | 24% | 79% |
| 35 | 3 | 62 | 30 | 23 | 36 | 4,4 | 24 | 58% | 15% | 104% |
| 36 | 3,5 | 14,4 | 3,1 | 17 | 13 | 1,1 | 19 | 90% | 35% | 112% |
| Átlagosan | | | | | | | | 52% | 40% | 98% |
| százalékra csökkent | | | | | | | | | | |

A másik egy garzonlakás felújítás előtti (2015) és utáni (2017) állapot felmérésének összehasonlítása. Mind két esetben a maximális elektromos tér az első felméréshez képest 50% körüli értékre, a jellemző érték 40% körüli értékre esett, a mágneses tér a kollégiumban átlagosan közel azonos maradt, a garzonlakásban közel 80%-ra csökkent a felújítás következtében (4.6. táblázat).

4.6. táblázat Garzon lakás elektromágneses felmérési adatai elektromos hálózat felújítása előtt és után

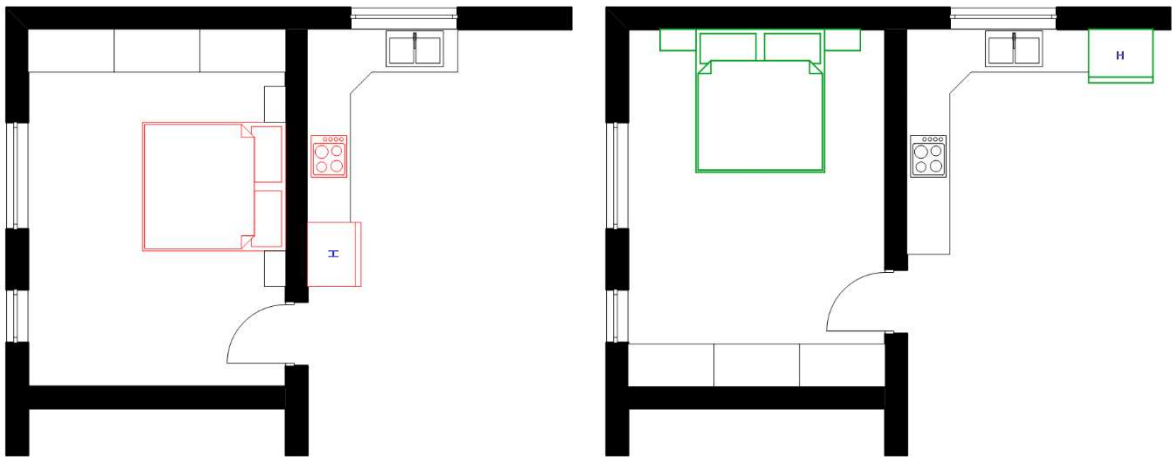
| | Mérés 2015-ben | | | Mérés 2017-ben | | | Hányad | | Mágneses |
|-----------|----------------|------|----|----------------|------|----|------------|------|----------|
| | Max | Jell | | Max | Jell | | Elektromos | | |
| | V/m | V/m | nT | V/m | V/m | nT | Max | Jell | |
| Háló rész | 33 | 12,3 | 46 | 6 | 4,5 | 38 | 18% | 37% | 83% |
| Nappali | 50 | 26 | 47 | 27 | 3,5 | 39 | 54% | 13% | 83% |

Mérések során szembesültem azzal a ténnyel, hogy nem mindegy, milyen állásban van csatlakoztatva a hálózati csatlakozó a konnektorba. Egy asztali vagy éjjeli lámpánál az „egyik” állásban csatlakoztatott készülék 200V/m, míg megfordítva 600V/m elektromágneses sugárzás volt mérhető! Egy másik falra szerelhető olvasólámpánál, ahol a trafó a konnektorba csatlakozott és nem volt egybeépítve a lámpával a lámpánál 124 illetve 85 V/m volt mérhető a dugó két különböző állásától függően. A jelenség minden lakásban tapasztalható volt a fém szerkezetű lámpáknál. A jelenség után kutatva az interneten egy minőségi-zene kedvelő HiFi oldalon találtam és érdekesség képpen idézem az alábbi jelenség leírását, miszerint „korábban megszokott hangok tűntek el anélkül, hogy a sztereókép, a magas vagy a mélytartomány feltűnően sérült volna”. Az illető hosszas gondolkozás és keresgélés után rájött, hogy az erősítő tápkábelét fordítva csatlakoztatva a probléma megszűnt. Nem véletlenül nem lehet „fordítva” bedugni az eszközöket egyes országokban. Nálunk Magyarországon a 13 betűvel (A-M-ig) jelzett csatlakozó típusból az F típusú csatlakozót használjuk. A 13 típusból mindössze 3 típusnál cserélhető fel, vagy inkább „mindegy” hogy hogyan dugjuk a csatlakozót a konnektorba, a többi 10 típusnál vagy a kiálló földelés lába, vagy a háromszög kialakítás határozza meg, hogyan dugjuk be a csatlakozót. Célszerű lenne hazánkban szabványt módosítani és fixen egy állásban csatlakoztatható hálózati csatlakozót alkalmazni.

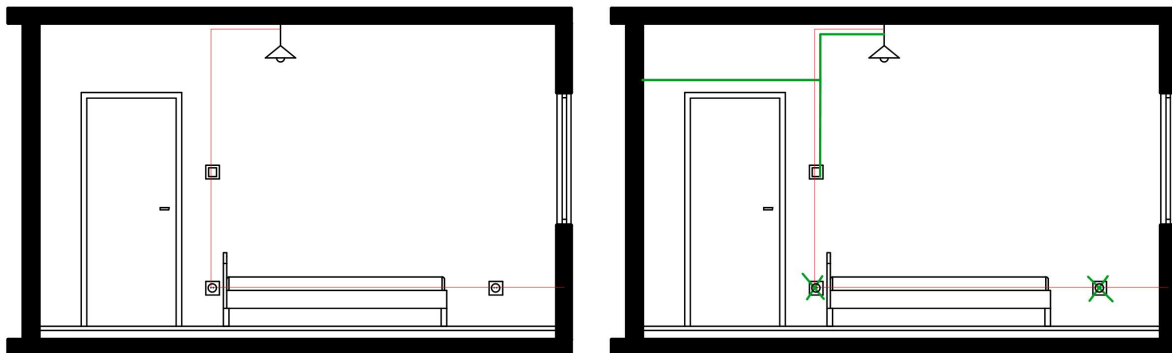
A belső sugárzás forrásokat tehát már a tervezés fázisában elektromos és mágneses tér szempontjából is átgondoltan kell kezelni. Mivel az alacsony frekvenciás mágneses tér ellen a leghatékonyabb védekezés a távolság tartás, ezért javasolt az elektromos bekötések, kapcsolószekrények helyét a hálósoba funkciótól a lehető legmesszebb tartani, és semmi esetre sem közös falban elhelyezni. Az elektromos berendezésekkel koncentrált helyiségektől (konyha, nappali), a hálósobákat, azon belül is a pihenő funkciót, az elektromosan koncentrált helyektől el kell különíteni, ugyanis ezeken a helyeken az ember egy pontban viszonylag huzamosabb időt tölt mozdulatlanul. Elkülönítési megoldásra példát a 4.3. ábra és a 4.4. ábra mutat. Célszerű az ágy felőli falat az elektromos vezetékektől mentesíteni. A vezetékeket javasolt különösen a háló helyiségekben a mennyezet alatt fél méterrel vezetni és nem a padlótól nagyjából fél méterre – az ágy és az ülőbútorokkal egymagasságában – elhelyezni (4.5. ábra).



4.3. ábra Egy társasház egy lakásának alaprajza. Bal oldalon a meglévő állapot alaprajza és fényképe, jobb oldalon a javasolt elrendezés alaprajza (a tükrözést nem figyelembe véve).



4.4. ábra Egy lakás hálószobájának és konyhájának felméréskori elrendezése és javasolt elrendezése (pusztán a hűtő áthelyezésével is csökken az éjszakai elektromos és mágneses tér).



4.5. ábra Bal oldalon egy hálószoba elrendezése felméréskor (vezeték az ágy magasságában), jobb oldalon a javasolt elrendezés (vezeték a mennyezet alatt).

Társasházak tervezésénél figyelni kell a lakóegységek vertikális és horizontális sorolásából adódó kölcsönhatásokra is. Szintenként azonos alaprajzú elrendezés esetén az áthallás elkerülése érdekében a lakóegység tükrözött egymás mellé sorolása – azaz, hogy szomszédos lakások nappalija a nappali mellé, a háló a háló mellé kerüljön – az elektromágneses terek szempontjából is kedvezőbb megoldás. Az elektromos bekötéseket, strangokat, és az elektromos kapcsolók helyét célszerű a háló helyiségektől távol tartani (4.3. ábra).

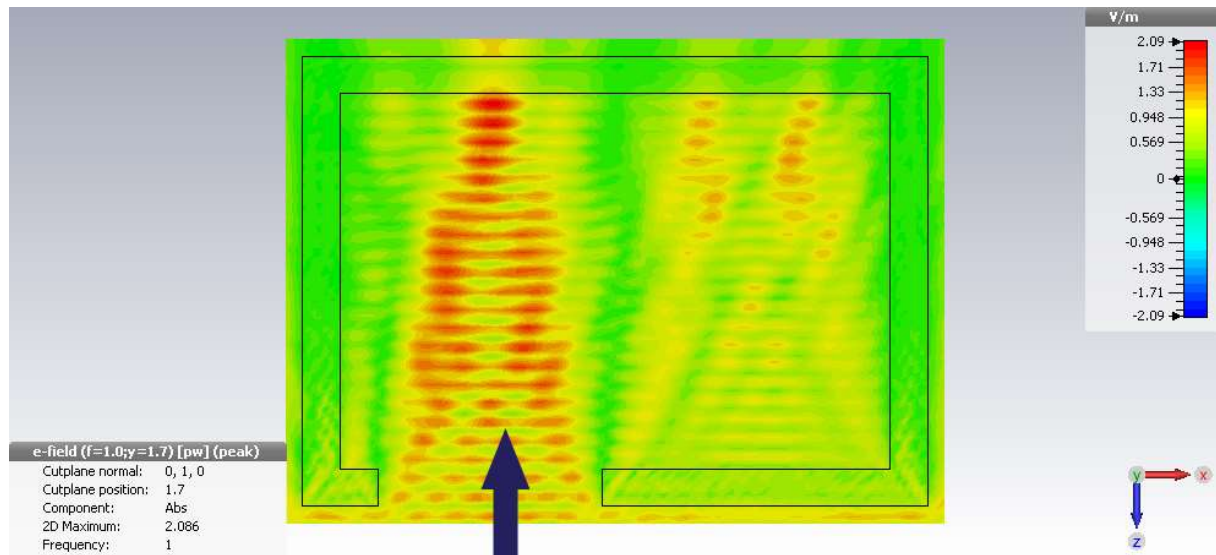
Nagyon fontos kérdés az elektromos rendszerek épületbe telepített transzformátor állomásainak, az elektromos kábelek épületcsatlakozásainak, a ház és a lakások kapcsolószekrényeinek, a mérőóra szekrényeknek, biztosíték tábláknak a helye. Ezek a hálószobákkal, nappali szobákkal ne legyenek szomszédosak, ne helyezkedjenek el azok alatt vagy felett.

4.2. Az építészeti nyílások hatása a beltéri elektromágneses terekre

4.2.1. Ideális ablak pozíció és ablakosztás

Az ablakok helyének vizsgálatával (Vizi 2015c) az volt a célom, hogy összefüggést keressek a nyílások száma, mérete, helye, valamint a beltéri elektromágneses sugárzás erőssége között. A vizsgálat során a következő négyféle ablaknyílás méretet teteleztem fel: egy ablak esetén 180/150 cm, két ablak esetén 2x90/150 között 30 cm falsávval, illetve 60/150+120/150 közte szintén 30 cm falsávval, három ablak esetén 3x60/150 közte általában 2x30 cm falsávval. Az egyszárnyú ablak helyzetét az oldalfaltól 30 cm-ről indítva 10 cm-es lépésekben mozgattam a fal középső tengelyéig. A további eseteket az oldalfaltól 30 cm-re és a középtengelyben vizsgáltam. Az ablakok parapet magassága mindig a megszokott 90 cm volt, de szeretném megjegyezni, hogy a várakozásaim ellenére, amikor a parapet magasságot 70 cm-re csökkentettem a 180/150-es ablak esetében, amikor az középen helyezkedett el, a térerősség maximum értéke az 50 cm-es vizsgálati magasságban lecsökkent. Ez is mutatja, hogy a hulláminterferencia jelenség miatt az egyszerű hétköznapi logikai gondolkodás nem feltétlenül adja meg a helyes választ.

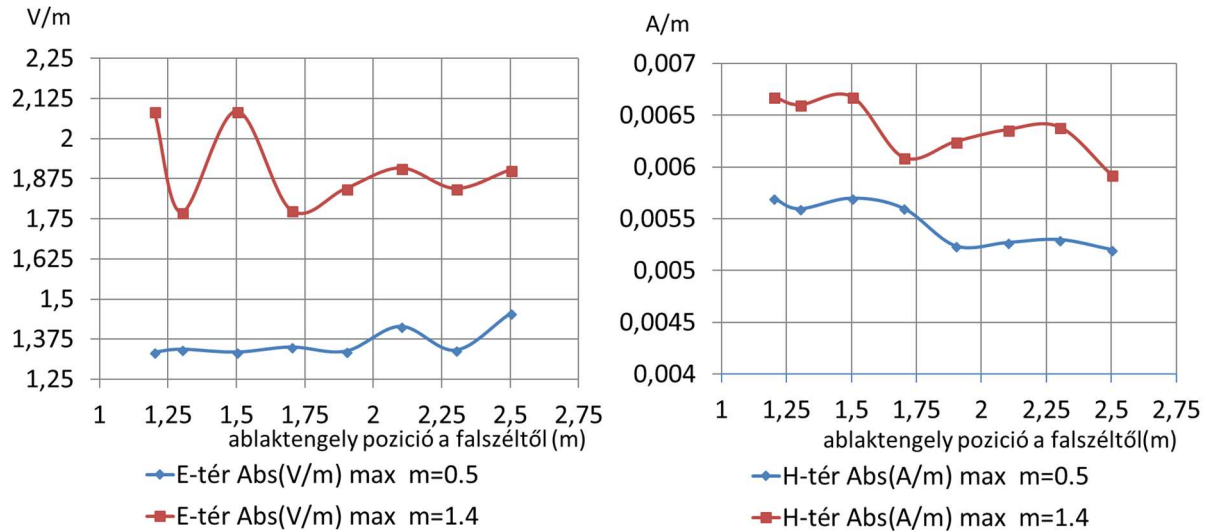
A következő szimuláció sorozatban, a homlokzati falban elhelyezett egyszárnyú ablak vizsgálatát végeztem el. Az ablak méretét 1,80 x 1,50m (szélesség x magasság) értékkel vettem fel, helye pedig a bal oldali belső faltól 30 cm-re volt. Az eredményt a 4.6. ábra tartalmazza. Az ablaknyílás hatására a belső tér korábbi egyenletes eloszlása megváltozik, a nyílások mögött koncentrálttá válik, és a belső tér elektromágneses szintje megemelkedik. A szimulációs értékek mind az elektromos, mind a mágneses tér esetében akkor voltak maximálisak, amikor a besugárzás a homlokzati falra merőlegesen történt, ezért a disszertációm további részében a besugárzás iránya szintén mindig merőleges a homlokzati falra, kivéve ott, ahol más besugárzási szög van említve.



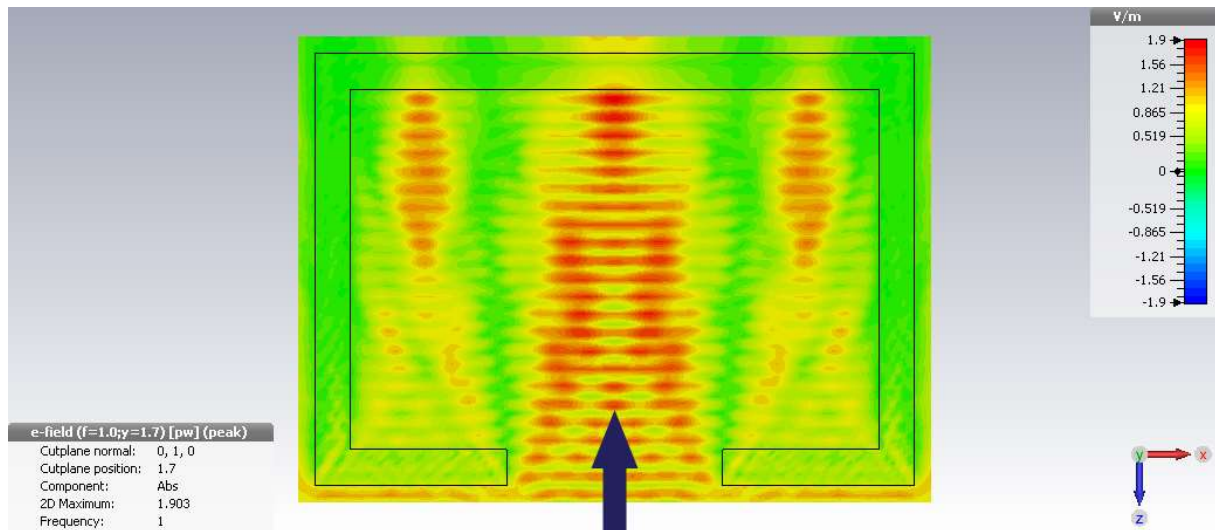
4.6. ábra Egyszerű 1,80 x 1,50m-es ablak, a bal faltól 30 cm-re. Az elektromos tér 1,4m-en merőleges besugárzásnál

Az ablakot ezután 10-20 cm-es lépésekben mozgattam a középpont felé, melynek eredményét a 4.7. ábra mutatja, ahol az x tengelyen az ablak tengely és a fal szélétől mért „A” távolságot (4.9. ábra) tüntettem fel. Az ablak mozgatása közben a nem lineáris oszcillálás finom csökkenése figyelhető meg a maximum elektromos (E) és mágneses (H) mezőben. A csökkenés azonban olyan kis mértékű, hogy az ablak helyzete gyakorlatilag nincs hatással a

beltéri elektromágneses tér maximum értékére. A 4.8. ábra mutatja az elektromos tér eloszlását abban az esetben, amikor az ablak közepén van. Ez a mintázat nagyan hasonlít a 4.6. ábra mintázatára, még akkor is, ha a középső ablakállásban alacsonyabb az elektromágneses tér értékének maximuma. Az egyszárnyú ablakok különböző elhelyezkedése esetén az elektromos és mágneses tér maximumainak értékét a 4.7. táblázat mutatja.



4.7. ábra Maximum tér értékek az ablak helyzetének függvényében: E tér (balra) és H tér (jobbra).

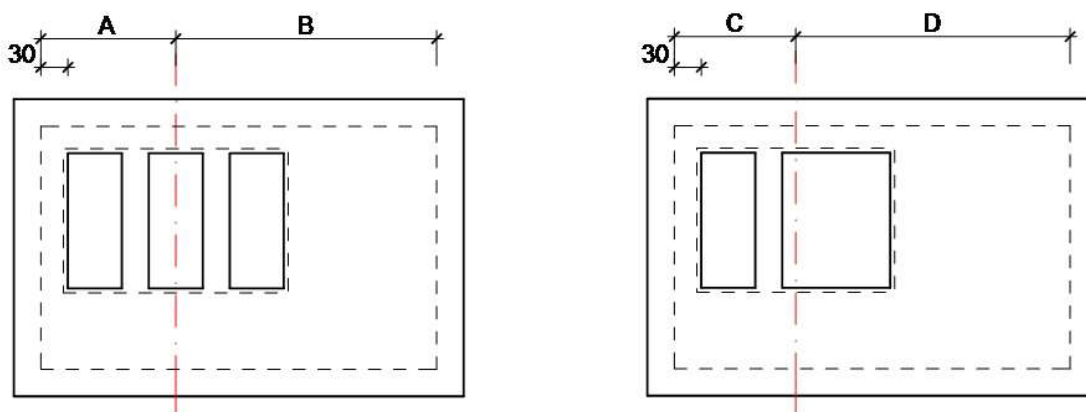


4.8. ábra Az E tér eloszlása 1.4 m magasságban, amikor az ablak közepén van és a besugárzás a homlokzati falra merőleges (vastag kék nyíl).

4.7. táblázat Az E és H terek értékei egyszárnyú ablak esetén, különböző ablakpozíciókban

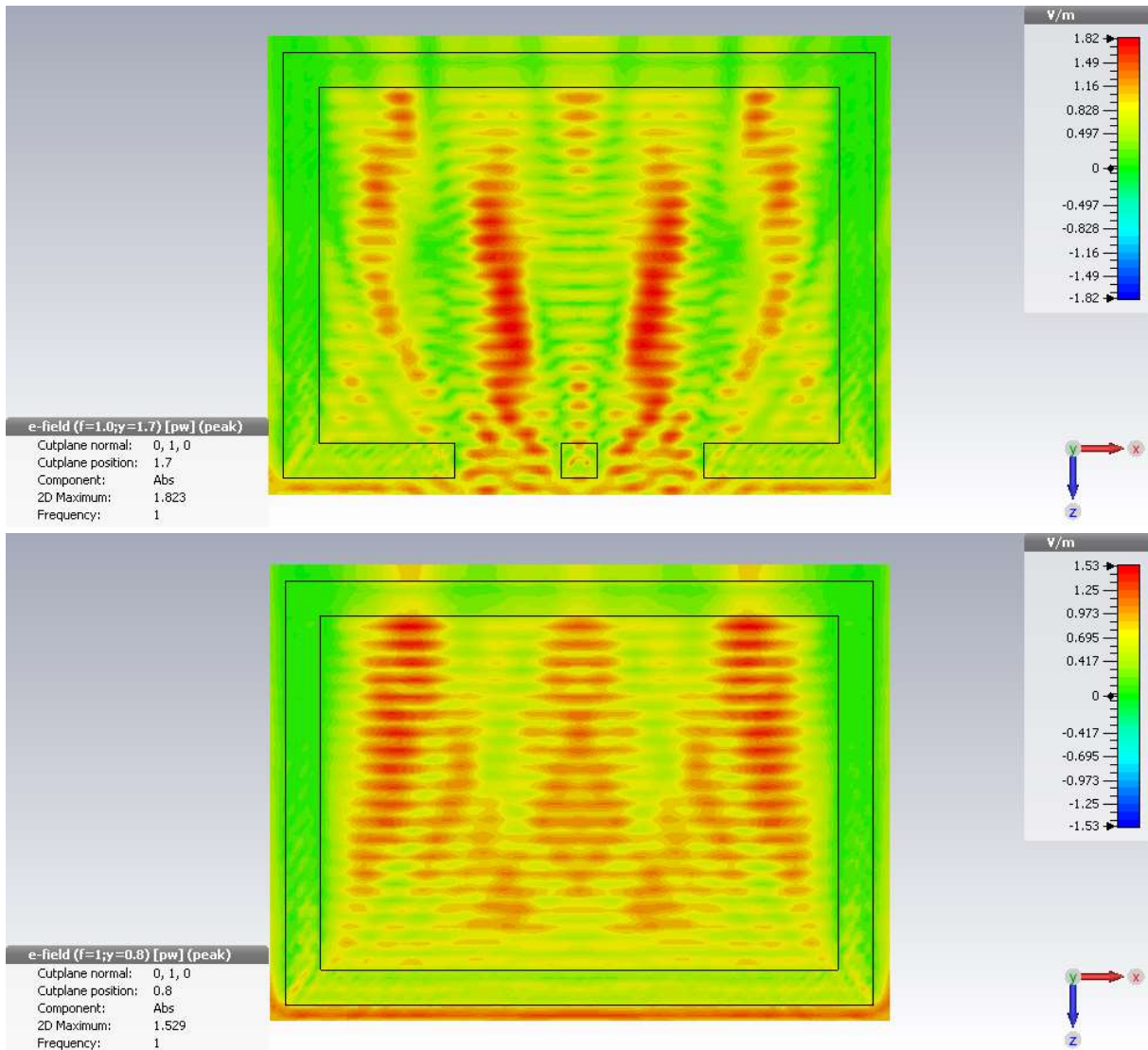
| | ablak nélkül | ablak szélétől 30 cm-re | ablak közepén |
|---------------------------|--------------|-------------------------|---------------|
| Besugárzási irány | Merőleges | Merőleges | Merőleges |
| Frekvencia | 1 GHz | 1 GHz | 1 GHz |
| Fal anyaga | Beton | Beton | Beton |
| E-tér Abs(V/m) max(m=0,5) | 1.293 | 1.343 | 1.455 |
| E-tér Abs(V/m) max(m=1,4) | 1.28 | 2,086 | 1.903 |
| H-tér Abs(A/m) max m=0.5 | 0.00497 | 0.0057 | 0.0052 |
| H-tér Abs(A/m) max m=1.4 | 0.0048 | 0.00668 | 0.00593 |

A vizsgálatok második sorozatában az előző vizsgálatnál meghatározott nyílás több kisebb nyílásra került szétbontásra úgy, hogy a nyílás teljes méretének összege ugyanaz maradjon. Két egyforma ablak esetében a méretek 90 x 150 cm, az egyenlőtlen méretű ablakok esetében 120x 150 plusz 60 x 150 cm. Abban az esetben, amikor három részre bontottam az ablakot, akkor 60 x 150 cm méretű volt mindhárom ablak. Két ablak közti faldarab minden esetben 30 cm volt. Néhány tipikus elrendezés homlokzati képét a 4.9. ábra mutatja. Ezeket az ablak-elrendezéseket kétféleképpen vizsgáltam: az első esetben az ablakcsoport a fal szélétől 30 cm-re, míg a másodikban a fal közepén helyezkedett el.

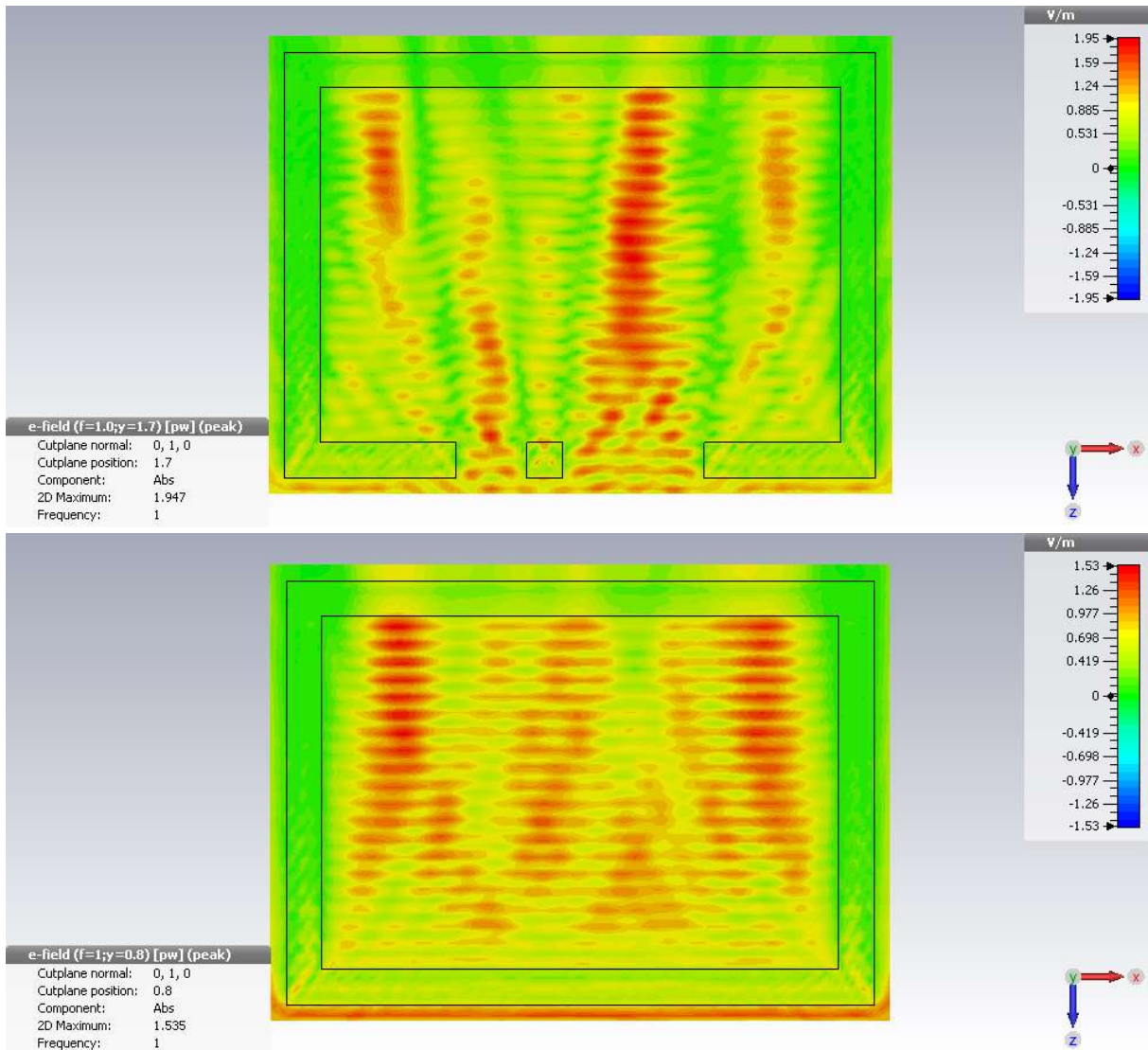


4.9. ábra Az ablakok elhelyezése és kialakítása. Az Ablak (csoport) közepé a piros tengelyvonallal van jelölve.

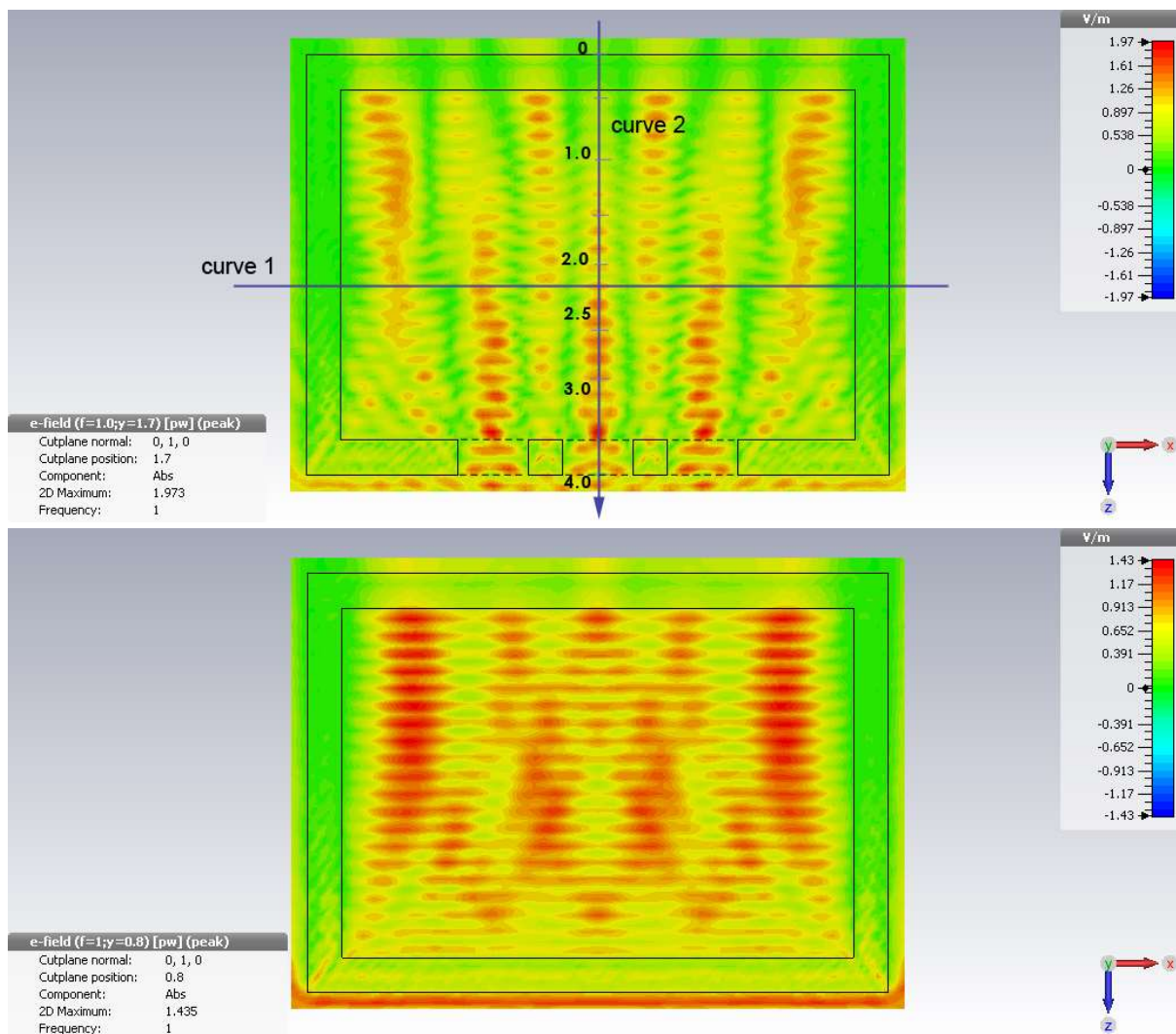
Abban az esetben, amikor az egyenlőtlen A fal szélétől 30 cm-re elhelyezkedő eltérő méretű ablakok esetében, a kisebb és a nagyobb ablakokat az első szimuláció után megcseréltem és az épületet újra számítottam (ld. 4.8. táblázat 5. és 7. eset). Az szimulációk eredményeit a 4.10. ábra - 4.12. ábra mutatja, az E- és H-terek maximumait pedig mind a 10 esetre nézve a 4.8. táblázat tartalmazza. Amikor az ablakcsoport a fal közepén helyezkedik el, azt a táblázatban „ablak közepén”-nel jelöltem. Ablak közepén kifejezést használom, ha az ablakcsoport vertikálisan a fal közepén helyezkedik el, azaz $A = B$ vagy $C = D$. A 4.14. ábra az eredményeket mutatja grafikonon. A ebből tisztán látszik, hogy az E-tér maximum értéke magasabb az eredeti egyszárnyú ablak esetén, vagy akkor, ha a kétfelé bontott ablakok közül a 120/150-es nyílás kerül a fal közelébe.



4.10. ábra E-tér 1,40 m magasságban (fent), és E-tér 0,5m magasságban (lent), 2 egyforma 90 x 150 cm-es ablak esetén

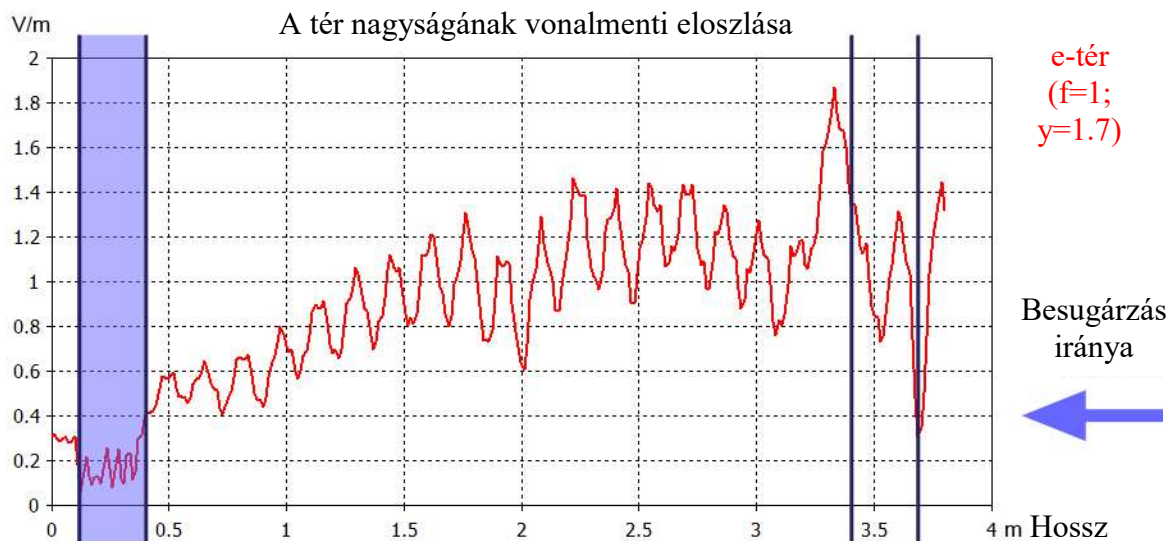
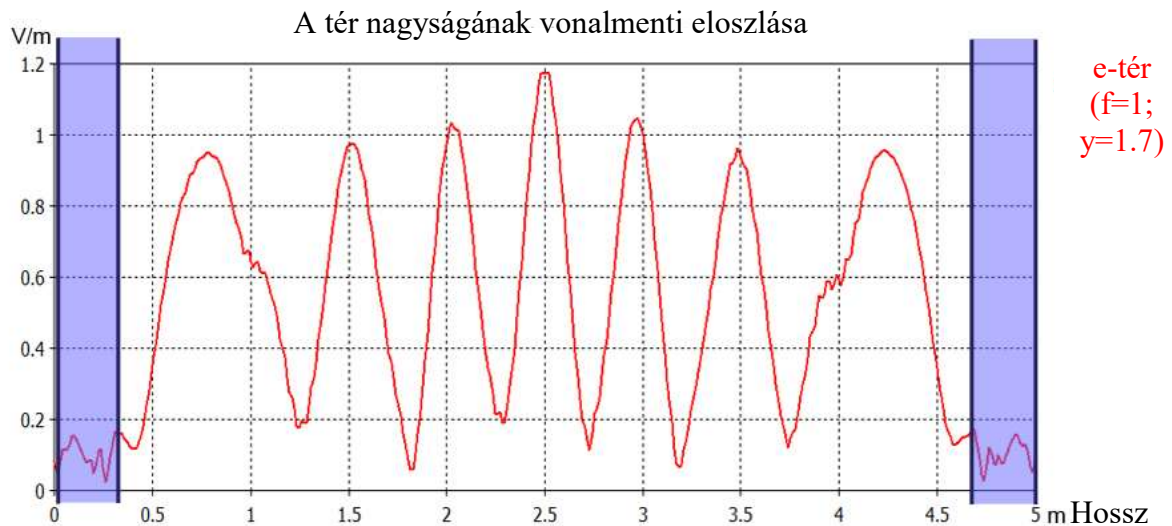


4.11. ábra E-tér 1,40 m-en (fent), és E-tér 0,5m-en (lent), 2 ablak eltérő mérettel: 60 cm x 150 cm és 120 cm x 150 cm.



4.12. ábra E-tér 1,40 m-en (fent), és E-tér 0,5m-en (lent), 3 egyforma méretű 60 x 150cm-es ablak esetén.

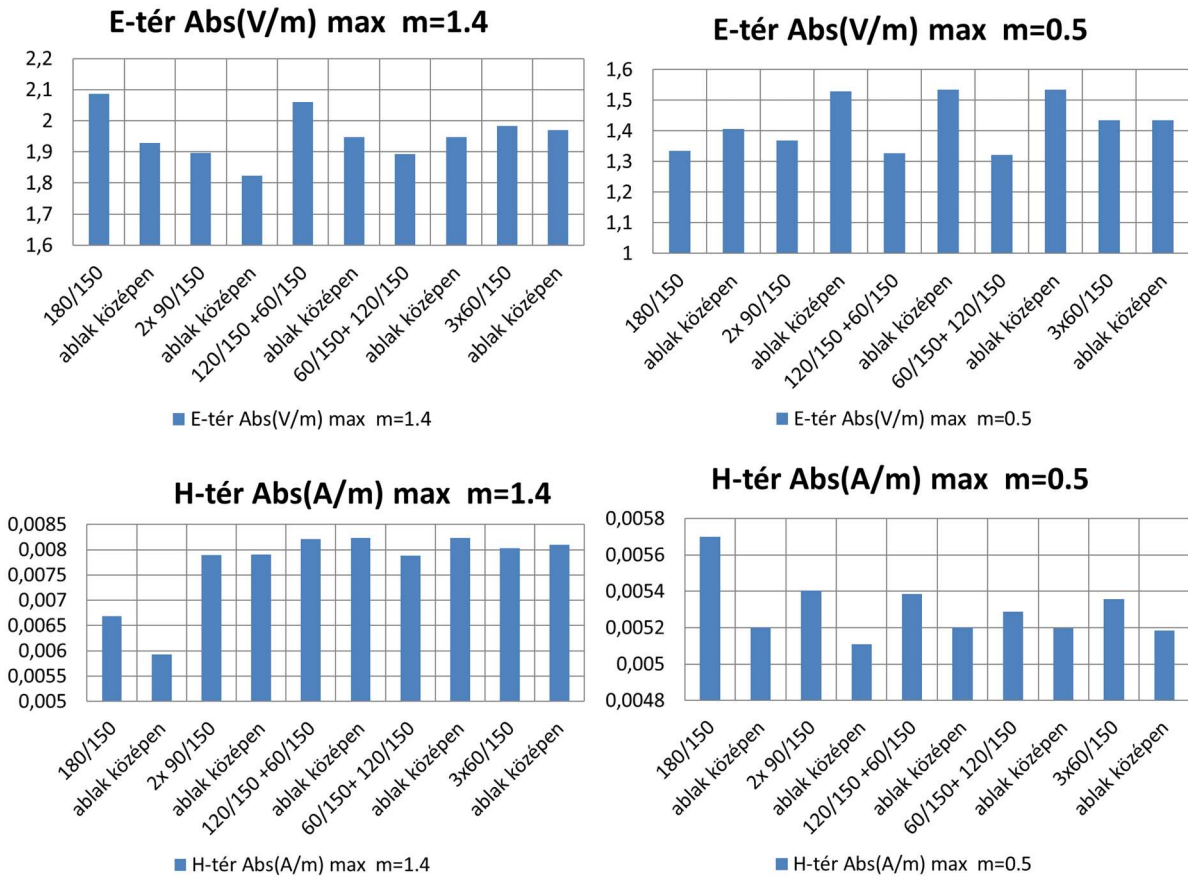
A 4.12. ábra 1-es és 2-es vonala mentén az E-tér nagysága látható, abban az esetben, amikor a homlokzati falon három egyenlő méretű ablak van. A függőleges vonal lefelé mutató nyílban végződik, amely az x-tengely irányát jelöli.



4.13. ábra Az E-tér nagyságának rajza az 1-es vonal (curve 1) mentén (fent) és a 2-es vonal (curve 2) mentén (lent).

4.8. táblázat Az E- és H-tér maximumának áttekintő táblázata a homlokzati falra merőleges besugárzás esetén.

| Abs(V/m) max | Ablakok összmérete 1.80 x 1.50 | | | | | | | | | |
|--------------|--------------------------------|--------------|-----------|---------------|-----------------|---------------|----------------|---------------|-----------|---------------|
| | 1 ablak | | 2 ablak | | | | | | 3 ablak | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Abs(A/m) max | 180/150 | ablak középe | 2x 90/150 | ablak középen | 120/150 +60/150 | ablak középen | 60/150+120/150 | ablak középen | 3x 60/150 | ablak középen |
| E-tér m=0.5 | 1,334 | 1,407 | 1,369 | 1,529 | 1,328 | 1,535 | 1,321 | 1,535 | 1,435 | 1,435 |
| E-tér m=1.4 | 2,086 | 1,929 | 1,896 | 1,823 | 2,06 | 1,947 | 1,893 | 1,947 | 1,984 | 1,97 |
| H-tér m=0.5 | 0,006 | 0,0052 | 0,0054 | 0,00511 | 0,005384 | 0,0052 | 0,005289 | 0,0052 | 0,005356 | 0,00518 |
| H-tér m=1.4 | 0,007 | 0,00593 | 0,0079 | 0,00791 | 0,008205 | 0,00823 | 0,007882 | 0,00823 | 0,008027 | 0,00809 |

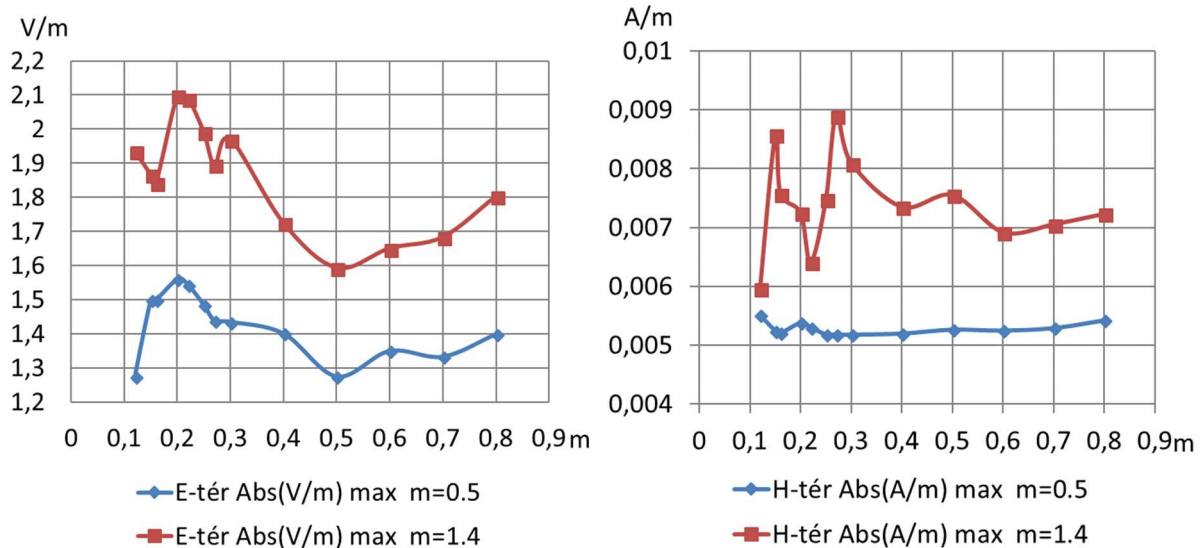


4.14. ábra E-tér értékek (fent) és H-tér értékek (lent) mind a 10 esetre.

A vizsgálati eredményekből levonható legnagyobb tanulság, hogy az E és H terek maximum szintjei nagyságrendileg azonosak maradnak az ablakok elrendezésétől függetlenül.

4.2.2. Ablakok közötti falszakaszok hatása

Az ablakok közti falszakasz szélességének hatását is vizsgáltam a három egyenlő szélességű részre osztott ablak esetében. A középső ablak a fal közepén helyezkedett el és az ablakok közti fal szélességét 6-tól 80 centiméterig növeltem. Az eredményt a 4.15. ábra mutatja, mellyen érzékelhető, hogy az elektromos és mágneses tér maximumok változása jelentős. A legkisebb értéket 50 cm-es falszélességnél kaptam, a legmagasabbat pedig abban a 20-30 cm-es szélesség tartományban, amely az építészeti gyakorlatban sokszor előfordul.



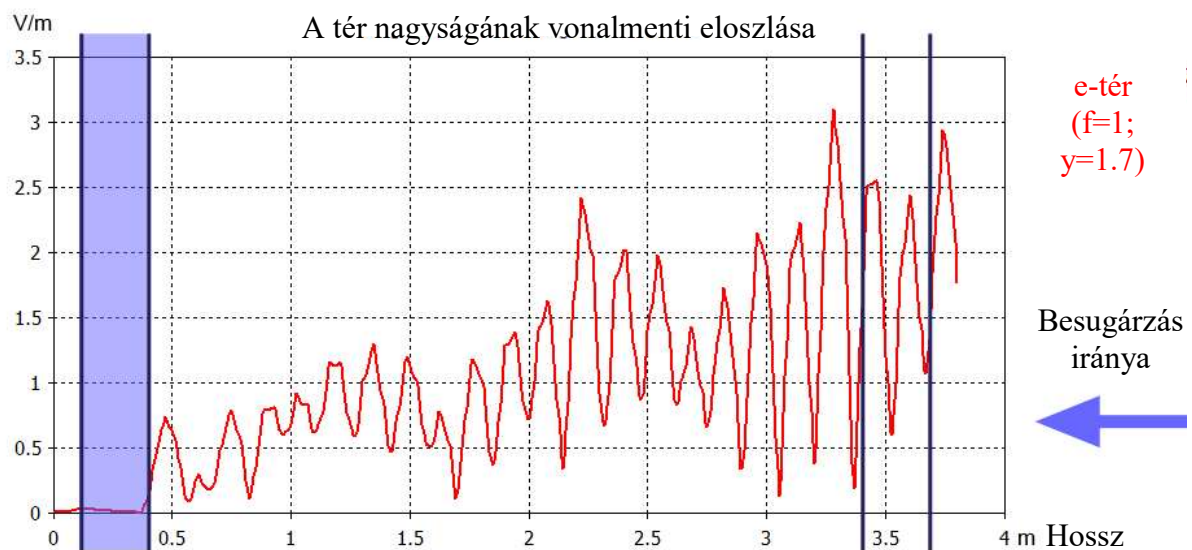
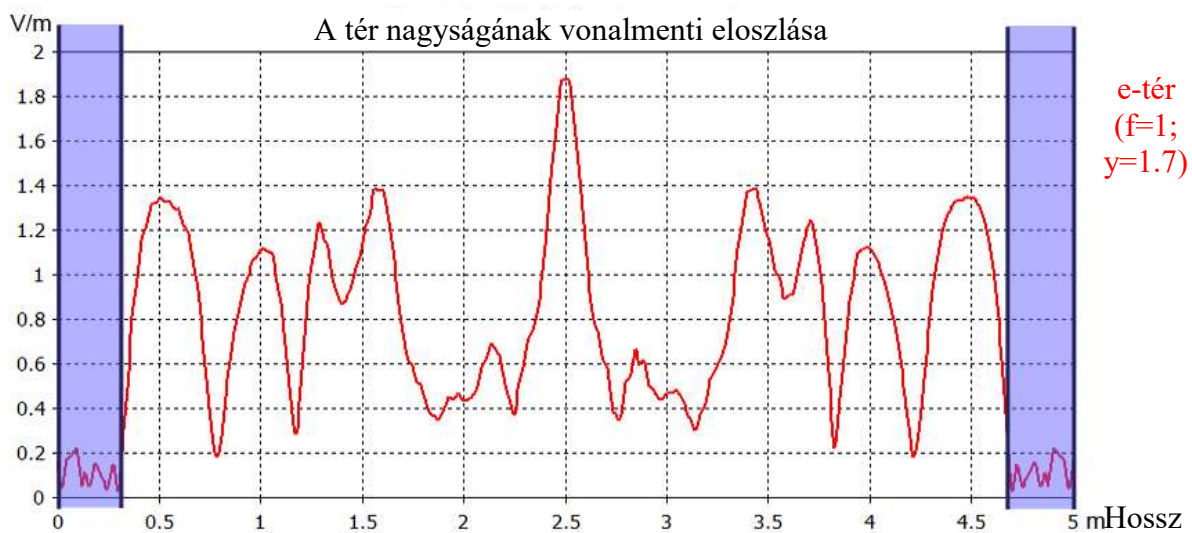
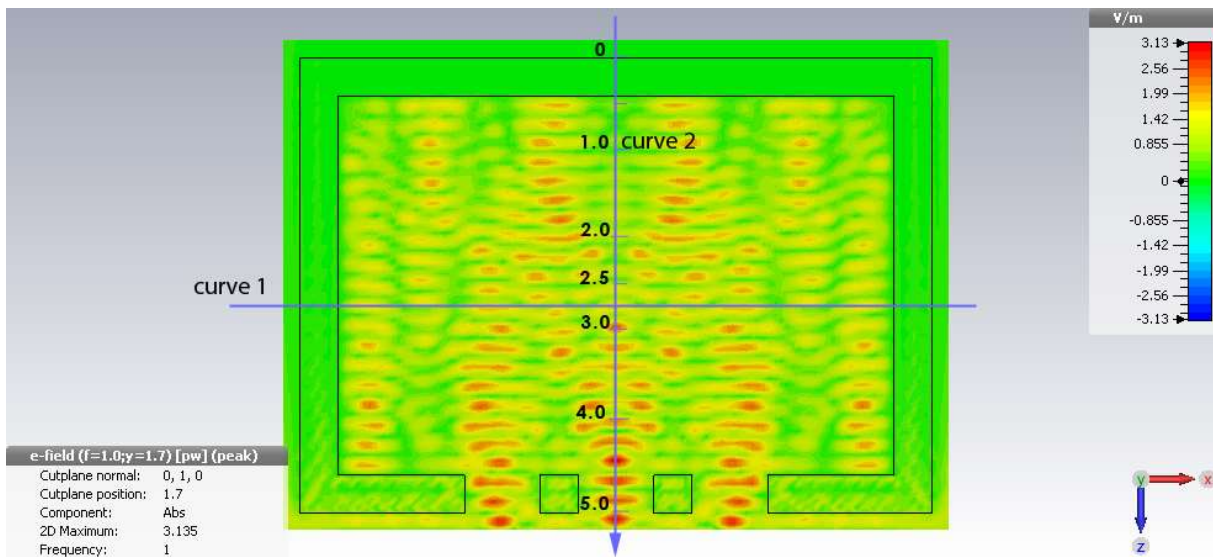
4.15. ábra Tér maximumok az ablakok közti fal szélességének függvényében: E-tér (balra) és H-tér (jobbra).

4.2.3. Belső elektromágneses árnyékolás használata

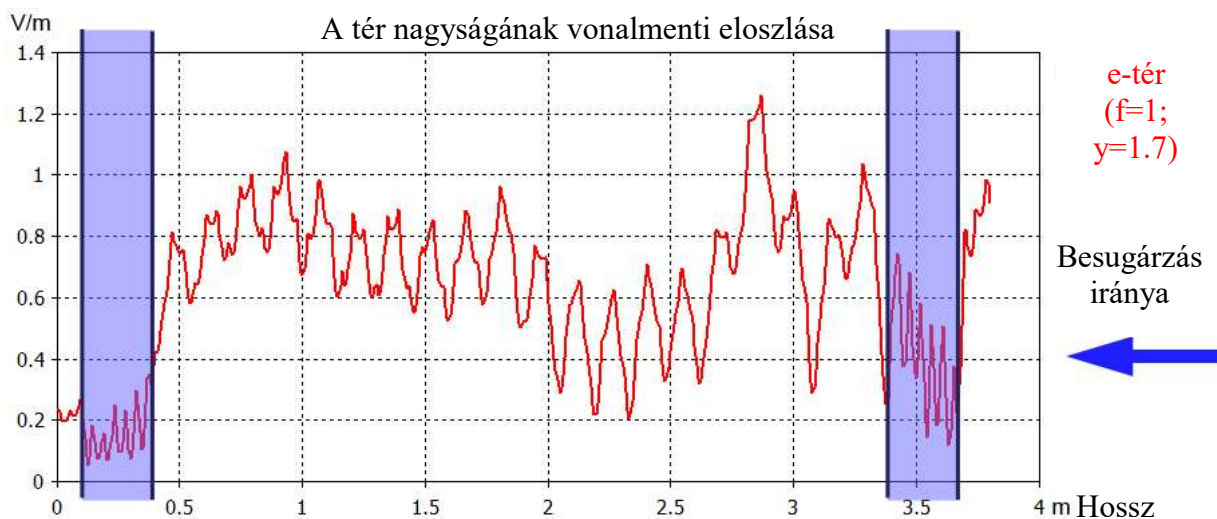
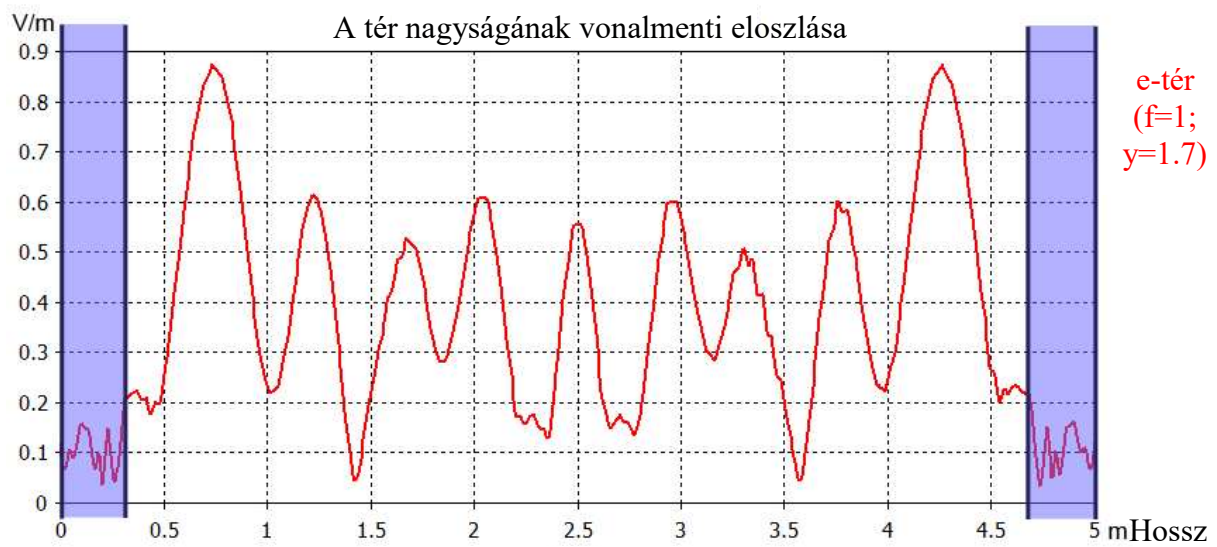
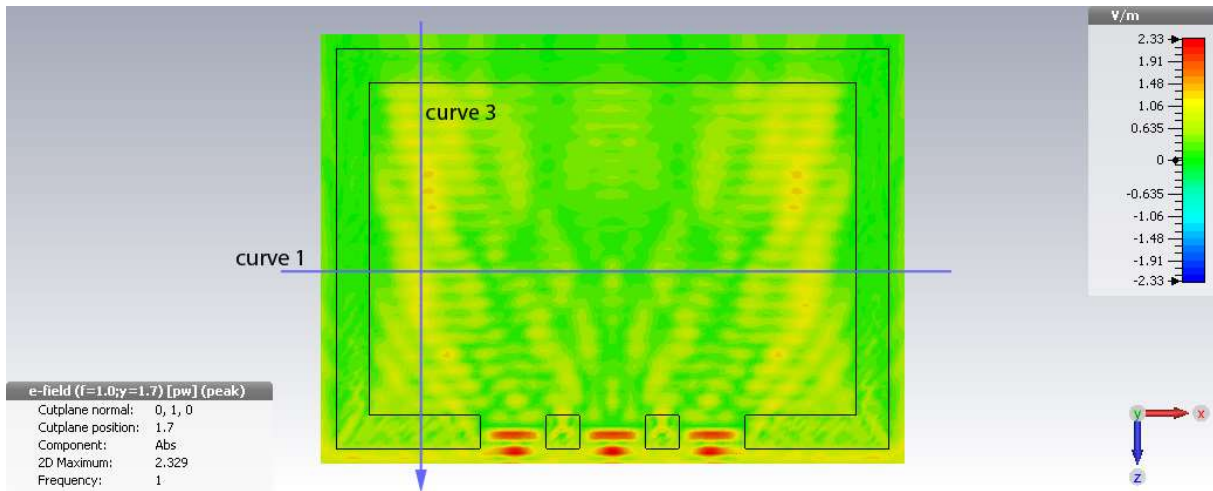
Olyan építőanyagok használatával, amely hatékonyan árnyékol, vagy valamilyen árnyékoló eljárás alkalmazásával - mint például árnyékoló festék használatával - lehetőség adódik a beltéri elektromágneses terek csökkentésére. Ahogyan az előző vizsgálati eredményekből is látható, az ablaknyílások olyan helyek, ahol az elektromágneses sugárzás a legkönnyebben behatol az épületbe, a hagyományos, nagy tömegű építőanyagokkal pedig csak a falak árnyékoló képességét növelhetjük. A kérdés tehát az, hogy melyik szerkezet árnyékolásával érhetjük el a legnagyobb hatékonyságot.

Az első szimulációban a három egyforma méretű ablakkal rendelkező épület falának belső oldalára 0,5 mm vastag réz került. Az ablakok nem voltak árnyékolva. Az eredményt a 4.16. ábra mutatja. A grafikon az elektromos tér nagyságát mutatja két egymásra merőleges egyenes mentén, a két kék vonal közötti kék kitöltés az épület falait jelöli, a két vonal kitöltés nélkül pedig az ablakot. Az eredmény első ránézésre teljesen váratlan: a legmagasabb érték ebben az esetben 3,13 V/m, azaz háromszor akkora, mint a besugárzási tér erőssége, és még az árnyékolatlan állapotnál (max. E-tér: 1,97V/m) is nagyobb! A magyarázat azonban kézenfekvő. Az árnyékoló réz réteg a szemközti falon újra és újra visszaveri az ablakon bejutó hullámokat, amelyek összeadódva interferálnak a bejövő hullámokkal, így produkálják a nagyobb maximum értéket.

A második szimuláció során, csak az ablakokat árnyékoltam. A szimulációban ugyanazt a 0,5 mm-es réz réteget használtam az ablak előtt a jobb összehasonlíthatóság érdekében (4.17. ábra), azonban ma már kaphatók erre a célra készült speciális transzparens árnyékoló fóliák (Holland Shielding). A 4.17. ábra felső képéről látható, hogy a magasabb belső elektromágneses értéket jelentő sárga foltok a fal mögé kerültek, így a 3. számú vonalat (curve 3) is ide vettem fel a falakon és nem az ablakon át.



4.16. ábra E-tér 1,40 m-en abban az esetben, ha csak a falak vannak árnyékolva (fent) E-tér nagysága az 1-es vonal (curve 1) mentén x-irányban (középen), E-tér nagysága a 2-es vonal mentén (curve2) z-irányban (lent).



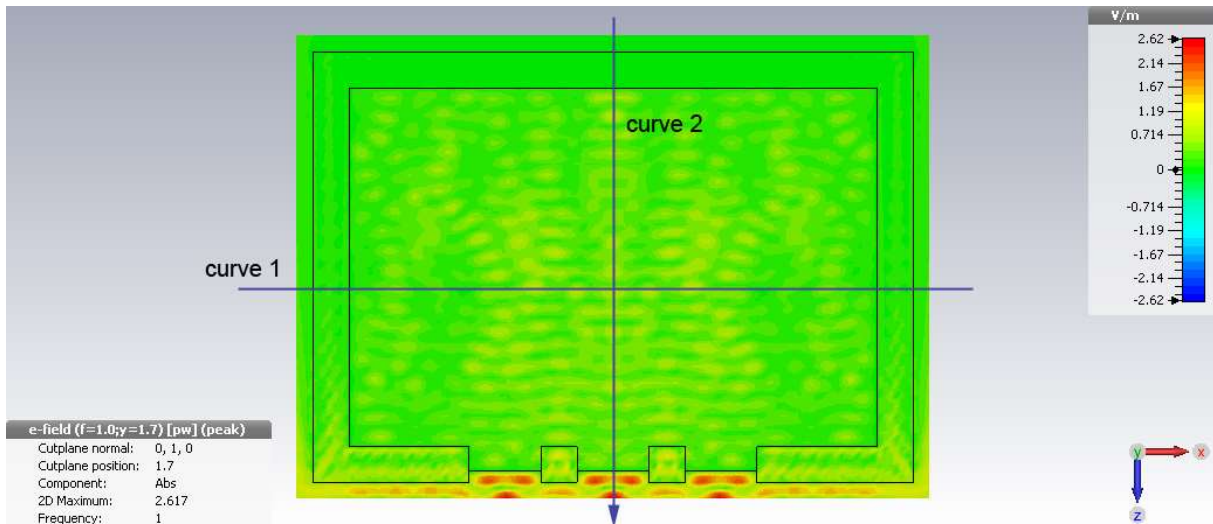
4.17. ábra E-tér 1.40 m-en abban az esetben, amikor csak az ablakok vannak árnyékolva (fent), E-tér nagysága az 1-es vonal (curve 1) mentén x-irányban (középen), E-tér nagysága a 3-as vonal mentén (curve 3) z-irányban (lent).

A 3 számú síkmetszet értékei a 4.17. ábra alsó részén láthatók. Megfigyelhető, hogy a belső elektromágneses térerősség nagysága a legtöbb helyen a besugárzási térerősség értéke alatt (1 V/m) marad, csupán néhány csúcsérték jelenik meg, de azok is 1,3 V/m alatt maradnak.

A sarkok a hullámok terjedési irányát eltérítik, és ezen hullámok összeadó interferenciája okozza a fal közelében kapott csúcsértékeket. Bár a belső elektromágneses tér értékei alacsonyabbak, mint az árnyékolatlan, vagy a fal árnyékolásakor kapott értékeknél, de a fal anyagának kis mértékű árnyékoló képessége miatt, még mindig a besugárzási érték közelében vannak. Az utóbbi két szimuláció arra enged következtetni, hogy az ablakok árnyékolása kulcsfontosságú, és tulajdonképpen hatékonyabb csak az ablakot, mint csak a falat árnyékolni.

A harmadik szimulációban a fal és az ablak is árnyékolásra került belülről 0,5 mm réz réteggel. Tökéletesen árnyékolt belső tér természetesen csak akkor érhető el, ha az ablakkeret és a szárnyak is fémből készülnek, valamint össze vannak kapcsolva a fal árnyékolásával és az üvegtáblák árnyékolásával is. Normál körülmények között az ablakkeret és szárny fából, vagy műanyagból készül, ami az árnyékolást tökéletlenné teszi. Ahhoz, hogy ezt a hiányosságot figyelembe vegyem a fal és az ablak árnyékolása között, a szimulációk során árnyékolás nélkül hagytam egy 10 cm-es szakaszt. Az eredményt a 4.18. ábra mutatja, melyen a beltérben halványabb, sárga foltok láthatók, ott ahol a tér érték magasabb a tökéletlen árnyékolás miatt. Ez a jelenség jól ismert az árnyékolt szobákban, vagy a Faraday-kalitka esetében, melyeket az EMC kutatási területén használnak. Magyarázata az, hogy a rések például az ablakok és a falak közti rések úgynevezett „rés antennákat” alkotnak, és sugároznak a belső térbe. Ennek kiküszöbölésére a reflexió mentes kamrákban és Faraday-kalitkáknál speciális vezető tömítéseket használnak. Jelen kutatásomban azonban nem tökéletesen árnyékolt szoba, hanem olyan helyiség létrehozása a célom, mely rendelkezik a szükségtelenül magas elektromágneses sugárzást csökkentő kialakítással. Nyilvánvaló, hogy a falak és a nyílások árnyékolásának együttes alkalmazása a leghatékonyabb módszer az elektromágneses sugárzás szintjének csökkentésére.

A fenti szimulációkból egyértelműen látható, hogy az ösztöneinkre nem hagyatkozhatunk az elektromágneses tér árnyékolásának esetében, mert a hullámjelenségek interferenciái és visszaverődései komplexek és nem várt eredményeket produkálnak. Ezért is van szükség műszeres vizsgálatokra és szimulációkra, valamint ennek a kutatásnak a folytatására.



4.18. ábra E-tér 1,40 m-en abban az esetben, amikor a falak és az ablakok is árnyékolva vannak (fent) - tér nagysága az 1-es vonal (curve 1) mentén x-irányban (középen), E-tér nagysága a 2-es vonal mentén (curve2) z-irányban (lent).

4.3. Épületet határoló szerkezetek hatása az elektromágneses terekre

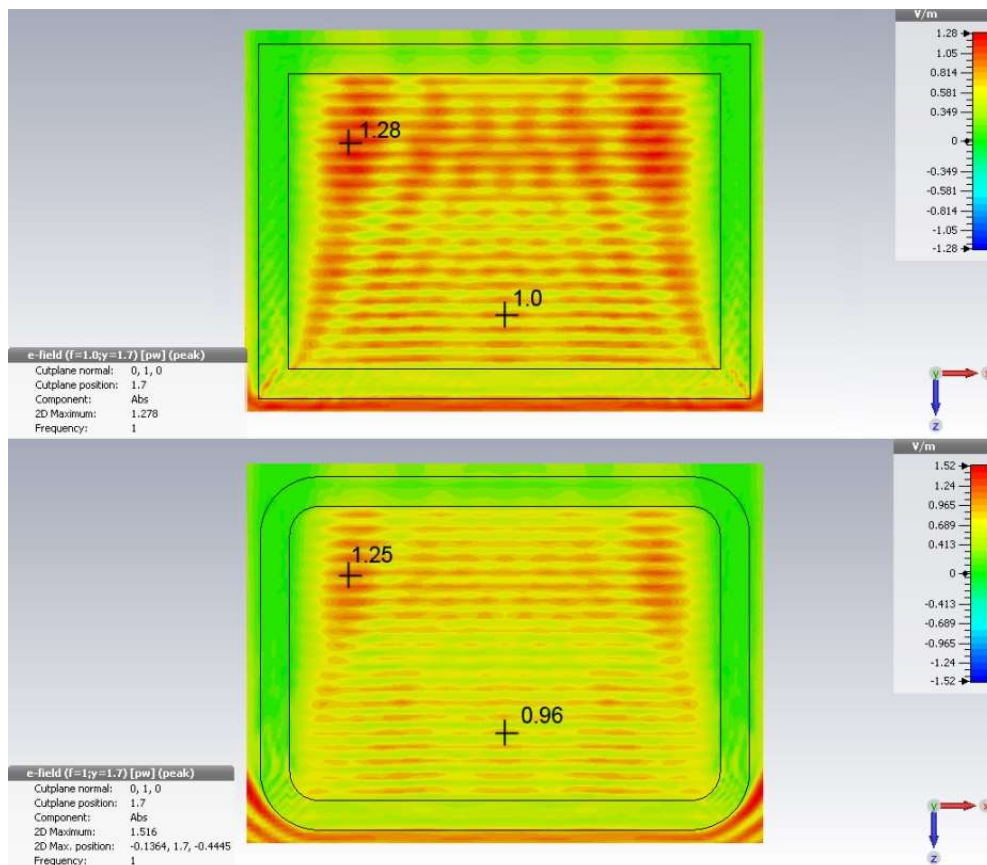
4.3.1. Az üregezonátor hatás

A referencia épület szimulációjának eredményét a 3.7. ábra mutatja. Megállapítható, hogy a különböző interferencia hatásoknak köszönhetően az elektromágneses tér erősségének mintázata eltér 1,4 és 0,5 m magasságban, noha a maximum értékek a két síkon (1,28 V/m 1,4m magasságban és 1,29 V/m 0,5m magasságban) szinte megegyeznek. Fontosnak tartom megjegyezni, hogy mindkét érték magasabb, mint az 1 V/m-es besugárzási érték. Ez figyelemre méltó, és azzal magyarázható, hogy bár a belső térben az átlagos elektromos tér erőssége nem nagyobb mint a bejövő térerősség és a mintázat eloszlása lényegében egyenletes, azonban a sarkok hatására az épületben kialakuló interferencia erősítési helyeket hoz létre melyeken egy kis környezetben a besugárzási értéktől magasabb értéket kapunk.

4.3.2. 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 megvizsgáljuk, a helyiség sarkait a falvastagsággal megegyező sugárral lekerekítettem. Az eredmény mintázatát a 4.19. ábra mutatja, mellyen látható, 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 (Vizi, 2015).

Választhatam volna nagyobb mértékű lekerekítést is, de az már a szoba alakjára is hatással lenne.

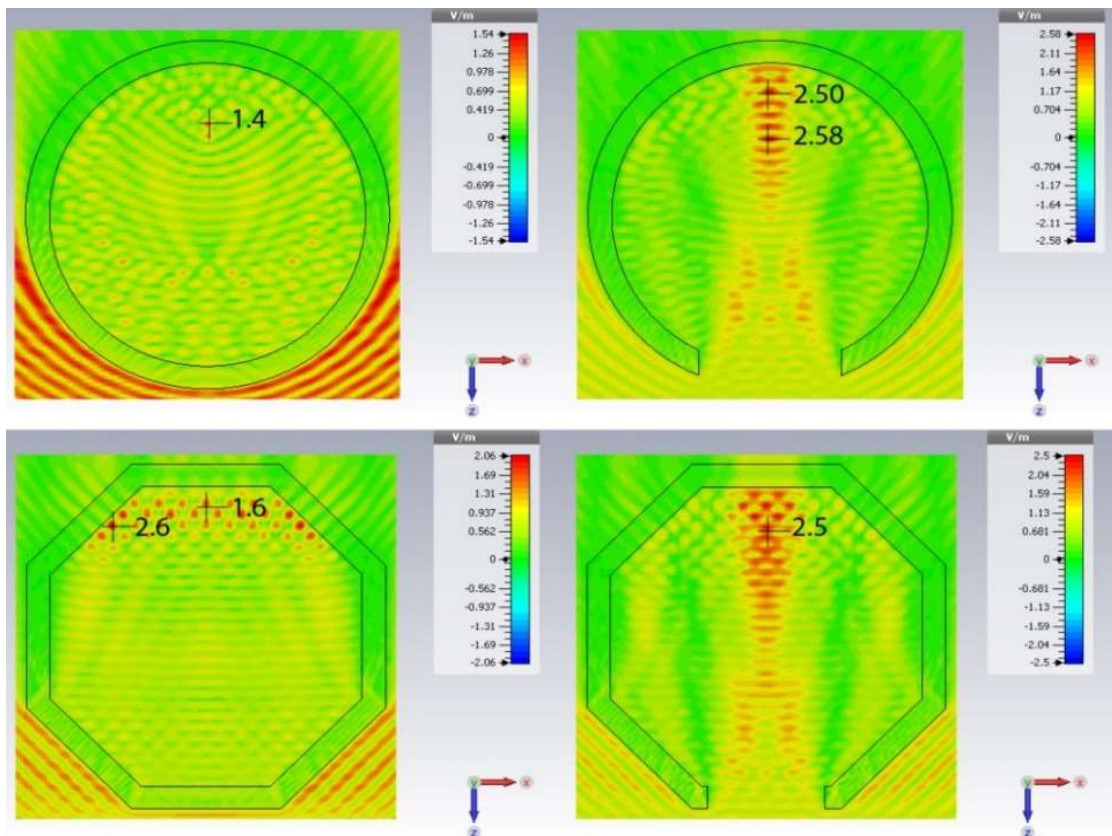


4.19. ábra Tér eloszlás és maximum értékek szögletes és lekerekített sarkok esetén.

A lekerekítés módszerét tovább gondolva elértem a kerek szobákhoz és a sokszögletű szobákhoz. A kerekítés hatása miatt egy már jól ismert jelenséget figyelhetünk meg: az elektromágneses hullámok egy pont felé koncentrálódnak, ahol elérik a belső térben a maximum értéküket (4.20. ábra). Ez természetesen a parabola antennáknál is alkalmazott jelenség, ahol ez hasznos tulajdonság. Érdekes megfigyelni a kültérben is a tiszta interferencia vonalakat. Az érkező hullámok interferálnak a visszaverődő hullámokkal, amelyek a henger alakú falat követő interferencia vonal mintázatot hoznak létre, és a beltérnél magasabb, a kiindulási sugárzás másfélszeresét elérő, 1,54 V/m-es elektromos tér erősséget hoznak létre.

A nyolcszögletű helyiségnél a legmagasabb érték belül a fal mellett mérhető: 2,06 V/m. Itt nem tapasztalható az előzőhöz hasonló koncentráló hatás, a visszaverődő hullámok több pontban pozitívan interferálnak.

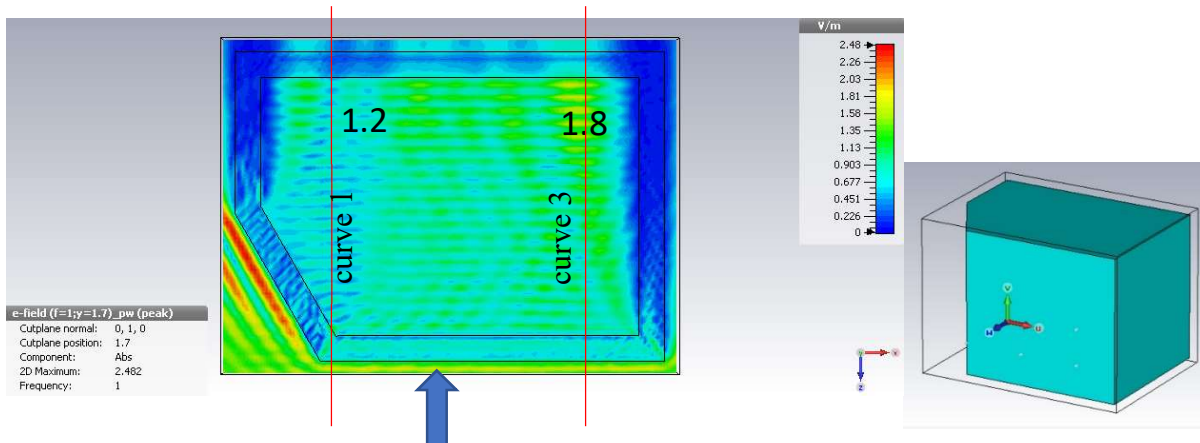
Ablak elhelyezésekor a nyíláson behatoló hullámok jól megfigyelhetők: a belső téri elektromos mező maximuma több mint kétszeresére emelkedik. Érdekes viszont azt is megfigyelni, hogy a magas mező értékek sávja nem azonos, hanem keskenyebb az ablak szélességénél. (4.20. ábra)



4.20. ábra Szabályos kör és nyolcszög alaprajzú helyiségek elektromos tere

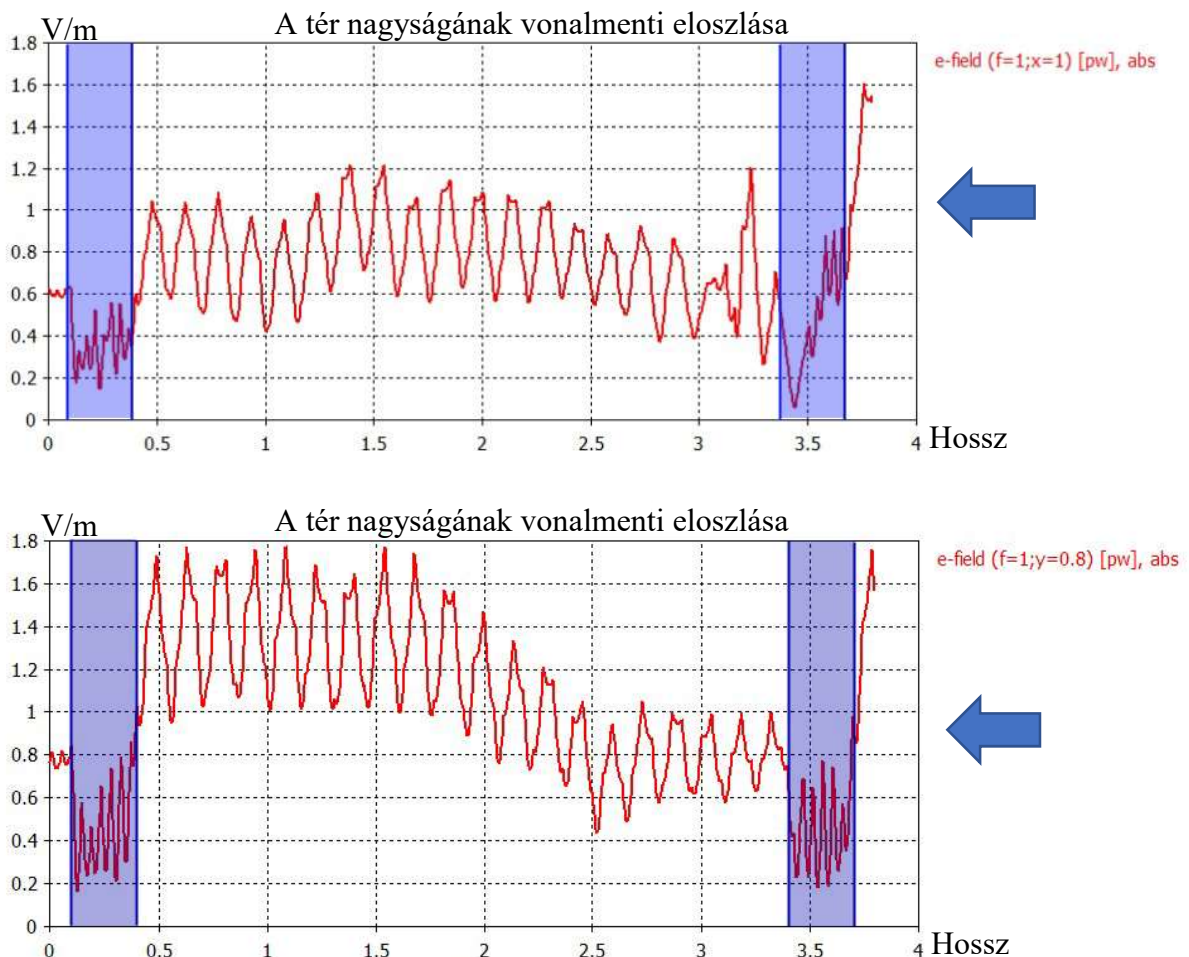
Ahogy azt az építészeti trendeknél bemutattam, a modern építészeti formálásban gyakori a hagyományos formák csonkolása, torzítása az íves, illetve torz felületek használata. A következő vizsgálatokat azzal a céllal készítettem, hogy a csonkolásoknak a hatását vizsgáljam.

Az első esetben a téglatest alakú alapépület bal oldalából vágtam le. A sarkot a falsaroktól 1 méterre csonkítottam le egy a 'z' tengellyel 30 fokos szöget bezáró fallal, ahogy ezt a 4.21. ábra mutatja.



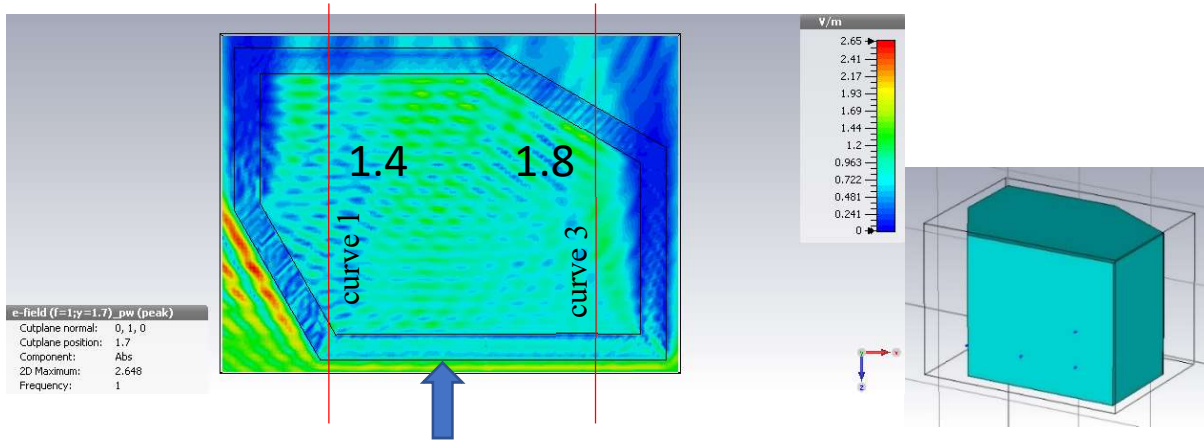
4.21. ábra Bal oldalon lesarkított épület alaprajzi téreloszlása az egyenes mentén mérhető legmagasabb tér értékkel (balra), és tömeg képe (jobbra)

Az alaprajzi ábráról és a 4.22. ábra grafikonjain is jól látható a belső térben kialakult tér torzulás. A lesarkított oldal mögött alacsonyabb, a túoldalalon magasabb tér értékek alakulnak ki a reflexióknak köszönhetően.

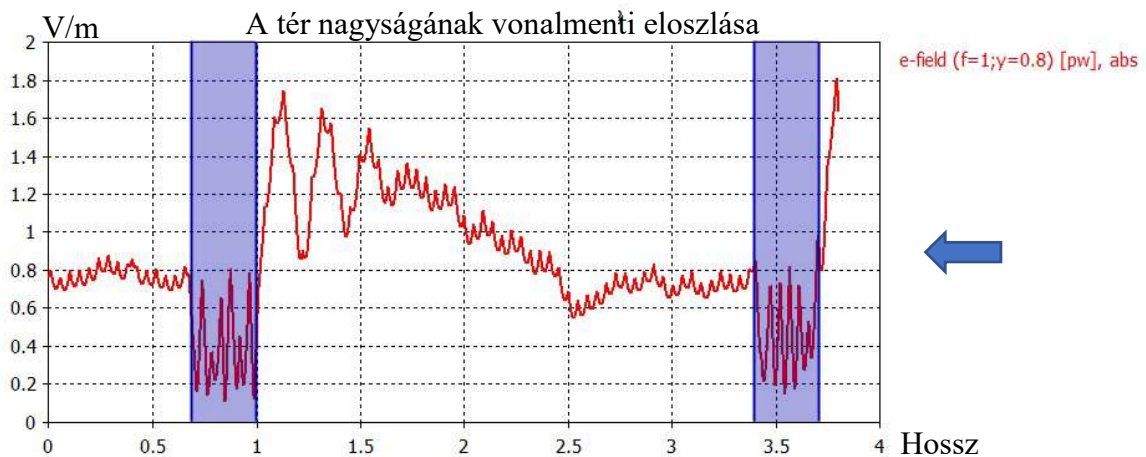
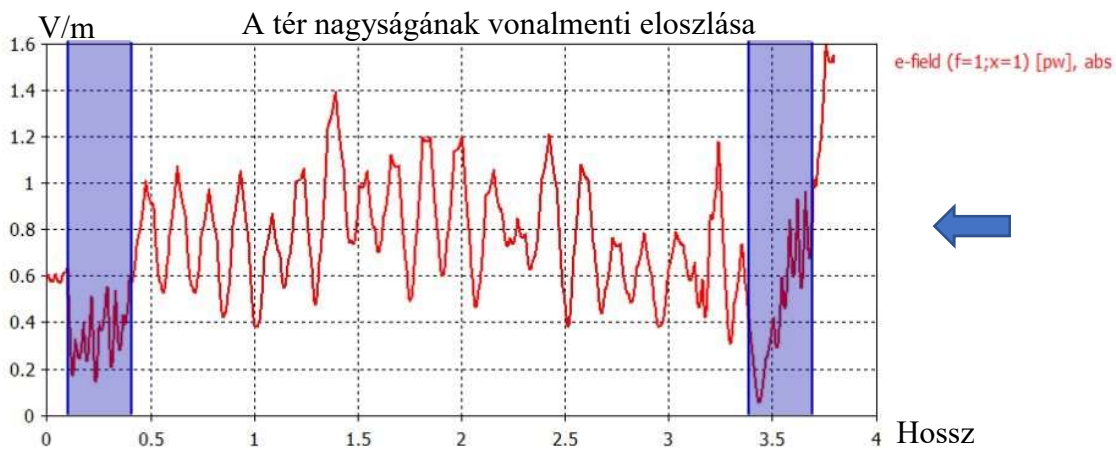


4.22. ábra Fent a bal oldali a lesarkításnál 0,5 m magasan felvett vonal mentén mért elektromos tér grafikonja és lent a jobb oldalon felvett egyenes mentén mért elektromos tér grafikonja.

A hátsó és a jobb oldali falon végrehajtott, az 'x' tengellyel 30 fokos szög bezáró sarkítás, amely a hátsó faltól 1m-re metszi a jobb oldali falat, nem változtatott lényegesen az elektromos tér eloszláson, habár a torzulásnak köszönhetően a bal oldalon a korábbi pontban mért 1,2 V/m 1,4V/m-re nőtt (4.23. ábra és 4.24. ábra).

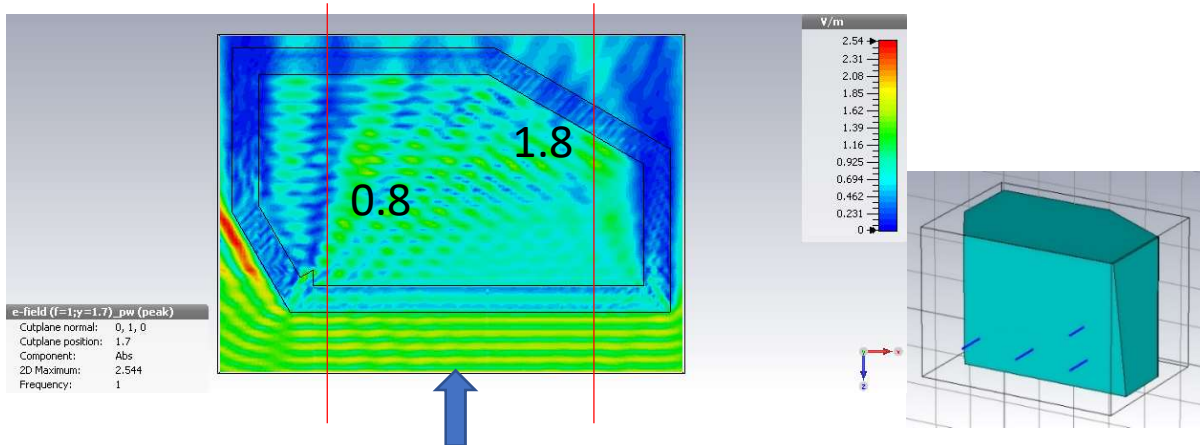


4.23. ábra Bal oldalon elől és jobb oldalon hátul csonkolt épület alaprajzi tér-eloszlása az egyenesek mentén mérhető legnagyobb tér értékkel(balra) és tömege (jobbra)

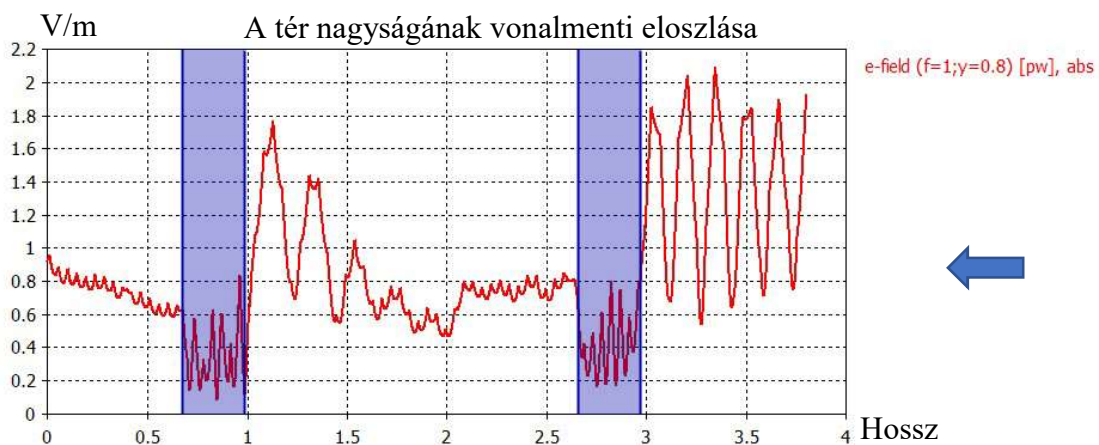
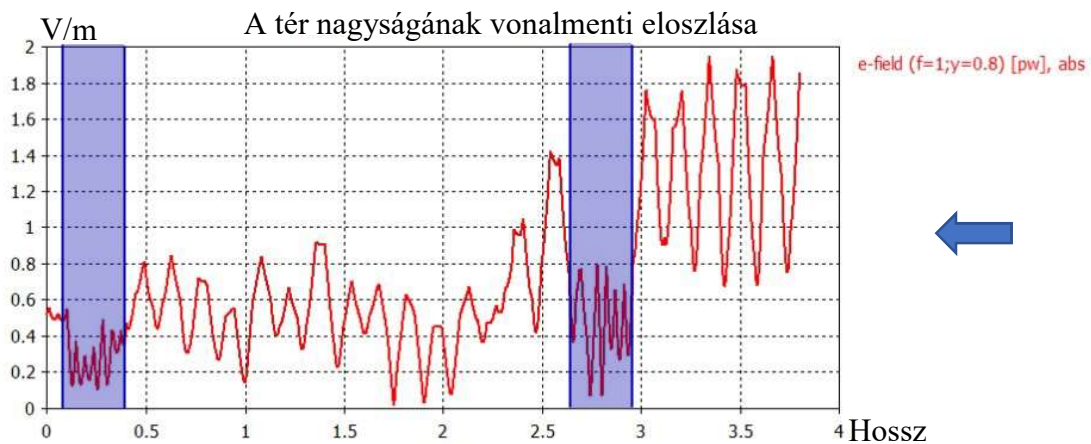


4.24. ábra Az épület bal és jobb oldali lesarkítása esetén, 0,5 m magasan felvett bal oldali egyenes mentén mért elektromos tér grafikonja (fent) és a jobb oldalon felvett egyenes mentén mért elektromos tér grafikonja (lent).

A modern építészeti formavilágra nem csak a függőleges síkokkal, hanem a ferde síkokkal való építészeti „játék”, vagyis levágás is jellemző, ezért a következőkben ennek hatását vizsgálom a referenciaépületen. Az épületet a felső élétől kezdve egy az xy síkkal 80 fokos szöget bezáró falal csonkoltam tovább, ami építészetileg 100 fokos, a függőlegestől nagyobb dőlésszögű falat jelent, és ezzel a 4.25. ábra szerinti kialakítást kaptam.



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

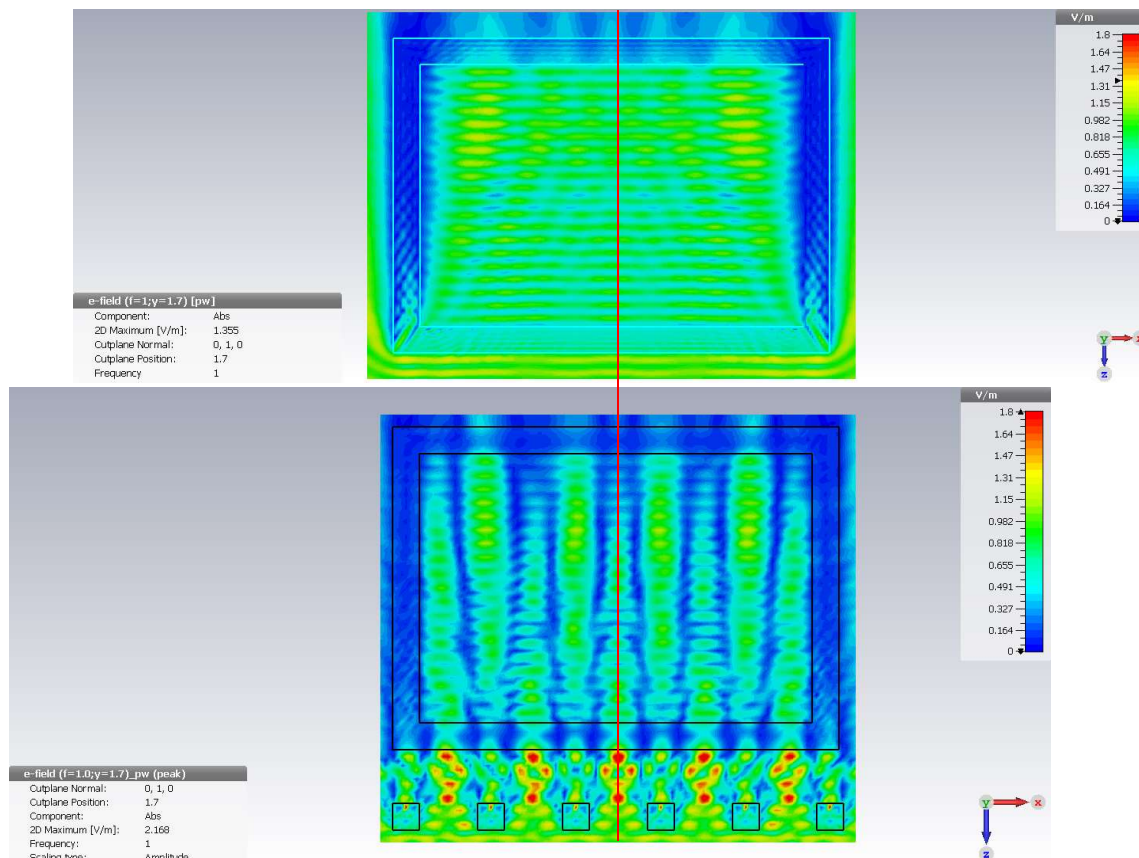


4.26. ábra A három síkkal csonkolt épület esetén, a lesarkításoknál 0,5 m magasan, bal oldalon felvett egyenes mentén mért elektromos tér grafikonja (fent) és a jobb oldalon felvett egyenes mentén mért elektromos tér grafikonja (lent).

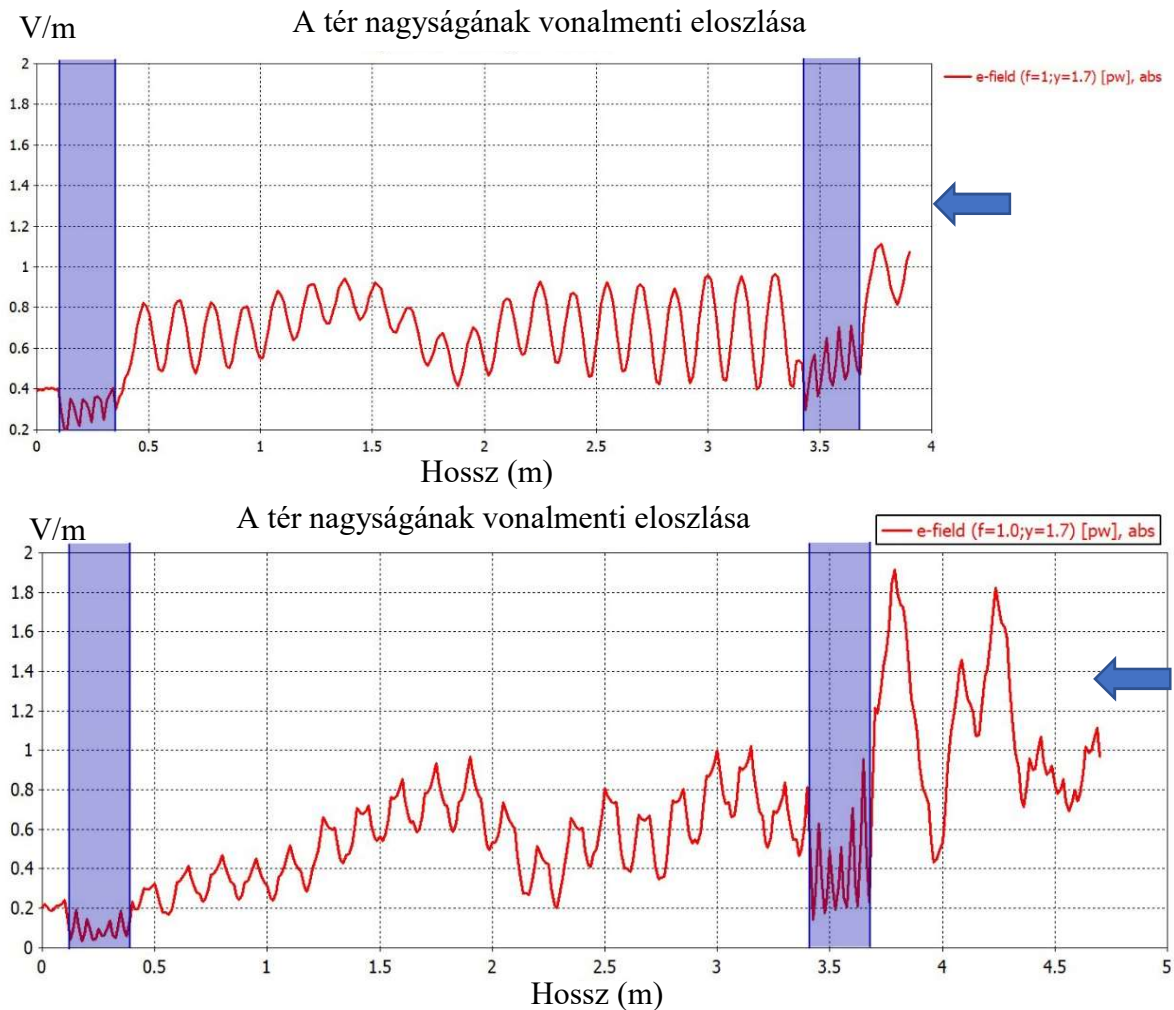
Az alaprajzi téreloszláson és a 4.26. ábra grafikonjain látható, hogy a maximális tér érték a bal oldalon az előbbi 1,4 V/m-ről 0,8 V/m-re csökkent, ugyanakkor a jobb oldalon a maximális tér érték továbbra is 1,8 V/m maradt, hasonlóan a korábbi esetekhez.

A számítógépes szimulációkkal végzett, az épület formájával kapcsolatos vizsgálatok mérési eredményei alapján megállapítom hogy az építészeti formálás hatással van a belső térben kialakuló elektromágneses tér eloszlására. A sugárzás iránya felőli oldalon történő lesarkítás mögötti területen alacsonyabb értékek alakulnak ki, mint a lesarkítás nélküli, sarkos kialakítás esetében. A helyiség alsó részében a függőlegestől nagyobb dőlésszögű falak kisebb tér értékeket eredményeznek, mint függőleges falak esetében.

Az építészetben nem ritka egy pillér vagy oszlopsor homlokzat előtti elhelyezése sem. Ennek hatásvizsgálatához a referenciaépület előtt 60 cm-re egymástól 65 cm-re elhelyezkedő pillérsort helyeztem el. A pillérekkel rendelkező verzió esetén a tér maximum értékek az épületen kívül koncentráálódtak és az eredeti 1,36 V/m helyett 2,17 V/m-re emelkedtek (4.27. ábra). Ahhoz hogy a két ábrát jobban össze lehessen hasonlítani az eredeti referenciaépület szín skáláját hozzáigazítottam az pilléreket tartalmazó verzióhoz. Jól látható, hogy a kültérben elhelyezett pillérek miatt a beltérben a sugárzás azonos nagyságú de sávos mintázatot ad.



4.27. ábra Az elektromos tér eloszlása az eredeti referenciaépületben és a pillérekkel ellátott változatban 1,4 m magasságban

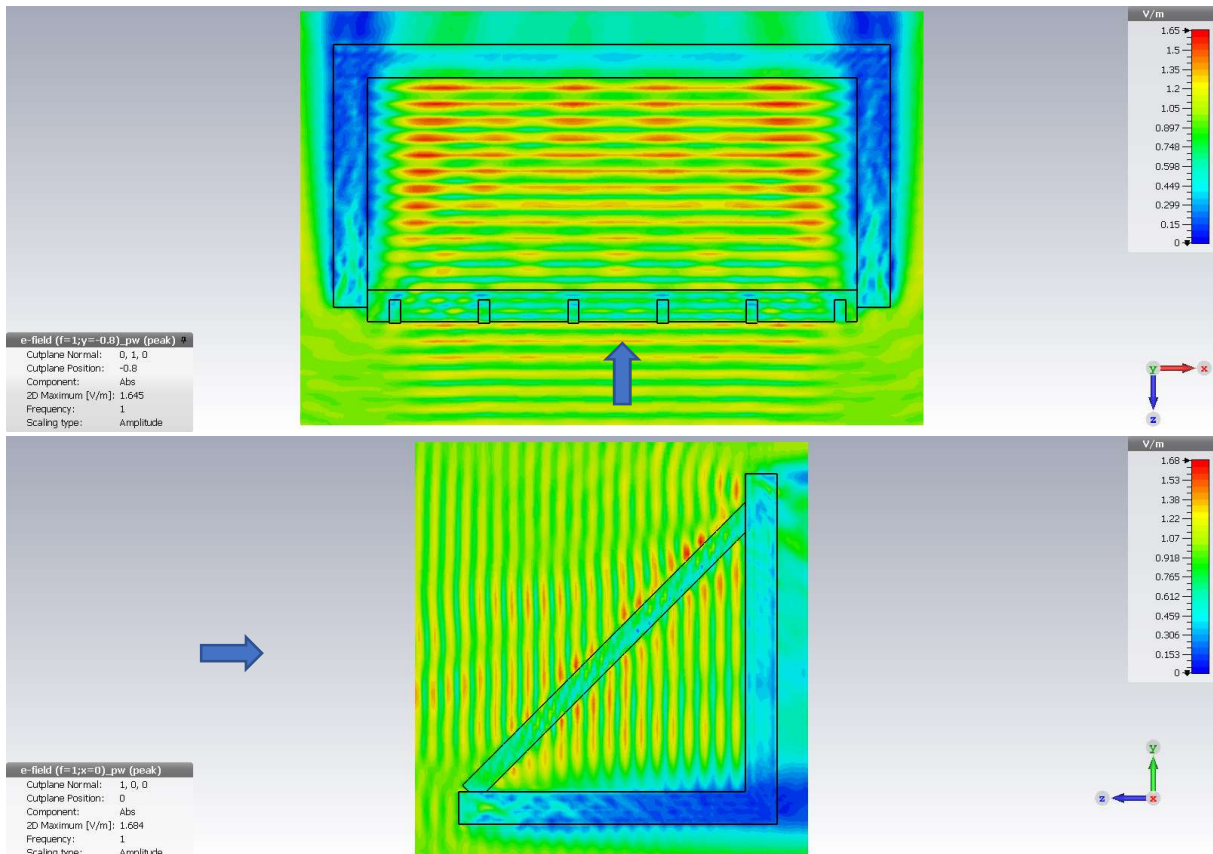


4.28. ábra Az épület középtengelyében, 1,4 m magasságban kialakuló elektromos tér változása nyílás nélküli referenciaépület esetén (fent) és a pillérekkel kiegészített változat esetében (lent).

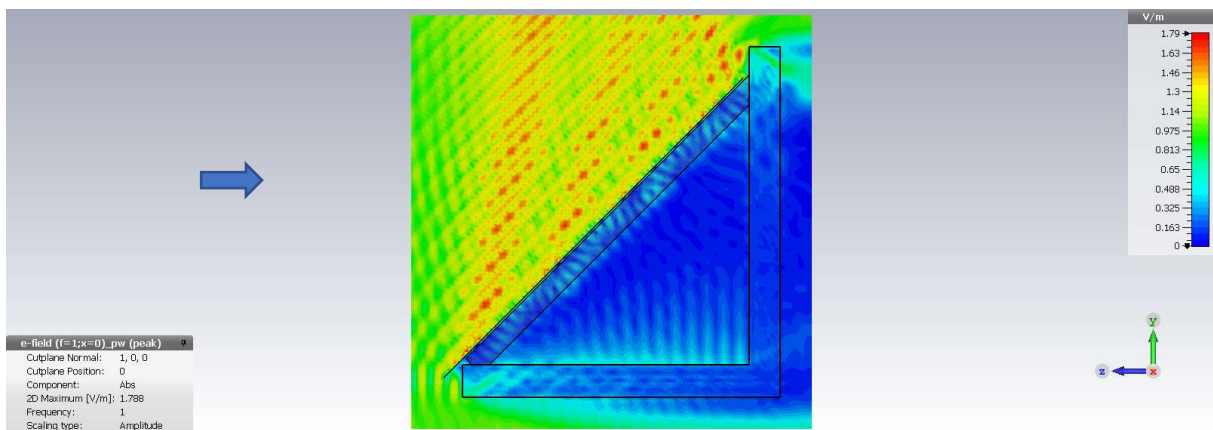
4.3.3. Tetőtér beépítésnél alkalmazott szerkezetek hatása az elektromágneses térre

Tetőterek kialakítása a régi téglá építésű lakoházaknál is egyre gyakoribb napjainkban, a családi házaknál pedig már régóta bevett szokás, ezért vizsgálatokat készítettem hagyományos fa ácsszerkezetű hőszigetelt tetőtér beépítésére (4.29. ábra) és vasbeton szerkezetű, úgynevezett koporsófödémrel készülő tetőtér beépítésére nézve is (4.31. ábra).

A hagyományos tetőszerkezet szinte semmilyen árnyékoló képességet sem mutatott, csak a tömör fa gerendák törték meg kissé az elektromágneses hullámokat. A tető héjfalása alatt egy úgynevezett másodlagos vízszigetelő műanyag, szálerősítéses fólia található, aminek szerepe a héjfalás illesztési résein bejutó csapadék elvezetése. Kapható alumínium fóliával kasírozott úgynevezett hőtükros változat is, aminek célja, hogy a felmelegedett tetőfedő anyagok hőszugárzását visszaverjék (pl Grand Ács Solflex nyár). Ez az alumínium kasírozás, megfelelő felületfolytonosítás esetén, képes az elektromágneses sugárzást is visszaverni, ahogy azt az 4.30. ábra mutatja. Ez a megoldás hatékony árnyékolásként működik a tetőtérben.

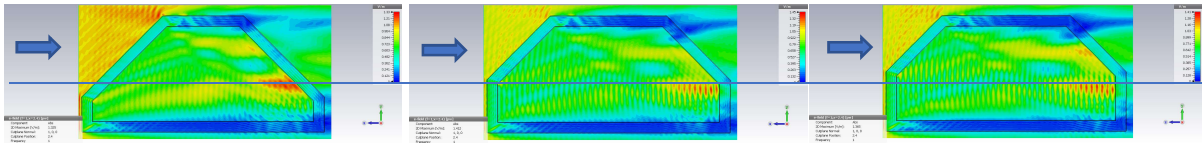


4.29. ábra Egy félnyereg tetőtér hagyományos fa ácsszerketetű és hőszigetelt tetőszerkezettel

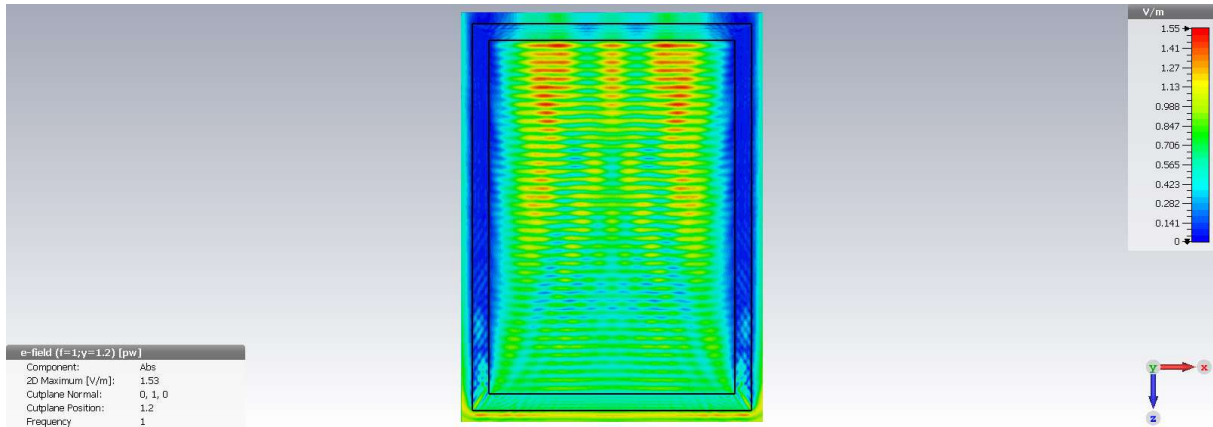


4.30. ábra Egy félnyereg tetőtér hagyományos fa ácsszerketetű és hőszigetelt tetőszerkezettel, alumínium fóliával

A koporsófödém keresztmetszetének vizsgálatakor kiderült (4.31. ábra), hogy a besugárással átellenes oldalon koncentrálódik a teljesítmény sűrűség, valamint, hogy a térdfal megemelésével a koncentrált terület nem emelkedik, hanem lefelé mozdul el. A szerkezet árnyékolása megoldható úgy ahogy a falszerkezeteknél, sűrű szövésű hálóval, vagy tetőszerkezetként az előbb ismertetett alumínium kasírozású hőreflexiós fólia használatával.



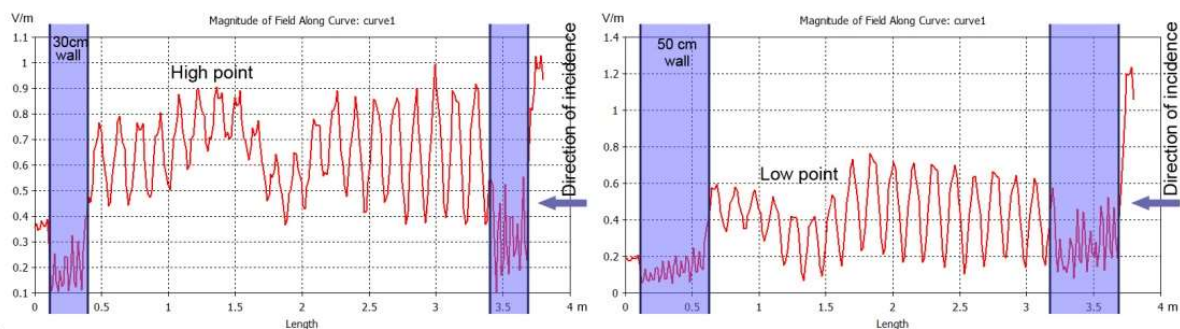
4.31. ábra Koporsófödém keresztmetszete 0,5m-es (balra), 1m-es (középen) és 1,2m-es térdfal esetén(jobbra)



4.32. ábra Az elektromos tér eloszlása koporsófödémekben, 0,5 m magas térdfal esetén

4.3.4. Az épület építőanyagának hatása

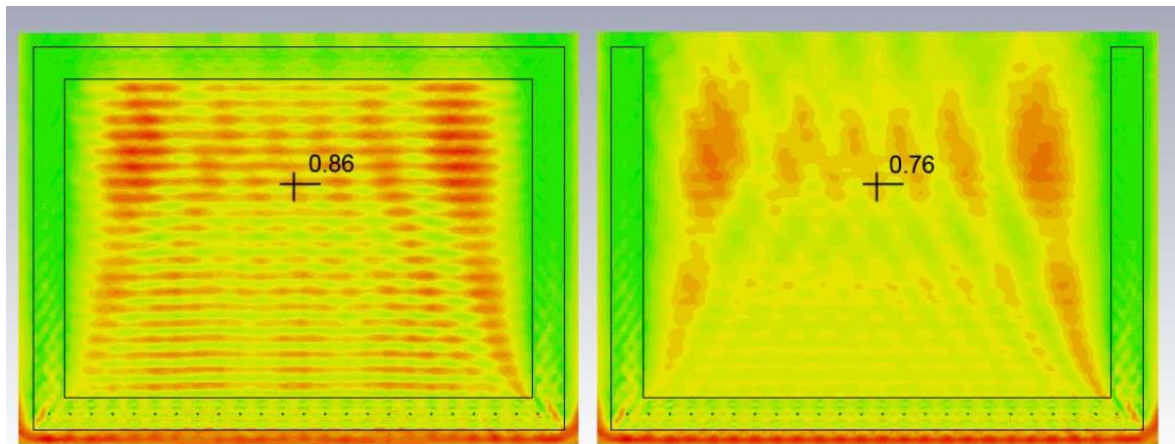
A korábbi kutatások (Sou, 1992; Landron, 1996) adatait felhasználva szimulációkat végeztem téglá épületre nézve, melyek eredményeit összehasonlítottam a betonnál készült referenciaépülettel. A szimulációhoz először 30 cm vastag tömör téglá falat választottam azért, hogy a beton fallal könnyen összevethető legyen. A használt beállításnál a permittivitás 4,62, a konduktivitás 0,02 S/m, a sűrűség 1600 kg/m³ volt. A vizsgálatot elvégeztem 50 cm-es falvastagság esetén is. A tér eloszlás hasonló eredményt mutatott, mint a beton falú referenciaépület, a hátsó fal reflexiók hatása itt is érvényesül, valamint, az első sarkok torzító hatása itt is olyan, mintha hullámforrásként működne. A vizsgálatból látszik, hogy a téglának valamivel jobb az árnyékoló képessége, mint a betonnak. Ez a téglá anyagösszetételével és kisebb víztartalmával magyarázható. Az 50 cm vastag fal esetén az értékek nem egyenesen csökkentek, hanem a 30 cm-es fal esetén mért legmagasabb érték helyén most a legalacsonyabb értéket kaptam (4.33. ábra). Ez azt jelenti, hogy a vastagabb fal esetén más helyen alakul ki az elektromágneses sugárzás maximum értéke.



4.33. ábra Elektromos tér grafikonja 30 és 50 cm vastag falak esetében

4.4. A hagyományos vasbeton falszerkezetek árnyékolása nagyfrekvencián

Az egyik alapvető feltevésem az volt, hogy a téгла és beton szerkezetű referenciaépületben alacsony szerkezeti árnyékolást fogok tapasztalni, ellenben a vasbeton szerkezetekkel, ahol jelentősebb árnyékolásra számítottam. Szimulációkat futtattam ezért a szokásos szerkezeti vasalat sűrűségeken. Egy adott összehasonlítási egyenest választottam ki, amely az épület közepén futott végig 1,4 m magasságban, és minden vizsgálat ezen a megfigyelési egyenesen észlelt legnagyobb értékét vettem figyelembe. Két fő beállításon végeztem el a szimulációt: első esetben a referenciaépületen, mint zárt dobozon, a második esetben pedig a reflexió elkerülése végett a hátsó fal nélkül, ahogy azt a 4.34. ábra mutatja. Az ábrán a szimmetria nem tökéletes, mert a vasalat nem középen helyezkedik el, mindazonáltal az eltérés minimális. A kapott értékeket összevettem a besugárzási tér erősségével is, amely minden esetben 1V/m, kiszámítva az árnyékolási hatékonyságot (4.9. táblázat).



4.34. ábra A referenciaépület a hátsó fallal és a fal eltávolítása után 20x20cm-es vasalattal.

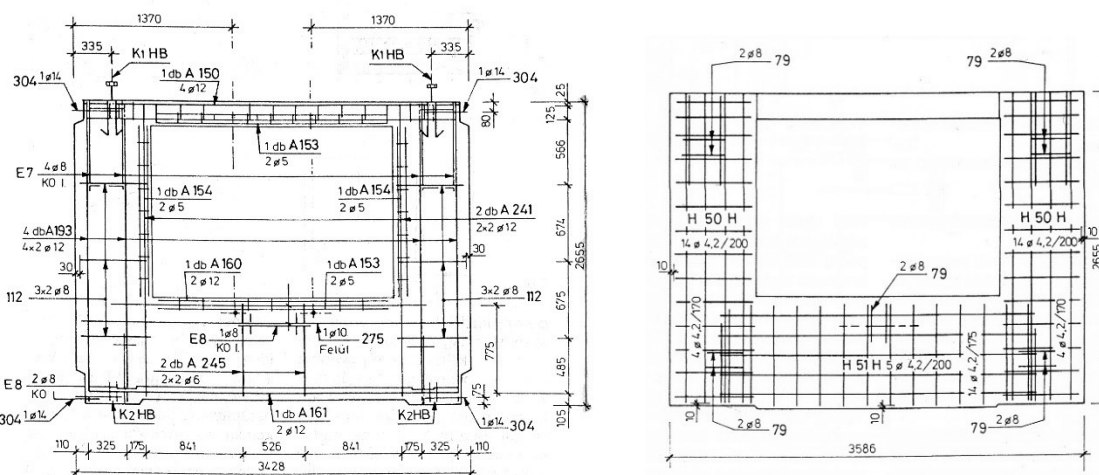
4.9. táblázat A különböző építőanyagú falazatok árnyékolása szimulációs eredmények alapján dobozként, valamint hátfal nélküli esetben

| Építőanyag | falvastagság | Referenciaépületben | | Hátfal nélkül | |
|------------------|--------------|---------------------|-----------------|---------------|-----------|
| | | E- tér | SE | E- tér | SE |
| Tégla | 30 cm | 0.66 | 3.609 dB | 0.58 | 4.731 dB |
| Tégla | 50 cm | 0.41 | 7.744 dB | 0.31 | 10.172 dB |
| Beton | 30 cm | 0.903 | 0.886 dB | 0.788 | 2.069 dB |
| Beton | 50 cm | 0.759 | 2.395 dB | 0.55 | 6.02 dB |
| Vasbeton 20x20 | 30 cm | 0.86 | 1.310 dB | 0.76 | 2.383 dB |
| Vasbeton 10x10 | 30 cm | 0.84 | 1.154 dB | 0.70 | 3.098 dB |
| Vasbeton 5x5 | 30 cm | 0.495 | 6.107 dB | 0.39 | 8.706 dB |
| Vasbeton 2,5x2,5 | 30 cm | 0,41 | 7.744 dB | 0,28 | 11.056 dB |

A vasbeton fal számítógépes szimulációs vizsgálatát beton falban elhelyezett 1 cm átmérőjű rudakból készült, különböző rácssűrűségű acélháló betétekkel végeztem. Az acélbetétek távolsága 20 cm, 10 cm, 5 és 2,5 cm volt. Az acél tulajdonsága a CST program adatbázisában

adott volt, és a szimulációban ezt az adatot használtam. Az eredmények a következő táblázatban találhatóak, melyben a „vasbeton” utáni szám érték a rács méretét adja meg cm-ben. Az eredmények szoros egyezésben vannak más szerzők tapasztalataival (Antonini, 2003), ahol a vasbeton lemez árnyékolása 3 dB körüli. Az 5x5 cm rács nem használatos rács típus az építőiparban, ezért ez az érték eltér a vasbeton szerkezeteket kutatók korábbi tapasztalataitól. Ki kell azonban emelni, hogy ez a rácssűrűség már értékelhető árnyékolást eredményezett. Érdeemes megfigyelni, hogy az 50 cm-es tömör téglafal jobb árnyékolási képességgel rendelkezik, mint egy 5x5 cm rácssűrűségű 30 cm vastag vasbeton falszerkezet. Az eredmények arra is mutatnak, hogy a téglának nagyobb az árnyékolási képessége, mint a betonnak.

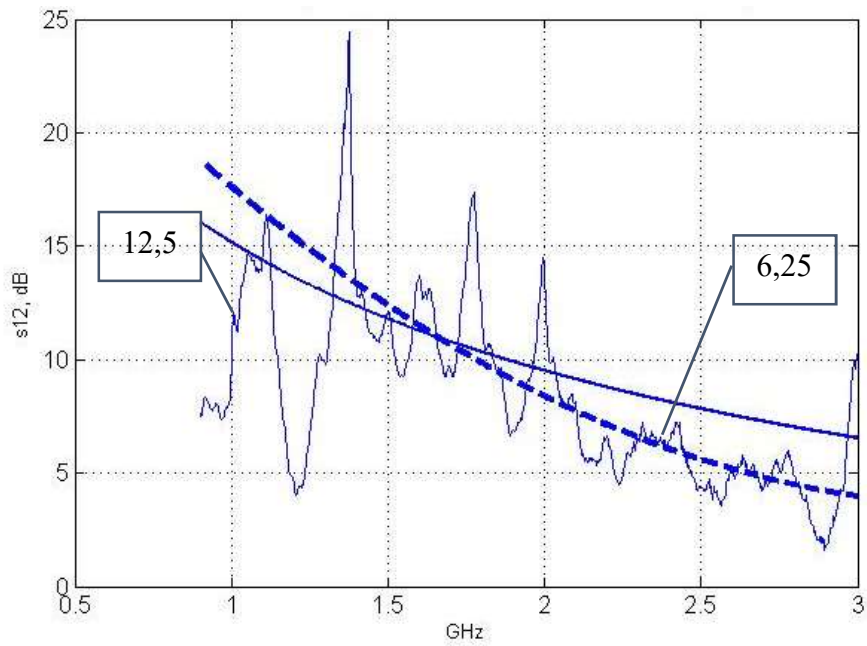
A Reflexiómentes kamrában végzett mérések is alátámasztották, hogy a transzmisszióban kimutatható csökkenés az 5x5 cm-es rácssűrűségtől mérhető, hatékony átbocsátás-csökkentés pedig 1,25 x 1,25 rácssűrűségű hálóval érhető el. Így kimondható, hogy a gyakorlatban használt 10-30 cm-es sűrűségű vasalat nem játszik szerepet a magas frekvenciás elektromágnes sugárzás csökkentésében. A vasalt panelekből épült lakóépületek sem működnek Faraday kalitkaként, mert az ott alkalmazott vasalat a külső kéregben is csak 15-20 cm rácssűrűségű (Panelos Lakóépületek 1994) 4.35. ábra.



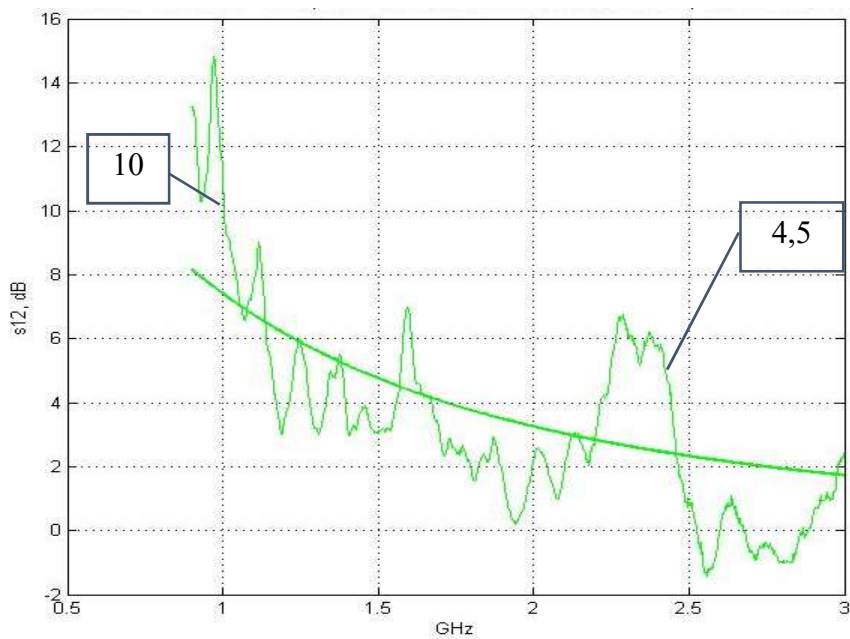
4.35. ábra A BHK III. homlokzati elemének vasalási tervei (1973) Balra a teherhordóréteg, jobbra a homlokzati réteg rajza

4.5. Szerkezetbe helyezett elektromágneses árnyékoló réteg rácssűrűsége és helye

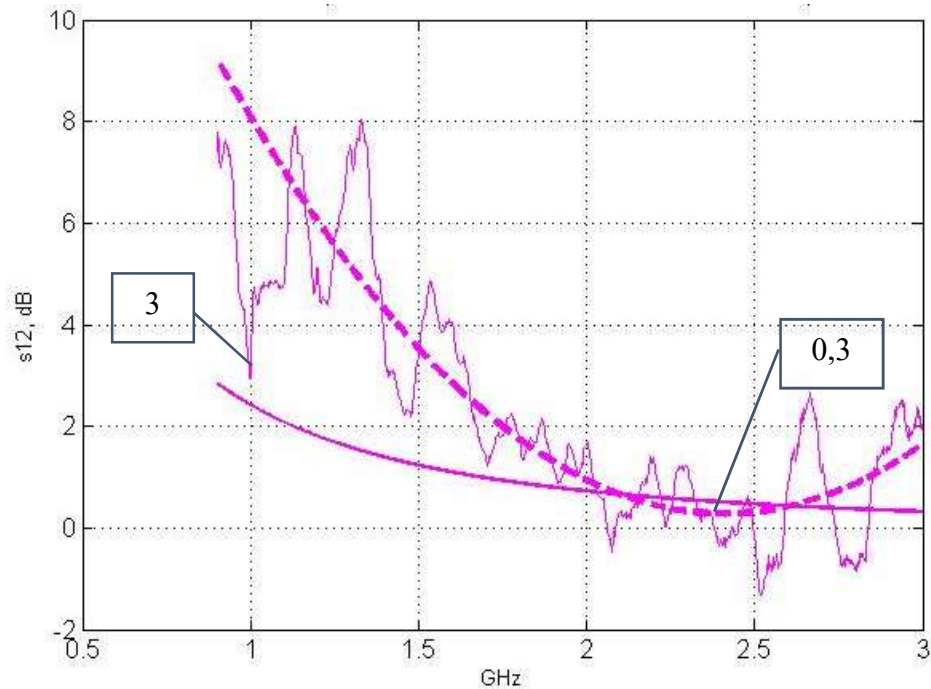
A szabványoknak megfelelő elektromágneses sugárzást a nemzetközi ajánlások szintjére lehet csökkenteni fém árnyékoló réteg vagy háló alkalmazásával. Árnyékolóháló réteggént a vasbeton szerkezetek vasalatánál lényegesen kisebb átmérőjű fém hálót célszerű alkalmazni, ezért a reflexiómentes kamrában végzett méréseket 5x5 cm rácsozatú háló esetében 1,4mm, illetve 2,5x2,5 és 1,25x1,25 cm rácsozatú háló esetén 0,6 mm átmérőjű hálón készítettem. Mivel az átmérő kisebb a korábbi vasalat átmérőjénél, ezért az árnyékoló képessége is kisebb az ilyen háló szerkezetnek a korábban bemutatott értékeknél. Az eredményt Porotherm 30-as üreges téglafalon belülről rögzített árnyékoló háló esetén mutatom be.



4.36. ábra Az árnyékolás változása a frekvencia függvényében 30 cm téglafal mögé helyezett 1,25x1,25cm rácssűrűségű háló esetén Hyperlog antennával mérve



4.37. ábra Az árnyékolás változása a frekvencia függvényében 30 cm téglafal mögé helyezett 2,5x2,5 cm rácssűrűségű háló esetén Hyperlog antennával mérve



4.38. ábra Az árnyékolás változása a frekvencia függvényében 30 cm téglafal mögé helyezett 5x5 cm rácssűrűségű háló esetén Hyperlog antennával mérve

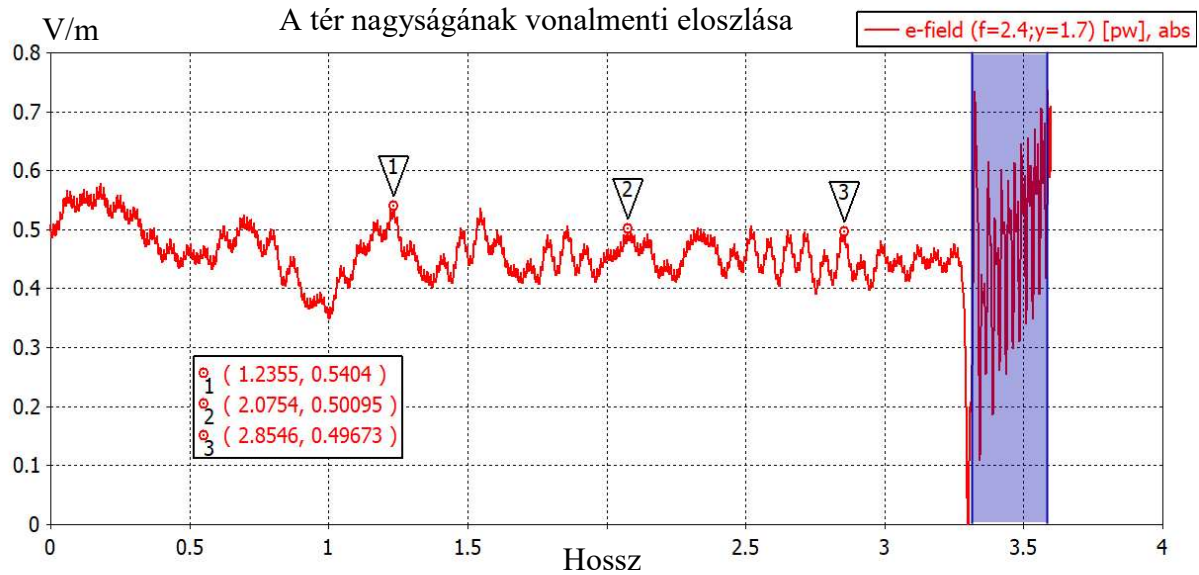
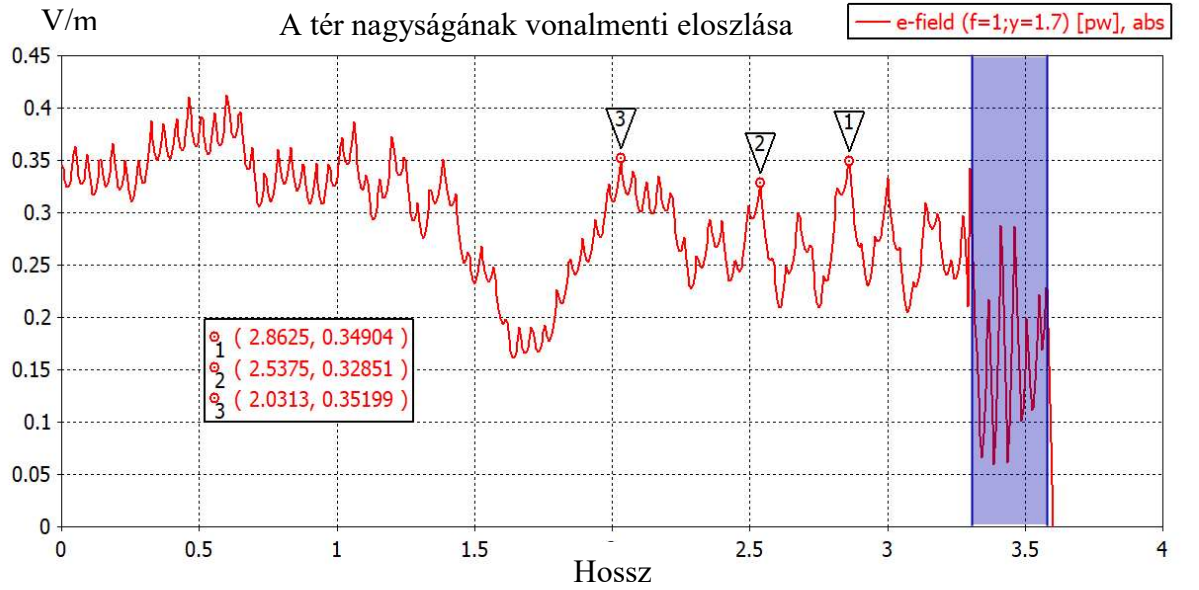
A különböző szövetsűrűségű hálók árnyékolását 1 és 2,4 GHz frekvencián reflexiómentes kamrában Porotherm 30as, üreges téglafalon mért adatok alapján a 4.10. táblázat mutatja összefoglalásként.

4.10. táblázat Reflexiómentes kamrában mért, téglafalra helyezett különböző szövetsűrűségű hálók árnyékolása 1 és 2,4 GHz frekvencián

| Rács-sűrűség | 1.25 x 1.25cm, Kék | 2.5 x 2.5cm, Zöld | 5 x 5 cm, Magenta |
|--------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Frekvencia | | | |
| 1GHz | 12,5 dB | 10 dB | 3 dB |
| 2,4 GHz | 6,25 db | 4,5 dB | 0,3dB |

A mérésekből azt is kimutattam, hogy a külső oldalon, azaz a sugárzás felőli oldalon elhelyezett háló hatékonyabb, mint a belső oldalon elhelyezett. Ez 900MHz -2GHz frekvencián szignifikánsabb, 1 GHz-en körülbelül 8dB különbség, 2GHz fölötti frekvencián már nem jelentős, ahogy ezt a 4.41. ábra is mutatja. A ma használatos telekommunikációs frekvenciák 2GHz felettek, így azt, hogy a háló a falon kívül vagy belül helyezkedik el elektromágneses szempontból a tervezésben nem szükséges figyelembe venni. Az árnyékoló háló helyét inkább épületfizikai és kivitelezhetőségi megfontolások befolyásolják.

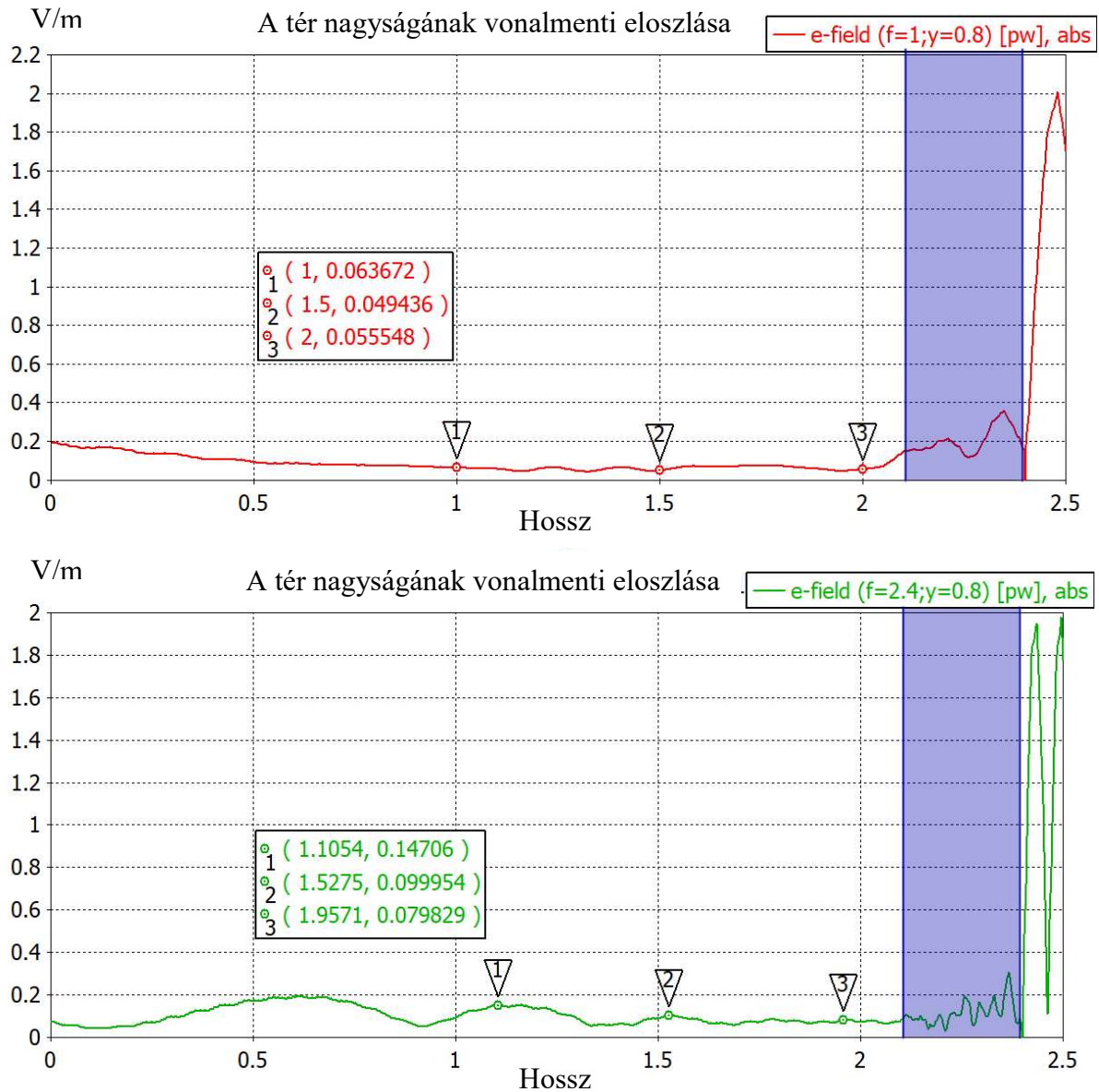
A referencia épület beton falán is végeztem számítógépes szimulációkat a különböző rácssűrűségekhez tartozó árnyékolási érték meghatározásához. Az elektromos tér esését 5x5 cm rácsozatú háló esetén a 4.39. ábra, 0,625x0,625 cm rácsozatú háló esetén a 4.40. ábra mutatja. Az eredményeket minden vizsgált esetre a 4.11. táblázat mutatja.



4.39. ábra Az elektromos tér változása beton falon keresztül 5 x 5 cm rácsozatú árnyékoló háló esetén 1 GHz-en (fent) és 2,4 GHz-en (lent)

4.11. táblázat Számítógépes szimuláció alapján kapott betonfalra helyezett különböző szövetsűrűségű hálók árnyékolása 1 és 2,4 GHz frekvencián

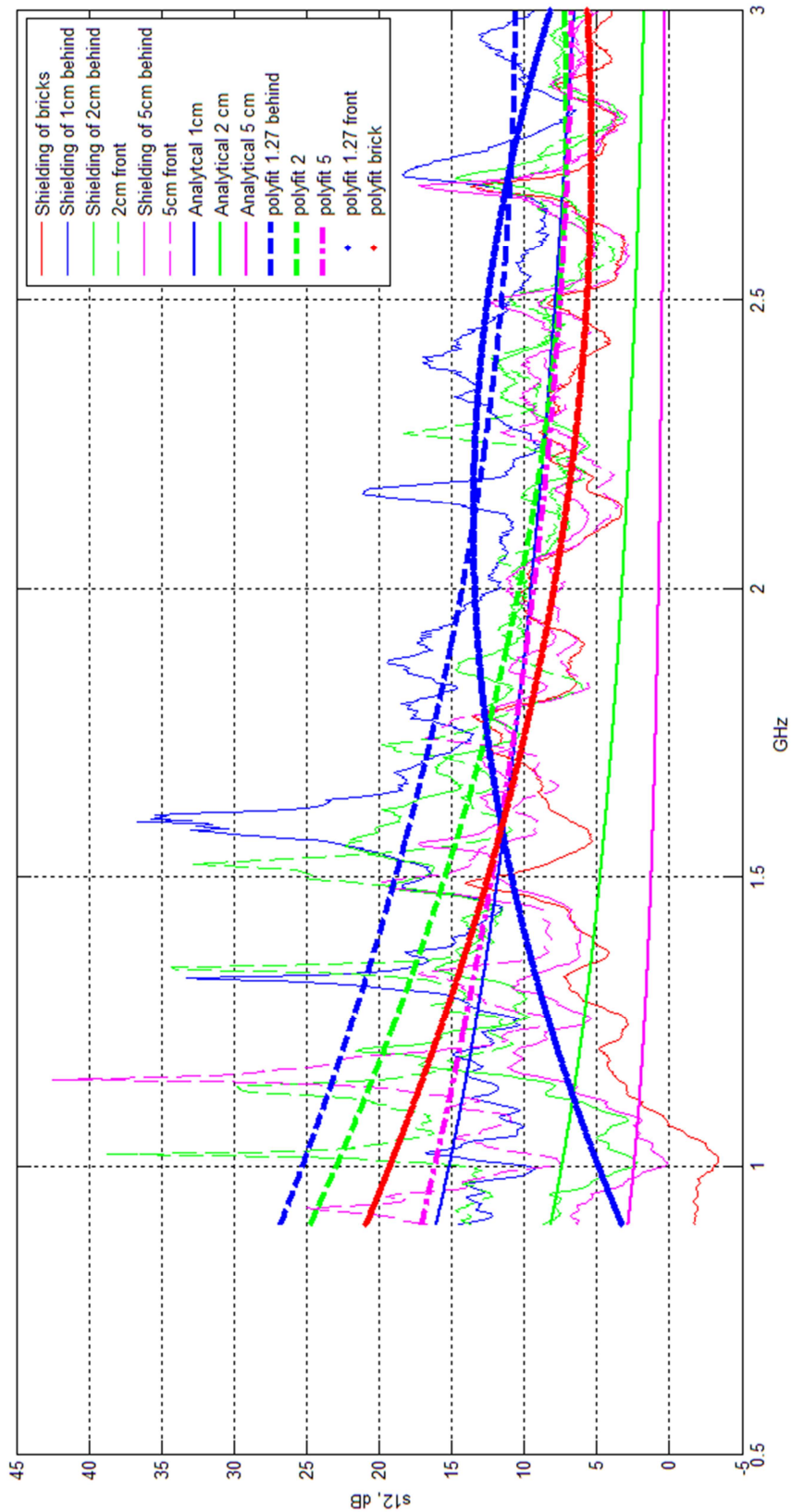
| Rács-sűrűség | 0,625x 0,625 cm | 1.25 x 1.25cm, | 2.5 x 2.5cm, | 5 x 5 cm, |
|--------------|--------------------|-------------------|-----------------|--------------|
| Frekvencia | | | | |
| 1GHz | 25 dB | 20 dB | 14 dB | 9 dB |
| 2,4 GHz | 20 dB | 15 dB | 10 dB | 5 dB |



4.40. ábra Az elektromos tér változása beton falon keresztül 0,625 x 0,625 cm rácsozatú árnyékoló háló esetén 1 GHz-en (fent) és 2,4 GHz-en (lent)

Az árnyékolási hatékonyság egyes dB értékeit a besugárzott és az áthatolt sugárzás arányában, azaz, hogy hányadára csökken a transzmissziós sugárzás a beltérben a 4.12. táblázatban mutatom meg.

A lakásokban általam mért átlagos $10 \mu\text{W}/\text{m}^2$ teljesítménysűrűség, ami épületbiológiai értékelés szerint az erős anomália kategóriába sorolt, az eredményeim alapján a tizedére csökkenthető 0,625x0,625 cm rácsozatú hálóval. Az $5 \mu\text{W}/\text{m}^2$ teljesítménysűrűség alatti értékek a gyenge anomália kategóriába soroltak, ugyanakkor a telekommunikációt lehetőségét biztosítják. Az általam megcélzott és ez által az árnyékolás által elért teljesítménysűrűség átlagosan $1 \mu\text{W}/\text{m}^2$.

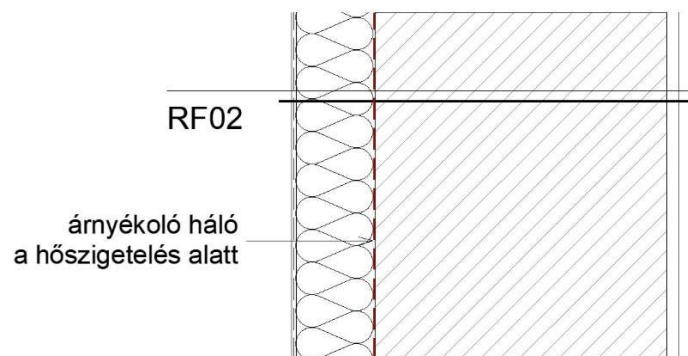


4.41. ábra Reflexiómentes kamrában történt mérések összesített görbéi, ahol a folyamatos vonallal a fal mögötti árnyékoló hálóval történt mérés, szaggatott vonallal pedig a fal előtti hálóval történt mérés eredményei láthatók

4.12. táblázat Az árnyékolási hatékonyság egyes dB értékei a besugárzott és az áthatolt sugárzás arányában

| Árnyékolási hatékonyság | A besugárzott és az áthatolt sugárzás aránya |
|-------------------------|--|
| 3,6 dB | 1/3 |
| 6 dB | 1/2 |
| 12 dB | 1/4 |
| 15 dB | 1/6 |
| 20 dB | 1/10 |
| 26 dB | 1/20 |

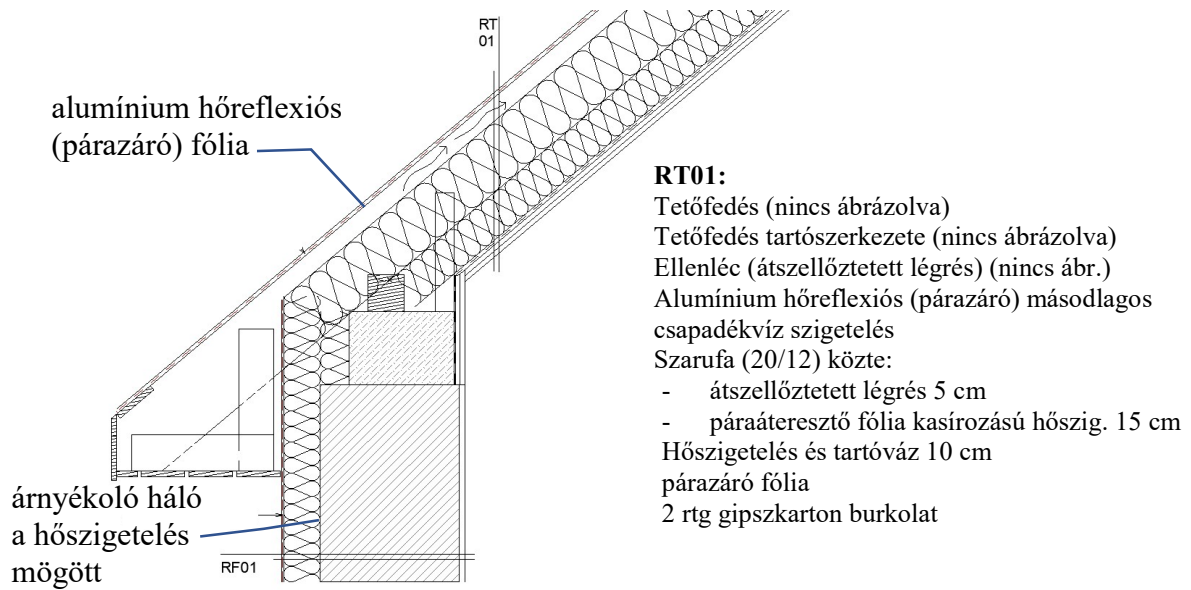
Az árnyékoló háló hőszigetelt homlokzat esetén a hőszigetelés vékonyvakolatánál használt 4x5 mm rácsozatú üvegszövet háló helyett, vagy emellett javasolt ugyanilyen rácsozatú földelt fém szövet háló használata, mely árnyékolja a kültérből érkező nagyfrekvenciás sugárzást (4.42. ábra). Az önmagában csekély árnyékoló képességgel rendelkező 30 cm-es téglafal (4,731 dB) árnyékolása üvegszövet háló helyett fém háló használata esetén több mint 20 dB, amelynek hatására a besugárzási érték csupán 1/10-e hatol át a falszerkezeten.



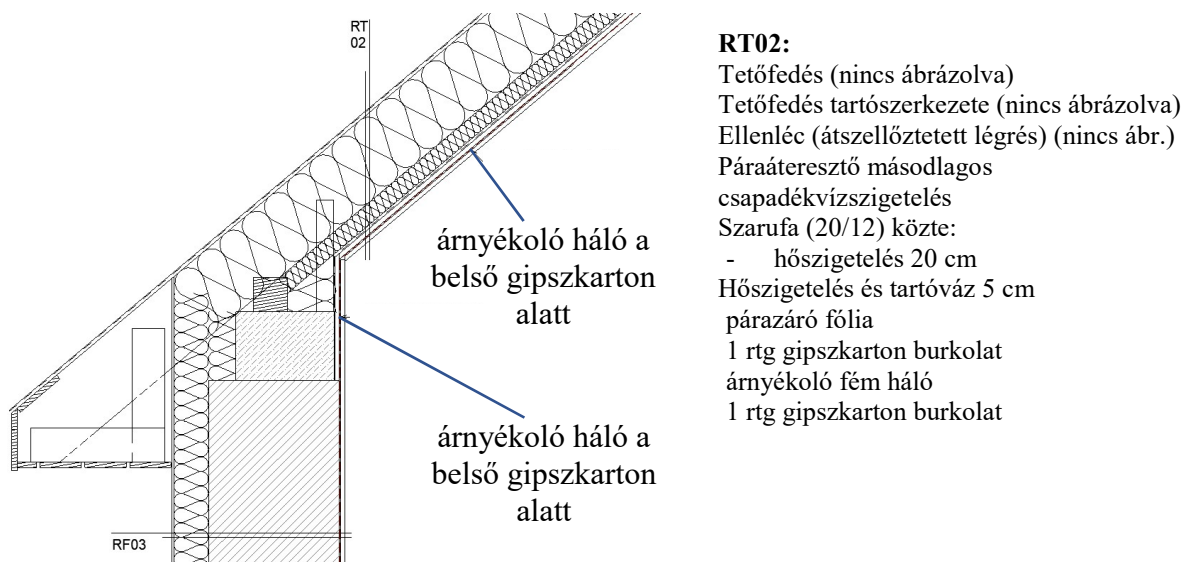
4.42. ábra Homlokzati hőszigetelésnél alkalmazható fémszövet háló javasolt helye

A lakások elválasztó falait, melyeket alapvetően akusztikai követelményeknek kell megfeleltetni, javasolt minimum 20dB elektromágneses sugárzás csökkentési követelménnyel kiegészíteni és építeni, hogy a lakások közötti átsugárzás a tizedére csökkenjen. Erre nem alkalmas a 30 cm vastag lakásválasztó célú (tömörebb) téglafal (2,4 GHz-en 9 dB csökkentés), hanem itt is egy legalább 4x5 mm-es szövetű fém hálót kell a vakolatba ágyazni.

Családi házak tetőtérbeépítéseinek az általában alkalmazott könnyűszerkezetes tetőszerkezetet is célszerű ellátni árnyékoló fóliával, mert a mögötte levő lakrész különösen ki van téve a mobiltelefonok adótornyjaiból érkező elektromágneses sugárzásnak. Ilyen tetőtérben méréseim során találok olyan esetet is ahol a teljesítménysűrűség 400-800 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ volt. Árnyékolásra alkalmas az alumínium másodlagos csapadékvíz elvezető fólia, vagy átlagos esetben a 6x6 mm-nél sűrűbb rácsozatú háló. A fém hálót a rajta kialakuló páralecsapódás elkerülése végett a belső oldalon érdemes elhelyezni. Ezek beépítési javaslatait a 4.43. ábra és a 4.44. ábra mutatja.



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



4.44. ábra Árnyékoló fém háló javasolt helye a rétegrendben

4.6. Új tudományos eredmények

A mérések és számítások tapasztalatait összegezve kimutattam az épületszerkezetek hatását a nagyütemben 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 elektromágnesség 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 hálózataik 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 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 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 használat, és tervezéssel lehet hatékonyan védekezni. Javasolt, hogy a magas frekvenciás sugárzás forrásként működő WiFi útválasztót (routert) ne helyezünk hálósobába. 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).

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

Irodák, irodaházak vizsgálata nem tartozik ezen értekezés témakörébe. 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 8 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.

Kapcsolódó kutatási lehetőségek, a közeljövőben végzendő vizsgálatok:

- A több rétegből felépülő légréssel készülő réteges falszerkezetek, például téglá vagy kőburkolattal rendelkező falak hatásvizsgálatát is javasolt elkészíteni, különös tekintettel a burkolati réteget tartó fém rögzítő elemekre.
- Az 5 GHz frekvencián működő vezeték nélküli rendszerek elterjedésével, a 2,4 GHz-frekvencián működő rendszerek intenzitás szintjének eléréséhez a sugárzás források sűrűbben helyezkednek el. A frekvencia növelésével ugyanakkor csökken a behatolási mélység és a védekezés könnyebb lesz. Különösen igaz ez a terrahertzes frekvencián, ahol a nem fémes anyagokban is szelektív elnyelődés tapasztalható. Javasolt ezeken a nagyobb frekvenciákon is szimulációkat végezni.
- Kutatásomban egy belső térben mért sugárzás elnyelésével, visszaverésével, intenzitásával foglalkoztam és bizonyítottam, hogy a sugárzási érték geometria függő. A térben lakó egyénre azonban ugyanaz a sugárzás különbözőképpen hat mivel fontos tényező az adott ember mérete, súlya, testzsírtartalma is. Ezek figyelembe vétele és további kutatása fontos a tervezőmérnökök számára.
- A munkahelyek a lakásokhoz képest általában még több sugárforrással rendelkeznek, és más fő szempontok is jelen lehetnek, ezért azok vizsgálata és az azokra vonatkozó kialakítások egy következő tanulmány témája lehet.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

ÉPÜLETSZERKEZETEK HATÁSA A BELTÉRI ELEKTROMÁGNESES TEREKRE

Az emberiség megjelenése óta az egyik legfontosabb kérdés, amit a társadalom feltesz, a megfelelő védelmet és kényelmet nyújtó lakhely kialakítására vonatkozik, hiszen életünk több mint egyharmadát itt töltjük. Otthonainkban az 50Hz-es kisfrekvenciás elektromos áramot vezető vezetékből és berendezésekből származó elektromos és mágneses tereknek, valamint az 1990-es évek elején megjelenő, folyamatosan fejlődő vezeték nélküli kommunikáció által mesterségesen gerjesztett elektromágneses sugárzás hatásának vagyunk kitéve. Bár a mai napig vita tárgya, hogy ez az elektromágneses sugárzás hátrányosan befolyásolja-e az emberi szervezet precíz biológiai egyensúlyát, a tudománnyal foglalkozók etikai kötelessége, hogy az úgynevezett civilizációs betegségek okait kutassák.

A kutatást megelőzően áttekintettem a rendelkezésre álló szakirodalmat, melyből megállapítottam, hogy a vizsgálatok többsége nem az épület és a használó szempontjából készült, hanem a hullámterjedés elősegítésének szempontjait veszi figyelembe. Az építész tervezők nem kaptak ezen a téren útmutatást, nem áll rendelkezésükre kapcsolódó szakirodalom, és nincs egységesen kidolgozott mérési és értékelési rendszer.

Kutatómunkám célja, hogy alapjául szolgáljon egyrészt a meglévő és megépítendő épületekre vonatkozó nemzetközi építészeti ajánlásoknak, melyek a megfelelő belső elektromágneses tér szint kialakítására irányulnak, másrészt hozzájáruljon egy olyan épületszerkezettani és tervezői módszerhez, mely a jövő építészeti trendjeihez igazodik.

Első lépésként felmértem a különböző lakástípusokban mérhető elektromos és mágneses teret és az elektromágneses sugárzás szintjét, melyeket összehasonlítottam a nemzetközi szabványokkal és ajánlásokkal, mely alapján megállapítottam, hogy a lakásokban mért tér és sugárzás értékek a szabványoknak megfelelnek, azonban az ajánlások mértékét meghaladják, ezért célszerű lenne ezen értékek csökkentéséről gondoskodni.

Megállapítottam, hogy a egy-egy korszak építéstechnológiájával készült épületek lakásai elektromágneses tulajdonságait tekintve hasonló, de a különböző technológiával épült lakóházak különböző viselkedést mutatnak ezért a lakóépülettípusok elektromágneses viselkedés szerint is csoportosíthatók.

Második lépésben virtuális környezetben vizsgáltam az építészeti nyílások méretének, helyének, az épület formájának, az épületszerkezetek kialakításának hatását az elektromágneses térre, valamint reflexió mentes kamrában végeztem kísérleteket, és bemutattam, hogy a szerkezeti módosítások milyen változást okoznak a beltéri elektromágneses sugárzásban.

Harmadik lépésben meghatároztam, hogy egyes fém hálók rácssűrűsége milyen mértékű árnyékolási értékkel bír dB-ben, valamint meghatároztam, hogy milyen rácssűrűség alkalmazásával csökkenthető a sugárzás az ajánlások szintjére. Bemutattam, hogy a vasbeton panel falú épületek vasalatai a vizsgált 1 GHz feletti elektromágneses árnyékolásban nem vesznek részt.

Végül javaslatot tettem épületek szerkezetének rétegrendi kialakítására és épületek alaprajzi elrendezésének kialakítására, amely minimalizálja az erősítési pontok (hot spot) kialakulását, valamint csökkenti a beltérben kialakuló elektromágneses teret.

A bemutatott új tudományos eredmények megkönnyíthetik a gyakorló építészmérnökök munkáját az egészségtudatos, elektromágneses minimalizálás elvét követő épületek tervezésében.

7. SUMMARY

EFFECTS OF BUILDING STRUCTURES ON INDOOR ELECTROMAGNETIC FIELDS

One of the most important questions since the beginning of humankind is how man can make habitats that provide both proper protection and comfort, as we spend more than one-third of our life there. We are constantly exposed to electric and magnetic fields partly due to the 50Hz low frequency electric cables and equipment, partly because of the electromagnetic radiation emitted from the continuously developing wireless telecommunication that appeared in our homes in the early 90's. Although it is still debated whether the effects of this electromagnetic radiation adversely influence the precise biological balance of the human body or not, but it is the ethical duty of those in the field of science to research the reasons of the so called ills of civilization.

Prior to my research, I reviewed the literature available on the topic, from which I realized that most of the research had been done not from the point of view of the building or the user of the building, but to help wave propagation. Architects and engineers thus did not get any advice, nor was there any literature available to them. There was no consistent system of measurement and evaluation.

My research aims to provide a basis designing existing and future buildings according to electromagnetic levels that meet international health recommendations. On the other hand, to contribute in developing a building construction and design method that adjust to the future design trends.

As the first step, I collected data about the electric and magnetic field levels and electromagnetic radiation levels in homes and compared them with international standards and recommendations. I observed that although the levels satisfy the requirements of the standards, they are above the recommendations, so it would be appropriate to lower these levels inside the homes.

I stated that residential buildings built with the similar technology gives similar properties according to electromagnetic fields, however residential buildings with different building methods give different electromagnetic behavior thus the residential buildings can be classified based on electromagnetic behavior.

As the second step, I investigated the effect that different window sizes and window placement, building shapes have on the electromagnetic radiation in a virtual environment and in an anechoic chamber, and I presented the kind of changes that are brought about in the indoor electromagnetic field when the structure is changed.

As the third step, through performing a series of measurements, I determined the shielding effectiveness in dB of metallic nets with different grid density. I also determined which grid density should be applied to reduce the inner radiation to the recommended level. I presented that the reinforcement of the reinforced concrete wall panels does not participate in electromagnetic shielding above the examined 1GHz.

Finally, I gave recommendations to the layer sequence of building constructions that are applicable in architecture to minimize the appearance of hot spots and reduce electromagnetic levels inside the building.

The presented new scientific results will provide guidance for practicing architects when designing healthier buildings with minimal electromagnetic radiation.

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném köszönetemet kifejezni témavezetőimnek, Dr. Szász Andrásnak és Dr. Szendrő Péternek szakmai segítségükért és a konzultációkért.

Köszönettel tartozom Dr. Guy Vandenbosch professzornak is, a Leuveni Egyetem Mikrohullámú Telekommunikáció Tanszékén nyújtott segítségért, hogy lehetővé tette a CST számítógépes szimulációs program használatát és a tanszék reflexiómentes kamrájában végzett méréseket, továbbá szakmai tanácsaival segítette munkámat.

Köszönettel tartozom azoknak a magánembereknek és családoknak, akik lehetővé tették, hogy a lakásukban méréseket végezzek, ezzel segítve kutatásomat.

Végül, de nem utolsó sorban hálás vagyok, kollegáim, barátaim, és családom türelméért és folyamatos bátorításáért, mellyel hozzájárultak kutatómunkám elvégzéséhez.

9. MELLÉKLETEK

M1: Szakirodalmi hivatkozások jegyzéke

1. Adang, D., Campo, B., Vander Vorst, A. (2006): Has a 970 MHz pulsed exposure an effect on the memory related behaviour of rats? *Wireless Technology, Browser Conference Publications, Manchester*, pp. 135–138.
2. Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J, et al. (2000): A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukemia. *Br J Cancer* 2000; 83:692–8.
3. Alhekail Z O I. (2001): Electromagnetic radiation from microwave ovens. *Journal of Radiological Protection*, 21(3), 251-8.
4. Arnstein, Sherry R. (1969): A ladder of citizen participation. *Journal of the American Institute of planners*, Vol. 35, no.4, pp. 216–224.
5. Bawin, S.M., Adey W.R. (1976): Sensitivity of calcium binding in cerebral tissue to weak environmental electric fields oscillating at low frequencies. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, Vol. 73, No. 6, pp. 1999-2003.
6. Bojtár, I. and Zs. Gáspár, Zs. (2003): *Finite Element Method for Engineers*. TERC, Budapest
7. Botzheim Bálint (2017): *Parametrikus építészet – kódra fel!*, Új Magyar építészet <http://meonline.hu/vizualis-kultura/parametrikus-epiteszet/> (letöltve: 2018.05.28)
8. Bunch KJ, Keegan TJ, Swanson J, Vincent TJ, Murphy MF (2014): Residential distance at birth from overhead high-voltage powerlines: childhood cancer risk in Britain 1962-2008. *Br J Cancer*, 110(5), 1402-8.
9. Blackman C.F., Benane S.G., House D.E., Elliott D.J. (1990): Importance of alignment between local DC magnetic field and an oscillating magnetic field in responses of brain tissue in vitro and in vivo, *Bioelectromagnetics*, 11 pp. 159-167
10. Blackman C.F., Blanchard S.G., Benane S.G., House D.E., Elder J.A., (1998): Double blind test of magnetic field effects on neurite outgrowth, *Bioelectromagnetics Volume 19, Issue 4*, pp. 204–209.
11. Blackman, C. (2009): Cell phone radiation Evidence from ELF and RF studies supporting more inclusive risk identification and assessment, *ISP Pathophysiology volume:16, Issue 2*, pp. 205-216.
12. Cammaerts, M., Vandenbosch,G., Volsky,V., (2014): Effect of short-term GSM radiation at representative levels in society on a biological model: The ant myrmica sabuleti, *Journal of insect behavior*, Volume 27, Number 2, pp. 514-526.
13. Chen, C (1987): Calculation of average electron mean free path for metallic thin films, *J.Mat.Science. Let.*, vol 6, pp. 232-234.
14. Cságoly F. (2014): *Három könyv az építészetről, Tartósság*, Akadémiai kiadó ISBN 978 963 05 94301 pp 71, 109.
15. Danker-Hopfe H, Dorn H, Bornkessel C, Sauter C (2010): Do mobile phone base stations affect sleep of residents? Results from an experimental double-blind sham-controlled field study. *American Journal of Human Biology*, 22, 613-8.

16. Deplazes, A (2013): *Constructing architecture*, Birkhäuser, Basel, ISBN-10: 3-7643-7190-0
17. Divan HA, Kheifets L, Olsen J (2011): Prenatal cell phone use and developmental milestone delays among infants. *Scand J Work Environ Health*, 37(4), 341-8.
18. Durgin, G, Rappaport T, Xu H, (1998): Measurements and models for radio path loss and penetration loss in and around homes and trees at 5.85 GHz, *IEEE Trans. Commun.* 46/11, pp. 1484–1496.
19. ENTSO-E, (2009): European network of transmission system operators for electricity https://www.entsoe.eu/publications/statistics/statistical-yearbooks/Documents/101124_SYB_2009_2.pdf (letöltve:2017.06.12)
20. FEKO MLFMM: https://www.feko.info/product-detail/numerical_methods/mlfmm (letöltve:2018.02.16)
21. Fonyó A. (2011): Az orvosi élettan tankönyve, Medicina Könyvkiadó Zrt. 978 963 226 344 1
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_524_Elettan/adatok.html (letöltve: 2017.06.07)
22. Gambichler T., Sebastian R., Altmeyer P., and Hoffmann K., (2001): *BMC Dermatology: Protection against ultraviolet radiation by commercial summer clothing: need for standardised testing and labelling*
23. Gavalas R.J., Walter D.O., Hamer J., Adey W.R., (1970): Effect of low-level, low-frequency electric fields on eeg and behavior in macaca nemestrina, *Brain Research* 18 (3) pp. 491–501.
24. Gibson W. C. (2008): *The Method of Moments in Electromagnetics*, CRC Press, New York.
25. Glaser R, Michalsky M. Schramek R (1998): Is the Ca²⁺ transport of human erythrocytes influenced by ELF- and MF-electromagnetic fields? *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* Volume 47, Issue 2, December 1998, pp. 311-318.
26. Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C, Kelsh M. (2001): A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. *Epidemiology* 2001;11:624–34.
27. Gustafsson, M.; Karlsson, A.; Rebelo, A.P.P.; Widenberg G, B., (2006): Design of frequency selective windows for improved indoor outdoor communication, *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on* , vol.54, no.6, pp.1897,1900, June 2006
28. Gustrau, F, Manteuffel, D. (2006): *EM Modeling of antennas and RF components for wireless communication systems*, ISBN 978 3 540 28614 1, Springer, Berlin
29. Guxens M, van Eijsden M, Vermeulen R, et al. (2013): Maternal cell phone and cordless phone use during pregnancy and behaviour problems in 5-year-old children. *J Epidemiol Community Health*, 67(5), 432-8.
30. Hamer J. (1968) Effects of low level, low frequency electric fields on human reaction time, *Communications in Behavioral Biology* 2 (5 part A) pp. 217–222.
31. Hasted, J.B., Shah, M.A. (1964) Microwave absorption by water in building materials, *British J. of Applied Physics*, Vol.15, pp. 825-836.
32. Holland Shielding Systems (2015). EMI/RFI shielded mesh foil windows, <http://www.shieldingsystems.eu/115-Mesh-Foil-Series.htm> (letöltve: 2017.08.08.)

33. Holloway C.L, Perini, P.L, DeLyser R.R, Allen K. (1997) Analysis of composite walls and their effects on short-path propagation modeling. *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 1997;46:730-8
34. Hultquist B.(1956): Studies on naturally occurring ionizing radiations, *Kungl. Svenska Vetenskapsakad. Handl.*,6
35. IARC MONOGRAPHS (2008) Evaluation of carcinogenic risks to humans, Non-ionizing radiation, part 1: static and extremely low-frequency electric and magnetic fields, Volume 80, IARCPress, Lyon, France
36. ICNIRP (1998): Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (Up To 300 GHz), *Health Physics* 74, 494-521
37. ICRP (1993): Protection Against Radon-222 at Home and at Work. ICRP Publication 65. *Ann. ICRP* 23 (2).
38. Ilonen K., Markkanen A., Mezei G., and Juutilainen J (2008): Indoor transformer stations as predictors of residential ELF Magnetic Field exposure. *Bioelectromagnetics*, 29(3), 213-8.
39. Iványi, A. (2003): Folytonos és Diszkrét Szimulációk az Elektrodinamikában, Akadémiai Kiadó, Budapest
40. Jánossy L. (1963): Kozmikus sugárzás; Gondolat Kiadó; Budapest; 200-202. o.
41. Jin, J. M. (2014): *The Finite Element Method in Electromagnetics*. Wiley-IEEE Press, New York
42. Joó E. (2005): Az elektromágneses hullámok elnyelődésének modellje emberi fejben, doktori értekezés, Szent István Egyetem
43. Kaczmarek L.K., Adey W.R., (1973): The efflux of $^{45}\text{Ca}^{2+}$ and (3 h) gammaaminobutyric acid from cate cerebral cortex, *Brain Research* 63 pp. 331–342.
44. Katona V. (2013) *Regeneratív építészet* (1.)
45. <http://epiteszforum.hu/regenerativ-epiteszet-1> (letöltve: 2017.09.20)
46. Keegan TJ, Bunch KJ, Vincent TJ, King JC, O'Neill KA, Kendall GM, MacCarthy A, Fear NT, Murphy MF (2012): Case-control study of paternal occupation and childhood leukaemia in Great Britain, 1962-2006. *Br J Cancer*, 107(9), 1652-9.
47. Keikko T., Seesvuori R., and Valkealahti S. (2006): Exposure to magnetic field harmonics in the vicinity of indoor distribution substations. *Health Physics* 91(6), pp. 574-581.
48. Kerékgyártó B. (szerk.) (2007): *Mérhető és mérhetetlen*, Tipotex, Budapest, ISBN: 978-963-9548-44-2
49. Köteles, F, Szemerszky, R, Gubányi, M. (2013) Idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (IEI-EMF) and electrosensitivity (ES)—Are they connected? *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 216(3), pp. 362–370.
50. Kuba G. (2013): *Ökológikus építészet*, Magyar Építész Kamara Továbbképző NP Kft, <http://bioszolárház.hu> (letöltve: 2017.09.20)
51. Kunszt Gy. (2003): *Értékválság az építészetben*, TERC, Budapest, ISBN: 963 9535 00 1

52. Landron, O., Feuerstein, M.J., Rappaport, T.S (1996): A comparison of Theoretical and empirical reflection coefficients for typical Exterior wall surfaces in a mobile radio environment, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.44/3, pp 341-351
53. Legros A, Corbacio M, Beuter A, Modolo J, Goulet D, Prato FS, Thomas AW (2011): Neurophysiological and behavioral effects of a 60Hz, 1,800 μ T magnetic field in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 112, pp. 1751-62.
54. Li P, McLaughlin J, Infante-Rivard C (2009). Maternal occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields and the risk of brain cancer in the offspring. *Cancer Causes Control*, 20(6), pp. 945-55.
55. Lott, M, Forkel, I. (2001) A multi-wall-and-floor model for indoor radio propagation. *IEEE Vehicular Technology Conference*, 2001;1, pp. 464-8.
56. Lowden A, Åkerstedt T, Ingre M, Wiholm C, Hillert L, Kuster N, Nilsson JP, Arnetz B (2011): Sleep after mobile phone exposure in subjects with mobile phone-related symptoms. *Bioelectromagnetics*, 32, pp. 4-14.
57. Matthes R (1992): Radiation emission from microwave ovens. *Journal of Radiological Protection*, 12(3), pp. 167-72.
58. McBride ML, Gallagher RP, Theriault G, Armstrong BG, Tamaro S, Spinelli JJ, et al. (1999) Power-frequency electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia in Canada. *Am J Epidemiol* 1999;149, pp. 831-42.
59. Milde-Busch A, von Kries R, Thomas S, Heinrich S, Straube A, Radon K (2010). The association between use of electronic media and prevalence of headaches in adolescents: results from a population-based cross-sectional study. *BMC Neurology*, 10, 12.
60. Mockbee, S. (1998): The Rural Studio In: A. Krista Sykes (ed.), pp.107-115.
61. Moore, Steven A. (2005): Technology, place, and nonmodern regionalism, In: A. Krista Sykes (ed.): *Constructing a new agenda. Architectural theory 1993-2009*. Princeton Architectural Press, New York 2010, pp.365-384.
62. Morgado-Valle, Consuelo; Verdugo-Díaz, Leticia; David E. García, Christian Morales-Orozco, R. Drucker-Colín (1998): The role of voltage-gated Ca²⁺ channels in neurite growth of cultured chromaffin cells induced by extremely low frequency (ELF) magnetic field stimulation
63. National Research Council (U.S.) (1996): Possible health effects of exposure to residential electric and magnetic fields, National Academy Press, Washington, DC, 1996
64. Neitzke, H.-Peter Osterhoff, Julia Voigt, Hartmut (2010): Bestimmung und Vergleich der von Erdkabeln und Hochspannungsfreileitungen verursachten Expositionen gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern - Vorhaben 3608S03011, Bundesamt für Strahlenschutz, Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz ; 29/10-REV-1
65. Nimtz, G. Enders, A. (1998): System for absorbing electromagnetic waves and method of manufacturing this system, amerikai szabadalom: US 5710564 A, PCT/EP1994/002073
66. Nittbya H, Brunb A, Eberhardt J, Malmgrend L, Perssonc BRR, Salford LG. (2009): Brain barrier permeability in mammalian brain 7 days after exposure from a GSM-900 mobile phone. *Pathophysiology* 2009;16, pp. 103-12.

67. Novák, Á. (2001): Kaland a ház körül, Az épített környezetért alapítvány, Budapest, ISBN 963 7169 07 5
68. Orlandi A. (1995): Attenuation of Electric Field by Small Reinforced Concrete Building: Measured and Computed Results. IEICE TRANSACTIONS on Communications 1995;78, pp. 212-7.
69. Panelos Lakóépületek Felújítása (1994): Műszaki könyvkiadó, Budapest ISBN 963 16 0034 3, 36-37o.
70. Papp Z, Daróczy S. (1997): Radontól származó sugárterhelés Ajkán, KLTE Izotópalkalmazási Tanszék, Fizikai szemle 1997/8 248.o
71. Preece A W, Kaune W, Grainger P, Preece S, and J Golding (1997): Magnetic fields from domestic appliances in the UK. Physics in Medicine and Biology, 42(1), pp. 67-76.
72. Rao, K. V. S. Nikitin, P. V. Lam, S. F, (2005): Antenna design for UHF RFID tags: a review and a practical application, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Volume: 53, Issue: 12, pp: 3870 - 3876, DOI: 10.1109/TAP.2005.859919
73. Renoux A., (1995): előadás a Veszprémi egyetemen, Fizikai szemle 1996/1
74. Repacholi, M. H. (1998): Low-Level Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields: Health Effects and Research Needs, Bioelectromagnetics, 19, 1
75. Rössli M, Jenni D, Kheifets L, Mezei G (2011): Extremely low frequency magnetic field measurements in buildings with transformer stations in Switzerland. Science of the Total Environment, 409(18), pp. 3364-9.
76. Saunders T., (2003): Health hazards and electromagnetic fields. Complementary Therapies in Nursing and Midwifery Volume 9/4, pp. 191-197.
77. Sători G.(2009): A Schumann-rezonanciák mint a globális változások jelzőrendszere 2009 szeptember, Magyar tudomány 1087. o.<http://www.matud.iif.hu/2009/09sze/12.htm> (letöltve: 2017.08.30)
78. SBM 2008, Standard der baubiologischen Messtechnik https://www.baubiologie.de/downloads/english/standard_2008_englisch.pdf (letöltve: 2017.08.30)
79. SCENIHR (Scientific Committee o Emerging and Newly Identified Health Risks), Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF), 27 January 2015. https://ec.europa.eu/health/sites/health/files/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_041.pdf (letöltve: 2017.08.30)
80. Schuz J, Grigat JP, Brinkmann K, Michaelis J. (2001): Residential magnetic fields as a risk factor for childhood acute leukaemia: results from a German populationbased case-control study. Int J Cancer 2001;91:728–35.
81. Shah, M.A., Hasted, J.B., Moore, L. (1965): Microwave absorption by water in building materials: Aerated concrete. British J. of Applied Physics, Vol. 16, pp. 1747-1754
82. Soh, P. J. and Vandenbosch, G. A. E. (2016): Textile antennas for body area networks: design strategies and evaluation methods, in electromagnetics of body area networks: Antennas, Propagation, and RF Systems (eds D. H. Werner and Z. H. Jiang), John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA. doi: 10.1002/9781119082910.ch1

83. Sou, C.K., Landron, O., Feuerstein, M. J. (1992): Characterization of electromagnetic properties of building materials for use in site-specific propagation prediction, Mobile Portable Radio Res. Grp. (MPRG) Tech. Rep. 92-12, Virginia Tech.
84. Stanev, T. (2010): Ultra high energy cosmic rays: A review; astro-ph: arXiv: 1011.1872
85. Stevels, J.M. (1957): The electrical properties of glass. *Handbuch der Physik*, Vol. 20, Berlin
86. Sudan, M, Kheifets, L, Arah, O, Olsen J, Zeltzer L (2012): Prenatal and postnatal cell phone exposures and headaches in children. *Open Pediatric Medicine Journal*, 6, 46-52.
87. Swanson, J. Renew, D. Wilkinson, N. (1996): "Power lines and health." *Physics World* 9.11: 29.
88. Szabo J., Janossy G., Thuroczy G. (2007): Survey of Residential 50 Hz EMF Exposure from Transformer Stations. *Bioelectromagnetics*, 28(1), pp. 48-52.
89. Szasz A., Szendrő P., Vincze Gy., Szasz N., Szasz O. (2003): Simulation of seeds by electromagnetic potentials. 6th International Congress of European Bioelectromagnetics Association, Budapest, 2003. November 13-15. Book of Abstracts EBEA 2003, p.245.
90. Szendrő P, Koltay J, Vincze Gy (1997): Radiation of sowing seeds in electromagnetic discharge space. *Hungarian Agricultural Engineering* (10), p. 17.
91. Szendrő P, Vincze Gy, Szasz N, Szasz A, (2003): Electromagnetic seed selection. 6th International Congress of European Bioelectromagnetics Association, Budapest, 2003. November 13-15. Book of Abstracts EBEA 2003, p. 247.
92. Sztranyák G, (2014): alternatív építőanyagok a kortárs építészetben: anyag, forma, szerkezet, *Fiatal műszakiak tudományos ülészaka XIX.*, Kolozsvár
93. Tarnag J.H, (1999): Effective models in evaluating radio coverage on single floors of multi floor buildings, *IEEETrans.Veh.Technol.*48(3) pp. 782–789.
94. *TeleGeography* (2018): Parliament rejects reform of non-ionising radiation rules. <https://www.telegeography.com/products/commsupdate/articles/2018/03/408/parliament-rejects-reform-of-non-ionising-radiation-rules/> (letöltve: 2018.03.28)
95. Tenforde, T. S. (1996): Interaction of ELF magnetic fields with living systems. In: Polk, C. H., Postow, E. (eds): *Biological effects of electromagnetic fields*, 2nd Ed. Boca Raton: CRC Press. p 185-230.
96. Thomas S, Heinrich S, von Kries R, Radon K (2010): Exposure to radio-frequency electromagnetic fields and behavioural problems in Bavarian children and adolescents. *European Journal of Epidemiology*, 25, 135-141.
97. Thuróczy Gy. (2002): A rádiófrekvenciás sugárzások egészségügyi kérdései, *Magyar tudomány* 2002/8, <http://www.matud.iif.hu/02aug/thuroczy.html> (letöltve: 2017.08.30)
98. Tomitsch J., Dechant E. (2015): Exposure to Electromagnetic Fields in Households – Trends from 2006 to 2012, *Bioelectromagnetics*, Vol. 36, pp.77-85
99. Torgovnikov, (1993): G., *Dielectric Properties of Wood and Wood-Based Materials*. Springer Verlag, New York.
100. Tuchninda C, Sabong Srivannaboorn, and Henry W. Lim (2005): Photoprotection by window glass, automobile glass, and sunglasses 2006, *American Academy of Dermatology*, pp:845-854, doi:10.1016/j.jaad.2005.11.1082

101. Traub, R D. (2007): Critical role of electrical coupling in generating population oscillations in neocortex, at frequencies from 1 to 100 Hz; *Neuroscience Research* 58S S1–S244
102. UK Childhood Cancer Study Investigators (UKCCS). (1999): Exposure to power-frequency magnetic fields and the risk of childhood cancer. *Lancet* 1999;354, pp. 1925–31.
103. Unno M, Aono S, Asai H, (2012): "GPU-based massively parallel 3D FDTD method for high-speed electromagnetic field simulation", *Electromagnetic Compatibility IEEE Transactions on*, vol. 54, no. 4, pp. 912-921
104. Xionjun T, Tian W. (2016): Method on improving measurement accuracy and precision of transmission line clearance distance, *High Voltage Engineering and Application (ICHVE)*, 2016 IEEE International Conference on 19-22 Sept. 2016, DOI:10.1109/ICHVE.2016.7800797
105. Yee, K. (1966): Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 14, No. 3, pp. 302-307.
106. Vaessen W, Dyk J, Vorst A. (1988): RF Shielding Due to Building Structures Like Brick Walls, Wire Grids and Metal Coated Windows, 18th European Microwave Conference, Stockholm, Sweden, DOI: 10.1109/EUMA.1988.333881
107. Volkow ND, Tomasi D, Wang G, Vaska P, Fowler JS, Telang F, Alexoff D, Logan J, Wong C (2011): Effects of cell phone radiofrequency signal exposure on brain glucose metabolism. *JAMA* 305(8), pp. 808–813. doi:10.1001/jama.2011.186
108. Volski, V., Vandenbosch, G. A. E and Vasylchenko, A. (2010) "A dedicated technique to measure shielding effectiveness of textiles using a two horn antenna set-up", *The Journal of the Textile Institute*, Vol. 101, No. 4, pp. 201-208
109. Vrijheid M, Martinez D, Fornes J, et al (2010). Prenatal exposure to cell phone use and neurodevelopment at 14 months. *Epidemiology*, 21(2), 259-62.
110. Vroon PA. (1991): Ziek makende Gebouwen en de evolutie van de mens. *Bouwfysica* 2(2), pp. 18-25
111. Webster, J.G. (1998): *Medical Instrumentation: Application and Design*. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc., p. 259.
112. Weiland T. (1996): Time domain electromagnetic field computation with finite difference methods, *International Journal of Numerical Modelling*, Volume 9, Issue 4, pp. 295–319.
113. Wu, T. Xiao, B. Liu K et al (2016): Study on overhead transmission line magnetic field harmonics of VSC-HVDC, *High Voltage Engineering and Application (ICHVE)*, 2016 IEEE International Conference on 19-22 Sept. 2016, DOI: 10.1109/ICHVE.2016.7800915
114. Zaffanella L. (1993): Survey of residential magnetic field sources. Volume 1: Goals, results and conclusions. Volume 2: Protocol, data analysis, and management. EPRI, Palo Alto, CA, Final Report, September, Report Nos. TR-102759-V1 and TR-102759-V2,
115. Zaffanella LE, Kalton GW. (1998): Survey of personal magnetic field exposure: 1000 person survey. EMF RAPID Program-Project No. 6, final report;

116. Zaryabova V, Shalamanova T, Israel M (2013): Pilot study of extremely low frequency magnetic fields emitted by transformers in dwellings. Social aspects. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 32(2), pp. 209-17.

M2: Az értekezés témaköréhez kapcsolódó saját publikációk*Lektorált cikk világnyelven:*

1. **Vizi, G.**, Vandenbosch, G. A. E, (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:

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

Magyar nyelvű konferencia kiadvány:

1. **Vizi, G.** (2012): Elektroszmog az építészetben, XVII Fialal Műszakiak Tudományos Ülészakának konferencia kiadványa, Kolozsvár, Románia, 2012. március 22-23, 379-382. o. ISSN 2067-6808
2. **Vizi, G.** (2012): Lakások elektromágneses sugárzásának mértéke és ezek csökkentési lehetőségei, DOSZ Tavaszi Szél konferencia, Győr 2012. május 19, 492-498. o. ISBN 978-963-89560-0-2
3. **Vizi, G.** (2013): Építőanyagok kapcsolata az elektroszmoggal, XVII Fialal Műszakiak Tudományos Ülészakának konferencia kiadványa, Kolozsvár, Románia, 2013. március 21-22. 445-448. o. ISSN 2067-6 808

Nemzetközi konferencia absztrakt:

1. **Vizi, G.** (2014): Unused energy in our homes in the form of electromagnetic wave, EE Conference, Gödöllő 2014.12.05, 35. o.