

# Beltéri rádióhálózat antennáinak optimalizálása

GULÁCSI ZSOLT

zsolt.gulacsi@gmail.com

*Kulcsszavak: biquad, beltéri antennák, WLAN, nec-2, beltéri mérések*

**Napjaink vezeték nélküli kommunikációjában kiemelkedő szerepe van a WLAN rendszereknek, melyek az IEEE 802.11 szabvány szerint működnek. 1997-ben jelent meg az első ilyen szabvány, azóta azonban több továbbfejlesztett változat is felbukkant, például 2003-ban a 802.11g, vagy 2009-ben a 802.11n. A cél a kapcsolat minőségének javítása volt, például az adatátviteli sebesség vagy a hatótávolság növelésével. Erre többféle módszer lehetséges. Ebben a cikkben egy módszert szeretnénk bemutatni, nevezetesen az irányított antennák használatát.**

## 1. Bevezetés

A fent említett WLAN rendszerekben legtöbbször botanennákat (például: monopól vagy dipól) használnak, melyek irányítatlanok. Ezen rendszerek közös tulajdonsága továbbá, hogy valamilyen adaptív modulációt alkalmaznak, vagyis a létrejövő link minőségétől függ az adatátviteli sebesség. Kézenfekvő tehát, hogy irányított antennákkal is megpróbálhatjuk javítani a kialakuló rádiókapcsolat minőségét. Ugyanakkor nem volt cél az antennanyereség és ezáltal az irányítottság maximalizálása, és figyelembe kell venni a WLAN rendszerekre vonatkozó EIRP korlátozásokat is [1].

Az irányított antennák használatát elsősorban az indokolja, hogy szelektív vételt biztosítsunk a tér különböző irányából, ugyanis gyakran nincs szükség arra, hogy a tér minden irányából vegyünk. Például ha van közvetlen rálátás az adó és a vevő között (LOS környezet), akkor az őket összekötő szakasz mentén egy domináns jelút alakul ki, melyre ráirányítva az irányított antenna főnyalábját jobb jelszintet mérhetünk a vevőoldalon, mint egy irányítatlan antenna esetében.

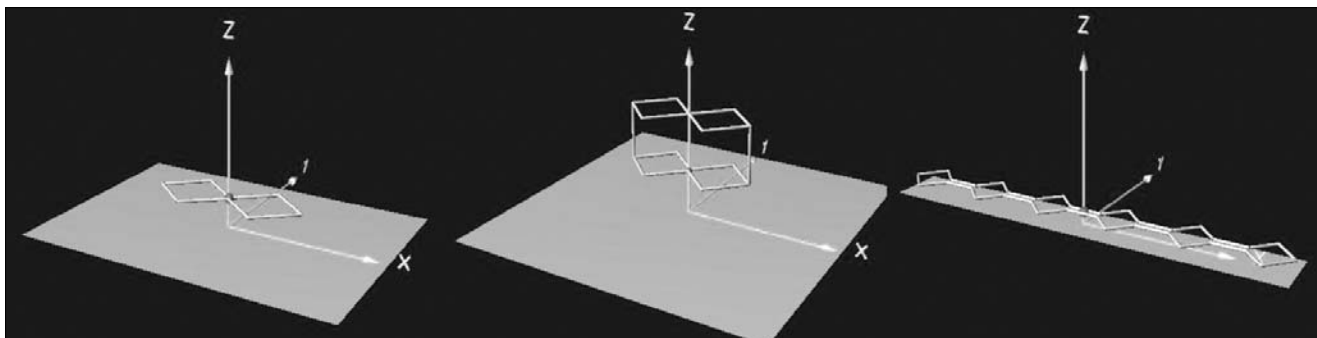
A másik eset az az, hogy nincs közvetlen rálátás az adó és vevő között (NLOS környezet). Ekkor általában nincs egy domináns jelút, hanem több van és ezek rendszerint különböző reflexiókon keresztül érkeznek a ve-

vőbe. Ezért ajánlott ilyen esetben irányítatlan antennát használni, hiszen az elvileg egy tetszőleges irányból érkező domináns reflexiót hatékonyan venni fog. Azonban ha szánunk rá egy kis időt és megpróbáljuk az irányított antennát forgatni vagy különböző irányokba eltolni, akkor a főnyalábjával megtalálhatunk egy domináns jelutat és ezáltal jobb vételi jelszintet tudunk biztosítani.

Fontos továbbá említeni, hogy az itt tárgyalt antennák leginkább beltéri működésre lettek kitalálva. A tárgyalt WLAN rendszerek jelentős része a 2,4 GHz-es ISM sávban működik, emiatt az antennák is erre a sávra lettek tervezve. Az általunk választott konstrukciónál fontos szempont volt az egyszerűség, hogy bárki, hétköznapi eszközökkel el tudja ezeket az antennákat készíteni, ugyanakkor lehessen viszonylag nagy nyereséget és irányítottságot is biztosítani. Ezért esett a választás az úgynevezett biquad-okra és ezeknek a továbbfejlesztett változataira.

Az 1. ábra bal oldalán látható a biquad, melyet úgy kapunk, hogy egy két rombuszból álló vevőelemet egy reflektorfelület fölé helyezünk. Ha ugyanezt kétszer alkalmazzuk, akkor a dupla biquad-ot, vagy egyszerűen dbiquad-ot kapjuk. Az ábrán az is megfigyelhető, hogy vízszintes irányban elvileg tetszőleges sok rombuszalakú huzalt adhatunk az elrendezéshez. Ezek közül a 6-

1. ábra A választott konstrukciók



elemű quad-okat vizsgáltuk (a továbbiakban quad6). Az egyszerű biquad-okat nagyon sok internetes portálon megtalálhatjuk (pl. [2,3]), egyesek ígéretes adatokat és szimulációs eredményeket is közölnek. A többelemű quad-ok közül [4] egy elég részletes szimulációt és konstrukciós ötleteket is tartalmaz. Nem találunk viszont olyan méréseket, melyek igazolnák a szimulált eredményeket, mint például az antennák állóhullámarányát, nyereségét, előre-hátra viszonyát és iránykarakteristikáját. Az sem derül ki, hogy az elkészült antennák segítségével beltéri környezetben valóban javíthatunk-e egy WLAN kapcsolat minőségén.

A cikk fő célja a választott antennák szimulációjának, elkészítésének és bemérésének bemutatása. Ezen kívül közlünk pár mérési eredményt, melyben gyári, irányítatlan antennákkal hasonlítottuk össze a tervezett antennákat beltéri környezetben. Elsőként a szimuláció menetét foglaljuk össze röviden, majd közöljük az optimális antennákra vonatkozó eredményeket. Ezt követően az antennák mechanikai konstrukcióját mutatjuk be, a 4. és 5. szakasz pedig áttekintést ad a mérési eredményekről melyek segítségével ellenőrizni tudjuk a szimuláció pontosságát és azt, hogy mennyire működnek hatékonyan az antennák beltéri környezetben.

## 2. Szimuláció

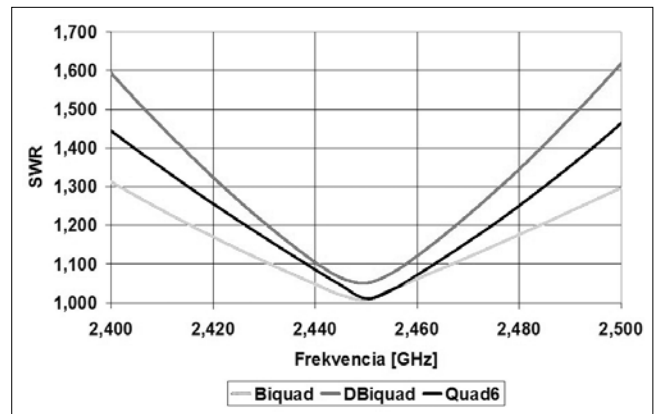
Általában egy tervezési feladatban nem a szimuláció az első lépés, most azonban adottnak feltételezhető a konstrukció, melyet a biquad esetében [2], a dbiquad-nál [3], míg a quad6 esetén [4] ad meg. A cél egyrészt annak az ellenőrzése volt, hogy egy adott szimulációs környezetben valóban a megadott forrásokban szereplő konstrukciók hatására lesznek optimálisak az antennaparaméterek, másrészt pedig annak a megállapítása, hogy mit is várhatunk az ilyen kialakítású antennáktól. Ezeket figyelembe véve a szimuláció abból állt, hogy először bevittük az antennákat a szimulációs programba, majd különböző konstrukciós tulajdonságokat, (például a vevőelem távolsága a reflektortól, a reflektor mérete stb.) változtatva lejegyeztük a szimulált antennaparamétereket és kiválasztottuk a legoptimálisabbat. A legtöbb szimulációt egyetlen frekvencián, mégpedig sávközépen végeztük, mert ezáltal jelentősen csökken a szükséges idő, azonban a végén mindig ellenőrizni kellett az eredményt egy teljes frekvenciasávbeli szimulációval.

Láthattuk, hogy az antennák nem bonyolult geometriájúak, ezért nincs szükség a szimulációhoz gyári szoftverre, egy egyszerűbb program is megteszi. Ezért esett a döntés a 4nec2 nevezetű programra, mely bárki számára hozzáférhető [5] és tulajdonképpen a szintén ingyenes nec-2 algoritmuson alapul a működése, lényegében egy grafikus kezelőfelületet biztosít hozzá. Ehhez azonban szükséges volt a nec-2 dokumentációjának [6] alapos tanulmányozása.

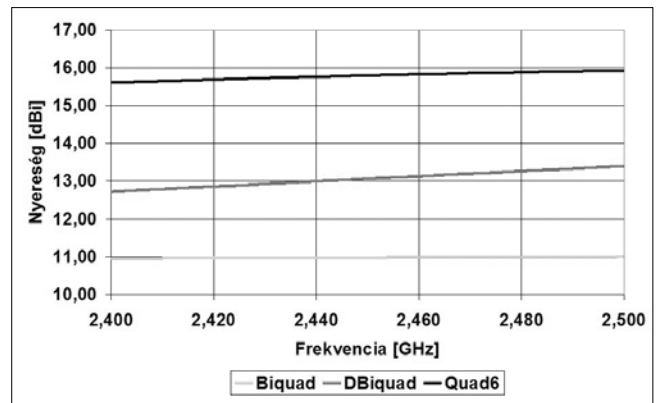
Az antennák táplálása egy koaxiális kábel segítségével történik, az ehhez kapcsolódó részleteket a 3. szakasz tartalmazza. A szimuláció során nem vettük figye-

lembe ennek a kábelnek a hatását a használt program korlátai miatt. Fontos viszont, hogy a szimuláció során kiderült, hogy a biquad és dbiquad bemeneti impedanciája 50, míg a quad6-é pedig 200 ohm körüli. Ezért igyekeztünk az antennák geometriai paramétereit úgy megválasztani, hogy azok bemeneti impedanciái sávközépen legyenek a legközelebb ezekhez az értékekhez. Ily módon az összes antenna táplálása lehetséges lesz 50 Ohm-os tápvonalon keresztül, csak a quad6 esetében egy félhullámhosszúságú, úgynevezett kerülőutas balunt kell majd alkalmaznunk. Ennek a konstrukcióját is a 3. szakasz tartalmazza.

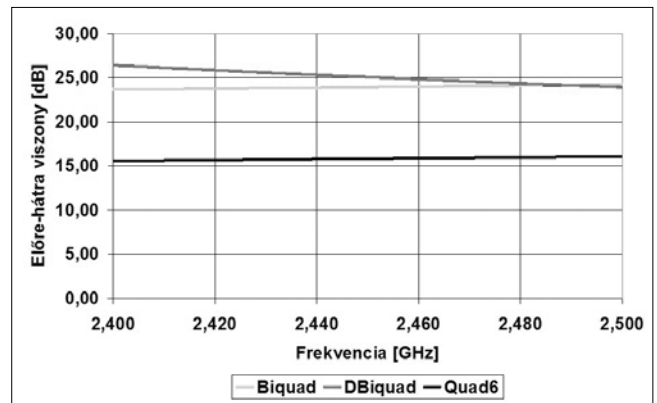
A 2. ábrán a szimulált állóhullámarányokat láthatjuk a teljes frekvenciasávban a biquad és dbiquad esetén 50, a quad6 esetén pedig 200 Ohm-ra vonatkoztatva.



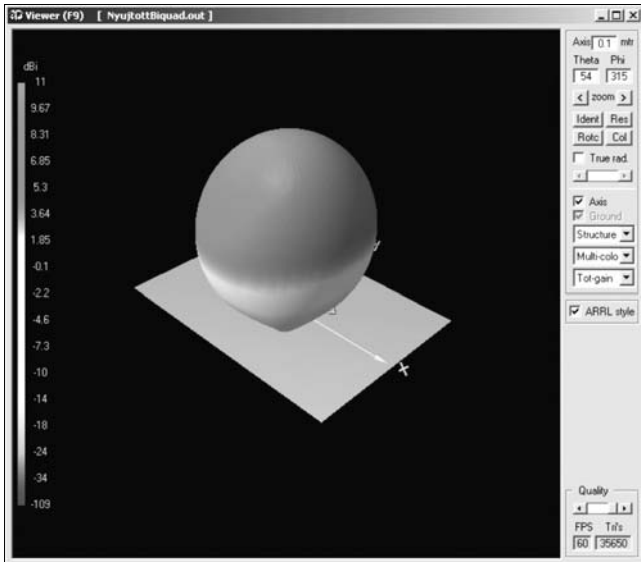
2. ábra Szimulált állóhullámarányok



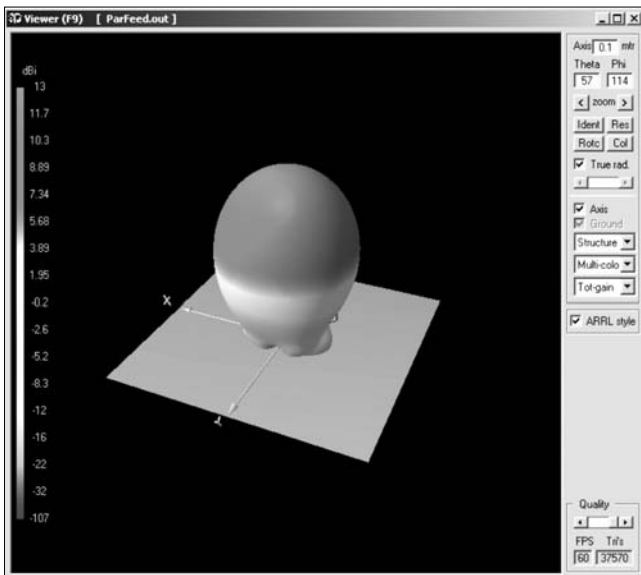
3. ábra Szimulált nyereségek



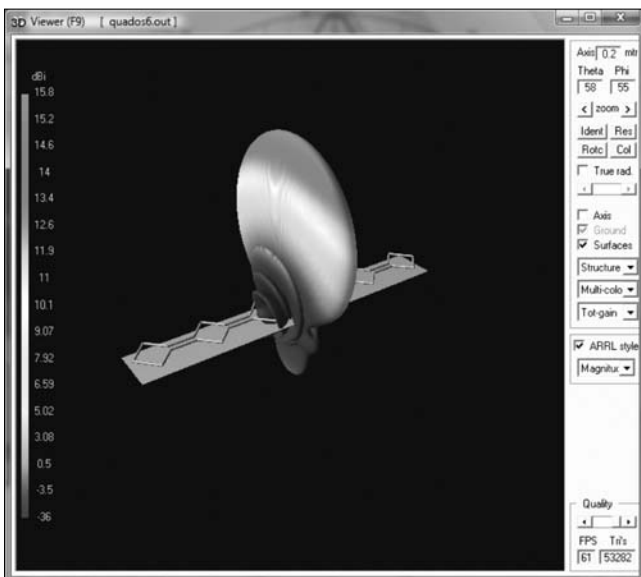
4. ábra Szimulált előre-hátra viszonyok



5. ábra biquad iránykarakterisztika



6. ábra dbiquad iránykarakterisztika



7. ábra quad6 iránykarakterisztika

Jól látható, hogy mindhárom görbének sávközépen van a minimuma, valamint az, hogy egyik görbe sem éri el a 2 értéket még a sáv szélén sem. A 3. ábrán a nyereségek láthatóak, innen tulajdonképpen képet kapunk arról, hogy mire számíthatunk, valamint megállapíthatjuk, hogy nem változnak jelentősen a vizsgált frekvenciasávban. Hasonló megállapításokat tehetünk a 4. ábrán látható előre-hátra viszonyokról.

Lehetőség volt még iránykarakterisztikák és iránydiagramok szimulációjára is. Ezek közül pár iránykarakterisztikát emelnénk ki (5-7. ábra), a 4. szakaszban pedig majd pár szimulált iránydiagramot hasonlítunk össze a mérési eredményekkel.

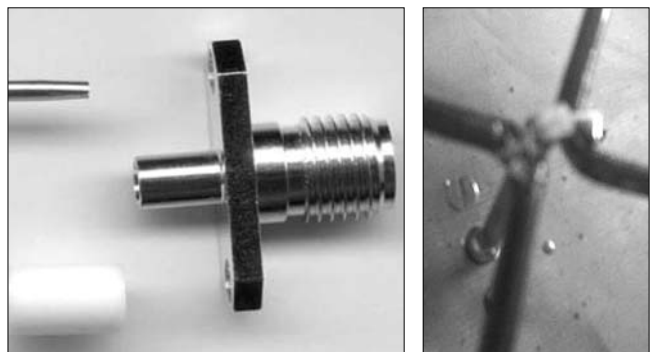
### 3. Az antennák elkészítése

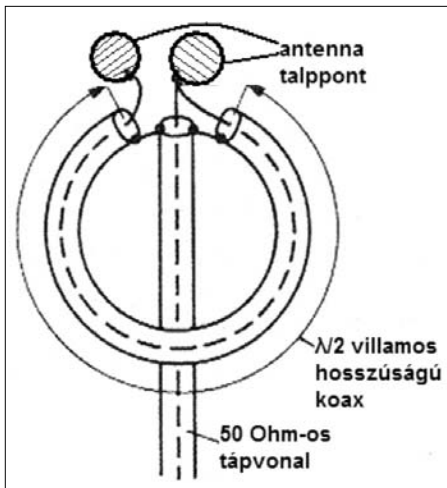
A mechanikai konstrukció során a cél egyrészt az volt, hogy minél jobban közelítsük a szimulációnál használt modellt, másrészt az, hogy az építés folyamata minél egyszerűbb legyen.

A szimuláció során mindig a vevőelem bemenetén vizsgáltuk az impedanciaparamétereiket, így fontos volt, hogy ehhez a ponthoz 50 Ohm-os tápvonal csatlakozzon. Ezen okok miatt mindhárom esetben egy speciális SMA csatlakozót (8. ábra) használtunk, melynek másik végéhez semi-rigid, 50 Ohm-os koax forrasztható. Ez a kábel merevsége miatt biztosítja a vevőelem huzaloknak a megfelelő magasságban való tartását. A quad6 elkészítésénél hajlékony kábel is megfelelt, ugyanis itt a vevőelemek rögzítése szigetelőanyagokkal történt, melyeket a szimulált magasságokhoz kellett igazítani. A fém reflektorfelületek alumíniumból készültek. A rombuszokból álló vevőelemeket 0,6 mm és 1 mm sugarú rézdrótokból készítettük egyszerű hajlítással, mégpedig oly módon, hogy rá lehessen őket forrasztani a tápvonal kivezetéseire. A forrasztás úgy történt, hogy a tápvonal belső vezetőjéhez a vevőelem felső két vége, az árnyékoláshoz pedig az alsó vége lett hozzáferrasztva (9. ábra). A quad6 esetén még a balunt is be kell forrasztani a csatlakozópontokhoz az ismert módon (10. ábra).

Ezzel a konstrukcióval a szimulációhoz képest több káros hatás is keletkezik. A forrasztások nyilván nem voltak figyelembe véve a szimuláció során és mivel kapacitásként viselkednek, ezért minél kisebbre kellett

8-9. ábra  
A használt csatlakozó és az elvégzett forrasztás





10. ábra  
A használt balun helyes csatlakoztatása

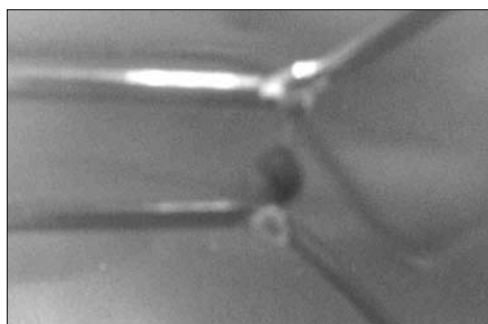
őket készíteni, mert befolyásolják az antenna impedanciáját. Másrészt a külső árnyékon folyó áramok miatt maga a tápvonal is fog sugározni, ami az iránykarakterisztika torzulásához és nyereségcsökkenéshez vezethet. Ez ellen a hatás ellen nem lehetett védekezni, azonban a mérésekből később kiderült, hogy nem befolyásolta jelentősen az antennaparamétereket.

#### 4. Az antennaparaméterek mérése

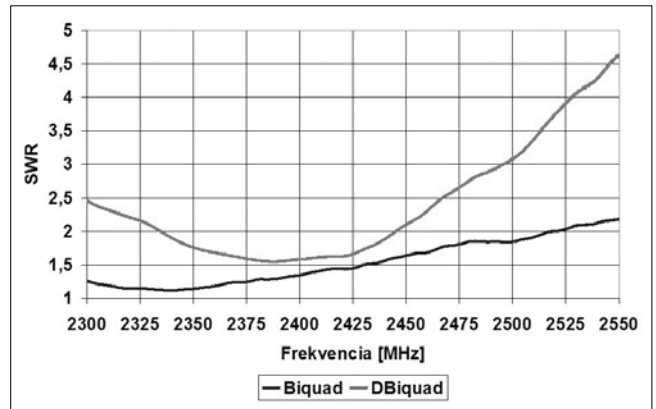
Ezen mérések célja egyrészt az volt, hogy ellenőrizzük a szimuláció során kapott eredményeket és megállapítsuk, hogy mennyire sikerült azokat közelíteni, másrészt pedig ezáltal az is jósolható, hogy alkalmasak lesznek-e az antennák beltéri körülmények közötti megfelelő működésre.

Elsőként a szimulált állóhullámarányt kellett ellenőrizni, ez hálózatanalizátorral történt. A biquad és dbiquad mérési eredménye a 11. ábrán látható. A szimulációhoz képest rosszabb, de ugyanakkor a gyakorlatban elfogadható eredményeket figyelhetünk meg. A görbék minimuma eltolódott kisebb frekvenciákra. Ennek okai lehetnek egyrészt a már említett forrasztások, melyek kapacitásként viselkednek, másrészt a hajlítások során elkövetett pontatlanságok. A quad6 esetén azonban a vizsgált frekvenciatartományban elfogadhatatlan eredményt mértünk először, ezért szükség volt egy 2 pF-os hangoló-kondenzátorra, melyet az antenna két adott pontja közé lehetett forrasztani (13. ábra).

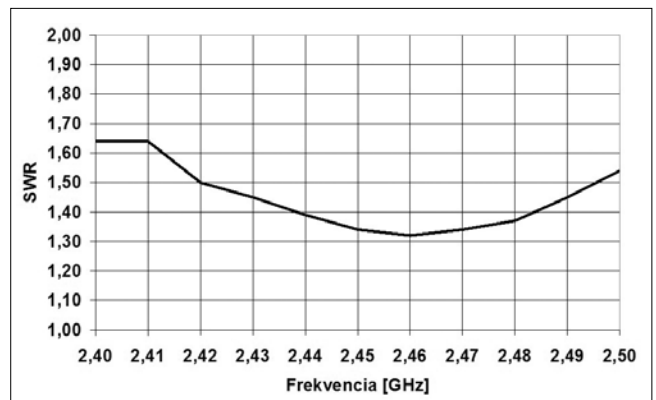
Számítással meg lehetett volna határozni pontosan, hogy mekkora kapacitásra lenne szükség, ez azonban



13. ábra  
A hangoló-kondenzátor forrasztása



11. ábra A biquad és dbiquad mérési eredménye



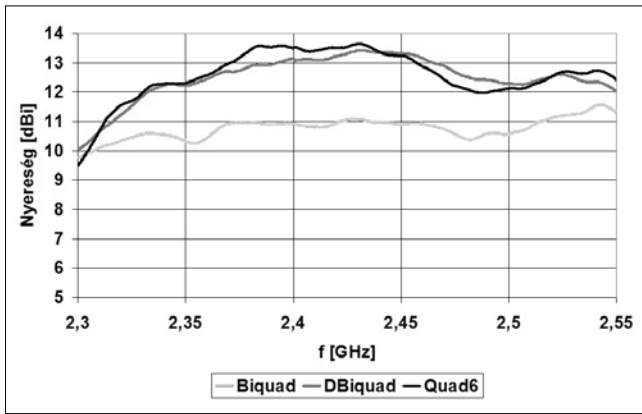
12. ábra A hangolt quad6 állóhullámaránya

nem volt szükséges az igen bonyolult bemeneti impedancia helygörbe miatt. Ugyanakkor szimulációval ellenőrizni lehetett, hogy befolyásolja-e ez a kapacitás az antenna többi paramétereit. Azt találtuk, hogy nincs jelentős hatással azokra. A hangolt quad6 állóhullámaránya a 12. ábrán látható.

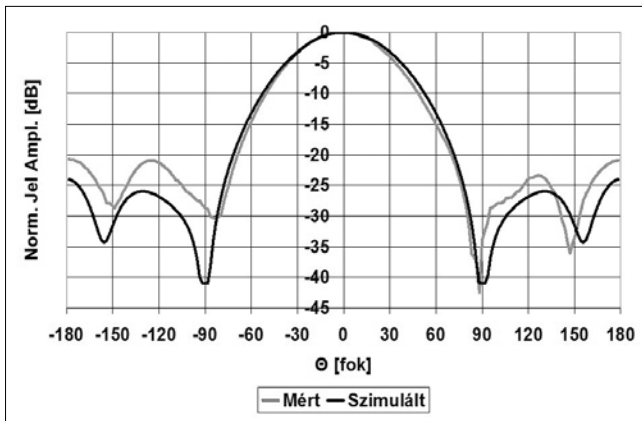
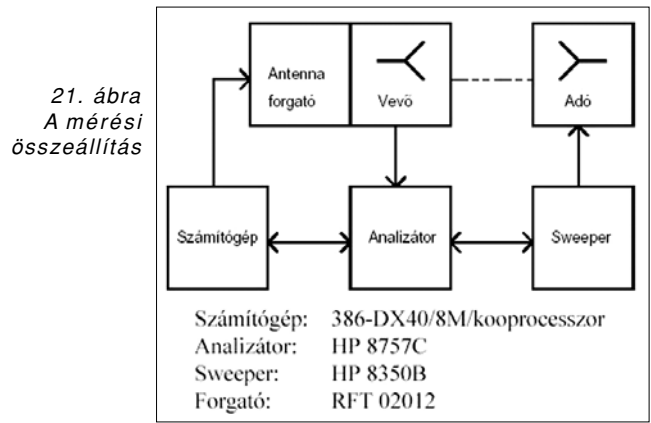
A nyereségmérés egy etalon antenna segítségével történt, melynek ismert volt a nyeresége. Ha a mérendő és az etalon antenna között szabadtéri rádiókapcsolatot hozunk létre, úgy, hogy a kettő egymás távolterében helyezkedik el és mérjük a fellépő szakaszcsillapítást, akkor a távolság ismeretében meghatározható a mérendő antenna nyeresége. Ezt az elvet használva lehetett mindhárom antenna nyereségét megmérni. Az eredmények a 14. ábrán láthatóak. Megállapítható, hogy a biquad és dbiquad esetében a szimuláció nagyon jó közelítést adott. A quad6 mérési eredményei rosszabbak a szimulációhoz képest, de még elfogadhatóak.

Az antennák iránykarakterisztikái beltéri méréssel lettek meghatározva. A méréseket a nyereségméréshez hasonlóan mikrohullámú reflexiómentes szobában végeztük. Ehhez elegendően nagy kimenő teljesítményű jelforrásra, alkalmas iránykarakterisztikájú antennára, valamint vevőre van szükség. A biquad és dbiquad mérése során felváltva használtuk a két antennát adónak és vevőnek, így mindkettő mérhető volt, a quad6 esetben pedig az előbb említett etalon antennát használtuk adónak. A mérési összeállítás a 21. ábrán látható.

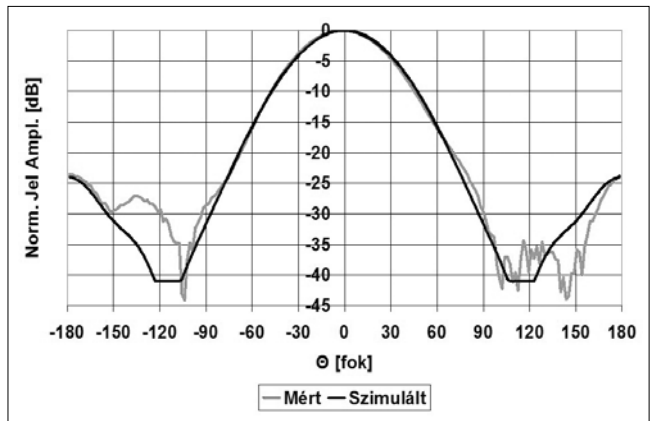
A mérőhelyen a vevőoldali mérőeszköz szerepét egy skalár hálózatanalizátor töltötte be. Mivel ez HP-IB-n ke-



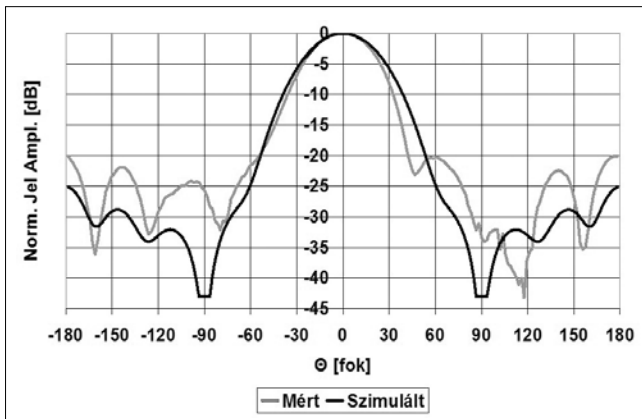
14. ábra A mért nyereségek



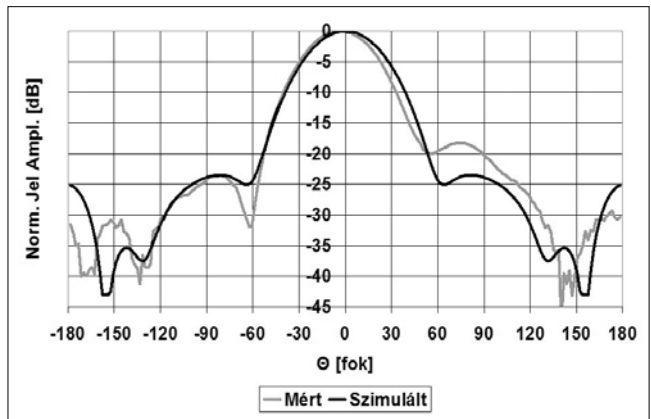
15. ábra E síkú biquad iránydiagramok



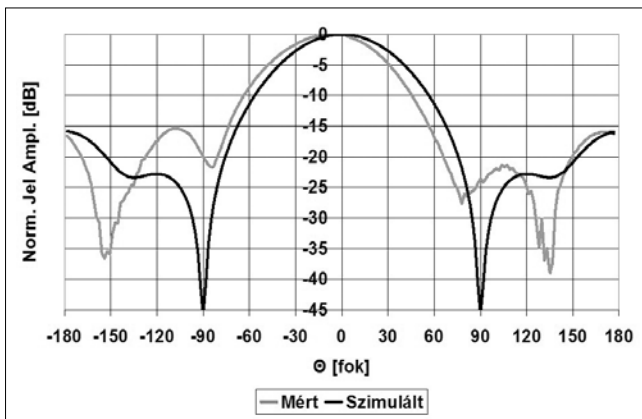
18. ábra H síkú biquad iránydiagramok



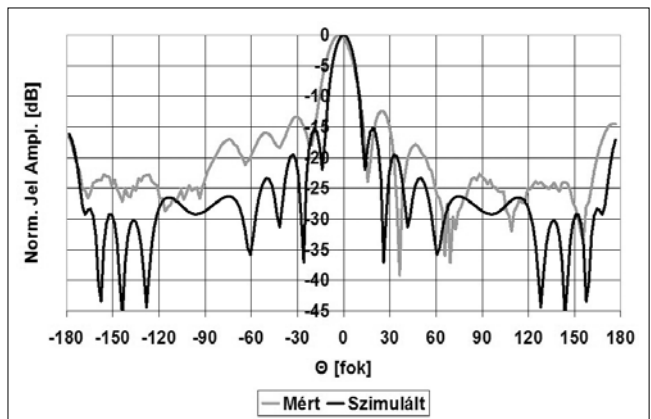
16. ábra E síkú dbiquad iránydiagramok



19. ábra H síkú dbiquad iránydiagramok



17. ábra E síkú quad6 iránydiagramok



20. ábra H síkú quad6 iránydiagramok

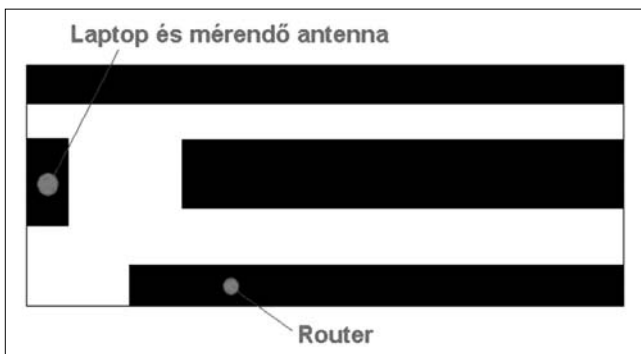
resztül számítógéppel vezérelhető és egy rendszerillesztő buszon keresztül kapcsolatban van a jelforrásként használt sweep-oszcillátorral, a mérés automatizálható. Az antennaforgató csak függőleges tengely körüli körforgást végez, emiatt a mérések között kézzel kellett fordítani a vevőantennát, hogy a 15-20. ábrákon látható E és H síkú iránydiagramokat megkapjuk. A vezérést és a kiértékelést a mérőhelyen rendelkezésre álló számítógépprogram végezte. Több frekvencián is mértünk iránydiagramokat, ezek közül a sávközépiek (2450 MHz) láthatóak a 15-20. ábrákon.

Összességében megállapíthatjuk, hogy a szimuláció szinte minden esetben nagyon jó közelítést adott. Azt is lehet vonni következtetésnek, hogy a 3. szakaszban említett káros hatások nem befolyásolták jelentősen az antennák iránykarakterisztikáit.

### 5. Beltéri mérések

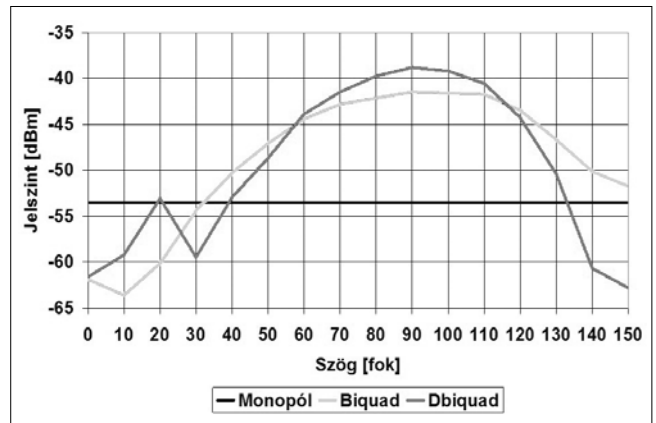
Ezen mérések során valóságos beltéri WLAN környezetben hasonlítottuk össze a vizsgált antennákat egy gyári irányítatlan antennával. Valamennyi mérés során egy USB porttal rendelkező, Wi-Fi adaptert használtunk, mely lecsavarható monopól antennával és inverz SMA csatlakozóval rendelkezik. Ehhez az eszközhöz szoftver is járt, melynek van vételi jelszintet megjelenítő funkciója is. A mérések során innen jegyeztük le a vételi jelszintet miközben különböző antennákat csatlakoztattunk az eszközhöz. Adónak egy vezeték nélküli routert használtunk. A mérések a BME V2 épület 6. emeletén történtek.

Első mérési elrendezésnek tekintsük a 22. ábrát, melyen a V2 épület 618-as szobájának egyszerűsített alaprajza látható. Ebben a környezetben az antennákat 180°-kal elforgatva 10 fokenként mértük meg a vételi jelszintet. Az irányítatlan antenna érzéketlen volt a forgatásra, konstans -53,5 dBm-es jelszintet lehetett mérni a vevőoldalon. Az eredmények a 23. ábrán láthatóak, ahol is szépen visszaköszönnek a H síkú iránydiagramok.

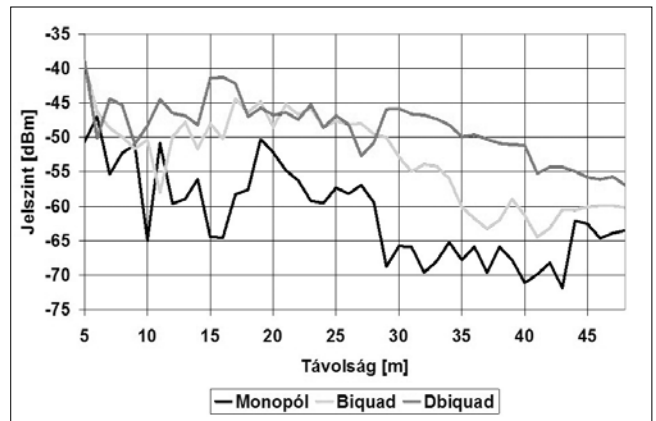


22. ábra Mérési elrendezés vázlatja (BME, V2 épület 618.)

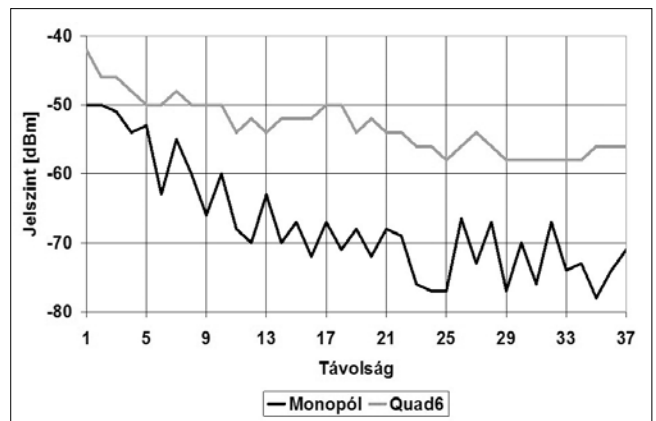
A második mérés egy folyosós környezetben történt, ahol is a folyosó egyik végébe lehelyeztük a routert, majd a 4 antennával méterenként távolodva az adótól lejegyeztük a vételi jelszintet. A biquad és dbiquad mérése azonos időben és körülmények között történt (24.



23. ábra



24. ábra



25. ábra

ábra), viszont máskor történt a quad6 mérés, emiatt a hozzá tartozó eredményeket külön grafikonon közöljük (25. ábra).

A szűk folyosós környezet miatt sok reflexió keletkezik, emiatt érhető, hogy nagyon ingadozik a jelszint a távolság függvényében. Összességében talán a dbiquad működött a legjobban ebben a környezetben. Érdemes megfigyelni, hogy bizonyos szakaszokon az irányított antennák görbéjének jellege nagyon hasonló.

Az eddigi mérések mindegyike LOS környezetben történt. Volt lehetőség NLOS mérésekre is, itt azonban nem nagyon lehetett tologatni az antennákat és ezáltal grafikonokat felvenni. Ezért két táblázatban (1. táblázat)

foglaltuk össze az eredményeket, itt egy adott szoba különböző pontjain végeztünk méréseket mind az irányítatlan mind pedig az irányított antennákkal. Azt láthatjuk, hogy itt már nem mindig az irányított antennák mutatnak jobb eredményeket.

## 6. Összefoglalás

A viszonylag egyszerű, ám sok időt igénybevevő szimulációk után bemutattuk, hogy a vizsgált antennák különböző nehézség nélkül elkészíthetők, könnyen beszerezhető alapanyagokból, a használt csatlakozót leszámítva, melyet mikrohullámú szaküzletben vásároltunk. A 4. szakaszban bemutattuk, hogy az egyszerű konstrukció ellenére igen jól sikerült tartani a szimulált antenna-paramétereit. Az utolsó szakaszban pedig valóságos WLAN-környezetben próbáltuk ki és hasonlítottuk össze a vizsgált antennák működését egy gyári irányítatlan antennával és azt találtuk, hogy az esetek nagy részében jobb eredményt lehet velük elérni.

NLOS-körülmények között megállapítható, hogy alapesetben gyakran az irányítatlan antenna működik jobban, azonban ha szánunk rá egy kis időt, akkor tologatással, illetve forgatással el lehet érni, hogy az irányítatlan antenna főnyalábjával elkapjunk egy domináns jelutatót és ezáltal jobb vételi jelszintet biztosítsunk.

Mért jelszintek [dBm]				
Monopól	Biquad	Dbiquad	Monopól	Quad6
-71,22	-74,78	-73,22	-75,00	-58,00
-75,78	-75,47	-64,11	-70,00	-56,00
-71,11	-66,11	-66,00	-61,00	-62,00
-53,12	-52,25	-55,48	-70,00	-62,00
-73,00	-67,90	-64,70	-63,00	-75,00
			-60,00	-70,00
			-66,00	-61,00
			-72,00	-70,00

1. táblázat  
NLOS körülmények  
között mért  
vételi jelszintek

### A szerzőről



**GULÁCSI ZSOLT** 2010-ben végzett okleveles villamosmérnökként a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem villamosmérnöki szakán. 2009-2010-ben a Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan tanszéken szerzett oktatási tapasztalatokat a Nagyfrekvenciás rendszerek és alkalmazások laboratóriumában, ahol PhD tanulmányokra készül.

### Irodalom

- [1] 47 CFR Part 15,  
[http://www.fcc.gov/oet/info/rules/part15/PART15\\_07-10-08.pdf](http://www.fcc.gov/oet/info/rules/part15/PART15_07-10-08.pdf)
- [2] Planar reflectors part 3 – Bobtails and diamonds,  
<http://www.cebik.com/vhf/planar3.html>
- [3] Two element biquad feed for offset parabolic dish antenna for 2,4 GHz band,  
<http://www.qsl.net/yu1aw/fid24ghz.pdf>
- [4] Quados antennas,  
[http://www.qsl.net/yu1aw/quados\\_antennas.html](http://www.qsl.net/yu1aw/quados_antennas.html)
- [5] si-list data repository website,  
<http://www.si-list.net/swindex.html>
- [6] NEC-2 Manual Part 3,  
<http://www.nec2.org/other/nec2prt3.pdf>