

Térmérések a budapesti kísérleti DVB-H rendszerben

BOZÓKI SÁNDOR, GNANDT ANDRÁS, KRÉMER SZABOLCS, SOGRÍK GYÖRGY

Antenna Hungária ZRt.

{bozokis, gnandta, kremersz, sogrikgy}@ahrt.hu

Kulcsszavak: DVB-H, térmérés, mobiltelevízió

Az Antenna Hungária Rt. DVB-H térméréseket hajtott végre a magyar kísérleti DVB-H hálózatban. A méréseket Budapesten és körzetében végezték el. A kísérleti DVB-H hálózat egyetlen adóállomást használt, ez a budapesti Széchenyi-hegyen működött. Egyaránt végeztek kül- és beltéri, kül- és belvárosi, gyalogos és álló helyzetű, valamint a Doppler-hatás vizsgálatát célzó méréseket. A gyalogos mérések célja az volt, hogy összefüggést lehessen találni a rádió-csatorna paramétereinek és a vételi minőség között. Az MPE-FEC hatása is megvizsgálásra került. A mobil mérések esetén a Doppler-hatás következtében előálló vételi minőségromlást ellenőrizték és összehasonlították ezeket az elméleti eredményekkel. A beltéri (álló) méréseknél az AH főépületének belsejében, különböző helyeken előálló vételi minőségek elemzése volt. Valamennyi mérést különböző üzemmódokban (különböző vivő-számokkal, modulációs módokkal és kódarányokkal) végezték el.

1. Bevezetés

Jelen cikk az Antenna Hungáriában végzett DVB-H (Digital Video Broadcasting – Handheld) térmérések során elvégzett feladatokat, méréseket és mérési eredményeket mutatja be, valamint az azokból levonható következtetéseket tárgyalja.

A mobiltelevíziós térméréseket a nemzetközi WingTV (services to Wireless, Integrated, Nomadic, GPRS-UMTS & TV handheld terminals) projekt keretében hajtottuk végre 2006-ban. A WingTV projekt fő célja a DVB-H specifikáció ellenőrzése, illetve az annak alapján kifejlesztett fejtárolási eszközök és előfizetői terminálok kompatibilitásának tesztelése volt. A projekt keretében az AH Rt. az alábbi tevékenységeket vállalta:

- kísérleti DVB-H adások rendszer-technikájának és mérési eljárásainak kidolgozása,
- kísérleti DVB-H adások lebonyolítása, az ezekhez kapcsolódó mérések elvégzése, dokumentálása,
- kísérleti DVB-H adások eredményeinek feldolgozása, a tapasztalatokról beszámoló készítése.

A DVB-H egy olyan új szabvány, amelyet a digitális televíziós szabványok kifejlesztésével foglalkozó európai DVB Project hozott létre az IP (Internet Protocol) szintjén továbbított televíziós és multimédiás tartalmak mobil, kézi eszközökkel való vételére a DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) szabvány kompatibilis továbbfejlesztéseként [1-3]. Ma a DVB-T kiváló vételi lehetőségeire alapozott DVB-H rendszer a legkorszerűbb megoldás a megbízható, gyors mozgásoknál is alkalmazható, nagysebességű adatátviteli (műsorszórás) technológia iránti igényre.

Szem előtt tartva a kézi vevőkészülék-használat változó, néha igen szigorú követelményeit, a DVB-H adárendszernek biztosítania kell a kifogástalan működést kül-, és beltéri, valamint fix és mobil (egy jármű sebességével mozgó) vevőkészülék esetén is.

2. A térmérések helyei, típusai és az adó paramétereinek

A térméréseket Budapest különböző részein végeztük a mérések típusától függően. A térmérések típusai a következők voltak:

- kültéri mérések:
 - kül- és belvárosi gyalogos, városi és Doppler mobil,
- beltéri mérések (álló helyzetben, illetve lassú mozgás közben).

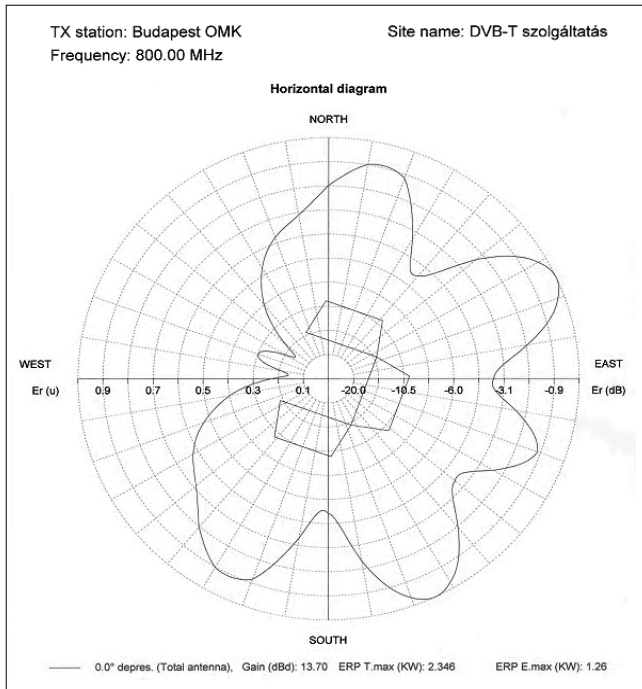
Az adó paramétereinek, valamint a mérés során használt beállítások az 1. táblázatban láthatók.

Az MPE-FEC (Multi Protocol Encapsulation – Forward Error Correction) kódarány a DVB-H-ban használt paraméter, amely az MPEG adatfolyamba beágyazott MPE keretekben utazó adatokra alkalmazott előreható hibajavító kódolás esetén a hasznos bitek és összes bit arányát mutatja.

1. táblázat
A DVB-H adó paramétereinek és a mérési beállítások

Földrajzi koordináták	18°58'45" E 47°29'31" N
Tengersz. feletti magasság	467 m
RF csatorna	UHF 51 (714 MHz)
Adóteljesítmény	110 W (antenna-bemenetenként)
E.R.P.	1000 W
Polarizáció	horizontális
Vivők száma	2k, 8k
Moduláció	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Konvolúciós kódarány	1/2, 2/3
Védelmi intervallum	1/4
MPE-FEC kódarány	1/2, 2/3, 3/4, 7/8

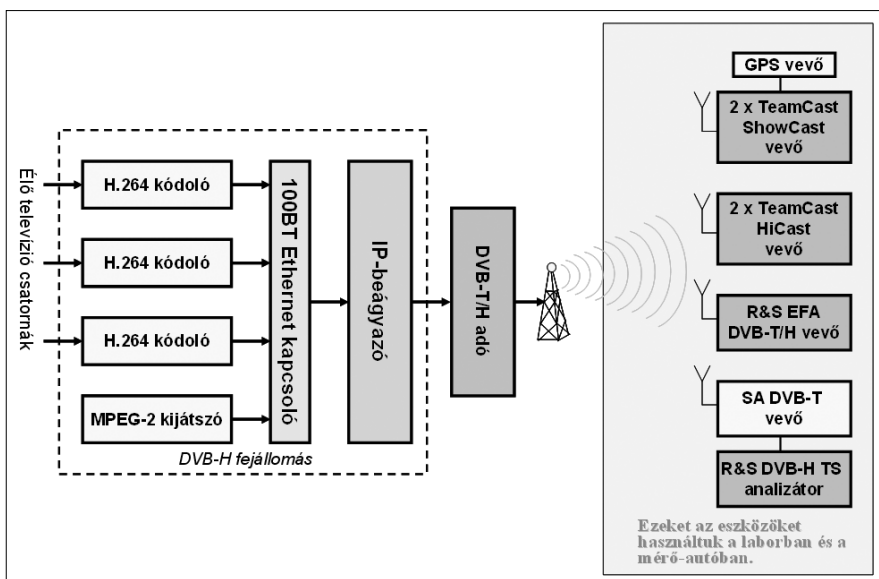
Az adóantenna-rendszer 3 darab vízszintes polarizációjú panelből áll az 1. ábra szerinti, 800 MHz-re számított iránykarakteristikával.



3. Fejállomás

A fejállomást az OMK-ban (Országos Mikrohullámú Központ, Budapest Széchenyi-hegy) építettük föl. A műsortartalmak digitalizálására és tömörítésére három MPEG-4/AVC (H.264) szabványú kódolót, továbbá egy rögzített MPEG-2-es jelfolyamot kijátszó szervert használtunk, amelyek multicast UDP/IP adatforgalmát IP beágyazóra vezettük. Az IP beágyazó feladata a DVB-H szabvány szerinti MPE-FEC és időszelvényezés megvalósítása. Az IP beágyazó kimenete MPEG-2/DVB szabványnak megfelelő transzport adatfolyamot (TS) biztosít a DVB-H adó számára.

2. ábra A kísérleti DVB-H rendszer



A kódolók és az IP beágyazó a következő beállításban működtek:

- 1. csatorna: H.264, 450 kbit/s @ CIF felbontás, MPE-FEC=7/8
- 2. csatorna: H.264, 450 kbit/s @ CIF felbontás, MPE-FEC=2/3
- 3. csatorna: H.264, 450 kbit/s @ CIF felbontás, MPE-FEC=3/4
- 4. csatorna: MPEG-2, 400 kbit/s @ QCIF felbontás, MPE-FEC=1/2
- Sorok száma az MPE keretben: 512
- Burst sebesség: 4500 kbit/s
- Burst periódus: 1425 ms.

A vevőkészülékekkel kiegészített teljes DVB-H rendszer a 2. ábrán látható.

4. Vételi oldal

A mérésekhez többféle vételi eszközt is használtunk mérési és analízálási célokra. A TeamCast cég ShowCast elnevezésű DVB-H validációs vevője adatgyűjtési célokra szolgált. A R&S EFA mérővevőt az OFDM jel analízálására, a R&S DVM 100 DVB-H kompatibilis TS analízátort pedig a beérkező transzport jelfolyam elemzésére használtuk.

A ShowCast validációs vevő valójában egy tábla-PC, amelynek az egyik USB portjára kapcsolódik egy 2k/8k mód vételére képes DVB-T vevő, a másikra pedig egy GPS, a mérési útvonalak könnyebb ábrázolhatósága érdekében. Az MPE keretek dekódolását a tábla-PC-n futó program végzi.

A vevő mérőszoftverének naplófájlijából, amelyben a GPS által közölt adatok is szerepelnek, a következő mérések kiértékeléséhez alkalmas paramétereket lehet kiynerni:

- mérés pillanatnyi helyének földrajzi koordinátái,
- a jármű/haladás pillanatnyi sebessége,
- rádiófrekvenciás jelszint dBm-ben,
- CNR – vivő/zaj arány,
- BER – bithiba-arány,
- a jelszinkron jelenléte,
- vett MPE-FEC keretek száma a mérési perióduson belül,
- vett hibás MPE-FEC keretek száma a mérési perióduson belül,
- a javíthatatlan MPE-FEC keretek száma a mérési perióduson belül.

A vevőkészülék egy külső (nem beépített) körsugárzó antennával rendelkezik, amelynek nyeresége -7 dB az izotróp sugárzóhoz képest.

5. A mérések kiválasztása, az üzemmódválasztás kritériumai

A WING-TV projekt a DVB-H képességeinek vizsgálatát célozta meg az adási paraméterek széles választéka mellett. Ez azonban hatalmas feladatot jelent, ha figyelembe vesszük a lehetséges háromféle FFT módot, a négyféle védelmi intervallumot, a 3 modulációs módot, az ötféle kódarányt, a négyféle MPE-FEC táblahosszat és az ötféle MPE-FEC kódarányt, mivel együttesen 3600 különböző kombinációt adnak és mindezek még nem tartalmazzák a csatornamodelleket, illetve az időszelitelés és a mélységi beszövés hatását a 4k és 2k üzemmódokban. És még a hierarchikus modulációs módokkal nem is számoltunk. Nyilvánvalóan valamit tenni kellett a vizsgálatokba bevonandó lehetőségek számának ésszerű korlátozása érdekében.

Erre alapvetően két lehetőség adódott:

- Izolálni az egyes paraméterek hatását, és ezeket külön-külön megvizsgálni, miután az eredmények extrapolálhatók a mátrix többi elemére vonatkozólag.
- Néhány kiválasztott paraméterkombináció vizsgálata gyors és egyszerű módszerekkel. Az eredményekre támaszkodva nagyszámú lehetséges, de nem optimális kombináció kizárható a további vizsgálatokból.

A munkánk során mindkét módszert használtuk. A megfontolásokat a következők pontok taglalják.

5.1. A paraméterek hatása

A VTF (Validation Task Force) [4] vizsgálatai szerint az FFT-méretnek nincs hatása a megfelelő vételhez szükséges CNR viszonyra. Ezért nem szükséges kiterjeszteni a részletes mérések körét minden FFT-méretre, elegendő a 8k vizsgálata. A 2k és 8k módban végzett Doppler-mérésekből következtetni lehet a 4k-s viselkedésre, de természetesen el kell végezni néhány ellenőrző mérést az új 4k üzemmódban is.

Az új mélységi beszövés, amely a 2k és a 4k üzemmódokban használható, befolyásolhatja a vevőkészüléknek a mobil- és impulzus-interferencia melletti viselkedését. Ez a hatás különálló mérés keretében vizsgálható néhány kiválasztott 2k és 4k üzemmóddal.

A védőintervallum (GI) főleg az SFN-méretet befolyásolja. Hatása van a mobil (Doppler) tulajdonságokra is. Már a DVB-T-s tapasztalatokból ismert, hogy a leg-hosszabb (1/4-es) védőintervallum kompenzálja leginkább a Doppler-hatást. Az alapvető mérések során elegendő csak 1/4-es védőintervallum melletti adatgyűjtés. Mindazonáltal a védőintervallumnak a Doppler-viselkedésre kifejtett hatását érdemes részletesebben is megvizsgálni. Ez elvégezhető izolált mérési környezetben úgy, hogy csak 1-2 üzemmódban mérjük a maximális Doppler-frekvenciát, minden GI mellett.

A modulációs mód olyan paraméter, amely főleg a szükséges CNR-t és a Doppler-frekvenciát határozza meg, méghozzá bonyolult módon és ezért vizsgálatát nem lehet elszigetelni más paraméterektől, hanem ezt

a kódarányokkal és az MPE-FEC paraméterekkel kombinálva kell értelmezni.

A konvolúciós kódarány olyan kulcsparaméter, ami nem vizsgálható más körülményektől függetlenül, hanem együtt kell elemezni a modulációval és az MPE-FEC kódarányal. Azonban a legmagasabb kódarány, a 7/8, mint nem praktikus érték kizárható a vizsgálati körből. Valószínűleg ugyanez érvényes az 5/6-ra is, de első menetben ez még szerepelhet a mérési tervben.

Az MPE-FEC kódarány optimális értéke egyike a kulcskérdéseknek a megfelelő DVB-H rendszer kialakításánál. Ezen paraméterek hatását együtt kell vizsgálni a modulációs móddal és a konvolúciós kódarányal. Az MPE-FEC-ben használt kódolási sorok száma többféleképpen választható. Ez befolyásolja a burst méretét és időbeli hosszát. Egy másik paraméter, amelyet változtatni lehet a burst fizikai hosszának módosítása érdekében, a burst sebessége. Ez jellemzi, hogy mekkora kapacitás van tartalékolva a teljes multiplexből a DVB-H számára. Egy dedikált DVB-H multiplex esetében a burst sebessége megváltoztatható a multiplex több DVB-H szolgáltatásra való felosztásával.

A fenti megfontolásokra alapozva leszűkíthető az alapvető mérések köre. Ide tartoznak az ésszerűen vizsgálható üzemmódok: 8k-s FFT, 1/4-es GI, 1024 vagy 512 sor, minden moduláció, 1/2-es, 2/3-os, 3/4-es és 5/6-os konvolúciós kódarány, 1/2-es, 2/3-os, 3/4-es, 5/6-os és 7/8-os MPE-FEC kódarány.

64-QAM és 3/4-es konvolúciós kódarány esetén csak a 3/4-ig terjedő MPE-FEC kódarányokat vettük figyelembe. Még ezekkel a kizárásokkal is 53 kombináció adódik, ami túlságosan sok a részletes mérésekhez.

5.2. Az üzemmódválasztás kritériumai

A vizsgálendő DVB-H üzemmódok kiválasztásának elve az volt, hogy a kívánt sebességet a lehető legalacsonyabb CNR (azaz legkisebb teljesítmény és hálózati költségek) mellett érjük el. A továbbiakban csak ezekkel az üzemmódokkal foglalkozunk.

5.3. A használt csatornamodell

A VTF tapasztalatai azt mutatták, hogy az első méréseket TU-6-os csatornát feltételezve, 10 Hz-es Doppler-frekvencia mellett célszerű végezni. Ezen csatornamodell választása azon tény alapján történt, hogy nincs igazán jó, releváns csatornamodell a beltéri, illetve a gyalogos és mobil vételre. Minden mérést eddig olyan vevővel végeztek, amely statisztikus MPE-FEC becslést alkalmazott. Ennek az előnye az, hogy a teljes TS-t használja és a kívánt számú (100) MPE-FEC keret vétele így gyorsabb. A használt degradációs kritérium 5% MFER (MPE Frame Error Rate) volt.

5.4. A javasolt üzemmódok listája

A fentebb leírt folyamat eredményeképpen a javasolt üzemmódoknak egy listája állt össze a laboratóriumban és terepen történő mérésekre vonatkozólag. Ez a lista látható a 2. táblázatban. A lista 22 üzemmódot tartalmaz.

Moduláció	CR	Bitsebesség [Mb/s]	MPE-FEC CR	Hasznos bitsebesség [Mb/s]	CNR MFER TU6 10 Hz
QPSK	1/2	4.98	1/2	2.49	8.8
QPSK	1/2	4.98	2/3	3.32	9.7
QPSK	1/2	4.98	3/4	3.74	10
QPSK	1/2	4.98	5/6	4.15	11
QPSK	1/2	4.98	7/8	4.36	11.2
QPSK	2/3	6.64	2/3	4.43	12.2
QPSK	2/3	6.64	3/4	4.98	12.9
QPSK	2/3	6.64	5/6	5.53	13.5
QPSK	2/3	6.64	7/8	5.81	14.2
16-QAM	1/2	9.95	2/3	6.63	14.4
16-QAM	1/2	9.95	3/4	7.46	15.2
16-QAM	1/2	9.95	5/6	8.29	16
16-QAM	1/2	9.95	7/8	8.71	16.9
16-QAM	2/3	13.27	2/3	8.85	18
16-QAM	2/3	13.27	3/4	9.95	18.4
16-QAM	2/3	13.27	5/6	11.06	19.3
16-QAM	2/3	13.27	7/8	11.61	19.7
64-QAM	1/2	14.93	5/6	12.44	21.1
64-QAM	1/2	14.93	7/8	13.06	21.9
64-QAM	2/3	19.91	2/3	13.27	22.9
64-QAM	2/3	19.91	3/4	14.93	24.3
64-QAM	2/3	19.91	5/6	16.59	25.7

2. táblázat A mérésre javasolt üzemmódok

Ha a tételek további csökkentése kívánatos, ez a továbbiakban már nem támaszkodhat egyszerűen csak műszaki értékelésre és a nem optimális üzemmódok elvetésére. Az egyetlen egyszerű csökkentési mód az utolsó üzemmód elhagyása, mivel ennek bitsebessége 16,59 Mbit/s, ami nagyobb, mint az eredeti 15 Mbit/s-os kereskedelmi követelmény. Azonban, ha lehetőség van a kiválasztott bitsebességnél megkövetelt felbontás csökkentésére, lehetséges kiemelni néhány „fő” üzemmódot és a továbbiakban csak ezekre koncentrálni. Másrészt viszont a teljes méréssorozat elvégzése a megkövetelt üzemmódokra vonatkozólag ezzel a 22 esettel már ésszerű idő alatt lehetséges, így ez felfogható kiindulópontnak is.

6. A mérési módszerek, kiértékelés

A kültéri és a beltéri mérések esetében részben különböző eljárásokat követtünk. A kültéri méréseknél igyekeztünk olyan helyeket választani, amelyek a kategóriáján belül megfelelnek a követelményeknek és lehetőleg a vivő/zaj arány teljes skáláját bejárják annak érdekében, hogy valós adatokon alapuló karakterisztikát vehessünk föl.

A vevőkészülékből kapott, mérés során összegyűjtött adatokat tartalmazó fájlt a MATLAB programmal dolgoztuk föl. A CNR értékekből adódó skálát 1 dB-es intervallumokra osztottuk fel és figyeltünk arra, hogy minden egyes tartományban megtalálható legyen legalább 100 minta a statisztikai eredmény értékelhetősége érdekében. A meghatározott intervallumokon belül a legalább 100 mintából meghatároztuk az 1-FER és az 1-MFER értékeket. (A FER és MFER értékek helyett praktikusabb az 1-FER és 1-MFER értékeket ábrázolni.)

Az 1-FER értékeket a vevőből kapott adatokból a következőképpen számoltuk:

$$1 - FER[\%] = 100 - \frac{\text{hibás keretek száma}}{\text{beérkezett keretek száma}} \times 100$$

Az 1-MFER értékeket a vevőből kapott adatokból a következőképpen számoltuk:

$$1 - MFER[\%] = 100 - \frac{\text{javíthatatlan keretek száma}}{\text{beérkezett keretek száma}} \times 100$$

A javíthatatlan keretek száma azokra a keretekre vonatkozik, amelyeket már az MPE-FEC sem tud kijavítani. Ennek alapján elmondható, hogy az 1-FER a DVB-T vételre vonatkozik, míg az 1-MFER a DVB-H-ra, azaz a kettő egy koordináta rendszerben való ábrázolása jó alap a két rendszer összehasonlítására. Megfigyelhető az is, hogy milyen esetekben érdemes és szükséges használni az MPE-FEC kódolást a jobb vétel elérése érdekében. Stabílnak tekintjük a vételt abban az esetben ha az 1-MFER értéke 95%-nál nagyobb vagy ezzel ekvivalensen az MFER 5%-nál kisebb. A 1-FER-rel és 1-MFER-rel szokás a vétel valószínűségét is jellemezni, ezért a továbbiakban mi is így hivatkozunk rájuk.

A beltéri mérések esetében más mérési módszert alkalmaztunk. A kiválasztott hatszintes, betonból készült, nagy ablakokkal rendelkező épületben (az Antenna Hungária ZRt. központja, Budapest XI., Petzval J. u. 31-33., C épület), szintenként egyenletes eloszlással jelöltünk ki pontokat. Egy-egy pontban megállva az adatgyűjtést addig végeztük, amíg 100 értékelhető mintát nem gyűjtöttünk. Az adatgyűjtést követően, MATLAB segítségével kiszámoltuk a 100 mintából az 1-FER és 1-MFER értékeket, majd kiszámítottuk a szintenkénti vételi valószínűségeket.

A Doppler-mérést olyan területen végeztük el, ahol a térerő nagysága alig befolyásolja a CNR értékét és a térerősség elég nagy, ahhoz, hogy csak tisztán a Doppler-hatás okozza a CNR romlását. A begyűjtött mintákat 10 km/óra felosztású skálán ábrázoltuk, figyelembe véve, hogy minden tartományban meglegyen az elvárt 100 minta. Kiértékeléshez az 1-FER-nek és az 1-MFER-nek a MATLAB segítségével a sebesség függvényében történő ábrázolása elégséges.

A vevő által mért RF jelszintből és az antenna-tényezőből kiszámítható az antennabemeneten fellépő térerősség az alábbi képlet szerint [5]:

$$E_{dB\mu V/m} = RF_{dB\mu V} + AF_{dB/m} + CF_{dB}$$

ahol AF az antenna-tényező, míg CF az antennát a hangolóegységgel (tuner) összekötő kábel csillapítása. Esetünkben ez utóbbi elhanyagolható, mivel az antenna közvetlenül csatlakozik a mérővevőre. Az antenna-tényező a következő képlettel számítható:

$$AF = \sqrt{\frac{\eta_0}{Z * A}}$$

ahol $\eta_0 = 377 \Omega$ a szabadtéri hullámimpedancia, $Z = 75 \Omega$ a tuner bemeneti impedanciája, és A az antenna hatásos felülete, amely $2,8 * 10^{-3} m^2$ az 51-es csator-

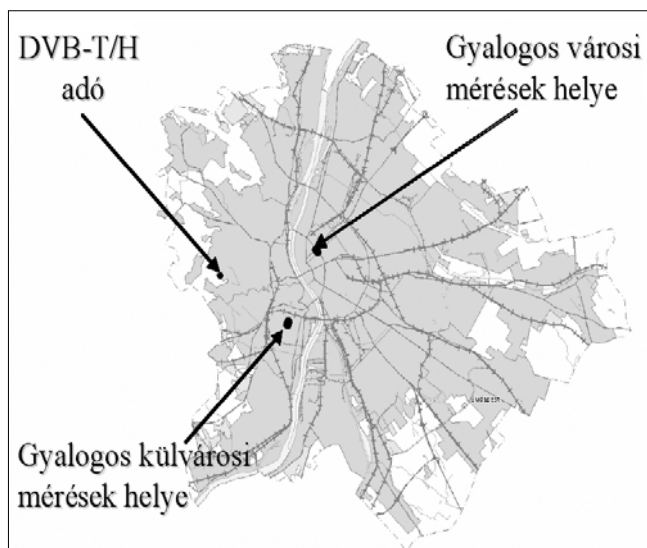
nán -7 dB antenna-nyereséggel számítva. Az antenna-tényező értéke esetünkben 32,5 dB.

Az 1-FER és 1-MFER görbék a térerősség függvényében is ábrázolhatók, ami által meghatározható a stabil vételhez szükséges minimális térerősség egy adott adásmódban.

7. Kültéri gyalogos mérések

A külvárosi méréseket tipikus külvárosi környezetben, az AH központja mellett végeztük. Az adót az épületektől csak néha lehetett látni. A városi gyalogos tesztet magas, 4-6 emeletes épületek között végeztük, olyan úton, ahol az adótoronyra nem volt rálátás. Az adótól való távolság körülbelül 6 km volt, nem sokkal több, mint a külvárosi teszt esetében, ahogy az a 3. ábrán látható.

3. ábra A kültéri gyalogos mérések helyei



A mérésekre a következő beállításokban került sor különböző MPE-FEC kódarányok mellett:

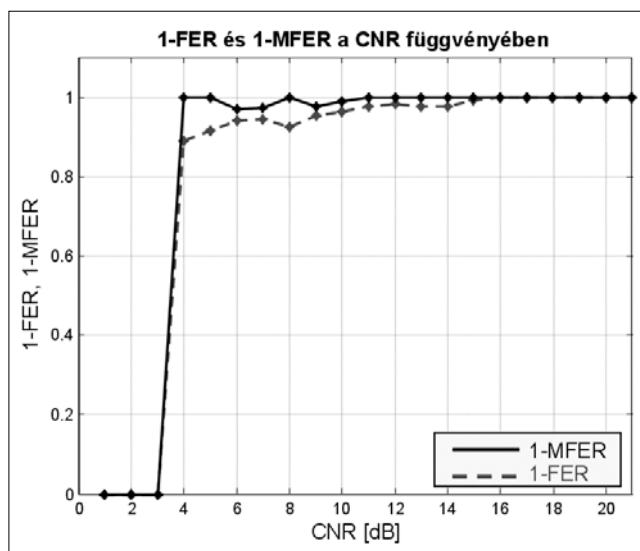
- 8k, QPSK, CR=1/2
- 8k, 16-QAM, CR=2/3
- 8k, 64-QAM, CR=2/3
- 2k, QPSK, CR=1/2
- 2k, 16-QAM, CR=2/3
- 2k, 64-QAM, CR=2/3

A védelmi intervallum az összes esetben 1/4 volt.

A vételi minőséget egy elektronikus térképen színekkel illusztráltuk, miközben a vételi valószínűséget (1-FER, 1-MFER) a jelminőség (CNR) függvényében ábrázoltuk. Célunk a 8k és 2k FFT-méreték és a különböző konstellációk vételi valószínűségeire gyakorolt hatásának összehasonlítása volt.

7.1. Mérési eredmények QPSK konstelláció esetén (8k, 2k, CR=1/2)

A 4. ábrán a külvárosi gyalogos mérési eredményeink láthatók 8k, QPSK, CR=1/2 és MPE-FEC=3/4 beállítások mellett:

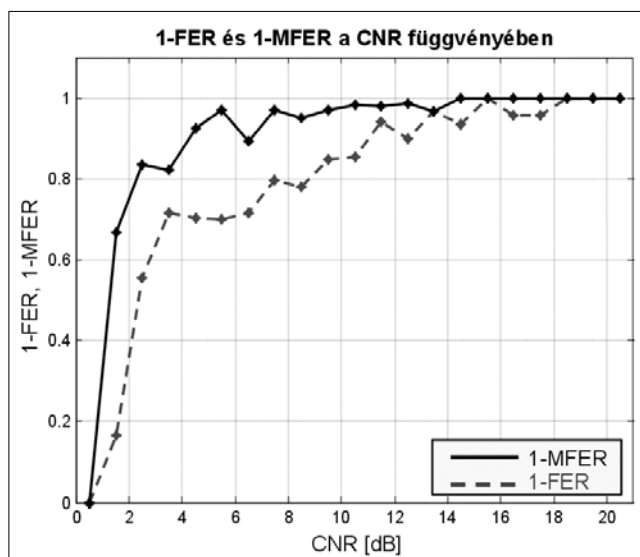


4. ábra

Mérési eredmények:

külváros, 8k, QPSK, CR=1/2, MPE-FEC=3/4

Az 5. ábrán láthatók a mérési eredményeink 2k QPSK, CR=1/2 és MPE-FEC=3/4 beállítások mellett:



5. ábra

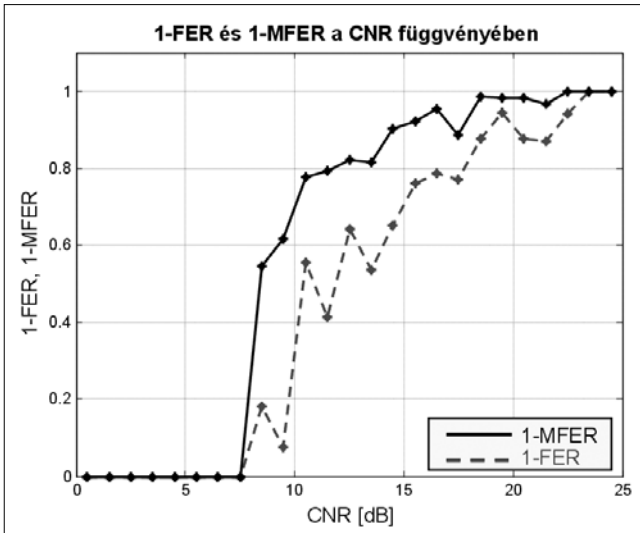
Mérési eredmények:

külváros, 2k, QPSK, CR=1/2, MPE-FEC=3/4

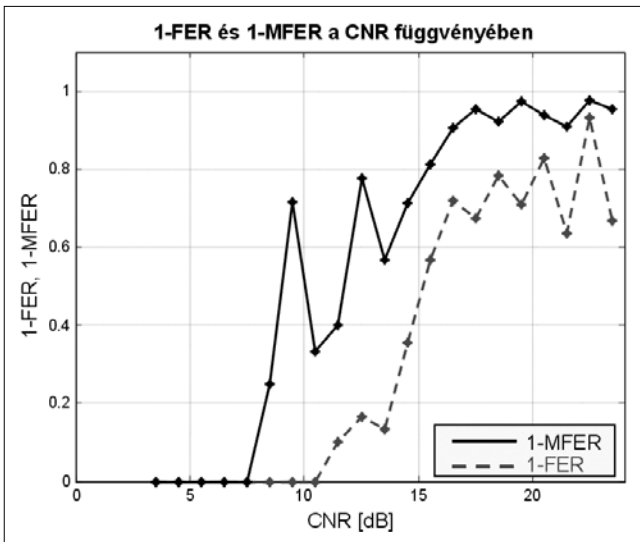
A vételi valószínűség 8k módban kissé jobb, a különbség annak tudható be, hogy 2k módban nincs mélyégi átszövés. Ahogy az 1-MFER diagrammokon látható, 8k módban ~6 dB, míg 2k módban ~8 dB CNR szükséges a stabil vételhez. A számított minimálisan szükséges térerősségek ennek megfelelően ~62 dB μ V/m és 70 dB μ V/m.

7.2. Mérési eredmények 16-QAM konstelláció esetén (8k, 2k, CR=2/3)

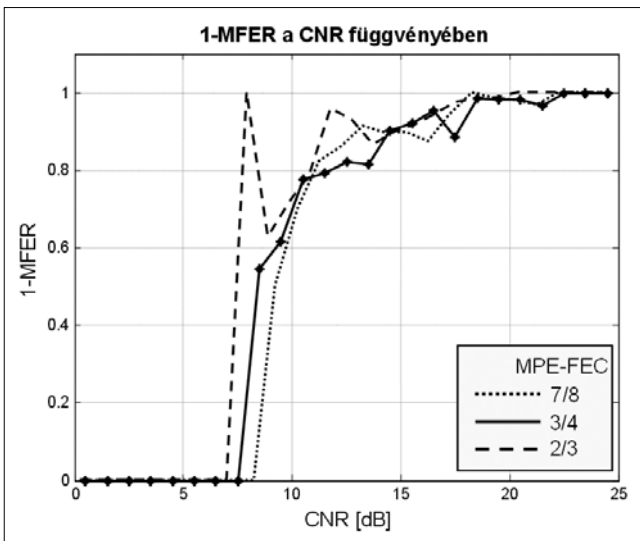
A következő oldalon, a 6. ábrán láthatók a külvárosi gyalogos mérési eredményeink 8k, 16-QAM, CR=2/3 és MPE-FEC=3/4, a 7. ábrán pedig 2k, 16-QAM, CR=2/3 és MPE-FEC=3/4 beállítások mellett.



6. ábra Mérés eredmények: külváros, 8k, 16-QAM, CR=2/3, MPE-FEC=3/4



7. ábra Mérés eredmények: külváros, 2k, 16-QAM, CR=2/3, MPE-FEC=3/4



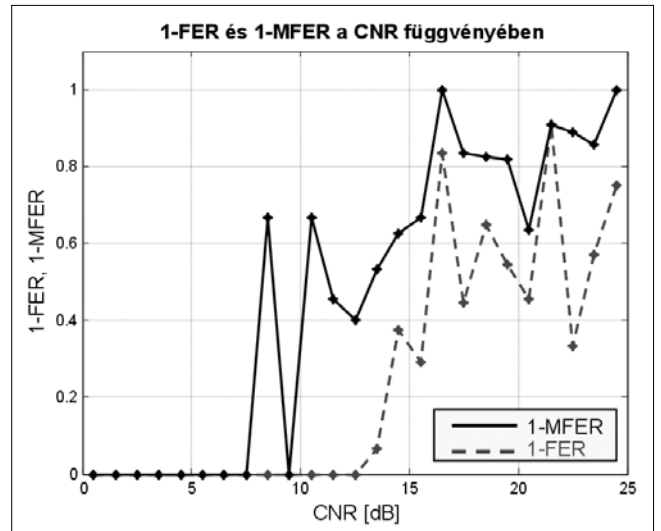
8. ábra Az MPE-FEC hatásának szemléltetése 8k, 16-QAM, CR=2/3 esetén

A 8. ábrán illusztráltuk az MPE-FEC hatását 8k üzemmódban. Látható, hogy az erősebb hibavédelem jóval a stabil vételhez szükséges CNR alatt javítja számottevően a vétel valószínűségét, de a vételi viszonyok javulása esetén már nincs jelentős különbség a különböző kódarányok teljesítőképessége között.

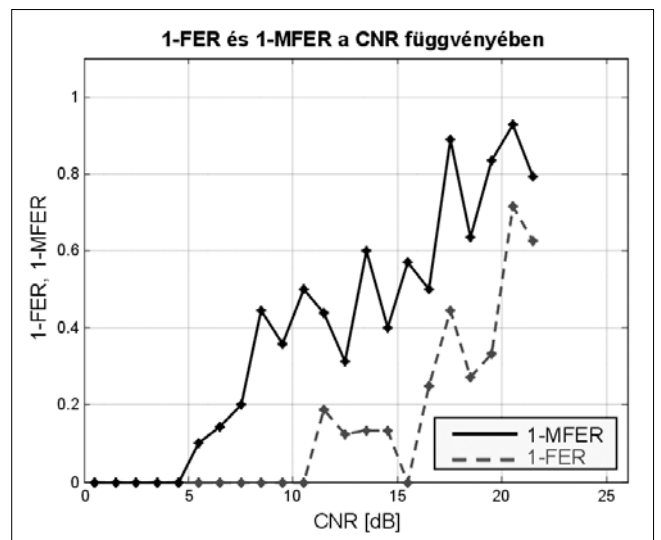
Amint az látható, 16-QAM esetén a stabil vétel eléréséhez számottevően magasabb CNR szükséges (~18 dB, illetve ~73 dB μ V/m térerősség) összehasonlítva azal, amit elvárunk QPSK üzemmódban. A 16-QAM kevésbé robusztus a vételi hibákkal szemben, még akkor is, ha nagyobb hibavédelmet (MPE-FEC) alkalmazunk.

7.3. Mérés eredmények 64-QAM konstelláció esetén (8k, 2k, CR=2/3)

A 9-10. ábrákon láthatók a külvárosi gyalogos mérési eredményeink 8k, 64-QAM, CR=2/3 és MPE-FEC=3/4 beállítások mellett. A stabil vételhez itt nagyon magas CNR szükséges (~25 dB, illetve ~80 dB μ V/m térerősség), ami a jelenlegi adóteljesítménnyel nem érhető el.

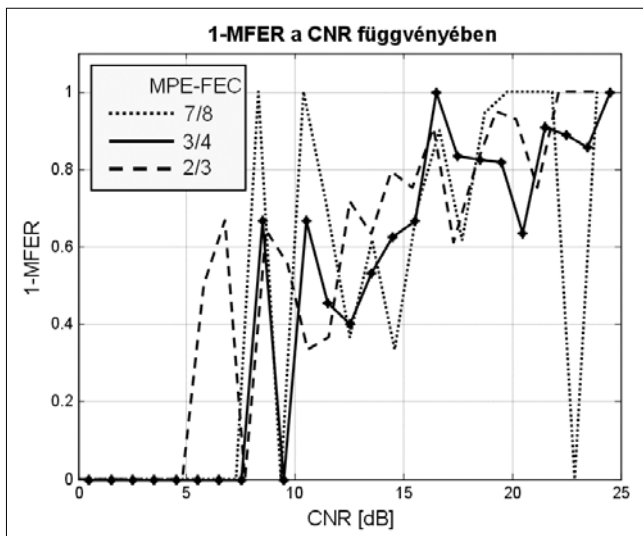


9. ábra Mérés eredmények: külváros, 8k, 64-QAM, CR=2/3, MPE-FEC=3/4



10. ábra Mérés eredmények: külváros, 2k, 64-QAM, CR=2/3, MPE-FEC=3/4

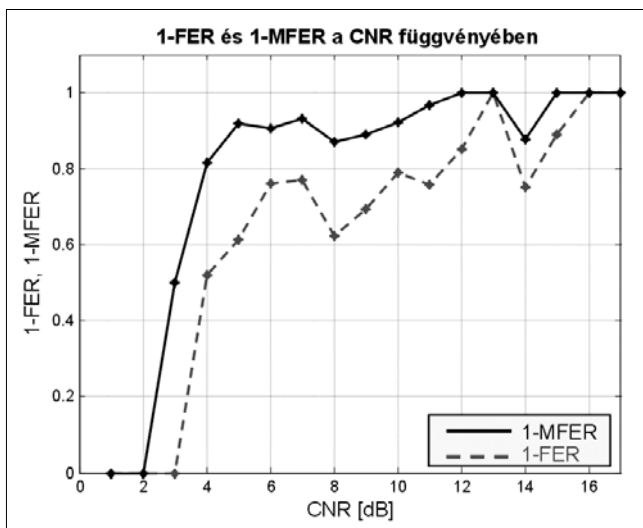
A 11. ábrán illusztráltuk az MPE-FEC hatását 8k üzemmódban. Hasonlóan a 16-QAM üzemmódbhoz, csak a stabil vételhez szükséges CNR-nél lényegesen rosszabb vételi körülmények esetén van számottevő különbség az egyes kódarányok teljesítőképessége között.



11. ábra Az MPE-FEC hatásának szemléltetése 8k, 64-QAM, CR=2/3 esetén

8. Városi gyalogos mérések

A külvárosi tesztek tapasztalatai után a városi tesztek már csak a legrobosztusabb üzemmódban végeztük el (8k, QPSK, CR=1/2). Egy tipikus, sűrűn beépített területet választottunk a belvárosban, a Liszt Ferenc teret.



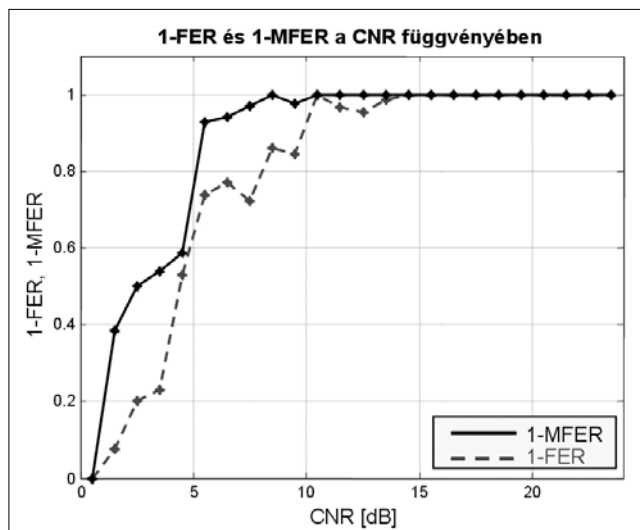
12. ábra Mérési eredmények: belváros, 8k, QPSK, CR=1/2, MPE-FEC=3/4

A 12. ábrán látszik a többutas terjedés hatása a városi területeken. A stabil vételhez ~11 dB CNR kívánatos, ami 5 dB-lel magasabb érték, mint külvárosi területen. Az átlagos vételi minőség viszonylag alacsony volt, és a külvároshoz képest körülbelül 10 dB μ V/m-rel nagyobb térerősség kellett ugyanolyan vételi valószínűség eléréséhez.

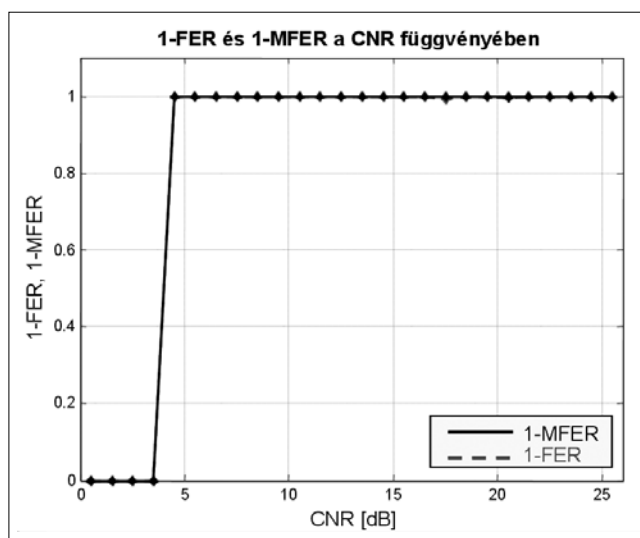
9. Városi mobil mérések

A városi mobil méréseket az adótól körülbelül 7 km távolságban végeztük. A tesztút a Petőfi- és a Lágymányosi-hídon vezetett át, a hidak között erősen beépített területeken haladtunk át. A tipikus térerősség a tesztút folyamán 75-85 dB μ V/m között változott. Az adótornyot az út során csak néhol (főleg a hidakról) lehetett látni.

Két esetet vizsgáltunk. Az elsőben az antenna a mérésnél használt autóban helyezkedett el, a másodikban pedig az autó tetején. Az autó tetején rögzített antenna nyeresége -5 dB, az autón belül használt antenna nyeresége -10 dB volt. A 13-14. ábrák mutatják a vételi valószínűséget a CNR függvényében. Amint megfigyelhető, a vétel minősége majdhogynem tökéletes volt, ha külső antenna működött. Látható, hogy 9 dB CNR szükséges a stabil vételhez, ha az antenna az autóban helyezkedik el. Külső tetőantennát felszerelve a stabil vételhez már 5 dB CNR is elegendő.



13. ábra Városi tesztút, antenna az autón belül: 8k, QPSK, CR=1/2, MPE-FEC=3/4

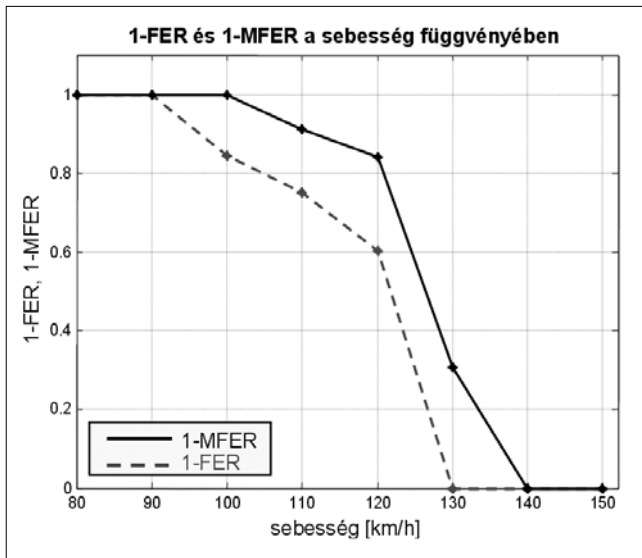


14. ábra Városi tesztút, antenna az autón kívül: 8k, QPSK, CR=1/2, MPE-FEC=3/4

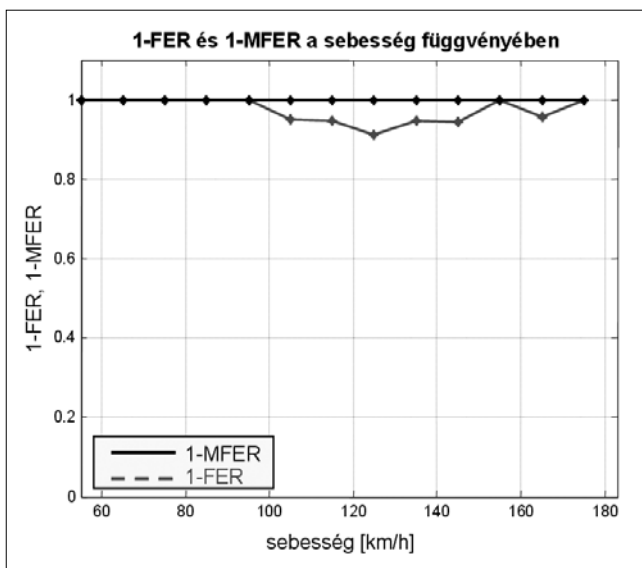
10. Mobil Doppler mérések

A mobil Doppler mérésekhez az M7-es autópálya budapesti bevezető szakaszát választottuk. A tesztút az adótoronytól mintegy 6 km-re kezdődött, vidéki környezetben. A ShowCast antennája az autó tetején volt elhelyezve. A mintákat 70-75 dB μ V/m közötti térerősség-értékeknél vettük föl. A $\cos\varphi$ az út nagy részén közel volt az 1-hez (φ az autó haladási iránya és az adó iránya közti szög). A teszt során 64-QAM konstellációt alkalmaztunk.

A Doppler-effektus érvényesülését mutatják a 15-16. ábrák, különböző üzemmódok esetén. 8k módban a vételi valószínűség gyors csökkenését figyelhetjük meg 100 km/h fölött, ami közel van az elméleti határhoz. 2k módban az MPE-FEC képes volt a hibákat gyakorlatilag a teljes sebességtartományon belül korrigálni (a maximális sebesség 173 km/h volt).

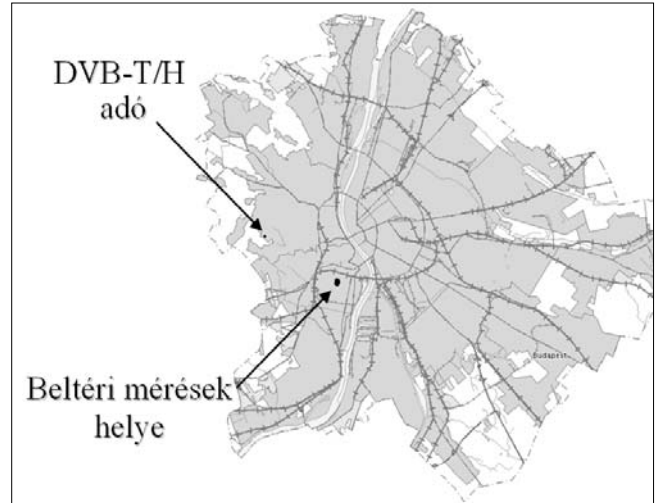


15. ábra Mobil Doppler mérés: 8k, 64-QAM, CR=2/3, MPE-FEC=3/4



16. ábra Mobil Doppler mérés: 2k, 64-QAM, CR=2/3, MPE-FEC=3/4

Ahhoz, hogy a Doppler-effektust ellenőrizzük, a tesztautóval elérhető sebességekre való tekintettel a sebességre érzékenyebb modulációs módot (64-QAM) választottunk. Az eredményekből következtetni lehet arra, hogy a vevő viselkedése olyan módokban is követi az elméletileg várható karakterisztikát, amelyeket eddig nem volt módunkban tesztelni.



17. ábra A beltéri mérések helye

11. Beltéri, álló helyzetű mérések

A beltéri méréseket az Antenna Hungária Rt. központjában végeztük, körülbelül 5 km-re a TV toronytól (17. ábra).

A C épületet választottuk a mérések helyéül, mely betonból épült, 6 szintes, széles ablakkal. Az épület egyik oldala a TV toronnyal néz szembe, de csak körülbelül a 3. szinttől lehet látni a tornyot. Kisteljesítményű átjátszókat (gap-filler) nem alkalmaztunk.

A vételi minőségét a következő üzemmódok mellett teszteltük és értékeltük ki, különböző emeleteken:

- 8k, QPSK, CR=1/2, MPE-FEC=3/4
- 8k, 16-QAM, CR=2/3, MPE-FEC=3/4
- 8k, 64-QAM, CR=2/3, MPE-FEC=3/4
- 2k, QPSK, CR=1/2, MPE-FEC=3/4

A védelmi intervallum az összes esetben 1/4 volt.

A mérések során meghatároztuk a szintenkénti vételi valószínűségeket, amelyeket oszlop-diagrammon ábráztunk az alábbi színkódot használva:

- 1-MFER = 100 %
- 95 % <= 1-MFER < 100 %
- 1-MFER < 95 %

11.1. Eredmények 8k, QPSK, CR=1/2, MPE-FEC=3/4 paraméterek mellett

A vételi valószínűség a 18. ábrán látható. A vétel a 3. szinten és afölött már tökéletes volt. Még a földszinten is csak néhány helyen tapasztaltunk nem kielégítő vételi minőséget.

11.2. Eredmények 8k, 16-QAM, CR=2/3, MPE-FEC=3/4 paraméterek mellett

Magasabb rendű modulációt alkalmazva a vételi minőség jelentősen csökkent (19. ábra). De az 5. szinten a vétel már majdnem tökéletes volt, a földszinten viszont egyáltalán nem volt vétel.

11.3. Eredmények 8k, 64-QAM, CR=2/3, MPE-FEC=3/4 paraméterek mellett

Ebben az üzemmódban, a vétel csak a 4. és 5. szinten volt kielégítő (20. ábra). Nem volt vétel az első két szinten (két helyet kivéve). Sőt még az 5. szinten is volt számos hely, ahol a vételi minőség nem volt tökéletes.

11.4. Eredmények 2k, QPSK, CR=1/2, MPE-FEC=3/4 paraméterek mellett

Ebben az üzemmódban a vétel tökéletes volt a 4. és az afölötti szinteken (21. ábra). Alacsonyabb szinteken a vételi minőség valamivel rosszabb volt, mint 8k módban. Ez a 2k módból hiányzó mélységi átszövésnek tulajdonítható.

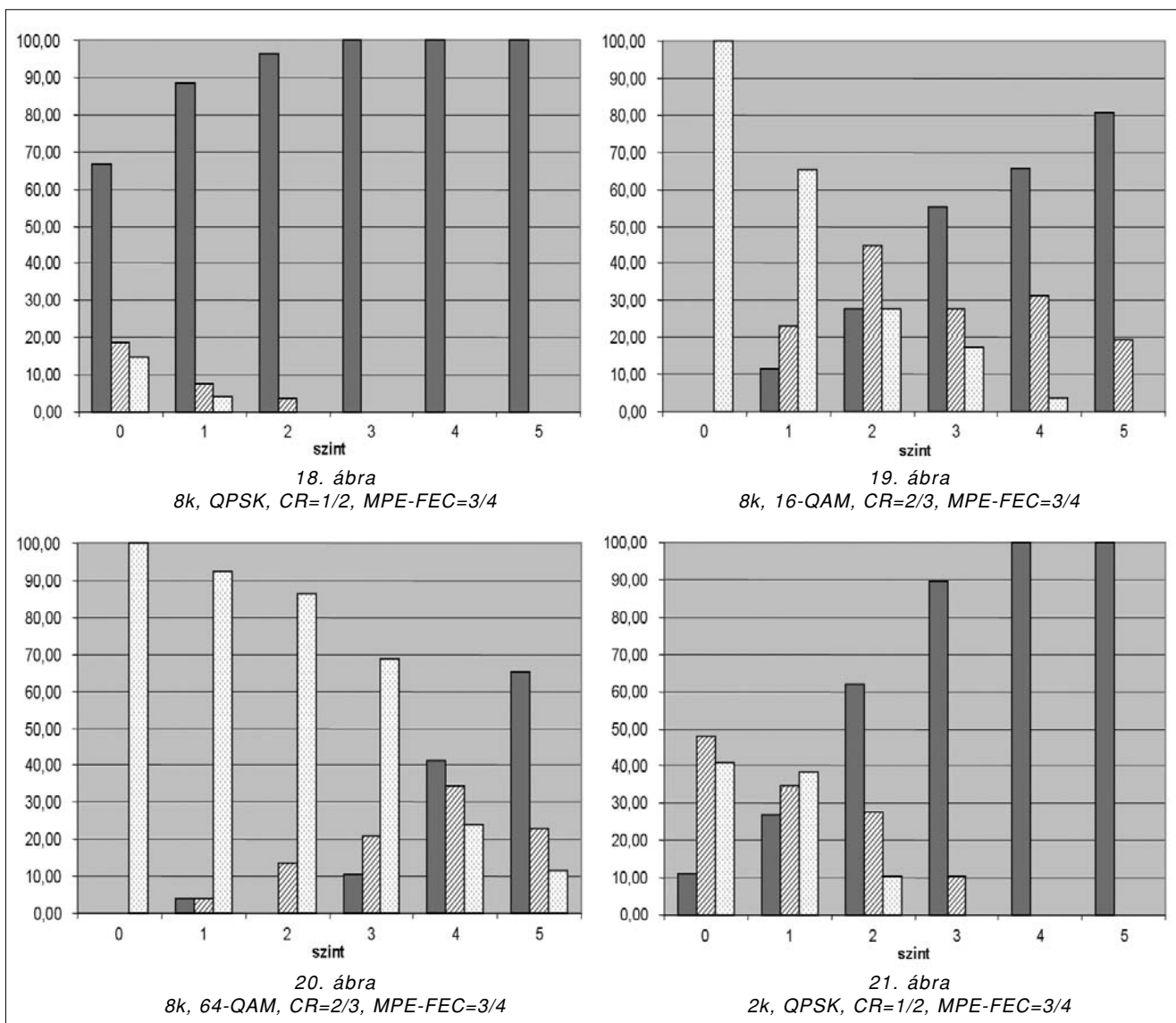
szint	átlagos térerősség [dB μ V/m]	szórás
0	64	3.8
1	72	6.5
2	78	8.0
3	79	6.5
4	83	4.8

3. táblázat

A térerősség statisztikája az egyes szinteken

Minden ponton legalább 100 MPE-FEC keretet vettünk az MFER kiszámításához. Igen gyenge vétel esetén, amikor a szinkronizációt számos alkalommal elvesztettük, a mérés legalább 100 másodpercet vett igénybe. A számításokba belevettük a vétel nélküli idő és a teljes mérési idő arányát. Az egyes tesztpontokban a korrekt átlagolás érdekében több irányból is gyűjtöttünk mintákat. A 3. táblázat szintenként mutatja a mért RF jelszintekből számított átlagos térerősséget és a szórást.

18-21. ábrák Vételi valószínűség különböző szinteken



Az előző mérésekből az alábbi következtetéseket vonhatjuk le:

- Kisteljesítményű, helyi átjátszó használata nélkül egyedül a QPSK konstelláció adhat megfelelő eredményt.
- Épületen belül az MPE-FEC-nek nincs jelentős hatása a vételi minőségre, ellentétben a kültéri gyalogos és mobil tesztek eredményeivel.
- A vétel jelentősen jobb volt a felsőbb szinteken.
- Az alacsonyabb szinteken, a vétel lényegesen jobb volt az épületnek azon oldalán, amely az adótorony felé néz.

12. Következtetések

Az elvégzett mérésorozat alkalmat adott az RF paraméterek elméletileg várt és a gyakorlatban mért értékeinek összehasonlítására.

Vizsgálatainkat ezen felül össze tudtuk vetni a nemzetközi WingTV projekt többi részvevőjénél végzett hasonló tesztek eredményeivel, illetve a „DVB-H Implementation Guideline” [6] adataival. Az eredményeink jó egyezést mutattak mind az elméleti adatokkal, mind a külföldi vizsgálatok eredményeivel.

Az említett egyezések mellett akadtak magyarázatot igénylő eredmények is. Az egyik legfontosabb kérdés az volt, hogy ugyanakkora CNR mellett, ugyanabban az üzemmódban hogyan fordulhat elő például a külvárosi és a belvárosi környezet közötti 5 dB-es különbség. Válaszunk: a CNR mérése a frekvencia-spektrumban egy adott sáv szélességre vett teljesítménysűrűség átlagára (integráljára) alapul. A COFDM egyes vivői megsérülhetnek, de az egyes összefüggő keretek bitjei hibajavítás érdekében a vivőkön szét vannak osztva (energiadiszperzió). Bitátszövés (interleaving) alkalmazásával a gyors fadingeket is kiszűrjük. Ebből adódóan a sérült vivők helyzetétől függetlenül a CNR és az 1-FER, 1-MFER értékek között erős a korreláció.

A belvárosi és külvárosi értékek eltérése abból adódhat, hogy a korreláció a pillanatnyi CNR-re igaz, tehát fontos tudni, hogy a mérővevő mennyi ideig integrálja a pillanatnyi CNR értékeket. A ShowCast validációs vevő 1 másodperces időinter-vallumokban szolgáltatja a mért adatokat, tehát az adatbuszon folyó kommunikáció idejét leszámítva közel 1 másodperc az integrálási ideje. Vagyis az 1 másodperces integrálási időn belül nem tudjuk, hogy ez az átlag egy minimális ingadozásból adódott vagy gyors fadinggel terhelt, az átlagtól jelentősen eltérő CNR értékekből.

Statisztikailag tehát a pillanatnyi CNR értékek nagyobb szórása következtében egy városi Rayleigh-modellt követő környezetben nagyobb az esély a keret sérülésére, amit nagyobb CNR-rel, vagyis az átlagérték feljebb tolásával kompenzálhatunk. Ezért szükséges a 11 dB-es átlagos CNR a városi környezetben a 95%-nál magasabb 1-MFER érték biztosításához, azaz a stabil vételhez.

Irodalom

- [1] Digital Video Broadcasting (DVB); Transmission System for Handheld Terminals (DVB-H). ETSI EN 302 304.
- [2] M. Kornfeld, U. Reimers: DVB-H – the emerging standard for mobile data communication. EBU Technical Review, January 2005.
- [3] Stefler S., Sogrik Gy.: A mobil telefontól a mobil TV-vevőig. 11. Televízió- és Hangtechnikai Konferencia és Kiáll., Budapest, 2005. június 1-2.
- [4] ETSI: DVB-H Validation Task Force – Final Report. TR 102 301, January 2005.
- [5] James McLean, Robert Sutton, Rob Hoffman, TDK RF Solutions: Interpreting Antenna Performance Parameters for EMC Applications, <http://www.djmelectronics.com/articles/emc-antenna-parameters-p3.html>
- [6] ETSI: DVB-H Implementation Guidelines. TR 102 377, November 2005.