

# A szolgáltatás minőségét meghatározó műszaki paraméterek a DVB-T műsorszórásban

BORBÉLY GÁBOR

Széchenyi István Egyetem, Műszaki Tudományi Kar, Távközlési Tanszék  
borbely@sze.hu

Lektorált

**Kulcsszavak:** DVB-T, digitális moduláció, OFDM, QAM, MER, BER, ellátottsági határok, szubjektív képminőség vizsgálat (DVQ)

A földfelszíni digitális televízió műsorszórás minőségét meghatározó paraméterek és azok kiértékelése jelentősen eltérnek az évtizedek óta alkalmazott analóg technológiánál használt megoldásoktól. A legfontosabb műszaki paraméterek mérésének ismertetése és az azokból levonható következtetések összefoglalása jelen cikk elsődleges célja. Ugyanakkor szeretnénk hozzájárulni ahhoz, hogy ennek a korszerű technológiának az előnye mihamarabb hazánkban is ismertté és hozzáférhetővé váljanak. A győri Széchenyi István Egyetem Távközlési Tanszéke megteremtette a lehetőségét annak, hogy a hazai adások mellett az osztrák és szlovák DVB-T műsorok is vehetők és mérhetők legyenek. Így állt elő az a kiváltságos helyzet, mely módot adott a különböző országok DVB-T adásainak összehasonlítására. A Győrben mért adatokat kiegészítettük továbbá a budapesti Puskás Tivadar Távközlési Technikumban rögzített mérési eredményekkel is.

## 1. Bevezetés

Hazánkban az Antenna Hungária Rt. szakemberei a környező országokat megelőzve kezdték meg a földfelszíni digitális televízió műsorszórás kísérleti adásait még 1999-ben Budapesten, majd ezt kiegészítve 2002-ben Kabhegyen. Európa számos országában évekkal később indultak csak el az első DVB-T kísérleti adások, viszont olyan lendülettel és előkészületek után, hogy jelenleg már sok helyen nincs is lehetőség az analóg vételre, illetve az analóg adók működtetésének időtartama már csak hónapok kérdése [7].

Magyarország a 1021/2005. (III. 10.) Kormányhatározattal – elsősorban a frekvenciakoordinációs irányelveket szem előtt tartva – elfogadta az Európai Unió ajánlását, mely szerint legkésőbb 2011. december 31-én leállítja analóg földfelszíni televíziós adóit. A következő évek televíziós műsorszórását döntően ennek az átállásnak a folyamata jellemzi majd, elsősorban azok számára, akik mind a mai napig a földfelszíni analóg adók műsorait nézik. Nagyon valószínű, hogy a hazai tévénezők jelentős része ekkor találkozik majd először a digitális technológiával, hiszen például a kábeltelevíziós műsortovábbítás is még döntően analóg modulációval zajlik.

## 2. A DVB-T előnyei és hátrányai

- Valamennyi néző, aki mindeddig csak analóg televíziós adást vehetett hagyományos televízióján, meglehetősen nagy különbséget tapasztal a látott kép (és hang) minőségét illetően, ha – akár ugyanazon a készüléken – DVB-T adásra vált. Korábban elképzelhetetlen kontraszt és színvilág jelenik meg, mintha egy sötét fátyolt emeltek volna le a képernyőről. Eltűnnek a zajok, a szomszédos csatornák zavarai, szellemképei stb. Azok pe-

dig, akik más formában már megszokták a digitális műsorokat, ezt követően a földfelszíni adások esetén is élvezhetik a kiváló képminőséget.

- Mivel a digitális átvitel tömörített formában továbbítja az adatokat, ezért ugyanabban a frekvenciatartományban, ahol eddig csak egyetlen analóg csatorna fért el, a DVB-T-re való átállást követően egy helyett négyhat, esetleg még ennél is több műsor átvitelére nyílik lehetőség.

- Hozzávetőleg azonos vételi körzet ellátása körülbelül 10 dB-el kisebb adóteljesítményt igényel, digitális moduláció alkalmazása mellett, az analóg adáshoz viszonyítva.

- A DVB-T átvitelnél alkalmazott kódolt ortogonális frekvenciaosztásos multiplex (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) modulációs eljárás képes kivédeni a reflexiók által keletkező hely- és frekvenciafüggő fading okozta vételkiesést azáltal, hogy nagyszámú (több ezer) vivőt használ egy meglehetősen összetett, hibajavító eljárással kombinálva. Ezt a modulációs technikát kifejezetten a földfelszíni terjedésre jellemző, többutas hullámterjedés hibáinak kiküszöbölésére fejlesztették ki.

- Több adóból, úgynevezett egyfrekvenciás hálózat (Single Frequency Network, SFN) alakítható ki azáltal, hogy ugyanazon (általában 8 MHz szélességű) frekvenciacsatornán, teljes szinkronban működtetjük azokat. Több adó jelének vételekor úgy tekinthetjük az antennán megjelenő jelet, mintha egyetlen adót és annak reflektált jelet vennénk. Ezzel nagyon hatékony frekvencia-kihasználásra nyílik lehetőség. Így egyetlen frekvenciatartomány használatával lényegesen nagyobb terület is lefedhető annál, mint amekkorát egyetlen adóval ellátni képesek lennének.

- A digitális jeltovábbítás azonnal kínálja az átkódolás nélküli digitális rögzítés kihasználását, a műsor digitális tárolását.

- Igaz korlátozottan, de mobil vétel is kialakítható a DVB-T műsorszórással.

- Az „analóg” tévészéshez szokott szemünk a vételi körülmények, elsősorban a jel-zaj viszony csökkenésekor, fokozatosan romló zajos, szemcsézett képet lát. Digitális műsorszórás esetén a romló vételi viszonyok miatt előadódó hibák a néző számára mindaddig észrevétlenek maradnak, ameddig a rendszerbe épített hatékony hibajavító algoritmusok ezeket korrigálni képesek. Tehát a vételi viszonyok jelentős változása mellett is sokáig kitűnő képminőséget kapunk. Tovább romló paraméterek esetén az addig gyönyörű kép hirtelen, kártyavárszerűen összeomlik (Cliff-effektus – 1. ábra), miután nincs már mód megkülönböztetni a hibás és hibátlan biteket.

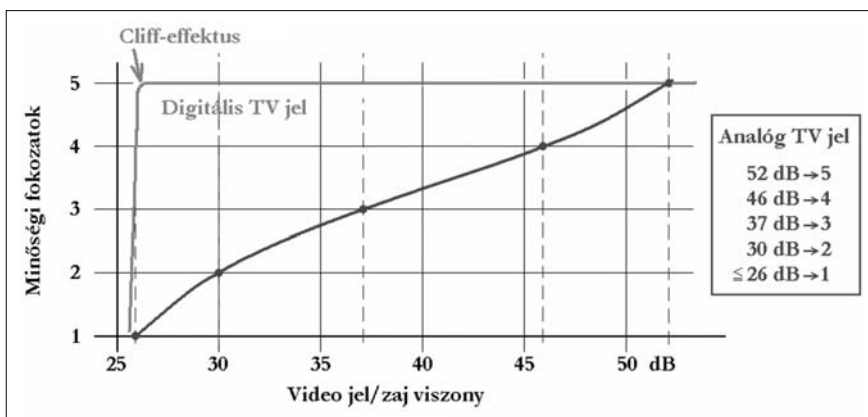
Most pedig vegyük sorra a DVB-T hátrányos tulajdonságait:

- Bevezetésének jelentős költségvonzata van mind az adás, mind a vételi oldalon. Ne csak a nagyszámú set-top-box beszerzésére gondoljunk. A közel hibátlan vételhez megfelelő antennák is szükségesek lehetnek, hogy az időjárástól függetlenül élvezhessük az adást.

- A DVB-T műsorok sugárzása számára általában az UHF tartomány magasabb frekvenciatartományait jelölték ki (800 MHz környékén), itt pedig a levegő páratartalma, főképpen pedig az eső, nagy csillapításra képes.

- Az analóg televízió műsorszórás egyik legnagyobb hátránya, hogy a korlátos frekvenciatartomány miatt a csatornaszám nehezen vagy egyáltalán nem növelhető. A digitalizálás megteremti a műszaki lehetőségét a bővítésnek. Pár évre előretekintve a jelenleg belátható frekvenciagazdálkodási lehetőségek mellett is megvalósíthatónak látszik a DVB-T adásokkal a negyven körüli csatornaszám elérése. Viszont éppen a DVB-T adások indulásakor a műsorválaszték még erősen korlátozott. (Jelenleg csak az M1, M2, Duna, Duna II. Autonómia vétele lehetséges.) Kérdés, hogy meglesz-e ekkor a kellő vonzerő a nézőkben az önkéntes átállásra. Mi történik abban az esetben, ha a nézők jelentős része az analóg földfelszíni adás helyett a műholdról érkező (DVB-S, DVB-S2) vagy ha megteheti, a kábeles (DVB-C) digitális platformot választja?

1. ábra  
Az analóg és a digitális TV jel minőségének változása a jel/zaj viszony függvényében



- A DVB-T adások vétele mozgó vevő esetén önmagában nem jelentene gondot, mert a Doppler-effektus miatti frekvenciaeltolódást a vevő oszcillátora képes követni. Viszont ha a Doppler-effektus a többutas-reflexiókkal együtt jelentkezik, akkor jelentősen romlik a vétel lehetősége. A legkülönbözőbb irányokból érkező reflektált jelek hatására ugyanis a spektrumvonalak elmosódnak.

- Külön figyelmet érdemelnek a digitális átvitelre jellemző jellegzetes, jól látható és ezzel együtt nagyon zavaró képhibák. A képjel erőteljes tömörítése, elsősorban az MPEG-2 kódolás-dekódolás során keletkező hibák „blokkosodáshoz” vezetnek. Ekkor a képfelület kisebb-nagyobb felülete négyzet alakban hibásan jelenik meg, színe megváltozik, hosszabb-rövidebb időre kimerevedik. Aki először találkozik vele, az legalább akkorát csalódik a digitális technikában, mint amennyire meglepődik eleinte annak kitűnő képminőségén. A legújabb fejlesztésű vevőegységek kapcsán komoly erőfeszítéseket folytatnak a blokkosodás zavaró hatásának csökkentésére.

### 3. Adattömörítés, nyálábolás, csatornakódolás, digitális moduláció

Tételezzük fel, hogy egy normál felbontású televízió (Standard Definition Television, SDTV) képjelét digitális átviteli láncon kívánjuk továbbítani. Az Y világosságjel 13,5 MHz-es, a  $C_B$  és  $C_R$  színkülönbségi jeleket 6,75 MHz-es frekvenciával mintavételezve (4:2:2 struktúrájú felbontást alkalmazva), 10 bites A/D konverzió mellett, ez 270 Mbit/s adatátviteli sebességet igényelne. (ITU-R BT.601) Mivel a szokásos átviteli utakon (műholdas, kábeles vagy földfelszíni továbbítás mellett) ennek az adatátviteli sebességnek csak a töredéke áll rendelkezésre, a fenti adatfolyamot tömöríteni kell, kb. 2-6 Mbit/s környékére. Ez az eredeti adatsebességnek nagyjából a századrésze.

Az 1. táblázat összefoglalja a legismertebb média-tömörítési eljárásokat, melyek közül jelenleg az MPEG-2 a legfontosabb, mert a DVD filmek és a digitális televízió műsorszóró rendszerek (DVB-S/C/T) is döntően ezt használják. (A DVB-S2-es HDTV minőséget célzó meg az MPEG-4-es tömörítéssel, ezzel előrevetítve az MPEG-2-es szabvány egy lehetséges utódját.)

Az MPEG-2 tömörítési eljárás a felbontás 10-ről 8 bitesre csökkentésével, a sorkioltás és félképkiooltás kihagyásával, a színfelbontás további csökkentésével (4:2:0 struktúrájú felbontást alkalmazva) már körülbelül a felére, 124,5 Mbit/s-ra szorítja le az adatsebességet. Az egymást követő képkockák mozgáskompensációval kiegészített különbségi impulzuskódmodulációjával (Differential Pulse Code Modulation, DPCM), a képtartalom diszkrét koszinusz transzformációjával (Discrete Cosine Transform,

<b>Videó:</b>	
ISO/IEC	MPEG-1 ; MPEG-2 ; MPEG-4 ; MPEG-4/AVC
ITU-T	H.261 ; H.262 ; H.263 ; H.264
Egyéb	AVS ; Bink ; Dirac ; Indeo ; MJPEG ; RealVideo ; Theora ; VC-1 ; VP6 ; VP7 ; WMV
<b>Audió:</b>	
ISO/IEC	MPEG MPEG-1 Layer III (MP3) ; MPEG-1 Layer II ; AAC ; HE-AAC
ITU-T	G.711 ; G.722 ; G.722.1 ; G.722.2 ; G.723 ; G.723.1 ; G.726 ; G.728 ; G.729 ; G.729.1 ; G.729a
egyéb	AC3 ; Apple Lossless ; ATRAC ; FLAC ; iLBC ; Monkey's Audio ; $\mu$ -law ; Musepack ; Nellymoser ; RealAudio ; SHN ; Speex ; Vorbis ; WavPack ; WMA
<b>Kép:</b>	
ISO/IEC/ITU-T	JPEG ; JPEG 2000 ; lossless JPEG ; JBIG ; JBIG2 ; PNG ; WBMP
egyéb	APNG ; BMP ; GIF ; ILBM ; PCX ; TGA ; TIFF ; HD Photo
<b>Médiát tartalmazó adat:</b>	
általános	3GP ; ASF ; AVI ; DMF ; DPX ; FLV ; Matroska ; MP4 ; MXF ; NUT ; Ogg ; Ogg Media ; QuickTime ; RealMedia ; VOB
csak audio	AIFF ; AU ; WAV

mást követő adatcsomag között bitátszövést és 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 vagy 7/8 kódarányú konvolúciós kódolást foglal magában.

A földfelszíni digitális televízió műsorszórásnál alkalmazott OFDM átviteltechnikának két üzemmódja használatos az EN 300 744 szabvány szerint: a vivők számától függően 2k vagy 8k (2. táblázat). Ez elvben 2048, illetve 8192 ortogonális vivőt jelent. A gyakorlatban a spektrum szélein található vivők egy részét nem használjuk.

1. táblázat Multimédia-tömörítési eljárások [12]

DCT), az újrakvantált DCT együtthatók cikkcakk-leképezésével, majd futamhossz-kódolásával, végül az így előállt adatfolyam Huffman-kódolásával rendkívül nagy tömörítést érnek el, melynek továbbítására már 2-6 Mbit/s-os adatátviteli sebesség is elegendő [5]. A távközlés és vele együtt a műsorszórás is, egyre inkább IP alapokra helyeződik át. Ezzel együtt az internet alkalmazásoknál már jól bevált MPEG-4-es szabvány folyamatosan be fog vonulni a műsorszórásba.

A tömörítetlen, digitalizált hanginformáció átvitele eleve kisebb adatsebességet igényel (kb. 1,5 Mbit/s sztereó jel esetén), viszont tömörítésekor nem tudunk a videojeléhez hasonlóan jó arányt elérni. Kihasználjuk, többek között, az emberi hallás azon tulajdonságát, hogy az erősebb, nagyobb intenzitású hangok elfedik az időben előtte és utána lévő gyengébb hangokat. Hasonló elfedési jelenség tapasztalható a frekvenciaspektrumban is. Így a minőség függvényében néhány 100 kbit/s-ra redukált adatsebességet kaphatunk.

A hanggal és esetleg további adatokkal kiegészített videojelet elemi adatfolyamnak (Elementary Stream, ES) nevezzük. A feldolgozott kép- és hangtartalomtól függően a tömörítés rövidebb-hosszabb adatokat eredményez. Az így létrejövő változó, de maximálisan 64 kilobájt hosszúságú adatfolyam neve csomagolt elemi adatfolyam (Packetized Elementary Stream, PES). A PES csomagok további opcionális kiegészítéseket is tartalmazhatnak. Bonyolultabbak és hosszabbak annál, hogy műsorszóró hálózaton továbbítsuk azokat. Ezért 184 bájt (+ 4 bájt fejléc) hosszú egységekre osztva multiplexáljuk őket a többi műsorral együtt. Ekkor kapjuk meg az MPEG-2 átviteli adatfolyamot, angol nevén Transport Stream-et (TS).

Feltételezve, hogy az átviteli úton hibák léphetnek fel, ezek utólagos helyreállíthatósága érdekében előreható hibajavító algoritmusokat építünk be (Forward Error Correction, FEC). A csatornakódolás scremblerezést, 8 hibás bájt javítására képes Reed-Solomon (204;188) kódolást, 12 egy-

A vivők ortogonalitásának feltétele, hogy a szimbólumidők  $\Delta t$  időtartama és a vivőfrekvenciák  $\Delta f$  távolsága egymás reciproka legyen:  $\Delta f = 1/\Delta t$ . A véges idejű szimbólumok miatt az egyes vivők spektruma ekkor a diszkrét vonalak helyett olyan  $\sin(x)/x$  függvény szerint fog változni, melyek nullátmenetei a frekvenciatengelyen  $\Delta f$  távolságra követik egymást, és éppen egybeesnek a szomszédos vivők maximumhelyeivel. Így a sok ezer vivő hasznos jele egymás zavarása nélkül továbbítható. Az ortogonalitás feltételéből következik, hogy az üzemmódtól függetlenül (2k vagy 8k) a nettó adatátviteli sebesség nem változik. (A 8k üzemmód ugyan négyszer annyi adatvivővel, de négyszer olyan hosszú szimbólumidőkkel rendelkezik.)

Minden egyes (modulált, szinuszos) adatvivő amplitúdója és fázisa is hordoz információt. Az adatvivők mindegyike 16 vagy 64 QAM modulációt kap, ezért egy szimbólum átvitelével 4 vagy 6 bitnyi adatot továbbíthatunk. (QPSK is engedélyezett, de használata nem terjedt el.)

A szimbólumok közötti áthallás kiküszöbölése érdekében védő intervallumot (Guard Period) iktatnak a szimbólumok átvitele közé. A védelmi időintervallum a szimbólumidő 1/4, 1/8, 1/16 vagy 1/32-ed része lehet. Növelése javítja a szimbólumok kiértékelhetőségét, de csökkenti az átvihető hasznos adatok mennyiségét. A fenti információk alapján az adatátviteli sebesség már meghatározható.

2. táblázat A 2k és 8k üzemmód összehasonlítása

Üzemmód	2k	8k
vivők száma (elvileg)	$2^{11} = 2048$	$2^{13} = 8192$
vivők száma (gyakorlatilag)	1705	6817
adatvivők száma	1512	6048
folytonos pilotvivők száma	45	177
szórt pilotvivők száma	142 / 131	568 / 524
jelzésátviteli (TPS) vivők száma	17	68
vivők közötti távolság *	$\approx 4$ kHz	$\approx 1$ kHz
egy szimbólum időtartama *	$\approx 250$ $\mu$ s	$\approx 1$ ms

\* a pontos értéket a DVB-T spektrum szélessége (6, 7 vagy 8 MHz) határozza meg

3. táblázat  
 Nettó adatátviteli sebességek  
 összehasonlító táblázata (Mbit/s)  
 (az értékek a 2k vagy 8k üzemmód  
 választása esetén azonosak)

	Védelmi idő	Kódarány				
		1/2	2/3	3/4	5/6	7/8
QPSK (M = 4)	1/4	4.9765	6.6353	7.4647	8.2941	8.7088
	1/8	5.5294	7.3725	8.2941	9.2157	9.6765
	1/16	5.8547	7.8062	8.782	9.7578	10.2457
	1/32	6.0321	8.0428	9.0481	10.0535	10.5561
16QAM (M = 16)	1/4	9.9529	13.2706	14.9294	16.5882	17.4176
	1/8	11.0588	14.7451	16.5882	18.4314	19.3529
	1/16	11.7093	15.6125	17.564	19.5156	20.4913
	1/32	12.0642	16.0856	18.0963	20.107	21.1123
64QAM (M = 64)	1/4	14.9294	19.9059	22.3941	24.8824	26.1265
	1/8	16.5882	22.1176	24.8824	27.6471	29.0294
	1/16	17.564	23.4187	26.346	29.2734	30.737
	1/32	18.0963	24.1283	27.1444	30.1604	31.6684

A 3. táblázat összefoglalja a nettó adatátviteli sebességeket különböző paraméterek választása esetén.

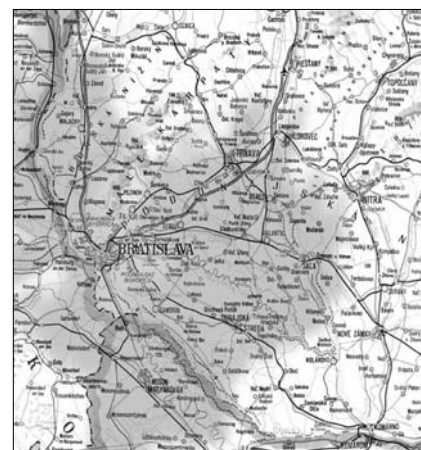
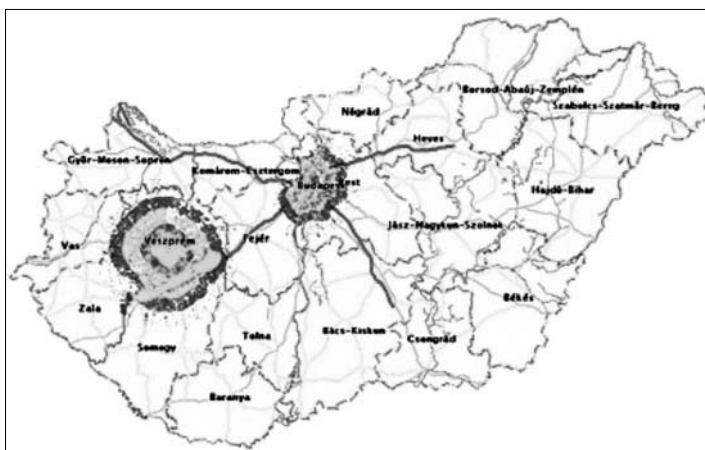
#### 4. A vizsgált DVB-T adók legfontosabb paramétere

A Széchenyi István Egyetem Távközlési Tanszékének Műholdas és Kábeltelevíziós Laboratóriuma, ahol a mérések végeztük, az oltatási épület D tornyában található, mely a környezetéből egyébként is kimagasló épü-

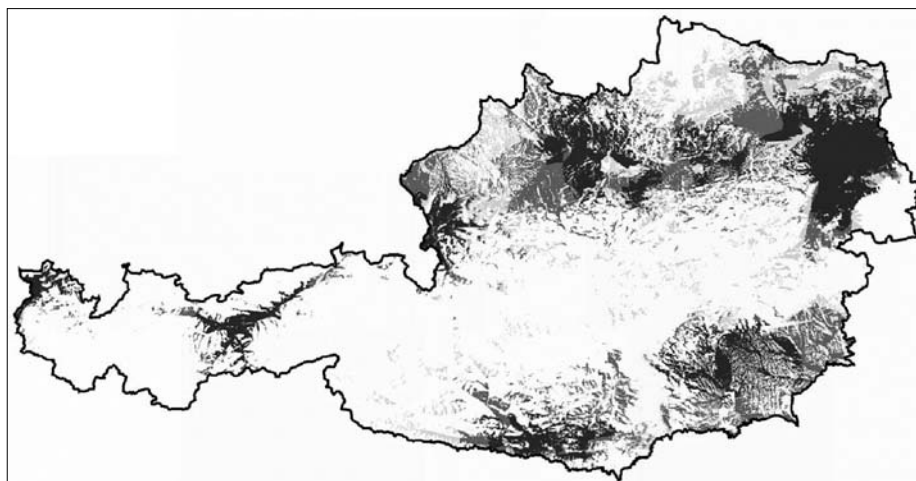
let legmagasabb pontja. Mérőantennánk körülbelül 40 méteres magasságban volt a talajszinthez képest. Ez az adottság nagyban hozzájárult ahhoz, hogy Győrben egyáltalán esélyünk volt a DVB-T adások vételére. Győr ugyanis minden esetben a prognosztizált ellátottsági terület határán kívül esett (2., 3/a,b., 4. ábrák).

4. ábra  
 Pozsony és környékének DVB-T ellátottsága [13]

2. ábra  
 A hazai DVB-T adások ellátottsági körzetei [9]



3/a. és 3/b. ábra  
 Ausztria és Bécs környékének DVB-T ellátottsága [7]



Győr - SZE			Bp - PTTT
Kabhegy (HU)	Wien (A)	Bratislava (SK)	Bp. OMK (HU)
UHF 64. csatorna	UHF 61. csatorna	UHF 66. csatorna	UHF 51. csatorna
814 MHz	794 MHz	834 MHz	714 MHz
2,5 kW ERP	50 kW ERP	3,5 kW ERP	1 kW ERP
horizontális	horizontális	horizontális	horizontális
64 QAM	16 QAM	64 QAM	64 QAM
8k FFT	8k FFT	8k FFT	8k FFT
1/32 GP	1/4 GP	1/8 GP	1/32 GP
2/3 CR	3/4 CR	2/3 CR	2/3 CR
alpha 1 (NH)	alpha 1 (NH)	alpha 1 (NH)	alpha 1 (NH)
távolság kb. 70 km	távolság kb. 120 km	távolság kb. 60 km	távolság kb. 8 km

4. táblázat  
A vizsgált DVB-T adók  
legfontosabb  
paramétereit

A Győrben vehető magyar DVB-T adások a 64. csatornán Kabhegyről, az osztrák adások a 61. csatornán Bécsből, a szlovák adások pedig a 66. csatornán Pozsonyból érkeztek. Az adók részletesebb paramétereit a 4. táblázat tartalmazza. Azonos a horizontális polarizáció, a 8k üzemmód választása, továbbá a hierarchikus moduláció nélküli átvitel (alpha = 1, NH)

A táblázat adatait a 3. táblázattal összevetve máris kiderül, hogy a különböző országok adói mennyire eltérő nettó adatátviteli sebességekkel üzemelnek. A bécsi adás esetén ez 14,9 Mbit/s, Pozsonynál 22,1 Mbit/s, míg a magyar adók esetén 24,1 Mbit/s.

Ne feledjük, hogy az adatátviteli sebesség határozza meg az átvihető műsorcsatornák számát. Az egy műsorhoz szükséges csatornkapacitásról a DVQ mérésekkel összefüggésben még lesz szó. A bécsi adó a zavarvédettebb 16 QAM választással lényegesen kevesebb műsorcsatornát képes továbbítani. Láthatóan nagyon sok tényező egymásra hatását kell figyelembe venni egy DVB-T adás műszaki paraméterek meghatározásakor.

Az osztrák adást valójában egy három adóból (Himmelhof, Kahlenberg, Arsenal) álló egyfrekvenciás hálózat (SFN) sugározza. Feltétlenül ki kell emelni, hogy az osztrák vételi lehetőségekről nagyon részletes antenna beállítási tanácsok, illetve DVB-T be- és analóg lekapcsolási ütemterv tájékoztatót. 2007-ben március 5-én Bregenz, május 7-én Innsbruck, június 4-én Salzburg és Linz tartományokban állt le végleg az analóg adás! [7] Németország egésze 2008-ra tervezi a teljes átállást!

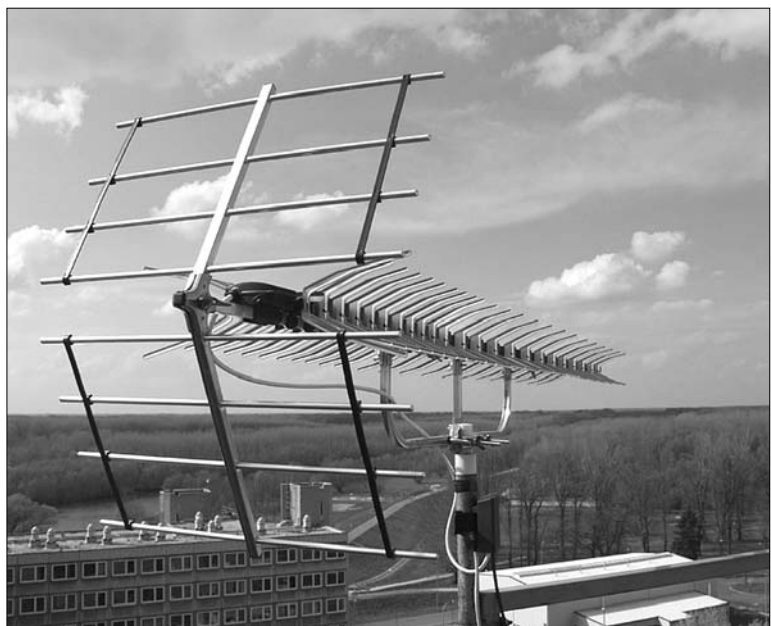
## 5. Mérési összeállítás, műszerek

A győri, meglehetősen mostoha vételi körülményekhez Hirschmann Fesa 817 N 69 antennát választottunk, mely a 63-69-es UHF csatornákon 17 dB nyereséggel rendelkezik (5. ábra).

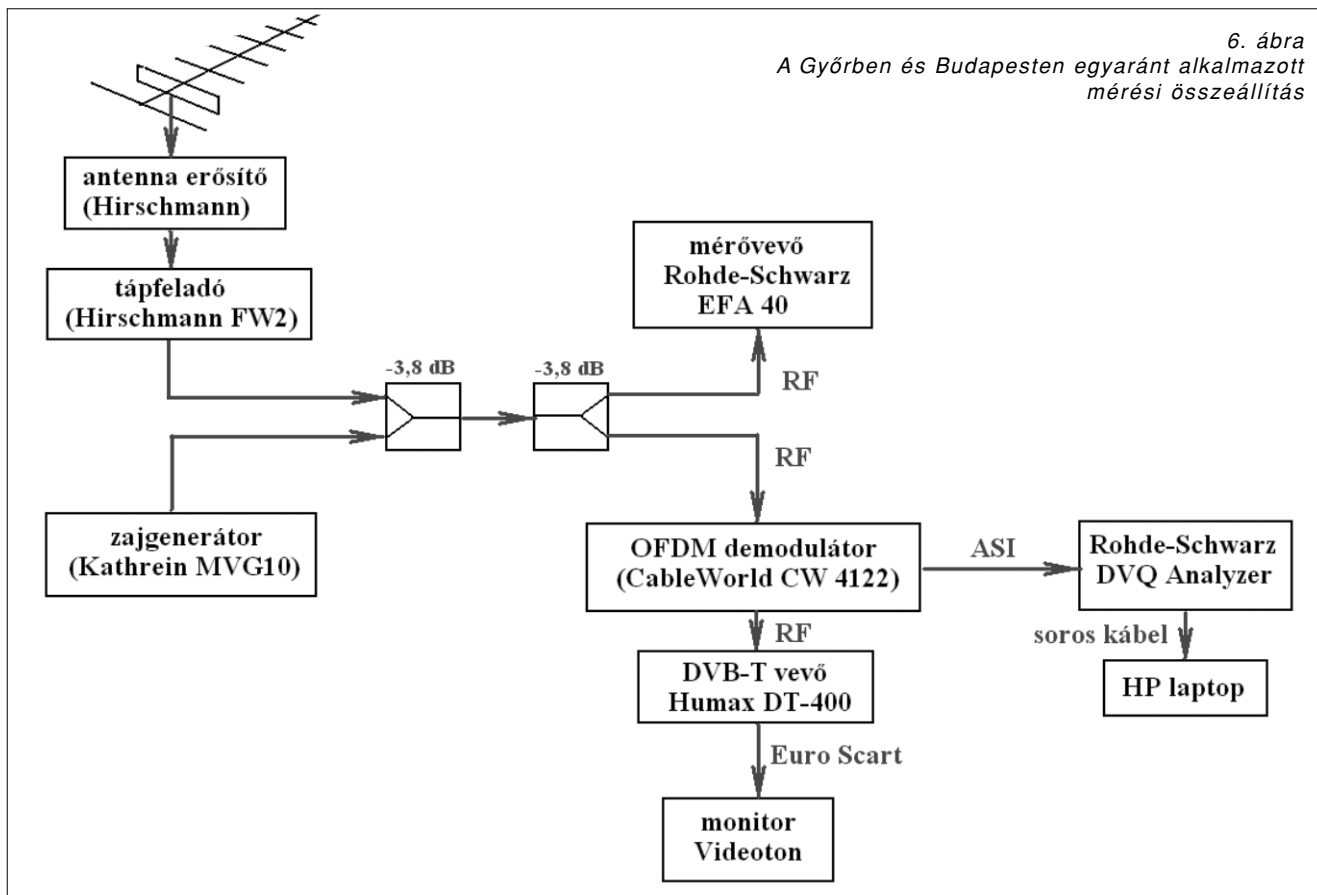
Az antenna közvetlen közelébe, az árbocrúdra helyeztük el a szintén Hirschmann gyártmányú távtáplált antennaerősítőt, mely 25 dB-es erősítést adott 1,8 dB-es zajtényező mellett.

Esetenként az antennaerősítő jeléhez változtatható amplitúdójú Gauss-zajt adtunk. Zajgenerátorunk Kathrein gyártmányú MVG10 típusú készülék volt. Ezt a jelet osztottuk kétfelé. Az egyik ágra méréseink legmeghatározóbb műszerét, egy Rohde&Schwarz gyártmányú EFA 40/43-as DVB-T mérővevőt kapcsoltuk [1,6]. A másik ágra egy CableWorld CW 4122 OFDM demodulátort tettünk. Ennek aszinkron soros kimenete (Asynchronous Serial Interface, ASI) szolgáltatja az adatokat a képminőség vizsgálathoz, melyet Rohde&Schwarz DVQ Analyzer segítségével végeztünk [2]. A mért értékeket egy HP Compaq NC6320 notebook rögzítette. Az OFDM demodulátor RF kimenete szolgált monitorozásra egy Humax DT-400 DVB-T vevőn keresztül.

5. ábra  
A DVB-T vételhez használt Hirschmann antenna



6. ábra  
A Győrben és Budapesten egyaránt alkalmazott  
mérési összeállítás



A teljes mérési összeállítás a fenti, 6. ábrán látható. A jobb összehasonlíthatóság érdekében a budapesti méréseket ugyanezzel a rendszerrel készítettük.

### 6. Milyen paramétereket lehet és érdemes mérni?

Mindjárt az elején meg kell említeni, hogy a többszörösen összetett átviteli adatfolyam (transport stream), a bonyolult csatornakódolás, a többféle hibajavító algoritmussal ellátott sok ezer vivős OFDM technika, továbbá a kvadratúra moduláció együttesen komoly követelményeket támaszt a DVB-T jelek mérés technikájával szemben. Az analóg televízió műsorszórás esetén elsősorban a jel/zaj viszony romlása és az átviteli lánc erősítőinek nemlineáris torzítása felelt döntően a minőségromlásért. A következőkben áttekintjük azokat a legfontosabb paramétereket, melyeket leginkább figyelemmel kell kísérenünk, ha a földfelszíni digitális televízió műsorszórás minőségéről beszélünk.

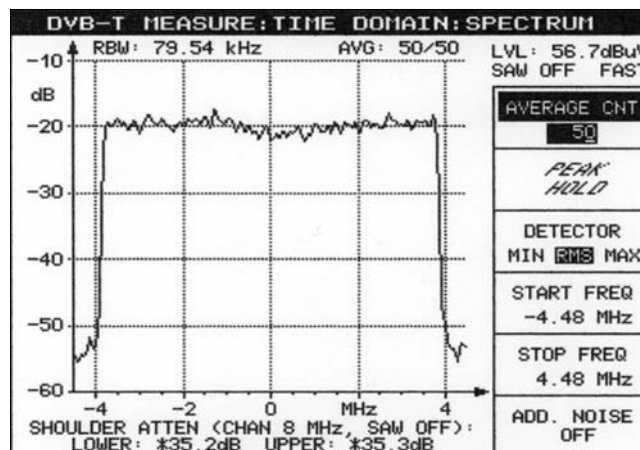
#### 6.1. A DVB-T jel és környezetének frekvenciaspektruma

Az általunk vizsgált valamennyi DVB-T adás 8 MHz szélességű spektrumtartományt foglalt el. Az OFDM szimbólumok véletlenszerű jellege miatt a spektrum egyenletes, zajszerű (7. ábra). A széleken jól láthatóan nem moduláltak a vivők, hogy ezzel a szomszédos csatornák közötti átfedés könnyebben szűrhető legyen. Az egyes

vivők  $\sin(x)/x$  spektruma miatt a spektrumhatár jellegzetes „vállakkal” rendelkezik. A frekvenciaspektrum tájékoztatást ad a rádiófrekvenciás átviteli út hibáiról, fadinghatásokról. A spektrumkép kiértékelésével mód van az adott DVB-T csatorna jel- és zajteljesítményének meghatározására is.

A szomszédos csatornák spektrumának ismerete, azok zavaró hatása miatt lehet lényeges. Méréseink során a szlovák adás vételekor tapasztaltuk, hogy a 66. csatornán érkező DVB-T adó mellett egy analóg (osztórák) adó működött az alatta lévő 65. csatornán. E példán is látható, milyen fontos a szomszédos országok közötti pontos frekvenciakoordináció.

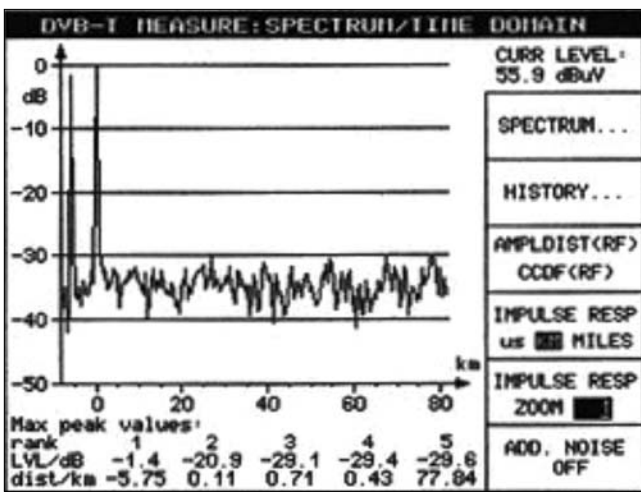
7. ábra  
A 794 MHz-en érkező osztórák adó spektruma Győrből



### 6.2. A rádiófrekvenciás átviteli út impulzusválasza

Ideális esetben a rádiófrekvenciás jel kizárólag közvetlen úton érkezik a vevőhöz. A budapesti vételi helyünk gyakorlatilag ide tartozott. A földfelszíni terjedés során azonban nagyszámú reflektált jel is keletkezik, melyek a vevőantennára jutva zavarhatják a vételt. A pozsonyi és a bécsi adó vett jele számtalan, közel azonos amplitúdójú reflexióval volt terhes, melyek nagyon változatos időeltolódással (más-más úthosszat megtéve) érkeztek (8. ábra) [10]. Kabhegy jelét egyetlen, időjárástól és napszaktól független reflexió jellemezte, mely a mérések tanúsága szerint körülbelül 450 méterre volt a vételi helytől.

8. ábra  
A 834 MHz érkező pozsonyi adó impulzusválasza

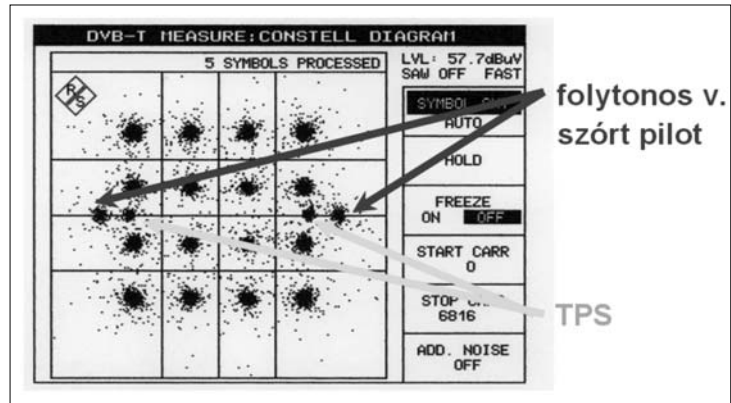


A szimbólumközi védőintervallum hivatott arra, hogy a szimbólumváltások közötti tranziensek ne akadályozzák a jel kiértékelését. Egyfrekvenciás hálózat esetén az adók földrajzi távolsága miatt az impulzusválasz alapján optimalizálhatjuk az egyes adók jelszintjét és szinkronját. Ekkor is igaz, hogy a reflektált (vagy másik SFN adóból érkező direkt vagy szintén reflektált) jelnek a védőintervallumon belül le kell csengenie.

### 6.3. Konstellációs diagram

A DVB-T műsorszórásnál alkalmazott digitális (kvadrátúra) moduláció elemzésének legszemléletesebb módját a konstellációs diagram nyújtja. Az I/Q koordináta-rendszerben pontoknak látszó egyedi szimbólumok helyzete tájékoztat bennünket a QAM moduláció szintjéről (16 vagy 64 QAM), a jel/zaj viszonyról, a modulátor hibáiról, mint amilyen például az amplitúdó aszimmetria, a fázishiba vagy az elégtelen vivőelnyomás, más néven vivőszivárgás.

A legtöbb esetben a konstellációs diagram valamilyen vivő állapotait egyidejűleg mutatja, de szükség esetén a mérővevő képes ezeket szelektíven mutatni. Nem csak az adatvivők állapotairól kapunk adatokat, mert a konstellációs diagram vízszintes tengelyén szimmetrikusan a (szórt és folytonos) pilotjelek, és (az origóhoz közelebb) a jelzésátviteli vivők (Transmission Parameter



9. ábra  
Az ausztriai DVB-T adás 16 QAM konstellációs diagramja

Signalling, TPS) állapotai is megjelennek. Ez utóbbiak a vétel szempontjából rendkívüli fontossággal bírnak, mert az adási paramétereikről tájékoztatják a vevőt. Ezért a leginkább hibátűrő differenciális fázisbillejtőzést (Differential Binary Phase Shift Keying, DBPSK) kapták. Az általunk vizsgált adók mindegyike 64 QAM modulációt használt, kivéve az ausztriai adó(ka)t, mely (ek) a 16 QAM miatt tűntek ki a többi adat közül (16 állapot, szemben a 64-gyel az I/Q síkon) – 9. ábra.

A konstellációs diagramon látható, különböző okokra visszavezethető hibák jellemzésére bevezetett modulációs hibaarány egyetlen számadattal igyekszik jellemezni az átvitelt. Jelentősége miatt külön foglalkozunk vele.

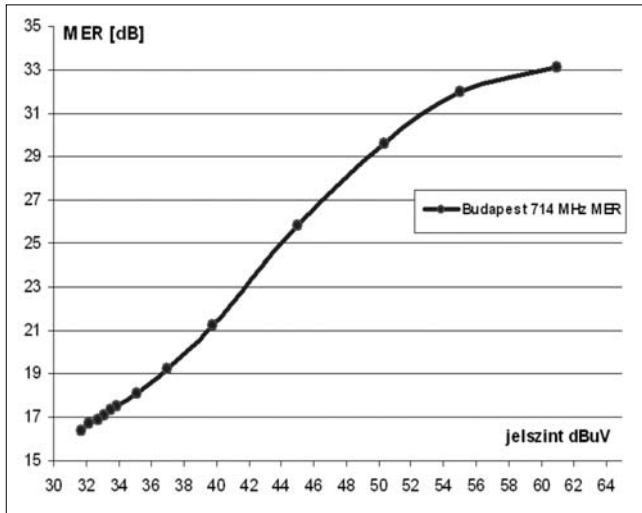
### 6.4. Modulációs hibaarány (Modulation Error Rate, MER)

A QAM szimbólumok ideális esetben az egyes I/Q cellák középpontjára esnek. Valóságban ettől kisebb-nagyobb mértékben eltérnek. Ennek az eltérésnek a nagysága jellemzi a hiba mértékét. A cellák középpontjába húzott vektorok abszolút értékének négyzetösszegeit kell osztani a hibavektorok abszolút értékének négyzetösszegével, valamennyi szimbólumra nézve és mindezt – DVB-T esetén – az összes adatvivőre elvégezve. A kapott hányadost dB-ben kifejezve kapjuk a modulációs hibaarány mérőszámát:

$$MER = 10 \cdot \log \frac{\sum_{i=1}^N (I_i^2 + Q_i^2)}{\sum_{i=1}^N (\Delta I_i^2 + \Delta Q_i^2)} [dB]$$

A modulációs hibaarányt az analóg rendszerekkel való összehasonlítás során gyakran a digitális átvitel jel/zaj viszonyaként is emlegetik. De a kettő nem ugyanaz. A MER értékét, a zajon kívül, az átvitel során keletkező nagyon sokféle további hiba terheli és befolyásolja.

A modulációs hibaarány változását a jelszint függvényében a 10. ábra mutatja. A jelszintet csillapító beiktatásával csökkentettük a vétel határáig. A budapesti mérési adatokat láthatjuk, mert a közel ideális állapottól a konstellációs diagram összeomlásáig itt foghattuk át a legszélesebb tartományt.



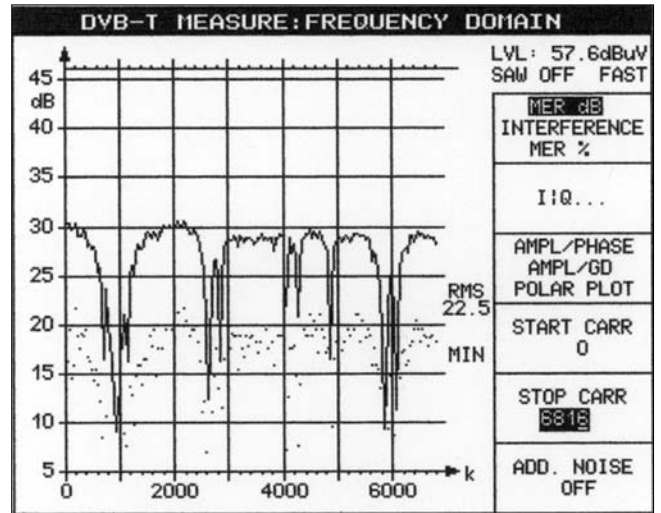
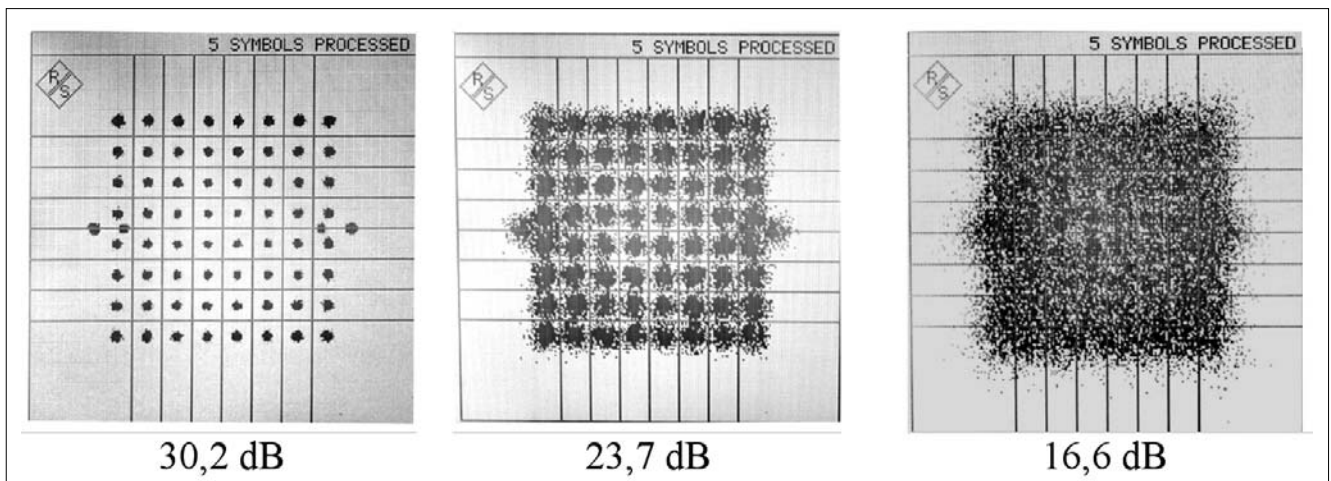
10. ábra  
A budapesti, 51. csatornán sugárzó DVB-T adó vett jelének modulációs hibaaránya a jelszint függvényében

A modulációs hibaarány romlásával a konstellációs diagram elmosódik, ahogy ezt a 11. ábra képei mutatják.

Az egyes DVB-T adókról általánosságban annyi mondható, hogy a modulációs hibaarány kb. 17 dB-es értékéig maradt szinkronban a vevő akkor, amikor az adás a zavarokra érzékenyebb, 64 QAM modulációs szintű volt. Esetünkben a két magyar és a szlovák adó sorolható ide. Az ausztriai adás, a robosztusabb 16 QAM modulációs szint miatt, 12 dB-es modulációs hibaarány mellett is még szinkronban volt. Valamennyi adó esetében azt tapasztaltuk, hogy a monitor képernyőjén látott gyakorlatilag hibátlan kép és a vétel teljes összeomlása között a modulációs hibaarány értékében alig 1,5-2 dB volt a különbség. A jelenséget részletesebben a bit-hiba arány segítségével írhatjuk le és érthetjük meg. (Lásd a következő szakaszt!)

Még egy lényeges összefüggést kell tisztázni a modulációs hibaarányal kapcsolatban. Egyetlen adatként a MER dB-ben kifejezett értéke valamennyi adatvivő frekvenciájára átlagolt érték. Mivel sok ezer vivőnk van az OFDM technika miatt, ezek zavarása, reflexiója stb.

11. ábra  
A konstellációs diagram állapota három különböző RMS MER értéknél (Budapest, 51. csatorna, 64 QAM)



12. ábra  
A MER értéke erősen függ a vivők spektrumon belüli helyzetétől (Wien 794 MHz, Győről)

jelentősen különbözhet egymástól. Ezért a modulációs hibaarányt valójában vivőnként külön-külön kellene ismerni. Erre az igényre a mérővevők fel vannak készítve.

Jellemző példaként bemutatjuk a 7. ábrával egyidőben készült grafikont, melyen a modulációs hibaarány változását láthatjuk az egyes vivők függvényében. Bár a 7. ábra frekvenciaspektruma nem utalt vételi problémára, jelentős mennyiségű adat válik kiértékelhetetlené azokon a vivőkön, melyek nagyon alacsony MER értékkel bírnak (12. ábra). Vajon meddig képes a rendszerbe épített hibajavító algoritmus ezeket pótolni? Erre egyetlen, az összes adatvivőre átlagolt, esetünkben 22,5 dB-es MER érték nem ad kielégítő választ. Feltétlenül szükség van a vivők függvényében egyedileg mért MER adatokra.

**6.5. Bithiba arány (Bit Error Rate = BER)**

Digitális átvitel esetén a kapcsolat minőségét legjobban a bithiba arány jellemzi. Értékéhez a hibás bitek számát kell osztani a továbbított összes bit számával.



A gyakorlatban hibamentesnek (Quasi Error Free, QEF) fogadjuk el az átvitelt abban az esetben, ha a bithiba arány  $2 \cdot 10^{-11}$ -nél kisebb. A külső és belső hibajavító kódolás miatt három különböző BER értéket mérhetünk, ahogyan ezt a Rohde&Schwarz mérővevő főmenüje is mutatja (13. ábra). Ezek:

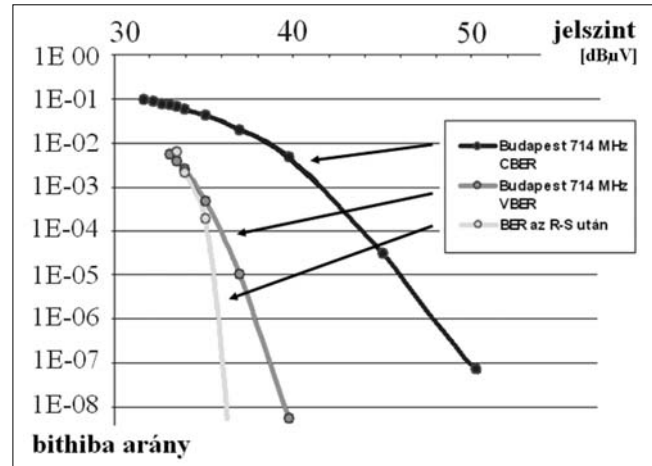
- a Viterbi dekódoló előtt,
- a Reed-Solomon dekódoló előtt és
- a Reed-Solomon dekódoló után.

13. ábra  
A mérővevő főmenüjében látható három BER érték

DVB-T MEASURE			
SET RF (8MHz)	CHANNEL	ATTEN : 0 dB	
818.00 MHz	64	52.5 dBuV	
FREQUENCY/MER/BER:			CONSTELL DIAGRAM...
FREQUENCY OFFSET	-0.094 kHz		FREQUENCY DOMAIN...
BITRATE OFFSET	6.9 ppm		
MER <RMS>	24.0 dB		SPECTRUM/ TIME DOMAIN.
BER BEFORE VIT	2.3E-3	(10/10)	OFDM PARA- METERS...
BER BEFORE RS	3.5E-7	(10/10)	
BER AFTER RS	0.0E-7	(78/100)	
OFDM/CODE RATE:			RESET BER
FFT MODE	8K	(TPS: 8K)	ADD. NOISE OFF
GUARD INTERVAL	1/32	(TPS: 1/32)	
ORDER OF QAM	64	(TPS: 64)	
ALPHA	1 NH	(TPS: 1 NH)	
CODE RATE	2/3	(TPS: 2/3)	
CELL ID	0000	(LI: 17 INT:NAT)	
TPS RES (F1-F4)	00,00,00,00		
TS BIT RATE 24.12834 Mbit/s			
SYST OPTIM:FAST SAW:OFF			

A Viterbi dekódoló előtti BER érték a legfontosabb a három közül, mert a rádiófrekvenciás átviteli csatorna jellemzésére kiválóan alkalmas. A szakirodalom CBER-ként (Channel Bit Error Rate) említi. A Viterbi dekódoló utáni adatok (VBER) a hibajavító algoritmus hatékony működése következtében lényegesen jobbak. Az ezt követő Reed-Solomon (204;188) dekódoló az MPEG-2 átviteli adatfolyam 204 bájttal hosszú blokkjainak 188 bájtatos adatcsomagjaiból maximum 8 bájt helyreállítására ad lehetőséget.

A 14. ábra a jelszint változásának függvényében mutatja a különböző BER adatokat. Alacsony BER értékek esetén egyre növekvő mérési időtartamokra van szükség.



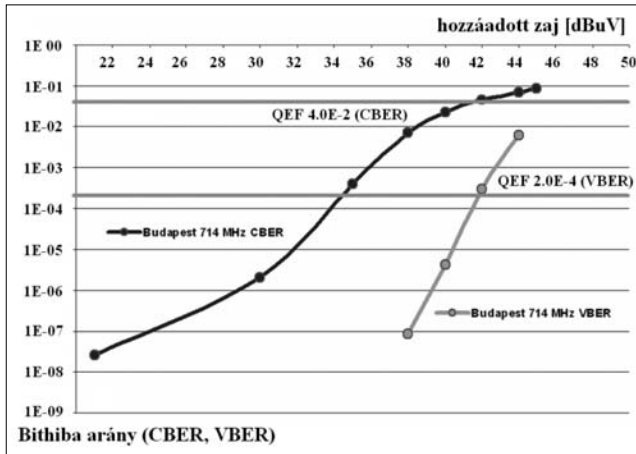
14. ábra  
A különböző BER értékek a jelszint függvényében (Budapest, 51. csatorna)

A CBER és VBER adatok mérése lehetőséget ad az – analóg rendszereknél megszokott (lásd 1. ábra) – öt-fokozatú skálán történő minőségértékelésre. Az egyes minőségi osztályok: Q1-Q2 nem megfelelő, Q3 megfelelő, Q4 jó, Q5 kiváló. Amennyiben VBER értéke nagyobb, mint  $2 \cdot 10^{-4}$ , már csak „nem megfelelő” minőségi besorolás lehetséges. (A közel hibátlan, QEF vétel VBER  $< 2 \cdot 10^{-4}$  esetén lehetséges.) Amennyiben VBER értéke  $2 \cdot 10^{-4}$  alatt marad, a besorolást CBER értékétől tesszük függővé. CBER minimális értéke  $4 \cdot 10^{-2}$  (2/3-os kódarány esetén), illetve  $2 \cdot 10^{-2}$  (3/4-es kódarány mellett). A CBER minimális értékétől való távolság lesz ekkor a minőségi besorolás alapja, ahogy ezt az 5. táblázat az ITU-R BT.1735 szerint mutatja. A besorolás a vizsgált terület adott százalékában (75% alatt, 75-90% között, 95% felett) előírja a minimális térerősség meglétét is.

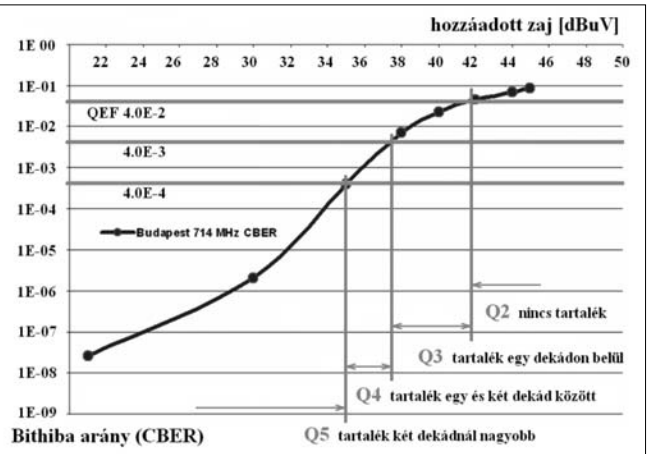
A különböző adók antennajeléhez Gauss-zajt keverve meghatároztuk a CBER és VBER értékeket zajjal terhelt vételnél. A 15/a. ábrán, legjobb példaként, a budapesti mérési eredményeket mutatjuk be, megjelölve a különböző bithiba arányokhoz tartozó QEF szinteket. Láthatóan mindketten a zajszint azonos értékénél – esetünkben 42 dBuV-nál – egyszerre lépték át a saját QEF szintjüket. Feltételezve, hogy a minimális térerős-

5. táblázat  
A DVB-T ellátottság minőségi osztályai az ITU-R BT.1735 alapján

a minimális térerősség megléte a terület %-ban	BER			
	$VBER > 2 \times 10E^{-4}$	$VBER \leq 2 \times 10E^{-4}$		
		és a CBER tartalék		
		1 dekádon belül	1 és 2 dekád között	több, mint 2 dekád
$E < E(70\%)$	Q1	Q2	Q2	Q2
$E(70\%) < E < E(95\%)$	Q2	Q3	Q3	Q4
$E(95\%) < E$	Q2	Q3	Q4	Q5



15/a. ábra  
A CBER és VBER értékek változása zaj hozzáadása esetén (Budapest, 51. csatorna)



15/b. ábra  
DVB-T ellátottság minőségi osztályainak meghatározása (Budapest, 51. csatorna)

ség a környezet legalább 95%-ban rendelkezésre áll, ez a pont a Q2-Q3 minősítés határa is egyben. Az előírt minimális CBER érték tizedénél átlépünk a Q4, századánál pedig a Q5 minőségi osztályba, ahogy ezt a 15/b. ábrán láthatjuk. Így, természetesen zaj nélkül, a budapesti vétel kiváló, Q5 minősítést kapott.

A győri mérések szerint Kabhegy vétele Q4-es, a pozsonyi vételi lehetőség Q3-as, míg a Bécsből érkező jel esetén a Q3 határhoz közel eső, de szintén Q4-es minősítés adható. (Nem szabad megfeledkezni arról, hogy az ausztriai adás kódaránya a többiekétől eltérően 3/4, ezért a CBER minimális értékére az előírás itt  $2 \cdot 10^{-2}$ .) További mérések szükségesek annak megállapítására, hogy az időjárás változása milyen mértékben befolyásolja a fenti adatokat, melyek mindegyike pára- és csapadékmentes, napos időben készült.

**6.6. Objektív képminőség-vizsgálat**

Jó képminőség esetén a tömörített jeltől visszaállított műsorban nem észlelhetők a blokkhatárok. Az objektív képminőség-vizsgálat számára kidolgozott mérési elv lényege, hogy az MPEG-2 kódolás-dekódolás miatti hibák, például blokkosodás esetén, a blokkhatárokon az Y világosságjel, továbbá a  $C_B$  és  $C_R$  színkülönbségi jelek amplitúdói nagyobb különbséget mutatnak, mint a blokkhatárokon belüli amplitúdó-különbség értékek (16. ábra,  $AD(i=0)$  és  $AD(i=8)$ ).

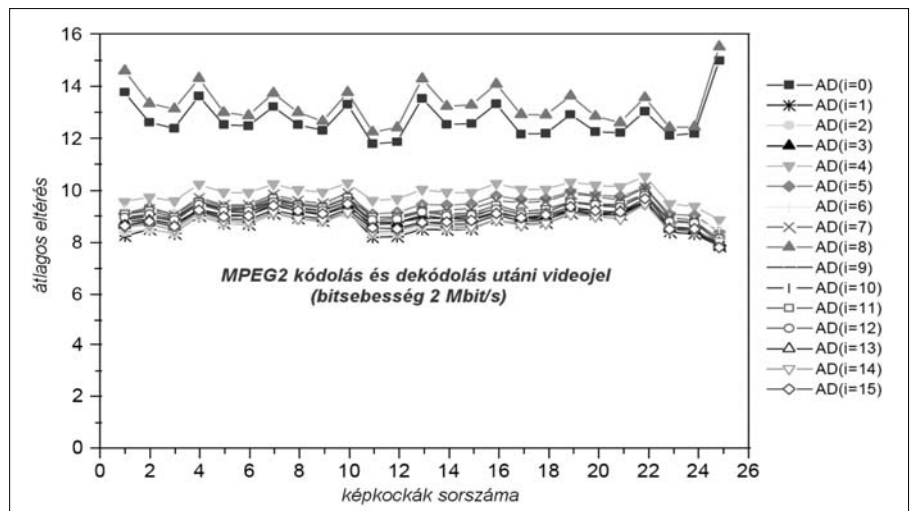
A korábbi, szubjektív módon kapott eredményekkel való nagyobb összhang és összevethetőség miatt az így kapott mérőszámokat súlyozzák a videojel két további jellemzőjével. Ezek:

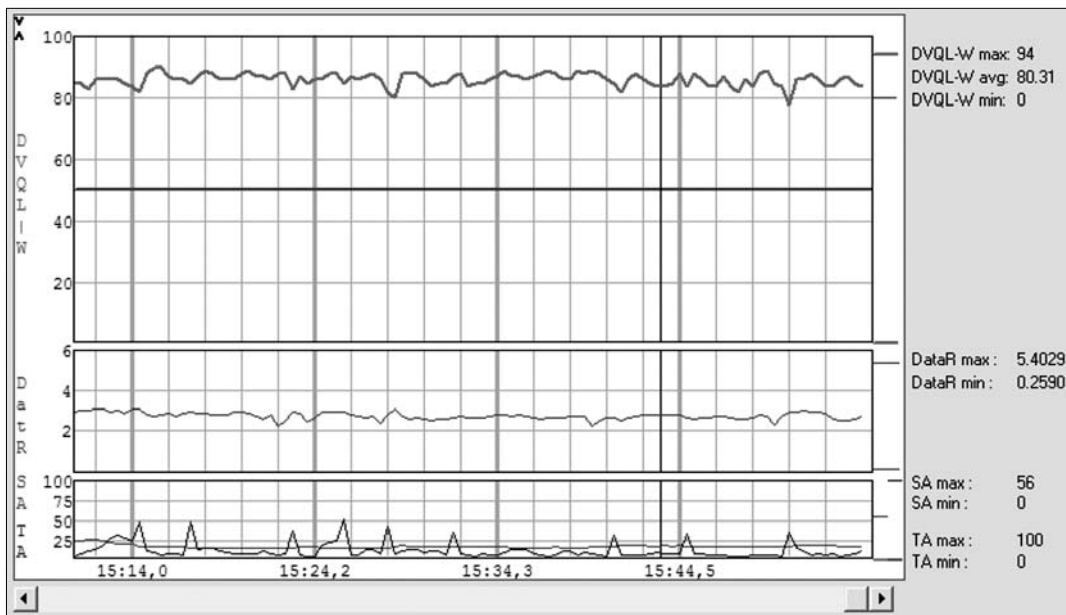
- a kép részletgazdagságával összefüggő térbeli változékonyság (SA) és
- a kép gyors változásához köthető időbeli változékonyság (TA).

A súlyozott adatokat 0-100% közötti skálán időben folyamatosan ábrázolva láthatjuk az eredményt. A 17. ábra felső grafikonja a Rohde&Schwarz cég Digital Video Quality Analyzer DVQ műszerével felvett adatainkat tartalmazza hibátlan kép esetén. Középen a 3 Mbit/s körüli adatsebesség, alatta a térbeli és az időbeli változékonyság látható.

A hazai DVB-T adások a statisztikus multiplexelés következtében változó adatsebességgel kerülnek továbbításra. Méréseink során arra a következtetésre jutottunk, hogy a képtartalom és annak hibátlan átviteléhez szükséges minimális adatsebesség nagyon szoros kapcsolatban van. Gyorsan változó és emellett részletgazdag felvétel átviteléhez gyakran 6 Mbit/s-os adatsebesség is kevés lehet. A képminőség szempontjából tehát célszerű lenne minél nagyobb adatsebességet választani. A DVB-T sugárzás műszaki paraméterei ugyanakkor egyértelműen meghatározzák a nettó adatátviteli sebességet (3. táblázat). A multiplexált műsorok száma ezért a minőség és a gazdaságosság ésszerű összhangjával határozható meg.

16. ábra  
Képpont-amplitúdó különbségek átlaga gyenge minőségű MPEG-2 kódolás és dekódolás után





17. ábra  
A Rohde&Schwarz  
DVQ műszere  
által rögzített  
objektív  
képminőség-  
vizsgálat adatai

## 7. Összefoglalás

Az előzőekben áttekintő összefoglalást kaphattunk a földfelszíni digitális televízió műsorszórás legfontosabb előnyeiről és hátrányairól. Láthattuk, hogy az adattömörítés, nyálábolás, a csatornakódolás, továbbá a digitális moduláció összetett rendszere miként kapcsolódik egyé a DVB-T műsorszórásban. Európa szinte valamennyi országát pezsgésbe hozta a digitális átállás, melyek közül ausztriai és szlovák példákat is vizsgálat tárgyává tettünk. Bemutattuk azokat a legfontosabb paramétereket, melyekkel jellemezni lehet a földfelszíni digitális televízió műsorszórást, minősíteni az ellátottságot és a képminőséget.

Egyre gyarapodó, de korántsem teljes ismereteinkkel szeretnénk hozzájárulni a hazai digitális átállás zökkenőmentes végrehajtásához, az előnyök minél szélesebb körben történő kihasználásához. További lehetőségek megismerése is terveink között szerepel, mint például az egyfrekvenciás hálózatok kiépítése vagy a hierarchikus moduláció.

Nem szabad ugyanakkor figyelmen kívül hagyni a televízió műsorszórás digitalizálásának más irányait sem. Egyrészt a műholdon továbbított televízió adások döntő része már évek óta digitális (DVB-S, újabban DVB-S2). Másrészt a legnagyobb kábeltelevíziós szolgáltatók alig több mint egy éve bevezették, napjainkban pedig folyamatosan növelik a digitálisan kódolt műsoraik számát (DVB-C). És akkor itt van még a mobil készülékekre fejlesztett DVB-H. A digitális technika rohamos fejlődésével és a szélessávú internet térhódításával új kihívó is jelentkezett a nézők igényeinek minél tökéletesebb kielégítésére: megjelent az IP TV. Az egymással versengő platformok között nagyok komoly konkurenciaharc várható, melyben minden valószerűség szerint nem csak a jól meghatározott és reprodukálhatóan mérhető műszaki paraméterek döntenek majd.

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton köszönöm Honfy József kollégámnak (Széchenyi István Egyetem, Távközlési Tanszék), hogy értékes tanácsaival és sokoldalú tapasztalatával segítette a mérések kivitelezését, végrehajtását és értékelését, valamint köszönettel tartozom Narancsik Mihálynak (Antenna Hungaria), aki a DVQ mérésekhez nyújtott pótolhatatlan segítséget.

## Irodalom

- [1] Rohde&Schwarz, EFA 40/43 TV Test Receiver (DVB-T).
- [2] Rohde&Schwarz, Digital Video Quality Analyzer DVQ.
- [3] Dr. Jürgen Lauterjung: Picture Quality Measurement, Rohde&Schwarz GmbH & Co KG.
- [4] Dr. Jürgen Lauterjung: First results of digital quality measurements in DVB networks, Rohde&Schwarz GmbH & Co. KG.
- [5] Walter Fischer: A digitális műsorszórás alapjai, ORTT-AKTI, Budapest, 2005.
- [6] Honfy József: DVB-T mérési tapasztalatok Győrben és Budapesten, Híradástechnika 2005/10.
- [7] [www.dvbt.at](http://www.dvbt.at)
- [8] [www2.rohde-schwarz.com](http://www2.rohde-schwarz.com)
- [9] [www.antennahungaria.hu](http://www.antennahungaria.hu)
- [10] Gombos Sándor: DVB-T rendszer ellátottságának minőségi vizsgálata, SZE diplomaterv, 2006.
- [11] Gombos Tamás: A DVB-T rendszer minőségi paraméterek vizsgálata, képminőség vizsgálat, SZE diplomaterv, 2006.
- [12] <http://en.wikipedia.org>
- [13] [www.dvb-t.sk](http://www.dvb-t.sk)