

# DVB-T mérési tapasztalatok Győrben és Budapesten

HONFY JÓZSEF

Széchenyi István Egyetem, Győr  
honfy@sze.hu

**Kulcsszavak:** digitális televízió, DVB-T, OFDM, mérési eredmények

A televízióműsorok földfelszíni digitális sugárzása Magyarországon is elkezdődött, egyelőre a budapesti és a kabhegyi televízió állomásokról. Az alábbi cikk bemutatja a győri Széchenyi István Egyetemen és a budapesti Puskás Tivadar Távközlési Technikumban folytatott DVB-T vételi méréseket, illetve a vételi tapasztalatokat.

## 1. Bevezetés

Az Antenna Hungária Rt. a magyarországi digitális televízió műsorszórás adáskísérleteit 1999 júliusában kezdte Budapesten a 43. tévécsatornán egy kölcsön berendezéssel, amit 2001 októberében kiváltott egy saját berendezéssel. A következő lépés 2002 májusában a Kabhegyen üzembe helyezett adó volt, amelyet a meglévő UHF sávú antennarendszerre kapcsoltak. Bár a publikált adatok szerint a kisugárzott teljesítmény Kabhegyen 10 kW ERP volt, Győrben a Széchenyi István Egyetemen – ahol a vidéki kísérleti sugárzás beindítását óriási várakozás és alapos előkészületek előzték meg – nem sikerül feldolgozható jelet kapni.

Tovább lépésre csak 2004 őszén volt lehetőségünk, amikor Budapesten az 51. csatornán belépett a kísérletbe egy további adóberendezés. Ugyanekkor Kabhegyen is figyelemre méltó változtatásokat hajtott végre az AH Rt. Külön antennát szereltek fel a 64. csatornán sugárzó DVB-T adó számára, ezzel pedig Győrben is megnyílt a lehetőség a vételre és a vizsgálatokra.

A győri vételi próbálkozásokkal párhuzamosan egyetemünk kutatói megteremtették a bekapcsolódási lehetőséget a DVB-T adáskísérletekbe egy budapesti megfigyelő állomás létrehozásával. A témára nyerhető pályázati támogatásokkal és a Puskás Tivadar Távközlési Technikum hathatós támogatásával a budapesti megfigyelő állomás a Gyáli úton kezdte meg működését még 2003 elején.

Ezzel a lépéssel abba a szerencsés helyzetbe kerültünk, hogy a magyarországi DVB-T adáskísérleteket a 43., az 51., és a 64. tévécsatornákon is teljes egészében figyelemmel kísérhetjük és mindhárom adó jelét mérhetjük. Szerencsésnek tartom, hogy mindkét laboratóriumunk egy-egy oktatási intézményben kapott helyet, mégpedig úgy hogy a laboratóriumi kutatómunkát nem választottuk el az oktatástól, így a fiatalságot aktívan be tudjuk vonni bizonyos részfeladatokba, mérési gyakorlatokat vezettünk be a DVB-T adások elemzésére, diplomatervezési feladatokat adunk ki az adáskísérletek elemzésére, tudományos diákköri dolgozatok készítenek, és így tovább.

## 2. A kísérleti adók főbb műszaki adatai

Az Antenna Hungária Rt. jelenleg Budapesten és Kabhegyen folytat DVB-T sugárzást, tájékoztatásuk szerint ezek az adók már a tervezett hazai digitális televízió műsorszóró adóhálózat végleges elemei. Az egyes telephelyeken működő adók műszaki adatait a következőkben foglalom össze:

### Budapest, Országos Mikrohullámú Központ:

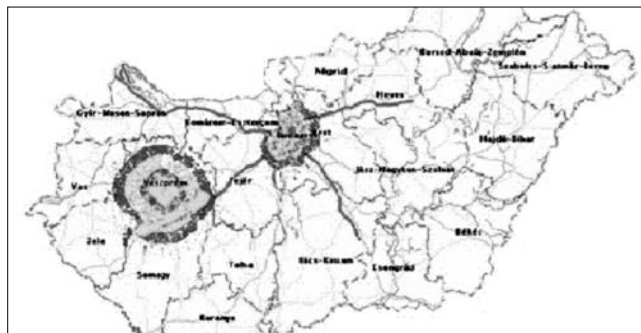
Frekvencia: UHF 43. (650 MHz) és 51. (714 MHz),  
Kisugárzott teljesítmény: 1 kW ERP,  
Polarizáció: horizontális,  
Moduláció: OFDM/64QAM,  
Mód: FFT/8k (6817 alvivő),  
Védőintervallum: 1/32,  
Hibajavítás: alpha 1, (NH), CR: 2/3

### Kabhegy, televízió állomás:

Frekvencia: UHF 64. (814 MHz),  
Kisugárzott teljesítmény: 2,5 kW ERP,  
Polarizáció: horizontális,  
Moduláció: OFDM/64QAM,  
Mód: FFT/8k (6817 alvivő),  
Védőintervallum: 1/32,  
Hibajavítás: alpha 1, (NH), CR: 2/3

Az adóberendezések által besugárzott számítottal meghatározott területet az AH Rt. honlapján találhatjuk.

1. ábra A DVB-T adók számított vételi területe

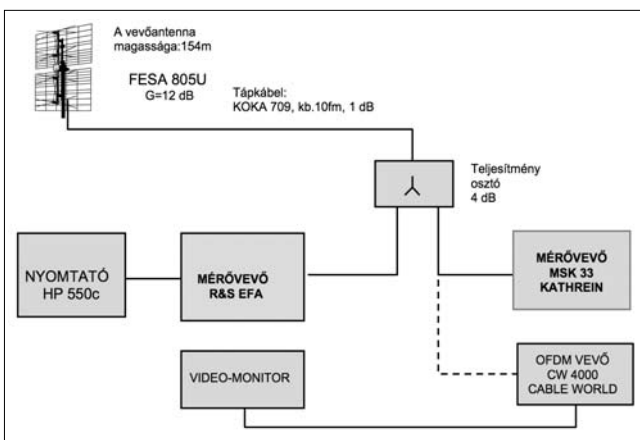


### 3. A DVB-T mérések

A bevezetőben elmondottak szerint a DVB-T sugárzás vizsgálatára Budapesten és Győrben hoztunk létre megfigyelő állomásokat. Ezeket az alábbiakban részletebben is bemutatjuk, továbbá néhány gondolatban elemezzük, hogy mit és miért célszerű mérni a vételmegfigyelés során, majd az igényeket összevetjük a rendelkezésünkre álló mérőeszközök adta lehetőségekkel.

#### 3.1. Mérő- és megfigyelő-állomások

Budapesten a Puskás Tivadar Távközlési Technikum műholdas oktató laboratóriumában rendeztük be a digitális műsorsugárzások megfigyelő és mérőállomását. A DVB-T mérő munkahely rendszertechnikai kialakítása a 2. ábrán látható.



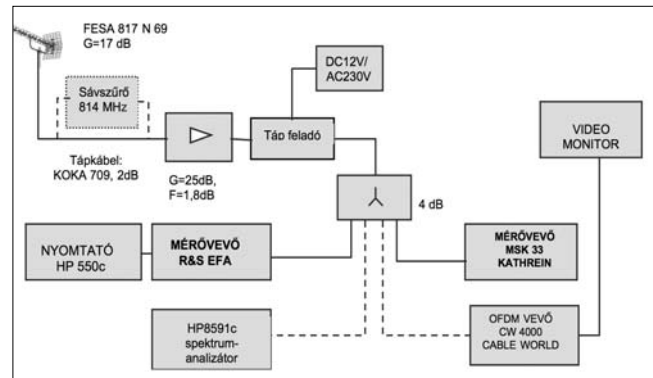
2. ábra A budapesti mérőállomás blokkvázlata

A felszereltségét tekintve a legfontosabb műszere a Rohde&Schwarz DVB-T mérővevő (EFA 40/43). Kiszolgálására építettük köré a többi egységet (nyomtató, videó monitor, OFDM vevő és MPEG dekóder stb.), amelyek az ábrán láthatók. Kontroll műszerként a Kathrein gyártmányú digitális mérővevőt (MSK 33) használtuk. Az állomást egy Hirschmann gyártmányú, szélessávú UHF panelantenna szolgálja ki jellel. A rendszer kialakításánál kényelmes helyzetben voltunk, mert az OMK és a laboratórium távolsága mintegy 8 km, a közvetlen átlátást semmilyen akadály sem zavarja.

Győrött a mérőállomás a Széchenyi István Egyetemen a Távközlési Tanszék Műholdas laboratóriumában kapott helyet, de végeztünk méréseket a győri mikrohullámú állomáson is. A vevőrendszer kialakítása Győrben több problémát is felvetett, mivel a kabhegyi adóállomás mintegy 50 km távolságban van, továbbá a domborzati viszonyok sem kedvezőek a vétel szempontjából. Az 1. ábra szerint az ellátottsági számítások nem is adnak vételi lehetőséget.

Győrben a mérések tervezésekor éppen ezért körültekintő figyelemmel kellett eljárni. A vételre – miután Kabhegyről a 64. tévécsatornát kell vennünk – a Hirschmann cég Fesa 817 N 69 típusú antennáját használjuk, amely a 63-69 tévécsatornákon 17dB nyereségű. A várható kis jelszintre való tekintettel az antenná-

ra még egy 25dB erősítésű, 1,8dB zajtényezőjű fejerősítőt is felszereltünk, továbbá az analóg TV-adók jeleinek leválasztásához a 60-69-es csatornákra terveztünk egy sávszűrőt is. A mérőállomás rendszertechnikájának kialakítása a továbbiakban hasonló a budapestihez (R&S EFA 40/43, nyomtató, videó monitorok, OFDM vevő és MPEG dekóder, digitális mérővevő (MSK 33), stb.) de a mérőállomás rendelkezik még egy HP 8591 C típusú kábeltelevíziós spektrum analízátorral is. Az összeállítás rendszertechnikáját a 3. ábra mutatja.



3. ábra A győri mérőállomás blokkvázlata

#### 3.2. Mit és miért mérünk?

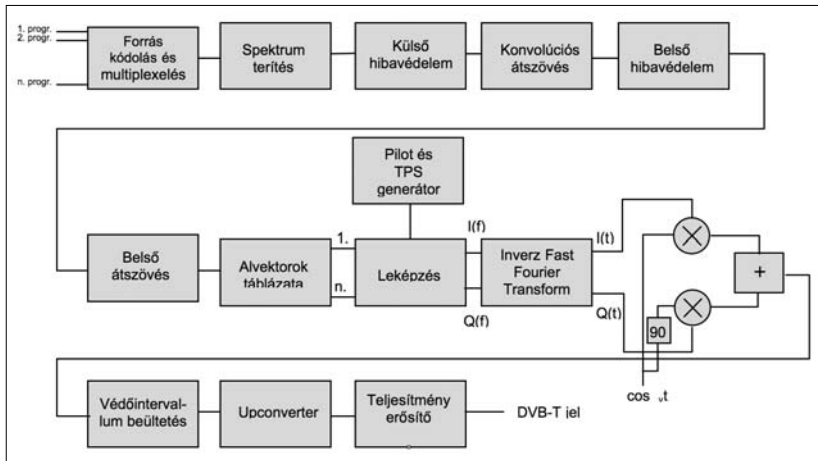
Ahhoz hogy a kérdésre választ adjunk, és a mérési eredményeinket értékelhessük, tekintsük át röviden az OFDM jel leggyakrabban alkalmazott előállítás és vételi folyamatát.

A modulációs eljárás a 4. ábra nyomán röviden a következő:

- A videó, hang és egyéb adatfolyamokat a megfelelő forráskódolás után egyetlen bitfolyamba nyalábolják össze (multiplexelés). A kimeneti spektrum szétterítése érdekében ehhez a bitfolyamhoz egy álvéletlen generátor jelét keverik hozzá. Ezt követően hibavédő kóddal látják el a jelfolyamot, ezek a lépések sorrendben a Reed-Solomon kódolás, a külső átszövés, majd a konvolúciós kódolás (belső hibavédelem) és a belső átszövés.

- Az így kapott jelfolyamból a következő lépésben egy sokvivős modulált jelet állítanak elő. Ehhez a jelfolyam először áthalad egy leképezőn, amely a folytonos jelfolyam egymást követő elemeit egy-egy komplex számnak megfelelő alvektor valós és képzetes koordinátájává teszi. Minden egyes alvektor egy modulált állapotú vivőnek felel meg, ahol az alvektor valós és képzetes része a modulált vivő koszinuszos és szinuszos összetevőnek felel meg. Mindez a frekvenciatartomány egy adott időintervallumbeli leírását adja eredményül.

- Az eljárás következő lépése az IFFT (gyors inverz Fourier-transzformáció) lesz, amely a jelfolyamot áttranszformálja a frekvenciatartományból az időtartományba. A transzformáció bemenő adata a kettő hatványának megfelelő számú jelminta. 8k üzemmódban a DVB-T jel 6817 vivőt tartalmaz, amely 8192 ( $2^{13}$ ) frekvenciaminta egy részhalmaza (8k mód). Kidolgozták még a 2k módot is, ez 1705 vivőt használ, amely pedig 2048 ( $2^{11}$ )



4. ábra A DVB-T jel előállításának sémája

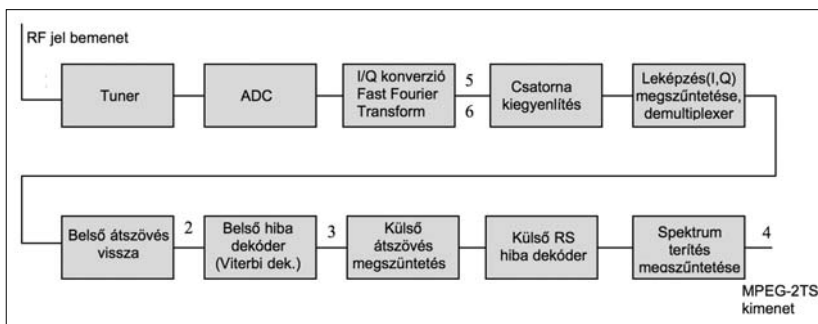
frekvenciaminta egy adott részhalmaza. A DVB-T jelet specifikáló EN 300 744 szabvány minden egyes OFDM szimbólumot az adott módnak megfelelő vivőkészlet összegeként definiál. 8k módban a 6817 tényleges vivőből csak 6048 darab vivő hordoz adatot, a pilotvivők száma 769, 2k módban pedig 1512 hasznos adathordozó vivő és 193 pilotvivő van. A pilotvivők a frekvenciatengelyen lehetnek fix vagy változó pozícióban, a változó pilotok helyzetét egy álvéletlen függvény határozza meg. A pilotjelek feladata a frekvencia-, idő- és keretszinkronizálás.

- Az IFFT blokkot követi a komplex szorzó (I/Q modulátor), melynek kimenetén az időtartományban megjelenik az OFDM jel. A komplex szorzó utáni jel a fix pilotvivőket kivéve véletlenszerűnek tekinthető annak köszönhetően, hogy több ezer, egymástól függetlenül modulált alvivőből áll.

- Ezután a védőintervallum beütetés következik, ennek eredményeképpen a földfelszíni adás kimenő jelében modulált vivős hasznos adatátviteli időszakok és kikapcsolt vivős védőintervallumok váltogatják egymást. A hasznos adatátviteli idő mindig a vivőtávolság reciproka, a védelmi idő pedig ennek 1/4, 1/8, 1/16 vagy 1/32 része. A szimbólumidő a hasznos adatátviteli idő és a védelmi idő összege.

Az 5. ábrán felrajzoltuk a DVB-T vevő funkcionális blokkvázlatát. A működés magyarázatát mellőzzük, hiszen gyakorlatilag az adó oldali kódolási- és modulációs eljárások inverzét kell elvégezni a jel dekódolásához.

5. ábra A DVB-T jel vétele és dekódolása



A rendelkezésünkre álló lehetőségek és eszközök a vételi oldal vizsgálatára adnak lehetőséget. Törekedtünk arra, hogy a vizsgálatunk a DVB-T ellátottság ellenőrzésére nemzetközileg ajánlott méréseket is tartalmazzák, illetve annak megfelelőek legyenek. Az általunk vizsgált jellemzők az alábbiak voltak:

- a vett jel szintje,
- a hibaarány, BER a Viterbi dekódolás (konvolúciós kód dekódolása) előtt,
- a hibaarány az RS (Reed-Solomon) dekódoló előtt,
- a hibaarány a RS dekódoló után,

- MER (modulációs hibaarány),
- konstellációs ábra,
- impulzus válasz (a reflektált jel vizsgálat),
- spektrumanalízis, például a szomszédos csatornák vizsgálatára,
- a vett jel képi megjelenítése.

Az 5. ábrán bejelöltük az egyes paraméterek vizsgálati pontjait. A mért jellemzők sajátosságait, megjelenítési formáját, illetve értelmezését célszerű a mérési adatok tárgyalása előtt röviden áttekinteni.

A digitális átvitel minőségének legfontosabb paramétere a BER (Bit Error Ratio), a hibás bitek számának és valamennyi bit számának hányadosa. Az átvitt adatok visszaállításának folyamatában több helyen is mérhetünk, az egyes mérési pontokban a kapott értékek különböző átviteli jellemzőkre adnak minősítést.

A Viterbi dekódolás előtti BER mérése arról ad információt, hogy az adóhálózatnak, a csatornának és a vevőnek milyen a hibavédelem nélküli minősége. A mérés az 5. ábra 2-es mérőpontján történik. A vevő Viterbi dekódolás utáni adatfolyamát ugyanannak a konvolúciós kódolásnak vetik alá, mint amivel azt az adóoldalon kódolták. Ez egy olyan adatfolyamot eredményez, amely az adó kimenetén lévő adatfolyam becslése lesz. Ezt az adatfolyamot bitszinten hasonlítják össze azzal az adatfolyammal, amely a Viterbi dekódolás előtt rendelkezésre áll.

A BER mérésére a vételi oldalon az úgynevezett üzem közbeni mérési eljárást használják. Ez azon az alapfeltételezésen alapul, hogy az RS (Reed-Solomon) bájtokat az átviteli úton, annak minden összeköttetési egységében korrigálják. Normális esetben az RS dekódoló minden hibás bájtot képes kijavítani és hibamentes TS packetet biztosít. Nagy hibacsomagok esetében azonban az RS dekódoló már nem képes a hibák kijavítására.

Ebben az esetben a TS hibajelző bitet be kell állítani és egyetlen további adatbit értékét sem szabad megváltoztatni, miközben a következő átviteli szakaszra való küldés előtt az RS redundancia bájtokat újra meg kell határozni. A mérés az RS dekódoló által szolgáltatott bitfolyam és az RS dekódolás előtti bitfolyam öss-

szezhasonlításán alapul. Ennek megfelelően az átviteli úton bármely RS BER mérés csak az adott szakaszon keletkezett hibákat tartalmazza. A hibák száma megkapható úgy, hogy az RS dekódolás utáni biteket összehasonlítják az RS dekódolás előttiékel.

A BER értékek küszöbszintje az 1,0E-4 értéknél van. Ha ennél rosszabb, akkor már nem beszélhetünk üzembépes átvitelről.

A RS utáni BER mérésénél kijelzett 0,0E-9-es érték azt jelzi, hogy tulajdonképpen nem volt hiba, de nem történt olyan időtartamú vizsgálat, hogy 10<sup>-9</sup>-nél jobb értéket lehessen kiírni. Mivel a BER mérése meglehetősen hosszadalmas, azt is célszerű kiírni, hogy a kijelzett érték hány mérés átlagát mutatja.

Az IQ analízis az OFDM jel egyetlen vivőjére is alkalmazható, de elvégezhető a vivők tetszőleges csoportjára is. Ha a vivőcsoportok konstellációs diagram analízisét végezzük, akkor a kijelölt vivőhöz tartozó valamennyi szimbólumot egyetlen IQ diagramban összegezten kell felrajzolni. A folytonos és a szórt pilotokon, illetve a TPS vivőkön eltérő a modulációs leképzés, ezért azok az IQ síkú ábrázolásban nem szerepelnek. A TPS vivő (Transmission Parameter Signaling) az OFDM jelre vonatkozó legfontosabb adatokat tartalmazza; ezek az FFT mód, a védőintervallum, az alvivők modulációs módja, a hierarchiatényező, a kódarány. A TPS adatok – amelyek a hasznos adatok vételéhez és dekódoláshoz szükségesek – nagyon magas hibavédettséggel rendelkeznek, a vivők modulációja DBPSK.

Az átvitel minősítésére használt legfontosabb mérési paraméter a modulációs hibaarány. A MER alkalmas arra, hogy a vett jel megbízhatóságát jellemezze. Tartalmaz minden olyan hibát, amely a vevő döntési áramkörének bemenetén megjelenik. A mérés kiindulási feltétele, hogy a szimbólumidőzítés és a vivőfrekvencia hibátlanul detektált legyen. A MER meghatározásának menete:

- N darab vett szimbólum (I<sub>j</sub>, Q<sub>j</sub>) koordináta értékpárjait tárolják;
- Minden egyes értékpár esetében dönteni kell arról, hogy vajon milyen szimbólumot küldtek;
- A döntés után meg kell határozni azt a vektort (I<sub>j</sub>, Q<sub>j</sub>), amely a feltételezett adás oldali szimbólumhoz tartozik;
- A hibavektor (δI<sub>j</sub>, δQ<sub>j</sub>) az ideális pont (I<sub>j</sub>, Q<sub>j</sub>) és a ténylegesen vett pont (I'<sub>j</sub>, Q'<sub>j</sub>) távolságvektora;
- Az ideális szimbólumvektorok koordinátáinak négyzetösszegét valamennyi vett szimbólumra (N) összegzik, majd elosztják a szimbólum hibavektorok koordinátáinak négyzetösszegeiből képzett összeggel.

Az eredményt, mint teljesítmény-hányadost például logaritmikus egységekben kifejezve kapjuk a MER-t:

$$MER_{[dB]} = 10 \log \left[ \frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right]$$

A MER úgy tekinthető, mint egyfajta jel/zaj viszony, amely pontosan megmutatja a vevő minőségét. Nem csak a zajt, de minden egyéb, a minőséget rontó paraméter hatását is tartalmazza. Gyakran emlegetik, mint a digitális moduláció jel/zaj viszony ekvivalensét.

A konstellációs ábrából további, a vett jel különböző torzításaira jellemző paraméterek határozhatók meg:

- amplitúdó kiegyenlítetlenség (Amplitude Imbalance),
- kvadratúra hiba (Quadrature Error),
- a vivő elnyomás (Carrier Supression),
- a fázis dzsitter (Phase Jitter).

Természetesen további paraméterek is generálhatók a konstellációs ábrából az átvitel minősítésére az itt felsoroltakon kívül, ez a rövid áttekintés azonban nem ad lehetőséget valamennyi jellemző bemutatására.

### 3.3. A mérőműszerek

A méréseink megtervezésekor az alapvető kérdés az volt, hogy mit mérünk. A korrekt válaszhoz azonban mérlegelnünk kell azt is, hogy mit tudunk mérni, milyen műszereink vannak. Rendszerünk alapvetően a Rohde & Schwarz EFA mérővevőre épül. A 6. ábrán áttekinthetők a műszerrel mérhető jellemzők a különböző felhasználási területeknek megfelelően csoportosítva. Segítségül bejelöltük a vételi megfigyeléseinkhez használható választéket.

DVB-T OFDM application	Level	BER	MER	SNR	Carrier suppression error	Quadrature error	Amplitude imbalance	Phase jitter	Constellation diagram	MER(1)	I/Q(1)	Spectrum-shoulder measurement	Amplitude/phase(1)	Amplitude distribution CDF	Impulse response	History
Production of modulators and transmitters	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Transmitter installation and SFN adjustments	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Coverage measurement of terrestrial signals	✓	!	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Monitoring of TV transmitters and transposers	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	!
Research & Development	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	!	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Service	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	!	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

6. ábra Az OFDM jel Rohde&Schwarz cég EFA típusú mérővevőjével mérhető jellemzői

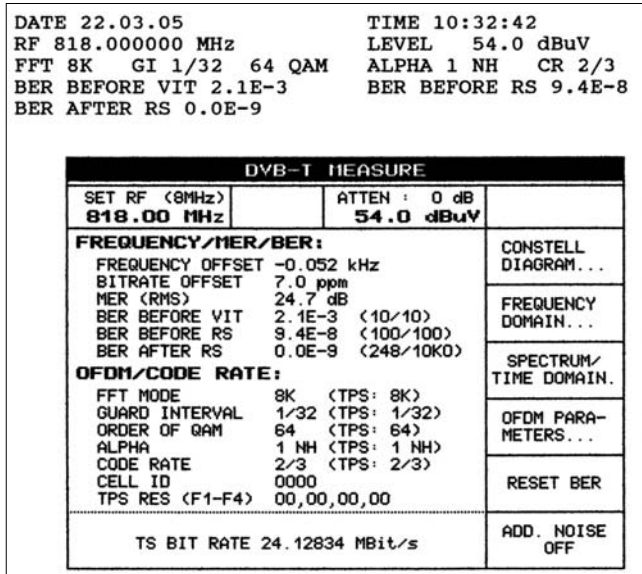
Ezek tulajdonképpen azok a vételi jellemzők, amelyeket a műszerrel a vizsgálataink során mértünk, illetve felhasználtunk. Bemutatásukhoz a Győrben, az egyetemen végzett méréseink adatait használjuk fel segítségül.

#### 3.3.1. R&S EFA DVB-T mérővevő

A fő mérési menü

Minden képernyő jellemzője, hogy a legfontosabb adatokat a keret feletti fejlécben mindig megadja, ezek: a csatorna középponti frekvencia, az üzemmód, a védőintervallum, az OFDM jel szintje, az alvivők modulációja, a moduláció hierarchia tényezője, a kódarány, és a BER értékek a Viterbi dekóder előtt, a Reed-Solomon dekóder előtt és után.

A bekeretezett fő mérési adatok a demodulált DVBT csatorna fő paramétereit adják meg, könnyen, gyorsan áttekinthetően.



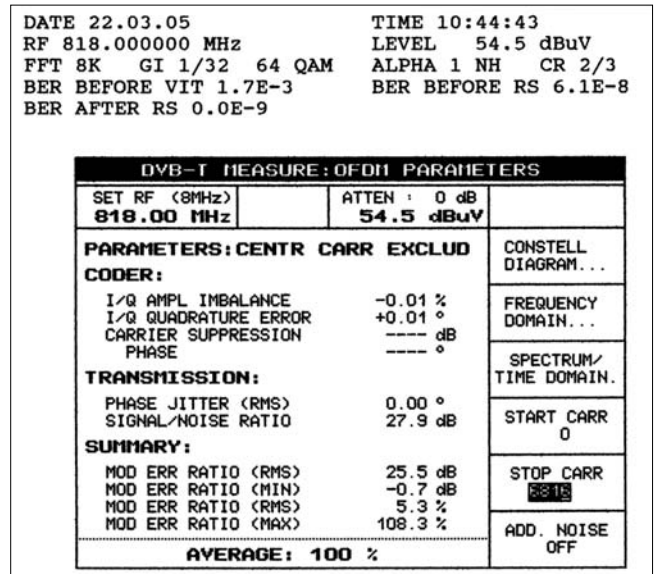
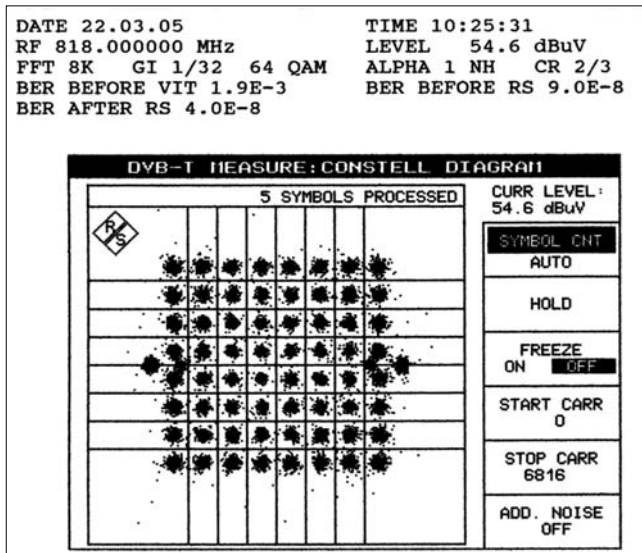
7. ábra  
A R&S EFA típusú mérővevőjének fő mérési jellemzőket összegző képernyője a kabhegyi adó mérési adataival

Itt olvashatók ki (7. ábra) a vételi frekvenciára vonatkozó adatok, a vett OFDM jel szintje, a BER értékek, az átlagolt MER és, az OFDM adási paraméterek, az átvitt TPS pilotok (a belső demodulációs beállításokkal összehasonlítva). A jobb oldalon láthatók a lehetőségek a belépésre a további mérési almenükbe. Ugyanitt aktiválható a műszer a belső zajgenerátora is.

**Konstellációs ábra**

A konstellációs ábra a legjobb módszer a digitális moduláció megjelenítésére, a mérési eredmények értelmezésére, mint például a vivőelnyomás vagy az I/Q amplitúdó-kiegyensúlyozatlanság mérésére. Mélyanalízis elvégzése céljából lehetőség van a képernyőn megjelenített szimbólumok számának beállítására (a példa öt szimbólumot jelenít meg). Ha szükséges, az EFA automatikusan is beállíthatja a szimbólum számot úgy, hogy optimális legyen a képrfrissítési arány (8. ábra).

8. ábra A kabhegyi adó jelének konstellációs ábrája



9. ábra  
A kabhegyi adó jelének átlagolt OFDM paramétereit mutató munkaablak

Hasonlóképpen beállítható, hogy hány alvivő modulációját jelenítsük meg az ábrán, lehetőség van például akár csak egy, tetszőlegesen kiválasztott vivő beállítására, vagy akár az összes vivő modulációjának egyidejű megjelenítésére is. Vizsgálhatók a szinkronjelek, vagy a TPS vivők, illetve modulációjuk is.

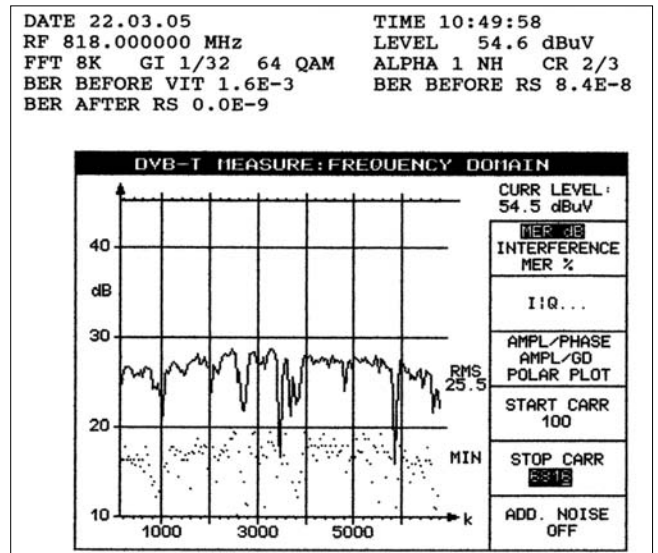
**OFDM paraméterek**

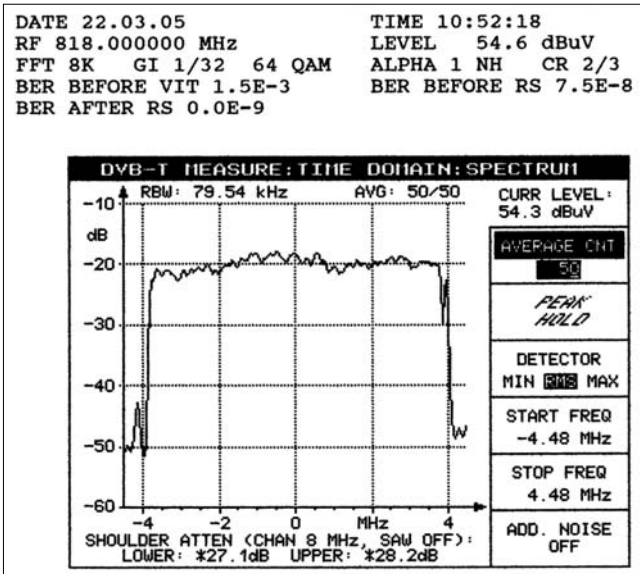
Minden OFDM paramétert a kiválasztott vivők konstellációs diagrammájából számít ki a rendszer (9. ábra). A vizsgálni kívánt vivők, vagy vivőcsoportok tetszőlegesen beállíthatók.

**MER a frekvencia függvényében**

A MER (Modulációs hibaarány) mérése és ábrázolása az alvivők függvényében az egyik leghatásosabb műszeres vizsgálati mód, mivel lehetővé teszi a rádiócsatorna általános állapotának megfigyelését (10. ábra).

10. ábra  
A MER vizsgálata és ábrázolása az alvivők függvényében





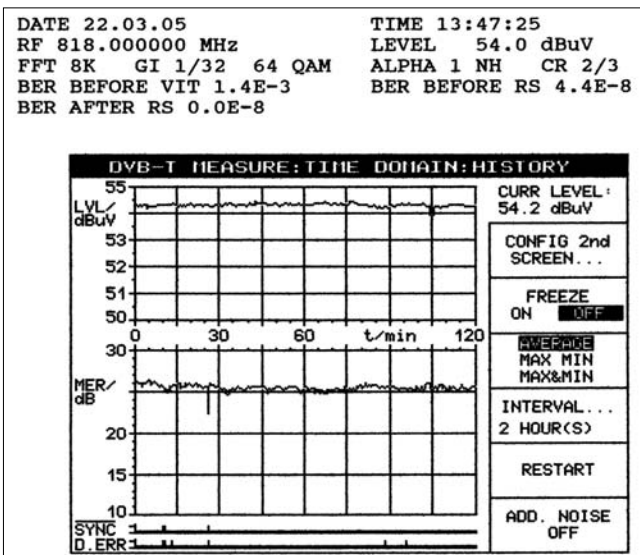
11. ábra A kabhegyi DVB-T adó vett jelének spektruma

Természetesen lehetőség van az OFDM jel bármely károsodott alvivőjének gyors megkeresésére és elemzésére is. A szomszéd csatornás interferencia is mérhető és a képernyőre vihető. Nagyon fontos azonban megjegyeznünk, hogy az egyvivős esetekre kidolgozott MER érték fogalma az OFDM modulációban, mint egyetlen fő paraméter, nem létezik. Bár a műszer elvégzi az egyes alvivők MER értékeinek átlagolását és a fő mérési menüben ki is jelzi, ezt az értéket csak egy olyan tájékoztatásként célszerű kezelni, amely a csatorna átlagos állapotáról ad információt.

**Spektrum-analízis**

A beépített funkciónak köszönhetően tulajdonképpen nincs szükség külön spektrum-analizátorra. A műszer rendelkezik minden alapszintű spektrum-analizátor funkcióval, például a start/stop frekvenciamód (vagy a szakasz középpontozás), és ugyanígy elvégezhető számos detektálási és átlagolási módszer is (11. ábra).

12. ábra A kabhegyi adó naplózott mérési adatai: a jelszint és az összes adatvivő átlagolt MER értékei 120 perc időtartományban felvéve



**Naplózás funkció**

A hosszú távú DVB-T átvitel megfigyelését segíti. A legtöbb lényeges paraméter (jelszint, MER/dB, MER/%, BER és szinkronizációs adatok stb.) naplózása kiválasztható és grafikus formában, beállítható időszakasszal, időfüggvényként rögzíthető. Ez a mód képes minden értéket numerikusan is megjeleníteni (átlag, max., min., aktuális érték). A BER és a szintmérések naplózási funkciója folyamatosan fut, mialatt más mérések ettől függetlenül végezhetőek (12. ábra). Az ábrán egy kétórás időtartamú felvétel látható Győrben az Egyetemen rögzítve.

**Impulzus válasz**

Az impulzus válasz mérése (a védő-intervallumon belül) nagyon hasznos információt adhat különösen az egyfrekvenciás hálózatok (SFN) beállításánál. Ez a mérési funkció képszerűen és numerikus értékekkel is ábrázolja a fő DVB-T jelet (0dB, referenciával), a reflexiókat és az elő-reflexiókat. A zoom funkció a gyors reflexiók megjelenítésére szolgál, melyek a beépített környezetben léphetnek fel (az épületekről való visszaverődés következményeképp).

Hogy igényeink szerint állíthassuk be az alkalmazást, az x tengely egységeit és léptékét is megváltoztathatjuk, például  $\mu$ s -ról kilométerre vagy éppen mérföldre (13. ábra).

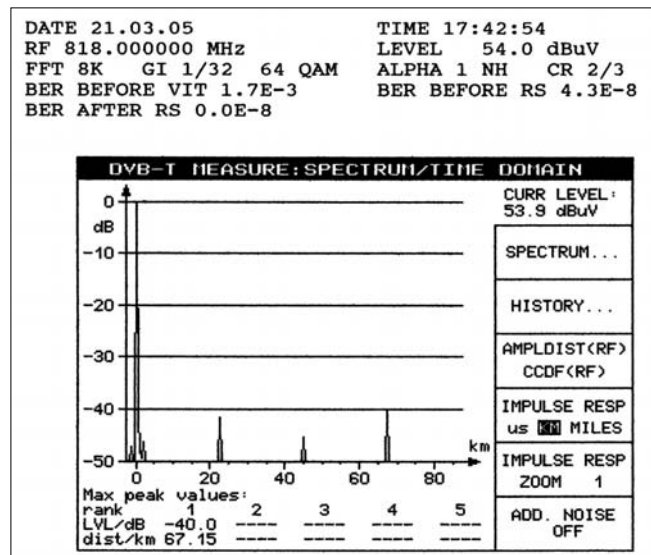
**3.3.2. MSK 33 mérővevő**

A műszer ellentétben az EFA mérővevővel szerviz műszer. Akkumulátoros táplálása folytán kitűnően alkalmazható terepi- és mobil mérésekre, kielégítő pontosságú és részletességű mérési adatokat szolgáltat. A műszerrel mérhető, illetve megjeleníthető jellemzők:

- konstellációs ábra megjelenítése, az összes vivőre, illetve a tetszőlegesen kiválasztott vivőre egyaránt,
- bit-hibaarány mérése (BER),
- jel-zaj viszony mérése (SNR),
- carrier offset mérése,
- moduláció mérése,

13. ábra

A R&S mérővevő impulzus válasz elemző munkablaka





14. ábra Az MSK 33 mérővevő munkaablakai az adásmód és a konstellációs ábra megjelenítésére



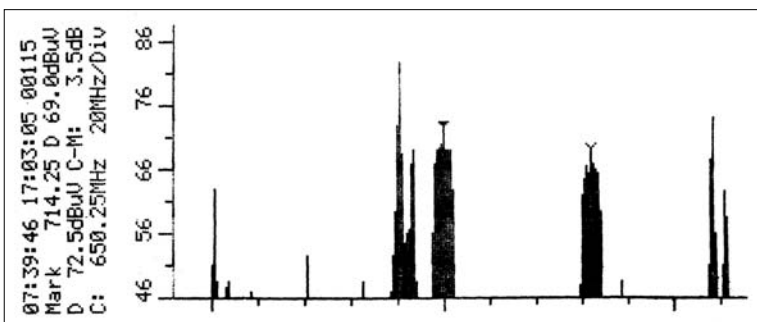
15. ábra Spektrumanalízis az MSK 33 mérővevővel.

A jobb oldalon a 41. és az 58. csatornás analóg és a 43., illetve az 51. csatornákon sugárzott digitális adások spektrumai.

- hierarchia moduláció mérése,
- kódarány mérése (C/R),
- védőintervallum kijelzése,
- inverz üzemmód,
- vételi csatorna adatainak megjelenítése,
- impulzus válasz megjelenítése (terjedési reflexiók),
- spektrum-analizátor mód,
- OFDM jelszint mérés.

16. ábra

Az MSK 33 mérővevő beépített nyomtatójával megjelenített spektrum. A két marker a 43. és 51. csatornák spektrumait mutatja.



A műszer jellemző szolgáltatásait a Budapesten végzett mérések eredményeinek megjelenítésével mutatjuk be. A 14. és a 15. ábrákon a képernyőn megjelenített adatok, a 16. ábrán a saját nyomtatójával készült spektrumfelvétel látható. Ez a spektrum azért figyelemre méltó, mert a két digitális adó spektruma (a 43. és 51. csatornákon) alatt, illetve felett látható a két analóg, őket közrefogó adó spektruma is (41. és 57. csatornák).

## 4. Mérési eredmények és értékelésük

### 4.1. Győrben a Széchenyi Egyetemen végzett mérések

A 7-13. ábrák mutatták be az egyetemen végzett mérések adatait. Elemzésükkel és figyelmes tanulmányozásukkal rendkívül sok információt kaphatunk a DVB-T vételről. A mért jellemzők mindegyikének a külön-külön bemutatására terjedelmi okokból nincs módunk, a mérések legfontosabb eredményeit az alábbiakban az 1. táblázatban foglaltuk össze. A mért jelszint felhasználásával (a nap-

lózott jelszint-mérés átlagával), ismerve a vevőrendszerünk elemeinek jellemzőit, visszaszámoltuk a vételi pontban a térerősség értékét.

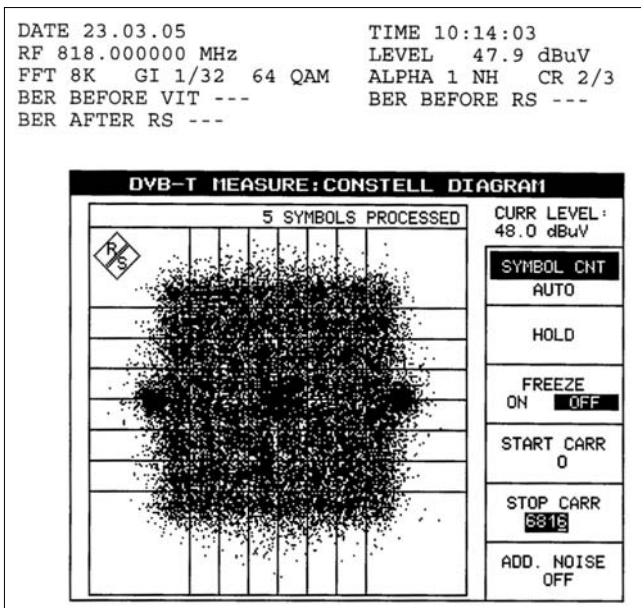
**4.2. Mérések a győri mikrohullámú állomáson**

A kabhegyi adó vételének lehetőségét megvizsgálandó, méréseket végeztünk Győr Szabadhegyen, az Antenna Hungaria Rt. mikrohullámú, és televízió állomásán is. Ez a helyszín – lévén az állomáson a mérések alatt is működő URH-FM rádió adóberendezések és analóg televízió adóberendezések is vannak – rendkívül zajos környezet a DVB-T vételére. A mérési eredmények, amelyeket a 2. táblázatban foglaltunk össze, ezt tükrözik is.

Érdekes és a DVB-T rendszerben alkalmazott hibajavító kódolási eljárás rendkívüli hatékonyságára utal, hogy a mikrohullámú állomáson felvett konstellációs ábráról (17. ábra) látható rendkívül rossz jelminőség ellenére is a megjelenített kép hibátlan, zavartalan.

A „maszatos” konstellációs ábra nyilvánvalóan annak következménye, hogy a vételi frekvenciasávban nagyon magas az állomás működéséből eredő intermodulációs produktumok szintje. A 18. ábrán az impulzusválasz felvételén jól látszik a „szokásos” reflektált szimbólumok helyetti folyamatos időtartamú zavaró interferencia.

17. ábra  
A kabhegyi adó jelének konstellációs ábrája a győri mikrohullámú állomáson



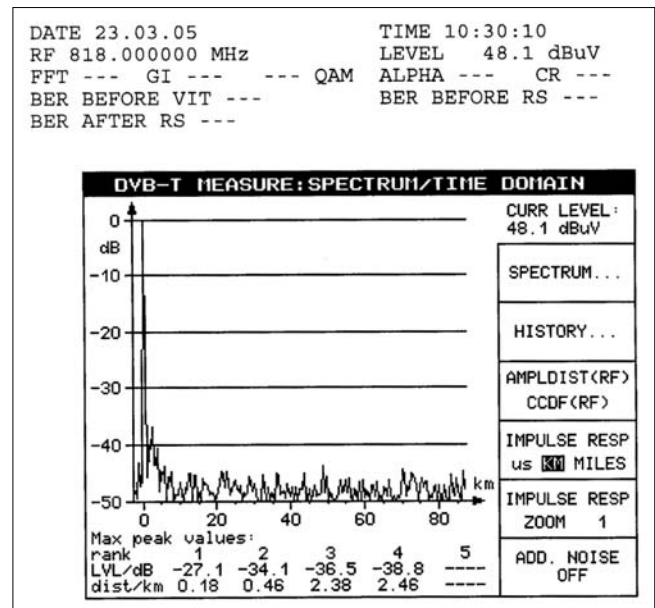
1. és 2. táblázat  
Mérések a győri Széchenyi Egyetemen (fent) és a győri mikrohullámú állomáson (lent)

Mérések Győrben az egyetemen	Csatorna: 64 (818 MHz) Hierarchia nincs ( $\alpha=1$ ) 64 QAM GI=1/32, C/R=2/3	
Jellemzők		
A mérés időpontja	03. 21	03. 22
Jelszint	53,7 dB $\mu$ V	54,5dB $\mu$ V
BER a Viterbi dekóder előtt	9,5E-4 (10/10)	2,1E-3 (10/10)
BER a Reed-Solomon dekóder előtt	1,1E-8 (42/100)	9,4E-8 (100/100)
BER a Reed-Solomon dekóder után	0,0E-7 (42/100)	0,0E-9(248/10K0)
MER átlag, k= 0..6816	22,5dB	24,7dB
A vételi pont térerőssége a vett jel szintjéből	45dB $\mu$ V/m	
Vett jelből kapott dekódolt kép minőség	Folytonosan hibátlan minőségű	

Mérések Győrben a mikrohullámú állomáson	Csatorna: 64 (818 MHz) Hierarchia nincs ( $\alpha=1$ ) 64 QAM GI=1/32, C/R=2/3	
Jellemzők		
A mérés időpontja	03. 23	
Jelszint	48 dB $\mu$ V	
BER a Viterbi dekóder előtt	4,6E-2 (4/10)	
BER a Reed-Solomon dekóder előtt	6,8E-4 (3/10)	
BER a Reed-Solomon dekóder után	1,3E-5 (2/10)	
MER átlag, k= 0..6816	16,7dB	
A vételi pont térerőssége a vett jel szintjéből	40dB $\mu$ V/m	
Vett jelből kapott dekódolt kép minőség	Folytonosan hibátlan minőségű	

A Győrben végzett mérések egyik legnagyobb tanulsága, hogy bár a város messze kívül esik a számított besugárzási határon, igényes, gondosan beállított eszközökkel, nagy nyereségű, az épületek fölé szerelt antennával, antennaerősítővel lehetséges olyan jel-szintű vétel, amely elegendő a DVB-T jel hibátlan feldolgozásához.

18. ábra  
Zavarjelek a győri mikrohullámú állomáson





Mérések Budapesten a Puskás Technikumban	Hierarchia nincs ( $\alpha=1$ ) 64 QAM GI=1/32, C/R=2/3	
Jellemzők		
Csatorna	43. (650 MHz)	51. (714 MHz)
A mérés időpontja	03. 25	03. 25
Jelszint	68 dB $\mu$ V	62,0dB $\mu$ V
BER a Viterbi dekóder előtt	1,4E-2 (10/10)	1,2E-5 (10/10)
BER a Reed-Solomon dekóder előtt	2,0E-4 (10/100)	0,0E-9 (129/1000)
BER a Reed-Solomon dekóder után	1,1E-8 (28/1000)	0,0E-8(131/1000)
MER átlag, k= 0..6816	22,2dB	30,5dB
A vételi pont télerőssége a vett jel szintjéből	84dB $\mu$ V/m	80,5dB $\mu$ V/m
Vett jelből kapott dekódolt kép minőség	Folytonosan hibátlan minőségű	

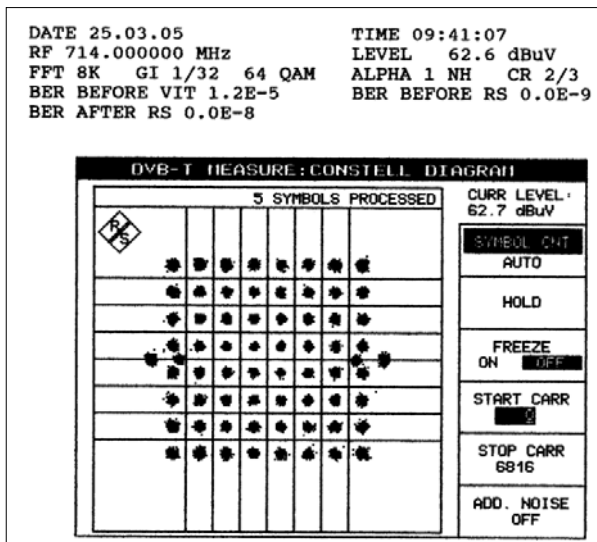
3. táblázat  
Mérések a budapesti Puskás Technikumban

### 4.3. A budapesti mérések

A Puskás Tivadar Távközlési Technikum laboratóriumában végzett mérések az előzőekkel szemben lényegesen jobb eredményt adtak. Nem csoda, hiszen közvetlen átlátás van a labor és a mintegy 8 kilométerre lévő Széchenyi hegy (OMK) között. A vételi vizsgálatok itt nem az ellátottság ellenőrzése, a lehetséges vétel feltételeinek a meghatározása volt, hanem a két különböző csatornán folyó sugárzás összehasonlítása. A mérési eredményeket hasonlóan az előzőkhöz táblázatban mutatjuk be (3. táblázat).

A táblázat adataihoz nem fűzünk sok kommentárt, a kitűnő jelminőség önmagáért beszél, ilyen adatokkal élvezet tulajdonképpen a mérés, mert „tanítani” való eredményeket kaptunk. A 19. és 20. ábrákon az 51. csatornán kapott eredményeket mutatjuk meg. Jól látható hogy a teljes vivőcsoport ábrázolása mellett is tiszta a konstellációs ábra és a MER az alvivők függvényében a csatorna teljes keresztmetszetében azonosan kitűnő, 30 dB körüli értéket mutat.

19. ábra  
A budapesti 51. csatornán dolgozó DVB-T adó összes alvivőt figyelembe vevő konstellációs ábrája



Érdekes eredményt hozott azonban a 43. csatornán végzett mérésünk. Itt a BER értékek rosszabbak, jelezvén, hogy az átvitelben valamilyen terjedési, vagy reflexiós probléma van. Ez megmutatkozik a csatornáról készített, átnézeti MER vizsgálat eredményeiből is (21. ábra).

Látható, hogy a csatornában a terjedés nem homogén, a 3000. vivő környékén jelentős interferencia lép fel, itt a MER értéke lezuhan a korábbi 32-33 dB-ről 10 dB környékére, majd ismét

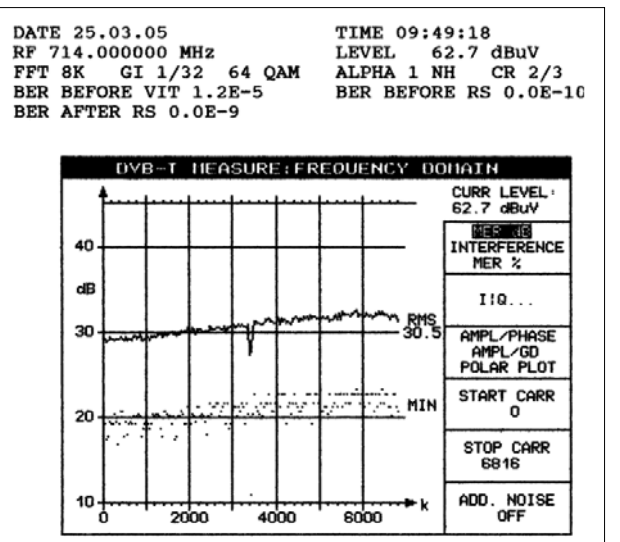
nő, de a korábbi értéket már nem éri el, csak mintegy 30 dB-ig emelkedik, majd a 6000. vivő környékén újra meredeken lecsökken. A vett jel képi megjelenésén azonban a reflexiós probléma nem látható.

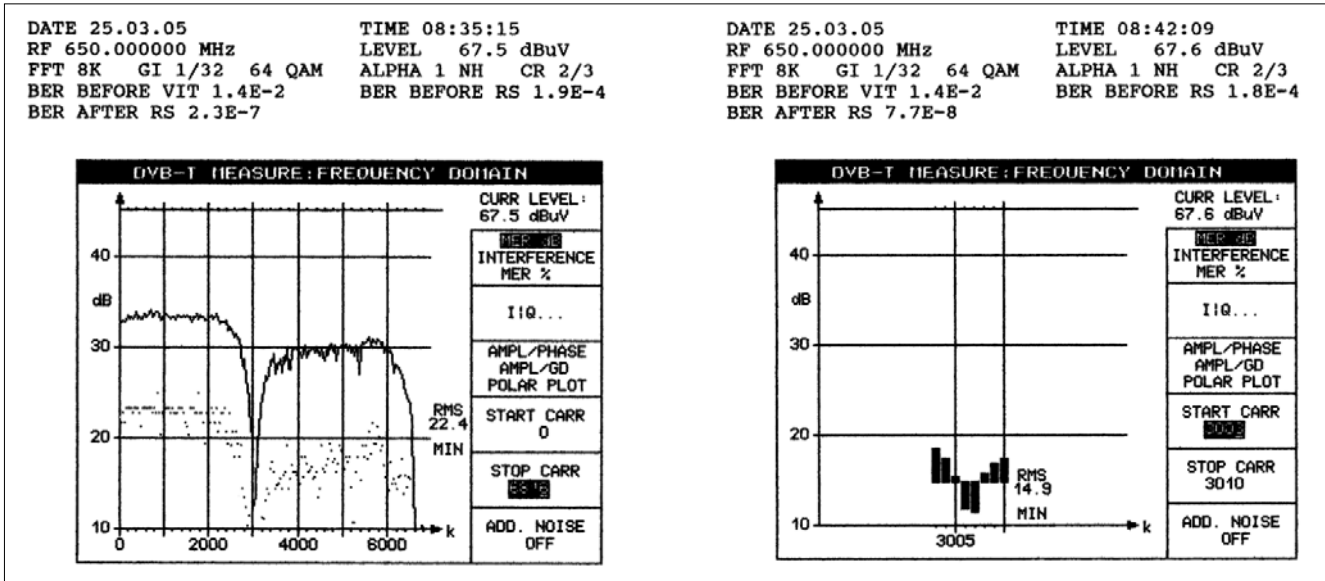
Az eset kapcsán érdekességként bemutatjuk a Rohde&Schwarz EFA mérővevővel végezhető mélyanalízist, amellyel megkereshetők és külön is vizsgálhatók a károsodott alvivők. A többször is szűkített keresés után kijelöljük a 3000-3010. alvivő csoportot, mert itt a legnagyobb a reflexió, ezzel a MER(k) függvényt kinagyítjuk, majd a most már vivőnként meghatározott MER értékek közül kiemeljük a legrosszabbakat. Például a 3006. és a 3007 vivő ilyenek. A „legrosszabb” MER értékű, 3006. vivő konstellációs ábrája látható a 23. ábrán.

### 5. Összefoglalás

Jelen cikk, illetve az ezt megelőzően a témában elhangzott előadásunk rövid betekintést ad a témába végzett munkánkról. Tisztában vagyunk vele, hogy kevés a gyakorlati tapasztalatunk, hiszen mi is most tanuljuk a DVB technológiát, de mint felsőfokú oktatási in-

20. ábra  
Az 51. csatornán a MER értéke az alvivők függvényében





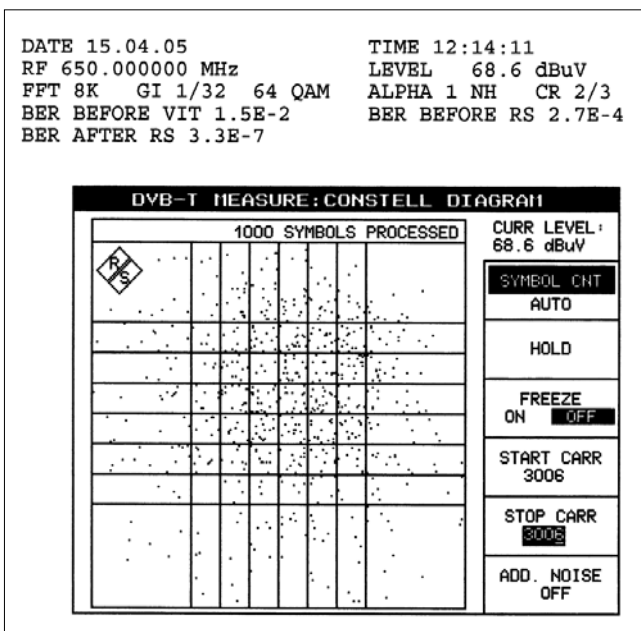
21. ábra  
A 43. csatorna vett jelének MER értéke az alvivők függvényében

22. ábra  
A segédvivők számának szűkítése lehetőséget ad részletesebb vizsgálatokra is

tézmény, amely kihatással van a szakmában élenjáró középfokú oktatásra is, jelezzük hogy részt kérünk és részt is vállalunk a feladatokból.

A Széchenyi István Egyetemen Győrben, illetve a Puskás Tivadar Távközlési Technikumban Budapesten már nem csak elvont kutatási munkák folynak, a DVB technológia bevonult a napi oktatásunkba is. Hallgatóink, diákjaink figyelemmel követik a hazai fejlesztéseket, megtalálhatók a szakmai fórumokon, konferenciákon is. Tudományos diákköri dolgozatokban és diplomatervekben jelzik, hogy ez a tématerület nem idegen számukra, sőt, ha lehet mondani már az ő technológiájuk, szeretnének minél aktívabban bekapcsolódni a megismerésébe, bevezetésébe.

23. ábra  
Az analízissel kiemelt segédvivő konstellációs ábrája



Ehhez mára megteremtettük és folyamatos pályázatokkal szinten tartjuk intézményeink laboratóriumai-ban a műszaki, technikai feltételeket. A cikkben bemutatott mérésekben, azok előkészítésében, az egyes részfeladatok megoldásában diákjaink munkája is megtalálható.

A DVB-T kísérletek méréseiben, vizsgálataiban tehát potenciális tényezőként a budapesti és a kabhegyi sugárzást is felölölően készséggel közreműködünk, illetve részt kérünk a feladatokból. Ilyen feladat lehet például a hierarchia modulációs lehetőségek vizsgálata, továbbá a különböző reflexiós és terjedési jelenség tanulmányozása és elemzése is.

**Irodalom**

- [1] EN 300 744 – Digital Broadcasting Systems for Television, Sound and Data Services? Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Terrestrial Television.
- [2] W. Fischer: Digital Television Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 2004.
- [3] EBU/CENELEC/ETSI, ETR-290, 1997. május, Digital Video Broadcasting? Measurement guidelines for DVB Systems
- [4] Rohde&Schwarz: Digital TV. Rigs and Recipes, part 4: DVB-T, Rohde&Schwarz, Broadcasting Division, 2001.
- [5] Rohde&Schwarz: TV Test Receiver EFA, Models 40/43 (DVB\_T)
- [6] www.ahrt.hu/hu/szolgalatasok/tv\_digitalis.php
- [7] Kathrein: SAT-TV-FM Test Receiver, MSK 33 Operating Manual