

MFN vagy SFN?

Melyik hálózati struktúrát válasszuk a földfelszíni digitális televíziózáshoz?

DR. KISSNÉ AKLI MÁRIA

Nemzeti Hírközlési Hatóság
kissne@hif.hu

Reviewed

Kulcsszavak: országos ellátottság, interferencia, frekvencia-újrafelhasználás, teljesítménygazdálkodás

1997-től – a földfelszíni digitális televízió szabvány (DVB-T, ETS 300 744), valamint a tervezési elvek és módszerek elfogadását (Chester'97 Megállapodás) követően Európában – lehetőség van a földfelszíni digitális televíziózás bevezetésére. Az OFDM modulációs eljárásokkal DVB-T hálózatok tervezésénél a rendszerparaméterek rugalmasan kombinálhatók. A 120 féle lehetőségéből megfelelő választással különböző igények elégíthetők ki a hálózati struktúrára, vételi módra vagy ellátottsági kritériumra vonatkozóan [1].

A frekvenciaterv elkészítését megelőzően dönteni kell többek között a hálózati struktúráról. A DVB-T rendszer az analóghoz hasonló *többszínű* (Multi Frequency Network – MFN) hálózat kialakítása mellett lehetőséget biztosít *egyszínű* (Single Frequency Network – SFN), vagy *vegyes hálózatok* (MFN+SFN) tervezésére is. Mérlegelni kell, hogy milyen hálózattal lehet az igényeket leginkább kielégíteni a műszaki, gazdasági, környezeti, kulturális stb. feltételek figyelembe vételével. A választás nem könnyű, hiszen nincs minden feltételnek maradéktalanul eleget tevő megoldás a gyakorlatban. Prioritások felállításával kompromisszumok árán lehet a döntést meghozni. A választás szempontjainak mérlegelése előtt vizsgáljuk meg az MFN és SFN hálózatok jellemzőit, előnyeit és hátrányait.

MFN hálózat

Többszínű, azaz MFN hálózat nagy-, közepes- és kisteljesítményű (MFN1, MFN6, MFN2) adók bármilyen kombinációjából állhat, melyek különböző rádiófrekvencián (TV csatornán) egymástól függetlenül üzemelnek [2].

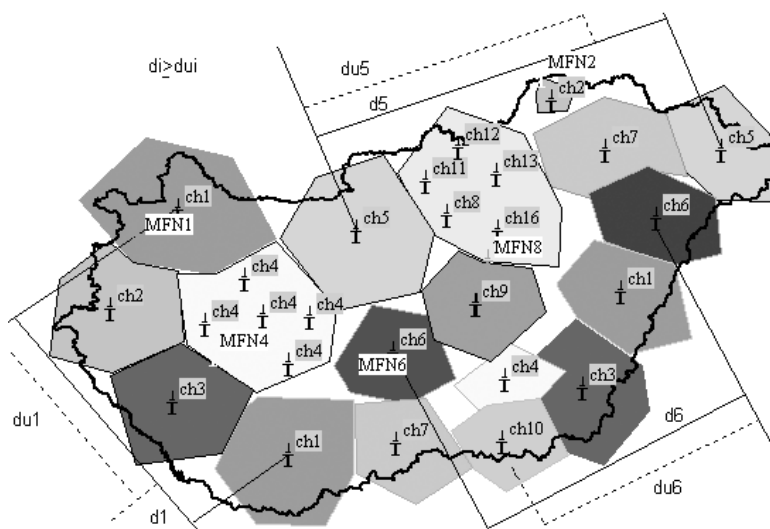
Ez a tulajdonság lehetővé teszi regionális, vagy helyi műsorok sugárzását is az országos hálózaton belül. Ugyanaz a televíziócsatorna – az egymás közötti káros zavar elkerülése érdekében (d_{ui}) – csak relatíve nagy újrafelhasználási (másképpen kizáró) távolságon (azonos csatornájú MFN adók telephelyei között minimálisan szükséges távolság) kívül használható újra. Az újrafelhasználási távolság az adó effektív kisugárzott teljesítményétől (ERP) és effektív antennamagasságától (h_{eff}) függően néhány 10 km és 250 km között bármilyen érték lehet.

Az analóg televízió- és rádióhálózatok mindegyike lényegében ilyen többszínű hálózat. Az egyik fő különbség a digitális MFN és az analóg hálózat között azonos sugárzási és földrajzi paramétereket feltételezve, hogy az újrafelhasználási távolság digitális esetben kisebb. Másik lényeges különbség, hogy digitális műsort szomszéd csatornán is lehet sugározni ugyanarról a telephelyről. Mindkét említett tulajdonság a digitális rendszer spektrumhatékonyságát növeli.

Az egyedi adók által ellátott terület nagyságát csak az adó saját teljesítménye, effektív antennamagassága, antennakarakterisztikája határozza meg, és nem befolyásolja a hálózat többi adójának sajátossága. MFN hálózattal bármilyen méretű ellátottság (országos is) biztosítható. Az analóg hálózat infrastruktúrájának egy része digitális műsorszórásra is felhasználható, ami jelentős költségmegtakarítást jelent. További előnye, hogy megfelelő, az analóg adó teljesítményénél körülbelül

1. ábra
Országos MFN jellegű hálózat

ch*i* = az *i*. 8 MHz-es TV-csatorna



7-10 dB-lel kisebb teljesítmény választással az analóg televízió ellátottságával közel azonos ellátottságot biztosíthatunk fix vételt feltételezve. Az MFN hálózat hátránya, hogy a kisteljesítményű átjátszóadók telepítéséhez – az analóg TV hálózatokhoz hasonlóan – újabb szabad csatornákat kell biztosítani (MFN8). A szükséges ellátottsági százalék elérése érdekében MFN átjátszóadókkal bővített hálózatok spektrumhatékonysága rendkívül rossz.

SFN hálózat

Ha egy nagy, vagy közepes nagyságú területet ugyanazzal a műsorral kell ellátni, lehetőség van egyfrekvenciás hálózat kialakítására (2. ábra). SFN hálózatban mindegyik adó ugyanazon a rádiófrekvencián, ugyanazt a műsort továbbítva, egymás hatását figyelembe véve üzemel, közös ellátottságot biztosítva [2].

Ez a tulajdonság az OFDM modulációs eljárásnak köszönhető, mely lehetővé teszi, hogy a különböző adóktól érkező azonos frekvenciás jelek a vevőantennánál összeadódjanak, és növeljék a hasznos jel szintjét. Az SFN hálózatoknak ezt a tulajdonságát hálózatnyereségnek hívjuk. Ehhez azonban az szükséges, hogy az SFN módban üzemelő digitális adók szinkronizálva legyenek, azaz mindegyik adó ugyanazt a rádiófrekvenciás jelfolyamot ugyanabban az időpontban, vagy a pontosan kiszámított és ellenőrzött késleltetést figyelembe véve sugározza, ami a hálózat üzemeltetését bonyolultabbá teszi. A vivőfrekvencia nagyon pontos frekvenciastabilitási kritériumnak kell, hogy megfeleljen.

Az ellátott terület kiterjesztésére, vagy árnyékos területek besugárzására SFN módban úgy van lehetőség, hogy újabb szabad frekvenciát nem igényel. A digitális rendszer analóghoz viszonyított nagyobb zavar-

tűrő képességéből adódó spektrumhatékonysága megfelelő SFN hálózati struktúra kialakítással ily módon növelhető. SFN hálózatban az újrafelhasználási távolságot (d_u) két azonos frekvenciájú SFN ellátottsági terület (allotment) határai között értelmezzük.

Az SFN hálózatok **szolgáltatási terület** alapján háromféle kategóriába sorolhatók (3. ábra). Az egyedi szolgáltatási területek lehetnek országos, regionális vagy helyi SFN hálózatok. Az országok nagy részében mindhárom típusra igény van.

Az ország egész területét lefedő *országos SFN* hálózatban az összes adó ugyanazon a rádiófrekvencián sugározza a multiplexben elhelyezett műsorokat (3.a). A jelenlegi tapasztalatok és példák azt mutatják, hogy ennek megvalósítása bármely országban nehéz az öninterferencia hatás miatt. Kis (Magyarországnál lényegesen kisebb) országokban is csak nagyon kis átviteli kapacitást biztosító rendszerparaméterek alkalmazásával képzelhető el [1]. Elméleti számítások és gyakorlati tapasztalatok alapján maximum 200 km kiterjedésű SFN ellátottsági területek megvalósítása célszerű.

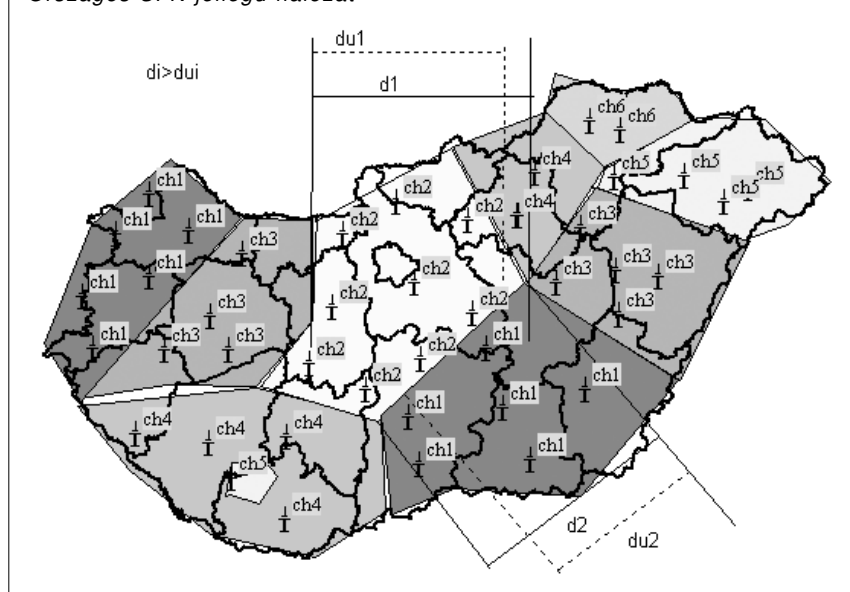
Regionális, azaz közepes (maximum 200 km átmérő) vagy kis méretű SFN-ek kulturális és/vagy közigazgatási régiók besugárzására alkalmazhatók. Ezeknek a régióknak a mérete országonként eltérő, még olyan esetekben is, amikor az országok területének nagysága összemérhető (3.b).

A *helyi SFN* olyan hálózat, amely városrész, kisebb város, vagy település helyi műsorának sugárzását biztosítja (3.c).

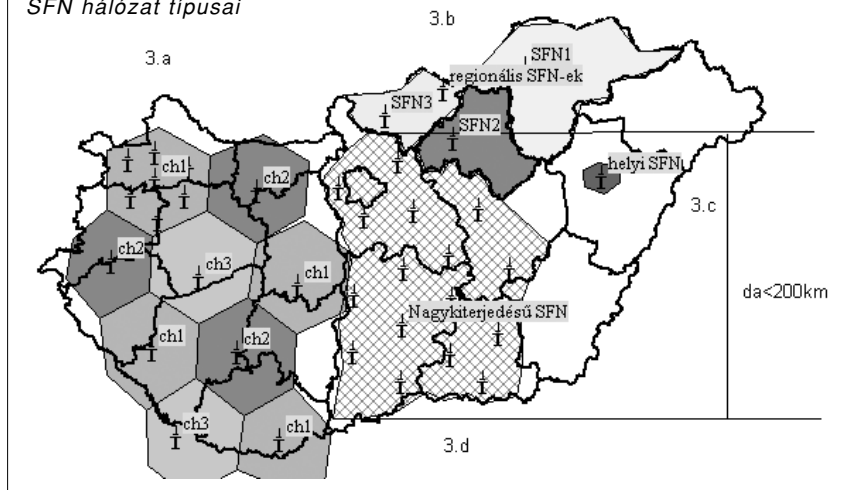
Az SFN hálózatokat a **besugárzott terület** mérete, az adók sűrűsége és teljesítménye szempontjából is kategorizálni lehet.

A *nagykiterjedésű SFN*-t kettőtől több tucatig terjedő nagyteljesítményű ($ERP > 10$ kW) adóállomásból alakítják ki, melyeket számos közepes ($0,25 < ERP < 10$ kW), vagy kisteljesítményű ($ERP < 0,25$ kW) adó egészítheti ki [2]. A besugárzott terület 200 km átmérőjű is lehet (3.d). SFN esetén elméletileg ez a megoldás adja a leghatékonyabb spektrumfelhasználást. Azokban az országokban, ahol a televíziózásra kijelölt frekvenciasávot teljes egészében analóg televíziózásra használják, csak az analóg csatornák átrendezésével/cseréjével szabadíthatók fel frekvenciák nagy kiterjedésű SFN megvalósításához. A gyakorlatban azonban ez mind anyagi okokból, mind az analóg vételi minőség romlása miatt általában nem vállalható, ráadásul csak akkor kivitelezhető, ha az érintett szomszédos országban is szabad a kijelölt frekvencia. A maximális SFN méretet az országos hálózatoknál említett öninterferencia hatás is korlátozza.

2. ábra
Országos SFN jellegű hálózat



3. ábra
SFN hálózat típusai



Mini/kis SFN hálózatban egy nagyteljesítményű adó több kisteljesítményű adóval van SFN-be összekapcsolva az ellátott terület növelése érdekében. Csatorna kihasználtság és egyenletes térerősség eloszlás szempontjából ez kedvező, de számos más technikai körülményt is meg kell vizsgálni a tervezés során. Például ne zavarja a szomszédcsatornás analóg kisadókat az ellátottsági kontúrban belül. Hordozható és mobil vételnél a mini SFN koncepció megfelelő lehetőséget biztosít a digitális ellátottság növelésére.

A „sűrű” SFN hálózatnál sok kisteljesítményű és kis effektív antennamagasságú (például ERP < 100 W és heff < 75 m) adó van a besugározni kívánt területen, többnyire egy közepes teljesítményű adóval az ellátottsági terület közepén, melyek együttesen egyenletes térerősség eloszlást mutatnak. A kis adóteljesítmények miatt kicsi az okozott káros zavarás a szomszédos állomások, vagy országok határövezetében. Ezzel nagyobb esélye lesz a sikeres koordinációnak. A zavaró jelszint tovább csökkenthető megfelelően irányított adóantennák alkalmazásával. A kismértékű zavarás miatt a besugárzási terület is könnyen és rugalmasan növelhető újabb kisteljesítményű adókkal. Meg kell jegyezni azonban azt is, hogy a kisteljesítményű adók alacsonyabb beruházási költségei ellenére, összességében mégis nagyon drágán alakíthatók ki a sűrű SFN hálózatok, mert sok adó telepítése szükséges. A jelenlegi vizsgálatok szerint hatszor annyi adóra van szükség, mint ugyanakkora terület analóg besugárzásához.

Az SFN gap-fillereknek a nagyobb teljesítményű adók ellátottsági kontúrján belül lévő árnyékos területek besugárzására, vagy a hordozható és mobil vétel kiterjesztésére használt kisteljesítményű adókat nevezzük, melyek azonos frekvencián SFN módban üzemelnek.

Nagy terület besugárzására elméletileg számos kialakítási lehetőség van, bár ezek között a valóságban alig ismerhető fel különbség. Az egyik legfontosabb eltérés az adótelephelyek közötti távolságban mutatkozik. Az egyik szélsőséges eset, amikor a hálózat alap-

ját a meglévő analóg hálózat telephelyei képezik kb. 80 km-es adótávolságokkal. A másik szélsőséges eset a „sűrű hálózat” kb. 10-20 km-es adótelephely távolság kiosztással. A valóságos hálózatokban többnyire mindkét esetben találhatók elemek.

Vegyes hálózat

Vegyes hálózaton olyan MFN hálózatot értünk, amelyik SFN módban üzemelő kisteljesítményű adókkal van kiegészítve az MFN adók körül (1. ábra, MFN4). A kis SFN megoldás lehetőséget biztosít arra, hogy a konvencionális MFN kiegészítője legyen olyan te-

réleteken, ahol egyébként a terepviszonyok miatt vétel nem lehetséges, továbbá régió és országhatár közelében, hogy a zavaró jelszint alacsony legyen. Ezen kívül lehetővé teszi az ellátottság fokozatos fejlesztését a már meglévő MFN infrastruktúra mellett SFN gap-fillerek, vagy épületen belüli jelismétlők alkalmazásával.

Különösen a hordozható vagy mobil vétel biztosításának igénykor válhat kedvelt megoldássá, mert anélkül, hogy új frekvencia kijelölést igényelne, a szükséges térerősség biztosítható. Vegyes hálózatokat rendkívül változatosan valósíthatunk meg figyelembe véve az aktuális helyzetet, mind az adók elhelyezkedése, mind a teljesítmények, SFN méretek stb. szempontjából.

Összefoglalva tehát MFN hálózatról akkor beszélünk, ha a hálózat minden adója egymástól függetlenül, az újrafelhasználási távolságon belül eltérő frekvencián üzemel. SFN a hálózat, ha mindegyik adó egymás hatását figyelembe véve azonos frekvencián üzemel. A gyakorlatban tisztán MFN vagy tisztán SFN országos hálózat kialakítása nem célszerű (spektrumigény, költség), vagy nem lehetséges (öninterferencia). A valóságban tehát országos hálózat kialakításánál mindig vegyes rendszert telepítünk, de ezt a hálózat megnevezést általában nem használjuk. Vegyes hálózaton belül lényeges eltolódás lehet az MFN vagy SFN jelleg irányába, s többnyire ez határozza meg a hálózat elnevezését.

Az eddigi megfigyelések azt támasztják alá, hogyha a gerincadók MFN módban üzemelnek, de az egyedi gerincadók ellátottságának kiterjesztésére (az ellátatlan területek besugárzása gap-fillerekkel, hordozható vagy mobil vétel megvalósítása) mini vagy sűrű SFN koncepciót alkalmaznak, akkor az országos MFN hálózat megnevezés a szokásos. Ha 2-3 gerincadó és a szükséges számú kisteljesítményű adók SFN-be kapcsolásával alakítanak ki kisebb SFN régiókat, akkor megközelítés kérdése, hogy országos SFN-nek vagy országos MFN-nek tekintjük-e a hálózatot. Ha az országos multiplex hálózatot 3-4, vagy akár több gerincadó ellátott területének megfelelő úgynevezett SFN „allotment”-

ekből alakítják ki, akkor szokás országos SFN hálózatról beszélni. Az, hogy mely esetekben érdemes az ilyen értelemben használt MFN, vagy SFN hálózatkialakítást választani, a későbbiekben meg fogjuk vizsgálni. Előtte azonban nézzük meg azt, hogy egyáltalán milyen szempontokat mérlegelhetünk.

Szempontok a hálózat típusának megválasztásánál

A digitális televíziózás megvalósításának ideje

A digitális televíziózás két fontos időszakra osztható, melyek frekvenciagazdálkodási, hálózatképzési, megvalósítási nehézségek, műsor- és adatszolgáltatás aránya stb. szempontjából teljesen más jellegűek. A digitális televíziózás bevezetésével kezdődik az *átmeneti időszak* [2], amely az analóg televízióadók kikapcsolásával zárul. Az átmeneti időszak hossza országonként eltérő lehet, de jellemzően 3-10 év. Elvileg előfordulhat olyan eset is, amikor átmenet nélkül egyik pillanatról a másikra szűnik meg az analóg, és kezdődik a digitális televíziózás. Ilyen tervekre példa még nincs, de arra igen, hogy az ország egy-egy régiójában mintegy fél éves átmeneti időszakot követően az analóg adókat kikapcsolják (Németország). Noha országos viszonylatban ilyenkor is néhány éves átmeneti időszakról van szó, valójában az átmeneti időszak kezelése egy-egy régió belüli csak fél évig tart.

Az átmeneti időszak egyik legfontosabb jellemzője, hogy az analóg és digitális műsorszórás egymás mellett létezik, és a földfelszíni analóg hálózaton sugárzott műsorokat digitálisan is megismétlik (simulcast). Frekvenciafelhasználás és költség szempontjából ez kedvezőtlen, ezért a lehető legrövidebb ideig célszerű fenntartani. Az átmeneti időszak hosszának tervezésénél figyelembe kell venni azt is, hogy túlságosan hosszú átmeneti időszak esetén más platformon gyorsabb lesz a digitális televíziózás elterjedése (műhold, kábel), aminek kedvezőtlen piaci hatása lehet a DVB-T szempontjából. Ugyanakkor a hosszabb átmeneti időszak lehetőséget biztosít a zökkenőmentesebb átállásra. Az analóg műsorszórás megszüntetésével kapcsolatos döntésnél mindegyik szempontot mérlegelni kell.

A teljesen digitális jövő az analóg műsorszórás teljes megszűnésével kezdődik. Bár egy-egy ország viszonylatában ez az állapot néhány éven belül bekövetkezhet, a teljesen digitális jövőről csak akkor beszélünk, ha annak feltétele *műsorszóró régiók, földrészek viszonylatában valósul meg*. Az ITU 1. Régiójára vonatkozó átmeneti időszak végéről a 2006 májusában megrendezésre kerülő ITU Regionális Távközlési Értekezlet (RRC06) dönt. Az Európát, Afrikát és Ázsia egy részét felölelő régióban alapvetően a gazdasági fejlettségtől függően még nagyon eltérőek a javasolt időpontok (2008-2028). Várható, hogy két év múlva mindenki számára elfogadható kompromisszumos megoldást, – például földrajzi elhelyezkedéstől függő eltérő időpontokat – fogadnak majd el [2].

Spektrumhatékonyság

A spektrumhatékonyság vizsgálata különböző technológiák/megoldások összehasonlítására alkalmas. Ennek során azt számolják ki, hogy a rendelkezésre álló frekvenciatartományban milyen mennyiségű, azonos jellegű információt lehet továbbítani egyik vagy másik módszerrel. A műsorszórásban a továbbítható műsorok számában, és/vagy minőségében, valamint az átvihető egyéb kiegészítő információk mértékében nyilvánulhat meg a spektrumhatékonyság. A földfelszíni digitális televíziózásra történő átállás úgy tekinthető, mint lehetséges út a spektrumigény csökkentésére, a minőség és műsorhoz kapcsolódó szolgáltatások növelésére.

A gyakorlatban mind mennyiségben, mind minőségben érzékelhető a digitális rendszer gazdaságos spektrumfelhasználása. Ezt a tulajdonságot ki lehet használni oly módon, hogy változatlan minőség mellett lényegesen több műsort továbbítunk, de ki lehet használni minőségi televíziózásra is, olyan értelemben, hogy jobb minőséget (pl. HDTV), új szolgáltatást (hordozható és mobil vétel), műsorhoz kapcsolódó kiegészítő szolgáltatást (például elektronikus programkalauz), interaktív szolgáltatást stb. biztosítunk.

A földfelszíni televíziós műsorszórásra kijelölt frekvenciasáv 3-4 analóg hálózat kialakítására biztosít lehetőséget országonként. A DVB-T jel zavartűrő képességének köszönhetően ennél lényegesen több digitális TV-hálózat alakítható ki ugyanebben a sávban. Sőt arra is lehetőség van, hogy új digitális állomások kezdjék meg működésüket ott is, ahol az analóg hálózat már nem fejleszthető tovább a meglévő analóg vételi lehetőség jelentős zavarása nélkül.

Annak érdekében, hogy a reális igények számát megbecsülhessük, szükséges alaposabban megvizsgálni, hogy a DVB-T számára biztosított frekvenciasávokban hány országos multiplex hálózat alakítható ki. A kérdés meg is fordítható úgy, hogy egy multiplex hálózat kialakításához hány televíziós (8 MHz-es) csatornára van szükség.

Mivel a DVB-T specifikáció nemcsak egy rendszerkonfigurációt tesz lehetővé, a spektrumigény nagyon sok jellemző függvénye, melyek a

- modulációs mód (QPSK, 16QAM, 64QAM)
- hibajavító kódarány (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)
- védelmi intervallum arány ($D/TU=1/4, 1/8, 1/16, 1/32$) különböző kombinációiból [1] adódnak, valamint a
- vételi mód (fix, hordozható és mobil)
- hely ellátottsági százalék ($L=70-95\%$)
- pixel ellátottság [%]
- hálózati konfiguráció (MFN, SFN, vegyes)
- effektív antenna magasság
- adók/allotmentek közötti távolság

is alapvetően befolyásolják a csatorna szükségletet multiplexenként.

Az 1. táblázatban található néhány példa ideális körülményeket feltételezve (nincsenek régió- és országhatárok, az adóállomások szabályos elhelyezkedésűek, a teljes spektrum szabad, a domborzati viszonyok

nem változnak jelentősen) megfelelő támpont lehet a *spektrumszükséglet összehasonlítására*. A különböző választott rendszerparaméterek befolyását is láthatjuk a hálózati és vételi jellemzőkre, a kialakítható multiplexek számára.

Mindhárom modulációs módnál 2/3 hibajavító kódarányt feltételezünk. A d [km] oszlop csak MFN hálózathoz értelmezhető, mely az adók közötti távolságot mutatja. Az SFN oszlopokban található két érték 50, illetve 150 km kiterjedésű SFN allotment területre adja meg a csatornaszámot multiplexenként, illetve a 24 Mbit/s átviteli kapacitáshoz tartozó ekvivalens csatornaszámot. [3].

A táblázat szerint 3-4 csatorna elegendő egy országos multiplex hálózat kialakításához. A 3-4 csatorna/multiplex egy olyan elméleti érték, ami a gyakorlatban nem, vagy csak nagyon drágán kiépíthető sűrű adóhálózattal érhető el.

MFN esetén ez akkor lehetséges, ha az adók közötti távolság kicsi (kisebb, mint 20 km), és az effektív antennamagasság mindenhol közel azonos, mintegy 150-300 méter közötti. Magasabb szintű modulációs mód, helyellátottsági százalék, hordozható vagy mobil vételi igény [1], adók közötti távolság és effektív antennamagasság növelés, ország- vagy régióhatárok figyelembe

1. táblázat A paraméterek választásának hatása a spektrumszükségletre

sorszám	Vételi mód	Modulációs mód	Hely ellátottsági százalék (L)	Pixel ellátottsági százalék	heff [m]	d [km] MFN	Csatornaszám multiplexenként		Ekvivalens csatornaszám kb. 24Mbit/s kapacitáshoz				
							SFN		MFN	SFN		MFN	
							50km	150km		50 km	150 km		
1	fix	64-QAM	95%	100%	150	20			7			7	
2		16-QAM							5			7	
3		QPSK							3			8	
4		64-QAM			300				6			6	
5		16-QAM							4			6	
6		QPSK							3			9	
7		64-QAM		150	50-100			9			9		
8		16-QAM						6			9		
9		QPSK						4			12		
10		64-QAM				300		9	3	6	9	3	6
11		16-QAM						7	3	4	11	5	6
12		QPSK						4	3	3	12	9	9
13		64-QAM		70%	150			7			7		
14		16-QAM						4			6		
15		QPSK						3			9		
16	hordozható/mobil	64-QAM	70%	100%	300	80-100	16	4	22	16	4	22	
17		16-QAM					12	4	18	18	4	27	
18		QPSK					7	3	14	21	9	40	
19		64-QAM			150				17			17	
20		16-QAM							13			19	
21		QPSK							9			27	
22		64-QAM		70%	300				12			12	
23		16-QAM							9			14	
24		QPSK							7			21	
25		64-QAM			150				13			13	
26		16-QAM							9			14	
27		QPSK							7			20	
28		64-QAM		70%	300				8			8	
29		16-QAM							6			9	
30		QPSK							5			15	

vétele mind-mind növelik a multiplexenkénti RF csatornaszükségletet.

SFN esetén szabályos hatszög ellátottsági területet feltételezünk (3.a), ami a valóságban nem képzelhető el a terepviszonyok, országhatár, kulturális régióhatár stb. miatt. A konkrét csatorna számot elsősorban az SFN terület nagysága és a hely, illetve pixel ellátottsági százaléka befolyásolja.

Ideális esetben IV-V. TV sávban $69-21=48$, a III. sávban $11-5=6$ TV csatorna áll rendelkezésre digitális televíziózásra. Ha mind az 54 csatornát felhasználhatjuk DVB-T-re, akkor a multiplexenkénti csatornaszükséglettel elosztva megkapjuk a kialakítható multiplexek maximális számát. Megfigyelhető, hogy a szükséges csatornaszám/multiplex érték a modulációs módtól függ, ami alapvetően meghatározza a multiplex adatátviteli kapacitását, a továbbítható műsorok számát (64QAM-nél a legnagyobb, QPSK-nál a legkisebb). Amikor tehát a spektrumhatékonyságot vizsgáljuk, a multiplexek számának megadásával az nem jellemezhető egyértelműen. A spektrumhatékonyság szemléltetésére ezért érdemesebb az ekvivalens csatornaszám követelményt megadni. Ez az érték azt mutatja meg, hogy hány csatornára van szükség megadott átviteli kapacitás (Mbit/s) biztosításához. Az adatátviteli kapacitás multiplexenként a 64QAM, 16QAM és QPSK modulációs módoknál 3:2:1 arányú [1], ezért a szükséges csatornaszám/multiplex értéket 1-gyel, 1,5-tel és 3-mal kell szorozni, hogy az ekvivalens csatornaszámot megkapjuk.

A táblázat eredményeiből látható, hogy a 16- és a 64QAM modulációs módoknál bár a multiplexenkénti csatorna szükséglet eltérő (54 rendelkezésre álló televíziós csatornát feltételezve és a táblázat 7. és 8. sorának adatait felhasználva 16QAM-mel $54/6=9$, 64QAM-mel $54/9=6$ lehet a maximális országos multiplex hálózat, az ideális körülményeket feltételezve), az ekvivalens csatornaszám közel azonos, ezért az átviteli kapacitás is közel azonos. Mivel mindkét esetben 9 csatorna szükséges a kb. 24 Mbit/s átviteli kapacitás biztosításához, az elérhető maximális adatátviteli kapacitás $9 \times 24 = 144$ Mbit/s. QPSK-nál valamennyivel több csatorna szükséges, ha a realitásokat figyelembe vevő adók közötti 50-100 km távolságot feltételezzük. A 9. sor adataival: $[54/4]=13$ országos multiplex hálózat $=13 \times 8 = 104$ Mbit/s adatátviteli kapacitás. A gyakorlatban főleg a 16QAM és 64QAM modulációs módokat választják.

Műsorszolgáltatói oldalról nem a multiplexek száma az érdekes, hanem például az, hogy hány program sugárzására nyílik lehetőség. A továbbítható műsorok számát nem a multiplexek száma, hanem a rendelkezésre álló átviteli kapacitás határozza meg, ami függ a vételi módtól, zavarokkal szembeni védettségtől, képminőségtől stb. [1].

Ha például hagyományos PAL minőségű műsor továbbítása a cél, amihez 6 Mbit/s átviteli kapacitás elegendő, akkor a 144 Mbit/s átviteli kapacitásban 24 műsor sugározható függetlenül attól, hogy melyik modulációval, hány országos multiplex hálózatot alakítunk ki.

Az, hogy milyen modulációs módot és egyéb paramétereket válasszunk, nem a továbbítható műsorok száma, hanem más szempontok döntenek el.

A táblázatban feltüntetett értékek tisztán MFN, vagy tisztán SFN hálózatot feltételeztek. Ugyanakkor vegyes hálózatok is elképzelhetők, akár úgy, hogy a szomszédos országok más hálózat típust választottak, akár országon belül is lehet vegyes hálózatot kialakítani. Nézzünk a vegyes hálózat spektrumigényére is egy példát.

Az elméleti számítások 9 csatorna/multiplexet eredményeznek fix vétel esetén 64QAM, $heff=150$ m, $L=95\%$ és 100% pixel ellátottságot feltételezve (7. sor) MFN gerincadó hálózatra. Ugyanakkor Angliában és Svédországban a gyakorlati megvalósításban ennél kevesebb csatornát használnak. Ez úgy lehetséges, hogy a gerincadó hálózatokat kisebb mint 100% pixel ellátottságra tervezték, ami csökkenti a spektrumigényt. Például ebben az esetben 70% pixel ellátottságot választva 9-ről 7-re csökken a szükséges csatornaszám (13. sor). A 100% pixel ellátottságot kisteljesítményű adók (gap-filerek) telepítésével mini vagy sűrű SFN-nel biztosítják, ami a spektrum szükségletet nem módosítja.

A spektrumhatékony hálózatok megvalósításának korlátai

Az optimális, illetve az igényeket kielégítő DVB-T hálózat megvalósíthatóságának lehetősége az átmeneti időszakban és a teljesen digitális jövőben eltérőek.

Az átmeneti időszakban több kényszerítő tényezővel is kell számolni. Ilyenek lehetnek például a

- DVB-T-hez szükséges frekvencia hiánya;
- megfelelő védelem biztosítása a közösen használt frekvencia sávban üzemelő műsorszóró és más szolgálatok számára;
- minél több országos DVB-T multiplex hálózat kialakítása;
- maximális lefedettség elérése;
- hordozható és mobil vétel megvalósítása;
- analóg műsor vétele szempontjából a lehető legkevesebb változtatás szükségessége nézői oldalról.

A teljesen digitális jövőben a frekvenciahiány és más szolgálatok védelmének biztosítása már nem képez akadályt. Új szempont lehet azonban, hogy az analóg adások megszűnését követően minél kevesebb pénzre és változtatásra legyen szükség mind nézői, mind hálózatüzemeltetői oldalról a digitális adások vételéhez.

Az átmeneti időszakban a korlátok más hálózati struktúra kialakítását teszik lehetővé és szükségessé, mint ami ideális lenne a teljesen digitális jövőben. Megoldást csak az jelenthetne, ha az átmeneti időszakot kihagyva egyik napról a másikra történne meg minden országban az adott műsorszóró régióon belül az analóg-digitális áttérés. Ez azonban csak fikció, hiszen ahány ország, annyi bevezetési és megvalósítási stratégia. A realitások figyelembevételével olyan digitális tervet és stratégiát kell készíteni, ami figyelembe veszi a valóságos kö-

rülményeket, elsősorban a zavarmentesség biztosítását. Az átmeneti időszakban ezért az ideális spektrumfelhasználást biztosító terv megvalósítása egyáltalán nem, vagy csak részben, más szempontok rovására valósítható meg.

Rövidtávú stratégia

Európa különböző országaiban többféle módszert dolgoztak ki arra, hogyan találjanak frekvenciát az átmeneti idősakra. Előre láthatóan a következő különböző esetek állhatnak elő [2].

1. Ha vannak olyan nagyteljesítményű *szabad frekvenciakijelölések, amelyeket koordináltak* az érintett országokkal az ST61 Tervben, ugyanakkor analóg televíziózásra nem kerültek felhasználásra, azok jó lehetőséget biztosítanak a DVB-T elindításához. Az analóg televízió ellátottságához hasonló nagy ellátottsági terület érhető el fix vétel esetén. A digitális konverzió nemzetközi egyeztetése – feltéve ha nem jár telephely változtatással – nem okozhat nehézséget, mivel már koordinált pozíciókat használ fel digitális televízió csatornához. Ugyanilyen megfontolásból a hazai analóg hálózatban sem okozhat zavart, bár néhány esetben lehetnek kivételek. Az ily módon kialakítható országos digitális multiplex hálózatok száma korlátozott, a gyakorlati eseteket figyelembe véve legfeljebb egy. Hordozható és mobil vétel kiterjesztése csak újabb MFN vagy SFN konfigurációban kialakított adók telepítésével érhető el. Előnye, hogy nem igényel különösebb vevőoldali változtatásokat.

2. Olyan csatornák felhasználására kerül sor, melyek a Stockholmi Tervben nem szerepelnek. A digitális rendszer tulajdonságából adódóan lehetőség van új frekvenciák tervezésére abban a sávban, ahol az intenzív frekvencia-felhasználás miatt újabb nagyobb, vagy közepes teljesítményű analóg adók számára frekvencia már nem biztosítható. Digitális adók az analóg adókkal ellentétben szomszéd csatornákon is üzemelhetnek ugyanazt a telephelyet feltételezve. Sok országban ez a megoldás mégsem alkalmazható, mert a szomszédos csatornákat már felhasználták az analóg hálózat ellátottságának kiterjesztésére kisebb teljesítményekkel, más telephelyeken, többnyire átjátszóadókként. Figyelmet igényel mind a teljesítmény, mind az ellátott terület megtervezése az új digitális adóknál a megfelelő védelem biztosítása miatt az analóg szolgáltatás számára. Nehézséggel járhat a koordinációs eljárás is az érintett országokkal. Új frekvenciák tervezésénél technikai szempontból nem szükséges a meglévő telephelyek felhasználása, vagy kizárólagos használata. A megcélzott ellátottság elérése érdekében sokszor szükség is van új telephelyekkel bővíteni a hálózatot, hiszen többnyire csak közepes teljesítményű új adók koordinációjára van esély, ami az analóg ellátottságnál lényegesen kisebb ellátottságot biztosít még fix vétel esetén is. Nézői oldalról új vevőantennák felszerelését igényelheti, melyet az analóg adóállomástól eltérő DVB-T adótelephelyre kell irányítani. Szinte elkerülhetetlen kisebb-na-

gyobb mértékű zavar a meglévő analóg hálózat néhány adójának vételében, melyeket csatorna cserével lehet csak orvosolni. A hordozható vétel kiterjesztése és/vagy mobil vétel biztosítása kisteljesítményű adókkal, többnyire mini vagy sűrű SFN-nel lehetséges.

3. Néhány – elsősorban kelet-európai – országban a 61-69. közötti TV csatornákat nem műsorszóró szolgálatok használták vagy használják. Amennyiben a közel jövőben felszabadulnak, felhasználhatóak lesznek országos vagy regionális digitális műsorszórásra már az átmeneti időszakban is. Jó példa erre Csehország, Szlovákia vagy Magyarország. Koordinációs nehézségek két okból adódhatnak. A sávot katonai célra továbbra is használó országok sokszor a szükségesnél is nagyobb védelmet követelnek ezen eszközeik számára. A nemzetközi egyeztetés akadályba ütközhet a sáv intenzív analóg televízió célú felhasználása miatt is.

4. Sok ország gondolkodik a meglévő *átjátszóadók esetleges csatorna cseréjében*, hogy a megfelelő teljesítményű DVB-T adó tervezését és üzembehelyezését hazai kisadók ne akadályozza.

5. Vannak országok, ahol annyira intenzíven használják a műsorszóró spektrumot, hogy új digitális adók számára frekvencia már nem biztosítható. Ilyen esetben a *frekvencia-felszabadítás, az analóg adók kikapcsolása* vagy digitális konverziója nyújthat megoldást. Ez elsősorban olyan helyeken alkalmazható, ahol nagyarányú magas a műholdas, vagy kábeles műsorszolgáltatás a földfelszíni mellett. Ilyen drasztikus megoldás nehezen képzelhető el országos szinten, sokkal inkább régióról-régióra hajtható végre. A régió mérete egy-két analóg adó ellátott területével lehet azonos. Ezt a megoldást alkalmazzák Németországban.

Hosszútávú stratégia

Az alábbiakban tárgyalt stratégia a végleges állapot kialakítására tett lépéseket foglalja magába, melyben az analóg rendszerek már nem léteznek. Spektrumfelhasználás szempontjából a digitális televízió tervezésénél elvileg semmiféle kényszerítő tényezőt nem kell figyelembe venni. Az új digitális terv elkészítésére vonatkozó többféle lehetőség között van olyan megoldás is, amely csak egyszerre valósítható meg a régió összes országában [2].

1. Az *analóg adók konverziója* különösen előnyös módszer akkor, ha eltérő időpontban szándékoznak a teljesen digitális televíziózásra áttérni. A digitális terv megvalósításához a szomszédos országokkal lényegében nem kell egyeztetni. Másik nagy előnye a módszernek, hogy az országok megtarthatják az analóg nagyteljesítményű frekvenciáikat, mellyel az analóghoz hasonló ellátottságot lehet biztosítani fix digitális vétel esetén. Hátránya, hogy nem feltétlenül optimális a frekvencia felhasználási terv szempontjából, és nem biztos, hogy a spektrumhoz való egyenlő hozzáférés elve érvényesül. Nehéz továbbá a multiplex hálózatok számát növelni. Másik hátránya, ha az analóg adót egyik napról a

másikra kikapcsolják, a nézők elégedetlenségére lehet számítani, ha csak más csatornán korábban simulcast sugárzás nem kezdődött.

2. Ha egy ország már az átmeneti időszakban sugároz digitális műsorokat, a *meglévő digitális kijelölések* felhasználásával készített terv előnyös a digitális műsorok vételére már berendezkedett nézőknek és biztosítja a zökkenőmentes analóg-digitális átállást. Ugyanakkor figyelembe kell venni, hogy bár az adóhálózat változtatás nélkül tovább használható, az átmeneti időszakban koordinált frekvenciák sok esetben csak korlátozásokkal használhatók az analóg adók védelme miatt. Ezért nem biztosítja a szükséges ellátottságot. A teljesítmény megfelelő növelése adócsere és újabb koordinációt tehet szükségessé a teljes digitális átálláshoz.

3. *Teljesen új terv* készítésénél semmilyen korábban használt analóg vagy digitális frekvenciát nem veszünk figyelembe. Az optimális spektrumfelhasználás és a spektrumhoz való egyenlő hozzáférés könnyen biztosítható. Hátránya, hogy az analóg-digitális átállítás nagyon sok változtatással, jelentős költségekkel jár hálózatkialakítási és nézői oldalról. A fix vétel biztosításához a legtöbb esetben feltehetően új vevőantennára is szükség van. Új adóberendezések, de legalábbis csatornacsere kell az átmeneti időszakban üzemelő állomáson. A teljesen digitális időszakra készített új terv frekvenciakijelölései az átmeneti időszakban csak nagyon korlátozottan használhatók a még üzemelő analóg adók védelme érdekében. A megvalósítás sok körülményt, pontosan kidolgozott végrehajtási tervet és további egyeztetést igényel a szomszédos országokkal.

Gazdasági megfontolások

Láthattuk, hogy hálózati topológia szempontjából az egyik szélsőséges eset az egymástól körülbelül 20 km távolságra elhelyezkedő adókból álló hálózat, amely spektrumhatékonyság szempontjából a legkedvezőbb megoldás. Bár többnyire kis antennamagasságú és teljesítményű adóállomások megfelelőek, melyek relatíve olcsón telepíthetők, mégis a sok szükséges adó miatt ez meglehetősen drága megoldás. A sűrű hálózat kialakítása lényegében MFN vagy SFN hálózat struktúrával is lehetséges. SFN esetén nagyjából szabályos háromszögben elhelyezkedő adókból kiépített hálózat az ideális.

A másik szélsőséges hálózatmegvalósítási lehetőség, amikor kizárólag a meglévő analóg infrastruktúrát használják fel a digitális hálózathoz, beleértve ugyanakkor az antennarendszernek a hasznosítását is. Ebben az esetben MFN hálózatról beszélünk. Ez költségmegtakarítást jelent a műsorszolgáltatóknak és hálózatóüzemeltetőknek, ugyanakkor a nézői oldalról is előnyös hiszen a vevőantenna rendszeren semmiféle változtatásra nincs szükség.

Az előzőekben tárgyalt első optimális spektrumhatékonyságú megoldásnak az az alapvető hátránya, hogy gyakorlatilag a gazdaságilag legfejlettebbnek monda-

tó országok sem vállalhatják az azzal járó költségeket. A másik megoldás kis költségek mellett teszi lehetővé a digitális televíziózást, ugyanakkor nem biztosítható mobil vétel, hordozható is csak az adók kis körzetében. Az analóg ellátottsággal közel azonos fix vételi ellátottság biztosításához nagyteljesítményű DVB-T adókra lenne szükség, ami az átmeneti időszakban a nemzetközi koordinációs nehézségek, valamint az üzemelő analóg hálózatnak okozott zavar miatt nehezen vagy egyáltalán nem biztosítható.

Levonható a következtetés, hogy a valóságban, főleg az európai országokat nézve nincsenek olyan ideális feltételek, ahol a hálózat típusa a fenti szempontokból adódó követelmények mindegyikét maximálisan kielégítené. Inkább kompromisszumok árán kell dönteni. Néhány elképzelt stratégiát kiragadva nézzük meg, hogy milyen áron lehet egyik, vagy másik szempontot előnyben részesíteni az előző részek alapján.

A digitális jövőre vonatkozó lehetséges tervezési stratégiák

1. Cél, hogy az új digitális terv *maximálisan spektrumhatékony* legyen. Az átmeneti időszakban még nem valósítható meg, ezért arra más tervet kell kidolgozni. A teljesen digitális jövőben 150-200 km átmérőjű, szabályosan elhelyezkedő adókból álló SFN allotmentek szükségesek. Minden országnak ezt a stratégiát kell követnie és egyszerre kell az analóg-digitális átmenetet megvalósítania. Az analóg adás megszűnését követően új adóhálózatra, adóberendezésekre, frekvencia cserékre, vevőoldali antenna rendszer módosításra van szükség. A régióhatárok figyelembe vétele csökkenti a spektrumhatékonyságot. Megvalósítása drasztikus változásokkal és nagy költségekkel jár. Az országhatárok figyelembe vételével körülbelül 4-6 csatornára van szükség multiplexenként. Költségeket nem tekintve legnagyobb akadály a más országok döntésétől való függőség.

2. Cél, hogy az új digitális terv már az átmeneti időszakban *maximális védelmet biztosítson minden műsorszóró és nem műsorszóró szolgáltató* számára. A meglévő analóg infrastruktúrán alapuló vegyes, MFN jellegű hálózattal valósítható meg. Az 1. pontban bemutatott hálózathoz képest lényegesen rosszabb a spektrumhatékonyság. Az átmeneti időszakban az adók nagy része csak jelentős teljesítmény korlátozással helyezhető üzembe a szomszédos országokkal történt egyeztetést követően. Hordozható és mobil vétel kiterjesztése az analóg adók kikapcsolását követően mini SFN-nekkel valósítható meg. A hálózat kiépítés kevésbé költséges, és zökkenőmentesebb átállást biztosít. Vevő oldalon szükség lehet az antennarendszer módosítására, vagy cseréjére. Az országon belüli analóg-digitális átállítás a szomszédoktól eltérő időpontban is lehetséges, de a teljesen digitális terv megvalósításában korlátozásokra lehet számítani az átmeneti időszak végéig. Az országhatárok figyelembevételével körülbelül 9 csatornára van szükség multiplexenként.

3. Annak érdekében, hogy az átmeneti időszakban más szolgálatok védelme ne tegye lehetetlenné a digitális televíziózást és gördülékeny legyen az átállás, ugyanakkor elviselhető költségekkel legyen megvalósítható a spektrum felhasználása, szükséges a *helyes arány kialakítása a spektrumhatékonyság és más szolgálatok védelme között*. Ehhez rugalmas tervezési eljárás szükséges, melyre az RRC04-en elfogadott tervezési alapelvek és módszerek alapján lehetőség kínálkozik. Legcélszerűbbnek az látszik, ha a hosszútávú stratégia 1. pontjában ismertetett analóg adók konverzióján alapuló terv készül.

A konverzió előnyeit és hátrányait az előzőekben már ismertettük. Két módszer is van az analóg adók konverziójára. Egyik esetben az analóg frekvencia kijelöléseket digitális kijelölésekbe konvertálva az analóggal azonos ellátottságot kapunk fix vételre. Másik módszer az analóg frekvencia kijelöléseket akkora digitális allotment területekbe konvertálja (channel potential method) [2], ami még biztosítja a szükséges újrafelhasználási távolságokat más azonos csatornájú adókhoz. Az így meghatározott ellátottsági terület nagyobb lesz, mint az első módszernél, ami növeli a spektrumhatékonyságot. Megfelelő rendszerparaméterek választásával 7-8 csatorna is elegendő lehet egy multiplex hálózat kialakításához (fix vétel, 64QAM). A hordozható és mobil vétel SFN kisadókkal valósítható meg mindkét esetben.

Nemzetközi példák az átmeneti időszak kezelésére

Az országok elképzelései változóak attól függően, hogy a televíziós szolgáltatások különböző fajtái milyen szinten vannak (például a földi, kábeles és műholdas). Az európai, elsősorban nyugati országok többsége 2008-2015 között tervezi az analóg kikapcsolást.

A bevezetéskor 2-6 multiplexen kezdődik a digitális műsorszolgáltatás az ország adottságaitól függően (földrajzi elhelyezkedés, szabad frekvenciák mértéke). Országos SFN hálózat kiépítését senki sem tervezi, elsősorban műszaki megvalósítási nehézségek (öninterferencia, rendelkezésre álló szabad csatorna) miatt. Többségük vegyes SFN/MFN konfigurációban gondolkodik, ahol az SFN megvalósítás a gap-fillerektől, a helyi vagy regionális méretekig terjed [3]. Bevezetéskor az országok többsége fix vételt tervez, a hordozható beltéri vétel lehetőségével kiegészítve sűrűn lakott városi környezetben. Mások kifejezetten a hordozható beltéri vagy mobil vételre koncentrálnak.

Németországban a mobil vétel megvalósítása a cél már az átmeneti időszakban is. Régióként SFN hálózatot alakítanak ki. A régió határokat, a frekvenciagazdaságosság szempontjait és az öninterferencia elkerülését figyelembe véve 150-200 km kiterjedésűek lesznek az SFN-ek. A modulációs mód 64QAM, a hibajavító kód arány 2/3.

Franciaország MFN hálózati struktúrát tervez fix vételre. Az átmeneti időszakban a hordozható beltéri vé-

telt a sűrűn lakott városi környezetben SFN gap-fillerekkel valósítják meg.

Svédországban a hálózati struktúra alapvetően MFN, de van néhány szomszédos nagyteljesítményű telephely, melyeket regionális SFN-be fogtak össze. A hordozható beltéri vétel lehetőségét szintén a sűrűn lakott városi környezetben SFN gap-fillerekkel biztosítják.

Angliában az MFN hálózatokat alapvetően fix vételre tervezték.

Összegzés

A DVB-T sikeres bevezetésének kulcsfontosságú tényezője a spektrum hatékony felhasználása. Az, hogy milyen mértékű spektrumhatékonyságot érünk el, alapvetően meghatározza a választott hálózati struktúra. Az ideális hálózati struktúra kialakítását azonban az átmeneti időszak emelte korlátok, gazdasági megfontolások stb. alapvetően befolyásolják, melyeket gondosan kell mérlegelni a döntés meghozatala előtt. Általánosan használható tervezési stratégia, mely minden országban optimális tervet biztosít nem létezik. A DVB-T rendszer által kínált rugalmas tervezési módszerek azonban lehetőséget biztosítanak arra, hogy az egyes országok sajátos körülményeit és igényeit figyelembe vevő digitális terv készüljön az RRC06 DVB-T Tervezői Értekezleten.

Bár konkrét értékek még nem adhatók meg a DVB-T hálózatok számára, azt azonban kijelenthetjük, hogy a jelenlegi három földfelszíni televízió programhoz képest lényegesen több műsor vételére nyílik majd lehetőség a digitális jövőben. A DVB-T előnyei azonban nemcsak a műsorok számának növekedésében nyilvánulnak meg, hanem olyan szolgáltatásokban is, – például mobil vételi lehetőség, interaktivitás, minőség javulás –, melyek minden bizonnyal vonzóvá teszik a digitális technológiát mind nézői, mind szolgáltatói oldalról.

Irodalom

- [1] Kissné Akli Mária:
Digitális rendszerjellemzők választása
DVB-T adók besugárzás-tervezéséhez,
Híradástechnika, 2002/8.
- [2] Resolutions from the First session of the Regional Radiocommunication conference for planning of the digital terrestrial broadcasting in parts of Region 1. and 3. in the frequency bands 174-230 MHz and 470-862 MHz,
Geneve, 10-28 May 2004.
- [3] BPN 038 Report from Ad hoc group B/CAI-FM24 to B/MDT and FM24 on spectrum Requirements for DVB-T implementation,
EBU, March 2001.