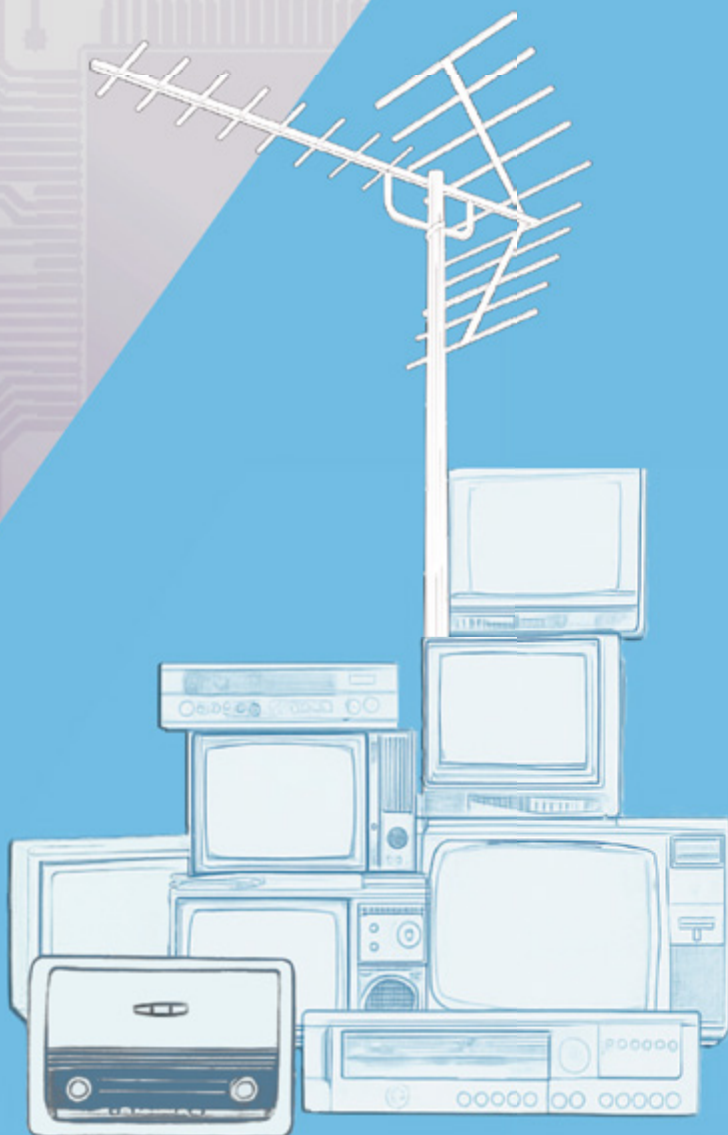


A magyar rádió-műsorszórás első 100 éve



**A magyar
rádió-műsorszórás
első 100 éve**

2025

© SZOMEL Kft., 2025

Szerzők:

Balla Éva villamosmérnök
Balás B. Dénes rádiótechnikai és tudománytörténeti szakértő
Bíró Dániel villamosmérnök
Csósz Jenő villamosmérnök
Halász Sándor villamosmérnök
Dr. Nagy Lajos egyetemi docens
Nagymáté Csaba villamosmérnök
Narancsik Mihály okl. villamosmérnök
Tomka Péter okl. villamosmérnök
Vámos Viktor villamosmérnök
Dr. Vári Péter egyetemi docens
Szombathy Csaba okl. villamosmérnök

Kiadó:

SZOMEL Kft.
<https://szomel.hu>

A kiadvány magánkiadásban jelent meg.

Borítóterv:

Miklósi Angéla

Tördelés:

Bernáth Zita

Készült a Gyomai Kner Nyomda Zrt-ben 2025-ben
a nyomda alapításának 143. esztendejében
A Magyar Könyvkiadók és Könyvterjesztők Egyesülésének tagja
Felelős vezető: Balla László vezérigazgató
www.gyomaikner.hu

**A magyar
rádió-műsorszórás
első 100 éve**

TARTALOMJEGYZÉK

Köszöntő	5
A rádió-műsorszórásban alkalmazott modulációk és fejlődésük	6
A rádió digitalizálása	13
A rádióműsorszórás előzményei	24
Az amplitúdómoduláció fénykora	28
A hazai rádiózás története az I. világháborútól a solti nagyadóig és az első URH-kísérletekig	29
2 MW-os rekonstrukció Solton	50
A lakihegyi adóantenna a tervezőmérnök szemével	54
Rádióműsorok a tengeren túlra	62
Az ultrarövid hullámok és a frekvenciamoduláció korszaka	68
URH-adó Budapesten	69
Az URH-rádióműsorszórás bevezetésének története Magyarországon	70
Az FM adók modulátorainak fejlődése, helyes kialakításuk	76
Hazai FM adástechnika az 1990-es évektől napjainkig	79
Digitalizáljuk a rádiót!	89
Mi értelme van a digitális rádiónak?	90
A DAB és a DAB+ Magyarországon – egy „csipetnyi” T-DMB-vel	91
A DRM rendszer és hazai vonatkozásai	97
A hazai mérőszolgálat(ok) szerepe a (rádió-) műsorszórásban	103
Mérésekkel (Mérőszolgálat) a rádiózás védelmére	104
A Kormányzati Frekvenciagazdálkodási Hivatal (KFGH) mérésügyi története – személyes hangvételen	119
Utószó	131

KÖSZÖNTŐ

Tisztelt Olvasó!

Szeretettel köszöntjük a megújuló Rádiótechnika hasábjain! 2025. december 1-jét írunk – lapunk szemszögéből kettős ünnepet jelent ez a dátum.

Egyrészt, e tekintélyes múltra visszatekintő újság (sokadik) megújulásának lehetünk tanúi. Ha átmenetileg el is tűnt a közforgalomból, szemeit nem hunyta le végleg, csak „szundított” egyet, ezen oldalakon tanúsítva, hogy ha rendszeres megjelenéséig várni is kell várhatóan még egy évet, már ébredszik – ezúttal új tulajdonosa, a SZOMEL Kft. gondozásában...

Másrészt, a Rádiótechnika e különszáma tisztelgés a hazai műsorszórás hivatalos születésnapja és (remélhetőleg első) 100 éve előtt. Tisztelgés mindazok előtt, akik fáradságot nem kímélve, egyes történelmi korszakokban akár testi épségük vagy életük kockáztatásával, de mindig és mindenkor a nemzetközi élvonalban vagy ahhoz közel tartották a magyar műsorszórás ügyét; azon gyárak, intézmények előtt, melyek a hazai híradástechnikai ipar fellegvárát jelentették – néhány közülük még napjainkban is létezik, olykor megváltozott arculattal vagy névvel; tisztelgés egyúttal e szakterület legendás egyetemi és középiskolai tanárai előtt is, akik nélkül sose nőhetett volna fel az számos technikus- és mérnökgeneráció, amely 100 éve élvonalban tartja a magyar műsorszórást.

Főszerkesztőként és laptulajdonosként külön köszönettel tartozom a Szerzőknek, akik önzetlen és odaadó munkája nélkül nem jöhetett volna létre ez a kiadvány (lásd az impresszumot). Mély elismerés illeti a Rádiótechnika korábbi lelkes szerkesztői közösségét, azon kiváló szakembereket, akik az 1990-es hatalmi átrendeződést követően több mint három évtizeden keresztül éltették tovább a lapot és szellemiségét. Köszönjük a legutóbbi tulajdonosnak, hogy az elmúlt három évben életben tartotta a Rádiótechnikát, és végül, de nem utolsósorban köszönet illeti szeretett „mesteremet”, Dr. Gschwindt András Tanár Urat, aki nélkül feltehetőleg nem ragadott volna magával a műsorszórás.

A gazdag történelmi anyag és terjedelmi korlátaink miatt a következő oldalakon szigorúan csak a rádió-műsorszórás elmúlt 100 évét tekintjük át, nem térünk ki sem a televízió, sem az akusztika és stúdiótechnika fejlődésére – esetleg majd egy hiánypótló másik különszámban... A cikkek egyszerre tudománytörténeti és mérnöki jellegűek, a SZOMEL Kft. „mérnök szól mérnökhöz” szellemiségének jegyében.

Reméljük, az olvasmányos leíró fejezetek mellett hasznos tárgyi ismeretekkel is gazdagítjuk Olvasóinkat!

Tisztelettel:



Szombathy Csaba
tulajdonos-főszerkesztő

A RÁDIÓ-MŰSORSZÓRÁSBAN ALKALMAZOTT MODULÁCIÓK ÉS FEJLŐDÉSÜK

Szerző: Szombathy Csaba okl. villamosmérnök, SZOMEL Kft.

A következő oldalakon a rádió-műsorszórásban az elmúlt egy évszázadban használt modulációkat tekintjük át, kezdve a jól ismert kétoldalsávós, nem-elynyomott vivőjű amplitúdómodulációtól egészen a korszerű digitális (OFDM) rendszerekig. Tesszük ezt azért, mert jubileumi kiadványunk soron következő értekezéseiben különféle formákban, megfogalmazásokban találkozhatunk majd az itt tárgyalt fogalmakkal, valamint az egyes modulációk itt taglalt tulajdonságai döntően befolyásolták és befolyásolják a mai napig az egyes adóhálózatok, műsorszóró rendszerek adástechnikai jellemzőit, felépítését.

A kezdetek: az amplitúdómoduláció

Mindenki számára jól ismert, hogy a legelső eljárás, amivel információt ültettek egy vivőre, az amplitúdómoduláció volt. Ha nagyon szigorúan vesszük a kérdést, akkor ráadásul digitális amplitúdómoduláció, mert legelőször táviró rendszerekben szó szerint kétféle állapotot, „hosszú” és „rövid” Morse-fütytyjeleket vittek át. A rádió-hangműsorszórás természetesen ennél már kifinomultabb, itt ugyanis a vivő burkolója egyenesen arányosan változik a beszéd- és zenei hangok jelalakjával.

Matematikai szempontból az amplitúdómoduláció a vivő és az átviendő jel alakjának szorzata. Elméletileg magát a vivőt nem is kell kisugározni a moduláló (más néven alapsávi) jel visszaállításához, ugyanis, ha a vevő számára fázishelyesen (!) rendelkezésre áll az eredeti vivő, akkor ez utóbbi és a vett adás összeszorozásával pontosan demodulálni tudja az információt. A gyakorlatban ez természetesen nem lehetséges, ezért ilyen adások esetén a vivőt is kisugározzák kis teljesítménnyel azért, hogy a vevő kifejezetten e célra szolgáló szinkronizáló fokozata segítségével vissza tudja állítani a vivőt a demoduláláshoz. Az ilyen jellegű vevők drágák és bonyolultak, ezért nem is igen találkozhatunk velük a fogyasztóelektronikai piacon – pláne az 1950-es évek előtt!

Az amplitúdómoduláció úgy tehető „barátságossá”, azaz egyszerű készülékkel (egyenirányítással) demodulálhatóvá, hogy a vivő és az alapsávi jel szorzatához hozzáadjuk magát a vivőt – sőt, a gyakorlatban a vivőteltjesítmény dominál. Így kapjuk az 1. ábra felső részén zöld színnel kirajzolt, jól ismert hullámformát, amikor is a vivő mind pozitív, mind negatív burkolója a moduláló jel alakját követi le. (Megjegyezzük, hogy a jelen példában és a későbbiekben is 1 kHz-es, szinuszos moduláló jellel szemléltetünk, az egyszerűség és követhetőség kedvéért.)



1. ábra Kétoldalsávós, nem-elynyomott vivőjű AM jelalakja és spektruma 1 kHz-es szinuszos alapsávi jel esetén

A burkoló különféle mélységben tartalmazhatja a moduláló jelet. Minél jobban „behorpad”, annál nagyobb hangerővel jelenik meg a műsortartalom a hangszóróban, azaz annál nagyobb mértékben tartalmaz információt a kisugárzott összteljesítmény. Ezen információtartalmat a „modulációs mélység” jellemzi, ami az 1. ábra jelöléseivel a következőképpen számítható ki a jelalakból:

$$\frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{1 + m}{1 - m}$$

Spektrumát tekintve, mint nevében is benne van, a vivő alatt és felett jelenik meg a moduláló jel spektruma – a jelen példában értelemszerűen csak egy vonal (lásd az 1. ábra alsó, lila színnel felrajzolt görbéjét). A modulációs mélység a spektrumkép alapján is megállapítható: a vivő és bármely oldalsávi összetevő amplitúdójának hányadosa a modulációs mélység fele.

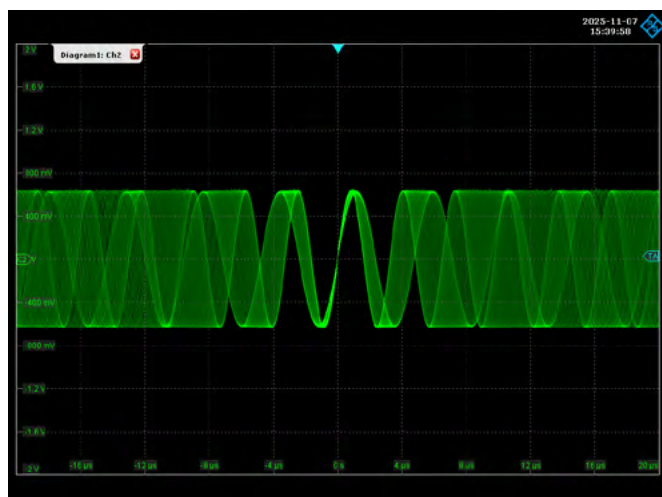
Ezen a ponton rögtön felhívjuk a figyelmet egy fontos tényre: a kétoldalsávós, nem-elynyomott vivőjű AM (nemzetközi jelöléssel AM-DSB) adások sáv szélessége az alapsávi jel sáv szélességének duplája, és nem függ a modulációs mélységtől!

A műsorszórásban jellemzően 4,5 kHz, 5 kHz, 9 kHz vagy 10 kHz a megengedett alapsávi sáv szélesség (földrajzi helytől és történelmi kortól, illetve hullámsávtól függően), Magyarországon középhullámon 4,5 kHz, rövidhullámon 5 kHz. Mindezek következménye, hogy a kisugárzott jel sáv szélessége rendre 9 kHz, illetve 10 kHz az említett hullámsávokban.

Az AM témaköre ennél lényegesen gazdagabb, többek között nem említettük itt meg az egyoldalsávós, a csonka oldal-sávós, a független oldalsávós stb. adásokat, de, mint korábban jeleztük, a rádió-műsorszórásban használatos jelekre összpontosítunk.

Színre lép az FM

Már az 1930-as években rájöttek, hogy más lehetőség is van az AM-DSB mellett, így jelent meg a frekvenciamoduláció. Mint nevében is benne van, ebben az esetben a vivő pillanatnyi frekvenciája változik a moduláló jel által vezérelten. A névleges vivőfrekvenciához képest mért (pillanatnyi) eltérés a (pillanatnyi) löket, a legnagyobb eltérés pedig a csúcslöket – amelynek pozitív és negatív csúcsértéke egyaránt van, ugyanúgy, ahogy a moduláló jel amplitúdója is rendelkezik negatív, illetve pozitív csúcsértékkel. Szinuszos moduláló jel esetén az FM vivő alakja a 2. ábra szerinti (jól láthatók a kivezérlés következtében létrejövő sűrűsödések és ritkulások).



2. ábra Frekvenciamodulált jel alakja 1 kHz-es szinuszos alapsávi jel esetén



3. ábra Frekvenciamodulált jel spektruma 1 kHz-es szinuszos alapsávi jel esetén

Az FM-adások spektruma lényegesen bonyolultabb szerkezetű, mint az amplitúdómodulált jeleké. Matematikailag Bessel-függvényekkel írható le, ettől itt most eltekintünk, de eredményeit tárgyaljuk. Szinuszos moduláció esetén az alapsávi jel vonala a vivő alatt és fölött is megjelenik, ráadásul többszörösen (3. ábra).

A vonalak távolsága a moduláló jel frekvenciájával egyezik meg, darabszáma pedig elvileg végtelen, gyakorlatilag a csúcslöket (f_D) és az alapsávi frekvencia (f_{mod}) arányának felhasználásával írható le. Ez utóbbi arány az ún. modulációs index – filozófiailag az AM modulációs mélység megfelelője –, ami a vivő információtartalmának mértéke:

$$m_{FM} = \frac{f_D}{f_{mod}}$$

Egy FM jel sáv szélessége (BW) tehát elvileg végtelen, gyakorlatilag az ún. Carson-összefüggéssel írható le, az alábbiak szerint (f_0 a vivő frekvenciája):

$$BW = f_0 \pm (f_D + f_{mod})$$

Összenézve a fenti összefüggéseket alapvetően kétféle FM rendszert különböztethetünk meg:

- szélessávú FM:
moduláló frekvencia (f_{mod}) $\ll$ csúcslöket (f_D)
→ sáv szélessége $\approx 2 \times f_D$
- keskenysávú FM:
moduláló frekvencia (f_{mod}) $\geq$ csúcslöket (f_D)
→ sáv szélessége $\approx 2 \times f_{mod}$

A gyakorlatban nem éles a határ a kétféle FM között, de a tendenciák jól érzékelhetők: a löketet rendkívül kicsire csökkentve az FM spektruma összetéveszthető lesz az AM-DSB adásokéval, nagyobb löketeknél (pontosabban modulációs indexeknél) pedig igen széles sávú lesz a kisugárzott jel. (További különlegesség, hogy bizonyos modulációs indexeknél a vivő, illetve egyes oldalsávi spektrumvonalak eltűnnek, de ebbe itt részletesebben nem megyünk bele, mert ennek a jelenségnek a folyamatosan változó műsörtartalom miatt nincs közvetlen gyakorlati jelentősége.) Vegyük észre, hogy **összességében az FM jel sáv szélességét a löket (a modulátor érzékenysége és a kivezérlő alapsávi jel amplitúdója együttesen), valamint az alapsávi jel sáv szélessége egyaránt befolyásolja!** Ennek komoly következményei lesznek még.

Felmerül a kérdés, mi értelme van az FM-nek, ha sáv szélessége jellemzően nagyobb, mint az AM-é, miben jobb, ha egyáltalán jobb, mint az AM?

A demodulációs nyereség

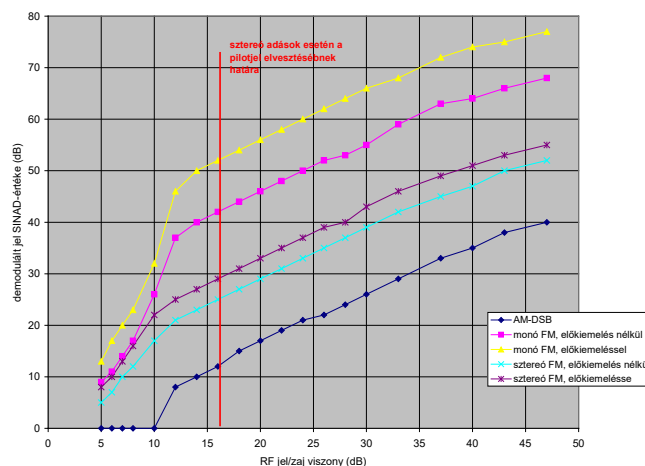
Kevés helyen esik szó egy igen fontos tényezőről, a demodulációs nyereségről, ami egy demodulátor kimenetén és bemenetén mérhető jel/zaj viszony hányadosa. Józan ésszel feltételezhető, hogy ez kisebb, mint egy, azaz a demodulálás során romlik a jel/zaj viszony. Ez logikus is, hiszen a demodulátor hozzáadja a jelhez a saját belső zaját (a zajtényezője értelemszerűen 1-nél nagyobb). Van azonban néhány kivétel.

Az AM- és FM-rendszerek demodulációs nyereségét elvi szinten Ferenczy Pál Hírközlélmélet című egyetemi tankönyve tárgyalja (Tankönyvkiadó, Budapest, 1974.). Ebben ideális (azaz zaj- és torzításmentes) demodulátort feltételezve a következő összefüggések adódnak az AM-DSB, valamint a keskeny- és szélessávú FM-demodulátorok nyereségére:

	AM-DSB esetén: (m max. 100%, azaz 1 lehet)	Keskenysávú FM esetén ($m_{FM} < 1$)	Szélessávú FM esetén ($m_{FM} \gg 1$)
$\frac{SNR_{alapsávi}}{SNR_{RF}} =$	$\frac{m^2}{1 + \frac{m^2}{2}}$	$(m_{FM})^2$	$(m_{FM})^3$

A fenti képletekből jól látható, hogy egy AM-DSB demodulátor mindig ront a jel/zaj viszonyon, a legjobb esetben, 100%-os modulációs mélység mellett is csak 2/3 a „nyeresége”. Keskenysávú FM rendszerekben ennél is rosszabb a helyzet, amiből egyenesen következik, hogy **semmi értelme keskenysávú FM adásokat sugározni! Ha nincs sáv szélesség, akkor többre megyünk egy AM-DSB adással, mint egy keskenysávú FM-mel!** Kellően nagy löket mellett azonban az FM rendszerekben drasztikus jel/zaj viszony javulás érhető el. Másképpen fogalmazva: ha lehet (viszonylag) nagy a modulációs index, vagyis az alapsávi jel sáv szélességéhez képest lényegesen nagyobb lehet a kisértékű jel sáv szélessége, akkor határozottan jobb átvitel érhető el FM-mel, mint AM-DSB modulációval. Ilyen adások azonban csak olyan frekvenciákon engedhetők meg, ahol a nagyobb abszolút sáv szélesség még mindig kicsi relatív (abszolút vívőfrekvenciához viszonyított) sáv szélességgel jár – vagyis magasabb frekvenciákon, például az URH-sávban...

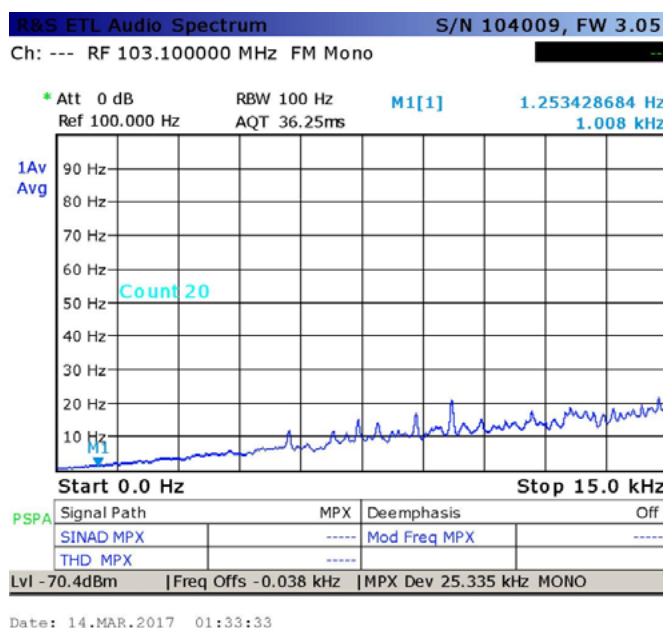
Gyakorlati jelleggörbékkel tükrözve a fentieket az 4. ábrán közöljük egy tipikus AM-DSB vevő, továbbá egy monó és egy sztereó FM vevő kimeneti jel/zaj viszonyának alakulását a bemeneti jel/zaj viszony függvényében. A karakterisztikák önmagukért beszélnek – bár a sztereó adás rosszabb jellemzőinek magyarázatával még adások maradunk néhány bekezdés erejéig...



4. ábra AM-DSB és különféle FM adások demodulációs jelleggörbéi (a SZOMEL Kft. laboratóriumában készült mérések)

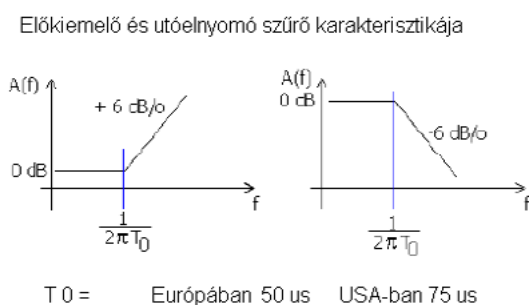
Előkiemelés és sztereó jelek

Az FM-demodulátorok egyik nagy hátránya, hogy kimenetükön a frekvencia függvényében nő a zajteljesítmény-sűrűség. Egyszerűbben fogalmazva: a magas hangokat zajosabban viszik át, mint a mélyeket (5. ábra).



5. ábra FM demodulátorok kimeneti zajának jellemző frekvenciamenete

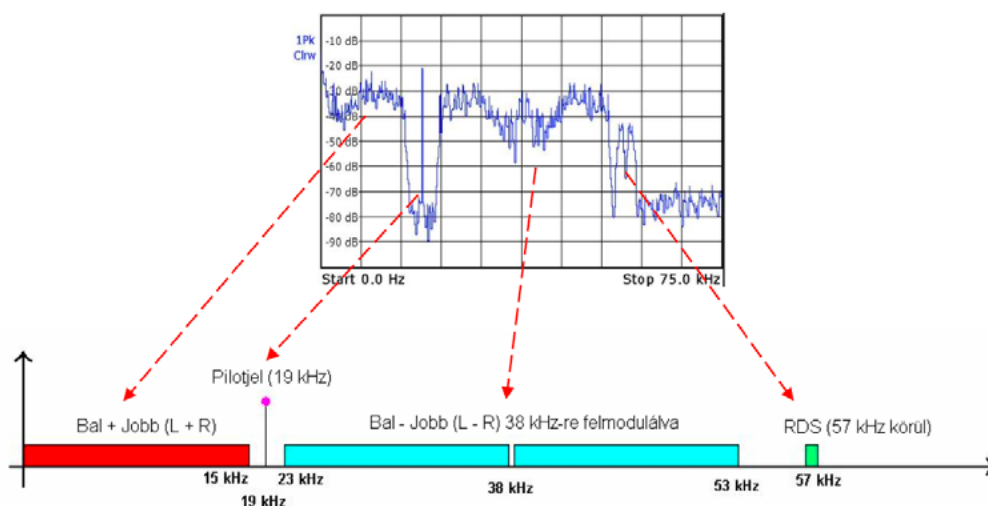
A fenti jelenség ellensúlyozására dolgozták ki az előkiemelés-utóelnyomásos módszert: adóoldalon, közvetlenül a modulátor előtt egy egytöréspontos felüláteresztő szűrővel kiemelik a magas hangokat az alapsávi jelben (előkiemelés), amivel természetesen torzul a zenei hangkép. A demodulátort egy olyan aluláteresztő szűrő követi (utóelnyomás), melynek frekvenciamenete pontosan az adó felüláteresztő szűrőjének az inverze. Ez helyrehozza a hangképet, egyúttal elnyomja a demodulátor magas hangtartományba eső zajtermékeit (6. ábra; „természetesen” Európában és Amerikában máshol vannak a töréspontok). Érdekesség, hogy az FM rádiózásban nem a törésponti frekvenciával, hanem az annak megfelelő időállandóval jellemzik a szűrőket.



6. ábra Az analóg FM rendszerekben alkalmazott előkiemelő- és utóelnyomó szűrők

Másik érdekesség a sztereó FM adások kérdésköre. Alapvető elvárás volt, hogy a sztereó jelek monó vevőkön is hallgathatók legyenek, ezért olyan megoldást kellett kidolgozni, amely visszafelé kompatibilis. Ennek eredménye a következő jelszerkezet lett: a sztereó kódoló előállítja a bal és jobb csatorna összegét, valamint különbségi jelét. Az összegjel („L+R”) az alapsávban marad, míg a különbségi („L-R”) összetevőt elnyomott vivőjű, kétoldalsávú AM-mel 38 kHz-re transzponálják, és az így előállt összetett (multiplex) jellel vezérlik ki az FM adót. A vevőben az FM demodulátor után a 38 kHz-re felkevert különbségi jel kinyeréséhez szorzódemodulátorra van szükség, amely a 38 kHz-es vivővel koherens szorzójelet igényel. E keverőjelet a vevőben egy PLL állítja elő, abból az összeg- és különbségi spektrum közé behelyezett 19 kHz-es referenciajeltől (ún. pilot vivőből), amelyet az adó illeszt be a multiplex jelbe, a saját sztereó kódolójában is ezt használva a különbségi jel felmodulálásához (7. ábra).

E ponton megjegyezzük, hogy az RDS-adatok beillesztése is hasonlóképpen történik: a 19 kHz-es referenciajel háromszorosán, 57 kHz-en differenciális BPSK modulációval, 1187,5 kHz-es szimbólumsebességgel továbbítanak adatokat, melyek demodulálásához ismételt a 19 kHz-es referenciajelet használja fel a vevő RDS-dekódolója.



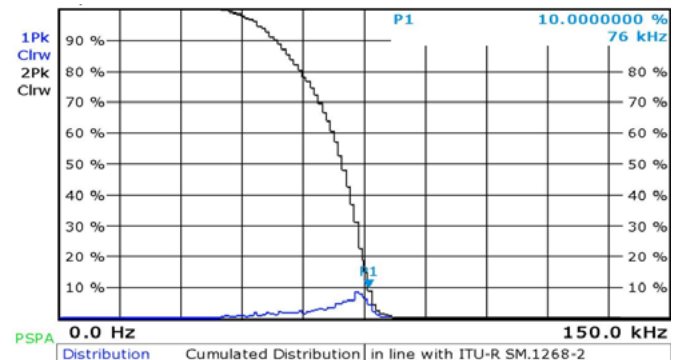
7. ábra Sztereó FM adások felépítése

Itt utalunk vissza a 4. ábrán látottakra. Egy sztereó jel, pláne egy RDS-t is tartalmazó multiplex jel (alapsávi) sávszélessége nagy. Az FM adások RF sávszélessége ugyanakkor hatóságilag korlátozott, ami azt jelenti, hogy ha növeljük az alapsávi sávszélességet (például sztereó és esetleg RDS összetevő előállításával), akkor mérsékelni kell a löketet – ez pedig a demodulációs nyereség csökkenését idézi elő! A sztereó adások jelleggörbéje ezért rosszabb, mint a monó jeleké. E jelenség másképp is megfogalmazható: a monó jelek ellátottsági körzete mindig nagyobb, mint a sztereó (pláne az RDS-t is tartalmazó) sugárzásoké. Ha távolodunk egy adótól, először az RDS-adatok tűnnek el, majd a sztereó vétel lesz nagyon zajos (monó üzemmódra kapcsolva ekkor még élvezhető a műsor), és csak legvégül omlik össze a monó komponens is.

Növeljük a hangerőt!

Az elmúlt évtizedekben esetenként örületbe menő szabadpiaci verseny egyik vadhajtása, hogy (elsősorban a kereskedelmi) rádióállomások igyekeztek a lehető legjobban megnövelni hangerejüket. Mivel a kisugárzott spektrum abszolút sávszélessége és a csúcslöket hatóságilag korlátozott (hazánkban és Európában ez utóbbi legfeljebb ± 75 kHz lehet), a szubjektív hangosságérzetet csak az átlagos löketteljesítmény növe-

lése árán lehetett fokozni, amit dinamikakompresszorokkal érték el (volt olyan rádióadó, amelyik kettőt (!) is beiktatott egymás után). Erre válaszképpen a Nemzetközi Hírközlési Egyesülés (ITU) szabályozta a löketeloszlást (ITU-R SM 1268-2), aminek ellenőrzése az FM mérés technika része lett (8. ábra). Természetesen a versenypiac válasza sem maradt el: napjainkban ún. adásprocesszorokat alkalmaznak, amelyek a bemeneti hanganyag dinamikai tulajdonságait mérve folyamatosan optimalizálják (és persze maximalizálják) az adót kivezérlő multiplex-teljesítményt úgy, hogy az statisztikailag megfeleljen a fent említett ITU-előírásnak...



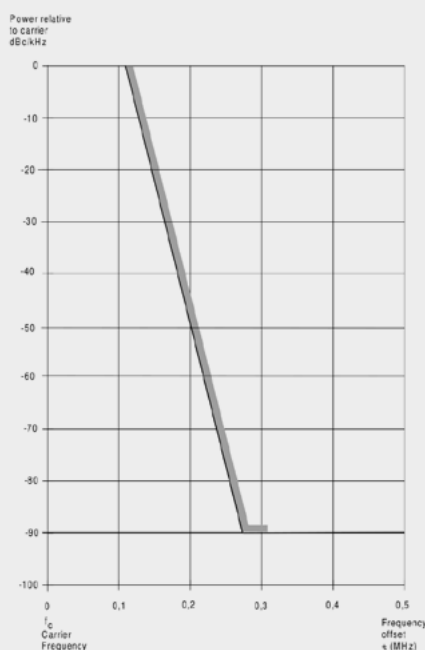
8. ábra Egy FM adás löketeloszlása az ITU-R SM 1268-2 szabványban rögzített módszerrel mérve

Az FM adók modulációja, kimoduláltsága

Szerző: Narancsik Mihály okl. villamosmérnök, 4iG Műsorszóró Infrastruktúra Kft. (korábban Antenna Hungaria Zrt.)

A cikkünk fő részében leírtak tükrében az FM adók helyes szintbeállítása nem egyszerű feladat. Ezen betétoldal keretei között ennek kulisszatitkaiba adunk rövid betekintést.

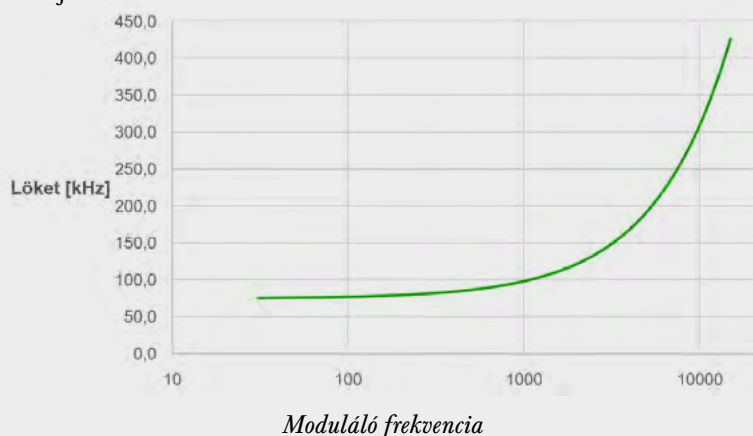
Az FM adók moduláltsági határértékeire alapvetően két fontos nemzetközi dokumentum vonatkozik. Az egyik az **ETSI ETS 300 384** számú szabvány, amely azt a spektrummaszkot tartalmazza, amely arra az estre vonatkozik, amikor az adó nem „normális” bemenőjelet kap.



Az ETSI ETS 300 384 számú szabvány szerinti spektrummaszk

A szolgáltatások iránti nagy igény miatt a 87,5-108 MHz sávban az adások sűrűn foglalnak helyet. Egy adó vagy modulációs vonal meghibásodása esetén szélsőséges esetben például nagyszintű fehérzaj vezérelheti ki az adót. Amennyiben nincs semmi védelem erre a helyzetre, egy ilyen üzemi adó komolyan zavarhatja a szomszédos csatornás jeleket. Az ilyen esetekre kitalált védelmi eszköz a multiplex limiter, amely a sztereó multiplex jel nagyságát határolja. Rendszerint 95-100 kHz nagyságú löketre célszerű beállítani, mert ezzel biztosítható az ETSI szabvány által megkövetelt spektrummaszknak való megfelelés. Működése a demodulált jelben torzításokat okoz, sőt sérülhet a pilotjel és az RDS tartalom is, ezért ez a limiter nem alkalmas a ± 75 kHz-es csúcslökethatár biztosítására.

Az adó csúcslökete nem lépheti át a ± 75 kHz-es értéket, és a moduláló jel RMS lökete tetszőleges 60 másodpercre átlagolva nem haladhatja meg a ± 19 kHz-es csúcslökétű jel RMS értékét, azaz a 13,433 kHz-es RMS löketet (0 dBr). Ezen értékeket az **ITU BS.412**-es ajánlása tartalmazza.



Az adó nem lépheti át a ± 75 kHz-es értéket. Miért okoz ez gondot? Gondos adószintezés mellett, mondjuk 400 Hz-es névleges frekvenciájú jellel beállítva a maximális szintet nem oldódik meg a probléma, az FM adásokban használt 50 μ sec-os előkiemelés miatt, ami nemkívánatos zavaráshoz vezet.

Egy tisztán mono FM adásnál, amennyiben a bemenőjel állandó és maximális, és az alacsony hangfrekvenciákon ± 75 kHz-es csúcslöketet hoz létre, akkor 15 kHz-ig egy korlátozás nélküli FM modulátor az alábbi csúcslöket-menetet eredményezi:

50 μ s-os előkiemeléssel rendelkező mono FM adó frekvencialöket-menete maximális bemenőjellel kivezérelve

Másképpen fogalmazva, ha az adó maximális bemenőszinttel 15 kHz-es moduláló jelet kapna, akkor 428,3 kHz-es löketet hozna létre. Nyilván ez frekvenciagazdálkodási okokból nem állhat elő, nem engedélyezett.

De miért is lett ez nagy probléma, mondjuk a 80-as évektől? Előtérbe került a digitális hangrögzítés a stúdiókban, amelyekben felvételnél már nem volt probléma a nagy szintű magashangok rögzítése. Az elektronikus hangszerek intenzívebb magashang tartalma szintén problémát okozott az FM adók modulációjában. A stúdiókban a legfőbb hangforrás a CD lemez, vagy az arról készített digitális másolat. A CD lemezre 0dBfs szintű 15 kHz jel rögzítése, lejátszása egyáltalán nem gond. Az FM adásban azonban ez nagy probléma.

Az leírtakból fakadó túlmoduláció elkerülésére az FM adáshoz készült „védőlimiterre” van szükség.

Az alapsávi úgynevezett „védőlimitereknek” több megvalósítási modellje van, úgy, ahogy ezt az ETSI ETR 132-es dokumentuma leírja. Lényegében mindegyik limiter az előkiemelést figyelembe véve határol oly módon, hogy végeredményképpen frekvencia- és amplitúdófüggő, változó előkiemelést végez. Végző esetben nincs előkiemelés a jelen, megakadályozva a ± 75 kHz-en túli kimoduláltságot és kiküszöbölve az esetleges torzításokat. Újabban az FM adók gyártói kikapcsolhatóan beépítik ezen védőlimitereket berendezéseikbe, aminek következtében egy állandó ± 75 kHz-es lökettel működő adás a demodulálás után egy utóelnyomósos karakterisztikájú átviteli rendszert képez. Védőlimiter nélkül esély sincs egy FM adót helyesen beszintezni!

Külső limiter alkalmazása esetén az adóban ki kell kapcsolni az alapsávi csatornákon a 15 kHz-es aluláteresztő szűrőket, amelyek esetleges túllövéseket okozhatnak, és ugyancsak ki kell kapcsolni az előkiemelést is, hagyni kell a limitert, hogy az ő változó karakterisztikája legyen az egyetlen előkiemelő elem. Ha az adó előtt már van egy jó digitális működésű limiterünk, akkor utána már nem lehet olyan elem, amely a műsorjel frekvencia komponenseinek egymáshoz képesti fázisait, amplitúdóit megváltoztatja, mert ez újabb csúcsokat fog létrehozni!

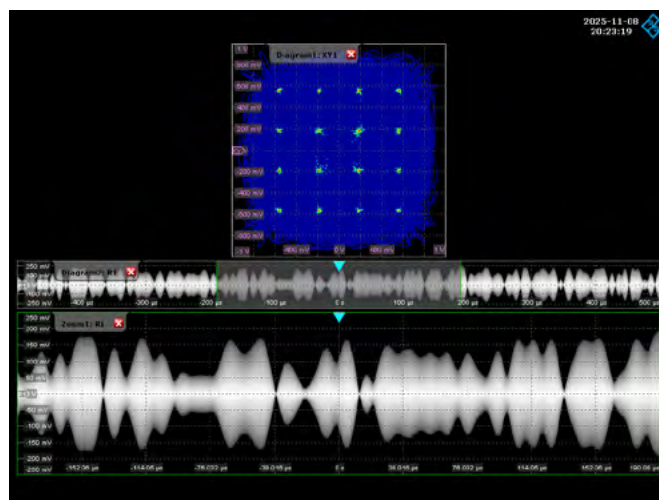
Rádióstúdiók maguk is alkalmazhatnak FM típusú limitereket, amelyek a védőfunkciók mellett a hang tömörítését, hangszínét, modulációs teljesítményét is befolyásolják. Ez esetben a modulációs vonalat célszerű a multiplex síkon kialakítani, és az adót helyes szintezéssel ezzel a multiplex jellel modulálni. Ez esetben a stúdió felel minden túlmodulációs problémáért, így a modulációs teljesítmény túllépéséért is. Az ITU-R BS-412-es ajánlás 0dB_r „hangerőt” követel meg bármely 1 perces moduláció tartalom teljesítményére, de az NMHH Magyarországon jelenleg +3dB_r értéket még tolerál.

A RÁDIÓ DIGITALIZÁLÁSA

A következőkben a rádió-műsorszórást érintő digitális modulációkat vesszük sorra, de mielőtt részletekbe bocsátkoznánk, Olvasóink rögtön nekünk szegezhetik a kérdést, hogy ha az FM technika ennyire kiforrott és elterjedt, akkor miért van szükség digitalizálásra? A választ konkrét számadatokkal alátámasztva adjuk meg.

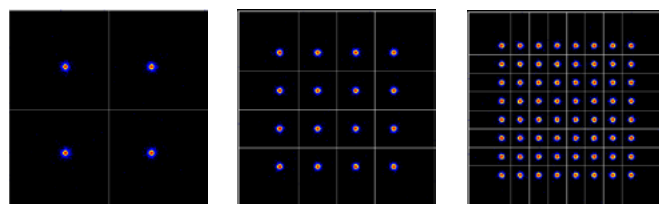
Egy RDS adatokkal kiegészített, sztereó FM jel sáv szélessége 300 kHz, egy átlagos város lefedéséhez pedig néhány kilowattos adóteljesítmény szükséges. Ezzel szemben, például az 1536 kHz sáv szélességű DAB adásokat alapul véve és abból kiindulva, hogy ekkora sáv szélességben jellemzően 20 műsor továbbítható (ez a szám erősen függ a hangtörítés módjától és az adás védelmi beállításaitól), máris érzékelhető, hogy egy műsor átviteléhez átlagosan lényegesen kisebb sáv szélesség is elegendő digitális esetben, mint analóg FM alkalmazásával (az FM sávú DRM esetében is hasonló a helyzet: 100 kHz sáv szélességben akár két- vagy három hangműsor is továbbítható egyidejűleg). Az adóteljesítménnyel kapcsolatban is ugyanez állapítható meg: egy adott körzet digitális adással lényegesen gazdaságosabban, ideális esetben akár egy nagyságrenddel (!) is kisebb adóteljesítménnyel fedhető le, mint analóg FM alkalmazásával. (Itt „halkan” megjegyezzük, hogy napjaink környezetvédelmi „zöld örületében” valahogy elő sem kerül ez a tény...). Műszaki és gazdasági szempontból tehát hosszú ideje indokolt digitalizálni a rádiózást.

Általánosságban a digitális moduláció azt jelenti, hogy a vivő akár amplitúdóját, akár kezdőfázisát vagy frekvenciáját meghatározott időzítéssel, ütemezetten, diszkrét lépésekben „ugratjuk”, azaz csak meghatározott diszkrét állapotokat vehet fel a vivő pillanatnyi amplitúdója, frekvenciája vagy kezdőfázisa. Az ütemezés frekvenciája a jelzési- vagy szimbólumsebesség (baud sebesség), ennek reciproka, vagyis egy állapot tartási ideje a szimbólumidő. A 9. ábra egy 16 állapotú, diszkrét amplitúdó- és fázismodulációt kombináltan alkalmazó digitális adás jelalakját, illetve fazoros állapotdiagramját szemlélteti. Itt megjegyezzük, hogy az adatátvitel azon alapul, hogy minden vivőállapothoz más-más bitkombinációt rendelünk, vagyis szimbólumidőnként egy-egy bitcsoportot továbbítunk. A bitcsoport mérete az állapottértől (az állapotok számától) függ; például, a 9. ábrán a 16 állapot 4 bittel írható le, így ebben az esetben szimbólumonként 4 bitet továbbítunk.



9. ábra Példa 16 állapotú digitális modulációra (16 QAM)

Az állapotok száma elvileg bármennyi lehet, a gyakorlatban kettő egész számú hatványa, így illeszthető hozzá könnyen egy digitális modulátor a kettes számrendszerben működő számítógépeinkhez. A műsorszórásban jellemzően fázis- vagy kombinált, egyidejű fázis- és amplitúdómodulációt használnak; az előbbi az ún. fázisbillejtőzött (PSK), az utóbbi a kadratúra-amplitúdómodulált (QAM) jelek osztálya. A vivő ily módon kialakuló fazorjait szemlélteti a 10. ábra néhány esetre.

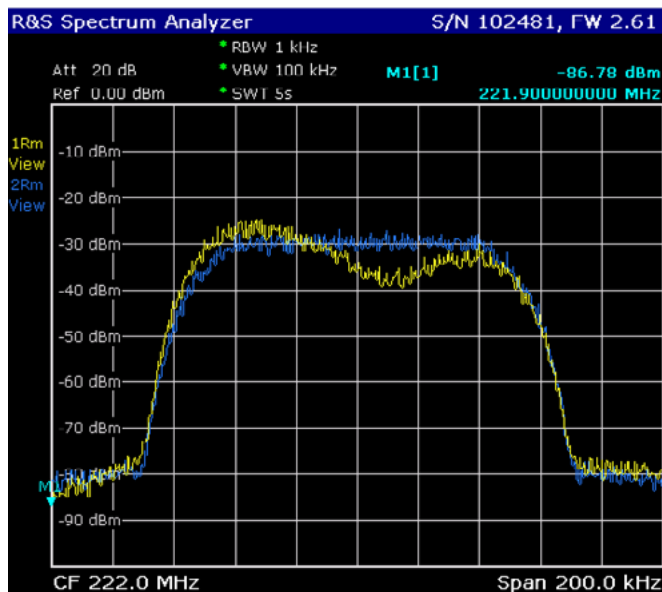


10. ábra Példa négyállapotú (QPSK) digitális fázismodulációjú adásra, továbbá 16- és 64-állapotú, kombinált fázis- és amplitúdómodulációjú (rendre 16QAM és 64QAM) jelre

Az eddig vázolt digitális jelek azonban sajnos alkalmatlanok kisugárzásra, a földfelszíni hullámterjedés sajátosságai miatt. Ezt a kérdéskört közelebbről is megvizsgáljuk.

A földfelszíni hullámterjedés hatásai

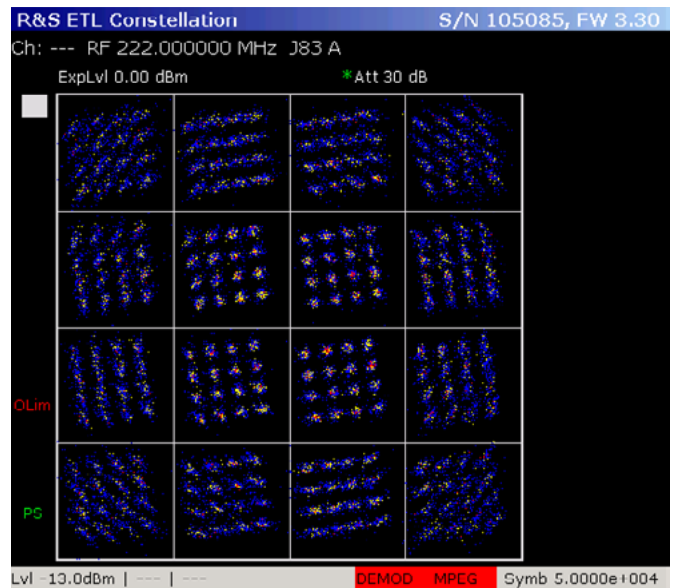
Többek között a műsorszórás sajátossága, hogy az adóantennák nem, vagy csak enyhén irányítottak, a hullámok pedig változatos terepen, természeti képződményekkel (hegyek, dombok stb.) és műtárgyakkal (épületek, hidak stb.) tarkított területeken haladnak keresztül, többszörös visszaverődést elszenvedve. A vevőbe sokszor öt-tíz jelúton is megérkezhet ugyanaz az adás, melyek mindegyike más-más késleltetéssel és csillapítással rendelkezik. Matematikailag levezethető, hogy a vevőantennában indukált jel a többutas terjedés hatására lineáris torzítást szenved, ami jól megfigyelhető a spektrum burkolóján is (11. ábra).



11. ábra Többutas terjedés hatása: az eredetileg egyenletes amplitúdóeloszlású digitális adás (kék görbe) spektrumburkolója eltorzul (sárga görbe)

Egyszerűbben megfogalmazva: a többutas terjedés miatt a vevőbe érkező jel úgy torzul, mintha egy időben folyamatosan változó, tetszőleges (akár alul- vagy felüláteresztő, akár sáváteresztő vagy sávzáró) karakterisztikájú szűrőn vezetnék át az adást. Ennek több következménye van:

1. Időtartományban azt látjuk, hogy egy szimbólum többször érkezik meg, tehát az egymást követő szimbólumok összezsúsznak – ez a szimbólumközi áthallás. Közép- és rövidhullámon a több száz kilométeres terjedési utak miatt több száz μ s, esetenként néhány ms is lehet a leghosszabb terjedési út késése a közvetlen hulláméhoz képest; ultrarövid hullámon jellemzően 100 – 200 μ s alatt maradnak ezek az értékek
2. Frekvenciatartományban a 11. ábrán látható, már említett módon sérül a jel: torzul az amplitúdó- és fázismenete
3. A szimbólumok amplitúdójának és fázisának torzulása együttesen a modulációs állapotok „elkenődését” okozza a konstellációs ábrán (12. ábra)



12. ábra A 9. és 10. ábrán szereplő 16 QAM jel állapotainak torzulása háromutas terjedés esetén

A többutas terjedés tehát úgy eltorzítja a modulációs állapotokat, hogy a vevő rosszul fogja beazonosítani a szimbólumokat, tele lesz bithibával a demodulátor által visszaadott adatfolyam. Megfelelő védelem nélküli digitális jel ezért nem sugározható ki, de szerencsére van megoldás...

A sokat emlegetett technika: az OFDM

A lineáris torzítások „kellemes” tulajdonsága, hogy kompenzálhatók. Tulajdonképpen ezt tesszük a zenei erősítőkhöz épített (vagy külön eléjük beiktatott) hangszínszabályozóval is: ha például „tompá” a hangzás, azaz gyenge a magas hangok szintje (mintha aluláteresztő szűrőn ment volna át a jel), akkor a „magas” szabályozóval visszaállíthatjuk a helyes hangképet, kiemelve az elnyomott nagyfrekvenciás összetevőket. Ebből következik a sokvivős, ún. OFDM-rendszerek alapelve is: az információt nem egyetlen, viszonylag nagy szimbólumsebességű vivővel, hanem sok (több száz vagy több ezer), lényegesen kisebb szimbólumsebességű, tehát hosszú szimbólumidejű alvivő együttesével továbbítjuk. Azalvivők egy részére nem adatokat ültetünk, hanem a spektrumban egyenletesen elosztva kötött (tehát ismert, szabványosított) amplitúdójú és kezdőfázisú referenciajeleket helyezünk, ezek az ún. pilot vivők. A vevő ezek segítségével diszkrét pontokban szó szerint meg tudja mérni a csatorna amplitúdó- és fázismenetét, majd egy digitális FIR-szűrőt ennek inverzére behangolva vissza is tudja kompenzálni a torzulást! Mindezt dinamikusán végzi, ha tehát a csatorna karakterisztikája időben változik (például mozgó vétel esetén), akkor – persze csak bizonyos korlátok között – folyamatosan kompenzálni tudja a jelet ért lineáris torzítást.

Természetesen sok száz vagy ezer vivő a gyakorlatban nem állítható elő modulátorok tömkelegével, és nem is demodulálható rengeteg, párhuzamosan működő vevővel. Ehelyett

mind a modulálást, mind a demodulálást matematikailag kell megoldani. A művelet, amellyel sok frekvenciát lehet egyszerre időtartományba átvezetni és vissza, nem más, mint a Fourier-transzformáció. Az adó inverz (gyors) Fourier-transzformációval állítja elő a több száz vagy ezer vivő eredő jelalakját, a vevő pedig FFT-vel bontja szét elemi vivők komplex amplitúdóira (azaz modulációs állapotokra) az antennában indukált hullámalakot. Kritikusan fontos elvi alapfeltétel, hogy az FFT számítás tartói a vevőben pontosan olyan frekvenciákra essenek, ahol vivő van az adásban, ami azt jelenti, hogy az FFT művelet felbontását, ebből következően pedig az FFT-számításhoz felhasznált jelszakasz hosszát a vivőszerkezethez kell igazítani! Konkrétan **a vevő FFT ideje a szimbólumidővel kell, hogy megegyezzen!**

A fentiek csak abban az esetben működőképesek, ha a vevő által FFT-vel felbontott jelszakasz szimbólumközi áthallásktól mentes. A valóságban azonban éppen a többutas terjedés miatt komoly mértékű szimbólumközi áthallás lehet a vett jelben, ezért egy időtartománybeli védelmi mechanizmust is be kell iktatni. Fizikailag ez azt jelenti, hogy az adó hosszabb szimbólumokat sugároz ki, mint a vevő FFT-ideje, azaz „megnyújtja” a szimbólumokat. E „megnyújtott” jelszakaszok neve **védelmi idő** vagy **ciklikus előtag (ciklikus prefix)**, a „nyújtás” mértékét pedig az FFT-hez szükséges alap-szimbólumidő arányában adjuk meg. Például, $\frac{1}{4}$ értékű védelmi idő esetén az adó 25%-kal hosszabb szimbólumokat sugároz ki, mint a vevő FFT-ideje. A „nyújtás” mértékét a hullámterjedés során várt leghosszabb késleltetésű jelúthoz kell igazítani. Természetesen ennek a mechanizmusnak egyenes következménye lesz, hogy az elvileg lehetségesnél kevesebb szimbólumot sugároz ki az adó időegység alatt, tehát csökken az adatsebesség.

Külön hangsúlyozzuk, hogy a sokvivős (OFDM) rendszerekben az egyes vivők olyan közel helyezkednek el egymáshoz, hogy spektrumuk 50%-ban átfed. Spektrumanalizátoron tehát nem figyelhetők meg az egyes vivők külön-külön! (Egyes szabványokban a referenciajelek szintje lényegesen nagyobb, mint az adatvivőké. Ilyenkor a pilotjelek jó eséllyel kimutathatók, de ez nem általános jelenség.) Hasonlóképpen, a védelmi idő nem egy üresen hagyott vagy különleges jellel kitöltött időrés, hanem egy szimbólum saját magával történő meghosszabbítását jelenti, azaz oszcilloszkópon soha nem figyelhető meg.

Ahhoz, hogy a sokvivős jeleket a fent leírt matematikai műveletekkel kezelni lehessen, még egy kritikusan fontos feltételnek teljesülnie kell: matematikai értelemben függetlennek kell lenniük az alvivőknek egymástól. Ez azt jelenti, hogy **bármely két vivő szorzatának FFT-időre vett integrálja 0-át kell, hogy eredményezzen:**

$$\int_{T_{\text{FFT}}} \text{vivő}_n \times \text{vivő}_m \, dt = 0$$

Ez az ortogonalitás, az alvivők matematikai függetlensége, innen ered a moduláció neve is: ortogonális frekvenciaosztásos nyálábolás, angolul **Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM**. (Azért hangsúlyozzuk ezt ilyen erőteljesen, mert az interneten és sok más helyen számos tévhit és félrevezető magyarázat kering ezzel kapcsolatban.) A fenti feltétel **következménye**, hogy az FFT-idő (tehát az alap-szimbólumidő) alatt minden alvivőnek egész számú rezgést kell végeznie, ezért lesz a szomszédos alvivők közötti frekvenciatávolság az alap-szimbólumidő reciproka, és ezért lesz minden alvivő spektrumburkolójának nullhelye a szomszédos alvivők tartóin.

Összefoglalva, az OFDM-rendszerek legfontosabb paramétereit a következők:

- alvivők száma: általában változtatható; sűrű vivőelrendezés (sok alvivő) esetén több referenciajelet lehet elhelyezni az adásban, hatékonyabbá téve a csatorna-korrekciót, de érzékenyebb lesz a jel a Doppler-hatásra (mozgó vételre kevésbé alkalmas). Az alvivők számának csökkentésével javul a Doppler-hatással szembeni immunitás, de kevésbé lesz hatékony a csatorna-egyenlítés
- alvivők konstellációja: a várható vételi jel/zaj viszonytól függ; nagyobb állapotelrendezés esetén nagyobb adatsebesség érhető el, de jobb jel/zaj viszonyt kell biztosítani
- védelmi idő: az átviteli út leghosszabb késleltetésű összetevőjének relatív elcsúszásához kell igazítani; általában az alap-szimbólumidő arányában adjuk meg. Minél nagyobb az értéke, annál nagyobb távolságú terjedést képes a rendszer elviselni, az adatsebesség rovására

Az OFDM-jelek alvivőinek fajtái:

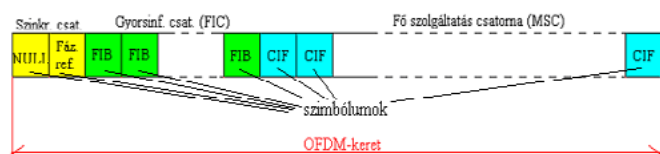
- adatvivők: a spektrum döntően ezekből áll, a műsor-szórásban PSK- vagy QAM osztályú, adatokat „szállító” vivők
- pilotjelek: a vevő szinkronizálását és különösképpen a csatorna-korrekciót segítik elő
- jelzésátviteli vivők: olyan vivők, amelyek az adó beállításával (alvivők száma, konstellációja, védelmi idő stb.) kapcsolatos információkat hordoznak a vevő számára

Az eddig leírtak ismeretében a következőkben röviden áttekintjük az európai és hazai műsorszórás szempontjából meghatározó digitális rádiórendszereket.

A DAB-család

A DAB-szabvány családba az eredeti alaprendszeren (DAB) kívül a DAB+ és a T-DMB tartozik. Mindhárom modulációja azonos, az átvitt adatok jellegében és szerkezetében különböznek csak egymástól, így a továbbiakban mindhármat együttesen, egyszerűen „DAB” név alatt tárgyaljuk.

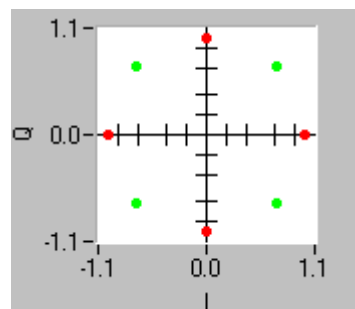
A DAB különlegessége, hogy az alvivők között nem „oszt” szét elkülönített szerepköröket, azaz minden időpillanatban minden alvivő azonos feladatot lát el: vagy mind le van kapcsolva (ún. null-szimbólum), vagy referenciajel (egy szimbólumidő hosszan, ez az ún. fázisreferencia-szimbólum), vagy jelzésátviteli adatokat hordoz (ún. gyorsinformációs blokk – FIB), vagy a tényleges műsoradatokat hordozza (közös átszótt adatkeretek – CIF). A DAB rendszerben már logikai csatornák is megjelennek: a null-szimbólum és a fázisreferencia-szimbólum együttesen alkotja a szinkronizációs csatornát, a gyorsinformációs blokkokból épül fel a gyorsinformációs csatorna (FIC), míg a CIF-keretből a fő szolgáltatási csatorna (MSC) (13. ábra).



13. ábra DAB-jelek időbeli ütemezése

A DAB külön érdekessége, hogy a fázisreferencia-szimbólumot viszonylag ritkán, kb. 100 ms-onként küldi le, ami mérés-technikai célokra használható fel (a mérővevők ennek segítségével végeznek csatornaanalízist), de valósídejű, a műsor folyamatos hallgatásához szükséges csatornakiegyenlítéshez ez kevés. A DAB ezért differenciális QPSK (DQPSK) modulációt használ, az alvivőknek állapotelrendezése nem is változtatható. A DQPSK jeltér fizikailag nyolc állapotból épül fel, de valójában két négyállapotú jelcsoportra tagolódik, és szimbólumváltáskor mindig az egyik csoport valamelyik szimbólumáról vált az adó a másik csoport egy szimbólumára (14. ábra). Az információt két egymást követő szimbólum különbsége hordozza (emiat sok mérővevő a két négyállapotú szimbólumcsoportot egymásra vetítve ábrázolja, QPSK konstelláció illúzióját keltve). DQPSK alkalmazása mögött az a gondolat áll, hogy a rádiócsatorna lineáris torzítása a szimbólumidő alatt remélhetőleg nem változik számottevően, így két egymást követő szimbólum különb-

ségének képzésével kiejthető a lineáris torzítás okozta hiba-vektor. Ezzel a módszerrel nem kell folyamatosan hangolt FIR-szűrős korrekciót végezni, ami a DAB kifejlesztésekor, az 1980-as évek végén, '90-es évek elején fontos szempont volt, az akkori félvezetőtechnika korlátai miatt.



14. ábra A DQPSK moduláció valódi állapotelrendezése

Az DAB-szabvány 1995-ben elfogadott első változatában háromféle adásmódot határoztak meg, ezt később egy negyedik üzemmóddal is bővítették:

	Adásmód			
	I	II	III	IV
Vivők száma	1536	384	192	768
Szimbólumok száma egy OFDM-kereten belül (a NULL-szimbólummal együtt)	77	77	154	77
A NULL-szimbólum hossza (ms)	1297	324	168	648
Egy OFDM-keret hossza (ms)	96	24	24	48
Vivőtávolság (kHz)	1	4	8	2
„Hasznos” szimbólumhossz (ms)	1	0,25	0,125	0,5
Védelmi idő (GI=1/4) (ms)	0,246	0,062	0,031	0,123
Teljes kisugárzott szimbólumhossz (ms)	1,246	0,312	0,156	0,623
SFN adótávolság (km)	73,8	18,6	9,3	36,9

Megjegyezzük, hogy a DAB másik különlegessége az állandó arányú védelmi idő, melynek értéke mindig $\frac{1}{4}$. Hosszabb reflexiókkal szembeni védelmet az ad, hogy nagyobb vivőszám esetén a hosszú alap-szimbólumidő $\frac{1}{4}$ része hosszabb abszolút védelmi időt eredményez. A fenti négy üzemmódban az adó bemenetéről nézve a „hasznos” adatsebesség állandó: üzemmódtól függetlenül mindig 2304 kbit/s (csatornakódolással együtt, kivéve a III. sugárzási beállítást):

Üzemmód	MSC adatsebessége	FAC adatsebessége	Teljes adatsebesség
I	2304 kbit/s	96 kbit/s	2400 kbit/s
II		96 kbit/s	
III		128 kbit/s	2432 kbit/s
IV		96 kbit/s	2400 kbit/s

A DRM-rendszer

Míg a DAB adások sávszélessége mindig 1536 kHz, ezért csak az URH-sávra vagy afölötti tartományokba lehet őket lekoordinálni, addig a DRM rendszert kezdetben (az ezredforduló környékén) a hosszú-/közép-/rövidhullámú tartományba szánták, a hagyományos AM-adások kiváltására. Ennek megfelelően a DRM ún. „AM-sávú” változata a különféle országokban használatos hosszú-/közép-/rövidhullámú csatorna-sávszélességekhez igazodva hatféle sávszélességgel tud üzemelni: 4,5 kHz, 5 kHz, 9 kHz, 10 kHz, 18 kHz és 20 kHz széles sávfogalással. 2010 körül megjelent a DRM URH-sávú variánsa, az ún. „FM-sávú” DRM, melynek sávszélessége 100 kHz, így bármely ország bármilyen raszterébe könnyen beilleszthető, elvileg bármelyik URH-résztartományban.

Sávszélességtől függetlenül a DRM-adások is védelmi időközzel rendelkező, sokvivős felépítésűek, az alábbi jellemzőkkel:

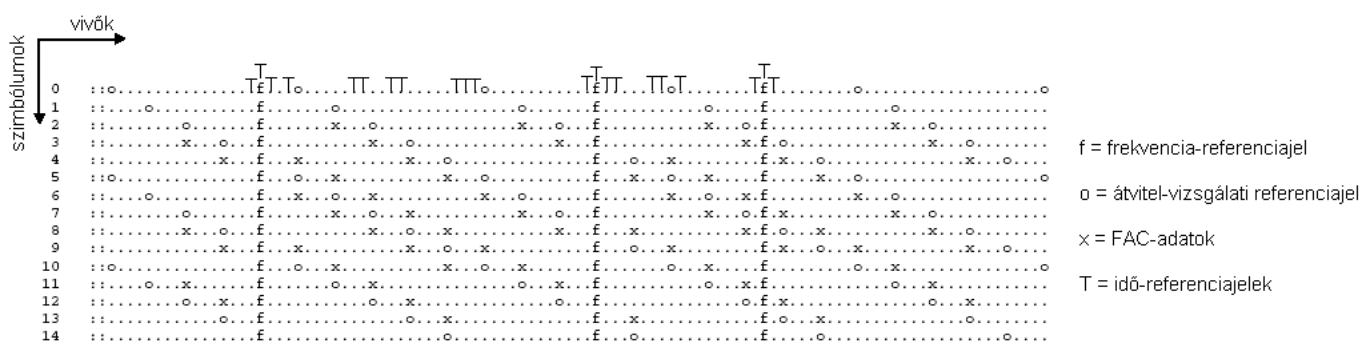
Rob. fokozat	FFT-szimbólumidő	Alvivők távolsága	A védelmi időköz		Teljes szimbólumhossz
			aránya	abszolút hossza	
A	24 ms	$41^{2/3}$ Hz	1/9	2,66 ms	26,66 ms
B	21,33 ms	$46^{7/8}$ Hz	1/4	5,33 ms	26,66 ms
C	14,66 ms	$68^{9/11}$ Hz	4/11	5,33 ms	20 ms
D	9,33 ms	$107^{3/7}$ Hz	11/14	7,33 ms	16,66 ms
E	2,25 ms	$444^{4/9}$ Hz	1/9	0,25 ms	2,5 ms

A fenti táblázat értékeiből is látható, hogy az FM-adások kiváltására szánt „E” üzemmód kivételével – melynek jellemzői közel állnak a DAB-éhoz – a DRM első négy alapüzemmódjában rendkívül hosszúak a szimbólumok és a védelmi időköz abszolút hossza is. Ebből látható, hogy ezt a négy működési módot a hosszú-/közép-/rövidhullámú sávra jellemző, hosszú terjedési utakhoz optimalizálták.

A DAB-bal ellentétben a DRM vivői a frekvencia függvényében változó struktúrával rendelkeznek, azaz különböző vivők egy adott időpillanatban különböző szerepet töltenek be:

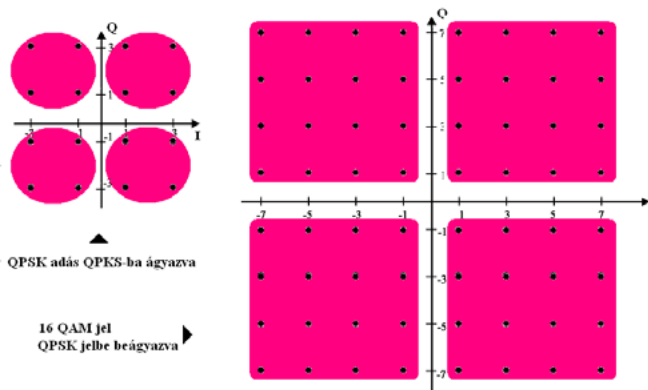
- egyesek a műsortartalmat hordozzák, a DAB-hoz hasonlóan ezekből épül fel a fő szolgáltatási csatornának (MSC) nevezett logikai csatorna;
- mások jelzésátviteli adatokat hordoznak. A DRM kétféle jelzésátviteli mechanizmussal rendelkezik: bizonyos jelzésátviteli vivők kizárólag QPSK modulációval a leg-alapvetőbb adóbeállításokat tartalmazzák, a vevő gyors beállítását elősegítve (FAC – gyors hozzáférési csatorna), míg mások konstellációja QPSK vagy 16 QAM lehet, és az adás műsorszerkezetével kapcsolatos információkat hordozzák (SDC – szolgáltatásleíró logikai csatorna);
- természetesen a spektrum pilotjeleket is tartalmaz. A DRM rendszerben többféle ilyen referenciajel található, összességében a veendő jel azonosítását, frekvenciaeltolódásának mérését, csatorna-korrekciót és adáskeret-szinkronizálást elősegítve.

A DRM vivőszerkezetét a frekvencia-idő síkon a 15. ábra szemlélteti.



15. ábra A DRM vivőszerkezete a frekvencia-idő síkon

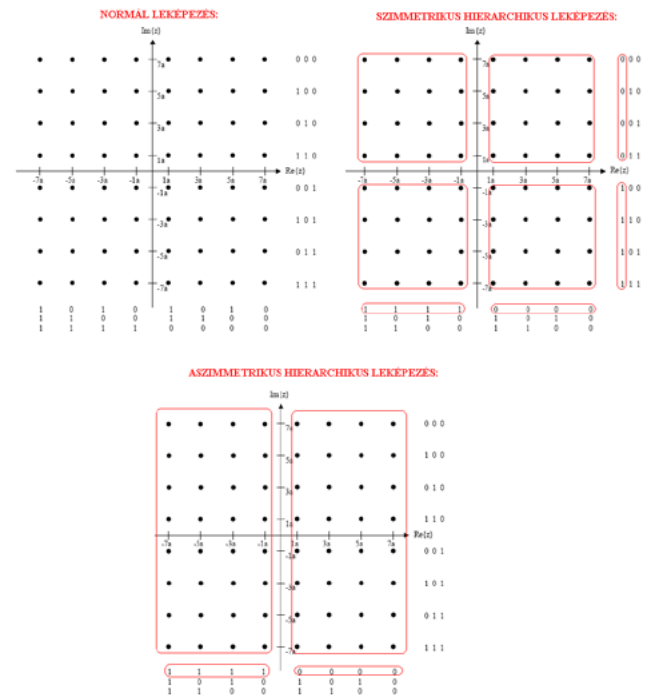
A DRM adások további érdekessége, hogy hierarchikus modulációra is képesek. Ennek lényege, hogy egy legalább 16 állapotú QAM-osztályú jel állapotterét úgy is tekinthetjük, hogy négy darab, síknegyedenként azonos elrendezésű pontthalmazból épül föl. Az egyes szimbólumokhoz rendelt bitkombinációkat így két csoportra oszthatjuk: a síknegyedet kijelölő, két bitből álló „előtagra”, és egy második, a síknegyeden belüli állapotot leíró részre. Ha e két bitsoporthoz különböző adatfolyamokat rendelünk, akkor egy QAM osztályú állapottérrel egy nagy védettségű de lassú „QPSK” adatfolyamot, valamint egy másik, kevésbé védett, az egyes síknegyedekre jutó állapottérnek megfelelő konstellációjú bitfolyamot vihetünk át. Másképpen fogalmazva: egy 16QAM adás úgy is felfogható, mintha QPSK modulációba lenne beágyazva egy másik QPSK moduláció, a 64 QAM pedig QPSK konstellációba ágyazott 16 QAM modulációnak is tekinthető. Mindezeket a 16. ábra szemlélteti.



16. ábra A hierarchikus moduláció szemléltetése

A DRM csak 64 QAM elrendezés esetén enged meg hierarchikus modulációt. Különlegessége, hogy ún. aszimmetrikus hierarchikus moduláció előállítására is képes, ami azt jelenti, hogy csak az egyik tengely mentén (a fázisjel állapotterében, azaz „vízszintesen”) alkalmaz hierarchikus hozzárendelést (ez gyakorlatilag 64 QAM-be ágyazott BPSK átvitelt jelent; lásd 17. ábra).

A fenti mechanizmusokkal hosszú-/közép-/rövidhullámon („A/B/C/D” adásmódban) 6 kbit/s és közel 40 kbit/s közötti, az URH-sávban („E” adásmódban) pedig közel 40 kbit/s és 190 kbit/s közötti adatsebességek érhetők el.



17. ábra A DRM leképezéseinek változatai 64 QAM állapotelrendezés mellett

Összefoglaló

Mint minden híradástechnikai szakterület, a rádiózás is óriási fejlődésen ment keresztül az elmúlt 100 évben. Az 1920-as években a detektoros készülékek mellett esetenként egy szuperrendszerű rádió is szenzációszámra ment, napjainkban pedig néhány négyzetcentiméteres területen valós időben végez folyamatos Fourier-transzformációt és komplex csatornaki egyenlítést egy demodulátor áramkör – a csatorna-, illetve forrás-dekódolásról nem is beszélve...

A jelen sorok között a modulációkra összpontosítottunk, az átviteltechnikára épülő szolgáltatásokat nem taglaltuk. Röviden rámutatunk azonban arra, hogy a rádió és TV közötti éles határvonal elmosódik a digitális világban. DVB-rendszerekkel is át lehet vinni kép nélküli hanganyagot (TV-vel fogható rádiószolgálatok), és fordítva: a DAB-ból kifejlesztett T-DMB éppen képátvitelre lett kihegyezve, néhány hete pedig, ez év szeptemberében az amszterdami IBC-n, a világ legnagyobb műsorszóró szakkonferenciáján mutattak be képátvitelt az analóg FM-sávban DRM-mel. Érdekes figyelemmel kísérni, hogy az integrált áramkörök számítási képességeinek további fokozásával hova juthatunk el még!

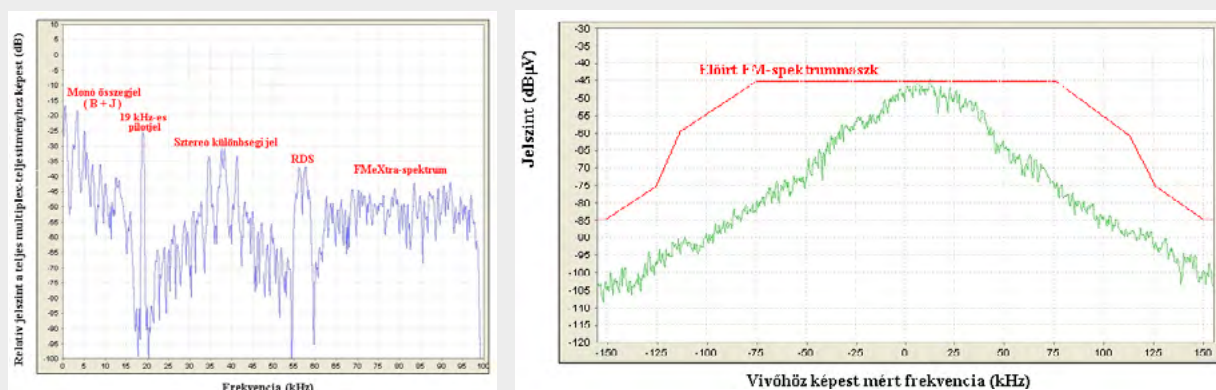
Hazánk mind a DAB-, mind a DRM vonatkozásában többszörösen is érintett, erről részletesen értekezünk e kiadványban, néhány fejezettel később.

A DAB és DRM mellett természetesen további rendszerekkel is találkozhatunk világszerte. Részben a teljesség kedvéért, részben műszaki érdekességeik okán megemlítünk ezek közül néhányat.

Az FMeXtra

Az európai fejlesztésű FMeXtra rendszernek ma már komoly jelentősége nincs, műszaki érdekességgé azonban mindenképpen érdemes megemlíteni. Az ezredforduló környékén számos szervezet, érdekcsoport versengett egymással az éter digitalizálása terén, és több olyan megoldás született, amely a digitális átállást az analóg és digitális adások átmeneti, egyidejű biztosításával kívánta megoldani. Európában ilyen volt az FMeXtra szabvány.

Az FMeXtra alapelve, hogy az FM-modulátorba jutó alapsávi jel RDS-vivő fölötti tartományát is kihasználva digitális jelet adnak hozzá a multiplex-tartalomhoz. A klasszikus FM vevők nem kezelik ezt az alapsávi részt, míg az FMeXtra demodulátorral rendelkezők felismerik és demodulálják a digitális tartalmat. Az ilyen jellegű alapsávi spektrumot és a kisugárzott jel sávfiglalását az alábbi ábra szemlélteti.



Tipikus FMeXtra adás alapsávi spektruma és a teljes kisugárzott multiplex RF jel spektruma

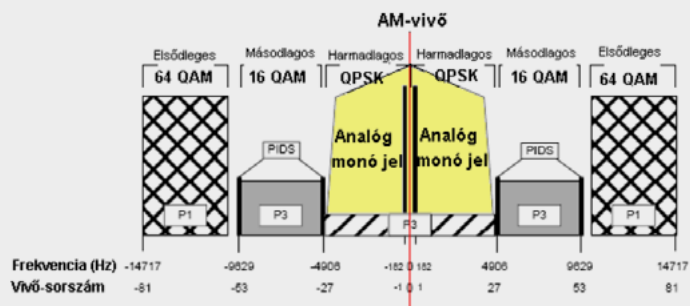
Az alkalmazott digitális moduláció OFDM, melynek szimbólumideje 1 ms, védelmi időköze pedig 100 μ s. Jelzésátviteli vivőinek konstellációja minden esetben QPSK, míg adatvivői QPSK, 8PSK, 16QAM vagy 32QAM elrendezésűek lehetnek. Az alvivők száma a spektrális beállítástól függ. Az FMeXtra-jel ugyanis többféle sávzélességű lehet, attól függően, hogy a szolgáltató csak monó hanganyaggal, vagy sztereó és/vagy RDS adatokkal párhuzamosan kíván-e digitális adatátvitelt megvalósítani. Összességében az FMeXtra-val 24 kbit/s és 64 kbit/s közötti adatsebességek érhetők el.

Mivel az FMeXtra digitális összetevője az alapsávi multiplex-spektrum felső részén helyezkedik el, a rá vonatkozó demodulációs nyereség kicsi lesz, így az adótól távolodva először ennek az átvitele romlik le és szűnik meg, majd az RDS- és végül a sztereó tartalom. A gyakorlati tapasztalatok alapján elmondható, hogy az FMeXtra ellátottsági körzete közel áll az RDS-sel kiegészített sztereó adások lefedettségéhez.

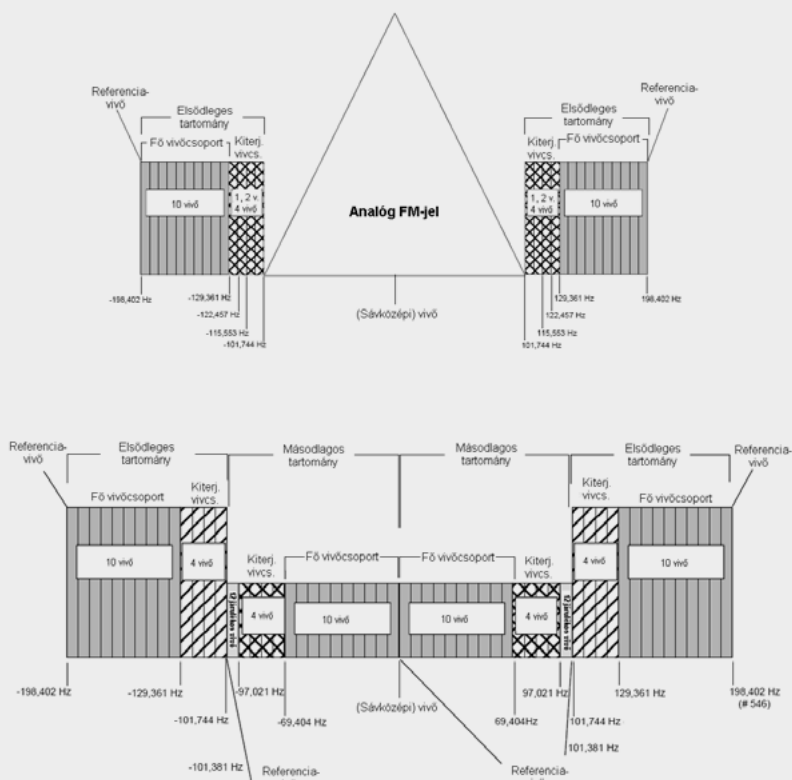
A HD-rádió

A HD-rádió az amerikai iBiquity Digital nevű cég által kifejlesztett hibrid műsorszóró rendszer, amely a hagyományos analóg FM- vagy AM- jel mellé, a csatorna két oldalára illeszt be digitális hullámakat. Az eljárást 2002-ben az amerikai Szövetségi Hírközlési Bizottság (Federal Communications Commission – FCC) jóváhagyásával az Amerikai Egyesült Államok digitális rádiós műsorszóró normájaként fogadták el.

A rendszer sajátossága, hogy a digitális tartalmat az analóg spektrum környezetében helyezi el, AM- és FM-adások esetén egyaránt, így „hagyományos” vevőkészülékekkel az analóg műsor fogható, a HD-rádió vételére alkalmas vevők pedig elkülönítik a digitális jeleket is, élvezhetővé téve a hallgató számára az értéknövelt szolgáltatásokat. A digitális átvitel összeomlása esetén ez utóbbiak képesek analóg üzemmódra visszaváltani, biztosítva a folytonos működést. Mindezek mellett a HD-rádió teljesen digitális üzemmódú működésre is képes, amennyiben analóg jelet nem kíván sugározni a szolgáltató (lásd az alábbi ábrákat).



Példa a HD-rádió AM-sávú spektrális elrendezésére



Példa a HD-rádió FM-sávú spektrális elrendezésére, rendre hibrid és tisztán digitális üzemmódban

Variációk egy témára: Sirius XM és ISDB-Tsb

Az eddig említettekén kívül „természetesen” további digitális rendszerek is léteznek, illetve léteztek világszerte. Terjedelmi okok miatt nagyon röviden, szinte távirati stílusban veszünk ezek közül sorra kettőt.

A Sirius XM vegyes felépítésű: egyvivős, QPSK modulációval működő műholdas rádiórendszer, amelyet OFDM-struktúrájú, földfelszíni adóhálózat egészít ki. A mozgó gépjármű vevője a két jel közül mindig a stabilabban vehetőre áll be. A rendszer érdekessége, hogy a műholdas és földfelszíni hálózatot gondosan össze kell hangolni ahhoz, hogy a vevő üzemmódváltása esetén ez ne legyen érzékelhető a hangszóróban!

Az ISDB-Tsb a japán földfelszíni digitális TV, az ISDB-T hangműsorszóráshoz módosított változata. OFDM rendszer lévén – tulajdonképpen az európai DVB-T „japánosított” variánsa úgy működik, hogy a rádióműsorok számára a televíziós OFDM-spektrumból különít el alvivő-csoportokat. A vevőkészüléknek elegendő akkora fizikai sáv szélességet biztosítani, amennyit a „rádiós alvivők” foglalnak el, azaz a vevő zajsáv szélessége beszűkíthető, fokozva az érzékenységet.

Méréstechnikai vonatkozások – röviden

A rádió-műsorszórás mérés technikája értelemszerűen a moduláció fejlődésével arányosan emelkedett egyre magasabb szintre. Kezdetben döntően térerősséget vizsgáltak, demodulálással egybekötve, de a demodulálás elsősorban belehallgatási célokat szolgált.

A második világháborút követően kezdtek terjedni a moduláció vizsgálatára is alkalmas mérővevők, melyek precíziós hangoló fokozattal rendelkeztek, így frekvenciamérésre is lehetett őket használni, emellett jelszintet (térerősséget), valamint frekvencialeketet vagy AM modulációs mélységet mértek, a kiválasztott működési módtól függően. Az 1980-as évekre már a demodulált jel paramétereinek (jel/zaj viszony, SINAD-érték, harmonikus torzítás, frekvencia) mérésére alkalmas fokozattal is kiegészültek ezek a műszerek.



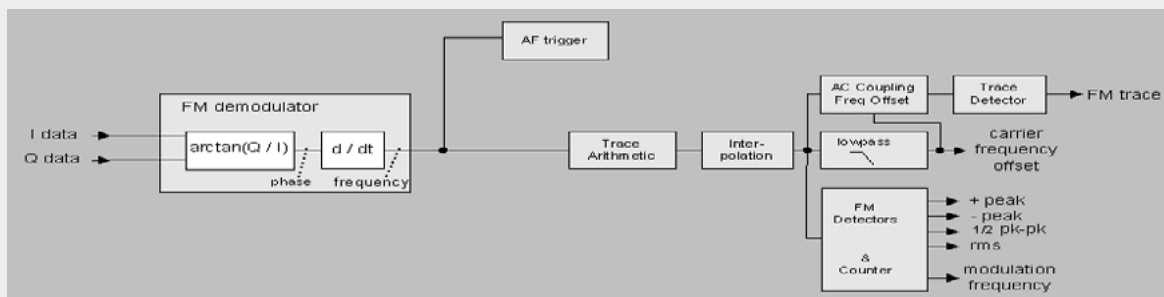
A hazai híradástechnikai ipar fénykorából: Orion-EMG gyártmányú analóg modulációanalizátorok az 1960-es és 80-as évekből (felvételek forrása: <https://regimuszerek.khanzi.5mp.eu/>)

Egészen az ezredfordulóig „tisztán” analóg mérőkörökkel rendelkeztek a modulációanalizátorok. Demodulátoraikat tökélyre fejlesztették, az FM jeleket precíziós PLL-lel, az AM-adásokat adott esetben szorzódemodulátorral analizálták. Gyökeres változást hozott azonban a digitális korszak. Matematikailag levezethető, hogy bármilyen analóg jelet (is) ábrázolhatunk két dimenzióban, I/Q-összetevőkre szétbontva, akárcsak a digitális adásokat (lásd a korábban tárgyalt konstellációs ábrákat). Ebből az is következik, hogy (akár egy digitális jelek vizsgálatára kifejlesztett) mérővevővel mintavételezve és I/Q-összetevőkre felbontva egy AM vagy FM jelet matematikai úton visszaállítható és feldolgozható az analóg jelel:

$$\text{Alapsávi AM jelek} = \sqrt{I^2 + Q^2}$$

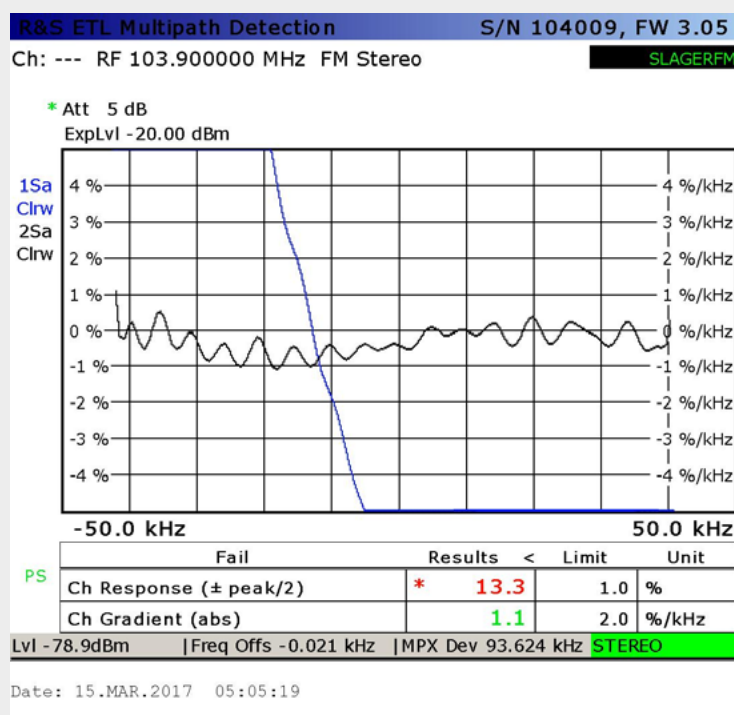
$$\text{Alapsávi FM jelek} = \frac{d}{dt} \arctan \frac{Q}{I}$$

Az elmúlt két évtizedben gyártott összes korszerű analóg modulációanalizátor ezen az elven működik (lásd az alábbi blokkvázlatot), így lehetséges többcélú, analóg és digitális jelek elemzésére egyaránt alkalmas műszereket építeni.



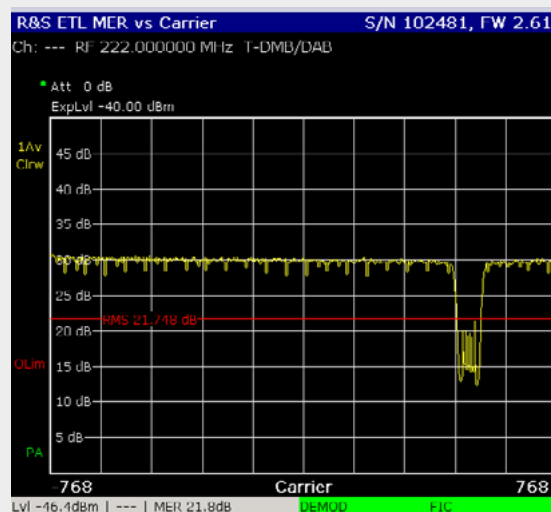
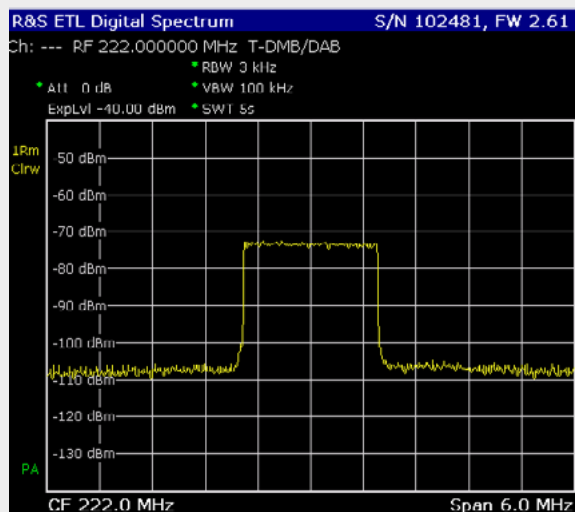
A Rohde & Schwarz ETL típusú, többnormás mérővevőjének analóg FM jelfeldolgozási láncja (forrás: R&S ETL Felhasználói Kézikönyv)

Mindez az FM jelek mélységi analizisére is kihatással van: miután memóriában tárolt minták feldolgozásával történik a mérés, lehetőség van többek között a jel statisztikai tulajdonságainak vizsgálatára is – lásd a löketeloszlásról szóló szakaszt. Mindezeken túlmenően még egy új lehetőség előtt is utat nyitott a digitális jelfeldolgozás. Löketmérés esetén ugyanis nagy problémát okoz a többutas terjedés: a reflexiók keltette lineáris torzítás az FM demodulátor utáni alapsávi jelben nemlineáris torzítást hoz létre, meghamisítva magát a löketmérést! Terepmérések során tehát kritikusán fontos, hogy tisztában legyünk a vizsgálat megbízhatóságával. FM adásokban nincs olyan segédjel, amellyel a rádiófrekvenciás lineáris torzítást közvetlenül ki lehetne mérni, de jelfeldolgozással lekövethető a vivő amplitúdójának menete a modulációs kivezérlés függvényében – vagyis felvehető a csatorna relatív amplitúdómenete. Amennyiben ennek ingadozása egy adott mértéket meghalad, és/vagy a változása (gradiense) túl nagy egy adott pontban (ami közvetetten a fázis- vagy csoportfutási idő menet radikális torzulására utalhat), akkor a vett FM jel feltehetően erősen terhelt reflexiókkal, megbízhatatlanná téve mérést. A leírtak módszertanát és konkrét határértékeit az ITU szabványosította, napjainkban a korszerű FM terepmérések részét képezi ez is.



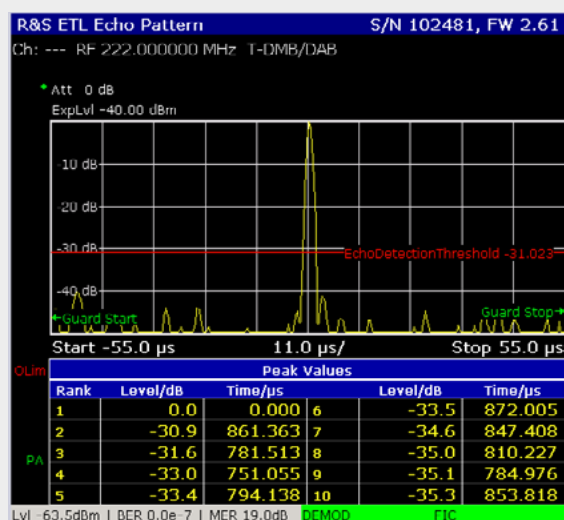
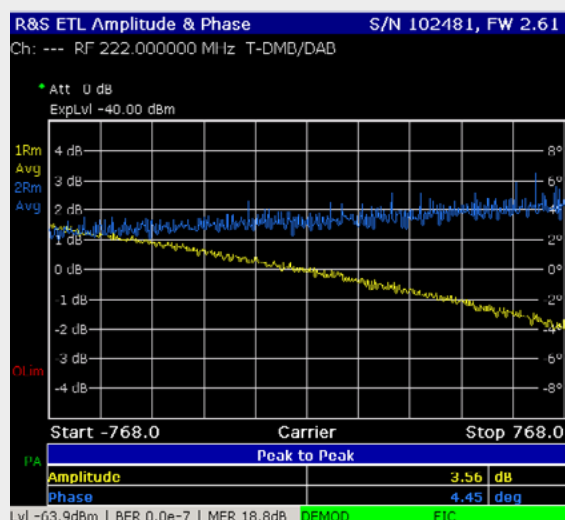
Reflexiókkal erősen terhelt FM jel mérésének megbízhatósági analizise

A digitális jelfeldolgozás természetesen a digitális jelek mérés technikáját is új dimenzióba helyezte, különösen az OFDM-adások tekintetében. Egy digitálisan modulált vivő jelminősége a demodulált szimbólumok szórásán keresztül statisztikailag jellemezhető. Erre szolgál a modulációs hiba-arány (MER), illetve a hibavektor nagyság (EVM), mindkettő elterjedten használt metrika. Egyvivős rendszerekben egyetlen ilyen értéket kapunk, OFDM jelek esetén azonban vivőnként vizsgálhatók ezek a mennyiségek, lehetővé téve saját csatornás zavarás kimutatását még akkor is, ha a zavaró jel a spektrumban nem látszik! Minden sokvivős, így a DAB- és DRM-méréstechnikának is része ez a vizsgálat.



DAB adást érő saját csatornás zavarás: a spektrumképen nem látszik, de a vivők függvényében felvett modulációshiba-arányon jól kivehető a nemkívánt jel spektruma (pontosabban annak inverze)

Az OFDM-méréstechnika másik erőssége éppen a vivőszerkezet lényegéből adódik: a pilotjelek segítségével a vevő felveszi az átviteli csatorna amplitúdó- és fázismenetét, ennek ismeretében viszont kiszámítható a terjedési út impulzusválasza, egyszerűen a komplex csatornakarakterisztika inverz Fourier-átalakításával. Ily módon ellenőrizhető, hogy hány utas és milyen késleltetésekkel terhelt a terjedés, a védelmi idő kellően hosszú-e, valamint az egyfrekvenciás hálózatok adóinak beállítása is visszaellenőrizhető.



DAB adás amplitúdó- és fázismentete, valamint az ebből számított csatorna-impulzusválasz

A RÁDIÓMŰSORSZÓRÁS ELŐZMÉNYEI

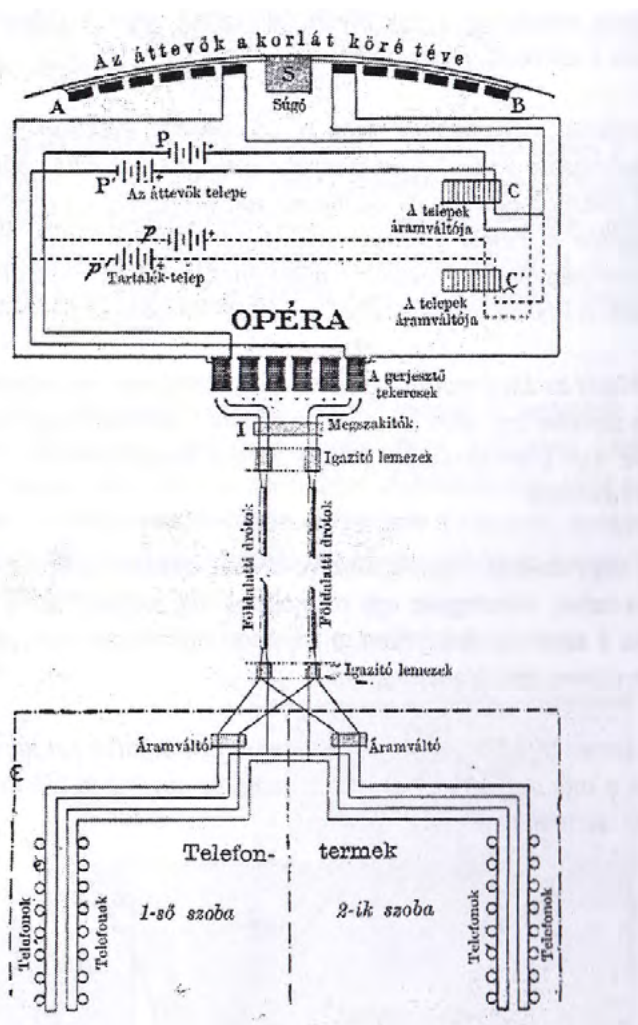
Szerző: Balás B. Dénes rádiótechnikai és tudománytörténeti szakértő

A rádióműsorszórás közvetlen elődje a mai értelemben vezetékes rádiónak nevezhető „Telefonhírmondó” volt, melyet a nyugati országokban „Broadcasting”-nak neveztek.

A Telefonhírmondót az Edison mellett dolgozó híres hazánkfi, Puskás Tivadar találta fel. Ader mérnök „dalműtelefon”-ja már 1881-ben ismert volt, ő sztereóban közvetített előadásokat vezetéken a Párizsi Operaházból a Palais de L’Industrie elektromos kiállítására. Ezt azonban csak korlátozott számú hallgatóság élvezhette, egy mikrofon-párhoz legfeljebb 8 hallgató-pár volt köthető.

padán elhelyezett mikrofonok a Vigadó I. emeleti folyosóján elhelyezett fülkébe továbbították az Ördög Robert című opera hangjait.

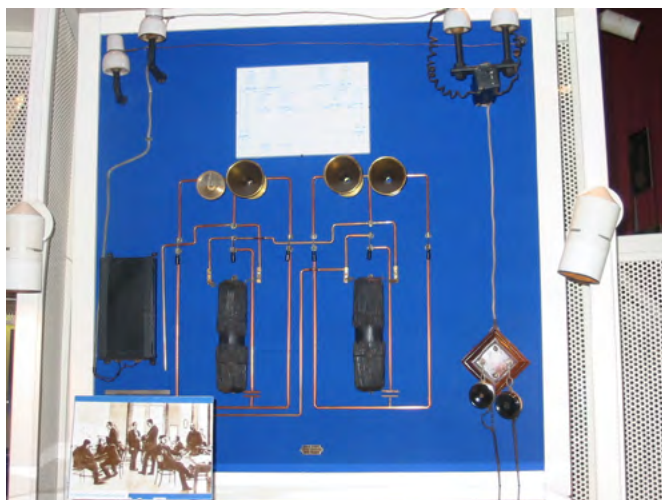
Puskás Tivadar felismerte, hogy a telefon sokkal szélesebb körű, közhasznú műsorok közvetítésére is alkalmas. Így született meg az állandó műsort és fontos információkat közlő Telefonhírmondó, a Beszélő Újság gondolata. A megvalósítás és a kísérletezések időszaka 1892. júliusában kezdődött, a szabadalmi kérvényére 46990-es számon kapott igazolványt. Időközben változtatásokat eszközöltek az egész



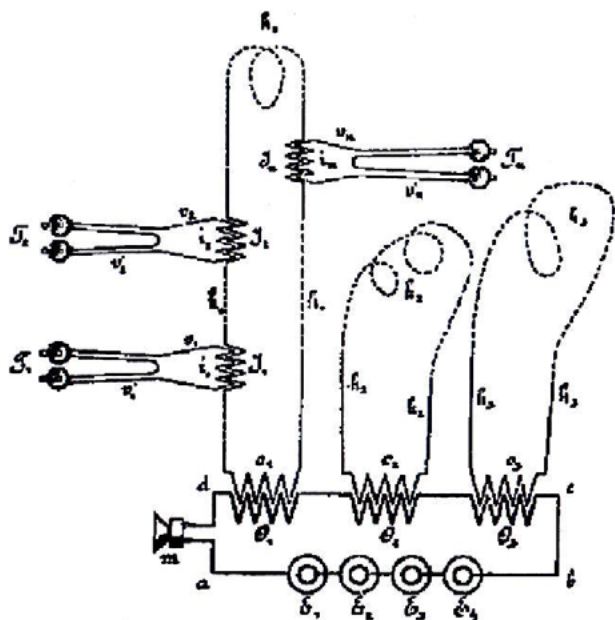
A Puskás fivérek, Tivadar és Ferenc a párizsi elektromos kiállításon megnézték és meghallgatták a kiépített „dalműtefont”, majd hazatérésük után azonnal hozzáláttak a tapasztaltak budapesti bemutatásához. Tehették ezt annál is inkább, mert a telefonhálózatot a telefonközponttal ők felügyelték és a szükséges mikrofonok, hallgatók a rendelkezésükre álltak. 1882. január 29-én a Nemzeti Színház szín-

berendezésen, leváltak a telefonhálózatról és saját önálló vezetékhálózatot hoztak létre. Ezzel megindult egy sokkal gazdaságosabb műszaki megoldás alkalmazása, mely lehetővé tette, hogy tetszés szerinti számú hallgatót elégítsen ki a központi stúdió. Ennek a megoldásnak értelmi szerzője és gyakorlati kivitelezője Szmazsenka Nándor, a telefonhálózat akkori műszaki igazgatója volt. Az új szabadalmi kérvényt

1893. február 4-én nyújtották be és megkapták a 9093-as számú igazolványt. Szmazenka javaslatára olyan hangfrekvenciás elosztó transzformátorokból álló rendszert készítettek, ahonnan vezetéken elvileg akár tízezer előfizetőhöz is eljuttathatták a műsort. A szerkesztőség és az előfizetők közé két transzformátort iktattak be, a fülhallgatókat tehát ún. tercier áram vezérelte. A szabadalmakat „Telefon újság szervezése és berendezése”, valamint „Javítás a telephon újság szervezésén és berendezésén” címmel adták meg.



1. ábra A Telefonhírmondó bemutató makettje a diósi múzeumban (a Szerző felvétele)



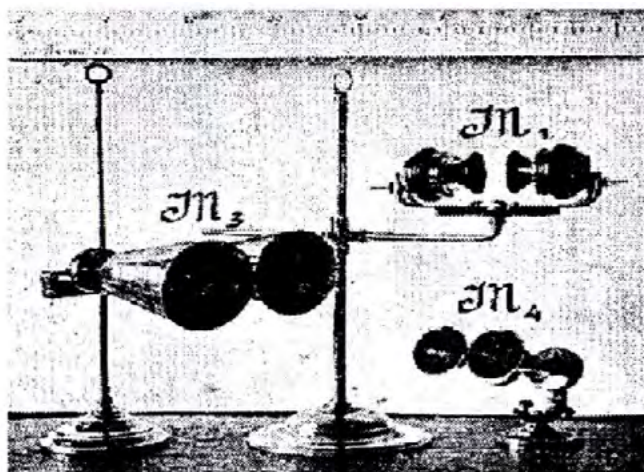
2. ábra A „Telefon Hírmondó” kapcsolása

A Magyar utca 6. számú ház első emeletén 8 szobás lakásban alakították ki a Telefonhírmondó stúdióját. Nagyon tekintélyes létszámmal, 46 munkatárssal dolgoztak, csak bemondókból 12 fő tartozott a stúdióhoz, mivel egy bemondó csak tíz percig dolgozhatott, utána gyorsan leváltották. Az ok a mikrofonok gyenge teljesítménye volt, emelt, erős hangon kellett beszélni, hogy a hallgató előfizetők halljanak is

valamit. Nagyon sok embert igényelt a hírfelügyelés és hírszerkesztés, például állandóan követni kellett a tőzsdei híreket és közölni az előfizetőkkel, akik nagyrészt jómódú kereskedők, gyárosok stb. voltak.

A szerkesztési próbák 1893. február 3-án kezdődtek, majd február 15-én reggel 9 órakor a bemondó a következő szavakkal üdvözölte az első 28 előfizetőt:

„Üdvözöljük Budapest lakosságát. Üdvözöljük olyan szokatlan módon, mely páratlan az egész világon. Üdvözöljük az első várost, amelyből a Telefonhírmondó az egész világon győzedelmes útjára indul.”



3. ábra A „Telefon Hírmondó” beszélő mikrofonjai

Az előfizetők lakásán két hallgató volt elhelyezve, egy kis csatlakozó táblán horogra felfüggesztve. Ha valaki hallgatni kívánta a műsort, csak leemelte a hallgatót a horogról és a füléhez tartotta. Megvolt a lehetősége, hogy egyszerre ketten hallgassák a bemondókat.

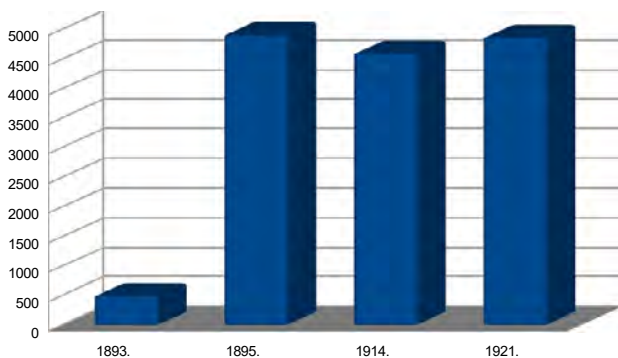


4. ábra A Telefonhírmondó előfizetői állomása a diósi múzeumban (a Szerző felvétele)

A világon először Budapesten megszólaló Telefonhírmondó lényegében a későbbi rádióműsorszórás vezetékes, fejhallgató-s változata volt. Előfizetői részére telefonvezetéken egésznapos műsort adott: híreket, pontos időt, felolvasásokat és közvetítéseket. A közvetítések olyan helyekről érkeztek, amelyek a stúdióból telefonon elérhetők voltak: belvárosi színházakból, zenés mulatókból.

Puskás Tivadar 1893. március 16-án bekövetkezett halála után a vállalatot az örökös Puskás Albert eladta Popper István budapesti mérnöknek. Közben a központot (és stúdiót) először az Erzsébet körút 24. szám alá, majd az új tulajdonos a Rákóczi út 22. alá költöztette. Popper a Telefonhírmondót részvénytársasággá alakította és attól kezdve a vállalat fejlődésnek indult.

Az előfizetők száma a következőképpen alakult:



5. ábra A Telefonhírmondó előfizetői létszámának alakulása

A drótnélküli telefonnal végzett sikeres és kevésbé sikeres kísérletek közismertek, Fessenden, Ruhmer, Nussbaumer, Slaby, Arco, Majoranna és Lee de Forest valamennyien tudtak telefonálni, de berendezéseik nem feleltek meg a műsorszórás, a „rádió-Broadcasting” követelményeinek. Ahhoz, hogy egy területet ellásson hírekkel, zenével, műsorral, nagyteljesítményű, megbízható adóberendezésekre, stúdiókra és állandó szerkesztőségekre lett volna szükség. Ez az 1910-es években sehol sem állt rendelkezésre.

A mai értelemben ismert műsorszóró rádiózás kezdetét 1911-re vezetjük vissza. Az Egyesült Államokban, a kaliforniai San Diegóban Charles Herold épített egy berendezést, ívlámpa-adóval. Ennek működéséről azonban keveset tudunk, az első európai műsorszóró adóról viszont maradtak írásos feljegyzések.

Az 1914-ben fiatalon (harmincnégy évesen) trónra került Albert belga király olyan nagy érdeklődést mutatott a rádió iránt, hogy a Brüsszel melletti laaekeni királyi nyaraló egyik épületében rádióállomást rendeztetett be. A Robert Goldschmidt által 1910-ben felállított szikratávíró a fontos belga gyarmattal, Kongóval tartotta a kapcsolatot. 1913-ban Raymond Braillard vezetésével ezen a királyi rádióállomáson egy 2 kW-os ívlámpa-adót építettek telefonkísérletek céljaira.

A laaekeni állomás az első sikeres kísérleti adások után az újságokban is közölte, hogy 1914. március 28-tól, rendszeres műsorszugárzást indít. A nagyközönség áprilisi tréfának tartotta a közleményt, de a pár százra tehető belga és észak-francia rádióamatőr közül több is fogta az adásokat. Leveleikben kérték a királyi rádióállomást, hogy a kísérleteket előre meghatározott időpontban sugározzák. A rádióállomás ettől kezdve minden szombaton délután 5 és 6 óra között adott műsort. Ez eleinte csak beszédből állt, később gramofont állítottak a mikrofon tölcseire és zenével tették változatossá az adásokat. Az első hangverseny azonban élő zenével, énekesekkel a királyi család jelenlétében zajlott.

A laaekeni szombati hangversenyek 1914. júliusáig folytatódtak, majd a háború kitörése után megszűntek. A német császári csapatok 1914. augusztus 20-án foglalták el Brüsszelt és a harcok közben a laaekeni rádióállomás elpusztult. A műsorszórás lehetősége, főleg ahogy a műszaki feltételek egyre kielégítőbbek lettek, állandóan izgatta a szakembereket. Érdekes módon a háborús viszonyok sem jelentettek mindig akadályt. Még a háború alatt, 1917. áprilisában Dr. Hans Bredow mérnök, Alexander Meissner fizikus közreműködésével (német híradó tisztként) a Königs Wusterhausen-i katonai rádióállomás egyik ívfényadóját felhasználva modulációs kísérleteket folytatott és alkalmanként újsághíreket, harmonika muzsikát közvetített távíráskatonák részére. Majd ebben az évben a nyugati fronton is megjelent és kisebb, rövidhullámú hordozható készülékek felhasználásával (a moduláláshoz szükséges berendezést is katonai készülékek alkatrészeiből állították össze) ugyancsak egy kis műsorral szolgált katonatársainak. Felettesei hamarosan leállították ezt a tevékenységét, ám Bredow 1919-ben már civilként tovább folytatta kísérleteit. Megbízást kapott a naueni adóállomás rendbehozására és a meginduló távíróforgalom mellett hírek bemondásával kísérletezett. (Ezúttal személyesen a német postaügyi miniszter dorgálta meg. A fejlődés azonban elsöpörte az akadékoskodókat, az idő Bredow-ot igazolta.)



Bredow mérnök a nyugati fronton

1919 után Magyarországon lassan konszolidálódott az élet, a Magyar Királyi Posta rendbe hozatta a csepeli szikratávíró állomását és megkezdte a külföldre irányuló távíró forgalmazást.

A Posta Kísérleti Állomás külföldi példák nyomán ún. telefónia kísérletekbe kezdett különböző állandóhullámú (tehát nem szikratávíró) berendezésekkel. Ezek a kísérletek vezettek az első 2 kW-os Telefunken adó megvásárlásához és a Telefonhírmondó stúdióinak igénybevételéhez.

1922-ben a Telefonhírmondó vállalatot átvette a Magyar Távirati Iroda, majd 1925-ben megalakult a Magyar Telefon Hírmondó és Rádió Részvénytársaság. Az 1925. december 1-jével kezdődött rádióadásokhoz a Rákóczi úti stúdiót vették igénybe. De minderről sokkal részletesebben a következő oldalakon szólunk...

Az amplitúdómoduláció fénykora

A HAZAI RÁDIÓZÁS TÖRTÉNETE AZ I. VILÁGHÁBORÚTÓL A Solti Nagyadóig és az első URH-kísérletekig

A középhullám térhódítása

Szerző: Balás B. Dénes rádiótechnikai és tudománytörténeti szakértő

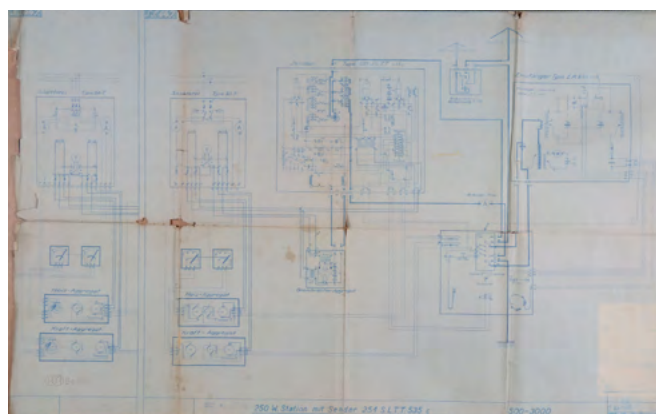
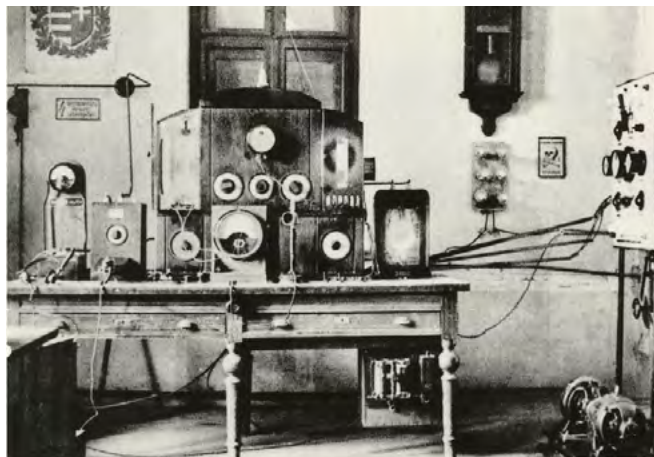
Az első telefónia kísérletek a Huth-adóval

A csepeli szikratávíró állomás építésével és üzembeállításával 1914-ben megkezdődött Magyarországon – az akkor legújabb távközléstechnika – a rádiótávíró korszaka. S alig hat-hét évvel később Európa nyugati feléről „rádióhullámok érkeztek” a páratlan szórakozási lehetőség, a Telefonhírmondó és a rádiótelefon egyesítéséhez.

Az 1914-es belga laaekeni műsorközvetítések után Európában elsőként Angliában Chelmsfordból, Franciaországban az Eiffel-toronyból, Németországban Königs Wusterhausenből és Dániában szólaltak meg rádiótelefon-adóállomások, beszédet és zenét közvetítve.

A Magyar Királyi Postának a Gyáli úton lévő Kísérleti Állomása foglalkozott a távközlés újdonságainak magyarországi bevezetésével, így a mindenki által fogható rádiótávbeszélő kipróbálása és elterjesztése az ő feladatuk lett. A Gyáli úton kialakított vevőállomás távírásai hangolás közben ráakadtak a nyugat-európai műsoradásokra, és a Kísérleti Állomás mérnökei hamarosan saját fülükkel hallhatták a külföld próbálkozásait.

A magyarországi kísérletek **1923. március 2-án** kezdődtek Csepelen a – Kísérleti Állomás által vásárolt – Huth rendszerű, 250 W-os távíró-telefon adóval. Bár ezt az adót mindenki, mindenütt 250 W-osnak nevezi, a fóniakísérletek szempontjából csak kb. 60 W-ot adott le, mivel ebben az üzemmódban a névleges teljesítményének csupán egynegyedét sugározta ki. A berendezés eredeti fényképe és kapcsolási rajza az 1. ábrán látható.



1. ábra A Huth-adó eredeti helyén Csepelen és mai állapotában Diósdon (minden műszert, forgatógombot leszereltek róla – Balás Dénes felvétele), eredeti kapcsolási rajzával

Egy tévedés helyreigazítása...

A Magyar királyi Posta által 1923-ban vásárolt két darab 250W-os un. Huth-adó, melyekkel az első telefon adáskísérletek folytak, a valóságban nem német, hanem magyar gyártmányok voltak, a berlini Huth cég engedélyével a budapesti Telefongyár készítette őket.

Az eredetével kapcsolatos félrevezető információk „A 10 éves Magyar Rádió” című kiadvánnyal kezdődtek és Sugár Gusztáv „A magyar rádiózás története a felszabadulásig” című könyvével folytatódtak, melynek 61. oldalán olvasható az előbbi könyvből átvett, a tévedés alapját képező gondolat: „Egy alkalmas berendezés kiválasztására németországi tanulmányútra küldték Erdöss Gyulát és Jurcsek Viktort, akik 1923-ban a berlini Huth-cégtől meg is vásároltak két darab 250W teljesítményű, távíró és távbeszélő üzemre egyaránt alkalmas berendezést.” Paskay Bernát azonban, aki az adóval kapcsolatos kísérleteket vezette és irányította, a „Rádió kincsestára” című könyvében egy fontos mondatot közöl: „**A m. kir. Posta már 1922-ben a Telefongyár r.t.-nál „Huth”-rendszerű 250 Watt teljesítményű távíró- és telefonüzemre alkalmas rádióadót rendelt meg, és azt 1923. év tavaszán üzembe helyezte.**”

A berendezés tehát nem Németországból érkezett, legfeljebb a Huth-cégnél a gyártási engedélyt kellett intézni, esetleg fizetni. A két darab rádióadót a Telefongyár RT. készítette és a második példányt a Soproni postahivatal épületébe vitték, hogy elegendő távolság legyen a két készülék közötti kísérleteknél. Mint egyéb források említik a telefonadás kísérletek a két készülék között jól sikerültek, azután a budapesti készüléket MTI hírek sugárzására fogták be, de nem tudni, hogy a sopronival mi lett.

Rádió-műsorsugárzási kísérletek

A következő két évben, 1923/24-ben, a hazai rádió-műsorszórás egyik meghatározó alakja, Magyar Endre mérésekkel, műszerek készítésével, erősáramú zavarok vizsgálatával foglalkozott. Közben és „mellékesen” belekerült a rádiózás sűrűjébe, Paskay Bernáttal, a Kísérleti Állomás főmérnökével együtt a rádiótávbeszéléssel kísérletezett. A kisteljesítményű Huth-adót a Csepeli rádióállomáson helyezték el, telepítését – egyes források szerint – már Magyar Endre végezte. Bizonyosra vehető, hogy a nagytapasztalatú Tolnai Henrik segítette, irányította a telefonadó állomás berendezését. Az első próbákon a mérnökök számoltak, illetve szövegeket olvastak be a mikrofonba, majd a kezelő műszerész, Marczal János énekelt. Hogy a folytonos énekléstől mentesítsék a műszerészt, Paskay egy lemezjátszót vitt ki az állomásra.

Ezek a hangok szóltak meg először a vevőkészülékeken, 1923. májusában és nyarán. A kísérletek befejeződésével a kisteljesítményű berendezést 1923. szeptemberében adták át az Magyar Távirati Iroda részére.

Bár a Huth-adó az MTI kizárólagos használatára szolgált, „szabálytalan” dolgok történtek a segítségével: illetéktelenül százak hallgatták és 1924. március 15-én a nemzeti ünnep alkalmából Gróf Apponyi Albert, az MTI Városház-utcai helyiségéből üdvözölte az orvhallgatót, de „Mélyen tisztelt láthatatlan közönség”-et. Nem sokkal később ez az adó sugározta a hangversenyt az Állatkerti bemutató részére 1924. május 21-én és 22-én.

Az Állatkerti bemutató szinte lavinát indított el, divatossá vált és különböző intézmények kérték, hogy tartsanak részükre **rádióbemutatót**. Ilyen alkalmi bemutatót rendeztek a Magyar Írók Egyesülete, a Ludovika Akadémia, a Piarista Gimnázium, majd néhány vidéki város hallgatóságának kérésére. (Ezek a bemutatókon a Csepeli állomáson mikrofonba mondott, énekelt vagy gramofonról szóló számok szerepeltek.) Amikor a Szent György Klub vezetői májusban megkeresték a Kísérleti Állomást azzal a kéréssel, hogy náluk is tartsanak rádióbemutatót, a mérnökök megemlésték a stúdió hiányát, mint akadályt. A beszélgetés eredményeként a Szent György Klub kibérelt és a Kísérleti Állomás udvarára hozatott egy bútorszállító kocsit, melynek belseje vastagon párnázott volt. A kocsiba szereztek egy pianínót, beállítottak egy állványos mikrofont és megszületett az első magyar rádióstúdió (2. ábra).

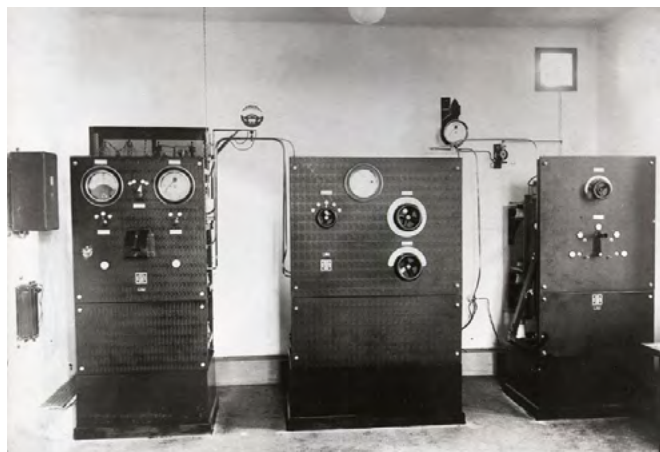


2. ábra Az LGT slágeréből is jól ismert első hazai „stúdió”

Nagy előrelépést jelentett a **Telefunken 2 kW-os adója** (3. ábra), amely 1925. januárjában érkezett Csepelre és 1925. tavaszán telepítették a csepeli rádióállomásra. Áprilisban kezdték a próbasugárzásokat.

Az adóberendezés négy állványból és a tápfeszültségeket biztosító forgógépekből állt. Az első szekrényben volt a két darab 1 kW-os adócső, melyek párhuzamosan kapcsolva öngerjesztett oszcillátorként működtek, az akkori technikai színvonalnak megfelelően elválasztó- és végfokozat nélkül. Az antennakörthöz való elválasztást a második szekrény rezgőkörrel biztosították (közbenső kör), míg a harmadik szekrényben az antennakör elemei voltak. A negyedik állvány a generátorok kapcsolására szolgált. A modulációt egy kis-

teljesítményű cső végezte, természetesen az első szekrénybe építve. A Telefunken által alkalmazott modulációs rendszer az ún. rácsegyenáram-moduláció volt, melynek előnye, hogy kis modulációs teljesítménnyel viszonylag nagy energiát lehet vezérelni. (A Rádió-Röntgen című folyóirat egyik 1924-es száma írta a 2 kW-os adóról: „...az alkalmazott rácsáram moduláció olyan hatásos, hogy 10 W teljesítménnyel akár 1,5 kW-ot is lehet modulálni.”)



3. ábra A 2 kW-os Telefunken adóberendezés

1925. májusában már készen áll a Telefunken-adó akár üzemszerű műsoradásra is, de hivatalosan senki sem akarja használni. A sajtó, a Magyar Rádió Újság sürgetésére és a

nagyközönségtől beérkező levelek miatt ideiglenesen mégis valamilyen műsoradásról kellett gondoskodni. A Kísérleti Állomás 1925. májusában egy másfél hónapos kísérleti műsoradást határozott el, elsősorban tapasztalatszerzés céljából.

A Kísérleti Állomás Elektromos Osztályán mindenkit bevontak a műsor készítésébe, még a kor egyik hazai kiválósága, Tomits Iván kislányának is szerepelnie kellett. Magyar bemondóként minden adás előtt négy nyelven, németül, franciául, angolul és magyarul jelentkezett: „Halló, halló, itt a magyarországi rádióhírmondó két kilowattos leadóállomása az 565 méteres hullámhosszon.”

A hallgatóközönséggel való kapcsolat akkor rendkívül közvetlen volt, aki akarta telefonálhatott a Kísérleti Állomásra és elmondhatta a véleményét. A másik módszer a levélküldés volt. Előfordult, hogy valamilyen műszaki probléma miatt Magyar elkáromkodta magát és a mikrofon nem volt kikapcsolva... Már másnap szemrehányó levelek érkeztek, hogy ennyire a mérnök úr nem feledkezhet meg magáról!

A rendszeres rádióadás elindításának jogi háttérét egy 1925. november 10-én kihirdetett rádiórendelet adta, melynek értelmében a műszaki alapokat a Magyar Királyi Posta, a műsortartalmat pedig Telefontárhírmondó Részvénytársaság biztosította. **Történelmi pillanat 1925. december 1. volt, amikor Demény Károly államtitkár, a Magyar Királyi Posta vezérigazgatójának rádiós beszédével kísérve délután 5 órakor felavatták a Magyar Telefontárhírmondó és Rádió Rt.-t. A folyamatos rádió-műsorsugárzás este 8 órától indult meg.**

Amikor 1925. április 30-tól megkezdődtek a próbaadások a 2 kW-os adóval, a Magyar Rádió Újság arra biztatta az (orv)hallgatókat, hogy vételi megfigyeléseiket írják meg, akár az újságnak, akár közvetlenül a Posta Kísérleti Állomásának.

A megfigyelésekből pár év alatt összeállt egy térkép, mely, ha nem is a térerősség megoszlást, de legalább a különösen kedvezőtlen vételi helyeket tartalmazta. Így derült ki, hogy Miskolc és Ózd környékén van egy olyan terület, ahol egyszerűen képtelenség fogni a Budapesti adást. Valószínűleg ez a tapasztalat is közrejátszott abban, hogy a harmincas évek elején Miskolcra telepítették az egyik közvetítőadó-állomást (az ismétlőállomásokat nevezte akkoriban „közvetítőállomásnak” a Posta – a szerk.).

A Posta vezetői és a Kísérleti Állomás mérnökei előtt nyilvánvaló lett, hogy a 2 kW-os adó teljesítménye semmire sem elég. Bár a szomszédos államokban hasonló kis berendezésekkel indult a műsorszórás, ott is egyre bizonyosabbnak tűnt, hogy üzlet csak akkor lesz belőle, ha nagy területet sikerül besugározni. Nagyteljesítményű adóállomásra volt szükség.

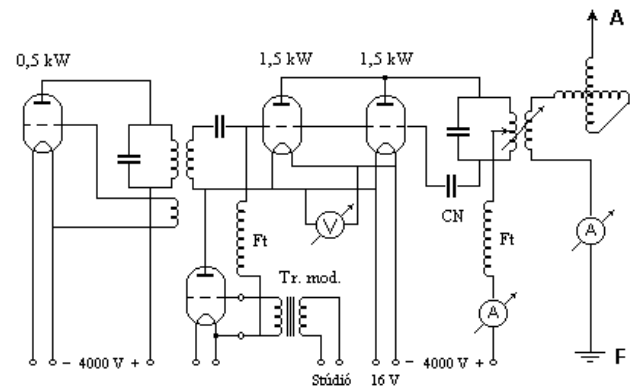
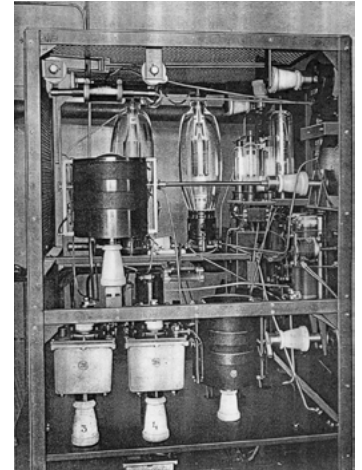
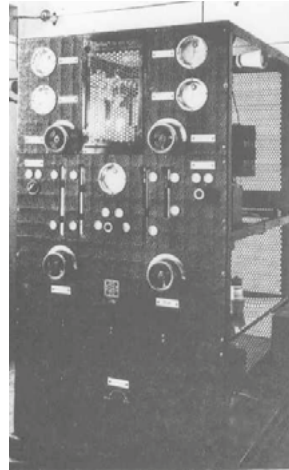
Tárgyalások egy nagyadóról – a 3 kW-os adó

1926. szeptemberében Magyar Endre és Alkér Tibor, a Berlin-Prága-Bécs útvonalon tett tanulmányútja során meglátogatta a Német Posta Königs Wusterhauseni rádióállomását, ahol az akkori Európában legnagyobbként tartott Telefunken adókat tekintették meg. Míg a húszas évek elején még az 1 kW-os csövek is csodaszámba mentek, ebben az időben már 20 kilowattos adócsöveket gyártottak és ezek párhuzamos kapcsolásával 60 kW táviróüzemi teljesítményű adókat tudtak készíteni. Telefónia üzemben ugyanezekkel a csövekkel névlegesen 20 kW antennatelsítmény volt elérhető. Königs Wusterhausenben működött ekkor egy ilyen 20 kW-os telefónia adó, mely a Német Rádió „Deutschland-sender” programját sugározta, és ugyanebben az időben épült a Rajna-vidéken a „Rheinlandsender” egy hasonló Telefunken adóval. A tanulmányúton lévő mérnökök számára nyilvánvaló lett, hogy a németek sorozatban gyártják ezeket a nagyadókat és azok megbízhatóan működnek.

A látogatást követő tárgyalások során Magyar világossá tette a Telefunken számára, hogy a megrendelést csak akkor kaphatják meg, ha demonstrálják a hangszín javulását, a géphang (morgás) csökkenését a 2 kW-os adóhoz képest.

Ezt a 3 kW-os Telefunken műsorszóró-adót (4. ábra) is a csepeli rádióállomáson helyezték el, de nem a 2 kW-os adóépületében, hanem a távirda épületében. Az egyetlen szekrényben, két darab 1,5 kW-os adócsővel felépített telefonadót forgó-generátoros áramellátására tervezték. Anódgépét két darab sorba kapcsolt, egyenként 2 kV feszültséget szolgáltató dinamóból és a közöttük elhelyezett háromfázisú meghajtómotorból állították össze. Anódfeszültsége tehát 4 kilovoltos volt, akárcsak a 2 kW-os adó esetében, modulációs rendszere is a Telefunkennél szokásos rácsgegyenáram-moduláció volt, de a 2 kW-os adóhoz képest lényeges eltéréssel: akkumulátor szolgáltatta a rácsfeszültséget, így a végerősítőcső rácsára teljesen „sima”, zűgásmentes feszültség jutott. Csak így tudták kiküszöbölni a 2 kW-os adónál meglehetősen zavaró „géphangot”.

Az olcsó árhoz hozzájárult a magyar fél segítése is, Magyariek elvállalták, hogy az erősáramú kapcsolótáblát házilag elkészítik. Az évek óta üzemen kívül álló szikraadót Csepelen ekkor szedték szét és rezgőkörének márványtáblás állványát használták fel az új kapcsolótábla elkészítéséhez. Azokban az években ez is eseményszámba mehetett, mert a Posta Kísérleti Állomás munkatársai az elkészült kapcsolótáblát gondosan lefényképezték.



4. ábra A 3 kW-os Telefunken adó és egyszerűsített kapcsolási rajza

A 3 kW-os adót 1927. januárjában kezdték telepíteni a Csepeli rádióállomáson, s az adásp próbák egész tavasszal folytak. Igazi kísérleti adó volt, nem várták tőle a vételkörzet jelentős nagybodását, inkább a megbízhatóságon és a jó hangszínezeten volt a hangsúly. Magyar „A 3 kW-os adónk” címmel ismertette az új berendezést a Magyar Rádió Újság 1927. július 30-i és augusztus 6-i számában.

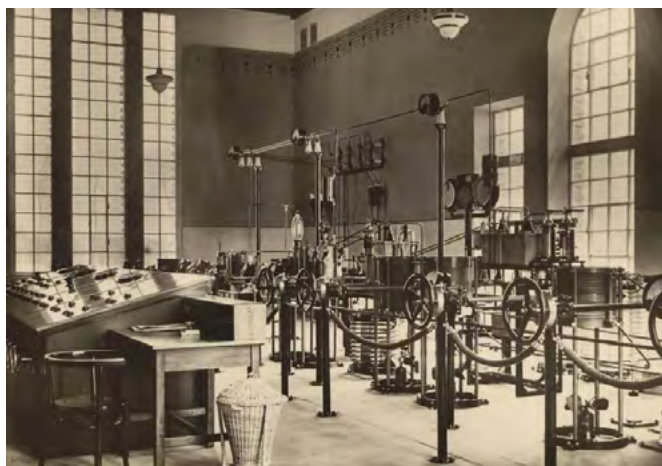
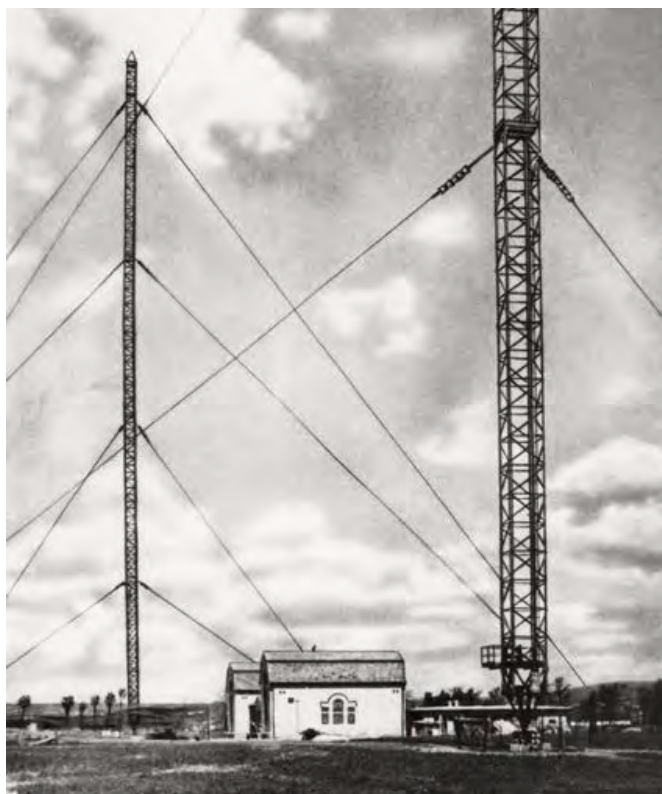
Műsorszóró adóállomás építése Lakihegyen

Paskay Bernát igazgató-főmérnök az épületek tervezését Fuchs Emil mérnökre, a teljes építés vezetését Magyar Endrere bízta. Ahogy a próbaadások visszaigazolták a 3 kW-os adó jó tulajdonságait, Magyar Endre megfogalmazhatta a lakihegyi 20 kW-os adó tervét, elindíthatta megrendelését. A szerződést 1927. március 29-én kötötték meg a Telefunkenkel.

Külön gondot jelentett az állomás helyének kiválasztása. Míg a kisebb Telefunken-adók – így a 3 kW-os is – a csepeli rádióállomáson üzemeltek, az új nagyadót máshova kellett telepíteni, mert a csepeli rádióállomás területe akadályozta az akkor ígéretes Dunai teherszállítás egyik főbázisának, a csepeli Szabad-kikötőnek a bővítését. (Ma a Szikratávíró utca, Raktárak és a kikötő északi medencéje van az egykori rádióállomás helyén.) A választás – több helyszín megtekintése után – a lakihegyi 20 kW-os adó helyére esett.

tése után – végül Lakihegy-pusztára esett. Kevés szó esik arról, hogy miért telepítették a közép- és hosszuhullámú adókat mélyfekvésű vizenyős területekre, folyó és tópartokra. Az 1910-es évekre alakult ki ez a gyakorlat nemzetközi tapasztalatok alapján, mert rájöttek, hogy fontosabb az antenna alatti földhálózat (Thomson-tükör) jó földkapcsolata, mint az antenna magassága.

Az építkezés 1927. szeptemberében kezdődött és egyidejűleg az antennatartó tornyok szerelését is megkezdték. Két 150 méter magas, szigetelt acéltornyot építettek egymástól 290 méterre és ezek közé feszítettek ki egy 5-szörös T-antennát. A tornyokat Telefunken tervek alapján a MÁVAG készítette és építette fel. Az épület két nagyobb teremből és az azokat összekötő részből állt. Az egyik nagyterem lett maga az adóterem, a másik a forgógépek helyisége.



5. ábra A lakihegyi adóállomás kívülről és belülről az 1920-as évek végén

Az elkészült adóberendezés mai szemmel nézve több furcsaságot is tartalmazott. Először is teljesen nyitott volt, a kezelők felé semmilyen árnyékolást nem létesítettek, szabadon sugárzott szét a teremben (5. ábra). Az antenna visszasugárzása ellen viszont vörösréz lemezekből árnyékolást készítettek a padlásra. Nyitott volt fizikai értelemben is, feszültség alatt be lehetett menni a belsejébe, csak egy kötélkordon jelezte a kezelőknek, hol ér véget a kezelőtér és hol kezdődik az adó... A tekercsek, variométerek, kondenzátorok, csőki-gyók, műszerek, szigetelők és a csőfoglatok „lábakon” álltak, a padozatra erősített acélcső-oszlopok tartottak minden alkatrészt.

A tápfeszültségeket forgógépek állították elő, kivéve a végcsövek 12,5 kV-os anódfeszültségét, melyet higanygőz egyenirányítóról nyertek. A forgógépek között volt „izzító-gép”, „rács-gép”, sőt „anód-gép” is, mert a meghajtófokozat anódfeszültségét is motorgenerátor szolgáltatva (6. ábra). Maga az adó három fokozatból állt, egy 2,5 kW-os adócsőre épített öngerjesztésű oszcillátorból, egy 20 kW-os csővel készített meghajtó fokozatból és három darab párhuzamosan kapcsolt 20 kW-os csővel kialakított végfokozatból. Modulált antennateljesítménye mintegy 18 kW lett. Modulációs rendszere takarékos, ha nem is túl korszerű volt, még mindig a Telefunken szabadalmát képező rácsegyenáram-modulációt alkalmazták.

Az adó fő előnye nyilván az olcsósága volt, ez azonban a modulációs rendszeréből és a nyitott szerelési módból következett. A Telefunken ajánlotta a kW-ra vetített legalacsonyabb költséget, ennek azonban ára volt.

A 20 kW-os adó 1928. április 29-én délben vette át a sugárzást a 3 kW-os adótól.



6. ábra A forgógépek terme (rácsgép, fűtőgép stb.) Lakihegyen

Viszonylagos korszerűtlensége ellenére, ez a berendezés volt az első vízhűtéses adóberendezés Magyarországon és ennek volt Európában az első között kvarc rezonátoros frekvencia-szabályozása. Üzembehelyezésével a detektoros vétel határa azonnal megnőtt, csöves vevőkészülékekkel pedig egész Európában hallható lett a Magyar Rádió. Egy magyar ten-

gerésztiszt levélben jelentette a Kísérleti Állomás felé, hogy az Adriától Portugáliáig hajózva minden nap jó minőségben tudta hallgatni Budapest műsorát.

A Standard nagyadója Lakihegyen

1928-ban, a lakihegyi 20 kW-os Telefunken „nagyadó” átadása után, hamarosan felmerült a Magyarországi rádióhálózat továbbfejlesztésének kérdése. Egyrészt külföldön még nagyobb, most már 100 kW-os adók építéséről érkeztek hírek, másrészt az ország és a határon túlra került magyarlakta területek nagy része ellátatlan maradt, nem jutott el hozzájuk a Magyar Rádió műsora.

A 20 kW-os adó által besugárzott terület felmérése után a Posta Kísérleti Állomáson Magyar Endre végzett számításokat arra vonatkozóan, hogy milyen berendezésekkel lehetne az egész ország műsorellátását megfelelő térerősséggel megoldani. Mikor a megfelelő térerősséget említjük, akkor a detektoros vevőkészülékek számára szükséges térerősségről van szó, ugyanis ebben az időben – különösen vidéken – a lakosság többsége csak ezeket tudta megfizetni és kezelését elsajátítani. További problémát jelentett – ugyancsak vidéken – a villamos hálózat hiánya, ami miatt a csöves készülékeket – a méregdrága telepek miatt – csak jómódú emberek voltak képesek üzemeltetni. **Például 1928-ban az összeírt 168553 előfizető 62,5 százaléka, vagyis 105430 fő használt detektoros készüléket, főleg Budapest vonzáskörzetében, az adóállomáshoz közel.**

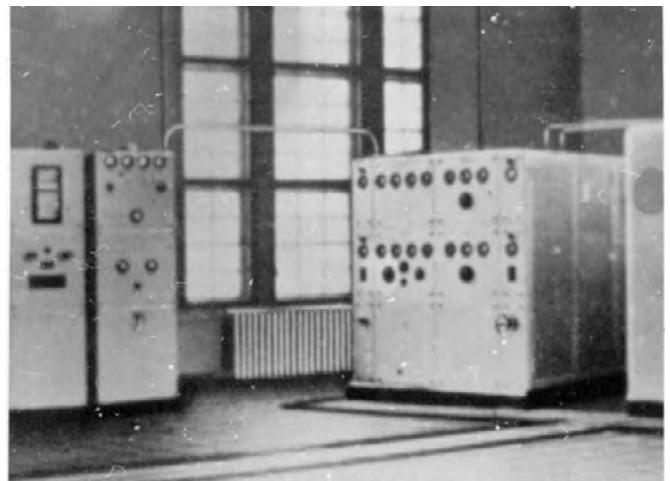
Magyarai számításai szerint tíz darab 10 kW-os adóra és egy 100 kW körüli központi adóra lett volna szükség a megbízható detektoros vétel eléréséhez. A teljes hálózat felépítéséhez szükséges pénz azonban sem a Postának, sem a rádiótársaságnak nem állt rendelkezésére. Ahogyan ez lenni szokott ilyen esetekben, a Posta Kísérleti Állomáson 1931-ben egy takarékos változatot terveztek, egy központi nagyadóval és az úgynevezett fading határon kívülre telepített négy kisteljesítményű közvetítőadóval.

A rádióadók gyártására kiírt pályázatot 1931-ben az újpesti Standard Villamossági Rt. nyerte meg és vállalta, hogy a kisebb közvetítőadókat egy éven belül átadja. A megrendelt öt adó kisteljesítményű fokozatai a 600 W-os erősítőig teljesen egyformák voltak, úgyhogy ezeket egyszerre és sorozatban lehetett gyártani. Szerkezetükben a 600 W-os meghajtó fokozat után következtek az eltérések: a három darab 1,25 kW-os adóban (ezek Magyaróvár, Miskolc és Pécs részére készültek) négy darab 1,5 kW-os adócső képezte a végfokot, a nyíregyházi 6,25 kW-osban két darab 20 kW-os. A Lakihegyre szánt 120 kW-os nagyadóban két darab 30 kW-os adócső (12 kW-al) mint közbenső erősítő dolgozott a 120 kW-os végfokra. Külön érdekesség, hogy Lakihegyen az adóépületet bővíteni kellett, hogy legyen helye az új berendezésnek. A két gépteremből és összekötő folyosóból álló

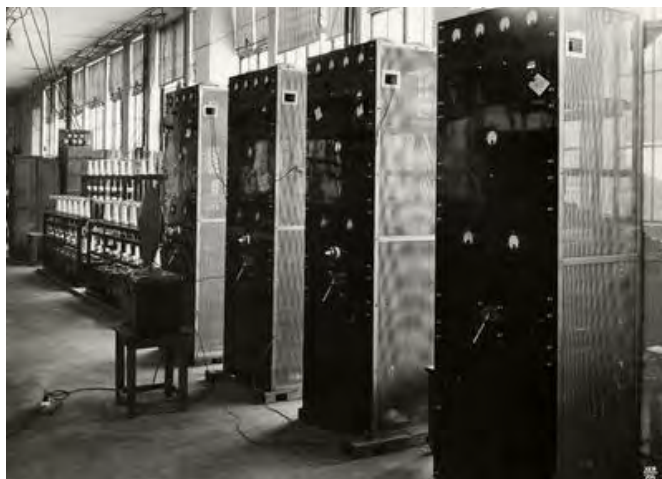
épület mellé egy harmadik géptermet és újabb összekötő folyosót építettek.

A Standard gyárban a négy kisadó és a lakihegyi adó 600 W-os része 1932 végére készült el.

A Standard 1,25 kW-os kisadóinak a „lelke” (mint minden rádióadónak) az oszcillátor volt, amelyet rendkívüli gondossággal terveztek meg. Az adóblokkba beépítettek egy kvarcoszcillátort három külön kristállyal és lehetőség volt kristályok nélkül folyamatosan hangolható öngerjesztésű oszcillátor használatára is. Ezek az oszcillátorok egy-egy árnyékolt fémdobozban helyezkedtek el a blokkon belül. Mindez még nem volt elég a tervezőknek, az adóblokkon kívül egy külön szekrényben helyezték el a tulajdonképpeni üzemi oszcillátort: egy fűtött termosztátba helyezett, nagypontosságú kvarcoszcillátort, háromfokozatú erősítővel. (Az adónak így három oszcillátor állt rendelkezésre, egy üzemi és két tartalék.) A termosztáton belül is gondoskodtak tartalékról, két kristályt építettek be, az egyik meghibásodása esetén a termosztát kinyitása nélkül lehetett a tartalékra átkapcsolni. (Feltehetően a kristálygyártás és a foglalatok gyártása még gyerekcipőben járt, ezért kellett öt darab kristály egyetlen adóhoz; lásd 7. ábra). A nagyfrekvencia három erősítő fokozat után 2,5 W teljesítménnyel, koaxiális vezetéken jutott át az adóblokkba. Egyébként az üzemi kvarcoszcillátor berendezést nem a Standard, hanem egy francia cég készítette (8. ábra).

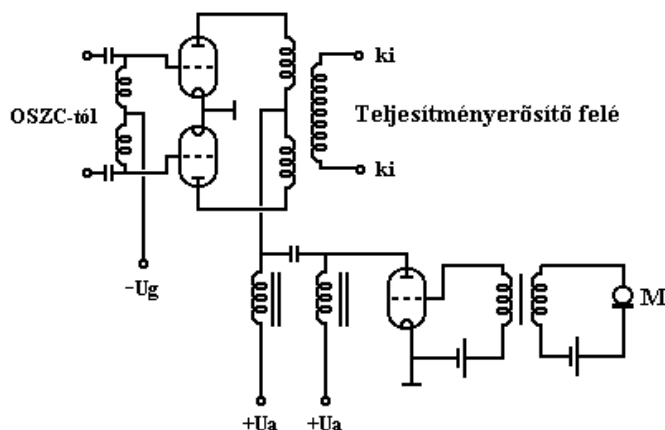


7. ábra Kvarcoszcillátor és az „oszmód” egység Lakihegyen



8. ábra Négy francia gyártású kristályoszillátor a Standard gyárban

Az oszcillátor utáni csatoló fokozatok 50 W-os csövekkel készültek, a második fokozattól 75 W-os szimmetrikus (ellenütemű erősítőkből álló) felépítéssel. Ugyancsak 50 és 75 W-os csövekkel épült az ellenütemű modulált erősítő, mely a hangfrekvenciát két 1,5 kW-os adócsővel készült modulátor erősítővel a hasonló felépítésű 600W-os fokozatnak adta át (9. ábra).



9. ábra A Standard adóiban alkalmazott (Heising-rendszerű) modulátor elvi kapcsolási rajza

A közbenső 12 kW-os erősítő 30 kW-os csövekkel épült, a 120 kW-os végerősítő ellenütemben két-két 120 kW-os víz-hűtésű adócsővel működött. Ezek a fokozatok egy különálló gipsz-rabitz építményben helyezkedtek el, melynek falazatában rézhuzal háló biztosította az árnyékolást. A végfokozatról 750 méter hosszú tápvezeték jutott ki az energia a 314 méter magas Blaw Knox rendszerű antennára.

Ez a Standard konstrukció jóval korszerűbb volt, mint a négy évvel korábban készült Telefunken berendezések, többek között azért is, mert egyáltalán nem tartalmazott forgógépeket. A tápfeszültségeket a közcélú villamoshálózatból transzformátorokkal és réz-oxid egyenirányítókkal átalakított feszültségekből nyerték, a végfokozat 5kV-os anódfe-

szültségét pedig külön szekrényben elhelyezett higanygőz csövek egyenirányították.

Hazánk ékköve: a lakihegyi antennatorony

A műszaki szerkezetek között külön nevezetes a ma 314 méteresnek nevezett, függőlegesen sugárzó antennatorony, melyet magyar mérnökök a nagyobb magyarországi szélerhelés miatt átterveztek és a MÁVAG munkásai segítségével felépítettek. A jó hatásfokú, félhullámhosszú, önsugárzó antenna-tornyok elsőnek az Egyesült Államokban (Bostonban és Wynneban) valósultak meg, alkalmazásuknál kiderült, hogy ha mechanikai hosszúságuk kismértékben meghaladja a hullámhossz 0,5-szörösét, (0,5-0,65 között), akkor sugárzási karakterisztikájuk főleg vízszintes irányúvá válik és jelentősen megnő a fading-mentesen besugározható terület. Angliában a BBC laboratóriuma végezte a kezdeti kísérleteket, az Egyesült Államokban pedig a Blaw-Knox Co. dolgozta ki a rombusz alakú, statikailag kedvező egyenszilárdságú toronyszerkezetet. Ennek az antennafajtának legnagyobb méretű objektuma Magyarországon épült fel és jó okunk van kimondani, hogy Magyar Endre javaslata alapján.

Magyar Endre már 1924-ben, első tanulmányútja idején felvetette az önsugárzó antennatornyok gondolatát a Telefunken mérnökei előtt, akik akkor jót mosolyogtak a fiatal ember „ötletén” és ahogy elmesélte később, tréfásan a homlokát kopogtatták, kifejezve vele, hogy térjen észhez... 1932 körül viszont már mért eredmények álltak rendelkezésre, 1933-ban a tervezési kiírásban pedig Magyar Endre antifading, önsugárzó toronyantenna tervezését és megvalósítását írta elő.

A térerősségmérésekkel ellenőrzött vizsgálatok szerint ahhoz, hogy például Kecskeméten 50 mV/méter térerősséget lehessen elérni, egy félhullámú önsugárzó antennatoronyba 100 kW energiát kellett betáplálni. Ugyanazt a térerősséget 150 méter magas T-antenna (mint a Lakihegyi Telefunken-antenna) esetén 150 kW-al, negyedhullámú önsugárzó torony alkalmazásával pedig 250 kW-al lehetett volna elérni. A Lakihegyre tervezett „szivar alakú” Blaw-Knox antenna tehát, ha építése drágább volt is, jelentős teljesítmény megtakarítást eredményezett, illetve az adott teljesítménynél megnövelte a fadingmentesen besugározott területet.

A kivitelezés során Magyar Endrét bízták meg a gyártásellenőrzéssel, valamint a lakihegyi bővítés építésvezetésével. Ezt rendkívül körültekintően végezte. Az amerikai Blaw-Knox rendszerű antenna terveit Tantó Pál gépészmérnökkel felülvizsgáltatta és a Magyarországon várható nagyobb szélhatás miatt áttervezette.

A MÁVAG szerelői 1933. júliusában kezdték – Massányi Károly mérnök irányítása mellett – az új torony szerelését, majd november 8-án volt az első próbaadás.

Az építésnél több olyan megoldást kellett kitalálni, melyekkel az addigi (lakihegyi és fehérvári) egyenes és legfeljebb 150 méteres tornyokon a MÁVAG szerelői nem találkoztak. Például felvonót kellett szerkeszteni a munkások fel és leszállítására, mert jelentős idővesztéssel járt a toronyra felmászás. A középső 14 méter széles részt pedig ki kellett kerülni a felvonó kosarával, ezért a felső részen a toronyból kinyúló darugémet alkalmaztak. A jobb árameloszlás érdekében az acélszerkezet négy élén egy-egy vörösréz sodronyt vezettek végig. A torony anyaga a szigetelők kivételével hazai gyártmány volt, a tervezésben jelentős magyar mérnöki munka valósult meg és a kivitelezés, mint említettük a MÁVAG építő gárdáját dicsérte. Joggal volt és lehetett is büszke erre a létesítményre a magyar ipar és a magyar mérnöktársadalom.

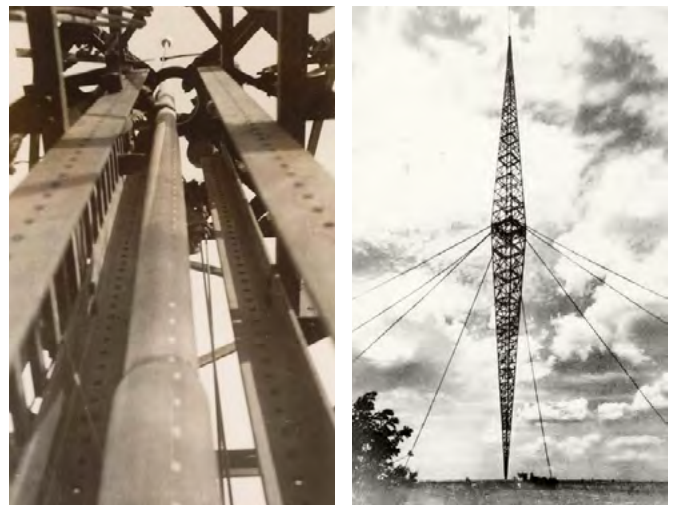
A torony akkori súlya 230 tonna, a talpszigetelőre nehezedő nyomás 480 tonna volt. Ez a nagy nyomás a tartókötelek feszítőereje következményeként alakult ki. A négyzet keresztmetszetű torony a középső 14,65 méter szélességű részen, 141 méter magasságban volt megfogva, nyolc kötéllal. A kötelekbe 5-5 darab szigetelőt építettek be, hogy ne zavarják a torony sugárzását. Két szigetelő közvetlen egymásután kapcsolva, a toronyra volt erősítve, három darab pedig aláosztotta a köteleket 60+60+30 méteres szakaszokra. A kötelek 88 tonnás betontömbökhöz lettek kihorgonyozva.

A toronyra büszke volt a magyar társadalom, alakja jelképe lett a magyar rádiózásnak. A Standard ki is sajátította, olyan emblémát terveztetett, melynek közepét a lakihegyi torony szimbolikus képe foglalta el. Ez még ma is látható a régi Standard készülékek skáláin.

Bár mindenki, mindenütt 314 méteresnek említi, az új antennatorony „csak” 284 méter magas volt, a tetején található hangoló toldattal együtt lett 307 méteres (10. ábra). Ezzel a magasságával akkor évekig világrekorder. (A 314 méter az elérhető legnagyobb magasság, ha a csőtoldatot a maximális 30 méterre kitolják, ez azonban mindmáig még nem történt meg.) Összehasonlításképpen: több hasonló Blaw-Knox rendszerű torony készült a világon, így az Egyesült Államokban Acronban (Ohio) 65 méter magasságú, Bostonban 131 méteres, Wyne-ban 205 méteres, Cincinnati közelében, Masonban 249 méteres, Bécs-Bisambergben 130 méteres, de a lakihegyi torony volt mind között a legmagasabb.

Beszélni kell egy elhallgatott momentumról a torony 284 méteres szerkezeti magasságával kapcsolatban. Budapest I. akkori hullámhossza 550 méter volt, tehát a fél hullámhossz 275 méter. A fadinghatár kiterjesztéséhez szükséges antennahossz kb. 305 méterre adódott. Nyilván rugalmas

hangolási (hullámhossz változtatási) lehetőséget biztosított a 30 méteres hangoló toldat, azonban más ok is közrejátszott abban, hogy a torony magassága nem érte el az akkori hullámhosszhoz szükséges 300-307 métert. Németországból származik az információ, mely szerint a Königs Wusterhausen-i rádióállomáson 1925-ben, „a békeszerződés korlátozásai miatt” nem építhettek 280 méter feletti antennatoronyokat, így csak egy 243 méteres antennatorony készült, a nevezetes „Kövr”. Valószínűleg a béketárgyalások francia küldöttsége ragaszkodott ehhez a meglehetősen ostobának tűnő kitételhez, a párizsi 300 méteres Eiffel-torony világhírességének megtartása miatt, és a hazai antennatorony névleges magassága sem haladhatta meg ezt az értéket.



10. ábra A lakihegyi antenna 30m-es csőtoldata (Postamúzeum Fotótár) és távlati képe

Közvetítőadók

A vidéki közvetítőadókból hármat, a magyaróvárit, a pécsit és a miskolcit egyaránt 1,25 kW teljesítményűre alakították ki, azonos adószerkezettel, egyforma épületekbe telepítve, ugyancsak egyforma antennatornyokkal (11. és 12. ábra).



11. ábra A magyaróvári rádióállomás adóterme és az 1,25 kW-os végfokozat részlete



12. ábra A magyaróvári rádióállomás épülete és antennatornyai

Két 1,5 kW-os csőből álló közbenső erősítő után a négy darab (parallel-ellen-ütembe kapcsolt) 1,5 kW-os adócső képezte a végfokozatot. Valamennyi cső léghűtésű volt. A végfokozatról szimmetrikus tápvonalon 1,25 kW modulált nagyfrekvencia jutott az antennára.

A két antennát az adótól jövő tápvezetésekről csatoló körökön át, alulról, a talppontról táplálták. Az említett csatoló körök két kis csatolóházban (valójában két nagyobb ládában) a talppont közelében voltak elhelyezve. Az állomás földhálózatahoz 70 cm mélységbe, mintegy 21 000 méter rézhuzalt ástak be a földbe.

Az épület 1932 végén már készen állt, így a berendezések telepítése még ugyanezen év novemberében megkezdődött. Az üzempróbák után a magyaróvári közvetítőállomást 1933. június 15-én adták át.

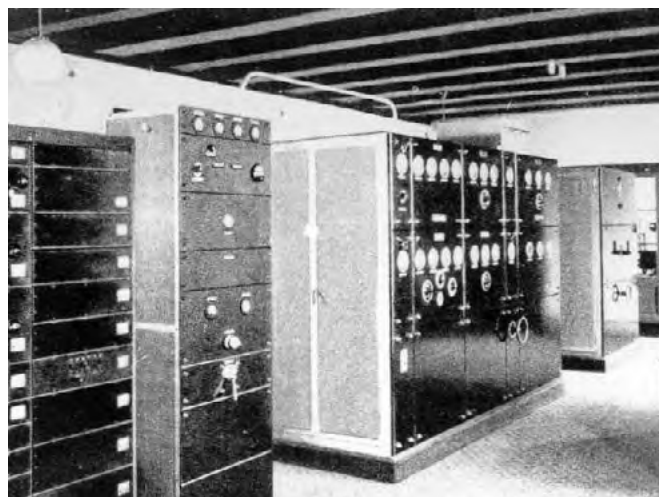
Üzembehelyezésekor a hullámhossza 209,8 méter volt, azonos az ország másik két 1,25 kW-os közvetítőadójáéval. Később, 1934. január 15-én, a luzerni frekvenciaegyezmény alapján az adó átállt egy új, saját hullámhosszra: 227,1 méterre.

A berendezés elvileg nem igényelt kezelőt, egyetlen gomb benyomásával távvezérelve indult. Az indítást és leállítást a győri postahivatalból vezérelték, az adó a modulációt a budapesti stúdióból a bécsi távkábelen kapta. 1933-tól 1944-ig az adóállomás felváltva és a műsorpolitikának engedelmeskedve Budapest I. illetve délutánonként Budapest II. műsórát sugározta.

A negyedik közvetítő állomás, a nyíregyházi, annyiban tért el az előzőktől, hogy 6,25 kW-os teljesítményt sugárzott az

antennával. Az adó külső megjelenésében teljesen azonos volt az előbbi hároméval, eltérést csak a kezelőpult és az adóterem végén nyíló ajtó jelentett, melyen át a 10 kV-os egyenirányító helyisége látható (13. ábra).

A Standard közvetítőadók felépítése a következő volt: baloldalon a vonalrendező és erősítő keret, utána a nagystabilitású kvarcoszcillátor következett egy szekrényben, kettős termosztátba építve. Az oszcillátor fokozat francia konstrukció volt, lehetséges, hogy a Standard Párizsi üzletháza, a Le Material Telephonique készítette, ám ez csak feltételezés. A különálló oszcillátorszekrény után következett a tulajdonképpeni adóberendezés, a meghajtó, a modulátor és a végerősítő fokozattal. Az adószekrénytől jobbra a végerősítő csöveinek anódfeszültségét biztosító 5 kV-os egyenirányító szekrénye állt.

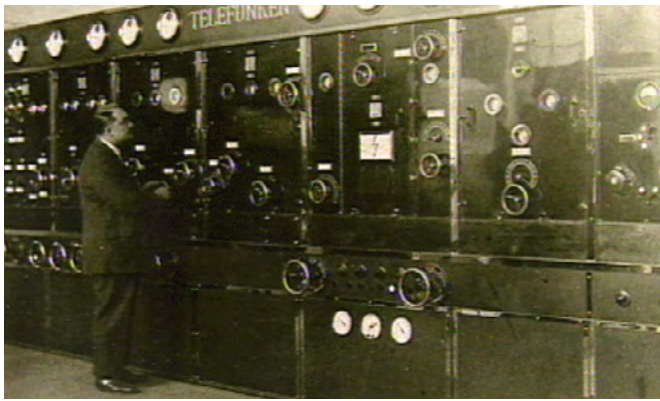


13. ábra A nyíregyházi rádióállomás adóterme

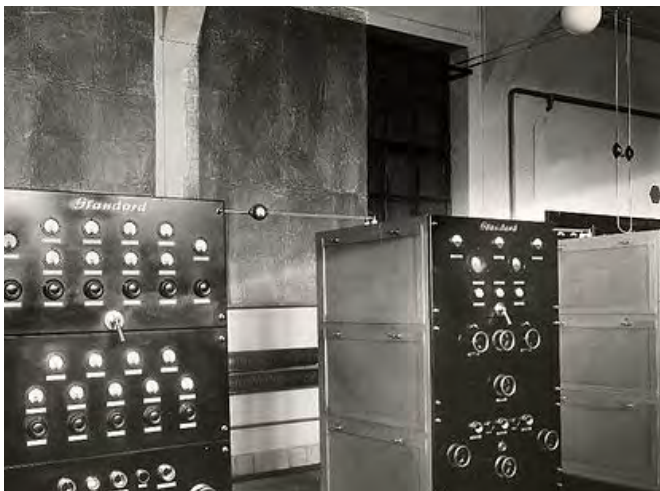
Műsorsugárzás rövidhullámon

A nyugati rádióvállalatok példájára a Magyar Posta 1931-ben a Székesfehérvári Rádióállomás részére két telefónia üzemre is alkalmas rövidhullámú rádióadót rendelt. Az egyiket a Telefunken cégtől, a másikat a Standardtól. A Telefunken adó táviróüzemi teljesítménye 20 kW, míg távbeszélő üzemben 5 kW-ot adott le. A Standard adó táviróüzemben 25 kW, míg távbeszélő üzemmódban 6,25 kW teljesítménnyel dolgozott. Magyarországról rövidhullámú műsorsugárzás a székesfehérvári berendezésekkel kezdődött, 1934-ben. Mindkét adó heti egy-egy alkalommal közvetített műsort, a távoli földrészek magyarsága részére.

A hazai rövidhullámú műsorszórásban Jászberény játszott még kitüntetett szerepet, ennek külön cikket is szentelünk a jelen kiadványunkban (– a szerk.).



14. ábra Telefunken 20/5 kW-os rövidhullámú adó Székesfehérváron



15. ábra Standard 25/6,25 kW-os rövidhullámú adó Székesfehérváron

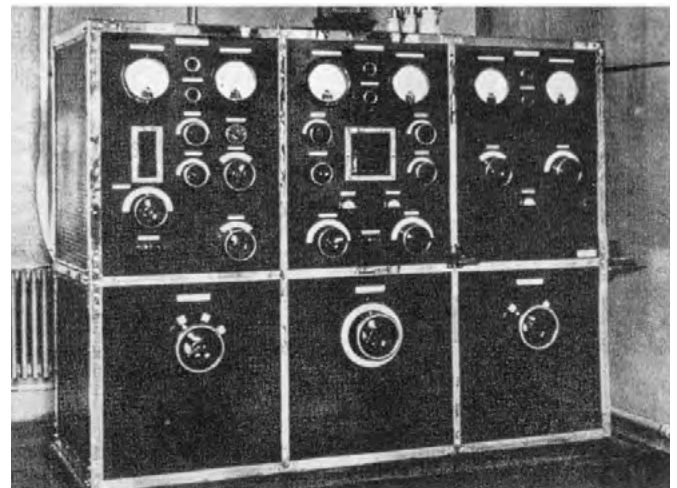
Háborús évek

Kassa

1938-ban, bár még nem kezdődött el a II. Világháború, az I. Világháborút követő igazságtalan békekötések revíziójaként Magyarország visszakapott Felvidéki területeket. Ezzel járt a kötelezettség, hogy az ottani lakosság részére rádióműsort kellett biztosítani, így beüzemelték a Kassa melletti enyickei rádióállomást.

A magyar postások számítottak arra, hogy a csehek elszállítják Enyickéről a berendezésüket, ezért a bevonuláskor már vitték magukkal a szükségadónak szánt 0,75 kW-os Telefunkent, amely még Csepelen sugározta Budapest műsorát. A kisteljesítményű adót azonban nemhogy a Felvidéken, de még Kassán is alig lehetett hallani, ezért a Posta úgy döntött, hogy ideiglenesen Kassa belterületén állít fel egy adót, arra az időre, amíg az enyickei állomáson egy nagyobb adóberendezés telepítése befejeződik. Az erős háborús készülődés miatt az ország anyagi ereje nem tette lehetővé új adók építését, ezért a meglévő berendezések áthelyezése mellett döntöttek.

Lakihegyről Kassára szállították azt a 3/0,75 kW-os adót, melyet még 1930-ban épített a Kísérleti Állomás a közigazgatási hírszolgálat céljára. A Posta rádiósai csak „MATOM” adónak nevezték, mert tervezését és kivitelezését **Magyari Endre** és **Tomcsányi István** végezte. Az adót Kassa belterületén, a Mészáros-utcai laktanyában helyezték el. A honvédség adott helyiséget a rádióállomásnak, katonák segítettek az udvaron egy antenna felállításában és a földhálózat lefektetésében (16. ábra).



16. ábra A 3/0,75 kW-os ún. MATOM adó

Ezek elkészülte után, 1940. szeptemberében a Telefunken adót leszerelték és Kolozsvárra szállították, ahol a Füleki-úti rádióállomás első, ideiglenes berendezése lett. A Posta illetékesei úgy döntöttek, hogy a nyíregyháza 6,25 kW-os Standard-adót helyezik át Kassára, melynek rendszeres adása 1941. március 2-án, ünnepi műsorral indult el, 208,6 méteres hullámhosszon. Hamar nyilvánvaló lett azonban, hogy ez a teljesítmény is kevés a hegyes-dombos vidék besugárzására, így a Posta egy 30 kW teljesítményű végerősítő fokozatot rendelt a Philips cégtől a kassai (enyickei) adóberendezés kiegészítésére.

A Philips-végfok beépítése az enyickei berendezésekbe jelentős átalakításokkal járt, egybe kellett építeni a Standard adó 5 kV-os egyenirányítóját az adószekrénnel, külön területet kialakítva a Philips végfokozatnak. Átépítették a kezelőpultot is, hogy az új berendezés kezelőelemeit elhelyezhessék. Az új végfokozat kétkörös vízhűtésű egy kis hűtőtóból látták el, míg a 6 kW-os adó vízrendszere léghűtésű volt. A 30 kW-os végfokot a Philips tehetséges fiatal mérnöke, Frank Tibor tervezte. A végcsövek TA 20/250 típusúak voltak, ugyanaz a típus, mely Lakihegyen a meghajtó fokozatot képezte. Az antennát úgy építették meg, hogy két szigetelt torony közé egy vízszintes acélsodronyt feszítettek ki, melyre középen felfüggesztették az antennát – függőleges sugárzóznak. A végfok próbaüzeme 1942. június 12-én kezdődött, de érdekes módon a legtekintélyesebb magyar rádióújság, a Rádióélet egyszerűen nem vett tudomást róla és Kassa teljesítményét egészen 1944 végéig 6,25 kW-nak tüntette fel.

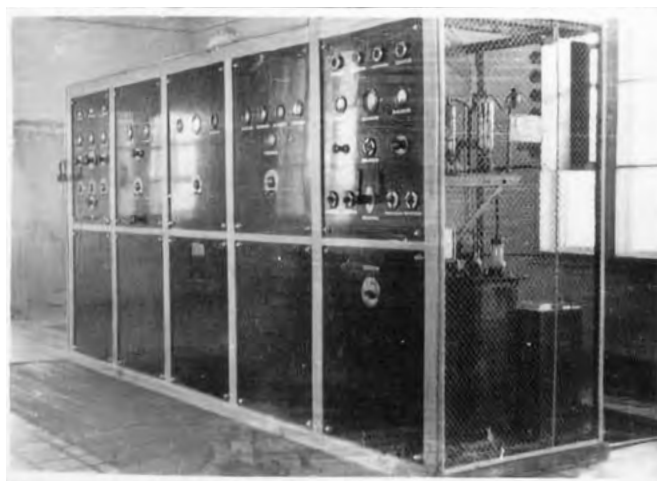
Kolozsvár

1940. augusztus 30-án a második bécsi döntés értelmében Magyarországnak ítélték Észak-Erdély területét. Másnap a magyar honvédség csapatai és a magyar közigazgatás képviselői megkezdték a bevonulást Erdélybe. A Posta Rádióműszaki szolgálata előtt szinte megoldhatatlan feladat állt. Egy fél országnyi területet kellett besugározni rádióműsorral akkor, amikor a csonka ország kicsiny területét sem sikerült teljesen ellátni, és új berendezések vásárlására közeli lehetőség nem mutatkozott. Észak-Erdély visszacsatolásáig a Felvidéket ellátó egyetlen Kassai rádióállomás fejlesztése érdekében is vajmi kevés történt. 1940. augusztusára azonban felgyorsultak az események. A megnövekedett területhez a rádióhálózatot újra kellett tervezni. Ennek kapcsán a második műsor részére egy új központi nagyadót, Kassára 30 kW-os, Kolozsvárra, Csíkszeredára és Erdélynek még két városába 15-15 kW-os közvetítőadót terveztek. Pénzhiány miatt a második nagyadó terve szinte azonnal lekerült a napirendről.

1940. szeptemberében Zakariás János postamérnök irányításával a 750 W-os Telefunken adót Enyickén leszerelték és átszállították Kolozsvárra. Itt ideiglenesen a belvárosban helyezték el, amíg a város szélén lévő rádióállomást – melyet a román közigazgatás hagyott hátra – használható állapotba hozták.

A Kolozsvár külterületén található Feleki-úti (Tordai-úti) rádióállomást korábban a románok létesítették és egy 3 kW-os Marconi gyártmányú táviróadóval szerelték fel, amely a közeli repülőteret szolgálta ki. A magyar postásoknak sikerült ezt életre kelteniük, így a repülőtér részére a továbbiakban is biztosították a távirószolgálatot. A Marconi-adó mellett állították fel az Enyickéről áthozott 750 W-os Telefunken adót, amely a Rádióélet című hetilap híradása szerint már 1940. októberében megkezdte próbaadásait. Stúdió és Budapestről kiépített zenekábel hiányában a próbaadások első sorban Budapest I. műsorának a közvetítéséből álltak.

A Posta vezetése a kisteljesítményű és korszerűtlen Telefunken adó helyére egy 1,25 kW-os közvetítőadót kívánt Kolozsvárra telepíteni. Ennek építését már 1941. februárjában jelezte Varga József kereskedelemügyi miniszter a Rádióélet című hetilapban megjelent nyilatkozatában. Az új műsor-szóró adót Susánszky László postamérnök tervei alapján a Posta Kísérleti Állomás készítette el, és 1942. február 18-án már próbaadások kezdődtek Kolozsváron. Az adó 267,4 méteres hullámhosszon kezdett sugározni, a megnövelt teljesítményről először 1942. május 15-én lehetett olvasni a Rádióéletben.



17. ábra Az 1,25 kW-os kolozsvári adó

Az adó végfokozatát ugyanolyan típusú csövekkel építették meg, mint a hasonló teljesítményű Standard közvetítőadókét: négy darab TA 4 / 1500 típusú, 1,5 kW-os trióda alkotta a végerősítőt, párhuzamos-ellenütemű kapcsolásban. A modulálás az utolsó előtti fokozatban történt, az itt alkalmazott PB 3 / 800 típusú pentóda fékezőrácsának vezérlésével.

Az új adóberendezéshez megfelelő antennára is szükség volt, ezért a 76 méteres ernyőantennát átalakították (földtől) szigetelt, negyedhullámú ún. önsugárzó toronnyá. Az antennaépítés munkáit Zakariás János vezette, kivitelezését egy Zsigmond nevű helybéli vállalkozó végezte. Zsigmond munkásai a tornyot alátámasztották, majd az alsó részt levágták. A levágott rész helyére egy csúcsával lefelé fordított gúla alakú acél szerkezetet szereltek, melynek csúcsa egy porcelán szigetelőre támaszkodott. A szigetelőt Lakihegyről vitték át a tartalékból. A feszítő kötelekbe is szigetelőket kellett beszerezni, és egy új földhálózat tette teljessé a sugárzó berendezést. Az adóenergia az antennáig szimmetrikus kettős tápvonalon jutott ki, a torony talpánál egy kis csatolóegység szolgált az illesztésre, melyet Nyíregyházáról hoztak át Kolozsvárra.

Az új adó beüzemelését követően a 750 W-os Telefunken adót visszaszállították Lakihegyre, ahol 1944. nyarán még zavaróadóként működött. A kolozsvári rádióállomás a fentiekben leírt kialakítással működött 1944-ig. Nem valósult meg a tervezett 15 kW-os végfok, és nem épültek további állomások Erdélyben. 1944. szeptemberében a háborús helyzet alakulása miatt elsőként a magyar rádióállomások közül a kolozsvári hallgatott el, elrendelték a nyugatra költöztetését. A berendezés csodával határos módon, az állomás több dolgozójának filmbe illő, konspiratív közreműködésével menekült meg. Az állomás műszerészei még az oroszok október 11-i bevonulása előtt szétszedték az adót, ládába csomagolva vagonokba rakták és útnak indították a Dunántúl felé. Eredetileg Mosonmagyaróvárra kellett volna küldeni, ami a biztos megsemmisülést jelentette volna, azonban a szállítást intéző Sófalvi Károly adókezelő a címet Tárnokra változtatta. A további eseményekre Czírkák Gyula, a székesfehérvári rádióállomás egykori vezetője a következőképpen emlékezik vissza:

„Az 1,25 kW-os kolozsvári adót a kolozsvári vasútállomástól, mint önként jelentkező, családommal a vagonban lakva igen viszontagságos 3 hétig tartó bombázásoktól veszélyeztetett úton én kísértem egészen Tárnokig. Ennek az útnak a leírása valóságos regénybeillő esemény, erre ez a hely nem elegendő, de nem is fontos. Olyan sok szerencse is kísért, melyből a legnagyobb az volt, hogy mikor megérkeztem Tárnokra, a vasútállomásra felhívtam a rádióállomás vezetőjét és kértem, hogy küldjön szállítóeszközt, hogy bevigyük a szerelvényeket. Azt válaszolta, menjek be a rádióállomásba, ott biztosítanak szállást és majd reggel elvisszük a vagon tartalmát. Én azt válaszoltam, vagy mindent beviszünk, vagy a szállítmány mellett maradok az ő felelősségére. Erre mégis meggondolta magát és összehozta az embereket, társzerket küldött és beszállítottuk a berendezést, a műszerekkel. Hogy jó volt az előérzetem, az bizonyította, hogy az éjjel súlyos légítámadás érte az állomást és a vagon, melyben a felszerelések voltak, porrá égett. Zakariás szaktártól azt az utasítást kaptam, hogy további utasításig maradjak a berendezések mellett és őrizzem azokat. December hóban karácsony előtt pár nappal kaptam üzenetet, hogy egy tehergépkocsi jön értem, hogy bútoraimmal beszállítson Budapestre. (Bútoraim nem voltak, ezalatt az adót kellett érteni.) Mikor megjött a gépkocsi, elkezdtuk rakodni a felszereléseket. Ekkor pechünkre megjelent az állomáson egy Macskási nevű nyilas postai megbízott. El kezdett faggatni, hogy hova viszem a berendezést. Én azt válaszoltam: nyugatra, Magyaróvárra, erre megnyugodott. Közben erős aknatűz kezdődött, mire felugrott a gépkocsira és elrobogott Budapestre. Megvártuk az esti sötétséget és szépen mi is elindultunk nem Magyaróvárra, hanem Budapestre. Budapestre érkezve a családomat letettük a részünkre szerzett lakásnál, majd a Posta Kábelhivatalának épületében a Páva utcában a pincébe lehordtuk az adó tartozékait és letakartuk minden szeméttel. Így lett elrejtve az adó. A rejtékhelyről csak Zakariás tanácsos tudott. Én 1945. január 21-én fogságba estem, csak 1945. szeptemberében, mint beteg kerültem haza. Ekkor az adó már üzemben volt a Főposta épületében. Kodolányi Gyula főmérnök és Fata Lajos műszaki főellenőr irányításával a reptéri és lakihegyi műszereszekből álló csoport végezte az üzembehelyezést, a mai Kossuth adó hullámhosszán.”

Mozgóadó

Az első magyar mozgóadót a német példához hasonlóan Katona Rádió céljára a Magyar kir. Honvédség propagandával foglalkozó szerve, a Vezérkari Főnökség (VKF) 6. Osztálya 1942-ben rendelte meg a Magyar Philips Műveknél.

A lehetőséget az teremtette meg, hogy a Gyorshadtestnek a Dnyepertől visszatérő alakulatai hadizsákmányként Magyarországra hoztak egy szovjet gyártmányú, 10 kW-os, stabil, rövidhullámú műsorszóró adót.

A zsákmányolt adó természetesen nem volt alkalmas a közvetlen telepítésre, az új feladathoz át kellett alakítani. Az adót beszállították a Philips Váci-úti telephelyére, ahol a gyár közepén egy fabarakban helyezték el és megkezdtek az átépítést.

A cél egy komplett, önálló, középhullámon változtatható frekvenciájú, mobil rádióállomás kialakítása volt, saját stúdióval és áramfejlesztővel. A berendezést négy vontatott kocsira telepítve tervezték meg. A kocsikat az Ikarusz elődje, az Uhri testvérek Autókarosszéria és Járműgyár KFT. készítette, vontatásukra a Honvédségnél rendszeresített Hoffer-traktorok szolgáltak. A kocsik méretét úgy alakították ki, hogy vasúti szállításra is alkalmasak legyenek. Az első kocsi kapott helyet az adóberendezés nagyfrekvenciás része, a második a 12 kV-os tápegység, a harmadikban az áramfejlesztő, a negyedikben a stúdió – egy bemondó fülkével, mely üvegfallal volt elválasztva a vonalrendezőtől és az erősítőtől (18. ábra).

Az áramfejlesztő kocsi 50 kW-os háromfázisú generátorát egyedileg gyártotta le a Ganz-gyár, az erőgép viszont a „Toldi” (más forrás szerint „Turán”) harckocsi 120 Lóerős, benzinüzemű motorja lett, egy egyébként német, Büsching gyártmányú, hathengeres szerkezet. Üzemeléséhez egy menetben lévő harckocsin mintegy napi 200 liter benzin szükségeltetett. A generátor feszültség-szintjét Westinghouse-szabályzó stabilizálta.

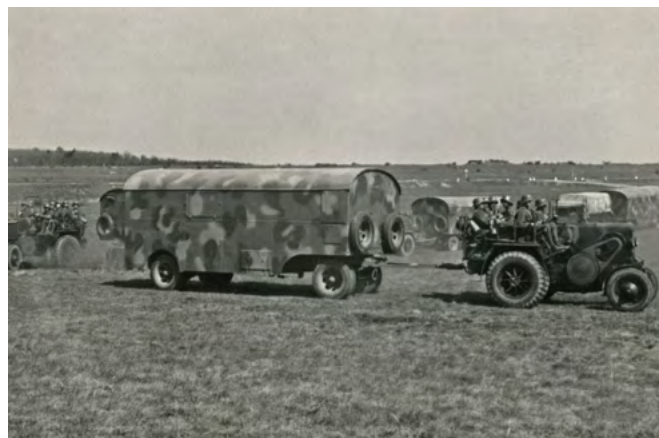
Az állomás 45 méter hosszú T-antennáját, három darab 18 méter magas un. Magirus-árbocra szerelték. Az árbocok teleszkópos rendszerrel, könnyen kezelhető, kitolható csövekből készültek és a két szélsőt egymástól 45 méterre, a harmadikat pedig középen állították fel. A betáplálás a középső árboc talpánál történt, melyet 4 db porcelán szigetelővel választottak el a földtől. A földelést ellensúlyszerűen kifejtett rézsodronyokból és a végükre kötött földelő csövekből kombinálták össze. A földelők lyukakkal ellátott fémcsövek voltak, melyeket telepítéskor vízzel töltöttek fel az átmeneti ellenállás csökkentése céljából.

Mivel a végfok két ellenütembe kapcsolt PAL12/15 típusú pentódából állt, a tápvonal is szimmetrikus, kétvezetékes kialakítású volt egészen az antenna talppontjáig. Ide egy kis utánfutóra szerelt illesztőegységet („csatoló kocsit”) iktattak be, amely az aszimmetrikus betáplálást biztosította. A két 15 kW-os végerősítő cső egyenként 4-4 kW modulált teljesítményt adott le, így az elkészült berendezés antennateljesítménye megfelelő modulálás esetén 8 kW-ra adódott. A modulálás a végcsövek fékezőrácsán történt, mindössze 20 W teljesítménnyel, melyet egy kommersz Philips hangfrekvenciás erősítő szolgáltatott.

Ez az egyszerű és talán kissé igénytelen modulálási mód mozgó-, illetve katonai berendezésekben a későbbiekben is előfordult, mert ezeknél különösen fontos a kis súly és kis áramfogyasztás. A jó hangminőséget szolgáltató anódmoduláció hátránya, hogy majdnem akkora modulátor fokozatot kell felépíteni, mint az adó végerősítője. Ez a 8 kW-os adó esetében egy további 6-8 kW-os modulátort és annak tápegységét, nehéz modulátor transzformátort igényelt volna.



Szemlén a Tétényi fennsíkron



Menetben



Aggregátor kocsi



Telepített kocsik

18. ábra A mozgódó

A meghajtó fokozat egy darab PB3/800 típusú, hozzávetőlegesen 0,8 kW teljesítményű pentódából állt. Ez a típus később, az ötvenes években, a Philips államosítása után 5S045T néven vált ismertté, például az R-50 típusú katonai adókban.

A rövidhullámú rezgőköröket áthangolták középhullámra. A szükséges nagyfe-szültségű tárcsakondenzátorokat a Drasche cég szállította.

1943. tavaszán sor került a berendezés élesztésére, üzempróbáira, majd a Philips gyár udvarán beépítették a készüléket a kocsikba. Márciusban már „melegpróbákat” tartottak, majd 1943. áprilisára készen állt a mozgódó.

Mire az adó elkészült, már nem volt fontos, hogy katonai adóként a frontra menjen, a kormány fontolgatta a hadsereg visszarendelését a Szovjetunióból. Ugyanakkor Lakihegy esetleges lebombázásának vagy megrongálásának esetére az ország nem rendelkezett tartalékadóval. Ez viszont nagyon fontos szempont volt, mivel 1942-ben Budapestet egy szovjet légitámadás érte és az egész ország légvédelmi riasztása a 120 kW-os lakihegyi adón keresztül történt. Egyes források szerint személyesen ifj. Horthy Miklós járt közbe a HM-nél annak érdekében, hogy az elkészült adót adják kölcsön a

Postának, illetve maradjon Budapesten a légoltalom rendelkezésére.

Maga a mozgódó a próbák során kiválóan vizsgázott. Első települési helye Szolnokon, a Tisza árterében volt. Az akkori lakossági vevők érzékenységi határa 1 mV/m-es térerősségnél volt. Szolnokról legalább ekkora térerősséget Budapest, Kecskemét, Szeged és kis híján Debrecen körzetében is sikerült létesíteni.

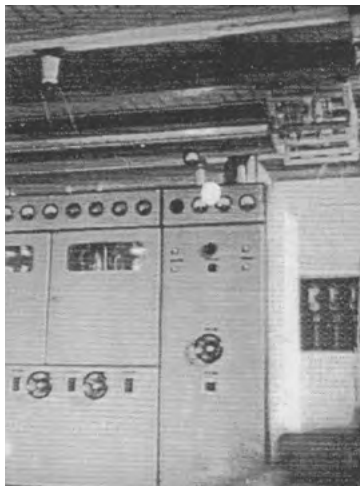
A következő állomás Nagyvárád volt, majd Kolozsvár, Csíkszereda és Marosvásárhely következett. Csíkszeredából az egész Székely-Medence jól besugározható volt. Külön érdekesség, hogy a kolozsvári méréseket vezető Kodolányi Gyula jött rá arra a később használati útmutatóban is közreadott elvre, miszerint egy adót (elsősorban katonai adót) egy gyárkéményen lévő közönséges villámhárítóra is rá lehet hangolni, csak ki kell keresni a megfelelő betáplálási pontot. (A századfordulón Slaby professzor és munkatársai ezt már megvalósították, de feledésbe merült.) Egyes források szerint a mozgódó 1943. nyarán még a Balaton körül is tett egy próbautat, majd össze visszatért Budapestre és a Svábhegyre, a Normafa környékére telepítették. Egy ideig „Kísérleti Adó” néven jelentkezett, és délutánonként szórakoztató zenei műsort sugárzott a visszaemlékezők szerint jó

lemezeik voltak, különösen a fiatalok hallgatták szívesen ezt a változatosságot jelentő harmadik műsort, a megszokott Budapest I. és Budapest II. mellett.

Az adót, mely telefonkapcsolatban állt a Légoltalom parancsnokságával, a Gellért-hegy alatti sziklabunkerrel, naponta kipróbálták Budapest I. hullámhosszán, ezenkívül a légiriadók-nál azonnal beszüntették a zenés műsort és áthangoltak, hogy szükség esetén átvehessék Lakihegy szerepét. 1944. október 15-e, a nyilas hatalomátvétel után az adóállomás már „Kato-na Rádió” néven jelentkezett. 1944. november 6-án kapta a parancsot, hogy települjön át Nyugat-Magyarországra. Új helye Devecser és Pápa között fekvő Noszlop község lett. Két hét múlva november 24-én Lakihegy elhallgatott és a Kato-na Rádiónak át kellett vennie Budapest I. sugárzását. 1944. december 17-ére kibővítették és áthangolták a magyaróvári adót Budapest I. hullámhosszára, amely ekkor átvette a Kato-na Rádiótól a helyettesítő sugárzást.

Mosonmagyaróvár

Mosonmagyaróváron már üzemelt egy 1,25 kW-os Stan-dard adó. 1944. novemberében a Magyar Philips Művek Váci úti telephelyéről ide került egy eredetileg Kolozsvárra szánt 15 kW-os végfokozat, amelyet sürgősen hozzáépítet-tek a Standard berendezéshez (19. ábra). Az új Philips adó két léghűtéses PAL 12/15 típusú adócsővel kb. 10 kW telje-sítménnyel dolgozott az egyik toronyra felhúzott ún. ferde varsaantennára.



19. ábra A 15 kW-os Philips végfokozat Mosonmagyaróváron

Mosonmagyaróvár 1944. december 17-én vette át 550 mé-teren a Budapest I. műsor sugárzását az előző szakaszban ismertetett Mozgóadótól. Teljesítménye nem érte el a terve-zett 15 kW-ot, mert a táphálózat nem tudta szolgáltatni a szükséges villamos teljesítményt. A végfok anódfeszültségét adó transzformátor fokozatkapcsolóját az utolsó előtti lép-csőig kapcsolták, ezzel 10 kW kimenő teljesítményt értek el. A csatolóházban végzett átalakítás után a teljesítmény 12 kW-ig emelkedett.

A Magyaróvári adóállomás utolsó napjai az 1945. évi Hús-vét előtti nagyhétre estek. Nagyhét hétfőn kapta a személy-zet a tartalék alkatrészek csomagolására a parancsot és a jelzést, hogy szerdán (március 28-án), legkésőbb csütörtökön leáll a sugárzás. Miután leszerelték és teherautókra rakták a Magyaróvári adót, valamint a 15 kW-os végfokot, örökre eltűntek ezek a berendezések...

Újjáépítés

Budapest, 1945.

A Posta szakemberei elsőnek Budapesten, a Svábhegyi te-telefonközpont (20. ábra) épületében megmaradt, korábban Csepelen üzemelő 2 kW-os Telefunken adót élesztették fel, amellyel 1945. május 1-én a stúdiósok már műsort szolgálta-tak a megindított sugárzáshoz.

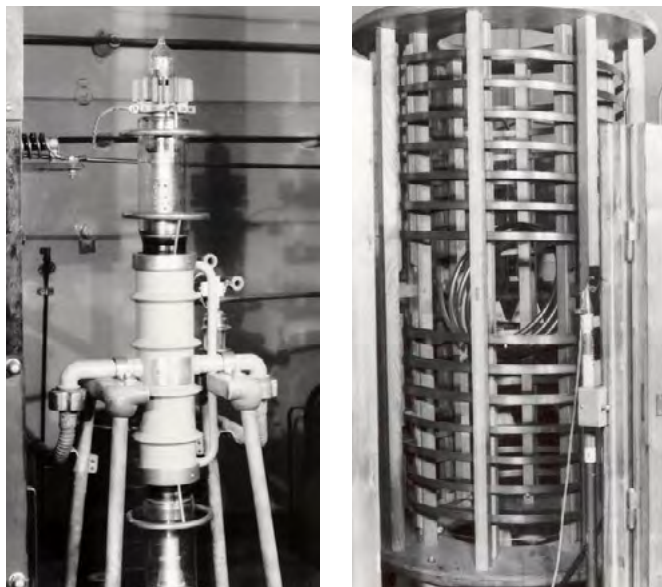


20. ábra A Svábhegyi telefonközpont épülete

A 2 kW-os adónak csak 1945. május 17-ig volt szerepe, mert a Kolozsvárról visszahozott és Budapesten elrejtett 1,25 kW-os adót a Váci utcai Főposta épületébe szállították és egy műszerészekből álló lelkes csapat beüzemelte. 1945. május 17-től szeptember 15-ig 1,25 kW-al sugározta Budapest I-et, ekkorra épült újjá a lakihegyi 20 kW-os Telefunken adó, majd a kolozsvári adót Lakihegyre vitték és 1946. június 24-től november 22-ig Budapest II.-t adta, áthangolva 228,46 méterre. 1946. november 22-től a kolozsvári adó tartalék lett Lakihegyen, mert a második műsor sugárzását egy új 8 kW-os berendezés vette át.

A legfontosabb a Pápa környékén elrejtett 20 kW-os Telefun-ken adó Lakihegyre történő visszaszállítása és üzembehe-lyezése volt. Lehetőség volt az eredeti helyére történő vissza-építésre, mert a Lakihegyi adóépületnek „csak” a 120 kW-os nagyadó csarnokát robbantották fel, a másik szárnya csak kisebb károkat szenvedett. Az épület rendbehozásával és az adó visszaépítésével egyidőben megkezdődött a felrobban-tott 150 méteres antennatornyok újjáépítése is.

A 20 kW-os adó visszaépítése 1945. szeptember 15-re elkészült, az egyik 150 méteres toronnyal együtt. Az adó a 150 méteres toronyra felhúzott varsa antennával kezdett sugározni. 1946. január 15-től már elkészült a második torony is és újból a két torony közé feszített T-antennával ment a sugárzás. Az év folyamán Susánszky László mérnök terve alapján kiegészítették az adót egy 50 kW-os végfokozattal. Ez akkor Közép-Európában kiemelkedő teljesítménynek számított (21. ábra).



21. ábra Az 50 kW-os végfokozat adócsöve és rezgőköri tekercse

1946. december 22-én, az 50 kW-os végfokot ünnepélyesen az újjáépített 314 méteres nagyantennára kapcsolták. Ezzel a két 150 méteres torony közé feszített T-antenna felszabadult és lehetővé vált, hogy Budapest II. műsorát sugározza. A Posta a Vákuumtechnikai és Villamossági RT-nél megrendelte egy 8 kW-os műsorszóró adó gyártását, melyet végül félkész állapotban vett át, hogy saját műhelyében befejezhesse (22. ábra). Az elkészült adó Lakihegyre került és 1946. végétől Budapest II. műsorát sugározta.



22. ábra A 8 kW-os adó Lakihegyen

Pécs, 1945.

A Pécsi 1,25 kW-os Standard adót a németek nem robbantották fel, hanem megegyezve a kezelőszeméllyel, csak a csöveit törték össze. Ennek következtében az állomás csöveit pótolni kellett, de az ipar problémái miatt erre csak 1945 végén került sor. A Pécsi közvetítő állomás először 1945. október 18-án 600 W-tal, majd november végén teljes teljesítménnyel, 1,25 kW-tal kezdett sugározni.

Mosonmagyaróvár, 1946.

Az állomás személyzete 1945. tavaszán, szovjet igazolvánnyal nyugat felé indult, hogy megkeresse az elhurcolt berendezéseket. Nem találták meg a Standard adót és a Philips végfokot, helyette találtak egy kisebb katonai adót. Az állomás épülete épségben maradt, ellentétben Miskolccal és Nyíregyházával, Magyaróváron „csak” az antennatornyokat robbantották fel.

A magyaróvári személyzet Magyarországon maradt tagjai a közvetítőadó keresése közben 1945. tavaszán egy 400W-os, tápegység nélküli Standard adót találtak, melynek rendbe hozása után, kitekerhető tábori antennával, 1946. november 8-án ismét elkezdtek a műsorközvetítést.

Miskolc, 1947.

Az eredeti Standard adót 1944. végén felrobbantották és 1947-ig nem volt helyette más berendezés. 1947-ben Lakihegyen felszabadult a Kolozsvárról megmentett 1,25 kW-os Susánszky-féle adó, azt szállították Miskolcra, ahol 1957-ig működött. A kolozsvári adó az újjáépített miskolci rádióállomáson 1947. június 24-től kezdte meg működését 208,6 méteres hullámhosszon.

Nyíregyháza, 1948.

Nyíregyházán 1948-ra újjáépült az állomásépület, melyhez 40 méter magas – táviróoszlopokból összeállított – tornyok közé feszítettek antennát. Egy 400 W teljesítményű kisadóval, 1948. szeptember 3-án indult meg a műsorsugárzás. Újabb érdekesség, hogy ezekből a 400 W teljesítményű kisadókból több darabot is vásárolt a Posta, hogy átmenetileg vagy tartalékként biztosíthassa egyes rádióállomások üzemelését. Amerikai gyártmányú katonai berendezések voltak, ugyanis 1946-tól lehetett vásárolni az Egyesült Államok európai hadianyagából kiárusított katonai rádió- és vezetékes vivőhullámú berendezéseket, járműveket, mozdonyokat. Így kerültek a postai rádióállomásokra a 400 W teljesítményű, BC610 típusú, rövidhullámú katonai rádióadók (23. ábra).



23. ábra BC 610 típusú amerikai katonai adóberendezés

Fejlesztések a 3 éves tervben

Lakihegy

Az 1947. augusztus 1-én beindult Hároméves terv anyagi lehetőségeinek kihasználásával a magyar rádióhálózat fejlesztése új lendületet kapott. Lakihegy kapott egy új, 135 kW-os Standard adót, amely 1948. november 13-án kezdte meg a műsorsugárzást az adóépületnek abból az újjáépített szárnyából, ahol valamikor a 120 kW-os berendezés működött. Természetesen a 314 méteres nagyantennát erre az adóra kapcsolták rá, a Telefunken adót visszakapcsolták a régi T-antennára és 50 kW teljesítménnyel megkezdte Budapest II. műsorának sugárzását. 1949. február 1-én reggel mindkét Lakihegyi adóállomás új névvel jelentkezett be: Budapest I. Kossuth rádió néven, Budapest II. Petőfi rádióként mutatkozott be.



24. ábra Adóterem kezelőpulttal Lakihegyen

Szolnok

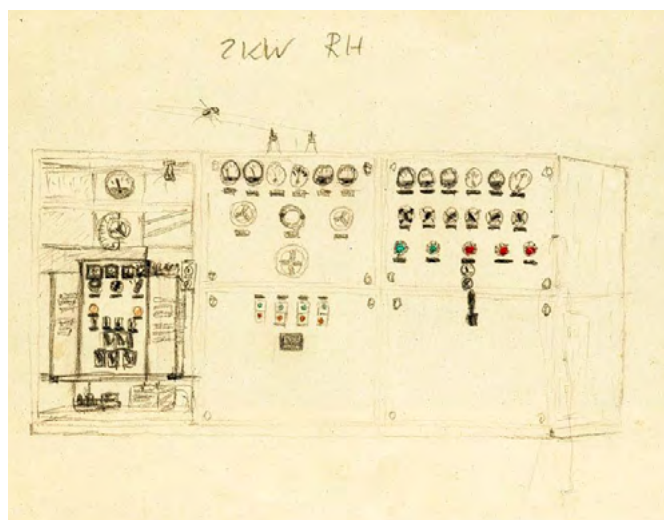
1947. március 20-án döntés született, hogy a Szolnokra kerüljön egy második nagyadó. A próbaadások 1949. július 22-én kezdődtek 1049 kHz-en, majd augusztus 7-én megtörtént a hivatalos átadás. Az adóberendezés üzemelése során kiderült, hogy a kapott 288 méteres hullámhossz az ország teljes besugárzására nem megfelelő. Egy harmadik nagyadóra és emelt teljesítményű közvetítőadókra volt szükség ahhoz, hogy a második műsor – a Petőfi Rádió – az egész ország területén hallható legyen.



25. ábra A Szolnoki adóépület az önsugárzó antennatoronnyal és az adóterem a 135 kW-os Standard adóval

A diósdai rövidhullámú állomás

Diósdon 1947. tavaszán kezdődtek meg a munkálatok, elsőnek az antennarendszert építették fel hat nagyobb és egy kisebb toronnyal. Ezek felállítása után, 1949. június 1-én indult meg Diószdról a rövidhullámú műsorsugárzás két 400W-os adóberendezéssel, amelyek a már korábban említett amerikai készletből származtak – de már készült Kiss Lajos tervei szerint a Rádióműszaki Igazgatóság Városház utcai műhelyében ezekhez az adókhoz egy-egy 2 kW-os végfokozat (26. ábra).



26. ábra A BC adóhoz épített 2 kW-os végfokozat (Balás B. Dénes rajza, 1959.)

1949. október 31-től Diósd már 2 kilowatt teljesítménnyel sugárzott. A Standardnál megrendelt két 100 kW-os adóból az első 1950. április 1-én kezdett próbaüzemet és már két héttel később sor került az ünnepélyes üzembehelyezésre. A második adóberendezés 1950. június 1-én kezdett próbaüzemet. A teljesítményfokozatok mindkét adóban vízhűtésűek voltak, a frekvenciákat tekercs cserékkel lehetett változtatni a 6, 7, 9, 12 és 15 MHz-es rövidhullámú sávokban.

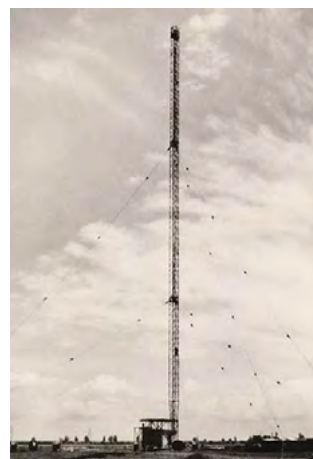


27. ábra Az egyik 100 kW-os Standard adó és a kezelőpult, illetve a diósi antennarendszer

A második 100 kW-os adóberendezés üzembeállítása azt jelentette, hogy egy időben két hullámhosszon, 31 és 25 méteren tudtak sugározni. 1950. júniusában két darab 64 méter magas fatorony is épült körsugárzó antennák számára. Diósd, teljesítményével, műszaki színvonalával Közép-Európa egyik jelentős és elismert állomásává vált.

Balatonszabadi

A harmadik középhullámú nagyadó telepítésére Balatonszabadit jelölték ki. Az építkezés 1952. márciusában kezdődött, a 147 méteres önsugárzó antennatorony építését a Ganz-Mávag 1952. szeptemberében indította el. Ennek érdekessége, hogy nem új tornyot készítettek, hanem a Posta Rádióműszak vezetőinek javaslatára az egyik lakihegyi 150 méteres tornyot vitték át Balatonszabadiba. Persze ennek feltétele volt, hogy úgy a lakihegyi, mint a balatonszabadi 150 méteres tornyot át kellett alakítani földtől szigetelt, önsugárzó toronnyá (28. ábra).



28. ábra Az egykori 150 méteres lakihegyi antennatorony Balatonszabadi rádióállomáson

1953. október 15-én kapcsolták az adót „kísérleti üzemre” a 872 kHz-es frekvencián. A próbaüzem 1954. január 11-ig tartott, ezalatt naponta több órán át a Petőfi Rádió műsorát sugározta, majd „meglepték” a rádióhallgatókat és Balatonszabadi az idegennyelvű adások sugárzásának feladatát kapta.

Nyíregyháza

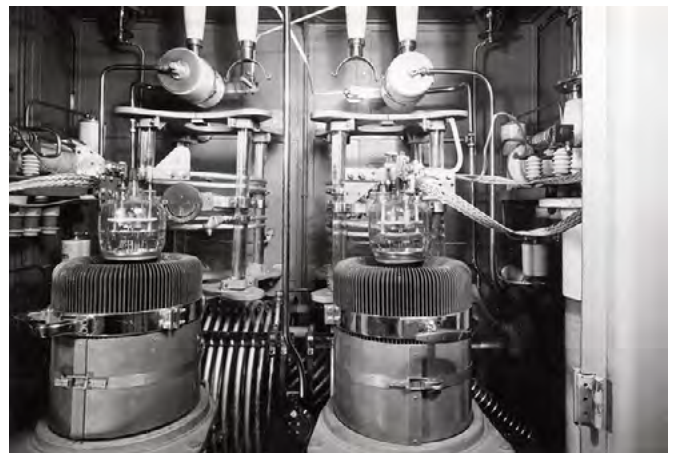
A Posta 1949. szeptember 9-én megrendelt két darab 25 kW-os közvetítőadót a Standardnál, a Petőfi Rádió sugárzásának javítására. A két adót az ország két végpontjára szánták, Nyíregyházára és Szombathelyre. Nyíregyházán nem az Eletői telephelyet fejlesztették tovább, hanem új helyen, a városon kívül, Sóstón létesítettek rádióállomást. A 25 kW-os adóhoz 115 méter magas, önsugárzó, rácsos szerkezetű acél-torony épült, amely 1952. május 1-én 1250 kHz-es frekvencián kezdte meg a Petőfi műsorának rendszeres sugárzását.



29. ábra A nyíregyházi állomás belülről: baloldalt a kezelőpult, mögötte a teljesítményszekrény, középen a meghajtó fokozat szekrénye, jobboldalt a végfokozat részlete; a felvételek 2006-ban készültek

Szombathely

Az adóállomás helyét 1950. január 24-én jelölték ki, létesítményei 1952. március 21-re készültek el, a Ganz-Mávag április 22-én kezdte el az antennák beemelését. Az új állomás 1952. augusztus 20-án kezdte meg a Petőfi műsor rendszeres közvetítését 1340 kHz-es frekvencián, de csak 12 kW teljesítménnyel. A tervezési és gyártási hibák elhárítása után végül 1954-ben sikerült az adót teljes, 25 kW-os teljesítménnyel üzemeltetni.



30. ábra A szombathelyi állomás 60 m-es antennaárbocai, 25 kW-os adóterme és Standard gyártmányú végfokozata

Közvetítő állomások

Észak-Dunántúl Petőfi műsorral történő ellátása érdekében Győrben létesítettek egy új középhullámú közvetítőadót. A terveket 1951. májusában készítették el, az adóállomást a Győr 1. Postahivatal épületében, egy volt szolgálati lakásból alakították ki. Az adóberendezés itt is a már „jól ismert” 400 W teljesítményű, BC610E típusú rövidhullámú katonai adóból lett átalakítva középhullámra. A kisadó 1952. június 8-án kezdett üzemelni 1349 kHz-en, a Petőfi műsor sugárzásával.

Hosszabb-rövidebb kivitelezési, gyártási nehézségek után Pécsen 1954. március 24-én indult el a középhullámú sugárzás 7 kW-os adóteljesítménnyel. Nem várt fejlemény, hogy az Adócsőgyár újfejlesztésű csöveivel sikerült 15 kW-ra emelni a kimeneti teljesítményt, így 1954. május 13-ától már a 15 kW-os üzemben működött ez az állomás.

Egy második 7 kW-os adót Balatonszabadiba telepítettek, hogy a környékén a Petőfi műsor vételét segítsék. Ehhez Balatonszabadin egy különleges, 54 méter magas rácsos acél-szerkezetű antennát építettek, mely hazánkban az első földelt antenna volt, betáplálási pontja a torony csúcsában volt.

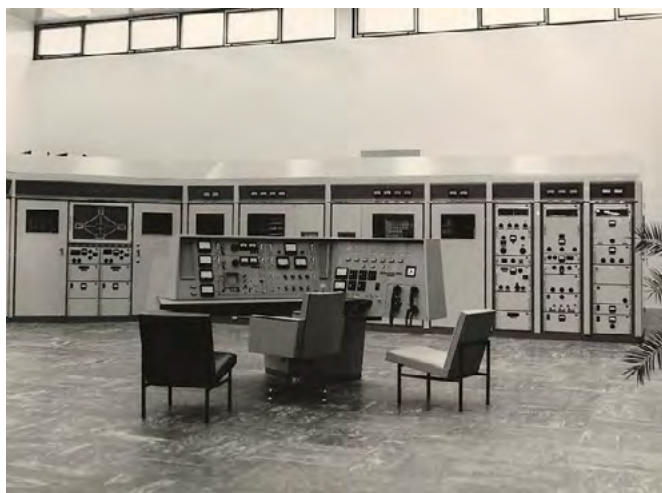
Egy harmadik 7 kW-os adóberendezést 1955. december 20-án szállítottak Miskolcra és 1956. április 17-én helyezték üzembe, a 872 kHz-es frekvencián. Később mind a balaton-

szabadi, mind a miskolci 7 kW-os adót átalakították 15 kW teljesítményre. Miskolcon a hányatott életű kolozsvári adót leállították, majd 1957. őszén a Gyáli úti Puskás Tivadar Távközlési Technikum rádiótechnikai laboratóriumába szállították.

Lakihegy rekonstrukciója

1965-ben nyilatkozattételre kérték fel a Posta Rádió és Televízióműszaki Igazgatóságot, milyen intézkedésekre van szükség a Petőfi műsor országos ellátottságának feljavítása érdekében. A PRTMI állásfoglalása szerint a Petőfi műsort a két vidéki nagyadónak, Szolnoknak és Balatonszabadinak kell sugározni, az idegen nyelvű hírszolgálatot a lakihegyi 135 kW-os adóra kell irányítani. Mivel az adott időpontban a lakihegyi adó a Kossuth műsort sugározta, ez utóbbi részére egy új, 100% tartalékkal rendelkező főadót kellett létesíteni, márcsak azért is, mert a lakihegyi Standard adót a létesítésétől kezdve egyszer sem újították fel. Az új nagyadó számára Lakihegyen egy új szárnyépületet és egy új erősáramú állomást építettek.

A Magyar Adócsőgyár által megkezdett, majd az FMV által befejezett egyes számú 150 kW-os adó 1967. december 2-án kezdte a próbaüzemét. A második 150 kW-os adó befejezése után a két adót párhuzamosan, 300 kW teljesítménnyel járattva, hivatalosan 1968. december 28-án helyezték üzembe (31. ábra).



31. ábra A 2x150 kW-os Lakihegyi adóterem és kezelőpult

Ez volt az első középhullámú műsorszóró rádióadó az országban, amely 100%-os tartalékkal rendelkezett, és itt valószínűleg meg először a paraleljáratást. Az antennarendszeren nem változtattak, csak megerősítették a Blow-Knox antenna és a hozzávezető tápvonal szigetelését.

A 2x150 kW-os lakihegyi adó üzembehelyezése ellenére az ország főműsorral való ellátottsága évről évre romlott. 1971. végére az ország területének csak 55%-án lehetett megfele-

lő minőséggel venni a Kossuth műsort. Tetézte mindezt, hogy a Kossuth Rádió 539 kHz-es frekvenciáján egy Kuvaiban működő, 1500-2000 kW teljesítményű adó okozott zavart, amikor naplemente után, az ionoszféra D-rétegének megszűnésével az E-rétegről visszaverődve eljutottak hullámai a Kárpát-medencébe. A frekvenciák átállítása mellett a szakemberek döntése alapján végül az ország sugárzási középpontja közelében Solton, 2000 kW-os teljesítményű, PSZV-2000 típusú, Szovjet gyártmányú, két darab 1 MW-os blokkból álló berendezéssel új műsorszóró főállomást hoztak létre.

A solti 2000 W-os adó

1977. február 16-án ünnepélyesen felavatták Solt Rádióállomást. A 2000 kW-os teljesítmény két, egyenként 1000 kW-os monoblokk (önálló adóberendezés) teljesítményének „T” hídron történő összegzéséből adódik, így a folyamatos műsorsugárzás az egyik blokk üzemképtelensége esetén is biztosított.



32. ábra A solti rádióállomás látképe és adóterme

A két monoblokk teljesen azonos felépítésű, kimenetük az antennaváltó kapcsoló segítségével külön-külön is az antennára vagy a műterhelésre kapcsolható. Jóllehet a solti adó már a félvezetők korában épült, ekkora teljesítményt

továbbra is elektroncsöves technikával lehetett hatékonyan előállítani, így az adóberendezés lényeges fokozatai (beleértve a hangfrekvenciás moduláló jel fő erősítőit is) elektroncsövesek.

Mindkét monoblokk két-két gerjesztő egységet tartalmaz a két fix frekvenciának megfelelően. E gerjesztő egységekben egyenként két-két kvarcgenerátor kapott helyet, teljesen független termosztátokkal, tápegységekkel. Lehetőség van az adóberendezés külső meghajtására is. A gerjesztők minden lehetséges kommutációja a rádiófrekvenciás kommutációs kapcsolóegységgel történik.

A frekvenciasáv 525 kHz-től 1605 kHz-ig terjed. Két rögzített frekvenciával képes üzemelni a rendszer, az egyikről a másikra történő áthangolás időtartama 3–5 perc.

Moduláció

Az adóberendezésben nagyteljesítményszintű anódmodulációt alkalmaznak. A rádiófrekvenciás egység meghajtó- és végcsöveinek anódköri táplálása külön modulációs fojtótekerceken keresztül történik. A modulációs karakterisztika linearitásának növelésére a végfokozatban kiegészítő automatikus rács („egyenáramú”) modulációt, a meghajtó fokozatban pedig – a nagyfeszültségű tápegységben elhelyezett fojtótekerces segítségével – árnyékolórács-modulációt alkalmaznak.

Hűtés

A teljesítménycsövek anódjain disszipált teljesítményt elgőzöltető hűtési rendszer segítségével, forszírozott léghűtendő gőzkondenzátorokon keresztül vezetik el. A gőzkondenzátorok hűtésére szolgáló bekapcsolt ventilátorok számát és üzemidejét automatika szabályozza a kondenzátum hőmérsékletének megfelelően. A hűtéshez szükséges légmennyiség 120 000 köbméter/óra. A keletkező hő hasznosítására (az objektum fűtésére) gőz-víz hőcserélőket építettek be.

Vízhűtést csak az adó műterhelése és a T-híd ballasztellenállása által termelt hő elvezetésére alkalmaztak. A T-híd, illetve a műterhelés ellenállásai meghatározott fajlagos ellenállású hűtőfolyadék-oszlopból kialakított folyadék-ellenállások, közös hűtőrendszerhez kapcsolva. A műterhelés vízigénye 2000 kW teljesítmény esetén 60 köbméter/óra, a kiegyenlítő ellenállásé 22,5 köbméter/óra.

Áramellátás

Az adóberendezés táplálása 10 kV-os háromfázisú hálózatról történik egy 10/8 kV-os és egy 10/0,4 kV-os transzformá-

toron keresztül. A háromfázisú, kétutas kapcsolású, 192 db. tirisztort tartalmazó nagyfeszültségű egyenirányító a nagyfrekvenciás és hangfrekvenciás lánc csöveinek táplálását biztosítja folyamatos és automatikus kimenő feszültség szabályozással. A 8 kV-os váltakozó feszültséget vákuumkamrák kapcsolók vezetik a tirisztoros egyenirányítóra, egyúttal ezek kapcsolják az egység védelmét is.

A berendezés egyéb tápegységei vezérlés nélküliek, egyenirányításra szilícium-diódákat alkalmaznak, szükség esetén elektronikus feszültség-stabilizálással.

A teljesítménycsövek váltóáramú fűtésűek, fűtőfeszültségüket váltakozó feszültségű stabilizátorok szolgáltatják. Minden cső fűtőfeszültsége egyedileg szabályozható. Kivétel ez alól a rádiófrekvenciás meghajtó fokozat, mely egyenáramú fűtést kap.

Antennarendszer

A sugárzó rendszer függőleges, félhullámú, szigetelt, alsóbetáplálású, kikötött antennatorony. Magassága 298,4 m, elektromos hossza 203° . Mechanikailag egyenlő-oldalú háromszög keresztmetszetű, 2,5 m-es élhosszúsággal.

A toronytörzs tömege 180 t, a talpszigetelőre ható erő maximum 460 t. A feszítőkötelek szigetelőkkel alátámasztott változó hosszúságú szakaszokból állnak.

100%-os modulációs mélység mellett a nagyfrekvenciás feszültség a talpszigetelőn 115 kV, a felső szint feszítő köteleinél 90 kV.

A torony betáplálása 60 Ω hullámellenállású kvázikoaxiális tápvonallal történik, hossza 430 m. 100%-os modulációs mélységnél, illesztett lezárás esetén 50 kV feszültség keletkezik benne.

Az antenna bemeneti impedanciájának és a tápvonal hullámellenállásának illesztését különleges módszerrel oldották meg: az antennát az ún. illesztő tápvonal segítségével csatolják a főtápvonalhoz, az illesztési pont reaktanciáját pedig tápvonal-csonk segítségével hangolják ki. Ez a megoldási mód nagyteljesítményű állomásoknál különösen célszerű, mert segítségével elkerülhetők a koncentrált elemekből épült csatolóhálózatok, melyekben nagyteljesítményű induktivitásokat és kapacitásokat kellene használni. Az illesztő tápvonal hullámellenállása 115 Ω , a benne fellépő feszültség sehol sem haladja meg a 115 kV-ot.

Az antennatorony nagyfrekvenciás földhálózata 120 szál, 420 m sugarú körben sugarasan elhelyezett, a talaj felszíne alatt 50 cm mélységben lefektetett 2 mm átmérőjű rézhuzalból épült.



33. ábra A solti rádióállomás antennája és tápvonala

Fizikai és főleg rádiófrekvenciás jellemzőivel önmagában is különlegesség Solt, fejlődése azonban nem ér véget ezen a ponton. Amikor már látszólag a múlt hírnökévé öregszik, fönixmadár módjára kel új életre egy digitális korszak kel-
lős közepén. Mindezt következő cikkünkben részletezzük...

Felhasznált irodalom:

- A csepeli rádió-állomás 10 éves története. 1914-1924. Budapest, a M. Kir. Posta csepeli rádió állomásának személyzete, 1924.
- Soós László: Fehér pázsit, Magvető Kiadó, Budapest, 1983.
- Sugár Gusztáv: A magyar rádiózás története a felszabadulásig, Posta Rádió és Televízióműszaki Igazgatóság, Budapest, 1985.
- Sugár Gusztáv: A néprádiótól a műholdas televízióig, Ajtósi Dürer Kiadó Bt., Budapest, 1993.
- Balás B. Dénes – Csipkés Ernő: Katonarádió, katonai műsoradók a II. Világháborúban, Haditechnika, Budapest, 2004-2005.
- Balás B. Dénes: A Gyáli-úton tanított Dr. Magyar Endre postamérnök, Puskás Tivadar Távközlési Technikum kiadása, Budapest, 2004.
- Szempl Jenő: Harminc év a mosonmagyaróvári rádióállomás életéből, PRMTIG kiadása, Modulátor 1975/2.
- Balás B. Dénes: A kassai rádióállomás (1938-1944), RT. Évkönyve 1997.
- Balás B. Dénes: A kolozsvári rádióállomás (1940-1944), RT. Évkönyve 1998.
- Balás B. Dénes: Egy műsorszóró reléállomás: Magyaróvár (1933-1945), RT. Évkönyve 2004.
- Balás B. Dénes: A (Rádió) vonal túlsó vége: A magyar rádiózás második adóberendezése, Nostalgia Rádió Hírújság, 2001. április
- Balás B. Dénes: A (Rádió) vonal túlsó vége: A magyar rádiózás első adóberendezése, Nostalgia Rádió Hírújság, 2001. június.
- Balás B. Dénes: A (Rádió) vonal túlsó vége: A magyar rádiózás első nagyadója Lakihegyen, Nostalgia Rádió Hírújság, 2002. április
- Balás B. Dénes: A Lakihegyi 314 méteres „szivar” antenna történetéből, Nostalgia Rádió Hírújság, 2003. október

Fényképek és rajzok jogtulajdonosai:

- Postamúzeum Fotótára
- Balás B. Dénes
- Czirják Gyula
- Kompordai Aurél
- Balás Ferenc

2 MW-OS REKONSTRUKCIÓ SOLTON

Szerző:

Balla Éva villamosmérnök, 4iG Műsorszóró Infrastruktúra Kft. (korábban Antenna Hungária Zrt.)

Vámos Viktor villamosmérnök, 4iG Műsorszóró Infrastruktúra Kft. (korábban Antenna Hungária Zrt.)

Csász Jenő villamosmérnök, 4iG Műsorszóró Infrastruktúra Kft. (korábban Antenna Hungária Zrt.)

Amint az előző értekezés sugallta, Solt története messze nem ért véget a 2 MW-os (szovjet) elektroncsöves középhullámú adó felépítésével. Noha mára már háttérbe szorult a középhullámú sáv, még mindig számottevő hallgatósággal rendelkezik, különösen nagytávolságú vétel esetén – ami a Kárpát-medencei magyarság szempontjából is fontos szempont. A digitális korszak – többek között a hagyományos „AM”-sávokba tervezett DRM rendszer megjelenésével – emellett új esélyt adott ennek a hullámsávnak.

Az alábbi cikkünk nem csupán az előző írásunk folytatása, a Rádiótechnika újság 2019/06. száma is leközlte.

Az állomás története

Amint az előző értekezésünkben leírtuk, az 1970-es évek elejére a Kossuth Rádió lefedettsége – 300 kW adóteljesítménnyel a lakihegyi szivar toronyról – jelentősen beszűkült. Az ország első számú hírforrásaként ez az állapot tarthatatlan volt. Ennek kiküszöbölésére az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság széleskörű tanulmányt készített, amelyben javaslatot tett egy 2000 kW teljesítményű adóberendezés létesítésére, melyre a – hozzávetőlegesen az ország geometriai középpontjában elhelyezkedő – Solt városa bizonyult a legjobb helynek.

1974. szeptemberében el is indult a nagyszabású építkezés, melynek során kialakították az állomás épületét, az erősáramú alállomást, a 298,4 méteres sugárzó hosszúságú antennát, valamint letelepítették az egész állomás „lelkét”, a PSZV2000 típusú adóberendezést. Az új szovjet gyártmányú adóberendezés két, egyenként 1 MW-os blokk összegzésével állította elő ezt a lélegzetelállító teljesítményt, kellő tartalékot is képezve, hiszen a blokkok önmagukban is képesek voltak üzemelni, amíg a másik blokkon egy esetleges javítást kellett elvégezni.

1977. január 10-én a PSZV2000-es átvette a Kossuth Rádió üzemi sugárzását, újra biztosítva ezzel az ország teljes lefedettségét.



1. ábra A PSZV2000 típusú adóberendezés – még a 2017-es rekonstrukció előtt

A rekonstrukcióról

Bármilyen robusztus, bármilyen időtálló is volt ez a technológia, napjainkra a PSZV2000-es adóberendezésen is egyre inkább érződött az idő vasfoga. A meghibásodások számának növekedése, az adócső beszerzések bizonytalansága egyre inkább előrevetítette, hogy az adóberendezés üzembiztos működtetése már nem biztosítható sokáig...

Ennek a helyzetnek a megoldására teremtett lehetőséget az 1982/2015. (XII.23.) kormányhatározat, amely a solti rádióállomás teljes rekonstrukciójáról rendelkezik. A felújítás az állomás teljes erősáramú és infrastrukturális létesítményeire, az antennatorony korrózióvédelmére és ami a legfontosabb: az adóberendezés cseréjére terjedt ki. Az infrastrukturális munkálatoknál figyelembe kellett venni, hogy az állomás 2012 óta ipari műemléki védeltséget élvez, így a felújítást követően is az eredeti állapotot kellett tükröznie.

Az adóberendezés gyártására kiírt pályázatra két jelentkező adott be ajánlatot: a kanadai Nautel és a német Transradio (a Telefunken Sendersysteme utódvállalata). Az adóberendezés kiválasztásakor kritikus szempont volt az adó ára, energiahatékonysága, a fizikai méret (hiszen az orosz adó üzemelése mellett be kellett férnie a solti állomás adótermébe), illetve a távfelügyelhetőség. Ezenkívül az adónak alkalmasnak kell lennie DRM üzemmódra is, felkészülve a távolabbi jövőre. A fenti szempontok figyelembevétel alapján a kanadai Nautel gyár adójára esett az Antenna Hungária választása.

A rekonstrukció során az adóberendezések telepítése mellett sor került öt darab 11/0,315 kV-os transzformátor telepítésére is, mivel az NX400-as adóberendezések 315 V-ról üzemelnek. Kiépítettek még egy új 11 kV-os kapcsolóteret is, amely az előbb említett öt transzformátor között hivatott szétosztani a tartalékolt betáplálást. Az új adóberendezés mellé egy teljesen új kezelőhelyiséget is ki kellett alakítani. Itt kapott helyet két asztali számítógép, amelyről az adóberendezés állandó felügyeletét biztosítják az adókezelők, itt helyezték el a műsorjel szétosztásában szerepet játszó összes berendezést, valamint itt található meg az új léghűtő rendszer vezérlőegysége is. A telepítés közel 6 hónapos időtartama alatt a PSZV2000-es adóberendezés működése folyamatosan biztosítva volt egészen az új adó üzembehelyezéséig.

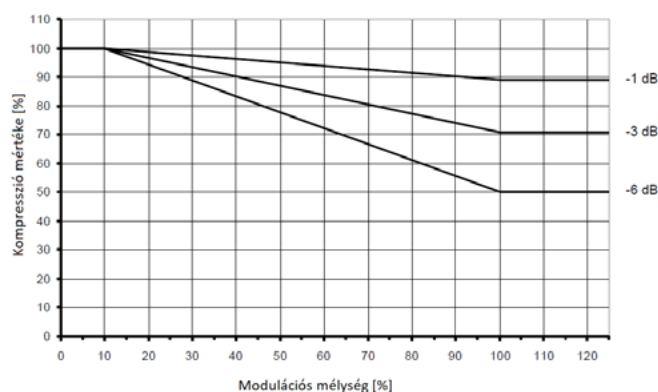
A Nautel adó üzemszerű működése az átvételi próbák teljesítése után, 2017. november 27-én kezdődött. A hivatalos ünnepélyes indulásra pedig stílszerűen 2017. december 1-jén – a magyar rádiózás napján – került sor.

Az új Nautel NXC2000 adóberendezés

Az NXC2000-es rendszer 5 darab 400 kW-os félvezetős adóberendezésből, illetve egy összegzőből áll, amely az öt adóberendezés vezérléséért is felel. Míg az adóberendezések egy mára már kiforrottaknak számító széria részei, az összegzőt a Nautel kifejezetten Soltra fejlesztette ki, azaz nincs is ebből több a világon. Mielőtt azonban rátérnénk az összegzőre, nézzünk meg közelebbről egy NX400-as adóberendezést!

Az adóberendezés négy szekrényből áll, melyekben egyenlően elosztva kapott helyett az a 160 darab végfokozat, amely a 400 kW-os kimenő teljesítményt előállítja. Ha gyorsan elvégezzük az osztást, megkapjuk, hogy egy végerősítő egység 2,5 kW teljesítményt ad le, melyet 4 darab, hídba kapcsolt 400 voltos N-csatornás MOSFET állít elő. Üzemeltetési szempontból igen fontos tulajdonsága az adónak, hogy egy-egy végfok meghibásodása esetén nincs szükség az adó leállítására a rossz egység kicseréléséhez, hanem – a párhuzamos összegzésnek köszönhetően – üzem közben veszélytelenül megtehető. A végfokozatokban ezenfelül annyi tartalék van, hogy az adó akár a végfokok 10%-ának (azaz 16 darab) kiesését is képes teljesítménycsökkenés, illetve minőségromlás nélkül kompenzálni.

A félvezetős adóberendezés energiafelvétele közel 15%-kal kisebb a régi csöves adóéhoz képest. Az energiahatékony-ságot tovább növeli az ún. MDCL (Modulation Dependent Carrier Level) technológia, ami a kimenő teljesítmény modulációs mélység függvényében történő szabályozását jelenti. Több változata is ismert, jelenleg az AMC-t (Amplitude Modulation Companding) használják Solton, de nem az általánosan alkalmazott 3 dB-es beállítással, hanem 100%-os modulációs mélység esetén 1,7 dB a maximális „vivőcsökkenés” (az eredetinek kb. 2/3 része, lásd 2. ábra).



2. ábra AMC karakterisztikák

Az adóberendezés egy Linux-alapú, úgynevezett „egykártyás számítógépen” keresztül vezérelhető, amely az adóberendezés első szekrényében található. Ezen a számítógépen fut az adó felhasználói felülete, amelyhez az adón található érintőkijelzőről, illetve távolról egy internetképes eszköz webböngészőjéből is hozzá lehet férni (fontos a Java támogatása). A felhasználói felület lehetőséget ad az adó felügyeletére, mint például hibanapló megtekintése, különböző részegységek mért üzemi paramétereinek ellenőrzése, kimeneti spektrum monitorozása, stb. valamint teljeskörű vezérlést is biztosít. Itt lehet választani AM-, illetve DRM-üzemmód közül, beállítható a kimenő teljesítmény, az aktuálisan alkalmazott vivőszabályozó karakterisztika; a felsoroltak szabadon paraméterezhetők is, de beállítható az ütemező segítségével az is, hogy az adóberendezés a műsoridő kezdetekor automatikusan elinduljon, majd a végén leálljon.



3. ábra Az adó kezelőfelülete

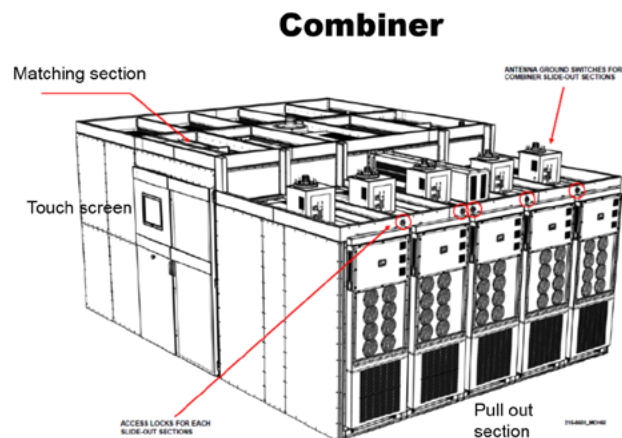
Az NX400-as főbb paramétereit lekérdezhetők SNMP-protokollon keresztül, valamint „SNMP Trap” üzeneteket is küld a lényeges eseményekről. Az SNMP-protokoll ismerete szintén fontos szempont volt az adóberendezés kiválasztásakor, hogy be lehessen integrálni az adót az Antenna Hungária felügyeleti rendszerébe.

Adódhat a kérdés, hogy mi történik akkor, ha a vezérlést biztosító számítógép elromlik. A rövid válasz erre az, hogy semmi, mivel alapvetően ez a számítógép csak egy felhasználói felületet biztosít a felügyelethez/vezérléshez, de a tényleges szabályozási folyamatokért, illetve védelmi működésért már egy nagymegbízhatóságú céláramkör, egy vezérlőpanel felel. Így amennyiben esetlegesen meghibásodik egy egykártyás számítógép, a hallgató semmit nem vesz észre belőle. Ahogyan azt fent már említettük, Solton 5 darab ilyen NX400-as adóberendezés üzemel, melyek teljesítményének összegzésével kapjuk meg a kívánt 2 MW-ot.



4. ábra Az új NX2000-es adóberendezés

Az összegző megtervezése több okból is komoly kihívást jelentett a Nautel mérnökei számára. Ennek megértéséhez nézzük meg először, milyen kritériumoknak kellett megfelelnie ezen összegzőnek! Először is a rádióállomás műemlék jellege miatt a meglévő épületben, a PSZV2000 adóval egy térben kellett megoldani az új adó elhelyezését. Másodszor, a régi tápvezetési rendszer, amelyre az új Nautel adóberendezés is csatlakozik, 60 Ω hullámimpedanciájú. Illeszteni kell tehát az adóberendezések 50 Ω -os kimenetét a tápvezetési impedanciájához, mégpedig úgy, hogy 1-től 5-ig bármilyen elrendezésben összegezhetőek legyenek az adók kimenetei. Ezzel összefüggésben merül fel a következő probléma: az adók jelének összegzése. Két adóberendezést összegezni nem olyan bonyolult feladat, láthatunk is rá példát más gyártók, például a Nautel kínálatában is. Esetünkben azonban változó számú adóberendezés összegzését kellett megvalósítani úgy, hogy minden esetben biztosítva legyen, hogy az adóberendezések ne dolgozzanak egymás ellen. Ez nagyon kritikus feladat, hiszen ekkora teljesítmény mellett a legkisebb szinkronitási hiba esetén is több száz voltos különbségek adódhatnak az egyes adók kimenetei között.



5. ábra Az NX2000 típusú összegző

Nézzük meg, hogyan lett úrrá a fenti nehézségeken a Nautell! Az összegző alapvetően egy csillagpontos Wilkinson-összegző néhány egyedi megoldással. Mint az 5. ábrán is látszik, két fő részből áll: az illesztő körből, illetve az úgynevezett kihúzható részből. Az NX400-as adóberendezések felől érkező tápvonalak a kihúzható részhez érkeznek. Itt méretes kapcsoló motorok segítségével történik az útválasztás – lehetőségünk van vagy műterhelésre kapcsolni az adókat, vagy leválasztani őket teljesen a rendszerről – valamint itt helyezkednek el a ballasztellenállások is. Ezek a ballasztellenállások egy csillagpont és az egyes adóberendezésekhez tartozó tápvonal-ágak közé vannak beiktatva, céljuk, hogy a fent említett szinkronitási pontatlanságok esetén megóvják az adóberendezéseket, a parazita teljesítményt eldisszipálják. A ballasztellenállások után a tápvonalak továbbhaladnak az „illesztőkör” részbe, ahol összefutnak egy közös pontba. Eddig a pontig illesztés nem történik, így látható, hogy ennek a pontnak az impedanciája attól függ, hogy hány 50 ohmos kimenetű adóberendezést összegzünk éppen. Az NXC2000 combiner ehhez minden esetben alkalmazkodik, kapcsolómotorok segítségével mindig az adott impedancia-viszonyoknak megfelelő illesztőkört alakít ki úgy, hogy a kimeneti impedancia minden esetben 60 ohm legyen.

Az összegző berendezésen is található egy érintőkijelző, amelyen maga az összegző felhasználói felületéhez enged hozzáférést. Itt lehet beállítani, hogy mely adókat kívánjuk összegezni, ide fut be a megannyi mérés eredménye, ame-

lyet az összegző végez – a teljeség igénye nélkül: kimenő teljesítmény, visszavert teljesítmény, külső, belső hőmérsékletek, ballaszt teljesítmény, stb. –, valamint az adóberendezések alapszintű vezérlése is lehetséges innen. Üzemi körülmények között ugyanis az NX400-as adóberendezések „távvezérelt” üzemmódban működnek, és az indításukat/leállításukat az összegző végzi, így biztosítva, hogy minden egység egy rendszert alkotva, pontosan egyszerre induljon/álljon le.

Azóta...

2017. november vége óta zavartalanul üzemel Solton a világ legnagyobb teljesítményű félvezetős adója, lefedve a Kossuth Rádió műsorával nemcsak hazánkat, de szinte az egész Kárpát-medencét. Az utóbbi években számos európai országban csökkent a középhullámú műsorszórás jelentősége, és igazi ritkaságnak számít már egy 1 MW feletti teljesítménnyel rendelkező állomás. Az pedig, hogy egy adóteremben kettő (üzemképes!) 2 MW-os adóberendezés is megtalálható egymás mellett, az egész világon egyedülálló.

Utaltunk rá, hogy az új, félvezetős adó DRM üzemmódban is képes működni. A 2017-es átvételi vizsgálatok során 2 MW-os teljesítménnyel DRM-jelet is sugárzott, világrekordot állítva fel ezzel a digitális rádiórendszer vonatkozásában – azóta is a solti a világ legnagyobb teljesítményű DRM-képességgel felvértezett adója...

A LAKIHÉGYI ADÓANTENNA A TERVEZŐMÉRNÖK SZEMÉVEL

Szerző: dr. Nagy Lajos egyetemi docens, BME-VIK Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék

A Lakihegyi Állomás életét, fejlődését az előző oldalakon többször érintettük már, részletesebben taglalva a híres „szivarantenna” történetét is. Úgy gondoljuk, e történelmi és műszaki szempontból is kiemelkedő jelentőségű műalkotás megérdemli, hogy titkait mélységében is felfedjük, részletesen bemutatva többek között tápvonalának veszteségszámítását, talpszigetelőjének paramétereit stb. Tesszük mindezt azzal a céllal is, hogy rávilágítsunk arra, hogy az antenna magyar megalkotói – többek között Istvánffy Edvin, Magyar Endre és Sárközy Géza – a világ elitjébe tartoztak, példaképként szolgálva kortársaink és a fiatal, jövő mérnökei számára egyaránt...

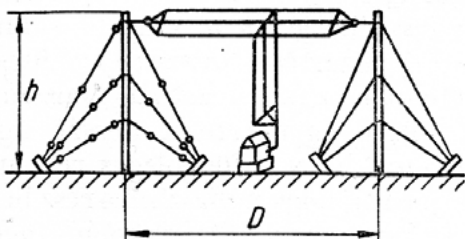
A lakihegyi adóantenna története

Még az 1920-as évek végén felmerült az igény egy Lakihegyen kialakítandó, az egész ország területén jó vételt biztosító rendszer kiépítésére. A torony amerikai terveit Tantó Pál mérnök adaptálta a Csepel-szigeti homokos talajviszonyoknak megfelelően. A tervezés közel négy évig tartott. [1]

A lakihegyi, szivar formájú acél antennatorony építését 1933. július 1-jén kezdték meg a MÁVAG szerelői Massányi Károly vezetésével, öt hónappal később, 1933. december 2-án már átadták a 120 kW teljesítményű adóberendezéssel. Az önsugárzó adóantenna (maga a torony a sugárzó monopól antenna) amerikai tervek adaptálásával, rácsos szerkezetű, Blaw-Knox típusú toronyként épült.

Az antenna tervezésénél a főbb szempontok Magyarország teljes területének középhullámú ellátása volt, az éjszakai fading csökkentése mellett, így választották a 0.55λ magasságú antennát. A helyszín kiválasztásánál az ellátandó terület mellett fontos szempont volt, hogy jó vezetőképességű legyen a talaj.

Az 1920-as évekig az antennákat a hosszú- és középhullámú sávon fa- vagy acéltornyokra szerelt, T- vagy L-alakú huzal-antennaként alakították ki (1. ábra).



1. ábra T- és inverz L-típusú antennák [1]

Jó hatásfokú, közel félhullámhosszú, önsugárzó antennatornyok elsőnek az Egyesült Államokban (Bostonban és Wynneban) épültek. Kiderült, ha mechanikai hosszúságuk kismértékben meghaladja a hullámhossz 0,5-szörösét (0,5-0,55 közötti), akkor az iránykarakterisztikájuk a vízszintes síkban jelentősen kiterjed és közel 45 fokos elevációs irányban létrejön egy minimumhely az iránykarakterisztikában, így jelentősen megnő a fading-mentesen besugározható terület. Angliában a BBC laboratóriuma végezte a kezdeti kísérleteket, az Egyesült Államokban pedig a Blaw-Knox Co. [5] dolgozta ki a rombusz alakú, statikailag kedvező, egyenszilárdságú torony szerkezetet. Magyar Béla már 1924-ben, első tanulmányútja idején felvetette az önsugárzó antennatornyok gondolatát a Telefunken mérnökei előtt, de akkor ezt elvetették. 1932 körül viszont már jelentős számú mérési eredmény állt rendelkezésre. 1933-ban a Posta és a Magyar Rádió Rt. közös beruházásaként a Standard Villamossági Rt.-től, egy 120 kW-os középhullámú műsorszóró nagyadót rendeltek Lakihegyre. A tervezési kiírásban Magyar Endre, a Posta Kísérleti Állomás adástechnikával foglalkozó mérnöke, un. antifading, önsugárzó toronyantenna tervezését és megvalósítását írta elő. Az adóberendezés és antenna tervezésében a Standard Villamossági Rt. több mérnöke is részt vett (2. ábra).



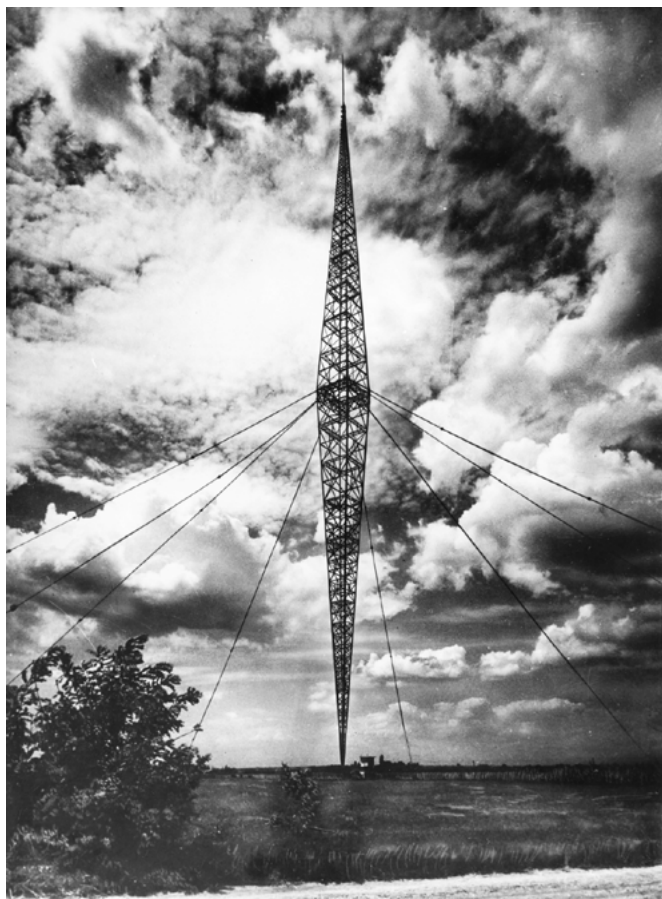
2. ábra A 120 kW-os adó tervezői: McLean angol, Sárközy Géza Standard gyári, Magyar Endre posta-, Czeglédi György és Istvánffy Edvin Standard gyári mérnök
(forrás: <https://www.postamuzeum.hu/fotoalbumok-2>)

A torony adatai:

- Blaw-Knox típusú, önsugárzó monopól antenna, Pittsburgh (USA) US patent 1,897,373
- Típus: nyújtott oktaéder (szivar) alakú
- Gyártók:
 - Magyar Királyi Állami Vas-, Acél és Gépgyárak Rt. (MÁVAG) – acélszerkezet
 - Felten és Guillaume Kábel-, Sodrony- és Sodronykötélgyár Rt. – sodronykötél
 - Standard Villamossági Rt. – 120 kW teljesítményű adóberendezés
- Megrendelő: Magyar Királyi Posta és a Magyar Telefontelepítő és Rádió Rt.
- Kivitelező: Standard Villamossági Rt.
- Tömeg: 230 t vasszerkezet

A lakihegyi antenna a világ valaha megépített legmagasabb Blaw-Knox rendszerű szivarantennája, amely a világon a harmadik, Európában a második ilyen építmény volt. Megépítésének idejében Európa legmagasabb építménye, magasabb volt az akkor még 300 m magas Eiffel-torohnál (3. ábra)!

Blaw-Knox szivarantennákat az USA-n kívül a világon csak Európában építettek 1932 és 1937 között. A műsorszórási rádióadás 120 kW teljesítménnyel kezdődött a „Budapest I” sugárzásával.



3. ábra A lakihegyi adóantenna fényképe
(forrás: <https://fortepan.hu/hu/photos/?id=56166>)

A 314 méter adóantenna a hazai ipar büszkeségévé vált. A Standard Villamossági Rt., mint a torony kivitelezője ennek az antennának a képét választotta céglogójának (4. ábra).



4. ábra Standard Villamossági Rt. céglogója
(forrás: <http://sikbela-radio.hupont.hu/5/standard-radio>)

Az antennát 11 éves zavartalan működés után, 1944. november 26-án pusztították el a visszavonuló német csapatok. A tornyot hat egymás melletti feszítőkötélnek a kikötő beton-tömböknél való felrobbantásával döntötték le. A tornyot úgy tervezték, hogy a rögzítésére használt nyolc sodronykötél közül kettő tetszőleges helyen történő szakadása esetén is talpon maradjon. A gyár a műszaki adatokat „túlteljesítette”, hat helyen kellett a sodronykötelek rögzítését felrobbantani a torony ledöntéséhez.

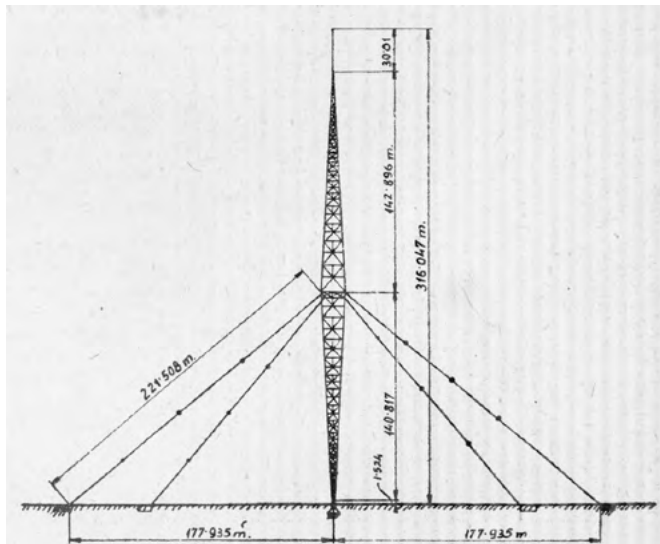
A második világháború utáni újjáépítés során, a torony felépítésének megtervezésekor több lehetőség merült fel, a korábbi torony újjáépítésétől a teljesen új konstrukció létesítéséig. A költség-haszon elemzés végül azt mutatta, hogy az akkori műszaki fejlettség mellett sem lehet 5%-nál nagyobb lefedettséget elérni új, más konstrukciójú antennával, míg a korábbi torony újjáépítése során a megmenthető acélszerkezet felhasználásával jelentős költségmegtakarítás érhető el.

A MAVAG 1945. november 1-jén kezdte meg a romok szét-szedését. A kiegyengetésre alkalmas acélszerkezetet a MAVAG Kőbánya úti gyárába szállították. Még nem is fejeződött be teljesen a romok szétszedése és beszállítása, amikor 1946 március 30-án már felállították az első 26 méteres részt. Június elején már túlhaladta a torony a 70 méteres magasságot és akkor szükségessé vált a romanyag pótlásához szükséges 140 tonna új acél beszállítása, melyet nagyrészt a Rimamurányi Salgótarjáni Vasmű Rt., kisebb részben a diósgyőri MAVAG gyártott. A kötélszigetelők gyártását a Nagybátöny-Ujlaki Egyesült Iparművek Rt. vállalta. Ezek a szigetelők különleges nagyfrekvenciás kerámiából készülnek, ilyeneket még sohasem gyártottak Magyarországon. A gyártás csak igen nagy nehézségek árán indult meg, de a toronyépítés előrehaladását nem gátolta. Az amerikai szigetelők szilárdsági tulajdonságát ugyan nem sikerült elérni, mégis megfelelőeknek bizonyultak.

Az építés a legszélesebb méretig – 143 m-es magasságig – a toronyba beépített, egy-egy szakasz felszerelése után tovább emelt segédtoronnyal történt. A legszélesebb keresztmetszet elérése után már nem mehetett a szerelés ezen a módon, hanem a csökkenő keresztmetszet miatt a toronyba darut kellett szerelni, mely ki tudott nyúlni a legszélesebb részen túlra is. Ezt a darut külön erre a célra építette a MAVAG, s az a toronyban a négy főtartóhoz erősített kötérendszeren függött. Egy-egy szakasz felszerelése után a daru a feljebb helyezett kikötéseken át önmagát húzta feljebb.

Az antennatoronyra végül felszerelték a 30 méteres acélcsövet is, a végén a villámvédelmet szolgáló kb. 40 cm átmérőjű rézgömbbel. Az újjáépített antennatorony 1946. december 14-ére készült el és december 22-én adták át. (5. ábra)

A torony újjáépítésének becsült költsége egy teljesen új torony építési költségének 10%-át sem érte el. [3]



5. ábra A lakihegyi 283,7 m magas antenna (az alapzat szintjétől mérve, a talpszigetelővel és kitolható acélcsővel együtt $283,7 + 30,81 + 1,524 = 316,047$ m magas)

1946-tól 1967-ig a torony változtatás nélkül teljesítette feladatát. 1967-ben a 135 kW-os Standard adó mellé egy új, 2×150 kW-os adót telepítettek, amely párhuzamosan járva 300 kW-ot adott az antennára. 1977-ben a lényegesen korszerűbb, 1 MW-os Solti rádióadó üzembehelyezését követően a lakihegyi állomást annak tartalékává léptették vissza.

1983-ban felmerült az antenna lebontásának kérdése, de többen megkeresték a korabeli sajtót, és számos cikk jelent meg arról, hogy ezt a páratlan magyar műszaki emléket meg kell menteni. Műszaki és muzeológus civil szervezetek is tiltakoztak. Volt, aki fölvetette, hogy a népköztársaság történetében először népszavazást kellene tartani. Mások pénzgyűjtést indítványoztak a torony újrafestési költségeinek fedezésére. Még a bontás délelőttjén is úgy tűnt, hogy a „Szivart” ledöntik, aztán pár perccel az esemény kezdete előtt a Kossuth Rádióban vezető hírként hangzott el, hogy

a torony marad! 1985-ben ipari műemlékké nyilvánították, 2006. nyarán teljesen felújították [6].

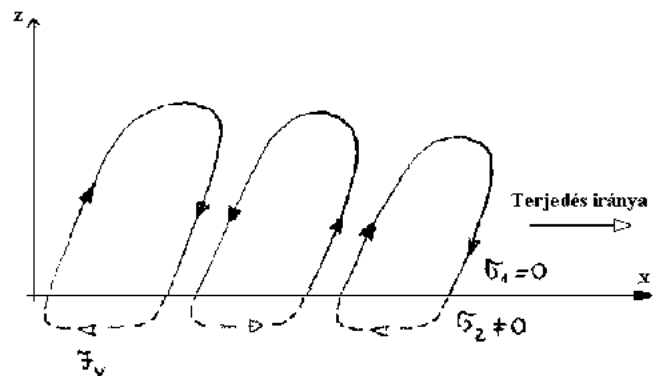
A műemlékké nyilvánítás határozati indoklás szövege (1985. augusztus 21): „A fentiek szerint határoztunk, mivel az 1933-ban elkészült antennatorony a magyar ipar, a magyar mérnöki munka kiemelkedő teljesítménye, építésének idején világszínvonalú alkotás – a világon a második Blaw-Knox típusú antifading antenna, Európa legmagasabb építménye volt. Így a lakihegyi 314 méteres antennatorony hazánk történeti múltjának – a magyar rádiózásnak és mérnöki technikának – jellegzetes, pótolhatatlan olyan emléke, amely az ország gazdasági, társadalmi és kulturális fejlődésének tárgyi bizonyítékául szolgál, és iptörténeti szempontból kiemelkedő jelentőségű.” [7]

2006. nyarán komoly felújításon esett át és ismét üzembehelyezték. Jelenleg továbbra is a Solti rádióadó tartaléka, de fő üzemből 135,6 kHz-en HGA22 jelzéssel idősinkron jeleket sugároz, amit az áramszolgáltatók az éjszakai-nappali ellátás közti váltásra használnak fel. A tornyot ipari alpinisták képzésére is használják (megmászása kb. két óra hosszat vesz igénybe).

A torony elméleti háttere: fading-csökkentő antennák

A középhullámú sávban az elsődleges hullámterjedési mechanizmus a felületi hullámú (talajhullámú) terjedés, mely követi a talaj-levegő határátmenetet. Ugyanakkor az ionoszféra hatása sem hanyagolható el és másodlagos terjedési mechanizmusként térhullámok is létrejönnek. Ez utóbbiak lehetővé teszik a napnyugta utáni nagytávolságú középhullámú vételt, viszont éppen a nagytávolságú ionoszférikus terjedés miatt szelektív fading-et is okozhatnak.

A felületi hullám a jól vezető Föld és a levegő határfelülete mentén alakul ki, elektromos erővonalai a 6. ábrán láthatók.



6. ábra Felületi hullámok terjedése

A levegőben folyó eltolási és a talajban folyó vezetési áram zárt hurkot alkot. Az elektromos erővonalak a talaj véges vezetőképessége miatt a haladás irányába megdőlnek. A

felületi hullámú terjedés által létrehozott térerősség főként az üzemi frekvenciától, a talaj elektromos paramétereitől – vezetőképesség, dielektromos állandó – függ, és ezek ismeretében Sommerfeld által publikált összefüggésekkel jól tervezhető [8].

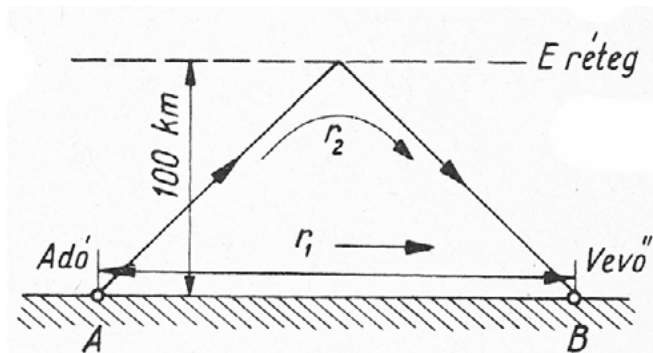
Az ionoszférikus terjedési jelenségek leírására Arthur Kennelly és Oliver Heaviside 1902-ben egymástól függetlenül javasolta egy, a légkörben lévő, rádióhullámokat visszaverő ionizált réteg létezését és fiktív reflexiós rétegeket tételeztek fel. Az azóta elvégzett vizsgálatok kimutatták, hogy a Föld felszínétől felfelé haladva helyi ionizációs maximumok vannak és az ezeken létrejövő többszörös refrakció a fizikai oka az ionoszférikus terjedésnek.

A D réteg

A Földhöz legközelebbi, legkevésbé ionizált réteg, melynek magassága 70-100 km. Csak nappal létezik és jelentős csillapítást okoz a rajta történő áthaladásakor. Ezen tulajdonsága következtében nappal gyakorlatilag nem lehetséges a térhullámú középhullámú távolsági vétel. A csillapítás maximuma 1 MHz-nél van.

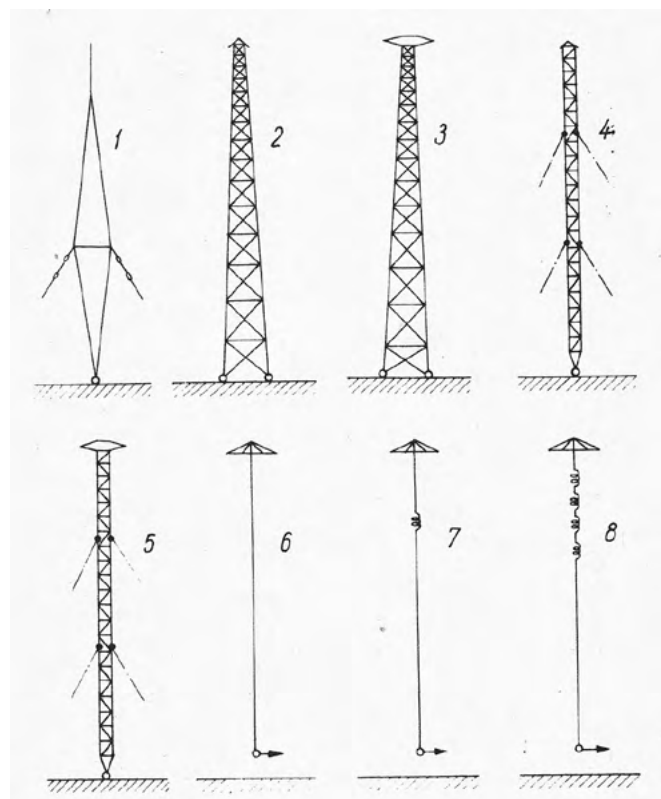
Az E réteg

Az E réteg magassága 100-150 km. Stabil réteg, melynek magassága nem változik számottevően sem a földrajzi helyzet, sem a napszak, sem az évszak függvényében. A középhullámú műsorszóró sávban (200-600 m, 1500-500 kHz) túlnyomórészt az E rétegnek van szerepe a térhullámok terjedésénél. Nappal az ionoszférába hatoló hullámokat az ekkor jelen lévő D réteg elnyeli. Éjjel a D réteg és így csillapítása jelentéktelen lesz, míg az E réteg dielektromos refrakció útján veri vissza a hullámokat. A felületi hullámmal (r_1 jelűt a 7. ábrán) az E rétegről reflexióval beérkező térhullám (r_2 út) okoz interferenciát és a változó fáziskülönbséggel beérkező hullámok eredményeképpen szelektív fading jelentkezik (7. ábra).



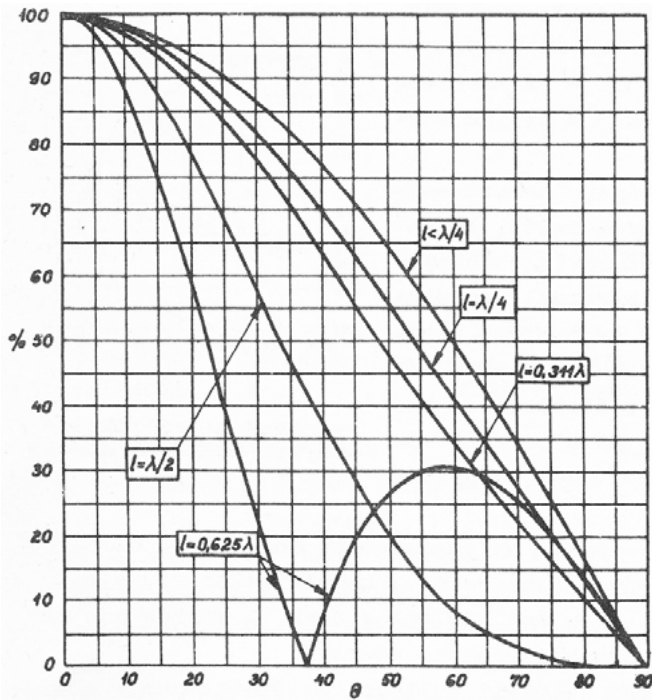
7. ábra Felületi hullám és térhullám interferenciája révén létrejövő szelektív fading [2]

Közel fading határnak általában azt tekintjük, amikor a felületi hullám és térhullám amplitúdója egyenlő. Ez a határ 100 kW nagyságrendű adóteljesítmény mellett olyan távolságra van, ahol nappal a vétel kifogástalan, tehát indokolt ellene védekezni. A fadinghatár az antenna ferdén felfelé történő, ionoszférába irányuló sugárzásának csökkentésével tolható ki. A függőleges monopól antenna hosszának $\lambda/2$ -nél nagyobbra növelésével a megjelenő kis melléknyaláb és a főnyaláb közötti iránykarakterisztika nullhely kioltást eredményez, azaz a térhullámú összetevőt elméletileg nullára csökkenti. A kioltási szög jellemző értékét 45° körülire állítják be. Fadingcsökkentő antennák közös jellemzője tehát a $\lambda/2$ -nél nagyobb függőleges hossz (8. ábra; lásd feljebb a lakihegyi torony magasságának taglalását).



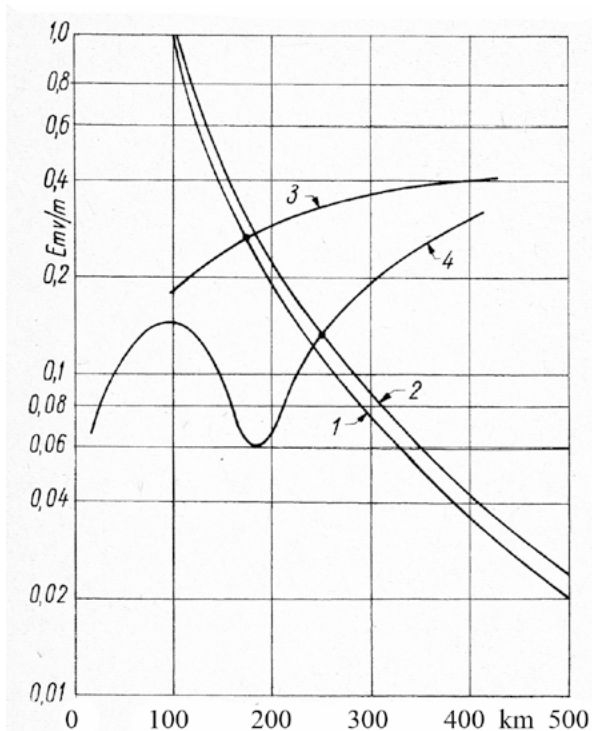
8. ábra Szelektív fading csökkentő antennák: 1 – szivarantenna rúddal (Lakihegyi adóantenna), 2 – öntartó toronyantenna, 3 – öntartó torony tetőkapacitással, 4 – egyenletes keresztmetszetű kikötött torony (Solti adóantenna), 5 – egyenletes keresztmetszetű kikötött torony tetőkapacitással, 6-8 tetőkapacitással és induktivitással terhelt, fatoronyban felfüggesztett antennák [2]

A függőleges monopól antennák különböző függőleges irányszögekbe kisugárzott relatív teljesítményviszonyát szemléltetjük a 9. ábrán, mely alapján megállapíthatjuk, hogy az antennahossz $0,5-0,625 \lambda$ mérettartományban választandó. A lakihegyi 30 méteres antennatoldal ennek a beállíthatóságát szolgálja.



9. ábra Függőleges antennák relatív teljesítményviszonyai az emelkedési szög függvényében [4]

A fadingscökkenő antennák típusának megválasztását a 10. ábra görbéivel tudjuk értelmezni. Két antenna alaptípus – magas T-, illetve a lakihegyi toronyantenna – jellemző közeli fadingshatárát tudjuk összevetni. Megállapítható, hogy a toronyantenna alkalmazásával a közeli fadings határ 175 km-ről 250 km-re növelhető.



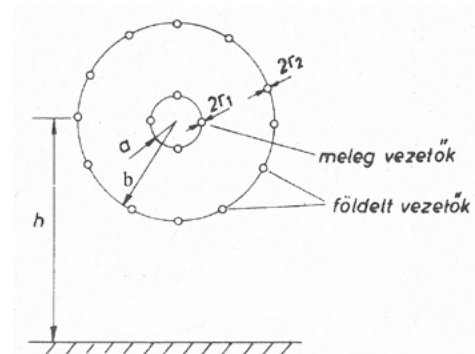
10. ábra Felületi hullámok (1 és 2), valamint térhullámok (3 és 4) értékei magas-T antennára (1 és 3), illetve a lakihegyi antennára (2 és 4), 1 kW adóteljesítmény mellett, 550 m-es hullámhosszon

A lakihegyi adóantenna kvázi-koaxiális tápvonala

A tápvonal (11. ábra) az adóberendezést köti össze a hangozó egységgel, amely az antennaimpedancia illesztését végzi. A tápvonal külső (hideg) ill. belső (meleg) vezetőegyettesét kadmiumbronz ($\sigma=4.4 \cdot 10^7$ S/m) vezetőekből alakították ki a 12. ábra szerint.



11. ábra Lakihegyi adóantenna és távvezeték
(forrás: <https://forum.index.hu/Article>, Rádióamatőr téma)



12. ábra A lakihegyi légvezeték kvázi-koaxiális tápvonal elrendezése [9]

A 12. ábra szerint a meleg vezeték szám $m=4$, a hideg vezetéké $n=12$. A tápvonal hossza $L=2200$ m, az adóteljesítmény 300 kW. A korábbi Kossuth rádió adási frekvenciája 539 kHz volt. A 12. ábra szerinti további méretek: $a=25$ mm, $b=348$ mm, $r_1=3$ mm, $r_2=2$ mm, $h=6400$ mm.

A tápvonal hullámimpedanciáját közelíthetjük a koaxiális, légtöltésű tápvonal hullámimpedanciájával, mely így

$$Z_0 = 60 \cdot \ln\left(\frac{b}{a}\right) = 60 \cdot \ln\left(\frac{348}{25}\right) = 158 \Omega$$

Pontosabb értékeket kapunk, ha az ekvivalens sugarakkal számolunk, ezek

$$a_e = a^m \sqrt{\frac{m \cdot r_1}{a}} = 25^4 \sqrt{\frac{4 \cdot 3}{25}} = 20.8 \text{ mm}$$

$$a_e = b^n \sqrt{\frac{n \cdot r_2}{b}} = 348^{12} \sqrt{\frac{12 \cdot 2}{348}} = 278.48 \text{ mm}$$

Ezekkel a hullámimpedancia értéke

$$Z_0 = 60 \cdot \ln\left(\frac{b_e}{a_e}\right) = 60 \cdot \ln\left(\frac{278.48}{20.8}\right) = 155.66 \Omega$$

A két számítási módszer nem tér el egymástól jelentősen és így megállapíthatjuk, hogy a koaxiális tápvonal hullámimpedanciája közelítőleg 156 ohm.

A hullámimpedancia mellett a tápvonalcsillapítás a másik fontos jellemző.

A vezetési veszteség következtében fellépő csillapítási tényező közelítése rézvezetésekre

$$\alpha_{\text{Cu}} \left[\frac{\text{dB}}{\text{km}} \right] = \frac{18.1 \sqrt{f[\text{MHz}]} \left(\frac{1}{m} + \frac{0.9}{n} \right)}{Z_0 r_2 [\text{cm}]}$$

A csillapítási tényező fenti közelítése vörösrézre vonatkozik, melynek vezetőképessége: $\sigma_{\text{Cu}} = 5.8 \cdot 10^7 \text{ S/m}$. A vizsgált tápvonalat a jobb mechanikai szilárdság miatt kadmiumbronzból készítették, melynek vezetőképessége ennél rosszabb. A csillapítás emiatt a vezetőképességek arányának négyzetgyökével megnő:

$$\sqrt{\frac{\sigma_{\text{Cu}}}{\sigma}} = \sqrt{\frac{5.8}{4.4}} = 1.15$$

A csillapítás tehát 15%-kal lesz nagyobb a kadmiumbronz anyagú tápvonalra.

$$\alpha \left[\frac{\text{dB}}{\text{km}} \right] = 1.15 \frac{18.1 \sqrt{f[\text{MHz}]} \left(\frac{1}{m} + \frac{0.9}{n} \right)}{Z_0 r_2 [\text{cm}]} = 1.15 \frac{18.1 \sqrt{0.539} \left(\frac{1}{4} + \frac{0.9}{12} \right)}{155.66 \cdot 0.2} = 0.16 \left[\frac{\text{dB}}{\text{km}} \right]$$

További csillapítás (földcsillapítás) 0.04 dB/km nagyságrendű, így a tápvonal eredő csillapítási tényezője 0.2 dB/km.

A tápvonal eredő csillapítása ezek alapján

$$A = \alpha \cdot L = 0.44 \text{ dB}$$

Tökéletes illesztést feltételezve, a tápvonal hatásfoka a következő lesz

$$\eta = 10^{\frac{-0.44}{10}} = 0.904 = 90.4\%$$

Ha a hangolóegység veszteségmentes, akkor az antennába táplált teljesítmény

$$P_{\text{ant}} = \eta \cdot P_{\text{ad}} = 0.904 \cdot 300 \text{ kW} = 271.2 \text{ kW}$$

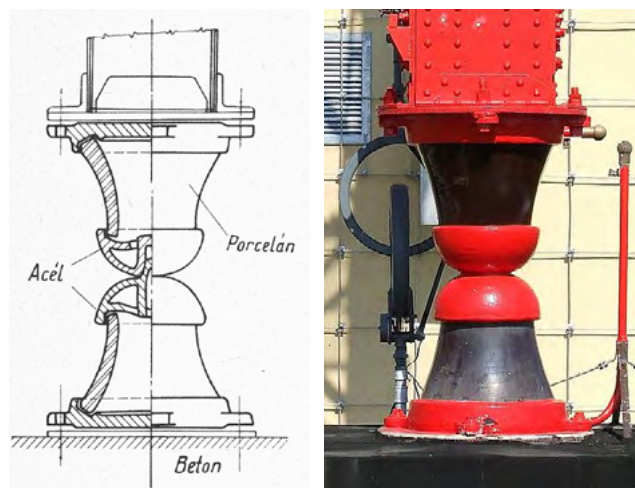
A veszteségi teljesítmény pedig

$$P_{\text{veszt}} = 28.8 \text{ kW}$$

Összességében megállapíthatjuk, hogy a tápvonalvesztesség 10% körüli, aminek nagyobb része magát a tápvonalat melegíti. A szigetelők dielektromos vesztesége és a tápvonal sugárzása ennél jelentősen kisebb.

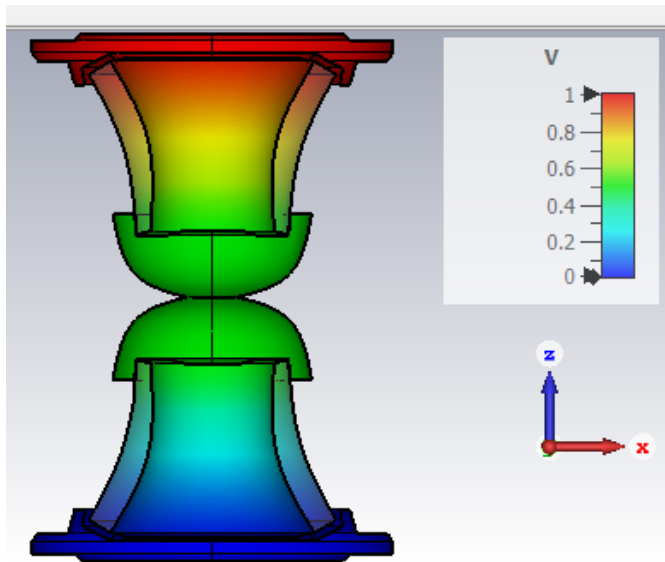
Antenna talpszigetelő

Az antenna műszakilag legérdekesebb része a talpcsukló. A vasszerkezet teljes tömegét két, egymással szembe fordított, különleges szilárdságú, ívelt alkotójú porcelán csonkakúp és az ezekre ágyazott acél félgömbök tartják. (13. ábra) A mindössze 9 cm vastag, üreges kerámiadarabok a súlyterhelés felvétele mellett a kellő villamos szigetelést is biztosítják. Tervezői: McLean angol, Sárközi Géza Standard gyári, Magyar Endre posta-, Czeglédi György és Istvánffy Edvin Standard gyári mérnökök voltak. (2. ábra) A talpszigetelőre nehezedő tömeg 480 tonna, mely az antenna 230 tonna vasszerkezet öntömegének és a kikötő sodronykötelek által függőlegesen kifejtett erőnek az összege.



13. ábra A lakihegyi toronyantenna talpszigetelői [2]

Az 1,5 méter magas talpszigetelő kapacitásának mérése kiserelt állapotban lenne lehetséges, ezért a [2, 403. oldal] irodalomban közölt, „A szakirodalomban található akkori becslések szerint kikötött toronyantennáknál a talprész kapacitás 200 pF-ra becsülhető.” megállapítást számítógépes szimulációval ellenőriztük (CST numerikus elektromágneses szimulátorral). A szimuláció által talpszigetelőre meghatározott potenciáeloszlás a 14. ábrán látható, az alsó-felső vezető közti kapacitás 189 pF-ra adódott, tehát a [2] becslésével nagyon jól egyezik.



14. ábra A talpszigetelő modellje és az elektromos potenciáeloszlás 0 V-os alsó és 1 V-os felső gerjesztés esetén

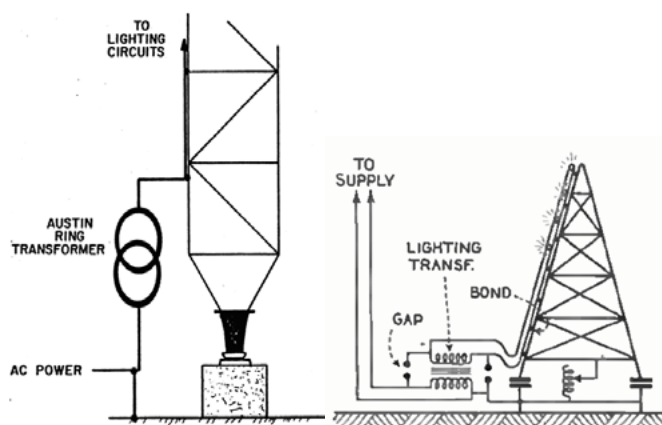


16. ábra A lakihegyi toronyantenna talpszigetelője az Austin transzformátorral és szikraközökkel. Jól látható a betápláló rézvezeték

A torony északai kivitágítása – Austin transzformátor

Az Austin (Arthur O. Austin U.S. Patent 1,968,868) légszigetelésű gyűrűs transzformátor (15-16. ábra) fő célja, hogy a torony világításához szükséges 50/60 Hz-es tápfeszültséget a toronyhoz csatlakoztassa, miközben elválasztja az antenna RF táplálását az erősáramú betáplálástól, azaz biztosítja, hogy a toronyba felmenő, világítási tápfeszültség-vezetékek nem zárják rövidre a talpszigetelőt. Az Austin transzformátorokhoz alacsony veszteségű toroid magot használnak. A kellő távolságú légszigetelés következtében a talpszigetelővel párhuzamosan kapcsolódó másodlagos kapacitás 10-15 pF körüli.

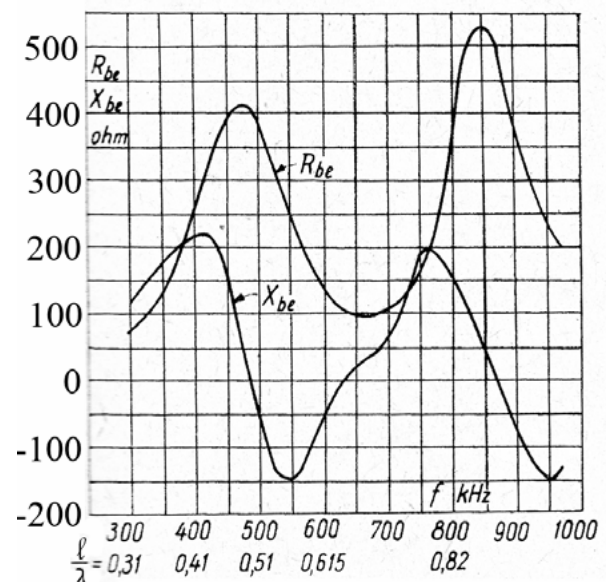
A transzformátor és az adóberendezés védelmére védő szikraközöket helyeznek el, melyek légrése kisebb, mint az Austin transzformátor gyűrűi közti légrése. (16. ábra)



15. ábra Austin transzformátor elhelyezése és a toronyantenna eredő áramköri rajza [10 és 11]

Az antenna bemeneti impedanciája

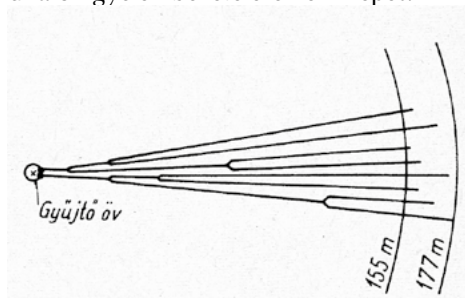
Az antenna bemeneti impedanciáját a [2] irodalom mért eredményei alapján ismertetjük (17. ábra), továbbá a 4nec2 numerikus huzalantenna analízis programmal végzett szimulációval hasonlítjuk össze.



17. ábra A lakihegyi adóantenna mért bemeneti impedanciája [2]

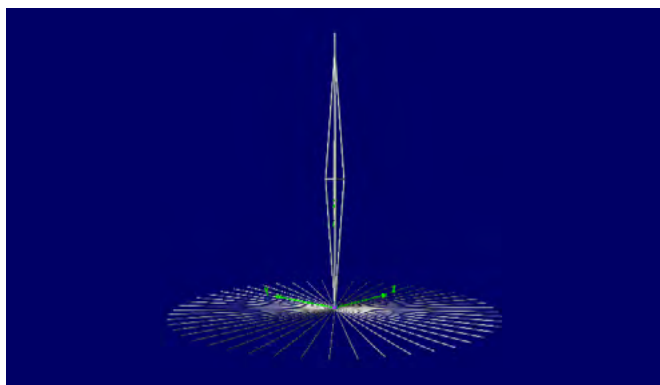
A szimulációs vizsgálatot nehezíti, hogy a Szerző által elérhető irodalmakban nem közlik a mérés körülményeit, továbbá a talaj jellemző paraméterei (vezetőképesség, dielektromos állandó) sem állnak rendelkezésre. Az antenna 30 méteres kitolható toldatának aktuális helyzete sem definiált a [2] irodalomban, továbbá az ábra ismertető szövege gépelési hibás „A lakihegyi 397 m magas toronyantenna mért bemeneti impedanciáját tünteti fel a frekvencia függvényé-

ben a 3.9.15. ábra.”. Az antenna földhálójának geometriája ugyancsak a [2] irodalomban található (18. ábra), de ilyen részletességgel a mostani vizsgálatra használt 4nec2 program a földháló figyelembevételére nem képes.



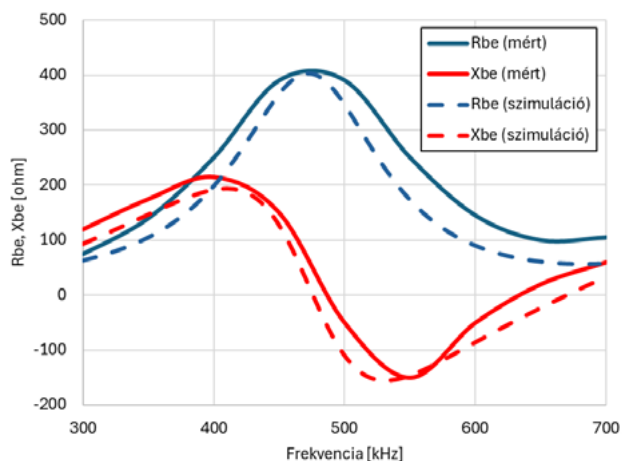
18. ábra A lakihegyi antenna földhálózata (az ábrán feltüntetett szektor 32-szer ismétlődik) [2]

A modellezéshez az antenna négy sarokvonalát és a középvonalon végigfutó vezetősávot vettük számításba (19. ábra), továbbá minden földelő vezetékeket egy közepes, 170 méteres hosszal vettünk figyelembe. A talaj tulajdonságait a 4nec2 „Moderate” talajtípusaként választottuk meg (vezetőképesség 3mS/m, relatív dielektromos állandó 4).



19. ábra A lakihegyi antenna 4nec2 modellje

A bemeneti impedancia eredményeket a 20. ábrán hasonlítjuk össze



20. ábra A lakihegyi antenna bemeneti impedanciájának mért, illetve szimulált eredményei a frekvencia függvényében (a mért eredmények a 20. ábra [2] görbéinek felelnek meg)

A mérési ill. szimulációs eredmények viszonylag jó egyezést mutatnak az előzőekben felsorolt – nem pontosan ismert – paraméterek mellett is.

Összefoglaló

Értekezésünkben igyekeztünk bemutatni a lakihegyi adóantenna néhány műszaki érdekességét és számítási példákkal illusztrálni a korabeli tervezési feladat sokrétűségét. Úgy gondoljuk, hogy a műszaki részletek iránt érdeklődőknek a bemutatott számpéldák is segítséget nyújthatnak hasonló feladatok megoldásánál. Fontos azonban megjegyezni, hogy a ma rendelkezésre álló számítási kapacitás és tervezőprogramok használata mellett különösen méltánylandó a közel 100 éve elvégzett mérnöki feladat, a lakihegyi adóantenna megtervezése és kivitelezése. Ennek a műszaki emlékek a megőrzése márcsak ezek miatt is nagyon fontos. Ez a cikk egyben tisztelgés is a munkában résztvevő minden munkatársnak.

Irodalomjegyzék

- A Lakihegyi Adótorony története (<https://retrostori.blogspot.com/2010/11/lakihegyi-adotorony-tortenete.html>)
- G. T. Markov, Antennák, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1963
- Istvánffy Edvin, Tápvonalak, antennák és hullámterjedés, Tankönyvkiadó, Budapest, 1979
- KODOLÁNYI GYULA, GARAI LÁSZLÓ, Újjáépítés Lakihegyen, MAGYAR HIRADÁSTECHNIKA 11. ÉVFOLYAM 3. SZAM, 1947
- Molnár Béla, Turi-Kováts Attila: Rádió hullámterjedés és hálózat-tervezés, Közdosk, Budapest, 1969
- VENABLE RADIO ANTENNA Dec. 1, 1936, Blaw-Knox, Pittsburgh (USA) US patent 1,897,373, <https://patentimages.storage.googleapis.com/ec/93/73/2f1d1a7091ad3f/US2459198.pdf>
- Cs. Kádár Péter, A Szivar, <https://huppa.hu/a-szivar/>
- https://infota.org/wp-content/uploads/2015/11/3_4_gabor_zsolt_a_szigetszentmiklos-lakihegyi_adotorony_pusztulasa_es_megmenekitese.pdf
- Sommerfeld, A., „On the propagation of waves in wireless telegraphy,” Annals of Physics, Vol. 81, 1135-1153, 1926.
- Jachimovits László, Völgyi Ferenc: Tápvonalak és antennák, Példatár, I. rész Tápvonalak, Kézirat, Tankönyvkiadó, Budapest, 1982
- Stephen S. Lockwood, Bobby L. Cox, NEW TOOLS TO CO-LOCATE WIRELESS FACILITIES WITH AM ANTENNAS, <https://www.kintron.com/wp-content/uploads/2016/01/New-Tools-to-Co-Locate-Wireless-Facilities-with-AM-Antennas.pdf>
- Verne V. Gunsolley, Radio tower tuning and lighting, Radio Eng., 12, 7, 8., June, 1932, <https://www.worldradiohistory.com/Archive-Radio-Engineering/30s/1932/Radio-Engineering-1932-06.pdf>
- Recommendation ITU-R P.832-3, World atlas of ground conductivities, https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.832-3-201202-S!!PDF-E.pdf
- Fucskó Lajos, A magyar középhullámú műsorszórás, Híradástechnika XXVII. évfolyam, 2. szám, Budapest, 1976. március

RÁDIÓMŰSOROK A TENGEREEN TÚLRA

A hazai rövidhullámú műsorszórásról

Szerző:

Balla Éva villamosmérnök, 4iG Műsorszórási Infrastruktúra Kft. (korábban Antenna Hungária Zrt.)

Halász Sándor villamosmérnök, Antenna Hungária Zrt.

Bevezető

Ha ma turistaként vagy külhoni magyarként hazai műsort szeretnénk hallgatni, természetes, hogy az interneten keressünk egy magyarországi rádiócsatornát. Néhány évtizeddel korábban ez a lehetőség még nem létezett, mégsem volt lehetetlen Európa bármely országában, Amerikában vagy Ausztráliában magyar műsort hallgatni. Az 1930-as évektől kezdve Magyarország rendszeresen sugárzott műsort külföldre, 1974-től három rövidhullámú állomást mondhatott magáénak: Székesfehérvárt, Diósdot és Jászberényt.

A rádió-műsorszórás elsődleges feladata Magyarország területének ellátása volt, azonban néhány év után megerősödött a szándék, hogy az országhatárokon túlra is eljuttassák a műsorokat. Egyrészt magyar nyelven a külföldön tartózkodó vagy ott élő magyarok számára, másrészt idegen nyelven, hogy a magyar kultúrát népszerűsítsék.

Megjelenik a rövidhullám

Az országhatárokon túlra nyúló műsorszórás érdekében először 1933-ban két rövidhullámú adót telepítettek **Székesfehérvárra**, amelyet már 1924 óta üzemeltetett a Posta hosszuhullámú rádiókommunikációs adóállomásként (párban a tárnoki vevőállomással.) Az egyik egy 20 kW-os Telefunken adó volt, a másik a Standard cég által gyártott 25 kW-os berendezés. Mindkét adó alkalmas volt beszéd sugárzására és távíró módra is. Az első célterületek Nyugat-Európa, ill. az USA és Kanada keleti részei voltak (irányváltással Közel-Kelet). Fejlesztették az adóparkot és az antennákat is, így Dél-Amerika is elláthatóvá vált. A növekvő műsoridőigény miatt további – nagyobb teljesítményű – adókra és antennákra volt szükség. Ennek megvalósítása Székesfehérvári Állomáson nem volt lehetséges. Az állomás még évtizedekig működött, a '80-as években két új 100 kW-os Brown-Boveri adó vette át az üzemet és szolgáltatott 2004-ig.

Már 1942-ben felmerült az igény egy új rövidhullámú állomás létesítésére. Budapesthez közelebbi, de rádiós szempontból zavarásmentes helyszínt kerestek, erre tökéletes választásnak bizonyult **Diósd**. Az építkezést a második világháború félbeszakította. 1947-ben folytatták, 1949. júliusában kezdte meg az állomás a sugárzást 2 db adóberen-

dezéssel. Székesfehérvárhoz hasonlóan több frekvenciára és több irányba szolgáltak a különböző antennarendszerek. A célterületek:

- Észak-Amerika, ill. a sugárzási irány megfordításával Szaúd-Arábia;
- Dél-Amerika, ill. szintén irányváltással: a Szovjetunió.

Ezenkívül volt az állomáson még két rövidhullámú körsugárzó antenna is, amelyek segítségével az európai területekre lehetett eljuttatni a Magyar Rádió idegen nyelvű műsorait a 900 km – 2500 km-es körgyűrűben.

A II. világháború utáni időkben Diósd elismert rövidhullámú állomás volt. Az ötvenes években napi 6 órán át üzemelt, angol, francia, német, orosz és görög nyelven biztosított vételt az európai célterületen.

A rövidhullámú sugárzás felfutó időszakában a nagy nemzetközi műsorszórók egyrészt az adótelephelyek számának növelésével, másrészt az adóberendezések teljesítményének növelésével és nagynyereségű antennákkal igyekeztek javítani a vételt a célterületeken.

A vételmegfigyelések elemzéséből látszott, hogy az egyre nagyobb számban működő azonos- és szomszédos csatornás adások drasztikusan csökkentik a vétel minőségét. A folyamat hasonló, mint Székesfehérvár esetén volt: nagyobb adóteljesítményre volt szükség, ezt azonban a meglévő rádióállomáson már nem lehetett megoldani.

Új szereplő az adóállomások között: Jászberény

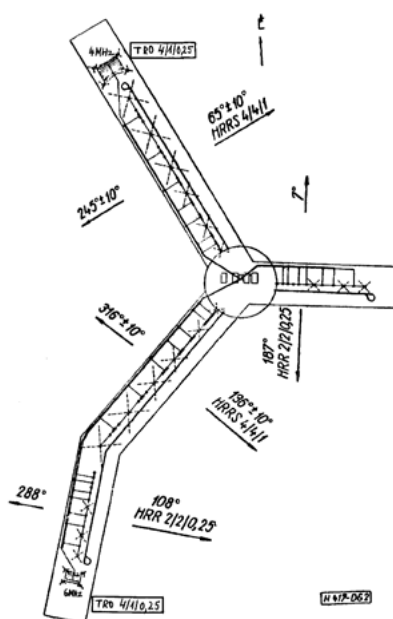
1962-ben hozott döntést a Posta egy új rövidhullámú állomás építéséről. A telephely kiválasztása is alapos előkészítést igényelt. Nyolc lehetséges helyszín közül a Jászágó – Pusztamonostor határában lévő területre esett a választás. Az állomás a hozzá legközelebb található városról kapta nemzetközi szinten is ismert nevét: **Jászberényt**. A kiválasztás során vizsgálták a talajmechanikai és talajkémiai jellemzőket, valamint a villámások és földrengések gyakoriságát is. Eredetileg négy darab adóberendezés szerepelt a tervekben, de gazdasági szempontok figyelembevételével csak kettőt rendeltek meg az Elektromechanikai Vállalattól (EMV).

Az állomás építése 1968-ban kezdődött és 1974-ben kezdhetette meg az üzemét. Az adóépülettől – amelyben két darab 250 kW-os, EMV gyártmányú adó található –, három irányban (észak-nyugatra, keletre, ill. dél-nyugati irányba) ágaznak el három antennasor, egymáshoz képest kb. 120° -os szögben, a célterületeknek megfelelő tájolással. Egy síkantennarendszer 6 MHz-től 21 MHz-ig 7 önálló antennarendszer láncolatát jelentette (függőantenna). A dipólokból álló síkantennákat rácsos szerkezetű oszlopok tartották, a legalacsonyabb 26 m-es, a legmagasabb több mint 150 m-es volt. Az antennákat úgy helyezték el, hogy az adóépülethez közelebb a nagyobb frekvenciára tervezetteket telepítették, a tápvonalak frekvenciafüggő csillapítása miatt. A síkantennák sugárzási iránya 180° -kal megfordítható volt. Minden antennaág mentén két tápvonal futott, a két adóval egyidejűleg egy antennarendszer két eltérő frekvenciájú antennáján párhuzamosan is lehetett sugározni. Az adóberendezések megfelelő tápvonalra kapcsolását egy ún. kombinátormátrix segítségével végezték.

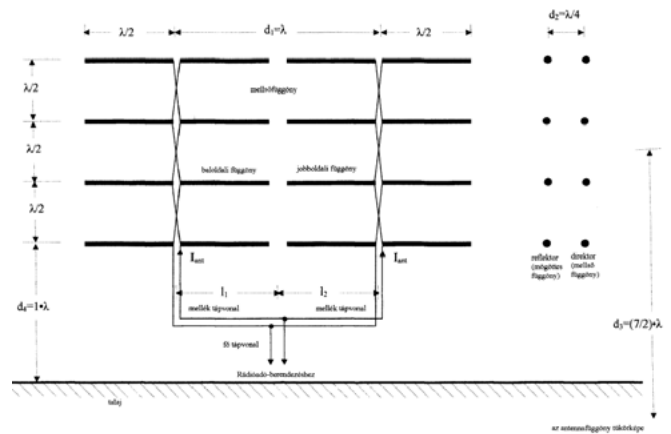
Az antennarendszer részletesen

A nagy távolságra található célterületek (3 500 – 18 000 km) besugárzására az észak-nyugati és a dél-nyugati antennaágban 7-7 darab egysávos HRRS 4/4/1 típusú síkantenna üzemelt. A kívánt főirányokban távvezérléssel 180° -os irányváltás volt elérhető. Ezen síkantennák vízszintes iránykarakterisztikáján a főirányhoz képest távvezérléssel $\pm 10^\circ$ -os billentést lehetett megvalósítani. A HRRS 4/4/1 típusú egysávos síkantennák nyeresége 19 dB, előre-hátra viszonya pedig 20 dB, kilövellési szögük $\Theta_0 = 7^\circ$, függőleges karakterisztikájuk 3 dB-es pontjai 4° -nál, ill. 11° -nál volt.

A középtávolságú célterületek (500 – 3 500 km) besugárzására a keleti és a dél-nyugati antennaágban ugyancsak 7-7 darab egysávos HRR 2/2/0,25 típusú síkantenna üzemelt.



1. ábra A Jászberényi Rádióállomás kialakítása



2. ábra A HRRS 4/4/1 típusú függőantenna kialakítása

Az észak-nyugati ágon helyezkedett el a HRRS 4/4/1 rendszer, 7 frekvenciasávra kihangolva. Az állomás területének földrajzi kiterjedése ebben az irányban 1063 m, az antennasor hossza 733 m.

A típusmegjelölésben szereplő karakterek jelentése az alábbi:

- H: horizontális
- R: reflektoros – az antennarendszer reflektorfüggőnnyel rendelkezik
- R: „reversible” – a direktor- és reflektor antennák táplálása felcserélhető, ezáltal a sugárzás iránya 180° -kal megfordítható
- S: „steerable”, azaz a sugárzás főnyalábja vízszintes irányban néhány fokkal megváltoztatható („csóválható”)
- 4: négy elem függőlegesen
- 4: négy elem vízszintesen
- 1: az alsó dipól(sor) egy hullámhosszra helyezkedik el a talajszint felett.

Célterületek:

- $245^\circ \pm 10^\circ$ – Dél-Amerika
- $65^\circ \pm 10^\circ$ – Távol-Kelet

Frekvenciasávok: 6, 7, 9, 12, 15, 17, 19 és 21 MHz.

Az északi ág végén kapott helyet a 4 MHz-es sávban működő tropikus sugárzó, amelynek feladata az európai területek ellátása volt (kb. 980 km távolságig). Az antenna jelölése: TRO 2/2/0,25. A jelölések:

- TRO: tropikus sugárzó
- 2: két elem egyik irányban
- 2: két elem a másik irányban (az antennelemek vízszintes síkban helyezkednek el)
- 0,25: a hullámhossz negyedének megfelelő magasságban található a talajszint felett.

A keleti ágon található a HRR 2/2/0,25 antennarendszer. A keleti ág kiterjedése 473 m, az antennasor 348 m-es szakaszon helyezkedik el.

Az antenna típusa: HRR 2/2/0,25, a fenti jelölések alapján:

- H: horizontális
- R: reflektoros
- R: „reversible” – a sugárzási irány megfordítható
- 2: két elem függőlegesen
- 2: két elem vízszintesen
- 0,25: negyed hullámhosszra helyezkedik el az alsó dipól a talajhoz képest.

Ezen antennarendszernél vízszintes karakterisztika mozgatása nem lehetséges.

Célterületek:

- 7°-os irány: Észak-Európa
- 187°-os irány: Dél-Európa és Észak-Afrika

Dél-nyugati irány: ez az antennaág az előzőekben ismertett két antennarendszerből áll. Helyigényét illetően 733 m után egy töréspontot követően még további 728 m-es szakaszon terül el. Az antennarendszerek kialakítása, frekvenciasávjai megegyeznek az észak-nyugati, ill. a keleti ág antennasoraiéval:

Antennatípus: HRRS 4/4/1

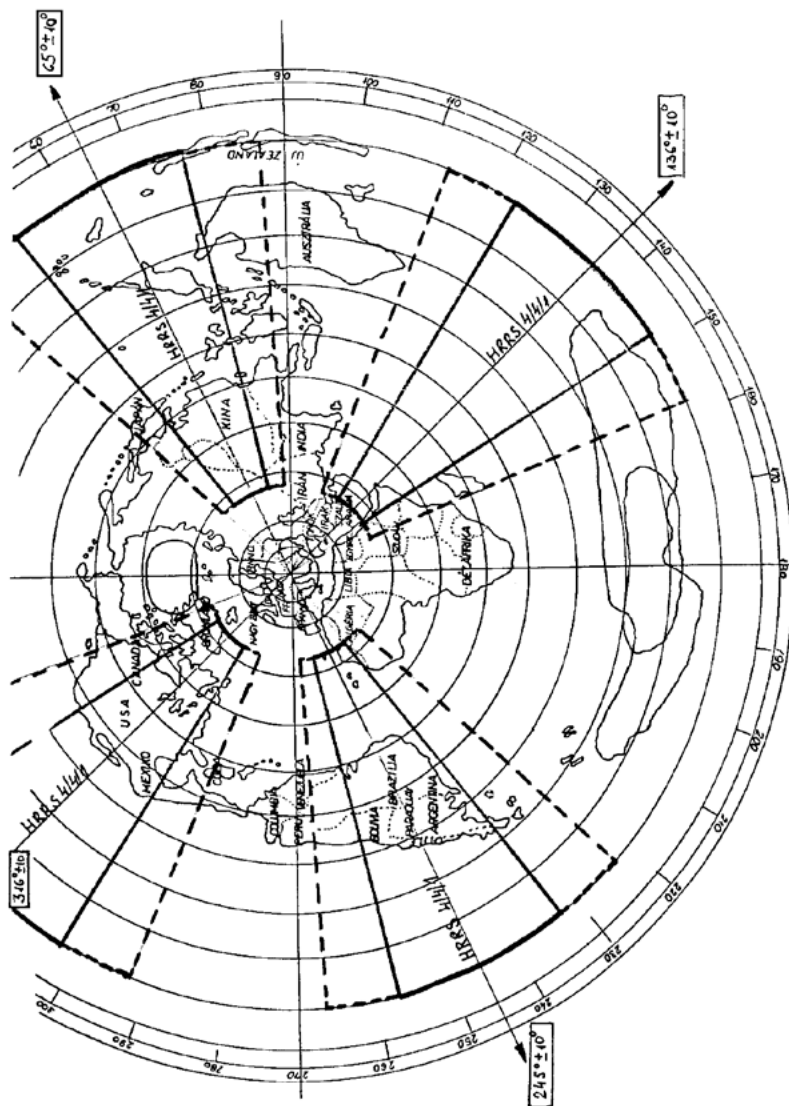
Célterületek:

- 316°-os irány: Észak-Amerika, Kanada
- 136°-os irány: Kelet-Afrika

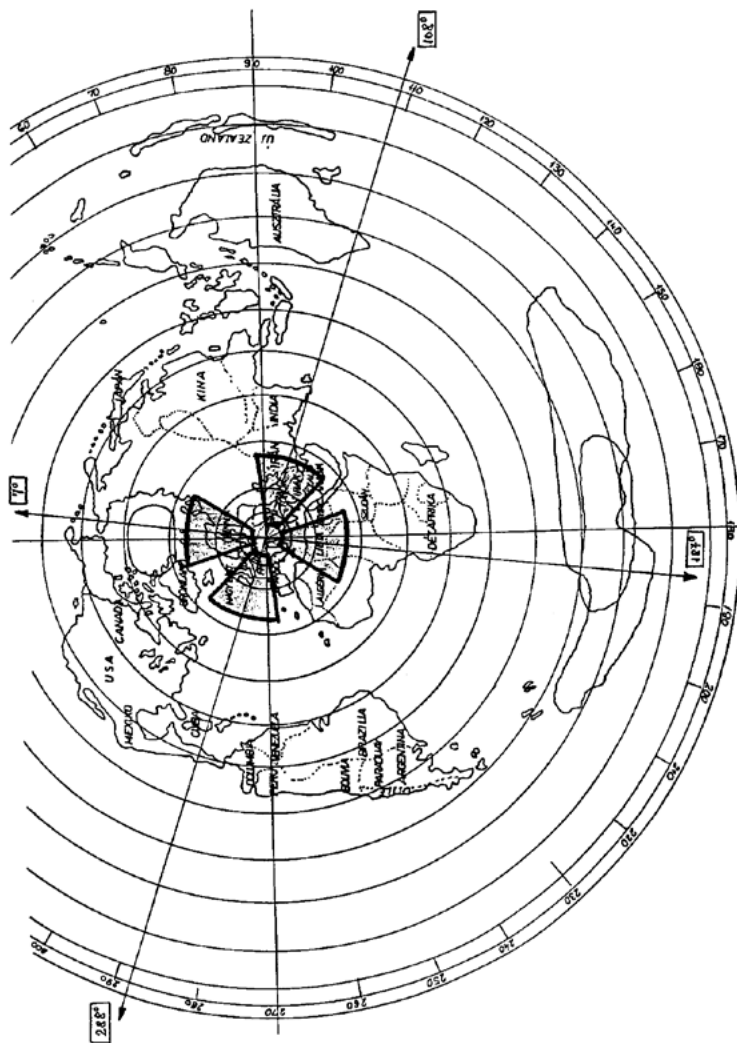
Majd a töréspontot követően: HRR 2/2/025

- 288°-os irány: Északnyugat-Európa,
- 108°-os irány: Délkelet-Európa, Közel-Kelet

A dél-nyugati irány végén kapott helyet a tropikus antenna, amely 6 MHz-en, szintén Európai célterületeket sugárzott be.



3. ábra A HRRS 4/4/1 típusú antennák által elért célterületek



4. ábra A HRR 2/2/0,25 típusú antennarendszerek által ellátott területek

Az ionosferikus terjedés évszak- és napszakfüggősége miatt a napi adásrend célterületeit és frekvenciáit félévente egyeztetették Genfben a Magyar Rádió és a Hírközlési Felügyelet munkatársai.

A jászberényi adástechnika további különlegességei

Az adóépület földszinti helyiségében elhelyezett mindkét 250 kW-os rádióadó-berendezés kimenőjele egy ötfokozatú felharmonikus szűrőn keresztül csatlakozott a 75 Ω hullámellenállású koaxiális tápvonalhoz. A tápvonal a nagyteljesítményű RF-jelet az adóépület emeleti helyiségébe telepített, automatikus hangolós Balun transzformátorra juttatta. Kimenetén a jel – az antennához történő kedvező illeszkedés érdekében – már földszimmetrikus volt. A földszimmetrikus jel a két adónak megfelelően a 2x7 állású kombinátorkapcsoló-berendezésbe került, ahonnan a nagy teljesítményű adás egy mérőtápvonalra, vagy a sugárzási programnak megfelelően a hat főtápvonal egyikére volt kapcsolható. A főtápvonalak hullámellenállása 300 Ω volt.

A mérőtápvonalhoz egy műterhelés csatlakozott, amely a rádióadó-berendezések minőségi mérésekor jutott szerephez. Felépítése eltért a hagyományostól, a disszipáció (huzalellenállás helyett) nátrium-karbonát vizes oldatában történt.

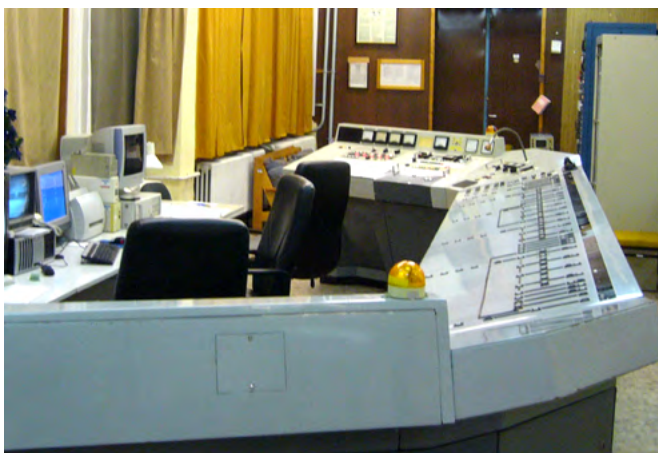
A hat főtápvonal – párosával – három antennaágra futott ki, amelyekre rádiófrekvenciás tápvonalkapcsolókon és bekötőtápvonalakon keresztül csatlakoztak az adott antennaágra telepített antennafüggönyök. A korábban vázolt földrajzi irányokban elhelyezett antennafüggönyök összesen 8 tervezett sugárzási főirányba, meghatározott kúpszöggel és kilövési szöggel továbbították az elektromágneses hullámot a célterületek felé. A kombinátorkapcsoló és a tápvonalkapcsolók lehetővé tették, hogy az egyidejűleg üzemelő két rádióadó-berendezés különféle kombinációkban legyen az antennafüggönyökre kapcsolható. A melléktápvonalakba iktatott rádiófrekvenciás „csóválókapcsolók” a jobb-bal irányú nyalábmozgatást szolgálták. Valamennyi rádiófrekvenciás kapcsoló, illesztőtranszformátor (tápvonalcsonk) és tápvonalszakasz átgondolt tervezése és precíz felépítése eredményezte a kilométernél hosszabb főtápvonalak igen kedvező (1,2-nél kisebb) állóhullámarányát.

Korábban ugyancsak említettük, hogy speciális rádiófrekvenciás irányváltó-kapcsolókkal a direktor- és a reflektorfüggöny egymással felcserélhetők voltak, ezáltal a sugárzási főirány 180° -kal megfordítható volt. A reflektorfüggöny antennaáramát nem közvetlenül a rádióadó-berendezés szolgáltatta, hanem azt a direktortól hozzásugárzódó elektromágneses hullám keltette. A direktorfüggönytől $\lambda/4$ távolságban elhelyezett reflektorfüggönyben az antennaáram fáziseltolódása 90° volt.

Egy-egy antenna direktor- és reflektorfüggönyét két függőleges, acélkötelekkel lehorgonyozott tartótorony között feszítették ki. A függönyöket láncgörbe alakú „kötelek” (műgyantával átitatott üvegszál rudak) tartották. A függönyök egyes vízszintes helyzetét megfelelő hosszúságú függesztő üvegszál rudak biztosították. A dipólantennákat vízszintes irányban az oldalsó „feszítőkötelek” (üvegszál rudak) fogták. A direktor- és a reflektorfüggöny távolságtartását fém traverzek biztosították. A dipólantennák egymástól és a fém traverzekről való elektromos elszigetelését – a már említett – jó nagyfrekvenciás tulajdonságokkal rendelkező üvegszál rudak szolgálták.

A két 100 kW-os rádióadó-berendezés egy 2×3 állású kombinátorkapcsoló-be-rendezéssel és külön célra kiépített tápvonalakkal csatlakozott a log-periódikus antennához vagy az L körsugárzó antennához, illetve a műterheléshez.

A 2 darab 250 kW-os rádióadó-berendezéshez tartozó 6 darab főtápvonalba épített 28 tápvonalkapcsoló, valamint a 30 antennához telepített 28 darab „csóválókapcsoló” és 42 darab irányváltó-kapcsoló, továbbá 1 darab műterhelés kezelése távvezérléssel történt, amire a kezelőtérben elhelyezett vezérlőasztali nyomógombok szolgáltak (5. ábra). A vezérlés utasításait az adóépület emeletén elhelyezett két vezérlőszekrény 17 darab LIX-dobozában elhelyezett 510 (!) jelfogó áramkörei hajtották végre.



5. ábra A Jászberényi Állomás vezérlőasztala

Az állomás üzemvitele rendkívül mozgalmas volt: a félórás műsorokat más-más frekvencián más-más antennarendszerrel kellett kapcsolni. A műsoridő a legforgalmasabb időszakban hétköznap napi 18 óra, hétvégén 22 óra hosszú volt átlagosan.

kokban hétköznap napi 18 óra, hétvégén 22 óra hosszú volt átlagosan.

Végjáték...

Mivel a 2000-es évekre a székesfehérvári állomás környezete beépült, a rádióállomás tovább nem láthatta el a feladatát eredeti helyén. A két 100 kW-os Brown-Boveri adóberendezést és a forgatható-dönthető Thomson logper-antennát áttelepítették Jászberénybe, valamint a keleti antennaág végére egy új V-antenna került.

Az évtizedek múlásával a kontinenseken átívelő műsor-szórásnak új felületei váltak elérhetővé (műhold, internet), így a rövidhullámon sugárzott műsorokra irányuló igény tartalomszolgáltatói oldalról egyre csökkent. A Szülőföldünk műsort, illetve Külföldi Adások Főszerkesztősége (KAF) idegen nyelvű műsorait 2010-ig sugározta a jászberényi állomás. Ezt követően rövid ideig még a németországi Wertachtal vette át a szolgáltatást, de néhány év múltán végleg elhallgattak a külföldre irányuló műsorok.

Az utolsó adás 2010. június 30-án éjfélkor ért véget. Az antennatartó tornyok közül néhányat felhasznált a műsorszóró cég más telephelyeken. Az utolsó percekről videófelvétel is készült, amelynek szomorú pillanatai a legnagyobb videómegosztó platformon megtekinthetők.

A Jászberényi Rádióállomást bezárták, a területet eladták. Az adóépületet és az antennaparkot csak fotók emléke és a munkatársak emlékezete őrzi.



5. ábra A Jászberényi Rádióállomás madártávlatból [4]

Halász Sándor, az állomás korábbi vezetője Jászberény 50. évfordulója alkalmából Diósdon megtartott előadását az alábbi sorokkal zárta:

„A jászberényi Jász-múzeumban kiállított Lehel-kürt mellett írásból idézek: >>Miként ezer évvel ezelőtt, midőn Tass fia, Lehel vezér megszólaltatta kürtjét, s ezt vitézei hallván nagyon felbuzdu-

lának<<, lelkesített bennünket – rádiósokat – a hit, hogy a mi munkánk és a mi rádióállomásunk kürtölhetette világgá a magyar tájak szépségét, országunk gazdag kultúráját, tudományos és sport eredményeit azoknak, akik rokonszenveztek velünk, s kiket lelkesíteni ügyünkért – reméljük – nem volt hiábavaló.”

Tiszteletünket fejezzük ki az állomás tervezőinek, kivitelezőinek és dolgozóinak!

Felhasznált irodalom:

- A magyar postamérnöki szolgálat második 50 éve; 1991, ISBN: 963-7055-15-0
- Dósa György: A magyar rövidhullámú műsorszórás fejlődése; Híradástechnika, 2010.
- Dósa György – Standeisky István – Balla Éva: A kibővített Jászberény Rádióállomás új sugárzási rendszere és az optimális üzemi frekvenciaterv meghatározása, tanulmány (2005)
- Hegyi László: Jászberény Rádióállomás története – előadás, elhangzott: 2024. november 16., Diósd.
- Halász Sándor: Jászberény Rádióállomás 1974-2010; elektronikus magánkiadás, 2024.
- Halász Sándor: Jászberény Rádióállomás – előadás, elhangzott: 2024. november 16., Diósd.

Az ultrarövid hullámok és a frekvenciamoduláció korszaka

URH-ADÓ BUDAPESTEN

Szerző: Balás B. Dénes rádiótechnikai és tudománytörténeti szakértő

A hosszú-, közép- és rövidhullámú adásokkal párhuzamosan a 30 MHz feletti ultrarövid hullámok is hamar az érdeklődés középpontjába kerültek. Katonai rendszerekben már a második világháború idején alkalmazták őket, polgári felhasználásuk pedig az 1950-es évektől került előtérbe, az FM-adások megjelenésével. Ennek műszaki hátterében az áll, hogy – amint a modulációkat tárgyaló cikk ismerteti – a megfelelő hangminőséget eredményező FM-jelek lényegesen nagyobb sávszélességűek, mint az AM-adások, így a kellően alacsony relatív sávszélesség biztosítása érdekében csak nagyobb frekvenciákon lehet FM-mel sugározni.

Magyarországon az első próbálkozásokat a Posta Kísérleti Intézet szakemberei végezték, a TV kísérletekkel egyidejűleg, 1954. januárjában, Budapesten, a Széchenyi-hegyi „Hargita” házból. A kísérleti TV adó hangadóját használták erre a célra, majd később, 1954. végére elkészült egy 30 W-os kísérleti URH-FM adó is. 1955-ben kezdték el tervezni az első 1 kW-os kísérleti URH-adót, azonban 1956. szeptemberéig a Posta Rádióműszaki Hivatal műhelyében csak az adószekrény, a 250 W-os meghajtó egység és a tápegységek készültek el. Ezzel a 250 W-os fokozattal kezdtek kísérleti adásokat sugározni, a csekély hatótávolság miatt elsősorban Budapest területére. További gondot jelentett, hogy URH-FM vételre alkalmas készülékek a rádióhallgatóknál egyáltalán nem voltak...

Az 1956. októberében megszakadt szerelés és kísérleti sugárzás 1957-ben folytatódott: a Posta Rádióműszaki Hivatal szakemberei 1957. február 23-án, 89,02 MHz-en, a Hargita ház negyedik emeletéről kisugározták az első 1 kW-os URH vivőt. Az URH vételre alkalmas vevő-készülékek ügye is megoldódott, a kereskedelem az akkori NDK-ból hozott be erre alkalmas készülékeket (Beethoven II, Havel, Undine). Ezután az Orion gyártani kezdte az URH-sávú AR 306, AR 602, stb. készülékeket, de főleg az 1958-as brüsszeli Világkiállításon aranyérmet nyert AR 612 típusjelű „Pacsirtát”.

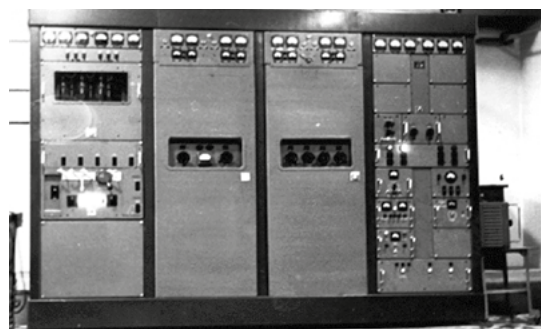
1958-ban, az elkészült Széchenyi-hegyi TV-torony 3. emeletére telepítették át az 1 kW-os URH-adót, majd 1959-ben a Szovjetuniótól kapott 2x2 kW-os URH-adóval hullámsáv-váltás következett, a 66,37 MHz-es OIRT tartományra. A „Szocialista tábor vezetése”, Hruscsov és Brezsnyev tanácsadói károsnak találták, ha a magyar rádióhallgatók jugoszláv és osztrák adókat, a cseh és lengyel hallgatók pedig német adókat fognak. Inkább egy független URH műsorszóró sávot különítettek el a keleti blokk országai részére.



1. ábra Az 1 kW-os kísérleti URH-adó (a Szerző felvétele 1963-ban)

A szovjet ikeradót szétválasztották, egyik fele maradt a Széchenyi-hegyen, a másikat Pécsre vitték, a Misina-tetői TV adóállomásra.

Eleinte mind a hazai, mind a szovjet adó egyidejűleg sugárzott, az utóbbi az OIRT-sávban 66,37 MHz-en, az előbbi pedig a CCIR-tartományban 89 MHz-en, hogy aki már vásárolt 89 MHz-re hangolt vevőkészüléket, ne maradjon műsor nélkül, legyen ideje áthangoltatni. 1961-ben megszüntették 89 MHz-en a sugárzást és később az adóberendezését áthangolták az OIRT-sávra, majd Miskolcra telepítették.



2. ábra A 2 kW-os szovjet URH-adó (a Szerző felvétele 1963-ban)

A háború után Európában is elterjedt URH rádiózást több állam úgy kívánta alkalmazni, mint a középhullámú műsorszóró rendszert, követelményként állították, hogy egy, kettő, vagy három műsor az egész országban hallható legyen. Magyarországon ezt a követelményt csak adóhálózatok kiépítésével lehetett teljesíteni, egymástól kb. 100 km távolságra elhelyezett állomásokkal, állomásonként 3-3 darab 10 kW-os adóval.

Az URH-hálózathoz szükséges berendezéseket Magyarországon a BRG-gyár kezdte kifejleszteni, első 3 kW-os, sztereóra is alkalmas berendezését 1962-től tesztelték a Széchenyi-hegyi TV-toronyban. Az URH-sávú rádiózás részletes hazai történetét és műszaki megoldásait a következőkben közölt cikkek taglalják...

A fényképek jogtulajdonosa:

Balás B. Dénes

AZ URH-RÁDIÓMŰSORSZÓRÁS BEVEZETÉSÉNEK TÖRTÉNETE MAGYARORSZÁGON

Szerző: Dr. Vári Péter egyetemi docens (SZE, Győr), főigazgató-helyettes (NMHH)

Bevezető gondolatok

Magyarországon 1925. december 1-jén indult el a rendszeres rádióadás, így idén ünnepeljük a hazai rádiózás centenáriumi évét. A rádió végigkísérte az elmúlt száz évünket, békésebb és viharosabb történelmi időkben is reményt, hitet adva, egyben tájékozódást, szórakozást nyújtva a hallgatóinak. A rádiózás jelentős szerepet tölt be kultúránk és nyelvünk megőrzésében, formálásában is.

A száz évből e sorok között a II. világháborút követő időszakra összpontosítunk, melyhez a Szerző személyes tapasztalatai, élményei is kötődnek, emléket állítva mindazon mérnököknek, technikusoknak, akik a magyarországi URH műsorszórás bevezetéséért és fejlődéséért sokat tettek az elmúlt 70 esztendőben.

Az ultrarövidhullámú műsorszórás bevezetése

A műsorszórással szemben támasztott minőségi igények, az ennek megfelelő frekvenciamoduláció új frekvenciasávok igénybevételére ösztönözte az európai műsorszóró társaságokat. A Magyar Posta szakemberei ezt felismerve az ötvenes évek közepén határozták el az ultrarövidhullámú műsorszórás bevezetésének előkészítését.

Az 1950-ben átszervezéssel megszűnt Posta Rádióműszaki Igazgatóság feladatait az újonnan létrehozott Rádióműszaki Üzemi Vállalat vette át. Az alapító rendelet a vállalat tevékenységi körébe utalta a közhasznú rádióüzemek fenntartását az ország egész területén. E vállalat 1955. júliusában kezdett bele egy saját fejlesztésű URH műsorszóró adó tervezésébe és kivitelezésébe. Ennek megfelelően fejlesztették ki az adó 250 W-os előfokozatát 1956. szeptemberében, az 1 kW-os adót és az antennát 1957. januárjában, majd helyezték üzembe kísérleti jelleggel a 89,20 MHz-es vivőfrekvencián.

Frekvenciagazdálkodás

Az 1947. és 1991. között zajlott hidegháború erősen befolyásolta az európai URH műsorszórás bevezetését. Földrészünk kettészakadt egy nyugati és keleti blokkra, ez képződött le a rádiózáshoz szükséges frekvenciák kijelölésében is.

A szocialista országok ebben az időszakban alakították ki az URH műsorszórásra igénybe vehető frekvenciasávokra vonatkozó elképzeléseiket. Történelmi távlatból nézve ma már egyértelműen hibás döntés volt, melynek következményei évtizedekre kihatottak a hazai URH műsorszórás fejlődésére.

A Magyar Posta szakértői egyetértésben más hazai ipari és tudományos szakemberekkel határozottan foglaltak állást az egységes európai frekvenciakiosztás bevezetése mellett az URH- és TV-hálózatok kiépítése tekintetében. Sajnos azonban a többi szocialista ország részéről semmiféle támogatást nem kaptunk, így végül a többség akarata győzött.

A szocialista országok az URH fejlesztésre a 66 – 73 MHz közötti sávot irányozták elő, a 87,5 – 100 MHz helyett. Kivételt a keleti blokk tekintetében a Német Demokratikus Köztársaság jelentett, aminek nem szakmai, hanem politikai okai voltak. A rádióhullámok nem ismerik az országhatárokat, azok megfelelő tervezés mellett is „átlépik” a határokat és a rádióműsorok vehetők a túloldalon lévő településeken is. A vasfüggöny elválasztotta egymástól Európa két felét, de a keleti oldal a fizikai elzártság mellett az ideológiai elzártság mellett is döntött, hogy a nyugati ideológiai gondolatok a Nyugat URH frekvenciasávján ne jussanak el a keleti blokk hallgatóságához.

A kivételt jelentő Német Demokratikus Köztársaság esetében a cél az volt, hogy a kettészakított ország nyugati fele, a Német Szövetségi Köztársaság „első kézből” értesülhessen rádióvevőkészülékeik által a szocialista rend vívmányairól a hideg háború szellemében.

A keleti blokk részére előírányzott URH sáv 7 MHz széles, lényegesen szűkebb, mint a nyugat-európai országok 12,5 MHz-e. Ez a sáv szélesség egyben determinálta, hogy egy adott országban hány országos lefedettségű hálózat építhető ki a jövőben.

1970-ben, magyar kezdeményezésre kezdődött meg az URH műsorszórás frekvenciatervének felülvizsgálata az OSzSz keretében. Egy évtizeddel később indult meg a tényleges tervezési munka, de addigra már mindhárom országos hálózat teljesen kiépült a 66-73 MHz-es sávban. Az 1984-ben aláírt nemzetközi frekvenciaterv szerinti új hálózatok megvalósítására, a keleti normáról a nyugati normára való váltásra még várni kellett.

Az európai szocialista országok az 1958-ban egyeztetett tervek szerint a 66 – 73 MHz-es (OIRT) frekvenciasávban honosították meg URH műsorszóró adóhálózataikat. A nyugat-európai országok a 87,5–100 MHz-es (CCIR) sávot jelölték meg URH műsorszórásra. Nemzetközi szinten az 1960. évi genfi és az 1961. évi stockholmi egyezmény határozta meg véglegesen az URH műsorszóró adóhálózatunk kialakítását. A hazai frekvenciaterv névlegesen három országos és egy helyi műsor sugárzására szolgáló adóhálózat kiépítését tette lehetővé monó üzemmódban.

Az OIRT adóhálózat kiépülése

A rendszeres magyar URH műsorszórás a Szovjetuniótól kapott 2 db 2 kW-os URH adóberendezés üzembehelyezésével indulhatott meg 1959. augusztus 20-án Budapesten és 1959. december 16-án Pécsen, a 66,62 MHz-es, illetve a 69,02 MHz-es frekvencián.

Budapesti 1 kW-os CCIR sávú adóberendezés OIRT sávba történő áthangolása után, 1963. augusztus 20-tól Miskolcon 70,04 MHz-en kezdte meg sugárzását. Nappal a budapesti és a miskolci adó a Petőfi műsort, a pécsi a Kossuth műsort sugározta, este pedig a budapesti és pécsi adó kísérleti műsort közvetített. Az URH sávra vonatkozó nemzetközi egyezményben rögzített frekvencia-lehetőségek alapján 1962. július 12-én készült el az az előterjesztés, amely az URH adóhálózatok kiépítésének programját tartalmazta. Célként fogalmazódott meg a már üzemelő középhullámú Kossuth és Petőfi műsor vételi lehetőségének javítása mind minőségileg, mind növelve a műsorsugárzással ellátott területet. Az URH hálózat fejlesztése érdekében a Kossuth műsor sugárzására további 7, a Petőfi műsorának közvetítésére pedig további 5 URH adó telepítését irányozta elő, a középhullámú adóhálózat rekonstrukciója mellett.

A fejlesztési program keretén belül 1965. június 17-én Kabhegyen üzembehelyezték a Budapesti Rádiótechnikai Gyár (BRG) által gyártott 3 kW-os adóberendezést, amelyet később 10 kW-os végfokkal egészítettek ki. Az országos URH hálózat kiépítéséhez természetesen szükséges volt a budapesti stúdió jelének eljuttatására a vidéki adóállomásokra arra alkalmas rézkábeleken, mikrohullámú láncokon keresztül.

A kabhegyi adóberendezés nappal a Petőfi műsort sugározta, az esti időszakban pedig kísérleti műsort adott.

Az 1968. október 8-án jóváhagyott fejlesztési program a Kossuth és Petőfi műsorát sugárzó URH adóhálózat kiépítése mellett előirányozta a harmadik műsorként belépő, új zenei minőséget biztosító sztereó adóhálózat létesítését is. A hálózatbővítés mellett kiemelt figyelmet kapott az URH műsorszóró adóállomások rendelkezésre állásának növelése is. Az URH műsorszóró adóhálózat üzembiztonságának fokozására tartalék adókat telepítettek, úgynevezett „n+1”-es tartalékolást megvalósítva.

1969. szeptember 1-én kezdődött meg a kísérleti sztereó sugárzás Budapesten az Elektromechanikai Vállalat (EMV) által gyártott 3 kW-os URH adóberendezés üzembehelyezésével. Ezzel megindult a Magyar Rádió név nélküli, csak számmal jegyzett harmadik műsorának rendszeres sugárzása.

A budapesti 2 kW-os URH adó ezután a Petőfi műsort sugározta, míg a pécsi 2 kW-os a harmadik műsor mellett a Kossuth, a kabhegyi 10 kW-os adó a harmadik műsor mellett nappal a Petőfi műsort is sugározta. 1970. szeptember 9-én helyezték üzembe a harmadik műsor önálló adóját Pécsen. 1970. december 22-én Sopron kapcsolódott be az URH műsorszóró hálózatba, amikor EMV gyártmányú 3 kW-os adóberendezése sugározni kezdte a Kossuth és a Petőfi műsorát.

Az országos adóhálózat az EMV által gyártott 3- és 10 kW-os, tipizált URH adóberendezéseket és antennákat felhasználva épülhetett ki.

Az adóhálózat kiépülése során a hazai stúdiótechnikai-, adóberendezés- és vevőkészülék-gyártás szimbiózisban fejlődött, köszönhetően a magyar mérnöki tudásnak, ami az adott korban nem maradt el a világ színvonalától. Ez az együttes technológiai fejlődés vezetett oda, hogy a sztereó jelek előállításához és vételéhez szükséges berendezések megjelenésével az adóhálózat koncepcióján is változtatni kellett, hogy a sztereó sugárzás vegye át a korábbi monó sugárzás helyét.

Az új koncepció kimondta, hogy minden adóállomáson (a Kossuth és a Petőfi Rádió műsorát monó üzemmódban sugárzó URH adók telepítése mellett) a harmadik műsor sztereó adóhálózatát is ki kell építeni.

A frekvenciák elosztását és felhasználását rögzítő nemzetközi egyezmények szerint negyedik monó műsor sugárzásra alkalmas adóhálózatot építhet ki hazánk.

Figyelembe véve a nemzetközi egyezményt, a koncepció felülvizsgálatával, a frekvenciák és az adóteljesítmények optimalizálásával alakította ki a Magyar Posta tervezőgárdája a három országos műsor (két monó és egy sztereó) sugárzására alkalmas URH adóhálózat tervét.

A terv alapján 1971-75 között, a már üzemelő adóállomások három műsoros adóállomássá való kiépítése mellett új adóállomások is bekapcsolódtak az URH műsorszóró hálózatba. Ezen időszakban 8 db. 3 kW-os és 11 db. 10 kW-os URH adóval, 5 adóállomáson három műsoros URH műsorszórás valósult meg.

A fejlesztés eredményeként a létrehozott adóhálózat a Kossuth Rádió vételét az ország területének 48%-án, a Petőfi műsorát 54%-án, míg a harmadik műsorét 75%-án biztosította monó vételi üzemmódban, míg a harmadik műsor sztereó ellátottsága az ország területének 41%-át fedte le.

1975-ben az URH vételre alkalmas vevőkészülékek aránya elérte a háztartások 39%-át. A vevőkészülékek terjedésével, gépjárművekben való megjelenésével folytatódott az adóhálózat fejlesztése is 1976 és 1980 között. Az adóhálózat 13 db 3 kW-os és 12 db 10 kW-os EMV adóval bővült. A fejlesztés eredményeként 9 adóállomáson megvalósult a három URH rádióműsor sugárzása, a Kossuth műsorának URH vételi lehetősége elérte az ország területének 83%-át, a Petőfié a 69%-át, a harmadik műsoré pedig a 84%-át, illetve sztereóban 52%-át. A kiépült országos adóhálózat lehetővé tette, hogy a műsoridő egy részében regionális körzeti sugárzás indulhasson meg az időközben létrejött Magyar Rádió körzeti stúdióiból.

Az Állami Rádió és Televízió Bizottság (ÁRTB) 1980. október 29-i ülésén jóváhagyott terv alapján a körzeti műsort az adók a Kossuth műsora helyett sugározták. E megoldással a körzeti műsorok vételi lehetősége az URH sávban az ország területének mintegy 63%-ra volt kiterjeszthető.

1981. április 22-én a Kékesi Adóállomás rekonstrukciójának keretében üzembehelyezett 3 db, 3 kW-os BHG adóberendezéssel befejeződött az URH gerinchálózat kiépítése.

A frekvenciahasználatra vonatkozó nemzetközi egyezmények lehetőségein belül optimalizálva kiépült a 66-73 MHz-es frekvenciasávban a három országos műsor sugárzására szolgáló URH gerincadó hálózat, mely kiváló vételi

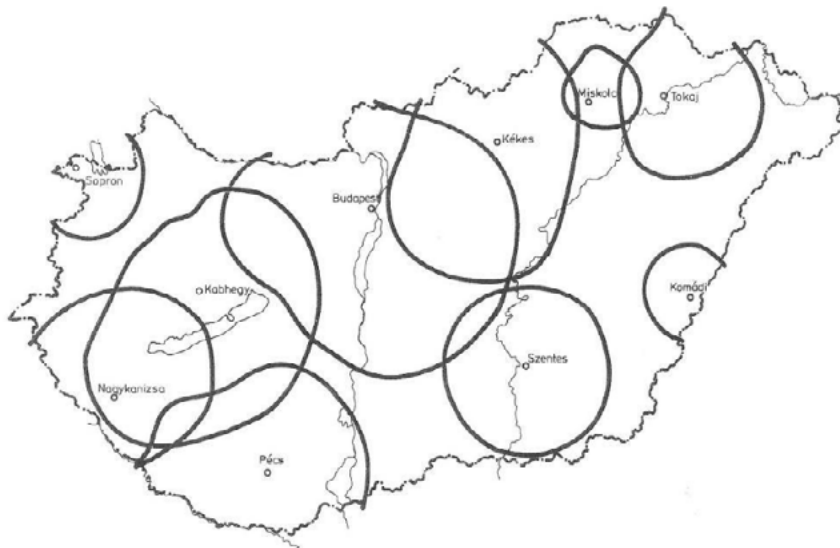
minőséget biztosított az ország területének 92, 75, illetve 94%-án.

Az adóhálózatban 11 állomáson 31 db. 3 kW-os és 10 kW-os üzemi adó dolgozott 191 kW összteljesítménnyel.

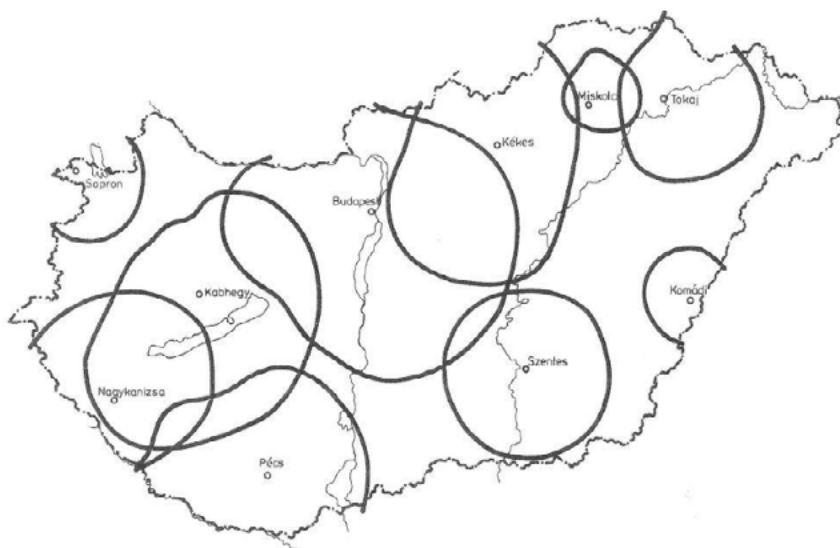
Folytatódott az adóhálózat üzembiztonságának növelése is a tartalékolási rendszer kiépítésével, tartalékadók telepítésével.

Az URH műsorszórás fejlesztésének következő fázisa a sztereófonikus műsorszórás kiterjesztése volt. 1983. július 1-én megkezdődött a Petőfi műsor sztereó sugárzása. Ezzel egyidőben a nagyobb sztereó ellátottság elérése érdekében a Kossuth és a Petőfi műsorát sugárzó URH adóhálózatok frekvenciáit a Magyar Posta átrendezte, lényegében megcserélte a két adóhálózatot. Ennek eredményeként a Kossuth műsor adóhálózata 69%-os, a Petőfi műsoré monóban 86%-os, sztereóban 54%-os, a harmadik műsoré pedig monóban 93%-os, sztereóban 67%-os területi ellátottságot ért el.

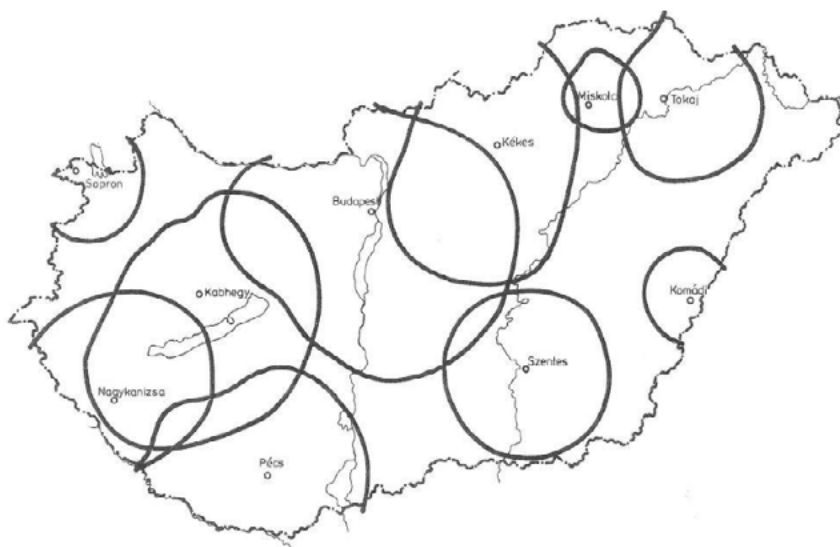
A 66-73 MHz-es frekvenciasávban Magyarország számára biztosított frekvenciakészletet teljes mértékben felhasználva három országos program (kettő közülük sztereó) adóhálózata épült meg. További országos lefedettséget biztosító frekvencia nem állt rendelkezésre, a frekvenciasáv telítetté vált. Egyes telephelyeken még egy-egy további frekvencián lehetőség lett volna lokálisan helyi műsorok sugárzásra.



1. ábra A Kossuth Rádió ellátottsága monó üzemmódban



2. ábra A harmadik műsor ellátottsága 1987-ben



3. ábra Petőfi Rádió ellátottsága 1987-ben

A nemzetközi frekvenciatervben szereplő „negyedik” frekvenciakészlet igénybevétele a vizsgálatok szerint a már kiépített adóhálózatok sztereó ellátottságának beszűkülését okozta volna. Ez azt jelentette, hogy a 66-73 MHz-es sávban a műsorok területi ellátottsága elérte az elméleti és gyakorlati maximális értéket, a Kossuth műsor sztereó sugárzása nem oldható meg. A Kossuth műsora a másik kettőhöz hasonlóan sztereóban készült el a Magyar Rádió stúdiójában, de nem volt lehetséges ennek kisugárzása a hallgatók felé. Ez egyben visszahatott a műsorszerkesztésre is, a zenei műsorok kisugárzására, a hallgatók zenei élményének fokozására a sztereó sugárzást preferálták a Magyar Rádió szerkesztői. A sztereó rádióval rendelkező laikus hallgatók nehezen értették, hogy a sztereóban elkészült Kossuth műsor miért nem vehető sztereó vevőkészülékükön.

CCIR adóhálózat kiépülése

Az országos URH műsorszórás területi lefedettségének további növelése, a Kossuth rádió sztereósításának igénye, a körzeti stúdiók kedvezőtlen sugárzási feltételei és nem utolsósorban új műsorok belépési igénye tette szükségessé az URH műsorszórás frekvenciatervének továbbgondolását, a műsorszórásra rendelkezésre álló frekvenciasávok kiterjesztését. Hosszú előkészítő munka után, 1985. augusztus 13-án született meg a genfi nemzetközi egyezmény, amely lehetővé tette Magyarország számára is a 87,5-100 MHz-es frekvenciasávban a műsorsugárzást. A nemzetközi egyezmény alapján a megadott sávban a már üzemelő adóhálózatok figyelembevételével 100-104 MHz között 1987. július 1-től, a 104-108 MHz-es tartományban pedig 1995. december 31. után helyezhető üzembe URH műsorszóró adó.

A nemzetközi egyezményben Magyarország 36 telephelyen 117 frekvencia használatára kapott elvi lehetőséget. A Magyar Posta szakértőinek ki kellett dolgozniuk a nemzetközi egyezmény adta frekvenciakészlet optimális kihasználását új adóhálózatok létrehozására. Nem szabad elfeledkeznünk arról, hogy a nyugati blokk országai ezidőre ebben a sávban már kiépítették adóhálózataikat és azok üzemeltetéséről nem kívántak lemondani az e sávba újonnan érkező szocialista országok miatt. Az az ország, aki rendelkezett nyugati szomszédokkal, a frekvenciakoordínáció kapcsán számolnia kellett a sávban már üzemelő adókkal. A frekvenciakoordínáció sajátossága, hogy az az ország, aki nem volt határos CCIR sávot már korábban használó országgal, annak is alkalmazkodnia kellett, mivel az egyes adótelephelyek koordinálása hat a körülötte lévő más adóállomások frekvencia-lehetőségeire. Ez a dominóhatás bekorlátozta az OIRT sávot használó országok frekvenciagazdálkodási lehetőségeit. Történelmileg ezért is tekinthető hibás döntésnek az OIRT sávban történő URH műsorszórás bevezetése, mivel a nyugati blokk országai kedvezőbben alakíthatták ki műsorszóró hálózataikat.

A 87,5-108 MHz-es frekvenciasáv megnyitásával a Magyar Posta szakemberei alapos és részletes vizsgálatokat végeztek a rendelkezésre álló frekvenciakészletből kialakítható adóhálózatok optimalizálására. Az elemzés bebizonyította, hogy a 66-73 MHz-es műsorszóró frekvenciasávot átmenetileg nem szabad feladni, frekvenciakészletére szükség van, mert a csak a 100 MHz-es tartományban működő adókkal nem valósítható meg az ország három sztereóműsorral való teljes lefedése. A kétsávós URH műsorszórás további előnye, hogy lehetővé teszi önálló körzeti adóhálózat kiépítését, illetve kereskedelmi műsor indítását is. Hátránya, hogy továbbra is fenn kell tartani a kétsávós sugárzást, ami kihat a vevőkészülékekre is.

A vizsgálatok nyomán a Magyar Posta kidolgozta az URH műsorszóró adóhálózat fejlesztésének alapkonceptióját, amelyben a kétsávós URH műsorszóró adóhálózatok létrehozása mellett foglalt állást, meghatározva a rádióműsorszóró hálózatfejlesztés irányelveit és ütemezését.

1986. július 1-jén helyezték üzembe az első 100 MHz-es frekvenciasávú adóberendezést 10 kW teljesítménnyel, a 100,5 MHz frekvencián Kabhegyen. Ezt követte a budapesti adó üzembehelyezése a 103,3 MHz-es frekvencián, 10 kW-os adóteljesítménnyel. Az adók az idegenforgalmi szezonban (májustól októberig) a nappali időszakban a Magyar Rádió német nyelvű idegenforgalmi, kereskedelmi műsorát, a „Radio Danubius” műsorát sugározták a hazánkba látogató turisták számára. Október és május közti időszakban a Kossuth műsor került az éterbe, 1987. március 2-től immár sztereofonikus üzemmódban.

1987. július 1-jén újabb adóberendezéssel bővítette 100 MHz-es adóhálózatát a Magyar Posta, ideiglenesen 50 W teljesít-

ménnyel, a 94,90 MHz-es frekvencián Szegeden a Magyar Rádió szegedi körzeti és nemzetiségi stúdiójának műsorát továbbítva a hallgatók felé. A szegedi stúdió programját a szentesi OIRT sávban üzemelő Kossuth URH adó is sugározta.

1988. május 1-jén újabb adó került üzembe a 100 MHz-es sávban Sopronban. 102,0 MHz-es frekvencián 10 kW teljesítménnyel indult meg a Danubius műsorának sugárzása.

A szegedi ideiglenes sugárzással egyidőben megkezdődött egy önálló, véglegesnek szánt adóállomás építése a város határában. Az állomáson egy 500 W-os, „n + 1”-es tartalékolási rendszerű URH adó váltotta ki az ideiglenes 50 W-os adót 1988. közepén.

Debrecenben, ahol a Magyar Rádió újabb körzeti stúdiót épített, 1988. végén 103,5 MHz-en, 1 kW teljesítménnyel kezdődött meg a debreceni körzeti rádióműsor kisugárzása, illetve a Kossuth Rádió műsorának adása a körzeti műsor időtartamán túl. A 100 MHz-es frekvenciasávban üzembehelyezett adók sztereóban az ország területének mintegy 30%-át látták el.

Az OIRT-adóhálózat leállítás, a CCIR sávú országos URH-hálózat elindulása

Az OIRT sávú műsorszórás fokozatos leállítása az 1990-es évek elején indult meg, miután Magyarország politikai és gazdasági integrációja a nyugati technológiai rendszerek felé fordult. A Frekvenciagazdálkodási Intézet (mai NMHH) 1990–1993 között készítette el azt a frekvenciatervet, mely lehetővé tette az átállást az új, 87,5–108 MHz-es URH sávra.

Hazánk fokozatosan tért át a CCIR sáv használatára. A 100 MHz-es hálózat kiépítésének első üteme 2005-ben zárult le, amikor 25 adóállomásból állt az országos hálózat. Ezt követően 2007-ig újabb 22 adóállomás létesült, növelve a területi lefedettséget.

A CCIR sávú URH hálózatot az ITU Regionális Rádiókonferenciája (Stockholm 1961.) tervei alapján, de módosított hazai koordinációval alakították ki.

Összefoglalás

A hazai rádióműsorszórás fejlődését tekintve az URH műsorszórás alakulása követte le leginkább hazánk politikai és gazdasági változásait. A rendszerváltás egyfajta leképződését láthattuk az OIRT-CCIR váltásban. Nemcsak a blokkokat elválasztó vasfüggönyök, falak dőltek le, hanem Európa újra egysülhetett a rádiózást tekintve is.

A műsorszórás próbálkozásoktól a kísérleti sugárzáson, a rendszeres műsorszolgáltatáson, a sztereósításon keresztül

eljutottunk az új műsorok sugárzásáig, és megjelenhettek a kereskedelmi rádiók is. A korábbi országos terjesztésű műsorok, melyeket ma már közszolgálati műsorokként ismerhetünk, a jelen pillanatig szórakoztatják, tájékoztatják hallgatóikat sztereó minőségben. Egyedül a harmadik műsor neve változott meg, 1987. május 23-tól Bartók nevét vette fel, utalva egyben annak zenei műfajára.

Emlékül:

Honfy Józsefnek, Dr. Kissné Akli Máriának, Máté Istvánnak, Parrag Gábornak akik elősegítették a hazai rádiózás fejlődését ebben az időszakban.

Felhasznált irodalom:

- Postamérnöki szolgálat második 50 éve (1938-1988) – Magyar Távközlési Vállalat ISBN: 9637055177 Dr. Lajtha György Távközlési Könyvkiadó, 1991

AZ FM ADÓK MODULÁTORAINAK FEJLŐDÉSE, HELYES KIALAKÍTÁSUK

Szerző: Narancsik Mihály okl. villamosmérnök, 4iG Műsorszóró Infrastruktúra Kft. (korábban Antenna Hungária Zrt.)

Az FM adástechnikában a modulátorok kiemelkedő fontossággal bírnak. Döntően befolyásolják az FM műsorszóró rendszerekre előírt jellemzők egy jelentős csoportját, úgy-
mint:

- frekvenciapontosság (ITU-R SM.1045 ajánlás)
- linearitás, torzítások
- jel/zaj viszony
(ezek a fenti paraméterek a műsorszolgáltató felé
felvállalt szigorú követelmények)
- modulációs határértékek (ETSI 300 384, ITU BS.412)

A következőkben ezen peremfeltételek tükrében tekintjük át az FM modulátorok fejlődéstörténetét és elektronikai megoldásait az URH-sávú rádiózás felfutásától, az 1970-es évektől kezdődően.

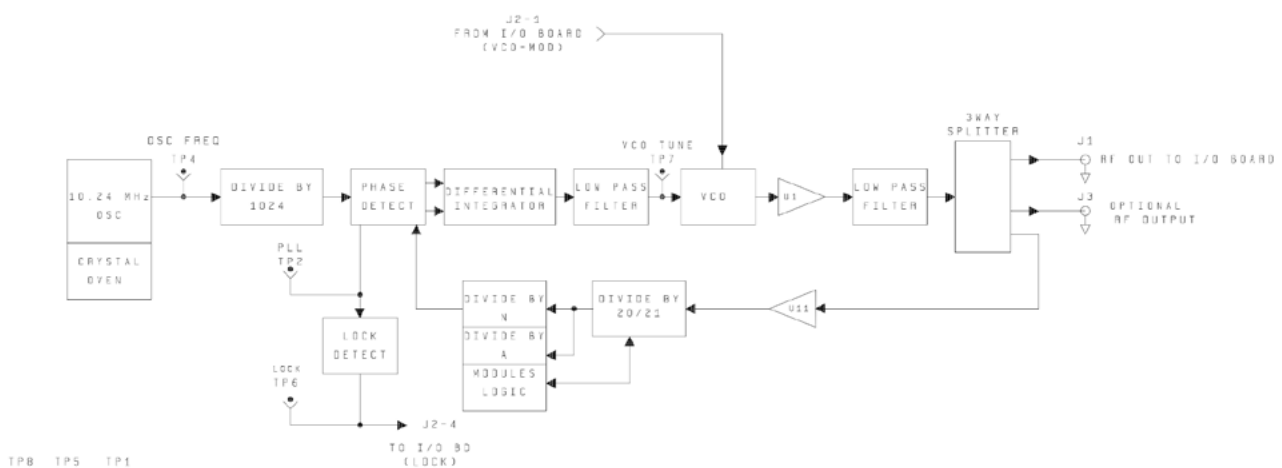
A modulátorok fejlődése a 70-es évektől

Az FM adástechnika legfontosabb tényezője az adókban alkalmazott modulátor minősége. Meghatározza az adó frekvenciáját, frekvencia-stabilitását, valamint a moduláció hangzásának minőségét is.

Az Antenna Hungária Zrt-nél 1996-ig analóg modulátorral rendelkező FM adók voltak használatban, elsősorban a EMV/BHG által gyártott változatok. Gyártótól függetlenül az akkori FM modulátorok működés szempontjából az alábbiak szerint néztek ki (HARRIS analóg FM meghajtó egység):

A meghajtó magja egy olyan VCO, amely a teljes 87,5-108 MHz-es sávban hangolható (az 1. ábrán a VCO baloldali bemenetén), és amely megkapja a mono vagy sztereó multiplex moduláló jelet (a VCO felső bemenetén). Megjegyzendő, hogy a moduláló jel nagyságának határt kell szabni, ez lesz az „MPX limiter” feladata, de erről majd később.

A másik fontos elem egy nagypontosságú és -stabilitású 10,24 MHz frekvenciájú, termosztált kvarcoszcillátor, amely az egész adó frekvenciájának végső pontosságát, stabilitását határozza meg. Megjegyzendő, hogy az ITU-R SM. 1045-ös ajánlás maximum 2 kHz-es frekvenciaeltérést enged meg az 50W-nál nagyobb teljesítményű FM adóknál. A 10,24 MHz-es jelet egy 1024-es frekvenciaosztóval egy 10 kHz-es referenciajelre osztják le, amely az adó fázisdetektorának az alapjele lesz. A fázisdetektor másik bemenetére a VCO kimenő jelének egy programozható osztóval (DIVIDER BY N, DIVIDER BY A) leosztott jele kerül. Ezzel lehet beállítani az adóengedélyben szereplő névleges adási frekvenciát. Az osztó névleges kimeneti frekvenciája ugyancsak 10 kHz lesz, így osztásaránya 8750 és 10800 között állítható a kívánt adási frekvenciának megfelelően; kimenetén már csak egy igen kis frekvencialökötű jel lesz, mert a modulációt is leosztja. Az osztó kimenetén a maximális 75 kHz-es FM csücslöket 8,57.. 6,94 Hz-es löketté zsugorodik, a beállított adási frekvencia függvényében – de azért az ott lesz. A $\Delta f/f_m$ arány igen kicsi lesz, a Bessel függvények szerint az ilyen kis modulációs indexű 10 kHz-es FM jelben a vivón lesz a legnagyobb komponensű spektrumcsücs. A megmaradó FM-et egy integrátor és egy aluláteresztő szűrő tünteti el a hibajelből, az így „lesimított” egyenfeszültség fogja az adás frekvenciájára hangolni a VCO-t, mégpedig az alkalmazott kvarcgenerátor pontosságával.



1. ábra Analóg FM modulátorok jellemző felépítése

Megjegyzendő, hogy az adó és a kisugárzott jel biztonságának érdekében a PLL zárt állapotát folyamatosan ellenőrizni kell, nem-zárt állapotban az adót rögtön le kell állítani, ezt szolgálja a „LOCK DETECT” áramkör. Az eltérő frekvenciájú sugárzást meg kell akadályozni! A PLL hurokban alkalmazott aluláteresztő szűrő a 30 Hz alatti moduláló jelre hajlamos volt belengeni, így a PLL zárt állapotát megbontani! Sok analóg modulátoros adó szenvedett ettől a hibától, még a modulátor előtt meg kellett akadályozni a 30 Hz alatti modulációs tartalom bejutását az adóba.

Az ilyen felépítésű FM modulátorok a digitális frekvenciaosztók megjelenésével, valamikor az 1970-es évektől terjedtek el minden FM adógyártónál, így a magyar EMV-nél is. Megjegyzendő, hogy az ennél korábbi adók egy viszonylag alacsony frekvenciájú oszcillátoron oldották meg a frekvenciamodulációt, és ezt transzponálták fel az az adási frekvenciára.

Az 1. ábrán vázolt szintézeres FM meghajtó megoldásnak nagy előnye volt, hogy viszonylag könnyen lehetett vele kvarcpontosságú adási frekvenciát elérni. De mi lehetett a hátránya ennek a praktikus megoldásnak?

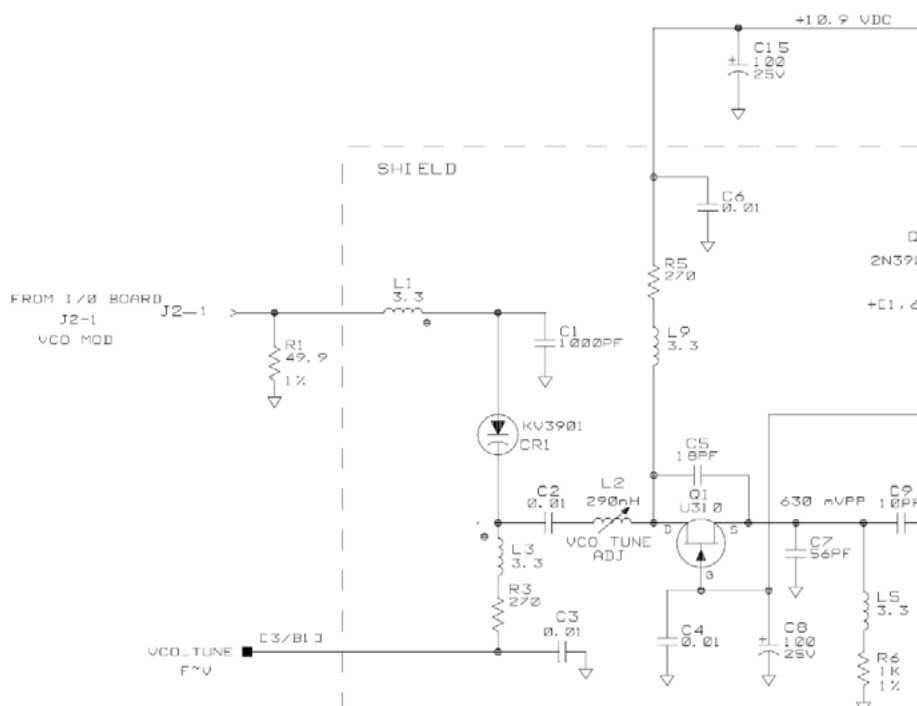
Egy adóberendezés nemcsak meghajtó fokozatból, hanem kW-os nagyságrendű végfokozatból és nagyteljesítményű tápegységből is áll. Egy 1 kW-os FM adó hatásfoka 40-45%, azaz az adó nagy hőmennyiséget termel, amelyet el kell valahogyan vezetni. Az FM adók zömében forszírozott lég-hűtést alkalmaznak, azaz nagyméretű ventilátorok hajtják keresztül a levegőt az berendezésen. Ezen ventilátorok remegtetik az egész adóházat. De miért is probléma ez?

A VCO fő hangoló eleme az L2-es pozíciójú tekercs és a CR1 varicap dióda. Látható, hogy a varicap dióda anódjára érkezik a modulálójel, katódjára a PLL hangoló egyenfeszültség. Az L2 tekercset mechanikusan erősen rögzíteni kell, mert bármely rázkódása FM-ben fogja modulálni az adót. Ez rontani fogja az adóval elérhető maximális jel/zaj viszonyt, márpedig egy FM adótól legalább 60 dB-es súlyozatlan jel/zaj viszony várható el.

Ilyen problémával küzdöttek az analóg meghajtójú FM adók, amelyeknél csöndes moduláció (pl: Bartók műsor) esetén hallható volt a hűtőventilátorok hangja. De más gyártmányú FM adónál is kisebb jel/zaj viszonyt lehetett mérni az adókeretbe becsavározott modulátorral. Ha kiszedtük a meghajtót az adóból és egy külső asztalról kábeleztük be, akkor már megfelelő jel/zaj viszonyt tudtunk mérni. Volt kézközelben olyan FM adó is, amelynek előlapját megkopogtatva a kopogás kiment adásba.

A fentiek felül a gyártás is különös figyelmet kívánt, egy ilyen VCO legyártása, beszabályozása nem automatizálható folyamat.

A PLL hangoló oldali szűrőjének méretezése is különös gondot kívánt, nehogy a nagyszintű, alacsony frekvenciájú moduláló jel belengesse a PLL-t, a hurok felszakadását és az adó leállását eredményezve ezzel. Ne felejtjük el, hogy az FM műsorszórásban 20-30 Hz körül van a legkisebb moduláló frekvencia!



A digitális működésű FM modulátorok megjelenése

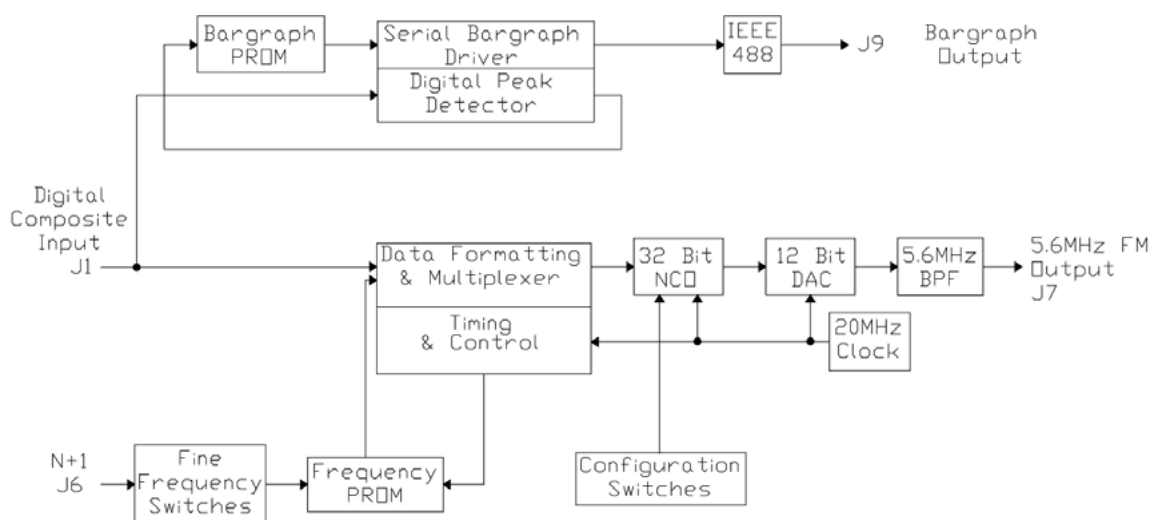
Az analóg FM modulátorok hibáinak kiküszöbölése és a könnyű gyárthatóság lett tehát az elsődleges cél. Ennek jegyében a technika fejlődése tette lehetővé a digitális FM modulátorok létrejöttét.

Az ötlet, mint mindig, a katonai rádiózásból jött. A katonai titkosított rádiózás egyik formája a kvázi-véletlenszerűen változó frekvenciákon történő, úgynevezett frekvenciaugratásos adás. Ilyen jeleket az alábbiakban részletezett, ún. DDS-technikával lehetett hatékonyan létrehozni. A polgári rendszerekbe, így az analóg FM adástechnikába is innen került át ez az eljárás.

1996-ban a médiatörvény végrehajtása nyomán, az OIRT URH sávból a CCIR URH sávra történő átálláskor az Antenna Hungária Zrt-nél nagy tételben beszerzett HARRIS amerikai gyártmányú adók digitális kódszavakkal vezérelt, ún. numerikusan vezérelt oszcillátort (NCO) és digitális-analóg átalakítót (DAC) tartalmaztak. A két egységet együtt közvetlen digitális szintézisnek (DDS) nevezik.

Az akkor beszerzett HARRIS adók DIGIT meghajtója még egy köztes frekvencián, 5,6 MHz-en hozta létre az FM jelet, amelyet későbbi PLL szintézer segítségével keverték fel a kívánt adási frekvenciára. Az újabb digitális FM modulátorral rendelkező adók már közvetlenül az adás frekvenciáján állították elő az FM jelet.

A HARRIS DIGIT meghajtó működési vázlatát az alábbi:



2333-081

3. ábra A HARRIS DIGIT meghajtó blokkvázlata

A modulátor a digitális sztereó kódolóból digitális formában kapja meg a multiplex jelet. Ez vezérli a 32 bites NCO-t, amelynek középponti frekvenciája finoman változtatható

DIP kapcsolókkal, összhangban a későbbi végleges frekvenciára történő felkeveréskor a PLL egységgel. A két DIP kapcsoló sor fogja a végleges adási frekvenciát meghatározni. Az NCO és az utána következő DAC egy 20MHz-es termikusan kompenzált kvarcoszcillátor jelét használja fel, amely az adás frekvenciájának pontosságát határozza meg. Az NCO digitális FM jelét az utána következő 12 bites DAC áramkör alakítja analóg FM jellé 5,6 MHz környékén. A jelet a végén egy 5,6 MHz-es sávszűrő szűri, illetve továbbítja a PLL modul felé.

Van tehát egy olyan oszcillátorunk, amely egy 32 bites adatbemenettel rendelkezik, és az egység rögtön az itt megjelenő kódszónak megfelelő frekvenciát állítja elő. Az éppen aktuális kódszó hordozza a modulációt. Megjegyzendő, hogy a modulátor tartalmaz a bemenő jelet mérő csúcsetektort is, amely az előlapon egy LED soron igen pontosan indikálja a pillanatnyi löketet, illetve az esetleges túlmodulációt.

A digitális FM modulátor a „mikrofónia” hibát megszüntette, és digitális sztereó dekódolóval együtt extrém jó alapsávi paramétereket lehetett az ilyen adókkal mérni. Ugyancsak nem szenved a 30 Hz alatti oszcillátor belengési hibától sem, gond nélkül sugároz az adó maximális löketű, akár 20 Hz-es modulációt is. A jel/zaj viszony, áthallási csillapítás mérése az Antenna Hungáriánál mérésre alkalmazott R&S FMA típusú, analóg működésű mérődemodulátorokat is próbára tette, gyakorlatilag ennek a zaja korlátozta a mérést. A HARRIS DIGIT meghajtóval rendelkező adóknál a mért súlyozatlan jel/zaj viszony értékek 70-80 dB körül alakultak, az áthallási csillapítás 50-60 dB között volt.

HAZAI FM ADÁSTECHNIKA AZ 1990-ES ÉVEKTŐL NAPJAINKIG

Szerző: Bíró Dániel villamosmérnök, 4iG Műsorszóró Infrastruktúra Kft. (korábban Antenna Hungária Zrt.)

A 4iG Műsorszóró Infrastruktúra Kft.-nél jelenleg üzemelő FM adók közel 30 évet ölelnek fel. A technológiai fejlődés nem állt meg az 1997-ben kezdődött nagy FM beruházásokkal, csupán ennek üteme változott időről időre. Ennek köszönhető, hogy a 4iG Műsorszóró Infrastruktúra Kft. (korábban Antenna Hungária) jelenlegi FM hálózatában az adóberendezések változatosak, e sokféleség miatt üzemeltetésük magas szintű eszközismeretet és olykor kreativitást igényel.

1996-ban kijött a médiatörvény, mely keretbe foglalta, hogy mi számít közszolgálati és kereskedelmi tartalomnak, az ezeket előállító és tulajdonló szervezetek milyen tulajdonosi szerkezettel rendelkezhetnek, melyek lehetnek állami fenntartásban és melyek nem. Ebben a törvényben volt megfogalmazva, hogy az FM rádióadások műsorát át kell állítani a CCIR sávra, aminek köszönhetően új beruházások váltak szükségessé.

Harris Quest és Platinum adók

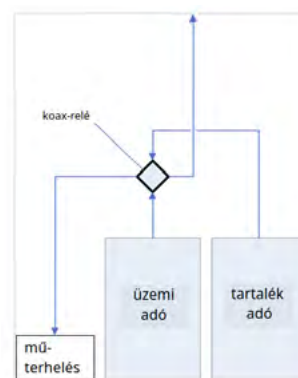
A '96-os médiatörvény következtében induló beruházásokban számos adóberendezést szerzett be az akkori Antenna Hungária az amerikai Harris-től, amelyek már digitális modulátorral rendelkeztek. A DIGIT CD meghajtót az FM sávban bármely frekvenciára rá lehet hangolni, így univerzálisan, bármely állomáson alkalmazható mind a Quest, és Platinum sorozatú adókban.

További fontos tulajdonság, hogy kontaktusvezérléssel távvezérelhetők ezek az eszközök, így nem szükséges feltétlenül az adó mellett állni egy indítás és leállítás kedvéért, valamint jelzések is levehetők, információk jutva az adó állapotról, ami egy esetleges hibakeresés során fontos lehet.

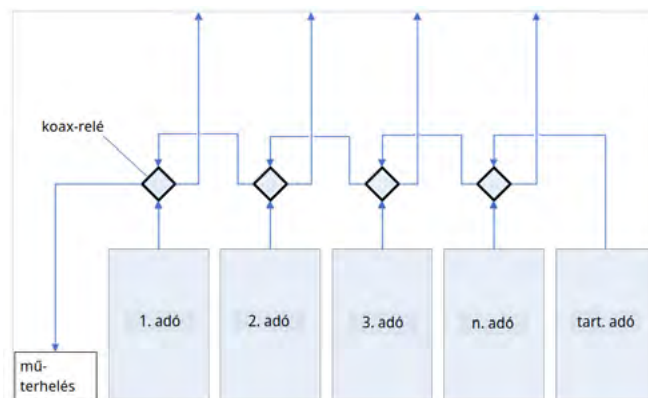
Quest

A Quest adók is a DIGIT CD meghajtóval üzemelnek. A beállítások során belső átkötések segítségével megadható, hogy milyen tartalékolási elrendezéssel üzemel (N+1 vagy 1+1), ez alapján lehet külső jelzésekkel az épp számunkra megfelelő módon indítani és leállítani az adót. Az „1+1” konfiguráció azt jelenti, hogy két azonos adóberendezésből áll a rendszertechnika és az antennarendszerhez ezek közül mindig csak egy van csatlakoztatva. Esetleges meghibásodás

esetén a másik átkapcsolható – jellemzően automatikusan –, így a szolgáltatáskiesés elkerülhető. „N+1” elrendezésben a rendszertechnika több üzemi adót tartalmaz (konkrétan „N” darabot), amelyek külön szolgáltatásokat visznek, és a teljes adócsoporthoz egy tartalékberendezés tartozik. Hiba esetén a tartalék veszi át a meghibásodott üzemi adó műsorát és csatlakozik az antennarendszerhez (1. és 2. ábra).

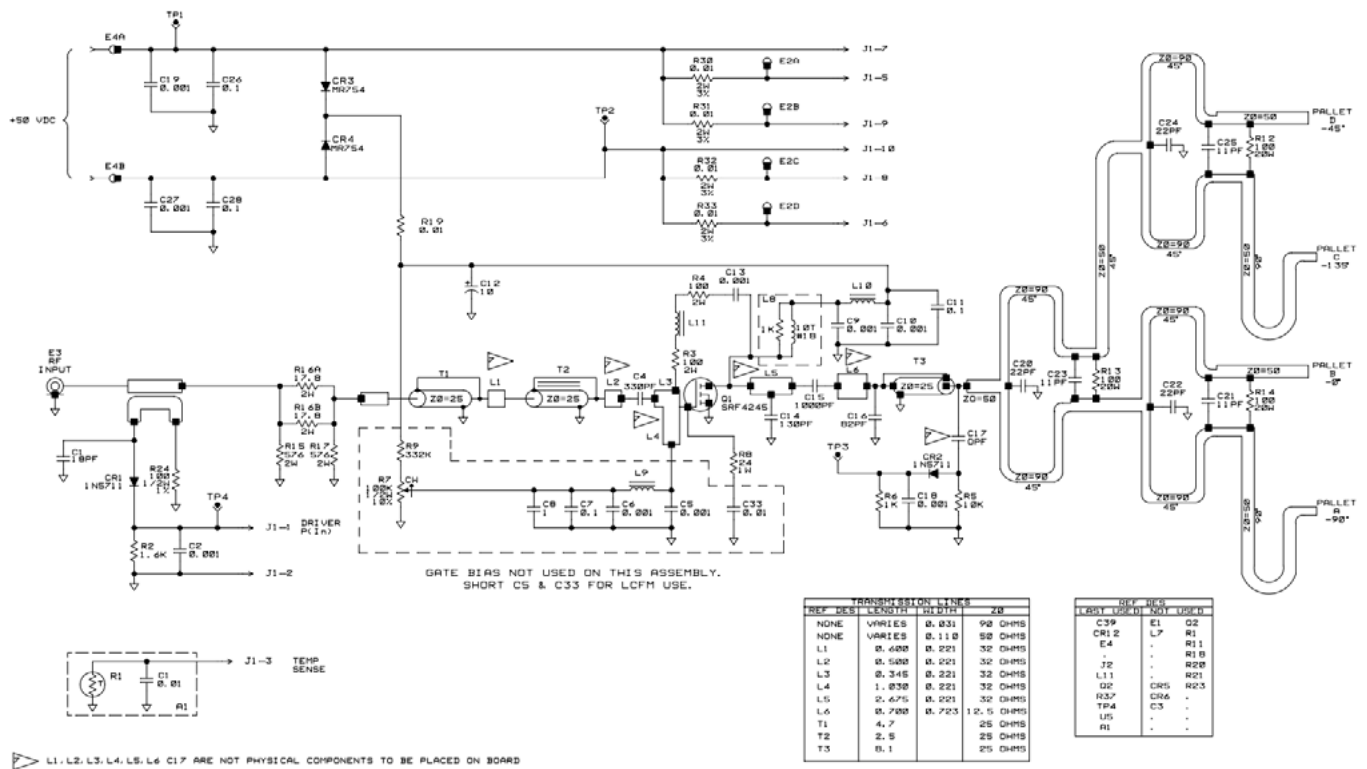


1. ábra „1+1” tartalékolási rendszer elvi rajza (ábra forrása: Bíró Dániel)

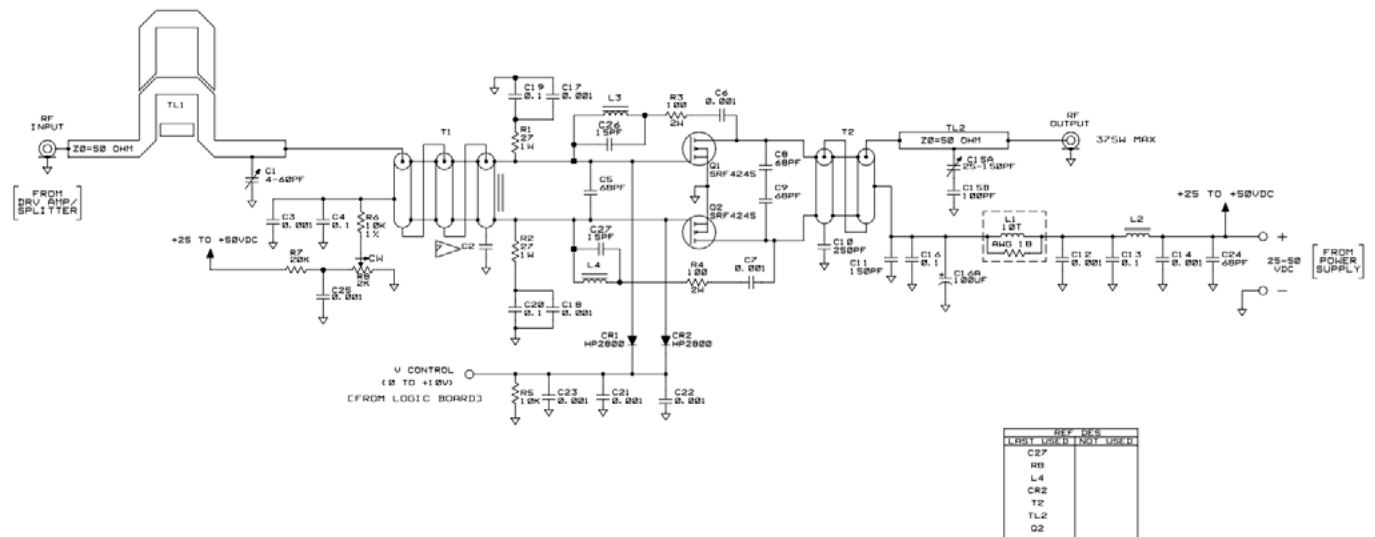


2. ábra „N+1” tartalékolási rendszer elvi rajza (ábra forrása: Bíró Dániel)

A 4iG Műsorszóró Infrastruktúra Kft. hálózatában 1 kW névleges RF teljesítményű Quest adók vannak. A DIGIT CD meghajtó stabilan tud 50W RF kimenő teljesítményt szolgáltatni, jellemzően ennél kisebb jelszintű meghajtást kap a végfokozat. A meghajtó után az RF jel egy előerősítővel egybefoglalt osztóra jut. Erre azért van szükség, mert a nagyteljesítményű blokkban lévő végfokmodulokat fázishelyesen kell meghajtani, hogy később fázishelyesen tudjuk összegezni az erősített jelet.



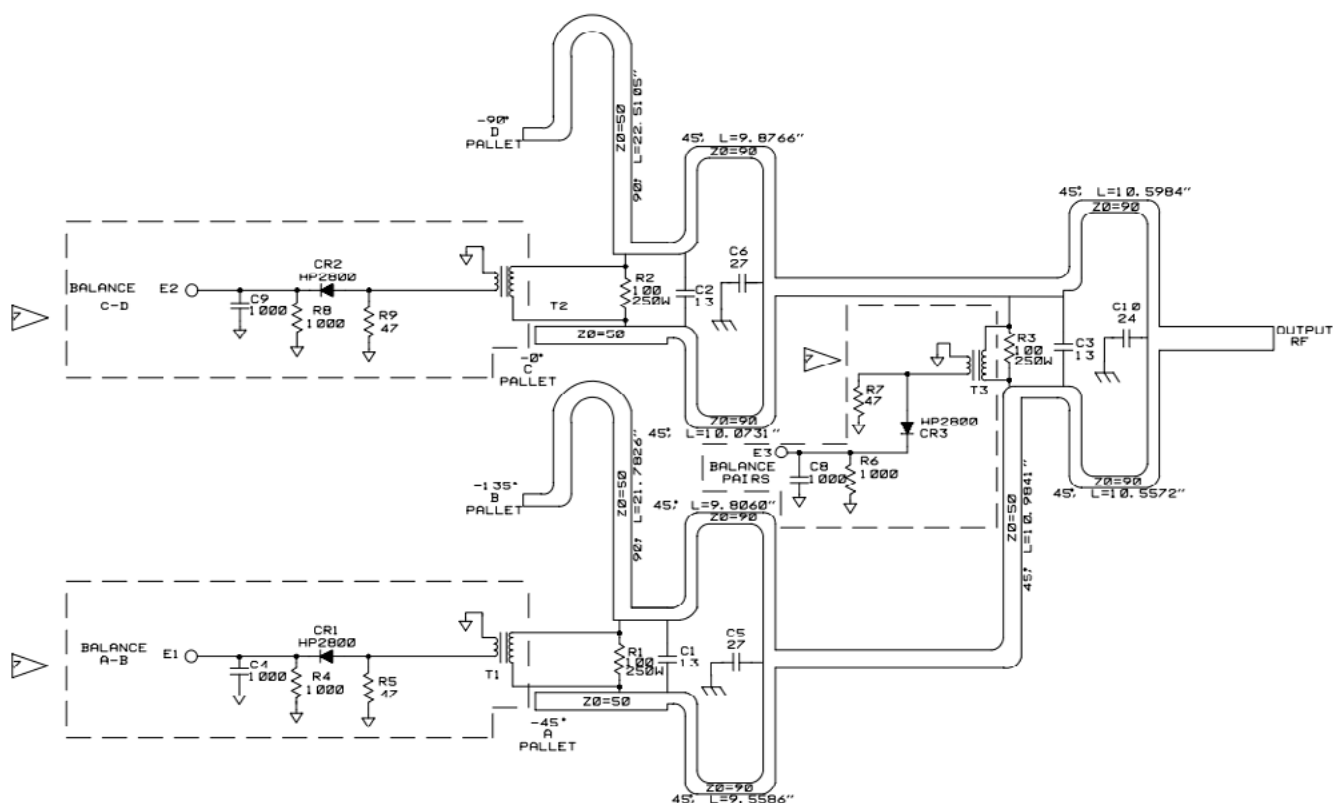
3. ábra Az 1kW-os Quest adó osztója (ábra forrása: Technical Manual Quest FM transmitters, 888-2360-002)



4. ábra Az 1kW-os Quest adó végfokozati modulja (ábra forrása: Technical Manual Quest FM transmitters, 888-2360-002)

Mind az előerősítő, mind a végfokozati modulok SRF 4245 típusú FET-ekkel állíták elő a nagyteljesítményű jeleket. Adatlapjuk szerint ezekkel az alkatrészekkel 41%-os hatásfok érhető el, ebből következik, hogy a teljes adóberendezéssel névleges kimenő RF teljesítmény esetén az elérhető legjobb hatásfok 45%. Ez az érték harminc éve jónak számított.

A végfokozatok által előállított jeleket fázishelyesen kell összegezni úgy, hogy a kimenet 50Ω-ra illesztett legyen.



5. ábra Az 1kW-os Quest adó 4-utas összegzője (ábra forrása: Technical Manual Quest FM transmitters, 888-2360-002)

Látható, hogy a kapcsolásban ballaszt irányok is vannak. Ezekre azért van szükség, mert ha az összegzés során a végfokozatok fázisai között eltérés lép fel vagy az egyik végfokozat meghibásodik és kiesik, akkor az eredeti egyensúlyi feltételek felborulnak, és az így keletkező fázishibából adódó különbségi teljesítmény a beépített ballasztokon disszipálódik, megóvva a kimenetet és kiküszöbölve a reflexiót a végfokozatok irányába.

A Quest adók nagyteljesítményű modulja viszonylag kompakt felépítésű, az adókeretből egy egységként lehet kiemelni és a javításához is megbontás szükséges, így egy végfokozat cseréje nem egy egyszerű blokkcsere-művelet.

Ezek a berendezések, és ez igaz az összes FM adó típusra, léghűtésesek, ami azzal jár, hogy nagy figyelmet kell fordítani a légszűrőkre, illetve a ventilátor egységekre. A DIGIT CD-k egyik leggyakoribb meghibásodási jelensége a ventilátor hiba.



DIGIT CD meghajtó

Nagyteljesítményű modul

6. ábra A Quest adó fényképe (ábra forrása: Bíró Dániel)

Platinum

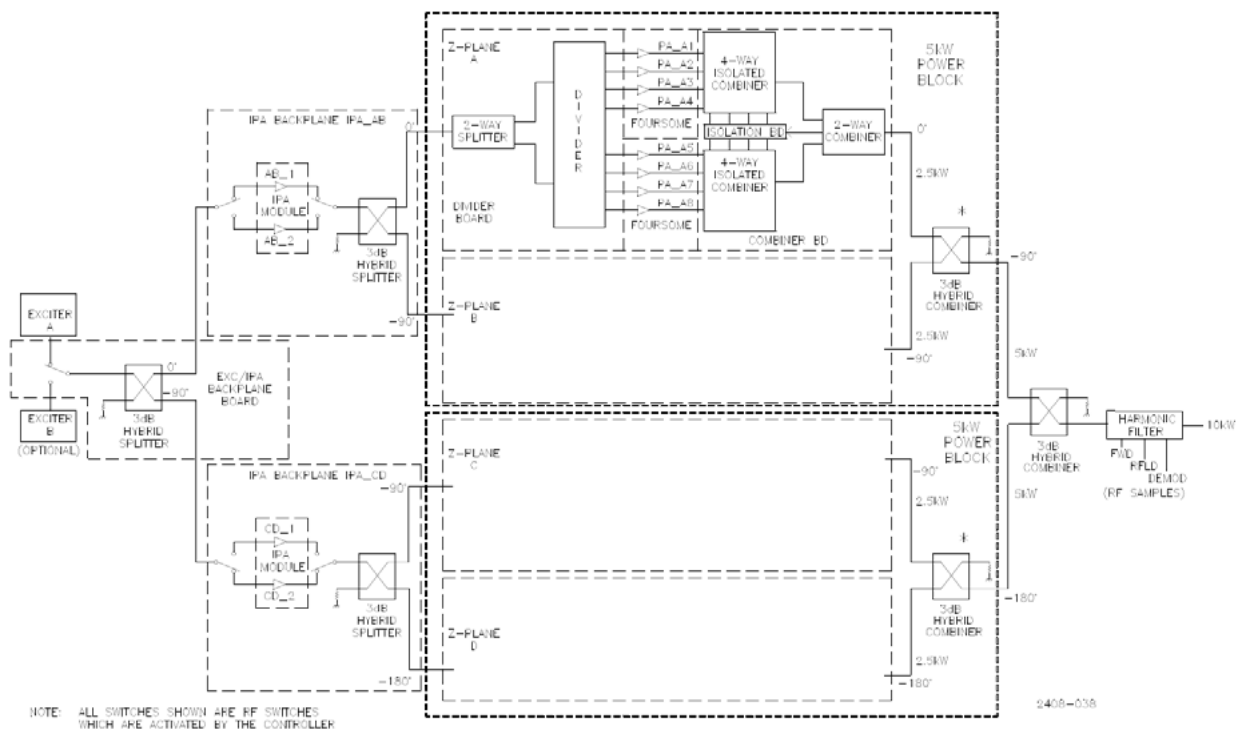
A Platinum sorozatú adók a Questekhez hasonlóan DIGIT CD típusú meghajtót használnak a moduláció feldolgozására és az FM MPX jel előállítására. Ezek az adók elődeikhez képest jóval modulárisabb felépítéssel rendelkeznek, ennek köszönhetően a névleges RF-teljesítményük 2kW-tól 10kW-ig terjed. Ezenfelül itt már hiba esetén lehetőség van modulszinten cserélni és javítani a berendezést, ezzel csökkentve az esetleges szolgáltatáskiesés valószínűségét és a kiesési idő hosszát.

A Platinum sorozatú adók távvezérlő felülete többféle vezérlési és jelzési lehetőséget biztosít, lehetővé téve a távfelügyelet és a távindítást, illetve leállítást is.

A moduláris felépítésből adódik, hogy az adó elvileg képes kéteghajtós üzemre is, ami azt jelenti, hogy két meghajtó

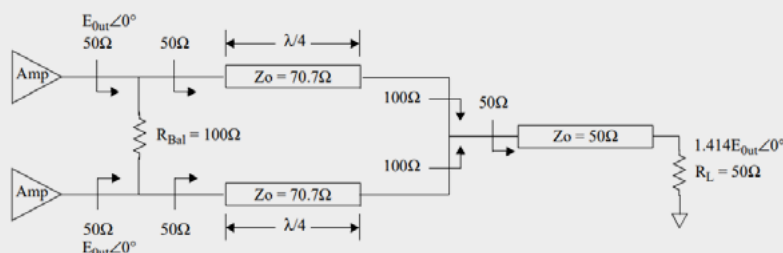
egység van a rendszerben, így hiba esetén képes átállni az egyikről a másikra, folyamatos üzemet biztosítva. A 4iG Műsorszóró Infrastruktúra Kft. (Antenna Hungária) hálózatában egy meghajtós elrendezések vannak, a meghajtók tartalékolása helyett „1+1” és „N+1” tartalékolású berendezések üzemelnek a Platinum sorozatú adókból kialakított rendszerekben is.

Példánkban, a 7. ábrán egy 10kW-os Platinum adó blokkvázlata látható. Ezen is jól tükröződik a moduláris felépítés: a nagyteljesítményű blokk 4 darab alegységre tagolódik, minden alegységben 2 végfok-blokk található. Egy-egy alegység 2,5kW teljesítmény leadására képes. Az elemi végerősítő-fokozatok teljesítményét nyolc darab négyutas Wilkinson összegző összegzi, majd ezeknek a jeleit két 3dB-es hibrid közösíti. A végső összegzést is egy 3dB-es hibrid végzi.



7. ábra 10 kW-os Platinum adó RF blokkvázlata (ábra forrása: FM Transmitter Manual T.M. No. 888-2410-002)

A Wilkinson-összegző

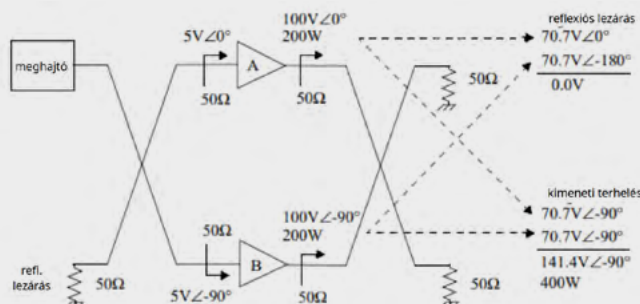


A kétutas Wilkinson összegző elvi kapcsolása

(ábra forrása: *The Wilkinson Hybrid and its Derivations* By Doc Daugherty Senior Broadcast Technology Instructor)

Az összegző két negyedhullámú tápvonalra épül, a bemenetek közötti ellenállás a két kapu közötti esetleges aszimmetria kiegyenlítéséért felel. Üzemszerű állapotban azonos amplitúdójú és fázisú jelek lépnek fel a két bemeneti kapun, ezért nincs feszültségesés az ellenálláson, így nem folyik rajta áram sem.

A 3 dB-es hibrid



A 3 dB-es hibriden alapuló összegző elvi kapcsolása (ábra forrása: *Theory Of The Quarter Wavelength (3db) Hybrid* By Doc Daugherty Senior Broadcast Technology Instructor Harris Corporation, Broadcast Division)

Ha két bemenetre az RF jelek úgy érkeznek, hogy az egyik a másikhoz képest 90° -kal eltér, akkor a kimeneteken az egyik kapun a rákapcsolt jelek összege jelenik meg, a másikon pedig a jelek kioltják egymást, így 0 lesz a teljesítmény. Amennyiben a fázisban vagy az amplitúdóban a 90° -hoz képest eltérés van akkor nem lesz teljes a kioltás, akkor a másik porton is teljesítmény jelenik meg, erre az esetre alkalmaznak balanszok a rendszerekben, így ott disszipálódik a teljesítmény és nem hat vissza a rendszerre.

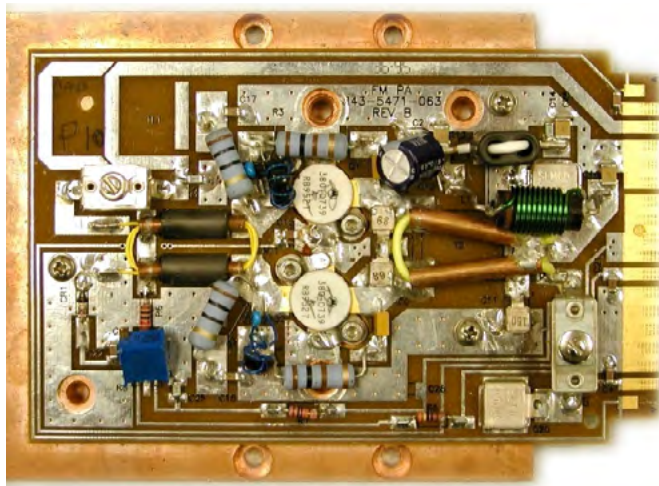
A Platinum adók kialakítása

Ebben a családban a teljesítmény 2 kW-tól 10 kW-ig terjed, ennek megfelelően és a moduláris felépítésből következően a végfokok, illetve a szükséges összegzők számában különböznek az adók, valamint a tápegység modulban. A 8. ábrán egy 10 kW-os változat látható.



8. ábra Egy 10 kW-os Platinum adó megjelenése
(ábra forrása: RL0402CD / Harris Corporation)

A Platinum teljesítményerősítőinek kialakítása



9. ábra A Platinum adó egy teljesítményerősítő fokozata (ábra forrása: RL0402CD / Harris Corporation)

Minden nagyteljesítményű modul két végerősítő-blokkot tartalmaz, melyekben két-két FET található. E blokkokat a gyártó kétfajta FET-el szerelte, egy Motorola és egy Phillips által gyártottal. Üzemeltetési szempontból nagyon fontos, hogy nem lehet egy adóban vegyesen alkalmazni ezeket a nagyteljesítményű modulokat, fázishibák előfordulása miatt.

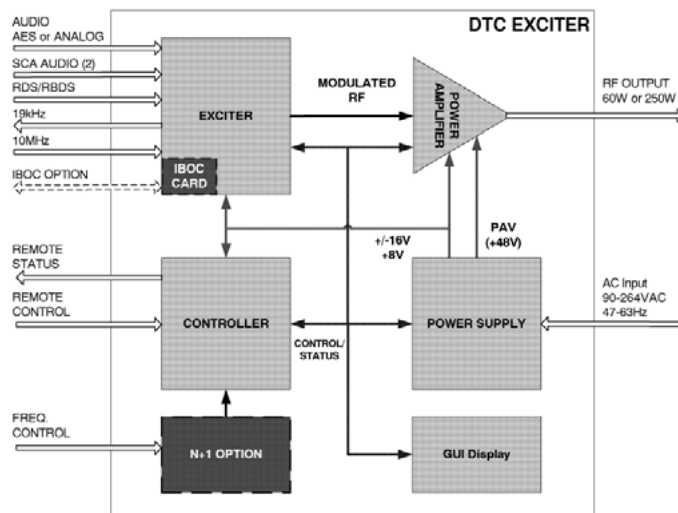
Ezekkel a nagy teljesítményű modulokkal az adóberendezések hatásfoka már eléri a 65%-ot névleges kimenő teljesítmény esetén.

Broadcast Electronics

A 4iG Műsorszóró Infrastruktúra Kft. (Antenna Hungária) hálózatában nemcsak Harris adók vannak, egy másik amerikai gyártó, a Broadcast Electronics termékei is megtalálhatók. A legjellemzőbb típus az FXi250 – ahogy a megnevezés is utal rá, legfeljebb 250 W kimenő RF teljesítmény leadására képes eszközről van szó. Ezek az adók „1+1” tartalékolási rendszerben üzemelnek.

Az FXi250 beállítása és szintezése már jóval egyszerűbb, mint a DIGIT CD meghajtók esetében. Rendelkezik grafikus kezelőfelülettel, így egyszerűen csak meg kell adni a frekvenciát, teljesítményt, bemeneti szintet és már üzemkész is a berendezés.

Működését tekintve teljesen digitális az adó. A teljes hangfrekvenciás-RF jelút egy DSP processzort magába foglaló áramköri kártyán kapott helyet, az adó teljes vezérlését pedig egy Motorola Coldfire MCF5272 mikrokontroller végzi.



10. ábra A Broadcast Electronics Fxi sorozatú adóinak blokkvázlata (ábra forrása: FXI 60 AND FXI 250 60 AND 250 WATT DIGITAL FM/IBOC EXCITER/TRANSMITTER – 597-0541)

A távvezérlés ennél az adónál is kontaktusokon keresztül valósítható meg, a hibajelzéseket ugyancsak a távvezérlő felület megfelelő pólusairól lehet levenni. Ezenfelül RS232-es illesztőn keresztül a gyári diagnosztikai és konfigurációs szoftverrel lehet az adó beállításait módosítani, illetve elmenteni.

Hiába a teljesen digitális működés, ezek a berendezések még nem lettek felkészítve arra, hogy mai szemmel nézve is be lehessen illeszteni egy korszerű távfelügyeleti rendszerbe.

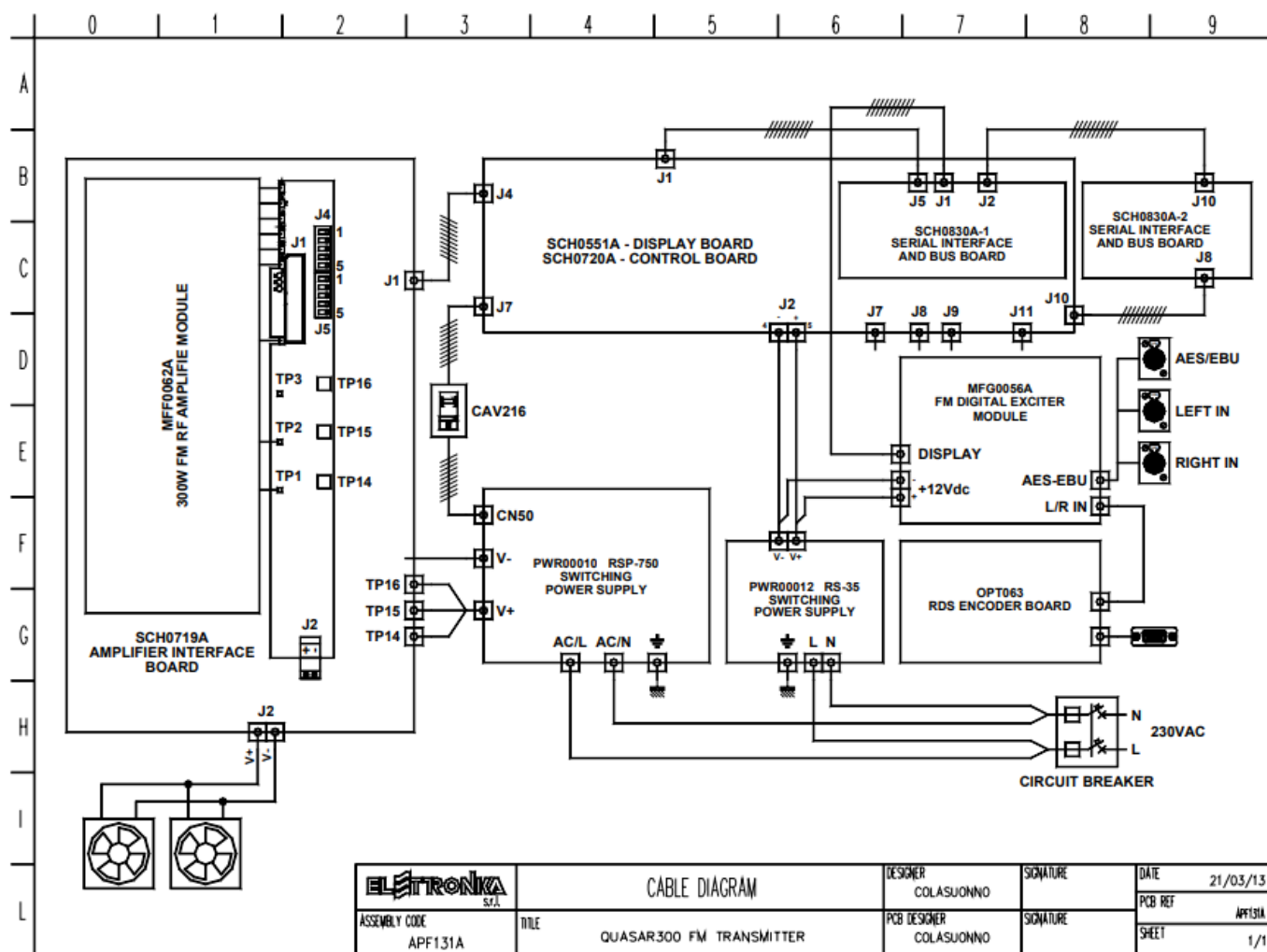
BE FM-2C,3C,5C

A Broadcast Electronics által gyártott egyéb típusok is előfordulnak a 4iG Műsorszóró Infrastruktúra Kft. (Antenna Hungária) hálózatában, ezek 2 kW-tól 5 kW-os névleges teljesítményig terjednek. Felépítésüket tekintve hasonlóak a Harris Platinum sorozatú adókéhoz, moduláris kialakításúak, a tápegységeik és végfokozat-moduljaik cserélhetők. A végfokozatok SD2932 típusú FET-ekből épülnek fel (11. ábra).

Ezen adók meghajtását FXi250-es kisadók biztosítják. A rendszer kialakítható lenne más típusú meghajtóval is, de az egyszerűség ezt az elrendezést kívánja meg, valamint így könnyen lehet tartalékkészletet kialakítani.

Elektronika QUASAR sorozat

A hálózatban vannak olyan telephelyek, amelyeket az MTVA telepített, majd később átadták ezeket az akkori Antenna Hungáriának mind üzemeltetésre, mind tulajdonjoggal. Az így létrejött telephelyeken Elektronika QUASAR sorozatú adók üzemeltek. Mára két ilyen rendszerrel működő állomás maradt.



11. ábra Az Elektronika QUASAR 300W típusú adó blokkvázlata (ábra forrása: APF131A_APF132A_APF133A – QUASAR FM TRANSMITTER)

A QUASAR sorozatú adókra is teljesen digitális működés jellemző. Az adóhálózatban „1+1”-es tartalékolással üzemelnek. Ezek az eszközök már rendelkeznek számítógép-hálózati illesztővel, így távolról is lehet őket felügyelni, vezérelni. Ismerik az SNMP protokollt, amiből következően hálózat-felügyeleti rendszerekbe is beilleszthetők.

GatesAir

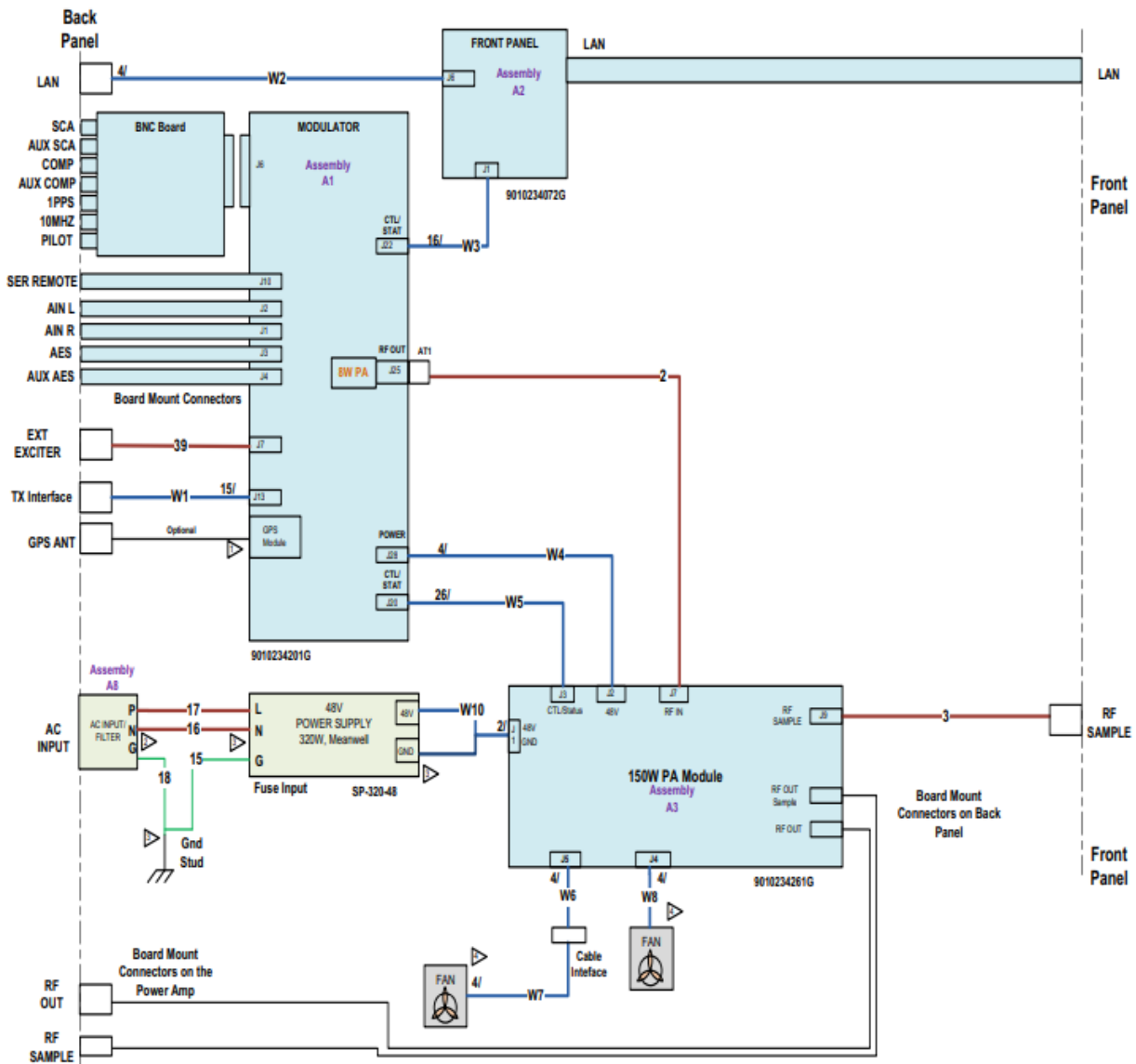
A GatesAir a Harris utódja, berendezéseit tekinthetjük a régi QUEST és Platinum sorozatú adók utódainak. Felépítésük moduláris, de a mai kor követelményeinek megfelelően rendelkeznek számítógép-hálózati illesztővel, továbbá az SNMP protokoll több verzióját képesek kezelni, így nem okoz gondot a távfelügyelet és vezérlés. Mivel ezek korszerű berendezések, az elérhető hatásfokuk (táphálózatból felvett

és RF-en leadott teljesítmény viszonya) a névleges kimeneti teljesítménytől való eltérés függvényében 68-72%-ig terjed.

A hálózatban legnagyobb számban előforduló GatesAir adók 5 kW és 10 kW névleges teljesítményűek. Moduláris felépítésükből adódóan van bennük egy meghajtó fokozat (FAX50), amely önmagában is egy kisadónak feleltethető meg.

A FAX50 típusú meghajtó

A meghajtó fokozat szerepét a FAX50-es kisadó tölti be (12. ábra). Teljesen digitális működésű berendezés, amely képes AES-felületen továbbított 192 kHz-es multiplex jelek feldolgozására is, így ezeknél a berendezéseknél nincs szükség külön átalakításra az ilyen esetekben.



12. ábra A FAX50 típusú meghajtó blokkvázlata (ábra forrása: FAX 50W-3.5KW FM Compact Transmitter Series – 888-2739-001)

FAX10K sorozatú teljesítményerősítők

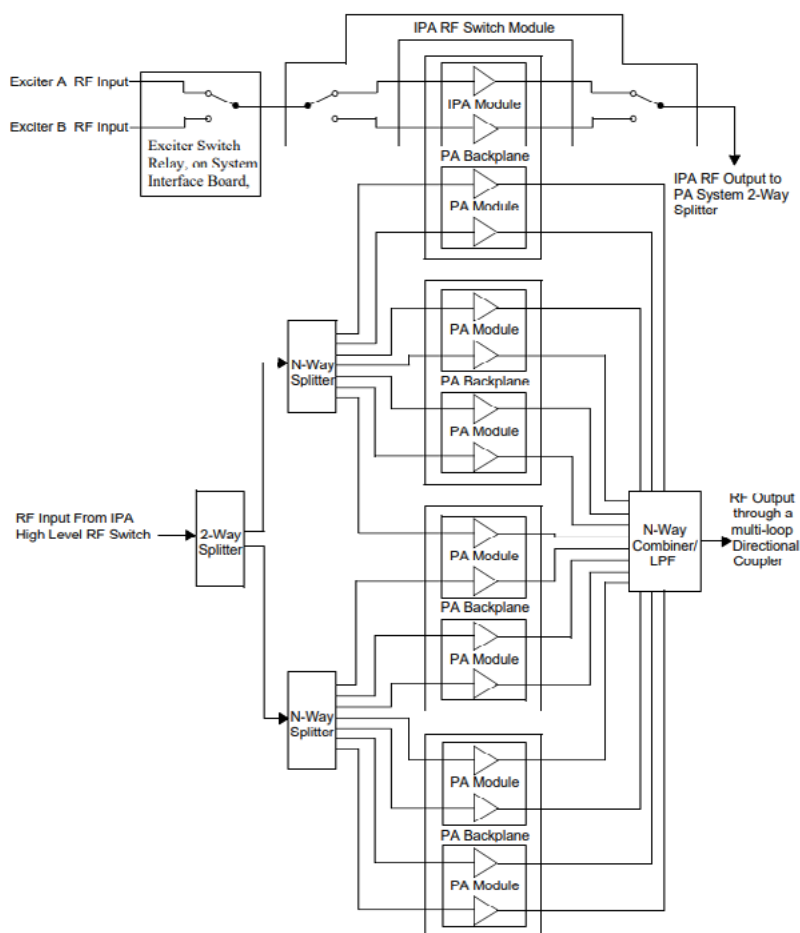
A FAX50 típusú meghajtók FAX10K sorozatú teljesítményerősítőkre dolgoznak (13. ábra).

A FAX10K adókban 7db. végfokozat és egy közbenső erősítő (IPA modul) található. Ezek a modulok, hasonlóan a Harris Platinum 10kW-os adókban található végfokozatokhoz, egyenként két végerősítőt tartalmaznak. A végfokmodulok teljesítményét egy 14 utas összegző segítségével lehet a kimenetre vezetni. Ez a 14 utas összegző csillagpontos kialakítású, kapcsolódik hozzá egy ballasztellenállás egység is; a fázishibák okozta veszteségi teljesítményt ezek disszipálják el. A végfokmodulok üzem közben cserélhetők és egymással felcserélhetők, de karbantartások alkalmával figyelmet fordítunk arra, hogy minden egység oda kerüljön vissza, ahonnan el lett távolítva.

A berendezés tápegységrendszere is moduláris felépítésű, üzem közben cserélhetők a meghibásodott blokkok. A gyártó ezzel törekedett a meghibásodások és üzemzavarok minimalizálására. Ha bármelyik tápegység vagy végfokozat kiesik, az nem vezet az adó leállításához, csupán a kiesésnek megfelelő mértékű teljesítménycsökkenés lép fel, az adó képes tovább üzemelni a hiba elhárításáig.

WorldCast

A WorldCast francia vállalat, FM adóberendezéseket és műszereket fejlesztenek, gyártanak. A 4iG Műsorszóró Infrastruktúra Kft. (Antenna Hungária) hálózatában 100 W-tól 10 kW-ig található ettől a gyártótól adóberendezések (a 10 kW-os adó jelenleg inaktív).



13. ábra A típusú teljesítménymodul blokkvázlata
(ábra forrása: FM BROADCAST TRANSMITTER
5/10/20/30/40 kW – 888-2720-001)



14. ábra A szegedi WorldCast adó
„N+1” tartalékolási elrendezése
(ábra forrása: Bíró Dániel)

Ahogy az elvárható egy korszerű adóberendezéstől, ezek az adók rendelkeznek számítógép-hálózati illesztővel, képesek kezelni az SNMP-protokollt, hatásfokuk pedig típustól függően 72-76%.

A hálózatban „1+1”-es és „N+1”-es tartalékolási elrendezésben is üzemelnek. Az „N+1”-es rendszerek esetében a vezérlés és moduláció-átkapcsolás teljes egészében saját eszközökkel történik, nem kell külső fejlesztő eszközét használni a megvalósításhoz.

Nagyon nagy előnye ezeknek az adóberendezéseknek, hogy a bennük lévő védő limiter képes úgy és olyan paraméterekkel működni, amit elvár a 4iG Műsorszóró Infrastruktúra Kft., illetve amivel képes biztosítani a szerződéses kötelezettségeit. Más adók esetében külső eszközt használ a hazai műsorszóró nagyvállalat e célra.

A WorldCast adói 5 kW-ig műszerszekrénybe építhető, kompakt kialakítású berendezések. A 3 kW-os és az újabb fejlesztésű 2 kW-os adók már üzem közben cserélhető moduláris tápegységrendszerrel rendelkeznek. A 14. ábrán a szegedi rendszertechnika látható, amely egy „5+1”-es rendszer. Korábban ugyanezeket a képességeket Platinum és Quest

adókból álló, 5 × 1 m-es alapterületet igénylő adósor biztosította – most az egész elrendezés elfér egyetlen műszerszekrényben, a teljes rendszertechnika a kiegészítő berendezésekkel együtt két szekrényt foglal el.

A 10 kW-os adó érdekessége, hogy a tartalékolási rendszerével 1 végfokmodul kiesése mellett is képes a 10kW-os kimenő teljesítmény biztosítására.

A WorldCast különlegessége: a SmartFM opció

A WorldCast legérdekesebb fejlesztése, amit az adóiban opcióként lehet alkalmazni, az ún. SmartFM megoldás. Ennek segítségével a vételkörzet beszűkülése nélkül csökkenthető az adó villamos fogyasztása. Lényege, hogy a kimenő RF teljesítményt dinamikusan szabályozza: az MPX teljesítmény függvényében csökkenti a kisugárzott RF teljesítményt. Az MPX teljesítmény a műsorjel függvényében pillanatról pillanatra változik, és minél nagyobb értéket vesz fel, a szoftver annál jobban vissz szabályozza a kimenő RF jelszintet. Kis MPX teljesítmények esetén a kisugárzott jelszint közelít a névleges teljesítményhez (15. ábra).



15. ábra A SmartFM opció szabályozási görbéi (ábra forrása: Bíró Dániel)

Összefoglalás

A 4iG Műsorszóró Infrastruktúra Kft. jelenlegi hálózatában alkalmazott adóberendezések, mind korban, mind felépítésben meglehetősen változatosak, ami az üzemeltetés

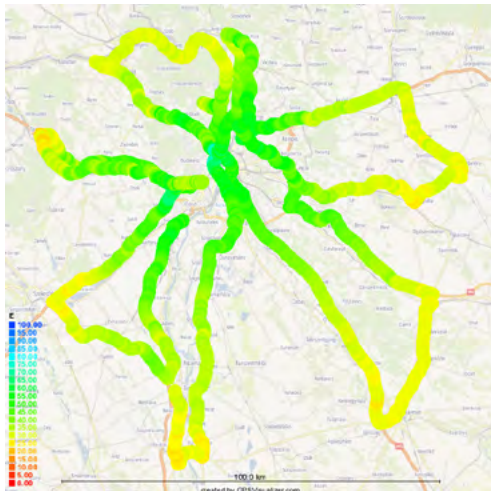
és a hibajavítás tekintetében egyaránt magas szintű kreativitást igényel. A fejlesztések is folyamatosak, a mai energiafelhasználási irányelvek tekintetében törekedni kell a lehető legjobb hatásfok és a lehető legmegbízhatóbb üzem elérésére.

Digitalizáljuk a rádiót!

MI ÉRTELME VAN A DIGITÁLIS RÁDIÓNAK?

Szerkesztői gondolatok

Az elektronikai technológiai fejlődés általában véve kétféleképpen nyilvánulhat meg kézzel foghatóan: vagy egyre több funkciót, képességet valósítunk meg egyre kisebb térfogatban, az átlagos energiafogyasztás kisebb-nagyobb mértékű növekedése árán, vagy ugyanazon funkciókat lényegesen energiatakarékosabban biztosítjuk. Az elmúlt évtizedekben teljes mértékben az előbbi modell szerint alakítottuk világunkat – érdemes itt elgondolkodni, hogy az igen hangzatos szövegek mellett a nagypolitikában (és itt világszinten minden politikai szereplőre gondolunk) valóban számít-e a környezetvédelem –, elismerve persze, hogy eszközeink képességei lényegesen nagyobb mértékben bővültek, mint energiafogyasztásuk. A rádiózásban használt digitális modulációkat taglaló írásunkban már röviden utaltunk rá – lásd „A rádió digitalizálása” című szakaszt –, hogy a digitális rádiórendszerekkel általában véve lényegesen takarékosabban lehet egy adott körzetet ellátni, mint analóggal. Az ottani állításunkat itt azzal egészítjük ki, hogy a magyar tapasztalatok alapján Budapest és agglomerációját 3 darab, közel 200 W-os DAB-adóval vagy egy hozzávetőlegesen 100 W-os DRM-adóval (26 MHz-en) le lehet fedni kültéri vételhez, míg FM esetében ugyanehhez több kilowattos adó szükséges. Példaképpen – kicsit előreszaladva – a hazai 2021-es DRM kísérletek egy lefedettségi térképét közöljük az 1. ábrán:



1. ábra A hazai kísérleti DRM adás lefedettségi térképe (2021);
adóteljesítmény: 100 W (forrás: SZOMEL Kft.)

Ha mindehhez hozzávesszük, hogy a digitális rádiók egyszerre több csatornát továbbítanak (a DRM jellemzően 2 vagy 3 műsort egy multiplex csomagban, a DAB/DAB+ akár 10-20 programot is, a különféle beállításoktól, hangtömörítési eljárásoktól függően), akkor gazdaságilag még kedvezőbb képet kapunk, hiszen az eleve alacsonyabb üzemeltetési költségek számos szereplő között oszlanak meg! Reméljük, a politiku-

sok, különféle döntéshozók körében előbb-utóbb ez is szempont lesz – ha egyébként annyira féltik bolygónk jövőjét és oly’ hangosan beszélnek az energiatakarékosságról...

Néhány mondat erejéig engedje meg az Olvasó, hogy a digitális rádiózás tágabb környezetét, a digitális műsorszórás általános helyzetét vázoljuk röviden egy kis nemzetközi kitekintéssel, megfelelő kontextusba helyezve a körülöttünk zajló folyamatokat. Az elmúlt másfél évtizedben halkan ugyan, de jelentősen átforgalmódott a műsorszórás képe a világon. Számos országban, így hazánkban is megjelent a második generációs digitális televízió rendszer, a DVB-T2. Forradalmi újdonságot képvisel a kábelhálózatokon egyre szélesebb körben alkalmazott DOCSIS 3.1 (sőt, a DOCSIS 4.0 is itt van már), miközben a rádiózásban rendkívül izgalmas és ellentmondásos átrendeződésnek lehetünk, sőt, lehetünk tanúi. A DAB/DAB+ sugárzást egyes országokban lekapcsolták – Magyarországon éppen 2020. szeptemberében, lásd később –, míg más helyeken, például több hazánkkal szomszédos országban, a közelmúltban indítottak rendszeres vagy kísérleti DAB+ műsorokat. A DRM Európában visszaszorult a 2010-es állapotokhoz képest, ugyanakkor soha nem látott diadalt aratott Indiában, valamint Délkelet-Ázsiában, Dél-Afrikában és Brazíliában is biztatóan fejlődik. A helyzetet még izgalmasabbá teszi, hogy az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2018/1998. sz. Irányelve értelmében az Unió területén 2020. december 21-től forgalomba hozott közepkategóriás gépjárművekbe kötelező digitális rádiós vételi lehetőséget beépíteni, amit a Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság 17/2020. (XII. 17.) sz. rendeletével ültetett át a hazai gyakorlatba. A jövőt illetően nehéz jóslatokba bocsátkozni, mindenesetre egyre több műsorszórással foglalkozó szakértő véli úgy, hogy a (digitális) rádiózás feltehetően túléli (!) a földfelszíni lineáris televíziót.

Minden szerénységgel nélkül bátran állíthatjuk, hogy a Rádiótechnika az elmúlt évtizedekben komolyan kivette részét a hazai digitális műsorszóráshoz kapcsolódó szakmai ismeretterjesztő tevékenységekből: már 1996-tól 1998-ig 17 részes cikksorozat jelent meg a DAB-ról, majd 2003-ban kétrészes átfogó írás látott napvilágot a lap hasábjain a hosszú/közép/rövidhullámú sávra tervezett digitális rádiórendszerről, a DRM-ről, amelyet a digitális műsorszórásról szóló, igen részletes cikksorozat követett 2014-2015-ben, végül pedig szintén a hazai digitális rádiózást taglaló értekezés született 2021-ben.

A következő oldalakon a magyar (és európai) rádió-műsorszórás szempontjából meghatározó DAB- és DRM-rendszercsalád működését, jellemzőit, valamint hazai vonatkozású főbb eseményeit ismertetjük.

A DAB ÉS A DAB+ MAGYARORSZÁGON - EGY „CSIPETNYI” T-DMB-VEL

Szerző:

Balla Éva villamosmérnök, 4iG Műsorszóró Infrastruktúra Kft. (korábban Antenna Hungária Zrt.)

Szombathy Csaba okl. villamosmérnök, SZOMEL Kft.

Bevezetés

Az URH-FM adásrendszer hibái egyre szembetűnőbbé váltak Nyugat-Európában a '80-as évek végére ott már telítettnek mondható 100 MHz-es frekvenciasávban, így megszületett az igény egy jobb, spektrumhatékonyabb, korszerűbb rádió-műsorszóró rendszer kifejlesztésére. A kezdeményezés az ARD/ZDF, a Bayerischer Rundfunk (BR), valamint az Institut für Rundfunktechnik (IRT) nevéhez fűződik. Az első adáskísérletek 1985-ben kezdődtek. A fejlesztések és a próbasugárzások alatt a projekt nemzetközi kereteket öltött. 1995. őszén indultak el a rendszeres kísérleti adások, először Angliában majd Svédországban, nem sokkal később Németországban (Bajorország), és – a magyar rádiózás 70. évfordulója alkalmából – 1995. december 1-jén Budapesten is megindult a DAB-sugárzás, egy 250 W-os Telefunken adóval a 230,784 MHz-es frekvencián a Kossuth, a Petőfi, a Bartók és a Danubius rádió műsoraival.

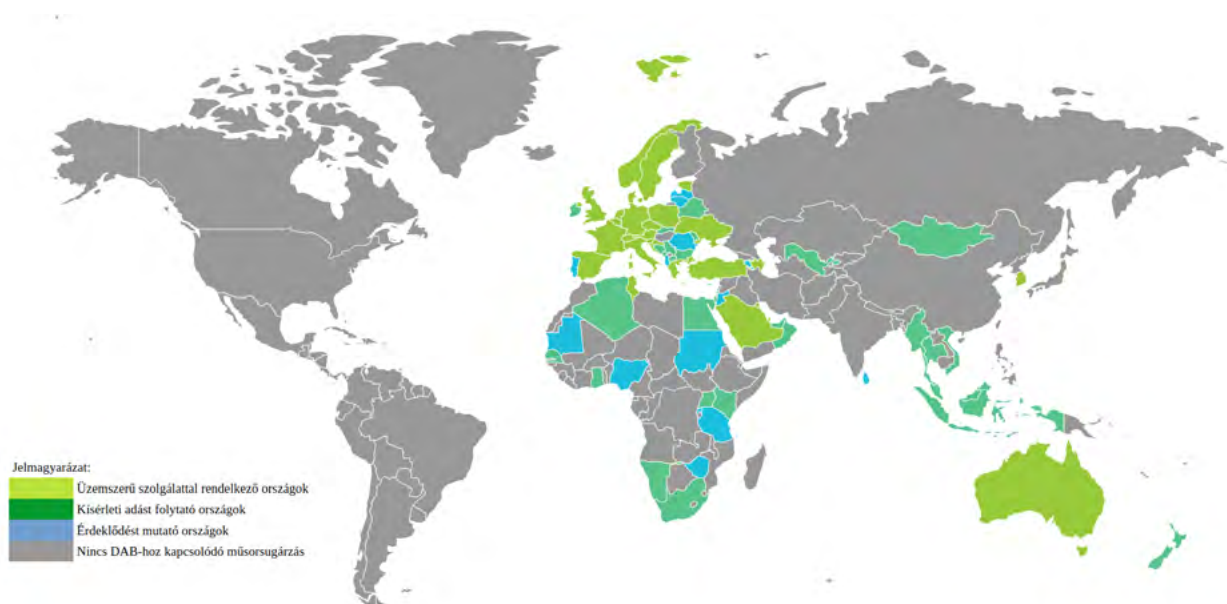
A DAB napjainkra egy szabványcsaláddá nőtte ki magát: 2005-ben megjelent egyik továbbfejlesztett változata, a T-DMB, amelyet már MPEG-2 adatfolyamba ágyazott, kislebontású TV-műsorok átvitelére optimalizáltak, 2007-ben pedig a DAB+, amely az eredeti DAB-ban alkalmazott hangkódolás helyett egy járulékos Reed-Solomon kóddal védett, HE-AAC rendszerű hangtömörítést tartalmaz. Jelenleg az alábbi helyzetkép jellemzi a DAB-on alapuló rendszerek elterjedtségét:

A továbbiakban először áttekintjük mindhárom szabványváltozat műszaki jellemzőjét, majd ismertetünk minden e témakörhöz kapcsolódó hazai tevékenységet.

A DAB hang- és csatornakódolása

A DAB-rendszerek forráskódolása (csatornánként) 48 kbit/s-mal vagy 24 kbit/s-mal mintavételezett hangmintákra épül. A hangtömörítés elve az MPEG-1 szabvány II-es rétege szerinti, konkrétan 48 kHz-es mintavételnél ténylegesen az MPEG-1 / II-es réteg (ISO/IEC 11172-3 szabvány) eljárásait követi, míg 24 kHz-es mintavétel esetén MPEG-2 LSF (ISO/IEC 13818-3 szabvány) szerinti a hangtömörítés. Ezek a normák gyakorlatilag a német IRT, a Philips és a francia CCETT által még az 1980-as évek második felében közösen kidolgozott MUSICAM (Masking pattern Universal Sub band, Integrated Coding And Multiplexing) rendszerű hangkódolás „leszármazottai”.

Mindkét rendszer fő jellemzője, hogy ún. részsáv-kódolós, a tömörítés során az emberi érzékelés két korlátját használják ki: a hallásküszöböt és a hangelfedést. A hangfrekvenciasávot egy szűrőblokkal 32 egyforma, 750, ill. 375 Hz-es szélességű részsávra bontják. A részsávokban a mintavételi frekvencia rendre 1500, illetve 750 Hz. A sávokra bontás-



1. ábra A DAB szabványcsalád helyzetképe 2025-ben

ra azért van szükség, hogy a jel összetevőinek felbontását, kvantálását a hallás- és az aktuális elfedési küszöb frekvenciafüggésének megfelelően sávonként tudjuk módosítani. Az átvitel felbontását egy dinamikus bitkiosztást végző egység határozza meg, amely a kimeneti jel megkívánt sebességét figyelembe véve a részsávok kvantálási zaját az emberi fül pszichoakusztikus modellje szerint állítja be. Legvégül a részsávok mintái újra egyetlen, a teljes hangtartományt (immár tömörítetten) leíró kimeneti adatfolyammá állnak össze, ekkor egy segédinformáció-kódoló beilleszti az MPEG-hangkeretekbe az átvitt bitfolyam értelmezéséhez szükséges információkat is.

Egy-egy tömörített műsoranyag adatsebessége széles határok között állítható a DAB-ban, de a leggyakrabban 128, 192 vagy 256 kbit/s-ot szoktak alkalmazni sztereó hang továbbításához. Egyes kivételes esetekben, ahol elsődleges cél a kiváló hangzás – például az 1995 és 2007 között kísérleti jelleggel üzemelő budapesti DAB-on sugárzott Bartók Rádió esetében –, 384 kbit/s-os (sztereó) adatsebességet is megengednek. A szubjektív minőségérzet szempontjából a 384 kbit/s-os átvitel kiváló, a 256 kbit/s és 192 kbit/s jó, a 128 kbit/s pedig közepes minőségű, de még élvezhető hangzást eredményez.

A forráskódolással kapott adatokhoz műsorkísérő információkat is csatolnak, a rádió kijelzőjén ezek szöveges üzenetként, képként, egyéb leíró adatként (például műsor jellege,

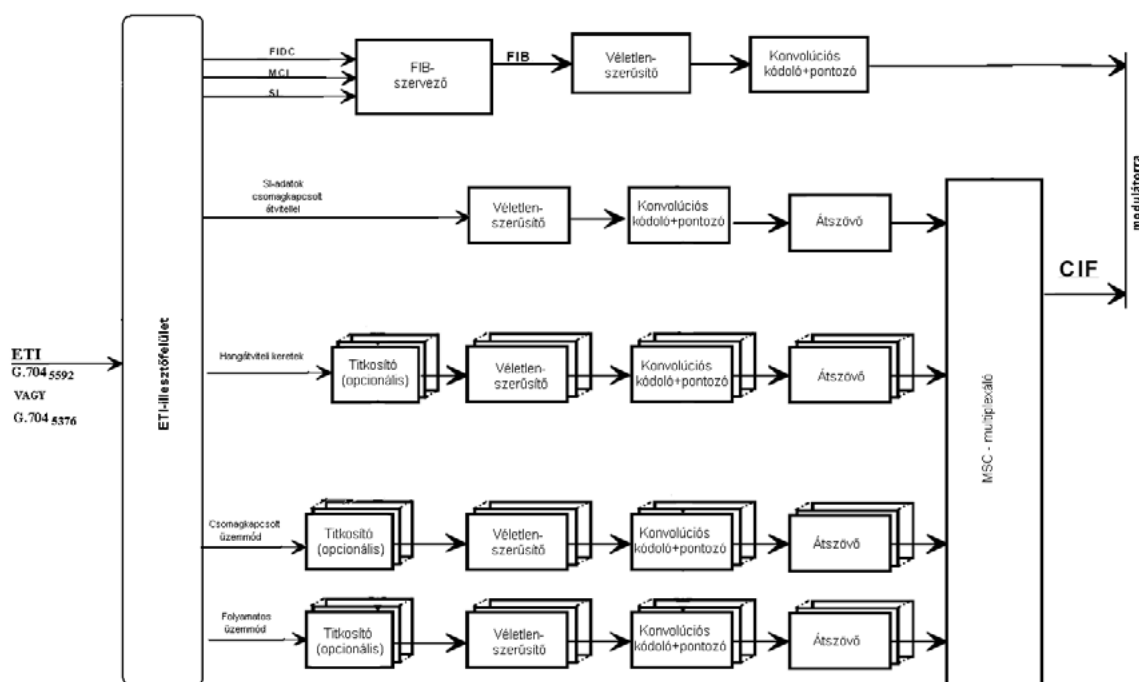
nyelve stb.) jelennek meg. Rendszerszinten az adatátvitel lehet csomag- vagy vonalkapcsolt is, mindkét esetben azonban az adatsebességnek 8 kbit/s egész számú többszörösének kell lennie. A DAB adatfolyama ezért szinkronizált rendszerű, az egyes műsorok adatsebessége kötött. Ide kapcsolódó fontos fogalom a kapacitásegység (Capacity Unit – CU) is, ami 64 bit hosszúságú adatszakszt jelent: a DAB adatátviteli keretrendszerében egy adott műsor által elfoglalt adatterület ennek egész számú többszöröse lehet. Vonalkapcsolt átviteli üzemmódban az adatszerkezet rugalmasan választható meg, ennek köszönhetően bővíthető a DAB új technológiák irányába anélkül, hogy a modulátoron változtatni kellene (lásd később a DAB+ és T-DMB leírását).

Az adatokat (értsd: minden tömörített műsoranyagot, járólékos, kísérő információt stb.) a DAB szabványcsalád saját, szabványosított keretszervezésű adatfolyamával visznek át, melynek neve ETI (Ensemble Transport Interface – együttes adatfolyam-átviteli felület.) Ennek adatsebessége állandó, mindig 2048 kbit/s, a benne lévő műsortartalomtól, csatornák és adatok számától, jellegétől függetlenül. Hozzávetőleges szerkezete a 2. ábrán látható.

A DAB-adók fogadják az ETI-adatfolyamot, majd a különböző típusú adatokat külön ágakra bontva hasonló jellegű, de paramétereikben eltérő csatornakódolásnak vetik alá (3. ábra).

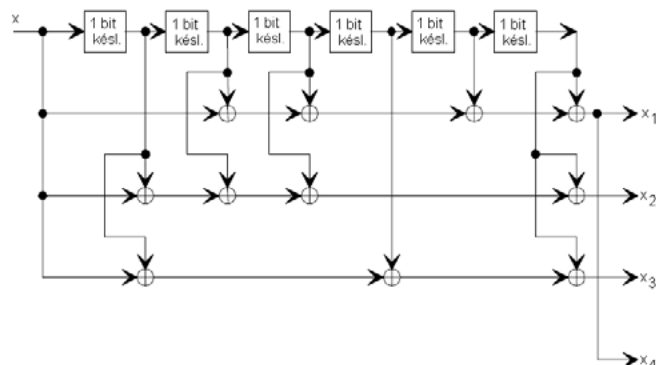
0 bit	Keret-leíró mező 4 bájt	Adatfolyam-leíró mező (adatfolyamok száma) * 4 bájt	Fejléc vége jelzés 4 bájt	Hasznos adattartalom (mérete a továbbított információmennyiségtől függően változik)	Keret vége jelzés 4 bájt	Időbélyeg
Állapot- leíró mező	Logikai adatok					

2. ábra A DAB rendszerben alkalmazott adatfolyam (ETI) alapfelépítése



3. ábra A DAB csatornakódolója

Az adó csatornakódolója minden ágában véletlenszerűsítést, konvolúciós kódolást és időbeli átszövést végez. A véletlenszerűsítő 9 regiszteres és a hanganyag mintavételi frekvenciájától függően 24 vagy 48 ms-onként indul újra. A konvolúciós kódoló hat tárolót tartalmaz (így kényszerhossza 7), pontozás nélküli kódaránya $\frac{1}{4}$, ami igen erős, négy-szeres redundanciát jelent (4. ábra).



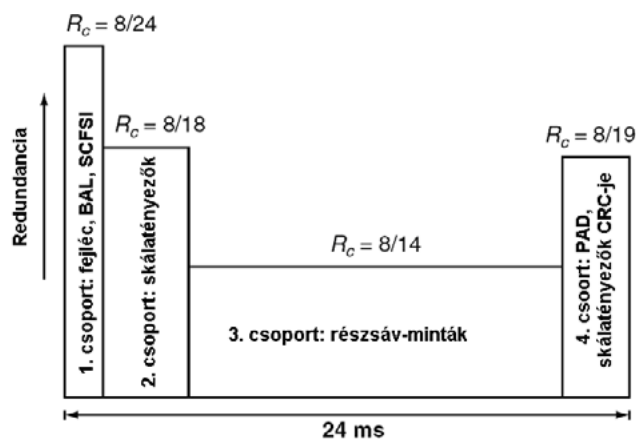
4. ábra A DAB konvolúciós kódolója

A nagy redundancia miatt igen rossz jellemzőkkel rendelkező csatornán is továbbíthatók az adatok, a moduláció jellege (DQPSK, lásd a modulációkról szóló nyitócikket kiadványunk elején) mellett ennek köszönhetően lesz alkalmas a DAB műholdas átvitelre is (S-DAB). Az $\frac{1}{4}$ értékű kódarány alkalmazása azonban sok esetben indokolatlan, ezért a konvolúciós kódolót követő pontozás mértéke nagyon széles határok között állítható. A pontozás után átszövés következik, majd az OFDM-modulátor fokozatba jutnak az adatok.

E ponton érdemes kiemelni a DAB egy sajátosságát: mivel az adó a bemeneti ETI-be ágyazott műsorokat egymástól független ágakon, egymással párhuzamosan dolgozza fel, lehetőség nyílik műsoronként eltérő mértékű és jellegű csatornakódolást alkalmazni. Ennek megfelelően

a DAB képes ún. nem-egyenletes és egyenletes hibajavító kódolásra is. Az utóbbi esetben egy adott csatornakódolási ágon időben állandó pontozási profilt alkalmaz, míg nem-egyenletes kódolás esetén időben változik a pontozás mértéke: a hangátviteli keretek fejlécében és CRC-szakaszán kisebb, míg például a részsáv-mintáknál nagyobb mértékű a kihagyás (5. ábra). Ennek az az értelme, hogy a dekódolás szempontjából kritikus adatszakaszok nagyobb, a zavarokra kevésbé érzékeny részek pedig kisebb védelmet kapnak, így javul a spektrális hatékonyság.

A pontozás mértékét (kódarányt) és jellegét (egyenletes vagy nem-egyenletes pontozás) a műsorszóró szolgáltató dönti el, a várható hullámterjedési, rádiócsatornás viszonyok függvényében. E beállításokat az adó külön mechanizmusokkal jelzi a vevőnek (gyorsinformációs csatorna – FIC), így a hallgatónak nem kell foglalkoznia ezekkel. A következő lépés pedig már maga a moduláció.



5. ábra Példa nem-egyenletes csatornakódolási profilra

A DAB modulációja

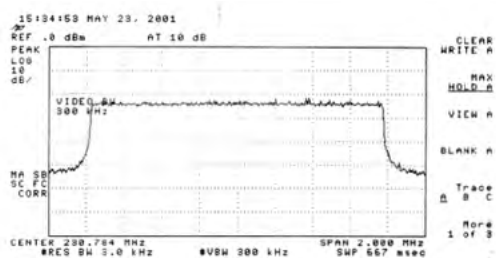
A DAB modulációját a modulációkról szóló nyitócikkben már tárgyaltuk, ezért a következőkben csak vázlatosan foglalkozunk össze legfontosabb elemeit. A kisugárzott adást jellemző többutas terjedés miatt védelmi időközszel kiegészített OFDM-modulációt alkalmaz a DAB. A csatornakódolóból érkező adatokat az adó először a vivők között átszövi – egy esetleges szelektív csillapítás (fading) hatásainak mérséklése végett –, majd leképezi az adatcsoportokat az alvivőkre. Ezen alvivők modulációja DQPSK (differenciális QPSK), ezzel közvetlen csatornakegyenlítés nélkül is kompenzálható a reflexiók okozta lineáris torzítás, amennyiben a rádiócsatorna átviteli tényezője lassabban változik, mint két szimbólumidő.

A kisugárzott DAB-jel sáv szélessége 1536 kHz, spektruma meredeken határolt, teljesítményeloszlása a műsorjellegtől függetlenül egyenletes, fehérzaj jellegű (6. ábra). A különböző frekvenciasávokban és terjedési feltételek mellett más-más OFDM-paraméterek optimálisak, ezek együttese adja az adásmódokat. Négy adásmód létezik, jellemzőik az 1. táblázatban láthatók.

Paraméter	Adásmód			
	I.	IV.*	II.	III.
Vivők száma	1536	768	384	192
Vivők távolsága, kHz	1	2	4	8
Szimbólumidő, ms	1246	623	312	156
Védelmi időköz, ms	246	123	62	31
Bruttó MSC adat-sebesség, Mbit/s	2,304	2,304	2,304	2,304
Bruttó FIC adat-sebesség, kbit/s	96	96	96	96
Maximális SFN adótávolság	kb. 100 km	kb. 50 km	kb. 25 km	kb. 12,5 km
Alkalmazás	SFN-ek étrehozására a VHF I-II-III. sávban	Helyi szolgáltatásra mindegyik sávban	3 GHz alatti frekvenciák és kábeles átvitel	Helyi szolgáltatás minden sávban, SFN az L-sávban

(* a IV. adásmód a szabvány 2. kiadásába került be; az adásmódok számozási sorrendjén nem kívántak változtatni)

1. táblázat A DAB adásmódjai és rádiófrekvenciás jellemzői



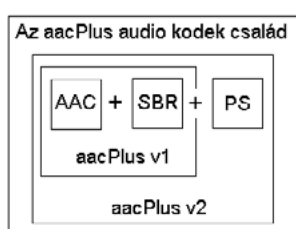
6. ábra DAB spektrum a Széchenyi-hegyi adó kimenetén

A többutas vételre optimalizált jelszerkezettel kivédhető a szomszédos adók egymás általi zavarása, így módon tehát lehetőség nyílik szinkron egyfrekvenciás hálózatok (Single Frequency Network – SFN) létrehozására, takarékos frekvenciafelhasználást téve lehetővé. DAB sugárzás a jelenlegi szabályozások szerint két frekvenciasávban történhet: a VHF-III. tartományban (174-240 MHz), illetve az L-sávban (1452-1492 MHz). Az L-sávot két részre osztották, alsó részét 1479,5 MHz-ig földfelszíni, felső részét műholdas sugárzásra használhatjuk.

A DAB+ és a T-DMB

A DAB, DAB+ és T-DMB modulációja, csatornakódolása megegyezik, különbség a forráskódolásban és ebből adódóan az átvitt információ jellegében van.

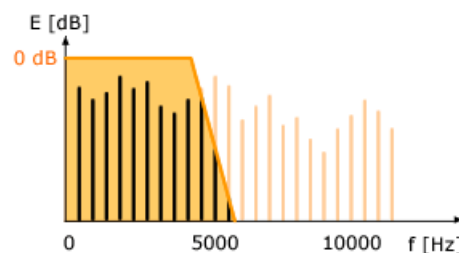
A DAB+ aacPlus v2 (más néven HE AAC v2) rendszerű forráskódolást alkalmaz, amelyet a német Coding Technologies fejlesztett ki. Az AAC kódolást tulajdonképpen két további eszközzel egészítik ki: a spektrális sávismétléssel (HE AAC v1) és parametrikus sztereó kódolással (HE AAC v2). A változatok közti összefüggés a 7. ábrán látható.



7. ábra HE AAC kódolási eljárások

A spektrális sávismétlés (Spectral Band Replication – SBR) azon a feltételezésen alapul, hogy egy adott hangfrekvenciás spektrum magas frekvenciái általában a kis- és középfrekvenciás összetevők felharmonikusaiként állíthatók elő. A kódoló ezért csak a hangspektrum alsó tartományát tömöríti,

felső felét levágja, és az alsó sáv spektrális tartalmából a magas hangtartomány jellegét leíró adatokat állít elő (8. ábra).



8. ábra Az SBR elve

A másik hatékonyságnövelő eljárás a parametrikus sztereó kódolás. Ennek során a két csatorna jele helyett egy monó jelet és a sztereó hangképet leíró, igen alacsony sebességű, néhány kbit/s-os segédjelet továbbítanak, a sztereó hangképet pedig a vevő állítja vissza ezen adatok alapján.

Az SBR- és parametrikus sztereó kódolással kiegészített AAC-kódolót, azaz a HE AAC v2 rendszerű hangtömörítést a DRM (Digital Radio Mondiale) rádiórendszerben is használják (lásd következő cikkünket).

Megjegyezzük, hogy a DAB+ a bitfolyam védelme érdekében egy járulékos Reed-Solomon kóddal is kiegészíti az adatfolyamot, mielőtt az a „hagyományos” DAB modulátor bemenetére kerülne.

A DAB+ legnagyobb előnye a kódolásának hatékonyságából adódik, ami az egy multiplexben átvihető csatornák számában jelentkezik. Míg a DAB esetében átlagosan 6 sztereó csatorna volt elhelyezhető az FM-nél nem rosszabb minőségben, a DAB+-szal ez a szám kétszer-háromszor nagyobb. A kódolási algoritmus különösen az alacsony bitsebességű csatornák kódolása esetén rendelkezik jó eredménnyel. A DAB esetében a hangcsatornák adatsebessége 32 és 256 kbit/s közötti lehetett, a DAB+-nál ez 8 kbit/s-tól 192 kbit/s-ig terjedhet. Szubjektív tesztek során 48 kbit/s-nál az FM-hez hasonlóan, 64 kbit/s felett kiválóan minősítették a DAB+ jeleit a hallgatók.

Minősítés	DAB	DAB+
Jobb mint az FM	192-256 kbit/s	56-96 kbit/s
FM-hez hasonló	160-192 kbit/s	40-64 kbit/s
Elfogadható, de rosszabb mint az FM	128-160 kbit/s	24-48 kbit/s

2. táblázat DAB+ szubjektív tesztjeinek eredményei

A T-DMB rendszert mozgóképek DAB-adástechnikával való sugárzására dolgozták ki 2005-ben. Mivel a DAB összességében 2 Mbit/s körüli adatsebességet enged meg, a tartalom továbbításához olyan képméretet és forráskódolást kellett találni, amellyel biztosítható videoátvitel ezen keretek között. A kornak megfelelően így a képkódolási eljárás H.264 lett, a hangtömörítés pedig ugyanaz a HE ACC eljárás, mint a DAB+ esetében. A T-DMB forráskódolásának alapvető jellemzőit a 3. táblázat foglalja össze.

Hangtömörítés:	MPEG-4 ER-BSAC, 24/44,1/48 kHz, max. 128 kbit/s vagy HE AAC v2, 24/32/48 kHz, max. 320 kbit/s
Képtömörítés:	H.264, közismert nevén MPEG-4 AVC
Felbontás:	QCIF: 176 * 144 képpont QVGA: 320 * 240 képpont WDF: 384 * 224 képpont CIF: 352 * 288 képpont

3. táblázat A T-DMB kép- és hangkódolásának fő jellemzői

Az elemi kép- és hangadatokat MPEG-2 szabványú keretekbe ágyazza a forráskódoló, majd ugyanolyan Reed-Solomon hibajavító kódoló és átszövő fokozat (ún. Forney-féle átszövő) következik, mint amilyen a DVB-T/S/C rendszerben található. Az ily módon létrejött adatfolyam kerül bele az ETI-be, amely végül a DAB-modulátorba jut.

Noha a T-DMB rendszert Németországban fejlesztették ki, elsősorban Dél-Koreában terjedt el, „mobil digitális TV” néven, ahol az elmúlt évtizedben több lépcsőben is fejlesztettek rajta. Jelenleg H.265-ös kódolással, 720p tömörítésű HD-képtartalmat is kisugároznak vele.

A DAB-hoz kapcsolódó hazai tevékenységek

Korábban már utaltunk rá, hogy a magyar kísérleti DAB-sugárzás 1995. december 1-jén indult el, méltóképpen ünnepeelve a kezdetek 70. évfordulóját. Büszkéek lehetünk arra is, hogy a világon az elsők között kapcsoltunk be ilyen jellegű adást. Az Antenna Hungária Budapesten, a Széchenyi hegyen található Országos Mikrohullámú Központjában (OMK) ekkor még csak egy kisteljesítményű, 250 W-os adó működött. A kisugárzott multiplex jelben a Magyar Rádió Kossuth, Petőfi és Bartók műsorát lehetett hallgatni. Később ez kiegészült egy ún. „DAB Classic” csatornával is, amely végül „Classic+” rádió néven működött tovább.

A következő fontosabb eseményre 1997-ben kerül sor, ekkor helyezték üzembe – szintén Budapesten – a második adót, konkrétan az Antenna Hungária Száva utcai telephelyén, 200 W-os kinenő teljesítménnyel. Innentől kezdve szinkronban járaták a két berendezést, tulajdonképpen tekinthetjük ezt az eseményt az első hazai egyfrekvenciás (SFN) hálózat megjelenésének is.

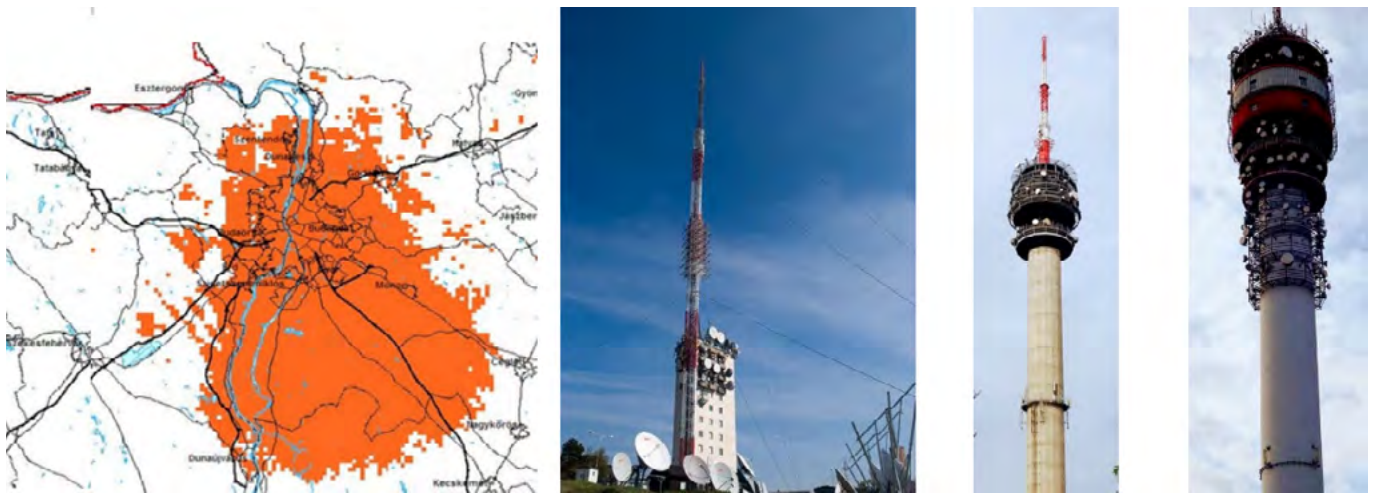
2000-ben állt üzembe az első adatbeillesztő egység, lehetőséget adva a DAB-bal kisugározható járulékos, értéknövelő szolgáltatást képviselő információk szemléltetésére. Ezeket a képességeket az akkori HTE TV konferencián külön be is mutatták.

Komoly mérföldkövet jelentett a 2006-ban Genfben megrendezett frekvencia-koordinációs értekezlet (RRC), melyen hazánk három országos DAB multiplex csomag létesítéséhez elegendő frekvenciacsoportot kapott. Ehhez kapcsolódik a HTE Digitális Rádió Köre által 2007-ben közzétett és azt követően több további rendezvénnyel, cikkel támogatott tanulmánya, amely a DAB magyarországi bevezetésének műszaki, gazdasági és társadalmi feltételeit, javasolt módszertanát fejtette ki részletesen. E tanulmány összeállítása és spektruma példaértékű, szerzői többek között az akkori Magyar Rádió (MR), Nemzeti Hírközlési Hatóság (NHH), Antenna Hungária, az ELTE és a BME tagjaiból kerültek ki.

Noha a tanulmány közvetlenül nem érte el célját, 2008-ban az NHH pályázatot írt ki országos DVB-T és DAB+ hálózat együttes létesítésére, mely követelményrendszerének kidolgozásához felhasználták az említett értekezést is. E pályázat nyertese az Antenna Hungária lett, amely ezt követően három új, Plisch gyártmányú, egyenként közel 200 W-os DAB adót állított üzembe: egyet-egyét a Széchenyi hegyen és a Száva utcában, lecserélve a korábbi berendezéseket, és egy harmadikat a Hármashatár hegyen (9. ábra). A kisugárzott jelek innentől kezdve már DAB+ norma szerintiiek voltak, a budapesti SFN hálózat pedig immár háromadós felépítésű lett, a fővárost és agglomerációját ellátva (10. ábra). Mivel kereskedelmi szerződések nem születtek, az adások hivatalosan „kísérletiék” maradtak. A multiplexben ekkor a Kossuth, Petőfi és Bartók Rádió, az Info Rádió, Lánchíd Rádió és Katolikus Rádió kapott helyett, a kereskedelmi csatornáknak szánt adatblokkok azonban sajnos üresek maradtak.



9. ábra A Széchenyi-hegyi, Plisch gyártmányú DAB-adó (forrás: Digitális rádiózás a világban és nálunk, HTE előadás, szerző: Balla Éva)



10. ábra A budapesti egyfrekvenciás (SFN) DAB+ hálózat által biztosított lefedettség és a három adó (forrás: Digitális rádiózás a világban és nálunk, HTE előadás, szerző: Balla Éva)

Érdemes megemlíteni, hogy 2009-ben rövid ideig sor került DAB-adásmódokhoz és T-DMB jelekhez kapcsolódó kísérleti mérésekre is az NHH, az MR és a BME együttműködésében – elmondhatjuk tehát, hogy ha rövid ideig is, de volt DAB-on keresztül közvetített TV-sugárzás Magyarországon.

A következő évek nem voltak különösebben eseménydúsak a DAB szemszögéből, leszámítva talán 2013-at, amikor a fejállomást kiterjesztették az MTVA-ba, illetve 2017-et, ekkor bővült ugyanis a DAB+ multiplex kínálata a Dankó Rádióval. Megjegyezzük, hogy az analóg TV adást 2013-ban kapcsolták le hazánkban, de ez nem volt különösebb hatással a digitális rádiózásra.



11. ábra DAB+ fejállomás (forrás: Digitális rádiózás a világban és nálunk, HTE előadás, szerző: Balla Éva)

Műszaki újdonságnak számított 2019-ben, hogy beállították az Antenna Hungaria mérnökei a a DAB+ és FM közötti átkapcsolást a Kossuth, Petőfi és Bartók Rádió műsorára. Ez azt jelentette, hogy ha egy vevőkészülék kétnormás volt (rendelkezett FM- és DAB-fokozattal egyaránt), akkor az említett műsorok hallgatása során, minőségromlás esetén a készülék önműködően átkapcsolt egyik médiumról a másikra, ha a másik médiumon jobb volt a jelminőség.

Mivel a piac nem indult be, sem a tartalomszolgáltatók, sem a rádióhallgatók oldalán (senki nem akart digitális médiumra áttérni és nagyon kevesen vásároltak DAB+ képességű vevőt), 2020. szept. 5-én, amikor lejárt az Antenna Hungaria 2008-ban kapott 12 éves engedélye, lekapcsolták a DAB+ adókat, kisebb hazai és nemzetközi visszhangot kiváltva. Akik borúlátóan szemlélik ezt a helyzetet, azoknak sovány vigaszként mutatunk rá, hogy a digitális rádiózás újraindításához szükséges magyar tapasztalat és szaktudás még megvan – amint talán kiadványunk is tükrözi.

A DRM RENDSZER ÉS HAZAI VONATKOZÁSAI

Szerző: Szombathy Csaba okl. villamosmérnök, SZOMEL Kft.

Bevezetés

Mint előző cikkünkben végigvezettük, az első digitális műsorszóró rendszert, a DAB-ot az 1980-as években dolgozták ki a VHF-sávú rádiózás digitalizálására, rendszeres adásait 1995-ben indították el. Ezzel párhuzamosan, szintén az 1990-es évek közepén kezdték el bevezetni az első generációs digitális tévé-szabványt, a DVB-T normát, amelyet UHF-tartományú sugárzáshoz optimalizáltak. A hosszú/közép/rövidhullámú frekvenciákról azonban mindenki megelégedett, s félő volt, hogy ezek idővel eltűnnek a műsorszórás térképéről. Ennek elkerülésére alakult meg a DRM-Konzorcium 1998-ban, konkrétan a hagyományos AM-sávokban történő digitális műsorszórásra alkalmas szabvány kidolgozása érdekében. A norma első változatát a 2000-es évek elején tette közzé az ETSI (European Telecommunications Standardisation Institute – Európai Hírközlési Szabványosítási Intézet), és 2003-ban meg is indultak az első közép-, illetve rövidhullámú sugárzások, elsősorban Európában. 2010-re több tucat állomás működött kontinensünkön, melyek száma mára mérséklődött ugyan, de közben a Távol-Keleten és néhány Dél-afrikai államban emelkedett magasra a DRM csillaga. Külön kiemelendő ezek közül India, ahol a földrésnyi országban közel 40 nagyteljesítményű (20 kW és 1 MW közötti jelszinttel sugárzó) adó működik (1. ábra).

A DRM-szabvány a kezdetek óta számos módosításon esett át. Az egyik legfontosabb újítás a VHF-sávra szánt, ún. „E” sugárzási mód szabványba foglalása volt 2009-ben, a másik a hangkódolás gyökeres megváltoztatása: néhány éve

kivették a DRM-szabványból a korábban beszéd-tömörítésre szánt CELP- és HVXC-kódolót, xHE-AAC tömörítést léptetve a helyükre (lásd lejjebb).

E ponton fontosnak tartjuk tisztázni a DRM különféle üzemmódjainak, rendszerváltozatainak fő jellemzőit és megnevezését, mert az elmúlt közel két évtizedben ezek több, árnyalatnyi változáson mentek keresztül. Amint azt a fentiekben már említettük, eredetileg hosszú/közép/rövidhullámú digitális műsorszórásra szánták ezt a rendszert, s mivel világszabvány, a különböző országokban előforduló mindenféle AM-csatornába beilleszthetőnek kell lennie. Sávszélessége ennek megfelelően igen sokféle, 4,5 kHz, 5 kHz, 9 kHz, 10 kHz, 18 kHz vagy 20 kHz lehet. Kezdetben négyféle üzemmóddal rendelkezett (részletesen lásd lejjebb), különféle hullámterjedési viszonyokhoz optimalizálva, melyeket „A”, „B”, „C” és „D” jelzéssel illették. E kép 2009-ben árnyalódott, amikor kiegészítették egy 30 MHz – 300 MHz közötti frekvenciákra szánt, „E” jelzésű üzemmóddal a DRM-szabványt. Ez utóbbi kereskedelmi neve DRM+ lett, az előző négy működési mód összefoglaló elnevezése pedig DRM30, utalva a 30 MHz alatti hullámsávokra. Az évek során azonban zavarónak bizonyult a DRM+ és DRM30 éles megkülönböztetése, ezért a Konzorcium úgy döntött, hogy a rendszert egységesen DRM-ként jeleníti meg, és ha szükséges, „AM-sávú”, illetve „VHF-sávú” vagy „FM-sávú” jelzővel különbözteti meg kereskedelmi szinten az említett működési módokat, a szabványban továbbra is megtartva természetesen az „A”... „E” üzemmód-jelzéseket. A DRM üzemmódjainak megnevezését, sávszélességét, adatsebességeit és hullámsávjait az 1. táblázatban találjuk meg.



1. ábra DRM-adások célterületei (baloldalt, körökkel jelölve) és nagyteljesítményű adók Indiában (jobbaldalt)¹

Üzem mód	Hullámsáv	Névleges csatorna-sávszélesség						
		4,5 kHz	5 kHz	9 kHz	10 kHz	18 kHz	20 kHz	100 kHz
A	Hosszú/ közép/ rövidhullám	6,3 – 14,7 kib/s	7,2 – 16,6 kib/s	13,2 – 30,7 kib/s	14,9 – 34,6 kib/s	27,5 – 63,8 kib/s	30,8 – 71,5 kib/s	-
B		4,8 – 11,3 kib/s	5,5 – 13 kib/s	10,3 – 24	11,8 – 27,3 kib/s	21,4 – 49,7 kib/s	24 – 55,9 kib/s	-
C		-	-	-	9,3 – 21,6 kib/s	-	19,4 – 45,2 kib/s	-
D		-	-	-	6,1 – 14,3 kbit/s	-	13,1 – 30,4 kib/s	-
E	VHF-sáv	-	-	-	-	-	-	37,3 – 186,4 kib/s

1. táblázat. A DRM üzemmódjainak megnevezése, sávszélessége, adatsebességei és hullámsávjai

A DRM forrás- és csatornakódolása

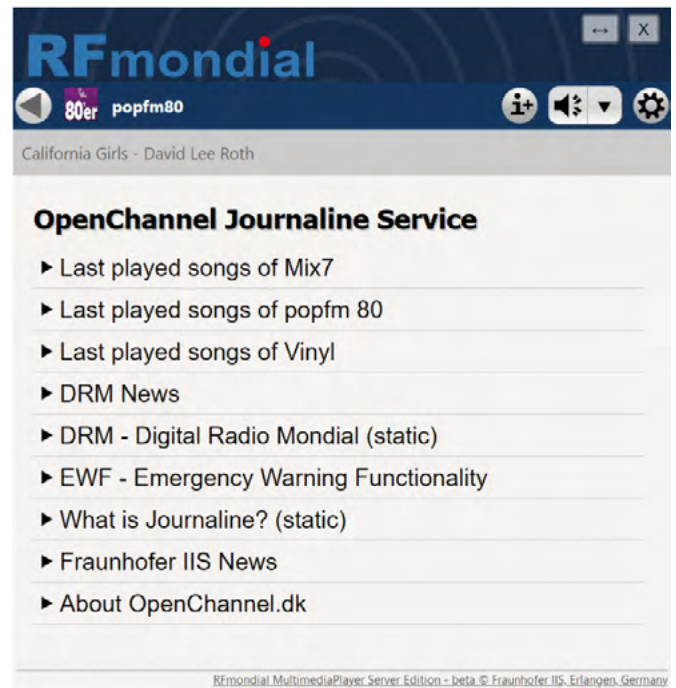
Hullámsávoktól függetlenül a DRM rendszer egységesen kezeli a forrás- és csatornakódolást. A forráskódolást tekintve a következőket engedi meg a szabvány:

- HE-AAC v2 szerinti hangkódolást (MPEG-4 AAC kódoló spektrális sávismétléssel és parametrikus sztereó kódolással kiegészítve; ez megegyezik a DAB+ hangkódolásával, lásd az előző cikket),
- xHE-AAC szerinti hangkódolást, amely jelenleg az egyik legkorszerűbb hangtömörítési eljárás, 10-15 kbit/s-os adatsebességek mellett is igen jó, közel „FM” minőségű sztereó hangzást biztosít.

Igény esetén a fenti két eljárás kiegészíthető MPEG térhatású kódolással (MPS) is, ebben az esetben a vevőnek természetesen rendelkeznie kell MPS-dekódolóval. A felsorolt két eljárás közül egyértelműen az xHE-AAC alkalmazása ajánlott új készülékekben, a jövőre nézve várhatóan ez lesz az uralkodó norma, legalábbis a DRM esetében. (Megjegyezzük, hogy régebben az xHE-AAC helyett ún. CELP- és HVXC-kódolót tartalmazott a DRM, de ezek elavultak, ezért kivették a szabványból.)

Mint minden digitális műsorszóró rendszer, a DRM is több különféle információfajta párhuzamos átvitelét támogatja. Lehetőség van több, független hangcsatorna egyidejű továbbítására, természetesen az adatsebesség korlátaiból következő ésszerű határokon belül. Emellett további kiegészítő adatok és funkciók is társíthatók a hangműsorhoz:

- leíró alapinformációk (az adás nyelve, műsor fajtája, stb.),
- a vevőkészülék képernyőjén megjelenő futószöveg, illetve fa struktúrájú menürendszerben lapozható információs portál (Journaline™ szolgáltatás),
- kép vagy képsorozat, például valamilyen bemutató (rádióműsort kísérő képi anyag),
- vészhelyzeti üzemmód, ami vészhelyzeti információk és hangjelzések azonnali megjelenítését jelenti (például természeti katasztrófák esetén sürgősségi felhívások azonnali eljuttatása nagy területekre).



2. ábra Példa DRM vevő kijelzőjén megjelenő Journaline™ menürendszerre és a DRM további szolgáltatásaira (forrás: www.drm.org)

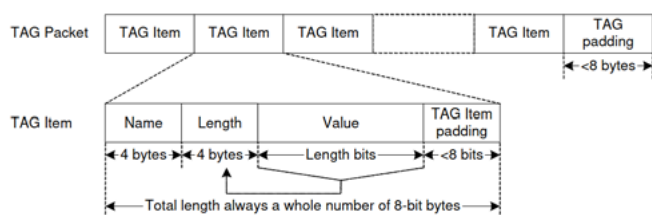
Rövidhullámon jellemzően 8-30 kbit/s körüli adatsebesség mellett xHE-AAC kódolással egy sztereó vagy két monó hangcsatorna vihető át élvezhető, jó minőségben. A DRM VHF-sávú, tipikusan 50-150 kbit/s közötti adatsebességet nyújtó változata már akár több sztereó és/vagy monó műsoranyagot is képes kisugározni, dinamikusabb kiegészítő szolgáltatások kíséretében (gyorsabban változó, több képet tartalmazó diasor, stb.).

E ponton kiemeljük, hogy a vevőkészüléknek értelemszerűen ismernie kell az átvitt adatok szerkezetét (vagyis a közvetítendő hangműsor és a kiegészítő információk fajtáját, felépítését), mindezek mellett pedig az adó beállításait (sávszélesség, üzemmód, konstelláció, védelmi szint, stb.) is. Mindehhez igen komoly jelzésátviteli mechanizmusra van szükség. A DRM ezt háromféle, részben fizikai, részben logikai csatorna segítségével oldja meg:

- FAC (Fast Access Channel – gyors hozzáférési csatorna): a vevő demodulátorának beállításához szükséges kritikus információkat továbbítja; mindig QPSK konstellációjú alvivők hordozzák,

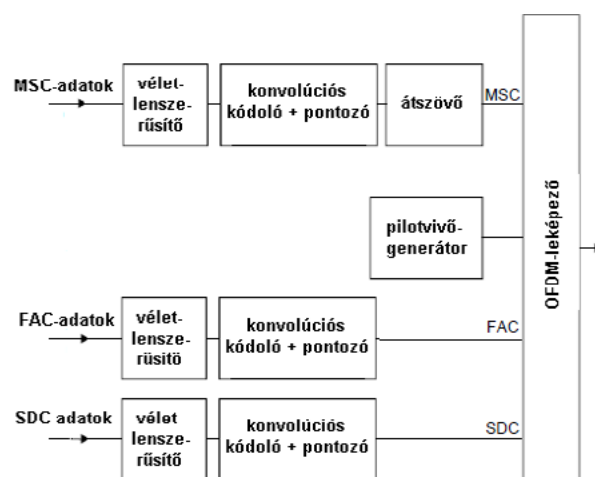
- SDC (Service Description Channel – szolgáltatásleíró csatorna): a továbbított teljes műsortartalom szerkezetét, a hangcsatornák kódolását, stb. írja le; QPSK vagy 16 QAM lehet azon alvivők konstellációja, amelyek ezt az információt továbbítják,
- MSC (Main Service Channel – fő szolgáltatási csatorna): a tényleges hangműsor(ok) és a kiegészítő információk; az ezeket hordozó alvivők konstellációja „A...D” üzemmódban (azaz 30 MHz alatti frekvenciákon) 16 QAM vagy 64 QAM lehet, „E” üzemmódban (tehát a VHF-sávban) QPSK vagy 16QAM.

A fenti franciabekezdésekben használt „csatorna” kifejezés valójában adatcsoporthoz jelent. A fent felsorolt adatokat a szabványban rögzített alvivőkön és ütemezés szerint sugározza ki az adó, a modulátorba pedig a DRM saját belső adatfolyam-szabánya szerinti protokollal kell aljuttatni. E protokoll (illetve illesztőfelület) neve MDI (Multimedia Distribution Interface – multimédia-elosztási felület), adatcsomagjainak elvi felépítése a 3. ábrán látható.



3. ábra A DRM belső adatfolyam-protokolljának elvi keretrendszere (forrás: DRM MDI szabvány, ETSI TS 102 820)

A forráskódolást követő csatornakódoló (értsd: a rádiófrekvenciás csatorna hatásainak kompenzálására szolgáló kódoló, a „csatorna” kifejezés ebben az összefüggésben más jelent, mint az előző bekezdésben) ugyanolyan véletlenszerűsítővel kezdődik, mint a DAB esetében, sőt, a véletlenszerűsítést pontosan ugyanolyan hat tárolót tartalmazó, 7-es kényszerhosszú konvolúciós kódoló követi, amilyen a DAB-ban is található. Fontos különbség azonban, hogy míg a DAB esetében 1 bemeneti bitből 4 keletkezik, vagyis az alap-kódarány $\frac{1}{4}$, addig a DRM kódolója 6 kimeneti bitet szolgáltat, $\frac{1}{6}$ -os alap-kódarányt, tehát még a DAB-énál is erősebb védelmet eredményezve. Ezt követi természetesen egy pontozó fokozat, amellyel mérsékelhető a redundancia. Akárcsak a DAB, a DRM is képes egyenletes és nem-egyenletes pontozásra, így a DRM-ben is nagyon sokféle védelmi szint állítható be. Fontos különbség azonban, hogy a DAB a véletlenszerűsítés-konvolúciós kódolás-pontozás művelet-sort műsoronként külön-külön, egymással párhuzamosítva hajtja végre, a DRM viszont egységesen végzi el az MSC adatokon (csak a FAC és SDC adatok feldolgozása zajlik külön ágon, lásd 4. ábra).



4. ábra A DRM csatornakódolási mechanizmusa

A teljesség kedvéért röviden megemlítjük, hogy a DRM is rendelkezik csomagkapcsolt adatátviteli üzemmóddal. Ekkor a bejövő adatokat egy további, járulékos Reed-Solomon kóddal is ellátja a csatornakódoló, „fügőleges beírású – vízszintes kiolvasású” átszövővel kiegészítve, még a konvolúciós kódolás előtt.

A sokféle lehetőség közül a gyakorlatban hosszú/közép/rövidhullámú sugárzás esetén 0,5 és 0,78 közötti, VHF-sávú üzemmódban pedig 0,25 és 0,6 közötti kódaránymut állítanak be a leggyakrabban.

A DRM modulációja

A DRM modulációjának fő elemeit kiadványunk nyitócikkében részletesen taglaltuk, ezért a következőkben elsősorban rendszerteknikailag tárgyaljuk, kiegészítve néhány részletinformációval.

Mint többször is említettük vagy utaltunk rá, földfelszíni rendszer lévén a DRM szintén OFDM technikát használ. „A”, „B”, „C” és „D” üzemmódja nagytávolságú terjedéshez optimalizált (lásd a modulációkról szóló cikkünk védelmi időket tartalmazó táblázatát). Bár részleteiben különbözik egymástól ez a négy működési mód, sáv szélességeik és adatsebességeik hasonlóak (1. és 2. táblázat), csupán a névleges szimbólumidejük, ebből következően pedig a vivőtávolságuk (így vivőszámuk) és védelmi idejük különbözik. Ettől természetesen lényegesen eltérnek az URH-sávra optimalizált „E” adásmód jellemzői.

Adásmód	Névleges szimbólumidő ms	Vivótávolság Hz	Védelmi idő hossza ms	Teljes kisugárzott szimbólumhossz ms	Védelmi idő aránya
A	24	$41^{2/3}$	2,66	26,66	1/9
B	21,33	$46^{7/8}$	5,33	26,66	1/4
C	14,66	$68^{2/11}$	5,33	20	4/11
D	9,33	$107^{1/7}$	7,33	16,66	11/14
E	2,25 ms	$444^{4/9}$ Hz	0,25 ms	2,5 ms	1/9

2. táblázat A DRM üzemmódjainak modulációs paraméterei

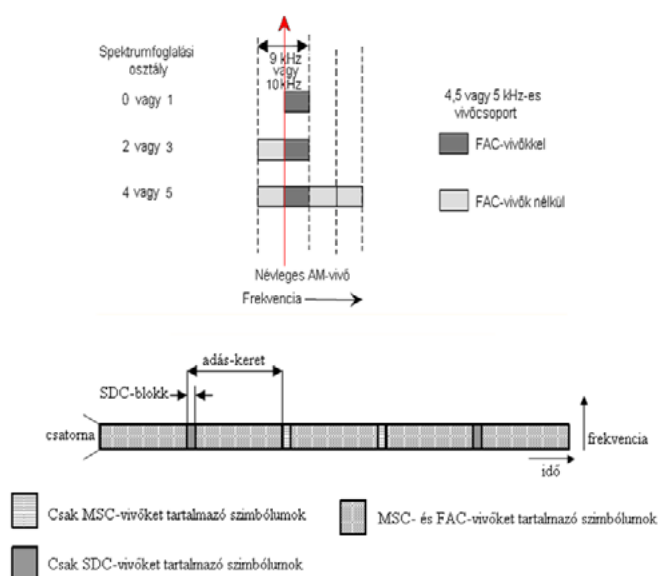
A táblázat értékei jól tükrözik, hogy a vivőszerkezet az első négy adásmódban kifejezetten hosszú idejű reflexiók ellen-súlyozására optimalizált, a hosszú/közép/rövidhullámú terjedésnek megfelelően. Az ötödik, „E” üzemmód ezzel szemben már az URH-sávban más rendszerek-nél (DAB, DVB-T/T2) megszokott paraméterekkel rendelkezik.

Volt már szó az alvivők konstellációjáról. A műsoranyagot hordozó MSC alvivők állapotelrendezése az „AM-sávú” adásmódokban 16QAM vagy 64QAM lehet, elsősorban az adóteljesítménytől, no meg az ellátni kívánt körzet méretétől függően. „E”, azaz URH-sávú üzemmódban a szabvány csak QPSK vagy 16 QAM konstellációt enged meg az MSC-re, feltehetően azért, mert itt elsősorban mozgó, autórádiós vételre lehet számítani, ami a rádiócsatorna tulajdonságainak szélsőségesebb ingadozásaival jár együtt, mint állóhelyű vétel esetén. Az SDC adatok átvitele QPSK vagy 16 QAM, a FAC információké pedig QPSK állapotelrendezéssel történik mind az öt működési módban. Itt a szolgáltató optimalizálhat: ha 16QAM-mel sugározza ki az SDC-adatokat, egy árnyalattal több vivőt csoportosíthat át a fő szolgáltatási csatornához, kismértékben növelve a „hasznos” adatsebességet, értelemszerűen az SDC-adatok épségét jobban kockáztatva.

A DRM vviőszerkezete elsősorban a DVB-T rendszeréhez hasonló (lásd a modulációkról szóló cikkünk 15. ábráját), azonban a DAB-bal rokonságot mutató időbeli tagoltsággal is rendelkezik: az SDC-adatok meghatározott időszávokban és vivőcsoportokon jönnek le, és az FAC-információk spektrális területe is jól behatárolt. Mindezt az 5. ábra szemlélteti.

Ezen a ponton joggal merül fel a kérdés az Olvasóban, hogy a DRM rokonságban áll-e akár a DVB-T, akár a DAB rendszerrel? A válasz meglepő: igen, a DRM kidolgozásakor már volt néhány éves tapasztalat mind a két előbbi rendszerrel, és a DRM-be „mindenhonnan” az előnyös, bevált megoldásokat építették be, kiegészítve további újításokkal (például a konvolúciós kódoló kibővítése, aszimmetrikus hierarchikus moduláció bevezetése stb.).

A DRM legnagyobb erőssége, hogy rugalmas sáv szélesség-beállításainak, illetve 100 kHz-es URH-sáv szélességének köszönhetően a világon bárhol bevezethető (értsd: bármely ország frekvenciaszteréhez hozzáilleszthető mind a hosszú/közép/rövidhullámú, mind az URH-sávban, legalább 300 MHz-ig terjedően), emellett spektrális hatékonysága kismértékben meghaladja a DAB-ét.



5. ábra A DRM logikai csatornáinak idő- és frekvenciabeli szervezése

A DRM-hez kapcsolódó magyar tevékenységek

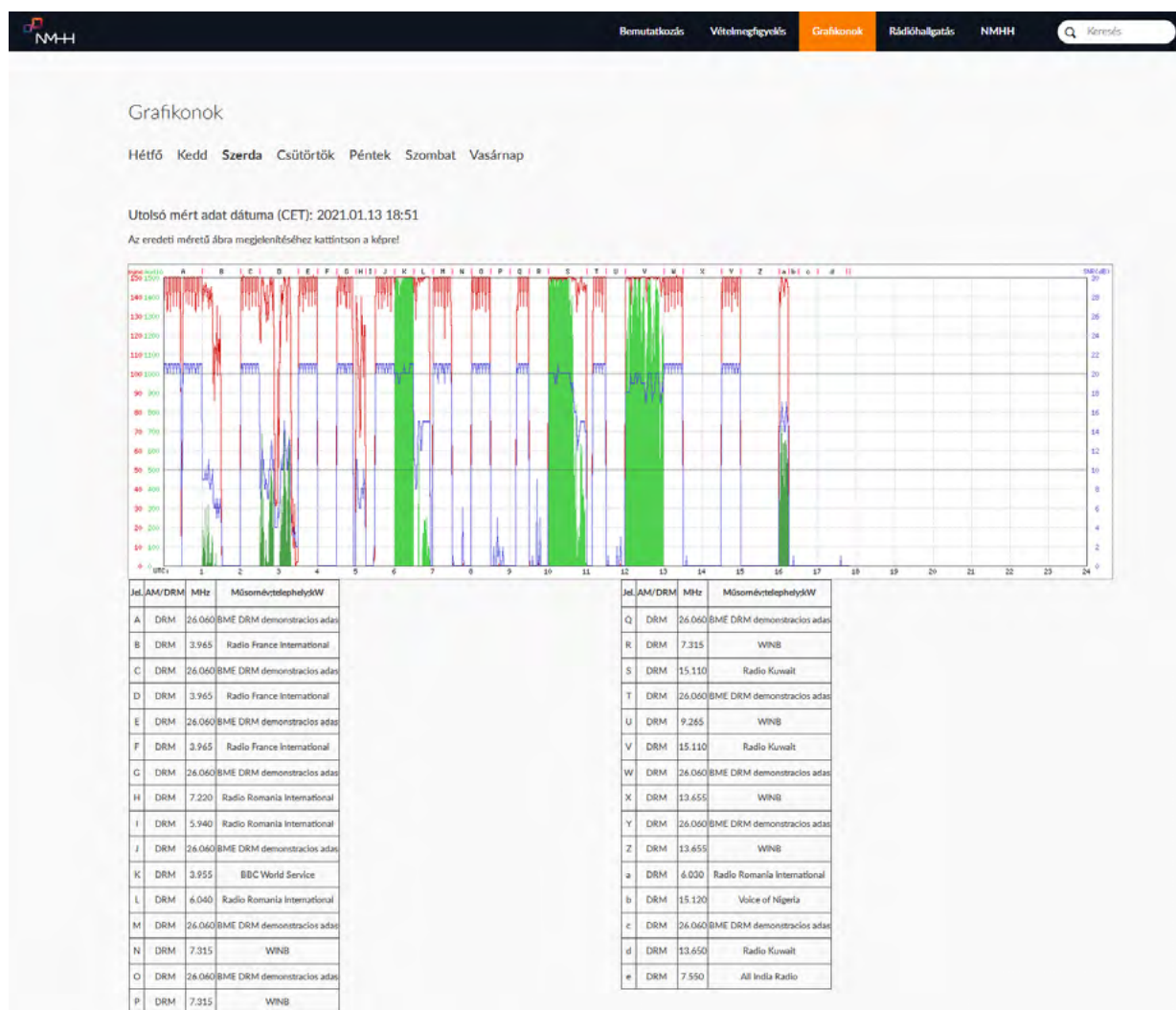
A hazai szakmai közélet meglehetősen tevékenyen kivette és veszi ki mind a mai napig a részét a DRM-hez kapcsolódó tevékenységekből, rögtön a kezdetektől fogva. Itt érdemes megjegyezni, hogy a DRM rendszer megszületésekor, a 2000-es évek elején az Antenna Hungária éveken keresztül tagja volt a DRM Konzorciumnak.

A DRM-hez kapcsolódó első hazai műszaki fejlesztés 2003-ban történt, a BME Villamosmérnöki és Informatikai Karán oktató, műsorszóró szakemberek számos generációját kinevelő dr. Gschwindt András (sokak számára Bandi Bácsi) nevéhez fűződik, aki az akkori Hírközlési Főfelügyelettel együttműködve létrehozott egy interneten keresztül elérhető DRM-vételmegfigyelő állomást. Rendkívül sikeresnek bizonyult ez a kezdeményezés: néhány év elteltével, 2008. óta egy magáncég, a jelen sorok írója által vezetett SZOMEL Kft. üzemelteti, tartja karban és fejleszti ezt a rendszert, amely fizikailag azóta is a Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság budapesti mérőszolgálati központjában üzemel (6. ábra).

Az állomás 30-60 perces időközönként más-más, Magyarországon vélhetően elfogadható minőségben vehető rövid-

hullámú DRM-állomásra hangol rá, a demodulált hangjelet internetes üzenetszórással közreadja – amely bármilyen böngészőn keresztül, bárki által meghallgatható –, a vételi jellemzőket (jel/zaj viszony, demodulátor szinkronvesztésének aránya, stb.) pedig naplózza. Ezeket az adatokat 2012. január 9-ig visszamenőleg bárki letöltheti és tetszőlegesen feldolgozhatja, az utolsó 24 óra eredményei pedig külön grafikonon is megtekinthetők (6. ábra). E szolgáltatás sikerét támasztja alá az is, hogy bekerült a DRM rendszert átfogóan ismertető, a DRM Konzorcium által hivatalosan kiadott kézikönyvbe is. (Az NMHH-nál működő DRM-honlap címe: www.nmhh.hu/drm). E mérőállomás továbbfejlesztése éppen e sorok írásakor zajlik, új arculattal és emelt szintű képességekkel várhatóan 2026. első félévében jelenik meg.

Újabb fontos mérföldkő volt 2008: az Antenna Hungária négy héten át heti két alkalommal sugározta a Magyar Katolikus Rádió műsorát 810 kHz-en, DRM norma szerint a lakihegyi adóállomás 120 m magas középhullámú antennájáról. Az adó egy Telefunken gyártmányú, TRAM 15 típusú berendezés volt, 3 kW-os kimeneti teljesítménnyel. Az NMHH-val közösen végzett lefedettségi mérések során beigazolódott, hogy az AM-hez képest kisebb adóteljesítmény mellett nagyobb lefedettséget lehet elérni a DRM-mel.



6. ábra A Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság által üzemeltetett DRM-vételmegfigyelő oldalon látható grafikon

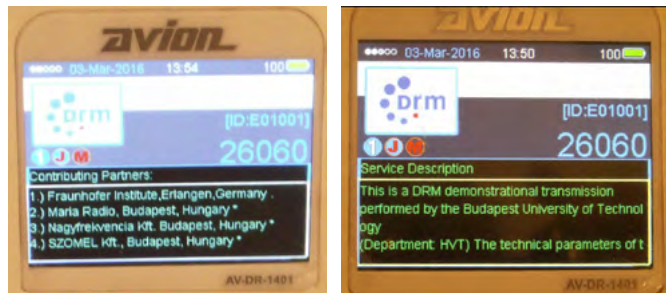


7. ábra Az Antenna Hungária Telefunken gyártmányú DRM-adója a 2008-as kísérletek során

Izgalmas év volt 2015: egyrészt, a BME a DRM Konzorcium társult tagja lett (egészen 2022-ig, amikor is ezt a szerepet a SZOMEL Kft. vette át tőle), másrészt a DRM Konzorcium szakmai fórumot tartott Budapesten, melynek házigazdája a Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság volt.

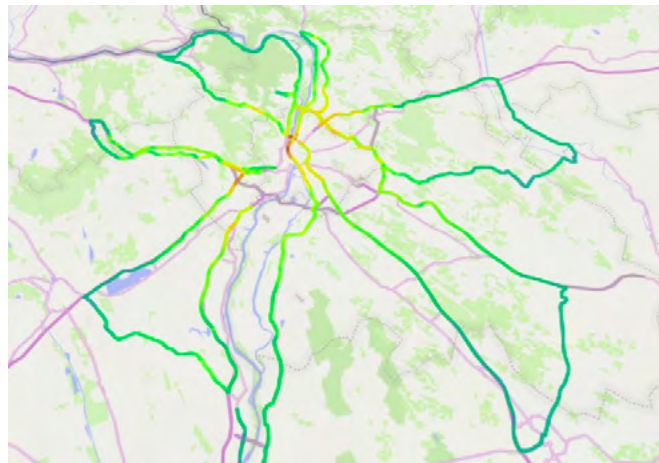
Az Antenna Hungária nevéhez kötődik egy másik, a szó szoros értelmében kiemelkedő teljesítmény: 2017-ben adták át a felújított, immár félvezetős végfokozatokkal sugárzó, 2 MW-os középhullámú solti adót, amely igen előrelátó módon DRM-üzemmódban is képes működni. Próbajelleggel sugároztak is 2 MW-os teljesítménnyel DRM-műsort, ami a jelen pillanatig a valaha létezett legnagyobb teljesítményű DRM adás.

Figyelemre méltó esemény volt 2019-ben és 2020/21-ben az a kétszer hat hónapig tartó DRM sugárzási kampány, amely a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, a DRM Konzorcium (azon belül is a német Fraunhofer IIS intézet), a Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság, a Mária Rádió, a Magyar Telekom, a Nagyfrekvencia Kft. és a SZOMEL Kft. összefogásával, közreműködésével jött létre. Ez egy „bemutató sugárzás” volt, amely olyan műsorelemeket tartalmazott, melyekkel a digitális rádiórendszerek képességeit lehetett szemléltetni: a jó minőségű hanganyag mellett futószöveg, kiegészítő információk és képi tartalom gazdagította a felhasználói élményt (8. ábra).



8. ábra A 2019-ben és 2020/21-ben folytatott budapesti bemutató sugárzás által közvetített műsortartalom, ahogy az egy kereskedelmi forgalomban kapható készülék képernyőjén megjelent

A bemutató adás frekvenciája 26060 kHz, adóteljesítménye 100 W volt. Kihasználva a lehetőséget, az NMHH és a SZOMEL Kft. közösen intenzív lefedettségi méréseket végeztek Budapesten és agglomerációjában. Az eredmények részletes elemzésére itt nincs lehetőség, de a 9. ábrán látható, reprezentatív térkép segítségével érzékeltetjük, hogy ezen a frekvencián ilyen kis teljesítménnyel is milyen jó ellátottság érhető el.



9. ábra A 2021-es mérési kampány során, az NMHH által regisztrált télerősségek alapján felvett reprezentatív lefedettségi térkép. A vörös szín -40 dBm, a kék -100 dBm vevőbemeneten mért jelszintnek felel meg. Az élvezhetőség határa a sötétzölddel jelölt -90 dBm nagyságrendjé esett

Mi várható a jövőben?

Nehéz jóslatokba bocsátkozni a jövőt illetően, mindenesetre bizakodásra ad okot, hogy a digitális rádiók – így a DRM is – gazdaságosabbak, mint analóg társaik. Jó hír továbbá, hogy hazánkban ki van építve egy nagyteljesítményű (a Kárpát-medencét ellátni képes) középhullámú DRM sugárzási potenciál. Rendelkezünk továbbá mindenféle digitális rádióadás lebonyolításához, felügyeletéhez szükséges, megfelelő tapasztalattal bíró szakemberekkel. A Szerző nem tartja kizártnak, hogy hosszú távon akár egy „hibrid” rádiórendszert is ki lehetne építeni Magyarországon: a kis- és közepes hatótávolságú, rendszerint egy helyi szolgálathoz köthető FM-adók (jellemzően városi rádiók) kiválthatók lennének „VHF-sávú” DRM-mel, középhullámon besugározhatnánk a Kárpát-medencét, gondolva határon túli honfitársainkra, az országos lefedettséget igénylő, nagy szolgálatok (közszolgálati és nagy kereskedelmi szereplők) pedig egy országos DAB multiplexbe kerülhetnének – amennyiben ezt kellő gondossággal elvégzett gazdasági számítások is alátámasztják. Európában példa nélküli, de az Egyesült Államokban több helyen is alkalmazott lehetőség egy kistérség, járás, város középhullámú rendszerrel történő lefedése – nem elvetendő gondolat! Reméljük, az itt ismertetett erőfeszítések nem voltak hiábavalóak!

A hazai mérőszolgálat(ok) szerepe a (rádió-) műsorszórásban

Bevezető gondolatok

Sokak számára a hatóságok általában a politikai hatalom egyik intézményét jelentik – és ez nem magyar sajátosság. Kevesen tudják azonban, hogy a Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság, illetve jogelődjei mindig is komoly szakemberállománnyal, jól felszerelt mérés technikával rendelkeztek, igen sokszor konstruktív szerepet játszva a hazai műsorszórás alakításában (lásd például kiadványunk digitális rádiózásról szóló cikkét). A hazai rádiózás történetének szentelt kiadványunk hasábjain ezért a Mérés szolgálatot is hely illeti meg.

MÉRÉSEKKEL (MÉRŐSZOLGÁLAT) A RÁDIÓZÁS VÉDELME

Szerző: Tomka Péter korábbi mérésügyi igazgató, Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság

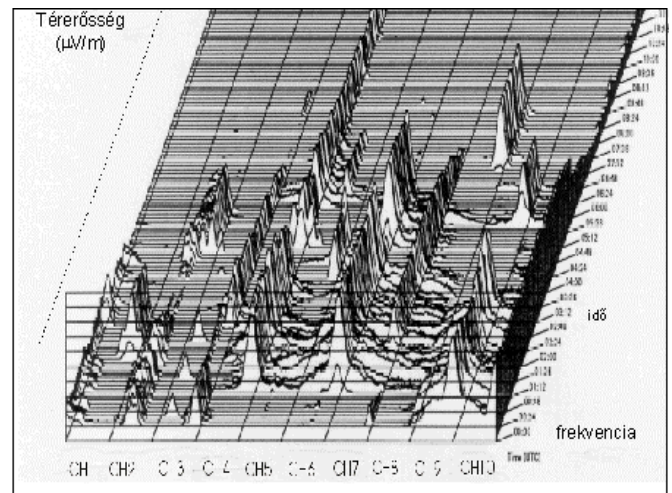
„100 éves a hazai rádiózás” – ünnepeltük nemrég. Szakmai fórumokon elhangzott előadásokban értesülhattünk a történet kezdeti lépéseiről. A nóta is emlékeztet, milyen körülmények között jutott el a „csoda” a közönséghez a gyáli úti rögtönzött stúdióból a Lakihegyi adóhoz, és sugározták azt ki a máig technikai kurióznak számító antennáról.

Ez a 1925. december 1-jén történt esemény a magyar mérnökök képességeit dicsérve indította el a hazai rádiózás fejlődését:

- 1933-ban megépült a „Budapest I.” műsorát sugárzó lakihegyi adótorony
- Ezt követve egy másik adót is üzembehelyeztek, amely 3 kW-tal sugározta „Budapest II.” néven a rádió új műsorát, amelyet hamarosan egy 20 kW-os adó váltott fel
- 1964-ig már működött 9 középhullámú adó (Lakihegy, Pécs, Mosonmagyaróvár, Miskolc, Nyíregyháza, Szolnok, Győr, Szombathely, Balatonszabadi)
- 1958-tól indult a hazai TV műsorszórás: Budapest (1958), Pécs (1959), Miskolc (1959), Sopron (1959), Szentes (1960), Kékes (1960), Tokaj (1960), Kabhegy (1962), Szekszárd (1963), Ózd (1963), Salgótarján (1964)

Kiindulásul nézzük meg, mi kellett ahhoz, hogy szóljon a rádió és legyen kép a TV készülék képernyőjén! Mérnökök és ügyes technikusok elkészítették a műszaki egységeket, elkészültek az adóberendezések, felépültek az antennatornyok, készen állt a stúdió, volt bemondó és volt műsor.

Mi volt tehát az a biztosíték, hogy a műsor eljusson a lakossághoz a rádióhallgatókhoz, TV nézőkhöz élvezhető minőségben? Az adó számára ki kellett jelölni egy alkalmas frekvenciát és meghatározni a kisugárzás teljesítményét, amely által létrejött télerősség mértéke a vétel lehetőségének határát szabta meg.



1. ábra EMC biztosítása szomszédos csatornás adások esetén

Összefoglalva tehát mi kellett ahhoz, hogy a rádióhallgatók élvezhessék az adást? Lássuk:

- kijelölt frekvencia;
- az antenna telephelye, az adó teljesítménye;
- a kisugárzott télerősség, a vétel határa;
- moduláció;
- sáv szélesség.

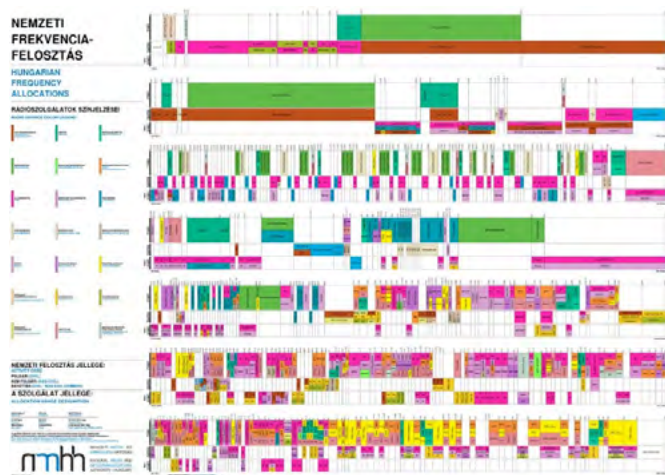
Ezeknek a jellemzőknek a paramétereit a frekvenciagazdálkodási hatóság határozta és határozza meg a mai napig. Kezdetben ez nem volt túl bonyolult, mert kevés adó működött, később viszont már egyre nagyobb szerepe volt a pontos tervezéssel meghatározott követelményeknek a zavarmentes „együttélés”, az elektromágneses összeférhetőség (EMC) érdekében. Erre szemléltet példát az 1. ábrán látható 10 egymás melletti rádiócsatornán működő adás spektrumképe.

Az eltelt száz év alatt a rádiózás műszaki és mennyiségi fejlődése óriási méreteket öltött, a frekvencia iránti kereslet növekedése ösztönözte a rádiófrekvencia-használat műszaki fejlődését, egyúttal azonban a frekvenciakészlet határainak fokozatos kiszélesedését is igényelte. A frekvenciakészlet (amely elvileg 3000 GHz-ig terjed, a jelenlegi rendszerekben

hozzávetőlegesen 100 GHz-ig használjuk ki) nemzeti kincs, amely minden ország számára azonos mértékben áll rendelkezésre és felelős gazdálkodást igényel. A rádiófrekvenciát használó ipar mára a gazdaság és a társadalom egészének pillére. A piaci szereplők a szolgáltatásaikhoz frekvencia-gazdálkodási hatóságtól megvásárolt sávok zavarmentességének biztosítását várják el.

Frekvenciagazdálkodás

A frekvenciagazdálkodás tehát átfogó eljárás, amely szabályozza és igazgatja a rádiófrekvenciás spektrum használatát. Célja a frekvenciasávok felhasználási hatékonyságának maximalizálása, a zavarások minimalizálása. A cél elérése érdekében történik a frekvenciasávok nemzeti felosztása a szolgáltatók részére, a frekvenciák kijelölése, engedélyezése és koordinációja a felhasználók számára a megfelelő szabályozási rendszer megteremtésével és folyamatos érvényesítésével. A frekvenciák felosztásának, a használat kötelmeinek szabályrendjét az FNFT (a Frekvenciák Nemzeti Felosztási Táblázata) jeleníti meg (2.ábra).



2.ábra A Frekvenciák Nemzeti Felosztási Táblázata

A legjobb műszaki előírások meghatározásához, az engedélyezhetőség eldöntéséhez, a működési paraméterek meghatározásához, a felhasználás valós, tényleges adatainak megismeréséhez, a szolgáltatók ellátottsági mutatóinak felméréséhez, az elektromágneses frekvenciasáv foglaltsági mértékének megállapításához, a télerősségeloszlás várható értékének becsléséhez, valamint, ha szükséges, az előforduló zavarok okának megtalálásához majd azok elhárításához, vagy az engedély nélküli, szabálytalan alkalmazások felderítéséhez és telephelyük behatárolásához magas színvonalú mérő-ellenőrző felszereltségre van szükség. A frekvenciagazdálkodás intézményesített szervezeti formában való működése a Magyar Posta hatáskörébe tartozott, a Posta Rádió- és Televízióműszaki Igazgatóságon (PRTMIg) 1969.04.01-i hatállyal létrehozott Frekvenciagazdálkodási osztály feladatkörébe soroltan. Az azóta eltelt közel hatvan

év alatt több szervezeti átalakulás mentén hatásköre és képessége nagymértékben megváltozott, jelenleg az NMHH szervezetében kap helyet.

Mérőszolgálati rendszer



3.ábra A mérőszolgálat szerepe

A mérőszolgálati rendszer az ellenőrzés egy eszköze, mely a spektrumgazdálkodási eljárás részére visszacsatolja a valóságban mért adatokat és intézkedik a nem megfelelőség felszámolására, vagy a zavarok elhárítására. Célja, hogy támogatssa a döntéshozatal folyamatát és fogantatosítsa a hatósági jogszabály érvényesítési intézkedéseket.

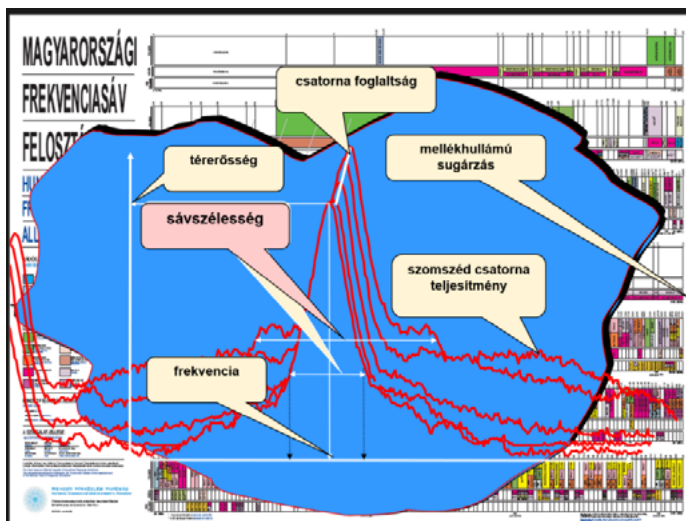
A Mérőszolgálat mérési és megfigyelési tevékenységével információt szolgáltat az elektronikus hírközlés tényleges műszaki jellemzőiről és a rádióspektrum tényleges használatáról.

A mérőszolgálati tevékenységek a méréstechnika különleges területét foglalják magukba. Az alkalmazott módszerek, a térből vett jelek, a télerősség eloszlás vizsgálatára, a berendezések jellemzőinek mérésére, a zavarforrások behatárolására, iránymérésre és helymeghatározásra terjednek ki. Eszközei alkalmas helyre telepített vagy gépjárműben elhelyezett mérőműszerek, mérőállomások és laboratóriumi mérőrendszerek.

A zavarmentes rádiózás érdekében a Mérőszolgálat feladatai a következők:

- rendszeres ellenőrzéssel felügyelnie kell az elektromágneses frekvenciasávban működő berendezések megfelelőségét;
- fel kell tárnia az elektromágneses frekvenciasávban bekövetkező zavarokat vagy összeférhetetlenségi (EMC) problémákat, és intézkednie kell azok elhárítására, illetve megoldására, annak érdekében, hogy a rádiószolgáltatók és a rádióállomások egymás zavarása nélkül működhessenek;
- biztosítania kell a rádió- (és televízió) vétel zavarmentességét;

- megfigyelési adatokat kell szolgáltatnia a frekvenciagazdálkodási eljárásokhoz, a tényleges frekvencia- és sávfelhasználásáról a sávok foglaltságára vonatkozó adatokkal, ellenőriznie kell továbbá a rádióállomások ellátottsági mutatóit, valamint a kisugárzott jelek műszaki és üzemviteli jellemzőit az engedélynek való megfelelés szempontjából;
- fel kell derítenie a nem engedélyezett vagy nem megfelelő, illetve az engedélytől eltérő berendezéseket vagy frekvenciahasználatot, és intézkednie kell a zavarás megszüntetése érdekében;
- az ellenőrzési és megfigyelési adatokból létre kell hoznia és folyamatosan karban kell tartania egy mérési adatbázist, amely a frekvenciagazdálkodás számára mindenkor elérhető.



4. ábra Egy rádióadás kisugárzott jellemzői

A megfelelő intézkedésekhez a következő adatokra van szükség:

- a spektrum tényleges foglaltsága és ennek a megengedetthez való viszonya;
- az adások tényleges jellemzői és azok engedélynek való megfelelése;
- legális és illegális adók frekvenciájára és egyéb jellemzőire vonatkozó adatok;
- két és több adó közötti zavarásra vonatkozó adatok;
- az állomások és szolgálatok ellátottsági jellemzői és a télerősségeloszlás adatai, várható értékei;
- azok az intézkedések, javaslatok és ajánlások, amelyek célja a zavarások elhárítása.

A feladatok teljesítése érdekében végzendő mérési tevékenységek az alábbiak szerint csoportosulnak.

Télerősségmérés

A kezdeti időszak kiemelt feladata a már működő rádióadók ellátottsági helyzetének feltérképezése volt. A mérési tevékenység ennek megfelelően a télerősség mérésére összpontosult.

Frekvencia- és spektrummegfigyelés

A frekvenciahasználat megfigyelésének célja, hogy általánosságban segítse a gazdálkodást, valamint segítse a frekvencia-kijelölési és -tervezési folyamatokat. A frekvenciák szükséges mértékű megfigyelése biztosítja az alapját a jogszabályok érvényre juttatásának, a felügyeletnek, az ellenőrzésnek és a kényszerintézkedéseknek, amivel fenntartható a frekvenciagazdálkodás.

Rádióellenőrzés

A megfigyeléshez szorosan kapcsolódik a rádióellenőrzés, amikor az engedélynek való megfelelést üzem közben, a telepítés helyén ellenőrzik annak érdekében, hogy mérjék az adók műszaki és üzemviteli jellemzőit, feltárják és behatárolják az esetleges zavarok kialakulásának lehetséges forrásait, vagy azonosítsák az engedély nélküli berendezéseket.

Üzemközi rádióellenőrzés: a rádióengedélynek való megfelelés ellenőrzése tekintetében kézenfekvőnek tűnik a telepítés, illetve a működés helyén történő vizsgálat. Itt közvetlenül mérhetők az adóberendezés, illetve állomás műszaki jellemzői, valamint megállapíthatók a hálózat rendszerjellemzői és rögzíthetők a telepítési előírások betartására vonatkozó adatok. Ezek a vizsgálatok emellett, hogy időigényesek és költségesek, nem tekinthetők egyedüli hatékony eljárásnak, csak a rádiómegfigyelő rendszer kiegészítő tevékenységeként alkalmazva válhatnak eredményessé. A két szolgálat (lásd a következő bekezdést) munkája szoros együttműködést igényel, csak egymást kiegészítve lehetnek hasznosak.

Felderítő rádióellenőrzés: a felderítő rádióellenőrzés természetesen szoros, összehangolt kapcsolatrendszerben dolgozik a folyamatos megfigyelő szolgálattal és támaszkodik a helyszíni ellenőrzés tapasztalataira. Feladata az engedély nélküli, „kalóz” adások felderítése végett az adók telephelyeinek behatárolása, az üzemeltetés tettenérése és hatósági intézkedések kezdeményezése. Ez a tevékenység, emellett, hogy bonyolultabb, valamint idő- és eszközigényesebb is, nagyfokú jogi támogatást, esetenként rendőri beavatkozást is igényel.

Zavarvizsgálat

Az előzőekben felsorolt mérési tevékenységek célja a zavart keltő helyzetek megelőzése volt. A megelőző eljárások hatékonyságától függően, de esetenként elkerülhetetlenül, nagy előfordulási valószínűséggel azonnali beavatkozásra is szükség van. Egyrészt a rádióhálózatok káros egymásra hatása, kölcsönös zavarása, másrészt különböző zavarforrásoknak, a távközlési szolgáltatás minőségét rontó, vagy a műsorvételei lehetőségeket csökkentő, illetve tönkretevő hatása esetén a zavart felderítő, illetve elhárító tevékenységre kerül sor.

A zavar okának behatárolása gyors helyszíneléssel megoldandó műszaki feladat. A zavarvizsgálat, felhasználva a

rádiómegfigyelési eredményeket, egyesíti a helyszíni ellenőrzések és a felderítő mérések gyakorlatát. A zavarok felkutatása szerteágazó szakmai munkát, széleskörű szakértelmet, esetenként nemzetközi együttműködést is igényel.

A tevékenységek során alkalmazott mérések

- Térerősségmérés
- Frekvenciamérés
- Sávszélesség mérés
- Modulációmérés
- Adás azonosítás
- Digitális jelek analízise
- Iránymérés

A felsorolt paraméterek a mai korszerű, jel- vagy modulációanalízissel felvértezett, szuperheterodin elvű vagy FFT-alapú spektrumanalizátorokkal, mérővevőkkel vagy jelelemezőkkel viszonylag könnyedén mérhetők. A „legősimbb” jellemző, a térerősség mérése azonban rejteget néhány olyan módszertani részletet, melyekre érdemes röviden kitérni.

Térerősségmérés:

műsorszóró adók ellátottságának meghatározása

A térerősség mérési módszerei nagymértékben a hullámterjedési jellegzetességekhez igazodva eltérőek. Más az eljárás a 30 MHz alatti sávokban, mint a magasabb frekvenciák esetében. Ez bizonyos mértékig a gyakorlatban használható antennák mérete és a mérendő jelek hullámhossza közötti viszonyból adódik, valamint abból is, hogy a talaj közelségéből eredő hatások a mérést más és más vonatkozásban befolyásolják.

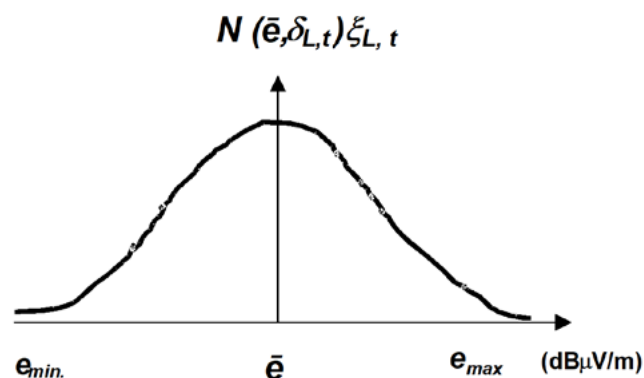
30 MHz alatt a térerősséget olyan magasságban kell mérni, ahol villamos értelemben a Föld közelében van. A talaj és a környező növényzet, a vezetékek és építmények másképp befolyásolják a tér villamos és mágneses összetevőjét, valamint a polarizáció szögét. Kihathatnak az antenna impedanciájára is. A villamosan árnyékolt keretantennával végzett mérést a közeli tereptárgyak rendszerint lényegesen kisebb mértékben befolyásolják, mint a botantennával végzettet.

A 30 MHz-től 3000 MHz-ig (mintegy 10 m-től 10 cm hullámhosszig) terjedő tartományban a gyakorlatban használt antennák nagysága összemérhető a hullámhosszal. Ebben a tartományban valamely rögzített frekvencián a térerősség méréséhez leginkább használatos antenna a félhullámú rezonáns dipólus, amely a mérőműszerhez szimmetrizáló transzformátorral (balun), koaxiális tápvonalon keresztül csatlakozik. A rezonáns dipólus a keret- és a botantennától abban különbözik, hogy igen jó a hatásfoka (sugárzási ellenállásához képest kicsiny a veszteségi ellenállása). Ennek a frekvenciatartománynak a felső részében gyakran használ-

nak szélessávú vagy irányított antennákat, logaritmikusan periodikus és kónuszos logaritmikus-spirális kivitelben.

3 GHz felett (kb. 10 cm hullámhossz alatt) a dipólus apertúrájának területe már túl kicsiny ahhoz, hogy a szükséges érzékenység létrejöhetne. Ilyen frekvenciákon a szokásos gyakorlat olyan antennák használata, melyek a hullámhosszhoz viszonyítva nagy területen (nagy apertúrán) gyűjtik össze az energiát. Ilyenek a tölcserantennák vagy a paraboloid reflektoros rendszerek. Ezekre az antennákra rendszerint nagy (50%-ot meghaladó) hatásfok és nagy irányhatás a jellemző.

Egy behatárolt lakott terület ellátottsági mértékének meghatározásánál figyelembe kell venni, hogy a térerősség idő- és hely szerint változó. Annak érdekében, hogy nagy megbízhatósággal lehessen becsülni a térerősség várható értékét az adótól meghatározott távolságban levő területén, ismerni kell a térerősség térbeli eloszlását. E végett egy körülhatárolt terület több pontján kell méréseket végezni. Kellően nagy számú mérés esetén alátámasztható, hogy a térerősség log-normál eloszlású, következésképpen az azonos értékű mérési eredmények sűrűsége a 5. ábrán bemutatott görbe mentén rendeződik. A területen a térerősség-szintek dB-ben meghatározott log-normál eloszlást mutatnak.



5. ábra. A térerősség log-normál eloszlása

Ennek megfelelően egy behatárolt területen végzett mérések [dB]-ben megadott eredményei a normális eloszlású $N(e; \sigma_{L,t}), \xi_{L,t}$ hely és idő valószínűségi változó statisztikai mintáinak tekinthetők. Kellő számú mérés (mintavétel) esetén kívánt valószínűségi biztonsággal lehet megbecsülni a térerősség várható értékét.

Az $N(e; \sigma_{L,t})$ eloszlásfüggvényből meghatározható a térerősség várható értéke, melyet a következő véletlen helyezett tartomány fed le:

$$\bar{e} - u_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq e_v \leq \bar{e} + u_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

ahol:

- e_v = a térerősség várható értéke (dB μ V/m),
 $\bar{e}$ = a térerősség minták számtani közepe (dB μ V/m),
 δ = a térerősség szórása (dB),
 n = a térerősség minták száma (db),
 u_p = a Student eloszlás (1-p)100%-os megbízhatósági szintjéhez tartozó valószínűségi változó.

A mérőpontok szükséges és elégséges száma

A területek térerősség ellátottsági vizsgálatai során lényeges kérdés, hogy hány mérésre van szükség, illetve hány mérőponton kell mérést végezni annak érdekében, hogy a térerősség várható értéke nagy megbízhatósággal meghatározható legyen.

A normál eloszlás értelmében a szórástól függ a szükséges minták száma, amelyek alapján a térerősség átlaga valamely adott mértékű megbízhatósággal a térerősség várható értéke körüli meghatározott értéktartományba esik. A terület legjobb és legrosszabb vételű helyét megtalálva meghatározható a szükséges és elégséges mérőpontoszám.

A térerősség értékei hely és idő szerint szórást mutatnak:

$$\sigma_{L,t} = \sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_t^2} [dB]$$

ahol:

σ = a térerősség hely szerinti szórása (dB)

σ_t = a térerősség idő szerinti szórása (dB)

A fentiek alapján a mérőpontok szükséges száma meghatározható:

$$n \geq u_p^2 \frac{\sigma^2}{d^2}$$

ahol d a konfidencia intervallum fele:

$$d \geq u_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Ez utóbbi megválasztható, például ± 1.5 dB.

Az alábbi táblázatban meghatározott mérőpontoszám alkalmazásával elérhető, hogy a várható érték 90%-os megbízhatósággal a mérései eredmények átlagának ± 1.5 dB-es környezetében maradjon.

Δe [dB]	0-5	6-10	11-15	16-20
n	3	5	10	20

1. táblázat Mérőpontok szükséges és elégséges száma

ahol: Δe [dB]: a mért szélső értékek különbsége ($e_{\max} - e_{\min}$)

n : a szükséges és elégséges mérőpontoszám

A mérőszolgálati gyakorlat és képességfejlődés 50 éve

1976. október 1-jei hatállyal a Posta Rádió és Televízió Műszaki Igazgatóságon a Frekvenciagazdálkodási osztály feladatát Frekvenciagazdálkodási Iroda néven három osztályra szélesedett ki: Hálózattervezési osztály, Méréstechnikai osztály, valamint Hatósági ügyviteli osztály.

Gyakorlatilag ehhez az időponthoz, a **Méréstechnikai osztály** létrehozásához köthetjük a hazai rádiómérőszolgálat megalakulását. A szervezet fejlődésének története külön fejezetet igényel, az alábbiakban a méréstechnikai gyakorlat fejlődésének bemutatására szorítkozunk.

Az 50 év fejlődését három szakaszra bontva lehet jellemezni:

- 1976-1990: a tanulás, pozicionálás időszaka
- 1990-2010: az innováció, nemzetközi szerepvállalás időszaka
- 2010-2025: a korszakváltás időszaka

1976-1990: a tanulás, pozicionálás időszaka

A kezdeti időszak kiemelt feladata a már működő rádióadók ellátottsági helyzetének feltérképezése volt. A mérési tevékenység ennek megfelelően a térerősség mérésére összpontosult, beleértve a képességfejlesztéseket is.

Mind emellett nem elhanyagolható módon jelentős szerepet kapott a berendezés mérési képesség létrehozása is, a típusvizsgálati eljáráshoz szükséges műszerek beszerzése. Kronológiai sorrendben a kezdeti időszakban az alábbi mérföldkövek emelhetők ki:

- 1976: kezdetben postai tulajdonú Barkas és UAZ típusú mikrobuszokba szerelt műszerek és antennák használatával történtek a mérések



6. ábra A Robur és mérőrendszere

- 1977-ben sikerült megszerezni az első korszerű, lakókocsiba épített, számítógépes, NDK RFT gyártmányú mérőrendszert, a „Roburt”, amely éveken át jelképezte a mérőszolgálatot. Jelenleg a diosdi rádiómúzeum „lakója”. Műszerezettsége a korszak („keleti”) legfejlettebb képességét képviselte. A méréss adatok lyukszállagra való rögzítése különle-

ségnek számított. Lakókocsi méretű berendezése lehetővé tette a mérés folytonosságát, sőt, a kez-előszemélyzet elszállását is biztosította.

- 1978-ban Rohde-Swarz gyártmányú SMDU, SMLU és MSU típusú mérőeszközök beszerzésével létrehozott „laboratórium” feladatú kapta a típusvizsgálati feladatok mérések ellátását. Minden hazai vagy külföldről behozott rádióberendezés mintapéldányain ellenőrző méréseket kellett végezni az ún. típusengedélyezés feltételeinek megállapítása végett. E tevékenység figyelemreméltó, nélkülözhetetlen szakterület beindítását jelentette, különösen, amikor a CB rádiózás a TV vételi zavarok forrásává vált. A 27 MHz-es frekvenciasávban működő rádiókat tömegével hozták be külföldről a telefon hiánypótlására. A viszonylag olcsó készülékek gyártói nem fordítottak gondot a felharmonikusok csillapítására, következésképpen a kisugárzott parazita jelek a TV sávban okoztak jelentős mértékű zavart. A berendezések csak külön hozzácsatolt szűrővel feleltek meg az előírásnak. A vizsgálatok kiterjedtek a szűrőkre is, és egyedi mérésekre is fel kellett készülni.



7.ábra Az első mérőlabor

- Kihagyhatatlan az időszak elemzéséből még a zavarvizsgálat, mint a kezdeti tevékenységek közül is a legkorábbi. A rádió- majd TV adások beindulása feltárta a spektrumban rejtőzködő összeférhetlenséget okozó zavarforrásokat, melyek megszüntetése összetett mérési eljárást igényelt, magába foglalva a térerősségmérést, valamint az irány- és helybehatárolást. A zavarvizsgálat legendás hordozható műszere a R&S HUZ volt, máig nosztalgiai át idéz az emléke.



8.ábra R&S HUZ zavarvizsgáló műszer

- Az 1980-ban kiírt pályázatot a japán Anritsu cég nyerte két termelői állomás szállításával. Ezek a konténerbe szerelt egységek itthon Mercedes-Unimog gépjárművek alvázára lettek rögzítve. Műszerezettség, berendezése a japánokra jellemző gondossággal lett kialakítva. Képessége a követelményeknek maximálisan megfelelt, amit a gyári átvétel során pontról-pontra megvizsgálva tanúsítottak is. A rendszert nagypontosságú laboratóriumi műszerekből állították össze, az adatrögzítést kazettás magnetofon biztosította. Sajnos a kivitelezési elképzelés nem járt sikerrel, a gépjármű instabillá vált a magas felépítmény miatt, ki kellett venni a forgalomból. Álló helyű mérésekre még használható volt.
- 1985-ben, további bővítés érdekében új pályázatot hirdettek meg, melyet a hazai Mechanikai Laboratórium nyert el, terveink alapján elkészítve a híressé vált „sárga autókat”. Az két VW buszba szerelt rendszer Rohde & Schwarz műszereket tartalmazott, számítógépvezérelt kivitelben.



9.ábra A „sárga” termelő-ellenőrző mérőautó

1990-2010: az innováció, nemzetközi szerepvállalás időszaka

Berendezés-típusvizsgálati akkreditált laboratórium létrehozása
A hatósági mérő-ellenőrző infrastruktúra fejlesztési programjának első lépései között szerepelt a mérőlaboratórium létrehozása. 1987-ben szerezték be az első korszerű vizsgálati műszereket és azóta, lényegében az akkor megalkotott

rendszerterv kivitelezéseként, folyamatos fejlesztéssel olyan mérési képességeket biztosítottak a Hírközlési Hatóság számára, amely az országban egyedülálló a rádiótechnikai, EMC és a távközlő berendezések vizsgálata terén. A mérőlaboratórium-komplexum 6 integrált mérőhely összehangolt rendszeréből épült fel, számítógépes mérésvezérléssel és adatfeldolgozással. Elhelyezése azonban a budapesti Ostrom utcai székházban nem volt ideális, ezért csak később, a Visegrádi utcai épületbe való átköltözés után sikerült módosítani a kialakítást, ahol mód volt ideális elrendezéssel dolgozni.

Spektrum- és zavarmegfigyelő rendszer megtervezése, az országos hálózat kiépítésének megkezdése

A frekvencia-megfigyelést, illetve az elvárt adatközlést ez ideig a rendelkezésre álló műszerekkel nem, vagy csak alalmi jelleggel, részlegesen lehetett biztosítani.

A frekvenciahasználat mértékének rohamos növekedése, új rádiósalkalmazások bevezetése, illegális sugárzások színrelépése szükségessé tette, kikényszerítette olyan rendszer kivitelezését, amellyel aktuális és hiteles adatközlés biztosítható, segít a hatóságnak úrrá lenni a problémákon, hatást gyakorolni a szabályok betartása érdekében. Szükséges volt tehát létrehozni olyan megbízható ellenőrző rendszert, amely a jelek tartós megfigyelésére alkalmas, képes a térrerősségmérésen kívül a frekvencia és a sáv szélesség mérésére, alkalmas a sáv foglaltság mértékét regisztrálni, az engedélyezett használattól való eltérést érzékelni és jelezni.

Sor került a Nemezeti Hírközlési Hatóság legnagyobb mérőszolgálati projektjének keretében egy országos spektrum, interferencia **monitoring** rendszer (a „SIMON”) megtervezésére. Első lépésként egy mintarendszert állítottak üzembe, két pályázó ajánlatát jónak találva, megosztott műszaki megoldással. Két állandóhelyű Thales és két mobilizált Rohde & Schwarz monitoring rendszer tesztelésére vált így lehetőség az országos méretű megfigyelő hálózat specifikálása érdekében. Közbeszerzési eljárás keretében az országos rendszere adott pályázatok közül végül a Rohde & Schwarz ajánlata lett elfogadva.



10. ábra Egy jellegzetes rádiómegfigyelő állomás

Mobil mérőrendszerek, gépkocsik fejlesztése

A Barkas, UAZ után jöttek a Volkswagen, Mercedes és Mitsubishi gyártmányú gépjárművek. A Robur is múzeumba került, helyére a Rohde & Schwarz és más, az aktuális időszak fejlett technológiáját szállító cégek termékeiből felépülő mérőrendszerek kerültek.



11. ábra A megújult mobil mérőrendszerek

2010-2025: a korszakváltás időszaka

Visszatekintve a mérőszolgálati képességek, a mérési infrastruktúra fejlődésének vonulatára elég csak összevetni a fényképeken látott különbségeket. Az Arany János utcai mérőhelyből induló, az ostrom utcai, majd visegrádi utcai laborok fejlődését a 2016. évben megtervezett laborrendszer, benne új EMC kamra megépítése koronázta meg. A fejlődést azonban nem öncélú versengés, a legmodernebb műszerek birtoklásáért való vágyódás mozgatta. Elképzelni sem lehetett 1976-ban, milyen fejlődés előtt áll a hírközlési technológia, milyen szolgáltatások és milyen berendezések jelennek meg a piacon és a fekete piacon is, amelyek elérhetők lesznek a lakosság számára, és mint ezek velejárója az EMC egyensúly felbomlását veszélyeztető, leküzdendő kihívások is megjelennek. A képességfejlődést a „Mérd meg, amit most meg tudsz mérni, amire még nem vagy képes, tegyél róla, hogy az legyél” irányelvünk kényszerpályájának lépcsőjén felfelé haladva érte el a Hatóság.

A fejlődést a hírközlési ipar fejlődésével való lépéstartás motiválta. Ami még nem volt mérhető, azt mérhetővé kellett tenni, csak így volt biztosítható a felügyelet, a hírközlés biztonsága, zavarmentessége. Az innovatív mérnöki elhivatottság a Mérőszolgálatot a világ fejlettebbjeinek sorába emelte, rendszerei és módszerei mintául szolgálnak más nemzetek mérőszolgálati számára.

A 2023. szeptember 7-én átadott új, többfunkciós műszaki épületben helyet kapó, új mérőszolgálati rendszernek a nyilvánosság számára is megfogalmazott célja, hogy a létrehozott képességnek az egységes nemzeti műszaki-tudományos

infrastruktúra részévé kell válnia. A létrehozott képességeket elsősorban a Mérőszolgálat ügyfelei, „vevői” számára kell közvetlen vagy közvetett formában hozzáférhetővé, illetve hasznosíthatóvá tenni.



12.ábra Az NMHH Mérőszolgálatnak otthont adó, új műszaki épülete

Az esztergomi utcai új műszaki épület otthont ad:

- a Spektrum Monitoring Központnak, melyből a továbbfejlesztett spektrummegfigyelő hálózat vezérlésével a frekvenciasávok felügyelete történik
- szélessávú szolgáltatás mérő központnak (szelessav.net)
- a korszerű berendezés- és szolgáltatásvizsgáló laboratóriumkomplexumnak.

Megvalósult a mobil rádióellenőrző térerősségmérő rendszer rekonstrukciója, amely során új

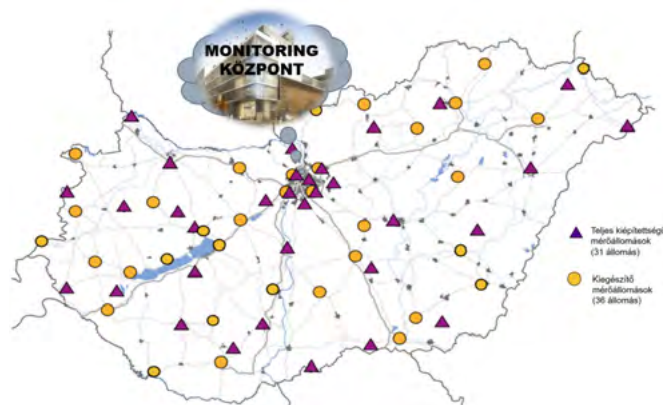
- térerősségmérő,
- rádióellenőrző,
- rádiófelderítő, iránymérő, helyszíni felderítő mobil mérőrendszerek álltak üzembe.

Az országos spektrummegfigyelő SIMON rendszer továbbfejlesztése, integrálása

Tovább folytatódtak a SIMON rendszer országos ellátottságát növelő fejlesztések, kiépítettségét más gyártmányú mérőrendszerek integrálásával megnövelve. Az egységes működést a nemzetközileg is egyedülálló képességű „SIMI” (SIMON Integráció) szoftver kifejlesztése által lehetett megvalósítani.

A rendszer képességei:

- FNFT szerinti rádióengedélynek való megfelelés vizsgálat
- Zavarok preventív észlelése, elhárítása, sávtisztítás
- Csatornafoglaltsági vizsgálat, szabad frekvencia keresés



13.ábra Az országos spektrummegfigyelő hálózat (SIMON) állomásainak telephelyei

A fix mérőállomások a feladatokat az alább felsorolt mérési képességekkel biztosítják.

Mérések:

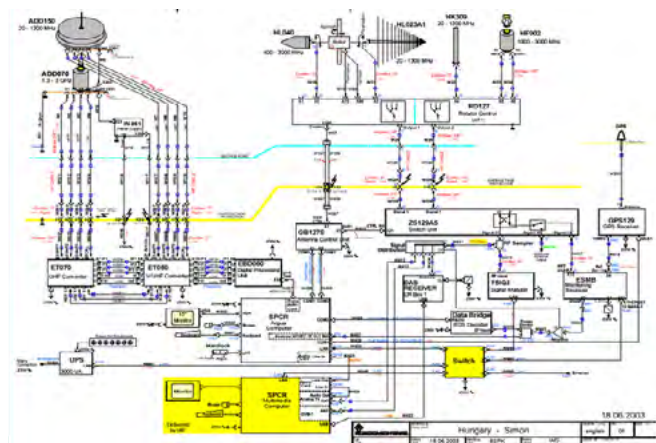
- térerősség, jelszint
- frekvencia
- sáv szélesség
- moduláció
- sávfoglaltság-vizsgálat
- irány- és helymeghatározás
- jelanalízis
- adásazonosítás
- frekvenciasáv: 20 MHz – 3 GHz
- adás- és modulációs módok: FNFT szerint
- FFT-alapú mérési módszer

Mérési módok:

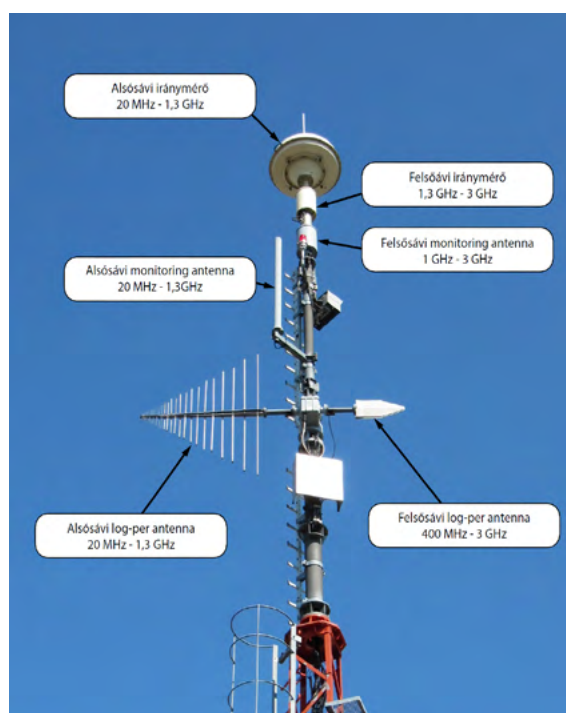
- automata (programozott, hosszú idejű mérések)
- közvetlen
- fix frekvencián történő mérés
- kód mérése, adó nevének meghatározása, adásazonosítás
- pásztázás (például digitális pásztázás „scan”); ez nagyon gyors és nagy mennyiségű nyers adatot szolgáltat rövid időn belül is!
- interaktív irány- és helymeghatározás

Mért alapjellemzők

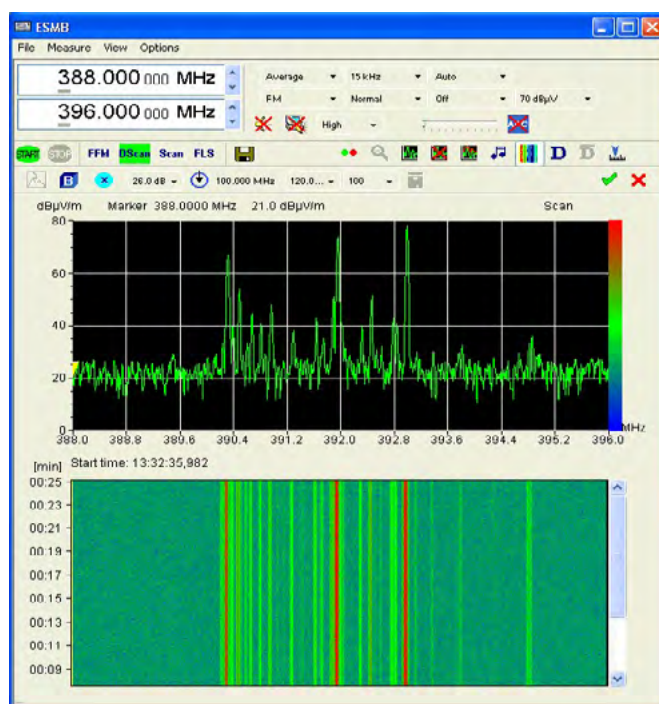
Frekvencia: - felbontás: 0.1 Hz - pontosság: CW jelen: $\leq \pm 1$ Hz A3E jelen: $\leq \pm 1.5$ Hz F3E jelen: $\leq \pm 2$ Hz	Térerősség: - felbontás: 0.1 dB - detektálási mód: csúcs, rms, átlag - pontosság: CW szint: ± 1 dB térerősség: $\leq \pm 2.5$ dB	Sávzélesség: - $\beta\%$ módszer, programozható tartomány: 1% (névleges) – 99% pontosság: $\leq a$ sávzélesség 2%-a - x dB módszer; programozható tartomány: 0 – 50 dB pontosság: $\leq a$ sávzélesség 2%-a	Moduláció : - modulációs mélység (AM): 1 – 99.9 %; felbontás: 0.1 %; mod. frekvencia: 10 Hz – 100 KHz; pontosság: $\leq 4\%$ - frekvencialöket mérés (FM): 0 – 125 KHz; felbontás: 1 Hz; mod. frekvencia: 10 Hz – 100 KHz; pontosság: sávszűrő 1%-a - fázislöket mérés (ϕ M): 0 – 10 rad; felbontás: 0.01 rad; pontosság: ≤ 0.1 rad. +5%	Íránymérés: - pontosság: 1° rms - polarizáció: függőleges - érzékenység: 2 – 13 μ V/m - pásztázási sebesség: • szomszédos csatornákon) 45 MHz/s, • tetszőleges csatornákon 650 csat./s; - minimális íránymérési idő: $\leq 500 \mu$ s - helymeghatározás pontossága: $\leq a$ távolság 4%-a	Sávfoglaltság mérése: • sebesség (pásztázás frekvenciasávon): 200 független csatorna/s 3000 MHz tartományban egyidejű szintméréssel • (tárolt csatornákon)
--	---	--	---	---	--



14. ábra A R&S állomás rendszervázlata



15. ábra Az antennarendszer felépítése



16. ábra Távvezérelt sávfoglaltságmérés a felügyeleti központból

A Thales mérőállomások felépítése

A Thales fix mérőállomásoknak 4 fő elkülönült része van:

- a helyszínhez tartozó (nem Thales gyártmányú) antennaárbocon elhelyezkedő antennarendszer,
- az antennarendszer kiszolgálását biztosító egyéb eszközök (tápfeladó, antennakapcsoló, illesztőmodulok),
- mérővevő- és jelfeldolgozó kártyák, működtető szoftveralkalmazások,
- szükséges egyéb kiegészítő berendezések (informatika, biztonságtechnika stb.).

Az antennarendszer és az antennakapcsoló kültéri egységén kívül minden egyéb komponens légkondicionált konténer-

ben kapott helyet. Az antennarendszer a 20MHz – 3GHz frekvenciatartományban képes támogatni az iránymérési és spektrumfelügyeleti műveleteket. Az iránymérésekhez AN-194 típusú, moduláris felépítésű, az antennaárboc tetején elhelyezkedő központi antennahordozó tengely körül három különböző frekvencia sávra (20MHz-160MHz, 160MHz-500MHz, 500MHz-3GHz) kialakított dipólcsoport áll, amelyek függőleges polarizációjú, V/UHF -sávú jelek iránymérését teszik lehetővé.

A spektrumfelügyeleti feladatokat két darab, körvételi karakterisztikájú antennával (RN 1026-25 és RN1029-25) teszi lehetővé a gyártó, ezek az antennaárbocra erősített kitaró rúdon helyezkednek el az iránymérő antennarendszer alatt. A rádiómegfigyelő antennák szintén a 20 MHz és 3GHz közötti frekvenciatartományban működnek.

Az antennák jeleinek vezetését, kondicionálását (sávkiválasztás, előosztás, előerősítés, mérőjel biztosítása) AEA 192 típusú antennakapcsoló végzi, illetve a szükséges tápfeszültségeket, illetve az antennakapcsoló és mérővevő közötti jelillesztést a CAL egység biztosítja.

A jelvizsgálathoz kapcsolódó feldolgozási feladatokat REC 108 típusú mérővevő, valamint a vezérlő számítógépében elhelyezett QSHARC (DF)/ BIAC (szűrés, jelanalízis) és CA-RAIBE (jelfeldolgozás, vezérlés, digitalizálás) digitális jelfeldolgozó mérőkártyák látják el. Ezeket a Thales spektrumfelügyeleti- és iránymérő szoftveralkalmazásai kezelik és biztosítják a grafikus felhasználói felületeket.

A Thales rendszer mérési képességei:

- térerősség, jelszint mérés
- frekvenciamérés
- ávszélesség mérés
- modulációs vizsgálatok
- sávfoglaltság vizsgálat
- irány-, helymeghatározás
- jelanalízis
- adásazonosítás
- adás/modulációs módok: FNFT szerint
- FFT-alapú mérési módszer

A CRFS spektrummegfigyelő rendszerek

Az elmúlt években az NMHH a SIMON rendszereit újjeneztette ki, a nagyvárosi, lakott környezetek spektrumhasználatának láthatóvá tételére. Ezek nagysebességű spektrumletapogatást, iránymérést és helymeghatározást is lehetővé állomások, amelyek folyamatos adatrögzítésre is képesek. Mind irányszög mérésen (AOA) alapuló iránymérési, mind időkülönbség-mérésen (TDOA) alapuló helymeghatározási eljárások szerint képesek méréseket végezni.

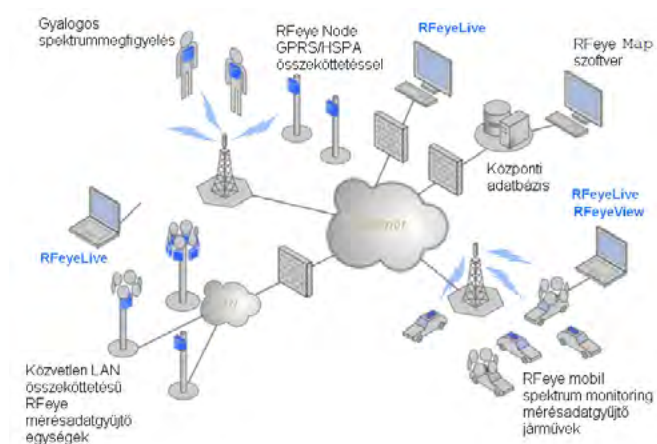
Az RFeye spektrumfelügyeleti rendszer az RF spektrumot akár 18 GHz-ig is képes letapogatni, a megfigyelési funkciókat különféle analitikai képességekkel (demodulálás, jelazonosítás, referenciajelhez történő hasonlítás) kiegészítve, központosított kezelőfelületen keresztül biztosítva a használatot és a mérőpontok egységes kezelését.

A spektrummegfigyelési- és iránymérési feladatokat önállóan és hálózatba illesztve egyaránt végrehajtó rendszer antenna-alrendszerei lehetnek fix telepítésűek vagy tetőtéri csomagtartóba szereltek. A teljes mérésadatgyűjtő és -tároló rendszerkomponens elfér akár egy kisebb bőröndben, vagy rögzíthető a méréseket kiszolgáló gépjárművekbe is. Hatalmas mennyiségű – akár TB nagyságrendű – mérési adatot kezel hatékonyan. Működése teljesen automatizálható, beleértve az elektronikus egységek vezérlését, valamint a mérési adatok rögzítését és előfeldolgozását.

A rendszer képes a spektrumhasználat térbeli és frekvenciatartománybeli feltérképezésére. A mérési eredményeket idő- és földrajzi hely bélyeggel párosítva rögzíti, ezzel az RFeye szoftvermoduljai a mérési adatokat beágyazott vagy felhasználói térképre képesek helyezni, így kombinálva a spektrummegjelenítést a földrajzi adatok ábrázolásával.

Az RFeye spektrummegfigyelő rendszer felépítése

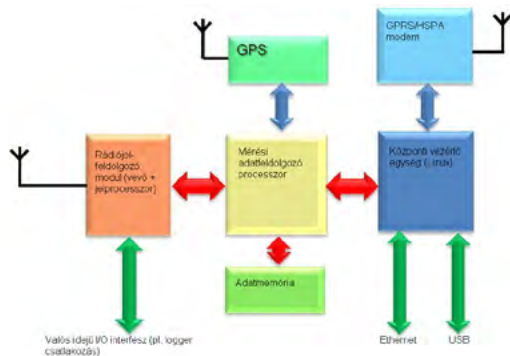
Az RFeye spektrummegfigyelő rendszer működését a 17. ábra szemlélteti. A központi adatbázis az RFeye Map nevű, sokrétű képességekkel felvértezett analitikai és megjelenítő szoftvernek helyet adó szerveren található. A rendszer részeként a terepmérésekhez valósidejű spektrumanalizátor és AOA iránymérő alkalmazás is rendelkezésre áll (RFeye Live), valamint központi szoftveralkalmazás támogatja a mérőhálózat alapú vizsgálatokat (AOA és TDOA). Ugyanez a szoftver felületet ad a hálózati elemek egységes beállításához is.



17.ábra Az RFeye Node mérésadatgyűjtő egység felépítése

Az RFeye Node mérésadatgyűjtő egység minden RFeye termék központi egysége, a rendszerek legfontosabb eleme, amely az antennák jelének rögzítéséért, előfeldolgozásáért és adatközpontba történő továbbításáért felelős.

A mérésadatgyűjtés feladattípusokra orientált célprocesszorokkal történik. Az antennajelek erősítését, letapogatását, mintavételezését és digitális I/Q-jelfolyammá alakítását a Rádiójelfeldolgozó modul végzi. Az I/Q-jelfolyam további feldolgozása (FFT, idő- és GPS bélyegzés, ábrázolható teljesítmények kiszámítása stb.) a Mérési adatfeldolgozó processzor feladata. Az egész folyamatot a Központi vezérlő egység felügyeli, amely kapcsolatot tart a külvilággal is. Mindezek blokkvázlatát a 18. ábra szemlélteti.



18. ábra Az RFeye Node mérésadatgyűjtő egység blokkvázlata

Az RFeye Node mérésadatgyűjtő egység be-/kimeneti illesztőjének csatlakozóját használja a teljes rendszer az RFeye DF iránymérő antennarendszer 6 db antennájának bemenetre történő váltott kapcsolásához.

Az RFeye Node mérésadatgyűjtő egységek működési tartománya 10MHz-től 6 GHz-ig terjed, a teljes frekvenciasáv letapogatásának ideje nem haladja meg a 150 ms-ot.

Az RFeye Node központi vezérlőegysége egy Linux operációs rendszert futtató mikroszámítógép, amely teljes körű konfigurálhatóságot, programozhatóságot tesz lehetővé. A rendszer képes a folyamatos letapogatás mellett egyszeri, időzített, felhasználó által indított, esemény által kiváltott és a körülményekhez algoritmusban előírt módon alkalmazkodó (adaptív) lefutásra is, továbbá esemény által indított letapogatás feltételeinek programozása is megoldható.

RFeye Roofbox iránymérő rendszer

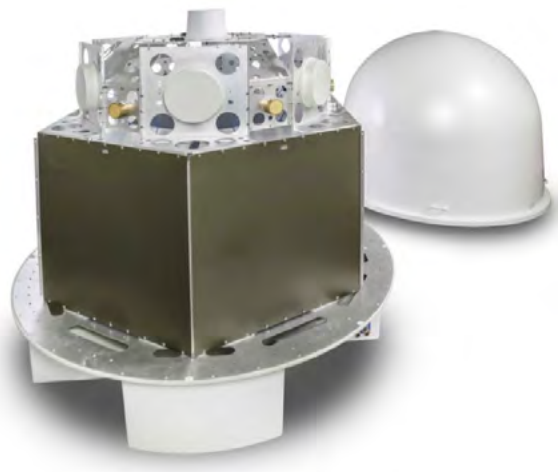
Az RFeye rendszerhez egy spirális antennából felépített, tetőtéri csomagtartóba szerelhető, mobil vizsgálatokat támogató iránymérő is tartozik. Az antennarendszer az RFeye Node mérésadatgyűjtő egységhez csatlakozik, 6 GHz-ig képes a spektrumot felhasználói parancsra vagy előre programozottan automatikusan letapogatni. A spektrummegfigyelésen felül AOA elven történő iránymérést is biztosít a fenti határfrekvenciáig. Az AOA mérésekhez RFeye Live szoftveralkalmazás szükséges.



19. ábra Az RFeye Roofbox iránymérő rendszer

RFeye Array 500 típusú, fix telepítésű iránymérő rendszer

Az RFeye Roofbox termékhez hasonlóan spirális antennákkal felépített, 100 MHz – 6GHz működési tartománnyal rendelkező, radom házban elhelyezett, fix telepítésű iránymérő, AOA és TDOA elvű mérésekhez egyaránt. Az antennarendszer ebben az esetben is RFeye Node mérésadatgyűjtő egységhez csatlakozik. A rendszer szolgáltatásait RFeye Live valós idejű spektrumanalizátor alkalmazással, illetve RFeye Site központosított kezelőfelületen keresztül lehet elérni.



20. ábra Az RFeye Array 500 fix telepítésű iránymérő rendszer

RFeye Node fix telepítésű spektrummegfigyelő és TDOA helymeghatározó egységek

Kisméretű, könnyű, nagy teljesítőképességű, automata mérőállomás, amely képes önálló adatgyűjtésre és mérőhálózat részeként történő helymeghatározási feladatokban is közre tud működni. Az NMHH Budapest környéki kísérleti TDOA hálózatához Csömörön, Vadaszhegyen, valamint Budapesten a Visegrádi utcában telepítették. Működési frekvenciatartományuk 100 MHz és 6 GHz közötti.



21. ábra TDOA elven működő helymeghatározó egység

A SIMI rendszer ismertetése

A SIMI (Spektrum Interferencia Monitoring Integráció) projekt keretében megvalósult rendszer célja az NMHH különböző típusú mérőrendszereinek, frekvenciagazdálkodási rendszerének összefogása.

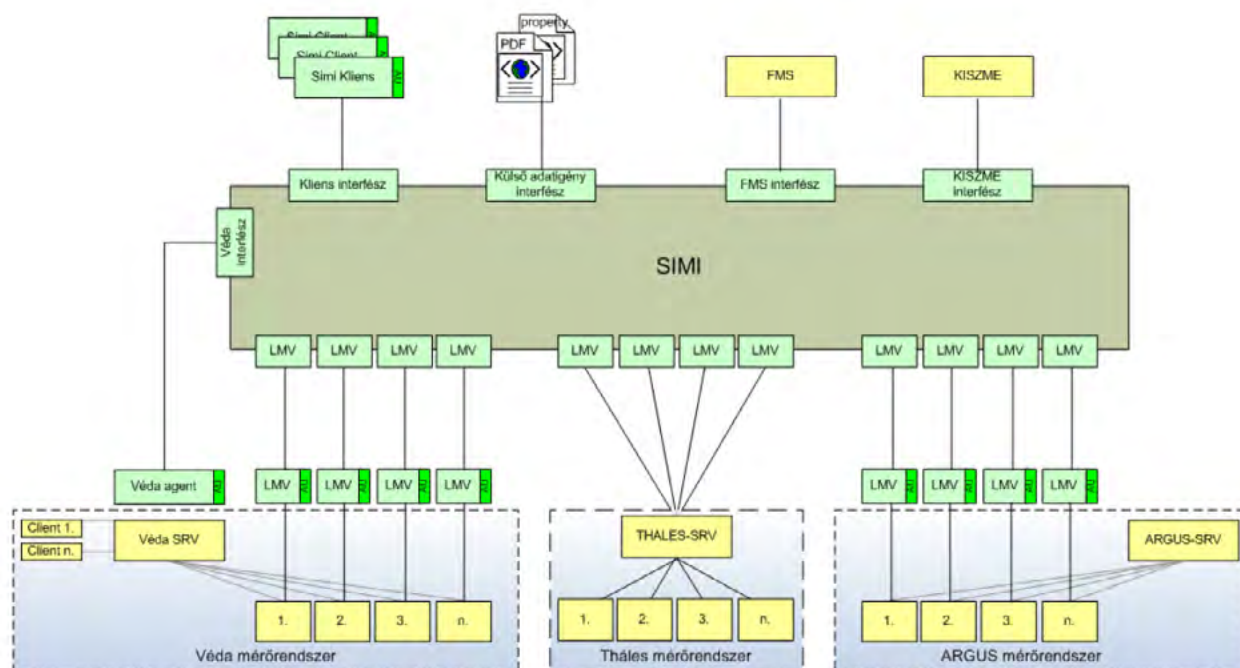
A SIMI központi mérésvezérlőként viselkedik az integrált mérőrendszerek szempontjából, tehát segítségével a különböző mérőrendszereket egységes módon, homogén felületen keresztül lehet vezérelni. Központi erőforrás-gazdálkodó modulja lehetővé teszi az integrált rendszerek mérési kapacitásának optimális kihasználását.

Az integrált mérőrendszerekből származó adatok a rendszer központi adatbázisában, egységes struktúrában tároltak. Itt találhatóak a beintegrált rendszerek leíró információi, paraméterei és eszközbeállításai. A központi adatbázisban egységesen tárolt mérési eredmények, feladatleírások és egyéb leíró információk lehetővé teszik a beérkező adatigények megválaszolását létező adatokból is, anélkül, hogy új mérést kellene indítani.

A mérőrendszerek egy egységesen definiált interfész objektum segítségével illeszthetők a SIMI rendszerhez, amely elfedi a SIMI elől az adott mérőrendszer/mérésvezérlő specifikumait. A rendszerintegrálás az alábbi rendszereket vezeti közös vizsgálati repertoárba és kezeli egységesen logikai mérésvezérlők segítségével:

- ARGUS rendszer (R&S) mérőállomásai (vezérlés, adatszolgáltatás és adatfogadás);
- Thales rendszer mérőállomásai (vezérlés, adatszolgáltatás és adatfogadás);
- Kvázi-fix mérőállomások (vezérlés speciális helyzetekben, részleges vezérlés, adatszolgáltatás és adatfogadás);
- VÉDA mérőállomások (vezérlés, adatszolgáltatás és adatfogadás).

Az integrált rendszer képességei új logikai mérésvezérlők elkészítésével, illesztők módosításával egyszerűen bővíthető. A SIMI logikai architektúrája a 22. ábrán látható.



22. ábra A SIMI rendszer



23. ábra Az új berendezés- és szolgáltatásmérő laboratóriumrendszer felépítése

Az NMHH vizsgálólaboratóriumi rendszere

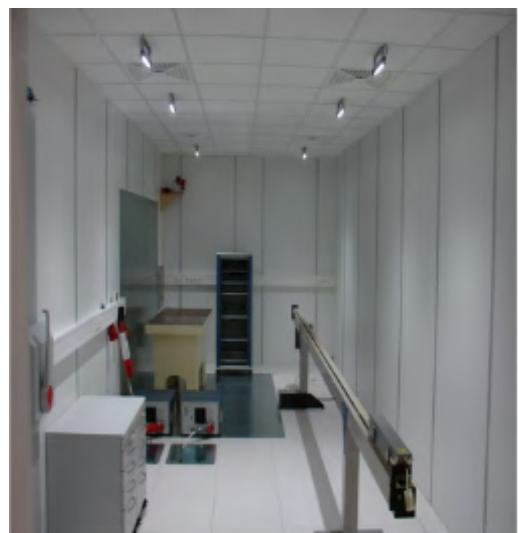
A mérésügyi központ laboratóriumi rendszerei az NMHH új épületének földszinti traktusában kialakított nagy csarnokban kaptak helyet. A korszerű mérőhelyek EMC-, rádió- és távközléstechnikai mérésekre alkalmasak (23. ábra).

Itt található a kalibráló labor is, újdonság azonban az eddigi képességeket gyarapító, sugárzott jelek vizsgálatára kialakított, több reflexiómentes kamra. Ezek közül kiemelkedik az épület egyik büszkesége, az EMC kamra, amelyben az egyedi, kutatási célú vizsgálatok mellett a hatósági piacfelügyelet keretében az alábbi akkreditált mérések történnek:

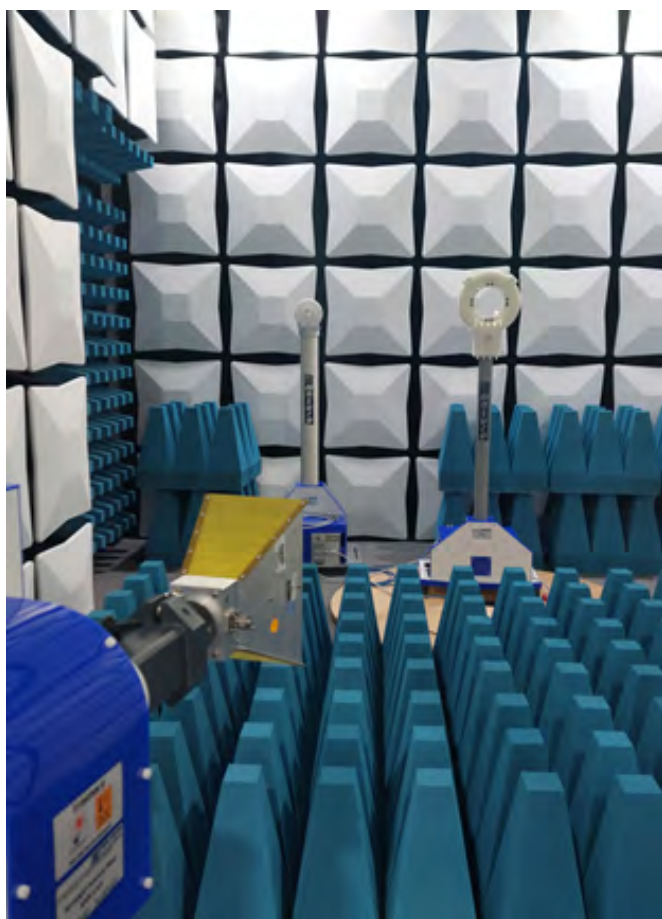
- nagyfrekvenciás jelet és mellékhatást keltő villamos berendezések megfelelőségi vizsgálata (sugárzási paramétereinek megállapítása a 30 MHz és 18 GHz közötti frekvenciatartományban)
- személygépkocsi méretű gépjárművek sugárzási jellemzőinek megállapítása a 30 MHz és 18 GHz közötti frekvenciatartományban
- Elektronikus készülékek és berendezések sugárzott jelekkel szembeni immunitásának vizsgálata



24. ábra EMC mérőkamra sugárzott jelek vizsgálatára



24. ábra EMC vizsgáló vezetett jellemzőkre



25. ábra A rádiós jellemzők mérésére szolgáló laboratórium

Az EMC vizsgálatok vezetett jellemzők mérésére is kiterjednek, külön mérőkamrában. Hasonlóan a sugárzott mérésekhez, itt is a hatósági piacfelügyelet keretében, akkreditáltan történnek a mérések az alábbi eszközökre kiterjedően:

- rádióműsor- és televízióműsor-vevőkészülékek, valamint a hozzájuk csatlakozó egységek;
- háztartási készülékek, villamos szerszámok és hasonló eszközök;
- villamos világítástechnikai és hasonló készülékek;
- informatikai berendezések;
- multimédia-készülékek.

Az EMC mérések mellett külön laboratórium-csoport együttesen ad módot a rádiós jellemzők sugárzott és vezetett mérésére:

- a földfelszíni mozgó- és fix rádiószolgálatok rádióberendezéseinek bemérése a 25 MHz és 60 GHz közötti frekvenciatartományban (vezetett mérés);
- földfelszíni mozgó- és fix rádiószolgálatok rádióberendezéseinek megfelelőségi vizsgálata (sugárzási jellemzőinek mérése a 25 MHz és 60 GHz közötti frekvenciatartományban);
- a 2,4 GHz-es ISM-sávban működő, kiterjesztett spektrumú rádióberendezések működési paramétereinek feltárása;
- rádióberendezések működési jellemzőinek bemérése a 25 MHz és 60 GHz közötti frekvenciatartományban (szakértői mérések);

- mm-es hullámsávú gépjármű radarok rádiós megfelelőségi mérései.

Klasszikus mérési tevékenység kapott korszerű berendezést a távközlési jellemzők, szolgáltatások mérésére a távközléstechnikai laborban (27. ábra):

- szélessávú szolgáltatások minőségi jellemzőit (QoS) és semlegességét mérő rendszerek tesztelése, validálása;
- távközlési szolgáltatások minőségének laboratóriumi és helyszíni mérései;
- vezetékes internet szolgáltatások átviteli minőségi jellemzőinek mérése;
- vezetékes internet szolgáltatások hálózatszemlegességi jellemzőinek vizsgálata.

Az EMC és Távközléstechnikai labort kiegészítendő, a csarnokban helyet kap még az ún. GTEM cella, amely immunitás vizsgálatokra szolgál, valamint egy MIMO-WLAN mérőkamra is található itt. Ezekben a következők végezhetők el:

- háztartási felhasználású IP távközlési berendezések (útvonalválasztó, kapcsoló) teljesítőképességi mérései;
- MIMO-WLAN eszközök teljesítőképességi mérései, MIMO mobil (5G) eszközök teljesítőképességi mérései;
- mm-es hullámsávú WLAN-eszközök rádiós megfelelőségi mérései.

A Mérészolgálat eszközeinek pontosságát, a mérési eredmények megbízhatóságát, hitelességét a rendszeres ellenőrzés és kalibrálás biztosítja. Erre a feladatra lett kialakítva a kalibráló labor együttes, azzal a céllal, hogy sugárzott és vezetett módon kalibrálja előírt rendszerességgel a mérőeszközöket és antennákat.



26. ábra MIMO-WLAN kamra



27. ábra A távközléstechnikai labor



29. ábra A GTEM cella



28. ábra Kalibráló labor sugárzott és vezetett eljárású egységeiből

Az eddigiek tükrében méltán lehetünk büszkéek az NMHH mérés technikai potenciáljára, amely – mint már utaltunk rá – a nemzetközi élvonalban is megállja helyét. A mm-es hullámsávú vizsgálati képesség kialakításával – divatos szóval élve – meglehetősen jövőbiztos ez a technika...

A KORMÁNYZATI FREKVENCIAGAZDÁLKODÁSI HIVATAL (KFGH) MÉRÉSÜGYI TÖRTÉNETE - SZEMÉLYES HANGVÉTELBN

Szerző: Nagymáté Csaba villamosmérnök, volt REZO osztályvezető helyettes, szakmai vezető (KFGH, később NMHH), a Rádiótechnika volt szerzője

A címbe utalás természetesen nem vonatkoztatható el magának a Hivatalnak (később Hatóságnak) a történetétől, így – ha csak a kezdeti, s egyben meghatározó időszakra fókuszálva is – felelevenítünk eseményeket. De mindenek előtt miért is volt szükségszerű a létrehozása? A hírközlési (postai és távközlési) ágazatban 1989-ben megtörtént a rendszerváltozás (és kissé távolabbi perspektívában) a hírközlési szolgáltatások liberalizációjának előkészítése. A Honvédelmi Minisztérium (HM) és a Belügyminisztérium (BM) az Állami Rádió és Vezetékes Bizottság által megosztott frekvenciasávokkal önállóan, külső kontroll nélkül, belső szabályozók alapján gazdálkodott. Már ez a tény önmagában „működési veszélyeket” hordott magában, ugyanakkor fokozatosan megjelentek az új távközlési szereplők megannyi frekvenciaigénnyel. Ezen két tényező összehangolása nélkül nem lehetett biztosítani a rádióspektrum hatékony kihasználását.

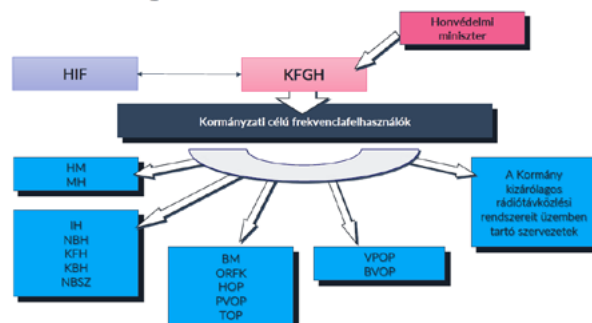
Ezt felismerve 1993 nyarán az Országgyűlés elfogadta a frekvenciagazdálkodásról szóló 1993.évi LXII törvényt, amely 1993. július elsejével hatályba lépett. A törvény megalkotásának célja az volt, hogy a frekvenciatartomány optimális kihasználása, a frekvenciaigények kielégítése és összhangja érdekében hazánkban is a nemzetközi normákhoz és gyakorlathoz igazodó, ún. kétpólusú – polgári és kormányzati célú frekvenciagazdálkodási rendszer jöjjön létre. A törvény a frekvenciagazdálkodási feladatok ellátását egyrészt a kormány, másrészt az így már különvált polgári, illetve kormányzati célú gazdálkodás tekintetében a közlekedési, hírközlési és vízügyi, illetve a honvédelmi miniszter hatáskörébe utalta. Ennek megfelelően a HM-ben 1993 végére elkészültek a szükséges jogszabályi tervezetek. Viszonylag hosszú egyeztetési időszak és a tervezetek felterjesztése után a Kormány a 17/1994. (II.9.) Korm. rendeletével létrehozta a Kormányzati Frekvenciagazdálkodási Hivatalt (KFGH), valamint a 2013/1994. (II.16.) Korm. határozatában megállapította a KFGH létrehozásával és működési feltételeinek biztosításával összefüggő feladatokat. A honvédelmi miniszter pedig a Kormányzati Frekvenciagazdálkodási Hivatal igazgatójává 1994. május 1-jei hatállyal Bajó József mk. ezredes nevezte ki, s ez-

zel ténylegesen megkezdődhetett egy hosszú alkotói folyamat. A KFGH országos hatáskörű, feladatait tekintve tárcaközi, központi költségvetési szerv, önálló jogi személy, melynek felügyeletét (alapításkor) a honvédelmi miniszter látta el.

Az előbb hivatkozott Korm. határozat 5. §, (2) bekezdése egy, itt most fontos kitéltet tartalmaz, ami a hivatal fennállásáig működésének egyik sarokpontja. Nevezetesen: *rádiómérő, ellenőrző és rádió-zavarelhárító szolgálatot tart fenn, a rádió-zavarelhárítás érdekében együttműködik a Hírközlési Főfelügyelettel, illetőleg annak területi szerveivel.*

Ez az utolsó kitétel pedig alapvető fontosságú a szervezet életében, hiszen hosszú folyamat eredményeképpen a két mérőszolgálat sokévnnyi párhuzamos haladás után „egyesíti erőit”. Ami pedig a felügyeleti, s egyben mérőszolgálati szervezeti érintettségi kört illeti, tekintsük az 1. ábrát! Jól látni, hogy a HIF, és a KFGH együttműködése determináló adott helyzetekben. A bevezető sorokban az új távközlési szereplők megjelenését említettük, s ezen a ponton a két szervezet között – a helyzetéből adódóan szinte törvényszerűen – eltérő a frekvenciahasználat célja, érdekei, és a spektrumhoz való hozzáférés mikéntje (2. ábra). Ezen helyzetben is a kulcsszavak: az „összhang” és az „együttműködés a sikeres munka záloga”.

A KFGH felelősségi területe



1. ábra

Az Ft. által létrehozott nemzeti frekvenciagazdálkodás rendszere

Eltérő a frekvenciahasználat célja, érdekei és a spektrumhoz való hozzáférés



2. ábra

A hivatal megalakulása után szinte azonnal megkezdődött hányattatása is. Az a szituáció, hogy lévén országos hatáskörű szerv, így a saját fenntartójának (HM) is szakmai felügyeleti szerve, finoman szólva nem kedvezett az oldott légkörű munkavégzésnek. Más jelentős szereplői a kormányzati frekvencia felhasználóknak sem mindig örültek, ha belső szabályzóikba beleszóltak, netán jogkövető magatartásra kényszerítették. Idővel persze ezek a „viharak” elcsitultak, de az tény, hogy közben a KFGH többször is fenntartót változtatott, költözött, de nevének rövidítését megőrizve továbbra „szinonimája” volt a magas minőségű, nem polgári célú frekvenciagazdálkodásnak. A legújabb korban pedig 2010-11 fordulóján már az NMHH-ban, feladatait megőrizve, már más néven, de (jelenleg) önálló igazgatóságként folytatja tevékenységét.

A mérőszolgálatról – általában

Ha röviden akarnánk jellemezni tevékenységét, akkor azt mondanánk, hogy speciális helyzet, szerteágazó feladatokkal. Természetesen minden tevékenységét a törvényes kereteken belül, azokkal, s a saját szabályzóikkal összhangban (például Mérésügyi Szabályzat) végezte, ill. végzi. A törvényi felhatalmazást minden esetben jeleztük a felhasználó felé, hiszen jelenlétünknek, mérési tevékenységünknek kiemelkedetlennel kellett lennie. Így talán nem meglepő, hogy írásunk sorai között is elő-előfordul említésük. De nézzük az előírt feladatait, csupán felsorolás szerűen:

A rádiómérő és rádió-zavarelhárító szolgálati feladatokon belül:

- Ellenőrzi az engedélyezett rádióállomások működésének, a hatósági engedélyben rögzített műszaki jellemzőinek betartását, továbbá az engedélyezett rádiófrekvenciák rendeltetésszerű felhasználását;

- Biztosítja a nem polgári célú frekvenciafelhasználást érintő zavarok elhárítását, a kölcsönös zavartartás kiküszöbölését, illetőleg az EMC-t;
- Támogatja a frekvenciakijelölés, az engedélyezés és egy frekvenciasáv újbóli megosztásának előkészítését;
- Biztosítja a mérőszolgálati szabályzat kidolgozását és rendszeres korszerűsítését;
- Kidolgozza a KFGH éves rádió-mérőszolgálati tervét, a terv végrehajtási rendjét, valamint a mérőműszerek kalibrálásának éves tervét;
- Ellátja az engedélyezési, ellenőrzési, zavarkivizsgálási és egyéb mérőszolgálati tevékenység érdekében a nem polgári célú frekvencia-felhasználók mérőberendezéseinek bevonásával is végrehajtandó mérések megtervezését és vezetését;
- Ellátja az EMC szempontjából a nem polgári célú rádiótávközlő berendezések üzemelésének, valamint újak bevezethetőségének vizsgálatát (elemez, mér és számításokat végez);
- Ellátja a mérőszolgálat mérőeszközökkel történő ellátásának tervezését, a mérőeszközök üzemeltetését, azok rendszeres kalibrálásának, karbantartásának és javításának tervezését;
- Biztosítja a mérőműszerek kalibrálásának éves terve elkészítését, a kalibrálások és a karbantartások nyilvántartásának folyamatos vezetését.

A fenti „feladatsor” biztos, hogy hasonlatos a HÍF mérőszolgálatának előírásaihoz, de lényeges különbség a realizálás tekintetében volt. Míg a már nemzetközi referenciákkal bíró HÍF mérésügye a szerteágazó feladatokra külön osztályok, szakmacsoportok munkáját alkalmazta, addig a KFGH egyetlen, s – időtávlatokban nézve kényszerűségi okokból – egyre fogyatkozó létszámmal működő osztálya biztosított

ta a zavartalan feladatellátást. A Rádiómérő és Zavarelhárító Osztály (REZO) az alapfeladatokon túlmenően önálló laboratóriumi felszereltséggel, és mérési képességekkel is rendelkezett, melynek jelentőségét a későbbiekben érinteni fogjuk. A sokoldalú feladatokról – melyek egy részének közvetlenül semmi köze a mérőszolgálati tevékenységhez – is önálló ismertetést lehetne írni, de kettőt csak megemlítenénk, mert végül is a REZO elismertségét cégen belül nagyban növelte. Többszöri költözésünk okán, az új telephelyen az odaköltözés napjától biztosítottuk a vezetékes telefonhálózat üzemét, ami azért nem volt egyszerű feladat. Speciális helyzetünknel fogva ez olyan központ kiválasztását, telepítetetését jelentette, ahol a MATÁV szolgáltatásain túlmenően, a HM, BM hálózatát is használni kellett, s ráadásul munkatársanként eltérő prioritási szintekkel. Ez a megtisztelő feladat éppen jelen sorok írójának jutott osztályrészül úgy, hogy a területről elsőnek csupán vázlatos ismeretei voltak. A mérések nem állhattak le, s közben ezzel foglalkozni kellett. A tény pedig az, hogy például az igazgató úr az átköltözés pillanatától tudta használnia fent említett vonalakat. A másik nagy „fegyvertényünk” az egyik telephelyünkön a tűzvédelmi jelzőrendszer megtervezése, telepítése volt. De be voltunk rendelkezve akár áramkörtervezésre, gyártásra is, aminek szintén többször hasznát vette a KFGH, de még később az NMHH is. És ha már a hírnevet említettük, bizony nagyon meg kellett küzdeni a társszervezetek gyakorta lekezelő véleményével, aminek – valljuk be – olykor volt is valóságalapja. Tudnunk kell azonban, hogy a KFGH „ügyfélkörre” annyira szerteágazó hírközlési technikát használ, speciális ismereteket feltételez, hogy azt ilyen kislétszámú, alapvetően mérnöki gárdából álló szolgálat nem volt minden szegmensében kompetens a problémákat kezelni (azaz kellett volna önálló radaros, mikrohullámú, URH-s, léginavigációs, stb. mérőcsoport, de ugye...) Kemény munkával ez a helyzet viszonylag gyorsan változott, majd mikor már a HÍF mérőszolgálatra kért tanácsot bizonyos kérdésekben, akkor tudtuk, hogy helyünkön vagyunk. Erre a már-már baráti szintű együttműködésre is kitérünk a műszerezettséget taglaló szakaszunkban. Visszakanyarodva a fővonalra: a mérőszolgálat folyamatosan végezte hatósági ellenőrzési, mérési tevékenységét, melyet egy-egy jellegzetes példán keresztül mutatunk be. Kiindulási alap pedig szintén a jogszabályi kötelezettség, de ez igaz a polgári célú mérésügyre is, nevezetesen: *A rádiómérés – a mérésügyről szóló 1991. évi XLV. törvény 6. §-ának (1) bekezdése értelmében – joghatással járó tevékenység. A hatóság a rádióméréseket hitelesített vagy használati etalonnal ellenőrzött mérőeszközzel végzi.*

A tevékenysége megvalósulhat hatósági kezdeményezésre, illetőleg kérelemre (bejelentésre) vagy megkeresésre. A napi gyakorlatban alapvetően a hatósági kezdeményezés volt a domináns (a Mérőszolgálati Terv alapján), de a másik két forma is előfordult. A Munkánk kiterjedt a rádiózavar-elhárítással, az ellenőrzéssel, a rádiómegfigyeléssel és az adat szolgáltatással összefüggő, valamint az összeférhetőségi (EMC) mérésekre is.

A hatóság a jogkövető magatartást nem tanúsító szervezetre nézve – szemben a polgári célú mérőszolgálatával – szankcionálási lehetőségekkel alig-alig rendelkezett. Nem elképzelhető, hogy például egy BM URH hálózathoz kizárjunk alkalmazást, készülékeit zároljuk, mert a megyei kapitány kissé „szabadon értelmezte” a frekvencia értékeket, vagy éppen a kisugárzott teljesítményt. Minden ilyen esetben a segítő szándékú rendbetétel volt az együttműködésünk alapja. Persze ha kellett.....mégiscsak a hatóság az hatóság.

A műszerezettség alakulása

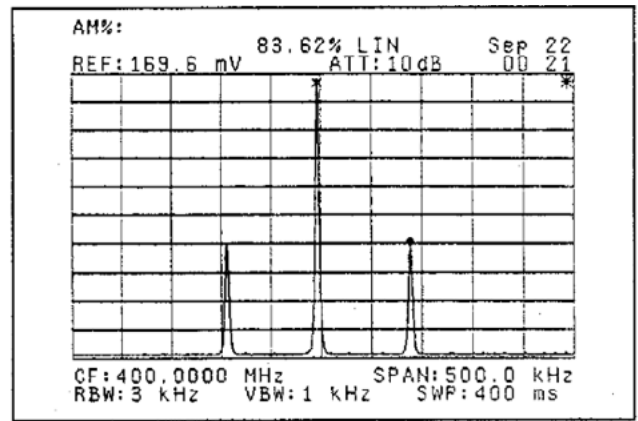
E tekintetben beszélhetünk a „hőskorról”, a dinamikus fejlődésről, majd a korlátokról. Regnálásunk teljes időszaka alatt két mérőkocsival láttuk el feladatainkat, ezeket kellett felszereléssel ellátni, s a telephelyi laborunk kialakítása is megkezdődött. Két beszerzési kritérium döntött el minden beruházást. Az egyik a törvényi előírás, miszerint kalibrált (vagy kalibrálható) eszköz jöhet csak szóba, s a másik, – ami szinte ebből következik, – hogy csak csúcskategóriás műszerparkkal dolgozhattunk. A csúcskategória ez esetben a technológiai kivített jelenti, s nem feltétlenül – de nem is kizárólagosan – a műszer szolgáltatásait. Ugyanis minden a feladat jellegétől függött, vagy másképpen a hivatal milyen mélységig vállalta fel egyes mérési jellemzők hatósági minősítését. A „mankó” minden esetben a kiadott rádióengedély műszaki melléklete volt. Nézzünk erre egy viszonylag későbbi példát! A TETRA alapú EDR (Egységes Digitális Rádiórendszer) rádióengedélye több paraméter mellett előírja az elfoglalt sáv szélesség értékét, de nem foglalkozik például annak vektor jellemzőivel, az már a szolgáltató felelőssége, hogy az megfelel, vagy sem. Viszont a sáv szélesség, mint spektrumgazdálkodási tényező alapvető hatósági kérdés, tehát olyan műszerre volt szükség, amely ezt a paramétert minden kétséget kizáróan, s fejlett technológiai szinten (értsd TETRA maszk opcióval) megállapítja. Így esett a választás ez esetben a Rohde & Schwarz FSL3 típusú spektrumanalizátorára, mely akkor a gyár legfrissebb terméke volt. A maga 3 GHz-es működési tartományával szépen belefért a TETRA sávba, rendelkezett a TETRA szabvány maszkjának opciójával, így az EDR mérések alapműszere lett. Amennyiben olyan gépet veszünk, amely tud emellett még vektorjellemzőket is mérni (például konstellációs ábra), annak költségei – mert az előbbi sem a „filléres” kategória – többszöröse, mint az említett műszeré. Amennyiben pedig mégis szükségessé vált a szűken vett kompetenciánkon kívüli paraméterek mérésére (mert bizony kényszeresen belekerültünk ilyen szituációkba is), akkor jött a HÍF-el (később NHH) kötött együttműködési megállapodásunk igénybevétele. Az ő a miénktől fényévi távolsággal nagyobb költségvetése megengedte a csúcskategóriás drágaságot is, de hát ők nem is tehettek másként.

A másik beszerzési vonulat a biztonság jegyében zajlott, de ott elegendő pontosságú, de nem kalibrált (vagy kalibrálha-

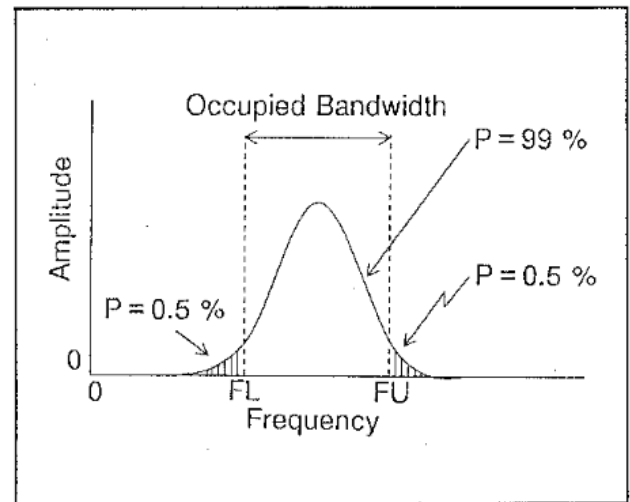
tó) műszerekkel töltöttük fel a műszerparkunkat. Ugyanis nehezen volt elképzelhető, hogy például egy 300 km-es mérési utunk során eredménytelenül járjunk, ha az alpműszerünk történetesen elromlott. Ilyenkor a „másodosztályú” géppel mértünk, s az eredmények láttán eldönthető volt, hogy érdemes-e a mérést „hivatalosan” is megismételni.

De vissza a kezdetekhez! A legelső spektrumanalizátoraink már akkor – lévén kötelezően csúcskategóriásnak kellett lenniük – 26,5 GHz-es mérési tartománnyal rendelkeztek, de a gyermekbetegség jegyeivel. A Rohde & Schwarz gyártmányú berendezés mérőtorony kialakításban három egységből állt, egyenként kb. 30 kg tömeggel. Alul a tápegység, középen a mérőegység, felül a periféria kiszolgáló. Ez utóbira jellemző volt, hogy semmilyen adatmentéssel nem rendelkezett, az eredményeket egy 24 tűs mátrixnyomtató vetette papírra. Időbeli társa egy SNA 23 típusú Wandel-Golterman analízátor (26,5 GHz) volt, immáron kezelhető asztali kivitelben. Már floppy-lemezre tudott ábrákat menteni, de annak a gépnek is megvolt az „Achilles sarka”. Igen érzékeny – és védtelen – bemenete semmilyen DC szintet nem tűrt el, az azonnali halálát okozta. Elképzelhető, hogy például zivataros időben mennyire kényes szituáció volt használata. Utóbbi jelentős sérülékeny volta miatt, többször is meghibásodott, javítását senki nem vállalta, hamar leselejteztek. A HÍF-el kb. egyidőben szereztük be az opcióként már teljes táplálású japán **Advantest U3661** típusú analízátorát. Belső memóriával, hordozhatóságával, és széles frekvenciatartományával (26,5 GHz) sokáig meghatározó mérőműszerünk volt. Fontossága okán kicsit be is mutatnánk a „hőskornak” ezen kiemelkedő típusát. A bemutatás nem jó kifejezés ide, hiszen a 460 oldalas (!) gépkönyvből csak egy-két momentumot ragadunk itt ki, amiből talán ki lehet érezni, hogy a műszer megismerésével egy egész szakmát meg lehetett tanulni. A kényelmes kezelőfelületű, színes képernyőjű műszer nagy erénye, hogy akkumulátoros üzemi is lehetett, terepi használatra ideális volt. Olyan beépített mérési paten- tokkal rendelkezett, melyek nagyban megkönnyítették a mérések menetét. Csak példának okáért:

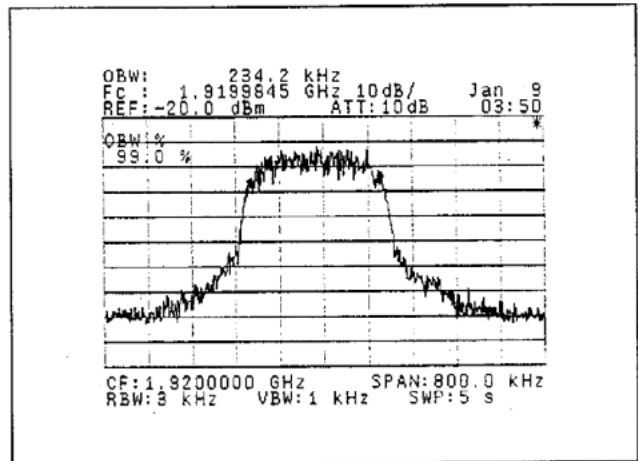
- harmadrendű intermodulációs torzítás meghatározása,
- AM modulációs mélység pontos mérése (3. a ábra),
- elfoglalt sáv szélesség meghatározása különböző normák alapján (3.b, c ábra),
- szomszédos csatornás teljesítmény (ACP) mérése,
- jelteljesítmény mérés.



3.a ábra



3.b ábra

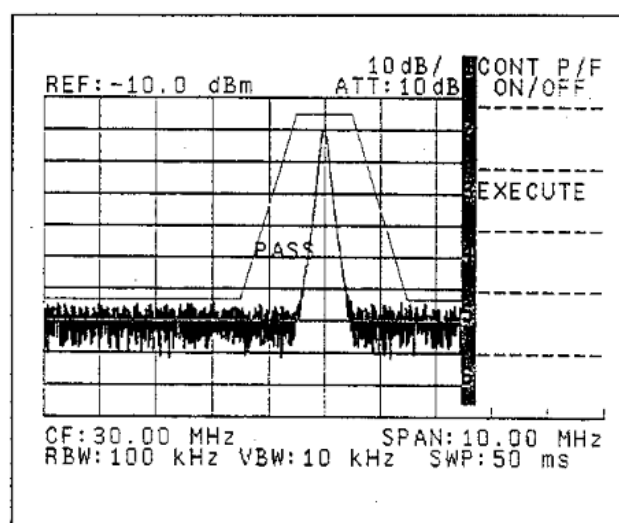


3.c ábra

Lehetőség volt mérési maszk szerkesztésére, amivel a „megfelelt-nem felelt meg” besorolást előre lehetett definiálni (3.d ábra). A szokásos demodulációs rutinon kívül rendelkezett (opcióként) TV vételi monitorozásra mindhárom színes TV rendszer tekintetében (NTSC, PAL, SECAM). Talán nem véletlen ezek után, hogy a műszert a polgári mérésügyi oldal is igen kedvelte. És ha még a követőgenerátor opciót is megvásárolta valaki, akkor egy egész labor birtokában le-

hetett. Elvégezte saját önkalibrációját, a teljesítmény mérés-kor betáplálható volt a használt antennatényező értéke is. Egyszerűen kívánni nem lehetett akkor jobbat. A spektrumanalizátoroknál ma is fontos jellemző adat a DANL értéke. Az U3661 estében ez előerősítője nélkül tipikusan -110 dBm, előerősítőjével -132 dBm, igaz ez utóbbi esetben csak 9 kHz-től 3,2 GHz-ig. Mindezek az értékek persze az elfogadott RBW= 1kHz, VBW= 10 Hz, Att.= 0 dB beállítás esetén. Ma már ezek az értékek közepesnek mondhatók, de akkor csúcsteljesítmény volt. A fejlődés sajnos egy ponton nagyon hamar leamortizálta ezt a nagyszerű műszert, ugyanis az adatmentést egy speciális memóriakártyára (PCMCIA rel.2.0) végezte, amit már kiolvasni is bűvészet volt, de a kártya hamar „törlődött” az elektronikai palettáról. Pótolni már nem lehetett, nélküle meg szinte semmit nem ért a nagy tudása. Egyéb más okok miatt is ő is selejtezésre került. Az újabb beszerzésük után nyilván követték a rohamos technológiai fejlődést, bár a megcélzott 26,5 GHz-es felső frekvenciahatár még sokáig maradt. A műszerek programozhatóká váltak, segítvén az automatizált méréseket, a DANL értékek szédületesen javultak, az értékek kép és/vagy adat formátumban USB hordozón álltak rendelkezésre, stb. A szolgálatunk regnálásának a vége felé kb. 100 mérőműszerrel, vagy azzá tehető berendezéssel rendelkezett. A 4. ábra a leltári excel táblázat első 20 sorának tételeit mutatja arra példának, hogy a csúcskategóriás műszerek fokozatos beszerzésével alapvetően nagy gondot vett magára a mérőszolgálat. Mert annyi anyagi forrás sosem volt egyszerre, hogy mondjuk egy generációváltás minden fronton, egységes platformon végrehajtható legyen. Így aztán különböző évjáratokban, különböző gyártóktól (persze a piaci vezetőktől, mint a Rohde & Schwarz, Hewlett-Packard (később Agilent), Tektronix Marconi, Philips, Anritsu, stb.) szerez-

tük be a műszereinket. És a „baj” éppen ezzel volt. Az előbb utaltunk az Advantest gépkönyvének oldalszámára. A többi sem volt külön, és persze azokat már CD formában mellékelte a gyártó. Nos, ahány gyártó, annyi gondolatmenet, rendező elv, már ami a műszerek menürendszerét illeti. Ezt a széles választékot fejben tartani képtelenség folyamatosan, pláne ha ez csupán a két fős mérnöki, és két fős technikusai gárdára testálódik. Így egy-egy mérési felkészülésre „némi” ismeretfelidőzésre mindig szükség volt. A sugárzott mérések megfigyelő fő hiteles műszercsaládja a mérővevők. Ezekből is generációnként beszereztünk, de vezető „pozícióban” ebben a műfajban is a Rohde & Schwarz volt, korábban az ESN30, majd az ismert EB200-as mérővevőjével.



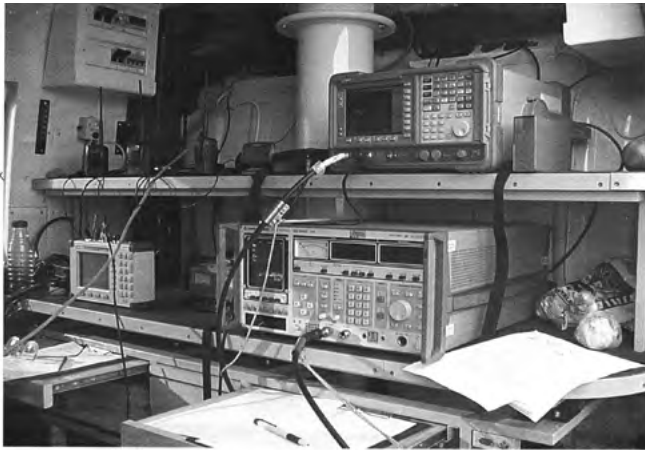
3.d ábra

MŰSZEREK						
Eszköz megnevezése	Gyártó	Gyári szám	Feszültség igényelhetőség	Áramfogyasztás	Funkciók, főbb paraméterek	1
1. FSL3 Spectrum analyzer 3C	Rohde & Schwarz	100506 (Material Nr 1300 2502K13)	230 V AC/ belső akku/ 12V DC	125 VA	Frekvencia spektrumkép kiértékelés. TETRA mérési opció. Adatmentés: saját memória, USB csatlakozóval külső memóriára (pendrive) 9 kHz-3 GHz EDR vizsgálóra	2007.03.01
2. Advantest U3661 Spektrum analízátor		83140746	230 V AC/ 12V DC	120 VA/ 70W	Frekvencia spektrumkép kiértékelés. Adatmentés: saját memóriakártya (SRAM 2 MB) 9 kHz-26,5 GHz	1999.08.01
3. Agilent E7405A Spektrum analízátor	-ATO-4282	US 41160419	230 V AC		Frekvencia spektrumkép kiértékelés. Adatmentés: saját memória és/vagy floppy lemez. 9 kHz-26,5 GHz kiterjesztve 26,5 GHz-40 GHz	2002.08.01
4. Anritsu MS 2711 D S Spektrum analízátor		442003	230 V AC/ 12V DC		Frekvencia spektrumkép kiértékelés. Adatmentés: saját memória 100 kHz-3 GHz	2004.09.01
5. Anritsu S331D Antenna			230 V AC/ 12V DC			
6. LPT-2250 Spektrum		12136	230 V AC	0,5 A	Frekvencia spektrumkép kiértékelés	
7. LPT-2250 Spektrum analízátor ADAPTER		51170	12V DC		Frekvencia spektrum figyelése oszcilloszkópon történő képmegjelenítéssel	
8. SNA-23 Spektrum analízátor		E 0023	230 V AC	400 VA	Frekvencia spektrumkép kiértékelés	1996 R&S-nak beszámítással leadva 2008?
9. EB-200 mérővevő	Rohde & Schwarz	835445/004	230 V AC/ 10-30 V DC		10 kHz-3 GHz	
10. Videó- Tv jelmérő analízátor		No.: 02667	230 V AC/ belső akku/ 12V DC (szivargyújtás)		Mérési tartomány: 140 MHz-525 MHz	
11. Antenna és Koax analízátor		No.: 00046	12V DC vagy 9 dB AA elem	800mA		
12. SMP 02 Szignál generátor		1036 500602	230 V AC			
13. Marconi 2018A Szignál generátor	Marconi Instruments LTD	118462/ 014	230 V AC	175 VA	Mérési (kimenő jel) tartomány: 80 kHz-520 MHz	
14. IFR 2023B Szignál generátor	IFR (Marconi)	2022302/616	230 V AC		Mérési (kimenő jel) tartomány: 9 kHz-2050 MHz	
15. HP 5348A Frekvencia és szintmérő	Hewlett Packard	3009A00704	230 V AC		Mérési tartomány: 10 Hz-26,5 GHz	
16. ESN 30 Mérővevő 1027.3007-30	Rohde & Schwarz	830 599/009	230 V AC/12-24 V DC	155 VA/ 1000 W	Mérési tartomány: 9 kHz-2050 MHz	
17. Wavetek 4015 Stabilitok URH teszt	Schlumberger	1089605	230 V AC/12-24 V DC/Belső akku	90W/80W	URH adó-vevők komplett bevizsgálására és javítására szolgáló célműszer. Mérési tartomány: 0,4 MHz-1000 MHz	
18. Wavetek 4015 Stabilitok URH teszt	Schlumberger	1089755	230 V AC/12-24 V DC/Belső akku	90W/80W	URH adó-vevők komplett bevizsgálására és javítására szolgáló célműszer. Mérési tartomány: 0,4 MHz-1 GHz között	
19. M 2100 Wavetek URH teszt	Schlumberger	9198068	230 V AC/ 12 V DC	130 VA/ 80 W	URH adó-vevők komplett bevizsgálására és javítására szolgáló célműszer. Mérési tartomány: 400 kHz-1 GHz között 100 Hz-es lépésekben	
20. Függvénygenerátor CFG 253		TW 56164	230 V AC	30 VA	Rádiókészülékek átviteli technikai vizsgálatához szükséges moduláló jelgenerátor. Négysszög, háromszög és szinusz jelképzés+ sweep funkció. Jeltartomány: 0-3 MHz. Kimenőjel kiterjedése max. 20 V p-p	

4. ábra

A hatósági mérések nagy többségét az URH tartományban vezetett módon végeztük, alapvetően egy műszer telitalálatát: a Wavetek 4015 Stabilock komplex URH mérőműszerével. Hitelesen minden „varázslatra” képes volt. Természetesen minden, az előbbi táblázatunkban szereplő profi gépnek volt jó minőségű, de alacsonyabb kategóriájú társa is az előzőek okán.

Volt egy fontos sajátossága még a műszerekkel kapcsolatos mérőszolgálati tevékenységünknek, nevezetesen: a két mérőkocsi nem specifikus (például iránymérő, URH, stb.) felszereltségű volt, hanem egyszerűen alpból üres. Azokat minden egyes mérési feladathoz „feltöltöttük” az éppen használni kívánt műszerparkkal. A kocsikban alapfelszerelésként csak a pneumatikus antenna árbóc a vezérlőjével, a szünetmentes tápegység, valamint a szinuszos feszültség-inverter kapott helyet. Egy jellemző kiépítést mutat az 5. ábra.



5. ábra

A KFGH több mérési kategóriát egyszerűen személyi kapacitás és finanszírozási akadályok miatt nem tudott felvállalni, így például rádióiránymérés, speciális zavarkivizsgálás vagy éppen nagy sebességgel történő, mérőkocsi térerőmérés. E tekintetben az NHH szolgáltatását, nagy ritkán a műszergyártó (például a Rohde & Schwarz) készségét vettük igénybe. Míg az előbbi közös megállapodás, az utóbbi a mérőszolgálati személyes jókapcsolatok kérdése volt. Dacára ennek a ténynek, működésünk végén elkezdtük kiépíteni a rádióiránymérő lehetőségünket is, a hazai Sagax Kft SDF-3000 típusú rádióiránymérő berendezésének megvásárlásával. Ugyancsak az utolsó időszak beszerzési lépése volt a mérési tartományunk 40 GHz-re történő bővítése, aminek az alapgépe az Agilent E7405 típusú spektrumanalizátora volt. Mindkét utóbbi lehetőségnek már nem volt kifutása, a két mérőszolgálat egyesülése okán, amikor is új fejezet kezdődött a nem polgári célú mérésügyi tevékenység munkájában.

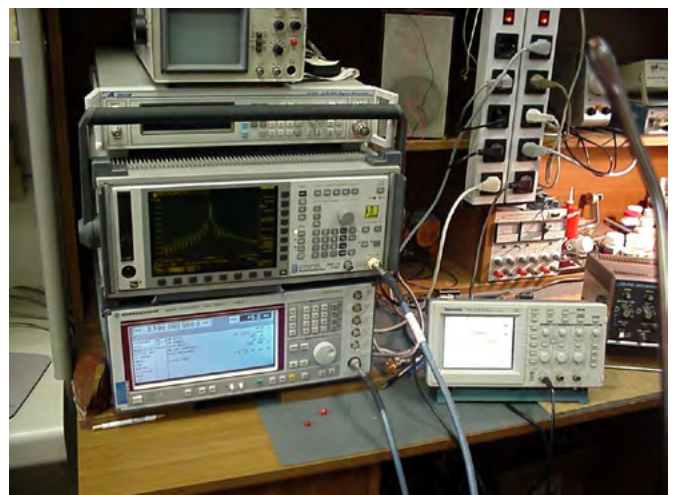
A laborunk

Az előzőekben áttekintést adtunk a kivonuló mérési eszközparkunk egyes beszerzési fejezeteiből, a hozzárendelhető an-

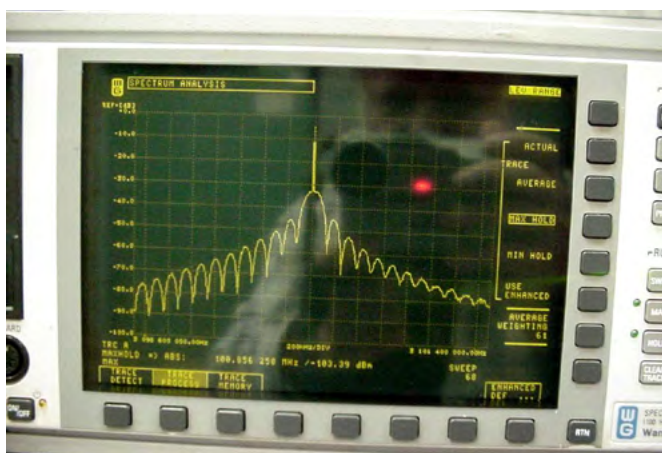
tennakészlet taglalása nélkül (annak itteni bemutatása már tényleg nagyon messzire vezetne). Ugyanakkor a REZO – vezetői támogatással természetesen – kialakította saját általános elektronikai, rádiótechnikai célú laboratóriumát is. A labor egyben egyfajta karbantartási, gyártási műhelyként is szolgált, így számos „mellékfeladatot” fel tudott vállalni. Az Olvasó még csak véletlenül se keressen, vagy tegyen hasonlatosságot a társszerv (NHH) ma már milliárdos értékű, külön osztályként működő mérőlaboratóriumával. Más cél, más lehetőség. Méréstechnikai tekintetben RF műszerek, mint például jelgenerátor, digitális oszcilloszkóp, impulzusgenerátor, antennaanalizátor stb. képezték a fő irányvonalat. Ezek is általában csúcskategóriás, kalibrált gépek voltak a fentebb megismert beszerzői forrásokból. Mint ilyenek ezért olykor „bevetthetők” őket például az NHH-val való közös EMC mérésekkor is. Segítségükkel végeztük el műszerparkunk egyszerűsített, időközi saját kalibrálását. A 6. ábra a Szerző szobájának egy részletét mutatja, mely egyben a laborunk első fele volt. Gyakorta segítséget jelentettek egyes mérésekre történő felkészülésnél. Nézzünk erre is egy példát! Történetesen EMC mérésekre készülve egy lokátorjel szimulációjára volt szükség. „Némi” tanulási folyamat után hamar összeállt a mérési elrendezés (7.a ábra), s az eredmény meg magáért beszél (7.b ábra).



6. ábra



7.a ábra



7.b ábra

A labor másodlagosan előkészítő, karbantartó, olykor gyártó funkciót is ellátott, s ehhez igazodott a beszerzések másodlagos vonulata. Így rendelkezünk például tápegységekkel (Rohde & Schwarz), asztali és kézi digitális multiméterrel, oszcilloszkópokkal, forrasztó állomással, de ide soroltuk az egyes rádiószolgálatok kézirádióit, termináljait is. Elmondhatjuk, hogy az URH tartományban nem volt olyan frekvencia, ahol adni-venni ne tudtunk volna. Így például az adott sáv alatti kódokat (CTCSS) ismerve bármely átvészoló állomást indításra kényszeríthettünk, ellenőrizve a kisugárzást, persze így az üzemeltető tudta nélkül (erre szintén létezik jogszabályi felhatalmazás). Látjuk, azért volt némi „visszatartó ereje” a szabálytalan működésnek.

Ugyancsak a labor felszereltségével volt lehetséges a mérőkocsik helyileg megoldható karbantartása, elemi szintű javítása (akkumulátor kondicionálás, világítás megjavítása stb.), de nem okozott gondot a sérült antennakábelek megjavítása sem. (Ez utóbbi esetben persze az antenna kalibrálás során a csillapításmenetet, a reflexiót, stb. fel kellett venni, de ez műszereinkkel kivitelezhető volt.)

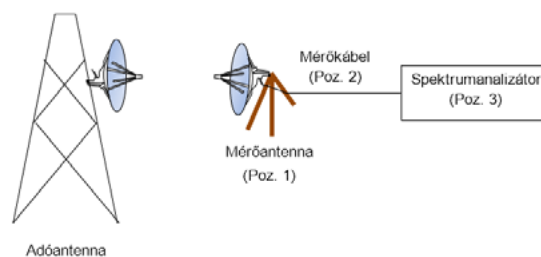
A feladatokról

A munkavégzés tipikusan az éves mérőszolgálati terv alapján, s mentén folyt, de felkérésre, (zavar)bejelentésre soronkívüliség minden évben előfordult. Aztán a generációváltás a legtöbb felhasználónál beszüntette az analóg URH alkalmazását, s a TETRA alapú digitális sugárzás korszaka kezdődött (részletesen lásd Rádiótechnika 2006/11,12 és 2007/1). Ez azonnal azt hozta magával, hogy a vezetett mérések helyett a sugárzott mérésekből kellett kihozni a biztosat (lásd a műszerbeszerzést). A szolgáltató, a mérőszolgálat együtt „tanulta” az új módit, majd az eredményeink igen hasznosak voltak a működési anomáliák (mert azok voltak bőven) felderítésében. Jelentősen megszaporodtak a pont-pont közötti mikrohullámú összeköttetések vizsgálatai, ugyancsak sugárzott jellemző alapján. A legutóbbi időszakból vett első példánk ezt mutatja be vázlatosan, csupán a technikai kivitelezésre szorítkozva.

Mikrohullámú mérések (lépésről-lépésre):

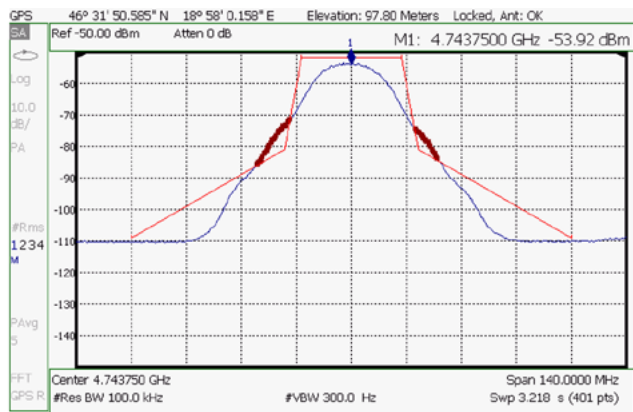
1. A jogi háttér (példa): A hatósági ellenőrzéseket a 279/2001. (XII. 23.) kormányrendelet 4. § (3) bekezdésének d) pontja, valamint a 8/2003. (II. 20.) HM rendelet 23. §-a rendelte el.
2. A mérendő adatok (anonim): mikrohullámú összeköttetés A-B pont között, 4,7 GHz-es frekvencián.
3. A mérési összeállítás (8. ábra)
4. A mérési körülmények: a vizsgált sugárzó felszerelési magasságától, feltételezett sugárzási karakterisztikájától és a terep adottságaitól függően, az adótoronytól megfelelő távolságban, magasságban és sugárzási irányban háromlábú állványra helyezett, vertikális polarizációba állított mérőantennával mértük az adó antennájáról kisugárzott mikrohullámú jel melléknyalóját. A helyszín kiválasztásánál – figyelembe véve az adóantennák felszerelési magasságát, a terep adottságait és az egyéb körülményeket – törekedtünk a lehető legnagyobb dinamik tartomány elérésére.
5. A mérésnél alkalmazott szabványok: (joghatóság mérésnél itt kötelező a szabvány alkalmazása)
 - A 28 MHz csatornaosztású 16QAM modulációs jellemzővel rendelkező összeköttetéseknél az ETSI EN 302 217-2 V3.2.0 szabvány 4.2.3.2 pontja 3e. táblázat, Class 4L, 28 MHz csatornaosztás, min 64 Mbit/s adatátviteli sebesség szerinti sora alapján.
 - Az RF spektrummaszk méréseknél használt spektrumanalizátor beállításokat az ETSI EN 302 217-2 V3.2.0 szabvány 5.2.3 pontja 7. táblázat szerint alkalmaztuk
6. Az eredmény (magyarázattal): 9. ábra.

Mérési összeállítás és a mérések eszközei



Poz.	Típus	Megnevezés	Gyári szám
1	R&S HL 050	Parabolaantenna	100 101
2	Pasternack PE319-72	Mérőkábel	009 4911
3	Keysight N 9962 B	Spektrumanalizátor	MY62151349

8. ábra



9. ábra

Annak érdekében, hogy a vizsgált adóberendezés által sugárzott hasznos jel és annak közvetlen környezete az ETSI EN 302 217-2 V3.2.0 szabvány 4.2.3.2 pontja 3c. és 3e. táblázat szerint szerkesztett maszk alapján a teljes jelszint tartományban vizsgálható legyen, 55 dB-nél nagyobb jel/zaj viszony, valamint a szomszédos csatornák zavarmentessége lenne szükséges. A felvázolt vizsgálati körülmények miatt nem volt lehetőség a dinamikatartományt a maszk teljes jelszint tartományához igazítani, de az adott ábrákból így is megállapítható, hogy a vizsgálható tartományban a **mért jel túllépi a szabvány szerint szerkesztett maszkot**.

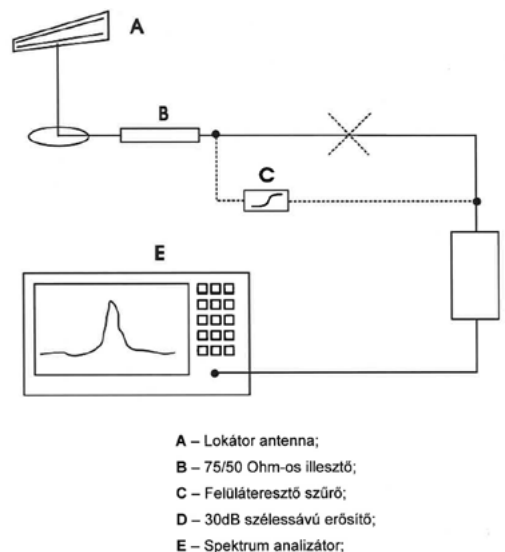
A zavarkivizsgálás

Talán a „legizgalmasabb” területe a mérőszolgálati tevékenységnek, melyre sajnos – az előzmények okán – a KFGH nem tudott berendezkedni olyan mélységben, hogy a komplikáltabb eseteket önállóan le tudta volna kezelni. Az ilyenkor szokásos (értsd: megállapodás szerinti) együttműködés az NHH mérőszolgálatával mindig tanulságokkal szolgált, s legtöbbször megoldást is hozott. Minden vélt vagy valós zavarás esetén a feltárt problémákra a Mérőszolgálat megoldási javaslatot is tett a problémák rendezésére. Nézzünk erre egy példát 2006-ból!

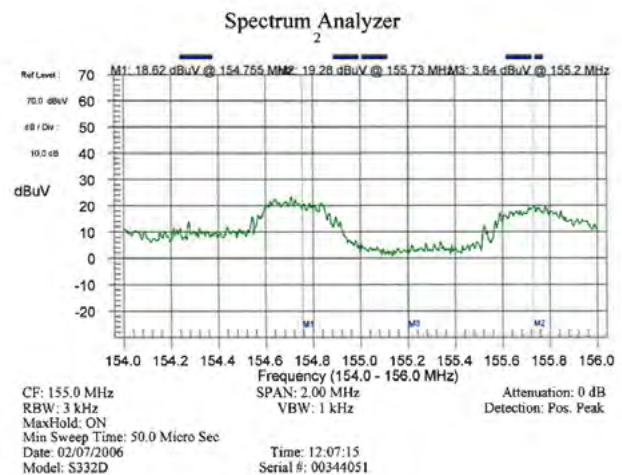
Egy 154-156 MHz tartományban üzemelő honvédségi lokátor történt ért közepes intenzitású, folyamatos zavar kivizsgálásnak tárgyában tett bejelentést az üzemeltető. Feltételezve az iránymérés szükségességét az NHH-val közös mérésekre került sor a fenti bejelentés alapján.

A zavar leírása. A 154-156 MHz tartományban adó és vevő lokátor képernyőjén, É-ÉNY irányban 330 fokra közepes intenzitású, kis nyílásszögű folyamatos jel tapasztalható. Ugyanez ellentétes irányból (150 fokos) szintén jelen van, de gyengébb intenzitással. A többfordulós mérési alkalom elején, a lokátor üzemén kívül helyezésével, folyamatos útvonal bejárással az EB 200 iránymérő vevő idegen jelet nem regisztrált a kérdéses frekvenciaértéken. A lokátor saját antennájáról történő mérésekre először nem volt mód az

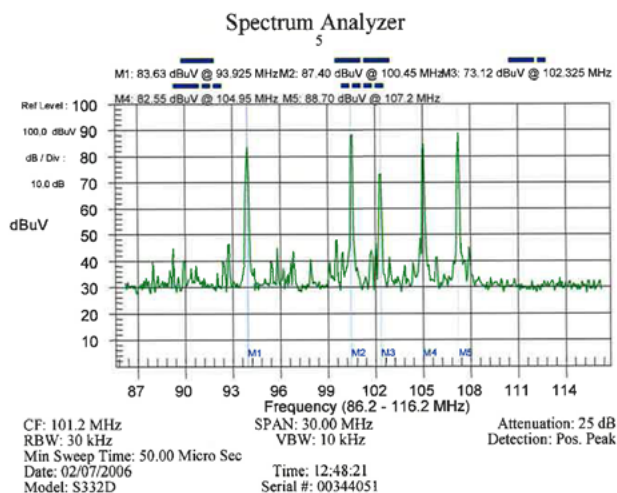
antenna és a spektrumanalizátor illesztéséhez szükséges átmenet hiányában. Ezt később a KFGH biztosította, így a 10. ábra szerinti mérési összeállítás szerinti vizsgálat meghozta az eredményt. A lokátor saját antennájával történt vizsgálat már kimutatta a bejelentett jelenséget (11. ábra). Előzetesen vélelmeztük, hogy a jelenséget a műsorszóró adókból származó vevőoldali termékek okozzák. A feltételezést a CCIR URH sávra hangolt felüláteresztő szűrő beiktatásával validáltuk. A 11. ábra a szűrő nélküli helyzetet mutatja, amiből kiérezhető, hogy a radar vételi frekvenciájának tartományában, ill. annak környezetében kevert termékek vannak. A beiktatott szűrővel a jelenség nem állt fent. A teljes spektrumban található nagyszintű jelek vizsgálata alapján megállapítható volt, hogy ezek többek között a kab-hegyi műsorszóró adóktól származnak (12. ábra) A vizsgálat eredménye: a megnevezett frekvencián folyamatosan jelentkező zavar nem külső eredetű, azok valamilyen kevert termékek, melyeket a rendszerbe iktatott előerősítő állít elő. A lokátor előerősítőjébe épített szűrő feltehetően meghibásodott. Azt a miénkkel (a mérés idejére) pótolva a „zavar” megszűnt. Javaslat a megoldásra: az ilyen lokátorokhoz rendszeresített, működőképes szűrő vagy megfelelően kihangolt kettős üregrezonátor használata.



10. ábra



11. ábra



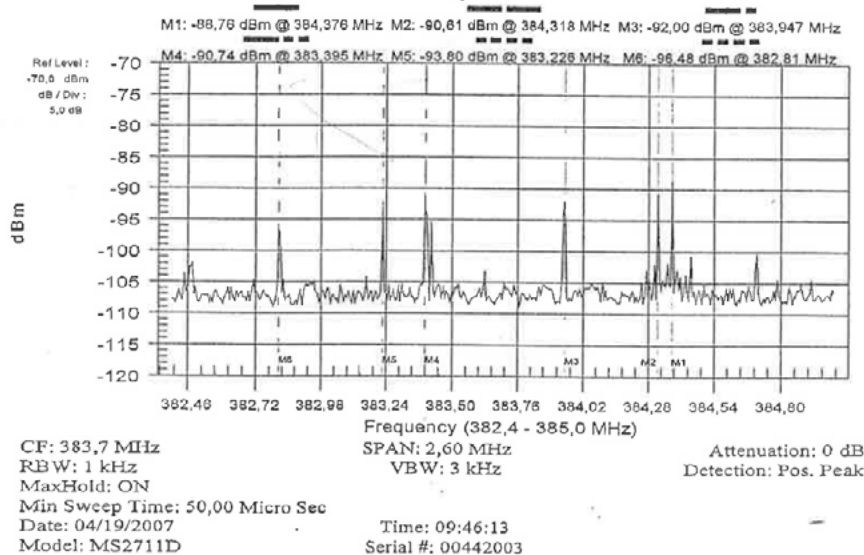
12. ábra

Zavarkivizsgáláshoz kapcsolódó rendszertechnikai mérések

Az EDR viszonylatában (is) felmerült ilyen típusú vizsgálatnak szükségessége. Üzemeltetői adat, hogy az EDR rendszer felmenő ágát már igen kis jelszintű (-140 dBm!) rendszeridegen jelek zavarhatják. Ennél sokkal nagyobb, de rádiótechnikai értelemben kis szintűnek nevezhető jeleket számtalan jelforrás sugározhat például úgy is, hogy saját szabványos sugárzási szintjén belül marad (például kábel TV). A

helyzet tisztázása céljából az üzemeltető a kábel TV jelek rendszerre gyakorolt hatásvizsgálatát kezdeményezte és kezdte meg (2007) a KFGH és az NHH bevonásával (ez nem azonos egy EMC vizsgálattal). Egyébként a zavarás ténye és a zavarójel jelszintküszöbe elméleti úton is levezethető az azonos csatornás jel-zaj viszonyra vonatkozó előírás értékéből és az EADS TETRA rendszer által biztosított, a gyártó által specifikált érzékenységi értékből. Ez a számított érték -141 dBm, tehát volt „némi” valóságalapja a mérések kezdeményezésének.

És ha már kisszintű jelek. Sajátos tapasztalat, hogy a gépkocsiban (így a mérőkocsikban is) alkalmazott helymeghatározó rendszer (GPS) vevőit jelentős zavarforrásnak kell tekinteni. Az általuk termelt zavarjelek mind a 150 MHz-es, mind a 380 MHz-es tartományban jelentkeznek. Az LCD-s műszerek – minden CE jelölés ellenére – szintén saját maguk is termelnek RF jeleket, amelyeket aztán a közeli antenna szintén hasznos jelként „értékel”, és a műszer mintegy „saját magát méri”. A valószínű ok az LCD-t tápláló nagyfeszültségű kapcsolóüzemű fokozat működése lehet. A 13. ábra a KFGH Anritsu LCD-s analizátorának saját jelét és a GPS vevő „zavarjeleit” együttesen mutatja. Jól látható, hogy az előző tényeket nem ismerve és csupán a szintértékekre hagyatkozva valamennyi jel zavarójelként értelmezhető lenne (lásd az előbbi zavarási példáinkat). Okai persze megvannak, figyelmes antennaelrendezéssel a hatások eliminálhatók.



13. ábra

EMC mérések

Az egyes rádiószolgálatok egymás melletti működésnek (összeférhetőségének) megállapítása, illetve biztosítása biztonsági, gazdasági érdekeket sérthet, így a vizsgálati eredmények hitelességét egyik fél sem kérdőjelezheti meg, hiszen azok esetleges jogi következményei mindenki számára kötelezőek. Nem véletlen ezek után, hogy az ilyen típusú vizsgálatok már az előkészítési fázisban is nagy felelősséget testáltak az abban résztvevőkre. Voltak kisebb jelentőségű összeférhetőségi vizsgálataink, „könnyen” rendezhető kérdésekkel, de a két mérőszolgálat életében talán a minden idők legnagyobb figyelmét övező EMC mérési sorozata a 2000-es évek elején egy nemzetközi projekt keretében történt. A magyar (akkori HIF, KFGH, BME), litván, német, lengyel társigazgatások együttes vizsgálatának tárgya az RSZBN légi rádió navigációs rendszer földi távolsági vevőberendezés érzékenységének és a DVB-T adásokkal szembeni védettségének mérése volt.

Az RSZBN Magyarországon is (volt) használatos katonai légi rádió navigációs rendszer, segítségével a látóhatáron belüli repülőgépek meghatározhatták földrajzi koordinátáikat a földi bázisállomáshoz képest.

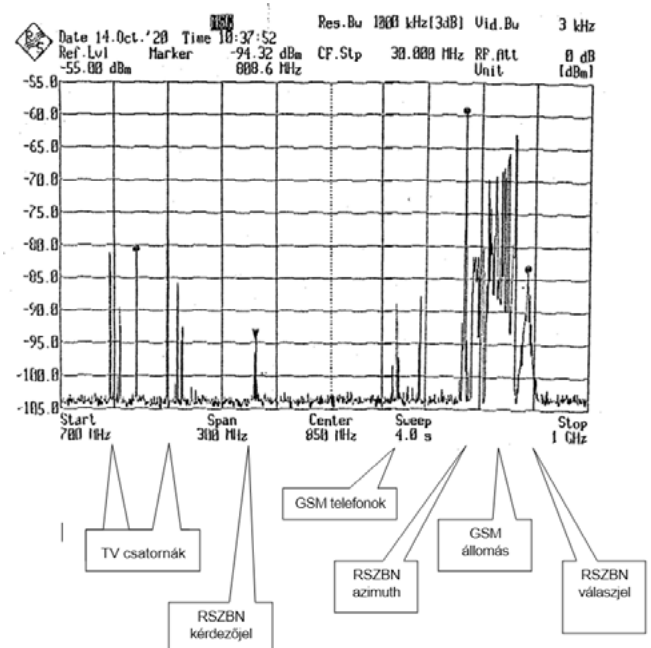
A rendszer funkciója szerint két fő részre bontható:

- az oldalszög, illetve
- a távolság meghatározása.

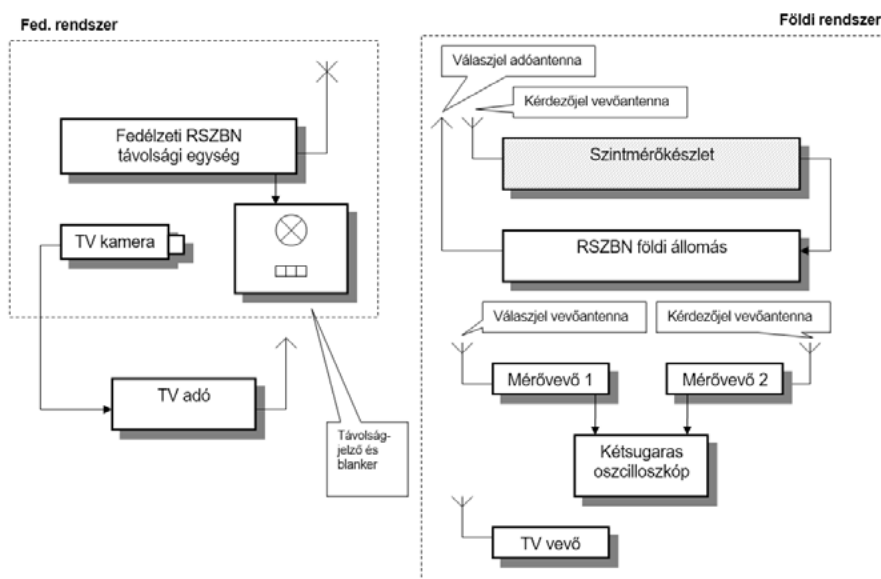
A vizsgálatok során a távolságmérő alrendszer földi vevőrendszerének mérésével foglalkoztunk. A védelmi érték vizsgálatánál valamilyen más rádiószolgálat által létrehozott jellel – zavarral – számolunk. Az RSZBN távolsági csatorna földi vevőjének mérésénél zavaró jelnek a földfelszíni digitális műsorszórás (DVB-T) sugárzott jeleit tekintettük. Az RSZBN távolsági csatorna kérdező frekvenciáit az 58-64

TV csatornák adói (766 – 822 MHz között) zavarhatták. A hazai RSZBN földi vevők frekvenciái csak a 62-es illetve 63-as TV csatorna sávjába estek. A zavarhatás szempontjából azonban figyelembe kellett venni a szomszédos TV csatornákat is, így a vizsgálatokat 61 – 64 TV csatornák közötti tartományra végeztük el.

A vizsgálat idején mért kérdéses spektrumállapotot a 14. ábra szemlélteti. A közel 100 oldalas elfogadott lezáró dokumentum (jegyzőkönyv) tartalmát itt nem részletezzük, viszont a 15. ábrán bemutatjuk a rendszerérzékenység, illetve védelmi érték meghatározására szolgáló mérési összeállítását. Az ábra baloldali tömbjeinek kidolgozása pedig a KFGH mérőszolgálat érdeme volt, amiért az események végén szakmai elismerésben részesült.



14. ábra



15. ábra

A távlatok

Itt elsősorban azokra – elsősorban újkeletű műszaki – körülményekre utalunk, melyekre az eredményes mérési tevékenységek során figyelemmel kell lenni. A legnagyobb kihívás az, hogy a technika gyorsabban fejlődik, mint a mérésügyi szabványok és módszerek, ezért a szakembereknek folyamatosan új megoldásokat kell keresniük. A nagyértékű berendezések beszerzése nem minden esetben tartalmaz olyan szintű képzési támogatást, amely elegendő lenne a későbbi üzemeltetéshez, és e tekintetben a polgári oldal – bár az ő „panaszkodásuk” is jogos – talán jobban áll. A műszaki fejlődéssel a spektrumanalízissel kapcsolatos követelmények is változtak, például azért, mert a modulációs technikák is fokozatosan egyre bonyolultabbak lettek. A vezeték nélküli hírközlés egykoron az „egyszerű” folyamatos amplitúdó- és frekvenciamodulációs technikát ismerte, használta – ez ma

már sokkal bonyolultabb. Az információt az idő-, frekvencia- és kódtartományban szétterítő modulációs technikákkal találkozunk (például WLAN, OFDM-rendszerek a műsor-szórásban, RFID, CDMA-rendszerek, LTE, 5G, stb.). Ezek analizésére már nem elegendő egy átlagos (szuperheterodin rendszerű) analízátor, valósidejű analízis szükséges. Egy korszerű, FFT-re épülő spektrumanalízátor „elemi szolgáltatása” olyan jelek vizsgálata is, amelyek időben multiplexáltak, frekvenciaugratásosak, vagy éppen szándékosan véletlenszerűek. Szintén újkeletű probléma az elektronikai hadviselés néhány új szereplőjének (például a drónok) frekvenciagazdálkodási és mérésügyi „lekezelése”. A mérések során nagy mennyiségű adat keletkezik, amelyet modern algoritmusokkal (például AI, „Big Data” módszerek) kell feldolgozni. Lehetne még tovább sorolni a (mérés)technikai kihívásokat, melyekre bizony a jelen, s jövő mérésügyi szakembereinek nem kis szellemi és anyagi befektetéssel kell felkészülniük.

UTÓSZÓ

Reméljük, az elmúlt oldalakon sikerült méltó áttekintést adnunk nemcsak a hazai rádió-műsorszórás (remélhetőleg első) 100 évéről, hanem a modulációk és a szakterületi mérés technika fejlődéséről is. Tettük mindezt a teljesség igénye nélkül, például a hazai meghatározó gyárak, tudományos műhelyek (Standard, Magyar Philips Művek, BHG, BRG, Videoton vagy Orion, hogy csak néhányat említsünk) csak közvetetten fordulnak elő hasábjainkon, külön cikkben nem értekeztünk róluk. Mindezek ellenére így is jól érzékelhető, hogy nemcsak a múltban, hanem a jelenben is világ színvonalú a magyar műsorszórás eszközparkja és szakembereinek felkészültsége.

A jövőt illetően nehéz jóslatokba bocsátkozni. A közhangulatot ma az a nézet uralja, hogy a hagyományos műsorszórásnak, különösen pedig a lineáris tartalomszolgáltatásnak előbb-utóbb vége lesz és a mobilhálózatokra épülő információközvetítés ural majd mindent. Erre röviden annyit jegyeznénk meg, hogy az MTV 1981-ben a „Video killed the radio star” című dallal kezdte meg működését; akkoriban mindenki a rádiózás végét látta a televízió térhódításában, és lám, négy évtized elteltével belső szakmai körökben ma sokan úgy vélik, hogy a rádiónak van nagyobb esélye az életben maradásra a televízióval szemben – sőt, esetleg újra reneszánszát élheti majd...

A fentiekben már utaltunk rá, hogy nemcsak a múltunkra, hanem a jelenünkre is büszkék lehetünk. A Rádiótechnika e jubileumi különszámának megjelenésekor, azaz 2025. december 1-jén két elhivatott szereplő – hacsak egy napra is – egy-egy digitális rádióadással tiszteleg az elmúlt 100 év előtt: Karakas Róbert magánszemélyként DAB+ jeleket sugároz („egyébként” a 4iG Infrastruktúra Kft. – volt Antenna Hungária munkatársa), a SZOMEL Kft. pedig rövidhullámon DRM-jeleket. Köszönet illeti a 4iG Infrastruktúra Kft-t, amiért lehetővé tette a betelepülést a Budapest Széchenyi-hegyi adóállomásra. Reméljük, ez a két rövid adás egyúttal a hazai digitális rádiózás feltámadásának előszele is!

Híd a kultúrák között • Szakértelem a technológiák mögött

SZOMEL

fordítás-tolmácsolás • híradástechnikai tervezés/tanácsadás

center@szomel.hu