

A műholdas műsorszórás

PRIBELSZKY GYÖRGY
ESZTÓ PÉTER
DR. HETÉNYI LÁSZLÓ TKI

A műholdakkal, mint retranszlátor állomásokkal történő tv műsorszórás gondolata már a II. világháborút követő években felmerült. Ez a gondolat a rakétechnika polgári alkalmazásának majdani lehetőségéből adódott. Azóta már számos idevonatkozó kísérlet valósult meg és jelen napjainkra vonatkozhatjuk a gyakorlati műholdas műsorszórás elterjedésének kezdetét.

Mostani közleményünkkel a műholdas műsorszórás nemzetközi helyzetébe kívánunk betekintést adni, mivel bizonyos felkészültséggel kell fogadnunk a számunkra is majdan kínálkozó lehetőségeket, illetve tisztában kell lennünk azzal, hogy melyek a megvalósítást gátló tényezők. Egy későbbi közlemény keretében a műszaki megvalósításról is szólni kívánunk. A következőkben összefoglaljuk a témában vezető államok kísérleti és üzemi tevékenységét a műholdas műsorszóró rendszerek területén.

A Szovjetunióban 1977-től kezdve működik műholdas műsorszóró rendszer. A nagy kiterjedésű ország URH rádió és tv adóhálózatának műsorrall való ellátása a számítások szerint gazdaságosabb műsorszóró műhold segítségével, mint földi hírközlő hálózattal.

Az elsőként megvalósított *EKRAN* rendszerben a földi vevőállomások újrasugárzást, vagy kábeles műsorelosztást alkalmazó közösségi vételt tesznek lehetővé. A műholdról vett jellel a nagy, vagy közepes nagyságú területeket besugárzó tv-adók számára, viszonylag költségesebb, jobb paraméterekkel rendelkező *I. osztályú* földi vevőállomásokat alakí-

tottak ki. A kisebb körzeteket besugárzó tv-adók és a kábeles elosztó rendszerek számára az olcsóbb *II. osztályú* vevőállomások szolgáltatják a műsorjelet. Az *EKRAN* rendszer továbbfejlesztése az 1979-ben üzembe helyezett *MOSZKVA* rendszer. Az időközben végbement technológiai fejlődés hasznosításával az átviteli paraméterek jelentős javítása mellett, lehetővé tette a földi vevőállomások létesítési költségeinek csökkentését, a hatásos műhold-adóteljesítmény növelése és a lecsökkentett vevő-zaj-tényező által. Ennek hatására 12 m-ről 2,5 m-re lehetett csökkenteni a vevőantenna átmérőjét a vevőállomásokon.

Az Egyesült Államok széles körű kísérleteket folytatott a műsorszóró műholdas technológia kidolgozása és különböző célú felhasználása területén. Az 1974-ben pályára állított *ATS-6* műhold (Applications Technology Satellite) az egyéb technológiai kísérletek mellett három műsorszórási kísérletsozrot elvégzésére is lehetőséget nyújtott:

- a *TRUST* (Television Relay Using Small Terminals) kísérlet a kis-költségű közvetlen földi vevők számára történő műholdas műsorszórás technológiájának és technikájának a kifejlesztésére;
- a *HET* (Health, Education, Telecommunication) kísérlet oktató, nevelő programoknak iskolák, kórházak és elszigetelt települések számára irányozta elő a műsortovábbítást;
- a *SITE* (Satellite Instructional Television Experiment) kísérlet annak demonstrálását

szolgált, hogy megoldható CCIR minőségű tv-műsor továbbítása egyetlen nagy teljesítményű földi állomásról műholdon keresztül, India vidéki területein elszórva telepített, némileg módosított *standard tv vevőkészülékek* számára.

Ezeket a kísérleteket részben önállóan, részben (pl. SITE) nemzetközi együttműködés keretében végezték. Más országok műsorszóró műholdas kísérleteiben általában a műhold pályára juttatásával vettek részt (Kanada, Japán).

Kanada déli része az USA-hoz hasonlóan sűrűn lakott, hírközlő és adóhálózattal jól ellátott ország-rész. Északi fele viszont gyér lakosságú, a tömegkommunikációt erősen nélkülöző vidék. Kanada 1972-ben helyezte üzembe az első ANIK nevű országos úrtávközlési rendszerét, melynek keretében a rádió- és a tv-adóhálózatnak műsorról való ellátására is lehetőség adódott. A rendszer továbbfejlesztését jelentő ANIK-B rendszert 1978-ban helyezték üzembe. Ez két független fedélzeti átjátszó rendszert alkalmaz a 6/4 és a 14/12 GHz-es sávban (a magasabb frekvencia az „Up-link”, az alacsonyabb a „Down-link”). Az előbbivel Kanada északi részén, az utóbbival (14/12 GHz) a déli országrészekre oldanak meg úrtávközlési feladatokat. A frekvenciasávok ilyen megválasztásával biztosítják a déli területeken sűrűn kiépített földi 6 és 4 GHz-es hálózatokkal való zavartalan együttműködést.

1976-ban Kanada üzembe helyezte a CTS (Communications Technology Satellite) kísérleti műholdat, amellyel a közösségi műsorvétel lehetőségeit vizsgálták, alkalmazásként pedig oktatási és egészségügyi felvilágosító műsorokat adtak. A 12 GHz-es sávban sugárzó műhold nagy hatásos teljesítménye (200 W kimenő teljesítményű HH cső; EIRP = 59 dBW) lehetővé tette a Japánban kifejlesztett, közvetlen egyéni műsorvevő eredményes kipróbálását, amely mindössze 60 cm átmérőjű parabola antennával elfogadható vételt biztosított.

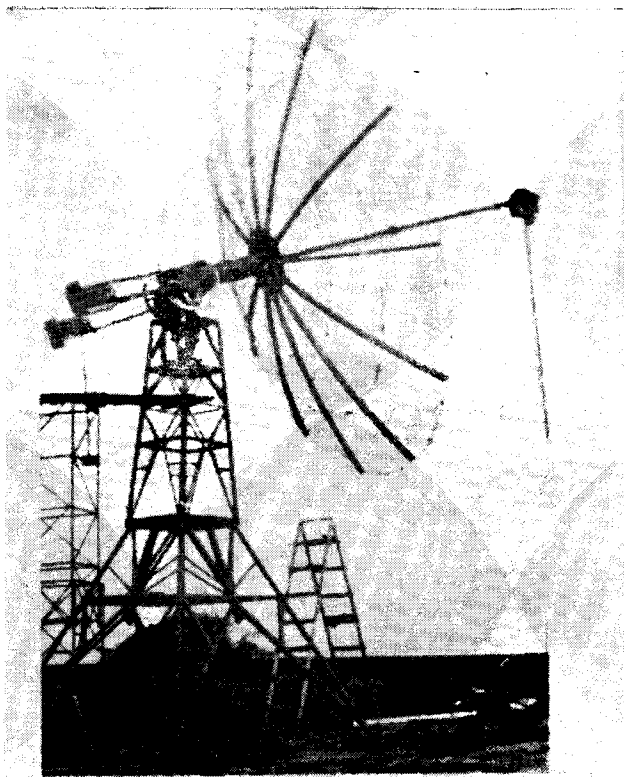
Japánban 8000-nél több tv műsorszóró adó működik. Ezeknek legalább 80%-a átjátszó adó, amely saját körzetében újrásugározza, valamely távoli nagy teljesítményű tv-adó műsorjelét. A távoli szigetek műsorellátása ma sem megoldott, a hagyományos módon nagyon költséges lenne. Megoldásként műholdas műsorszórtó rendszer kialakítását vették tervbe. Ezt előkészítendő, 1978-ban üzembe helyezték a BSE nevű (Broadcasting Satellite Experiment) kísérleti rendszert, amelyben egyszerű az olcsó közösségi és közvetlen tv-műsorvétel lehetőségeit kutatták, másrészt hullámterjedési és interferencia-méréseket végeztek. A 14/12 GHz-es rendszerben a főirányban 56 dBW EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) miatt a fő sugárzási zónában elegendő volt 1,6 m átmérőjű vevőantennákat alkalmazni, míg a távoli szigetekre is csak 4 m-es parabola antennák voltak szükségesek ahhoz, hogy a nagyfokú csapadékcsillapítás ellenére 45 dB-nél jobb jel/zaj viszonyú képet kapjanak. 1 m átmérőjű antennával és egyszerű vevőberendezéssel elfogadható minőségű egyéni vétel volt elérhető a műhold fő sugárzási irányának területén.

India rádió- és tv-műsorról való ellátottsága rendkívül rossz. A 600 millió lakos birtokában kb. 25 millió rádió vevőkészülék és kb. 350 ezer tv-vevő van. A tv-vevőkészülékek legfeljebb a tv-adóval rendelkező tiz-egynéhány nagyváros körzetében működtethetők. A földi hírközlő hálózat igen alacsony kiépítettségű.

Az igények, a lehetőségek és a gyakorlati előnyök felmérése céljából 1975–76-ban kísérletet folytattak a SITE program keretében; (1. és 2. ábrák), melyben a műsorjelet az USA ATS-6 műholdja sugározta az 520–860 MHz-es TV-V. sávban. A nagy hatásos műhold adóteljesítmény (EIRP = 53 dBW) egyéni vételt tett lehetővé, hazailag kifejlesztett egyszerű vevőberendezés és 3 m átmérőjű úgynevezett „chicken-mesh” antenna alkalmazásával (tyúk-ketrec-háló). A műsor megjelenítésére átalakított tv-vevőkészülékeket alkalmaztak. India 1983–84-re tervezi hazai műholdas rendszerének kifejlesztését. A két geostacionárius műholdra épülő INSAT-1. rendszer a hazai távközlési igények kielégítése mellett egyéb feladatokat is ellát. Az elsődleges sugárzási övezetben két, egyenként minimálisan 42 dBW EIRP-vel bíró széles sávú műsorszóró csatorna közvetlen rádió- és tv-műsorvételt tesz majd lehetővé egyszerű vevőkészülékek segítségével. A tv-műsor vételéhez $G/T = 8,2 \text{ dB/K}^\circ$ érzékenységgű, a Hi-Fi rádióműsor vételéhez $G/T = 10,8 \text{ dB/K}^\circ$ érzékenységgű előtét-adapter szükséges.



1. ábra. A SITE program keretében sugárzott indiai műsor ernyőképei, amelyeket az Írországi Dublinban vettek 1976-ban. (Wireless World 1976.)



E 258-2

2. ábra. A dublini vételkísérleteknél használt, dróthálóból kialakított, 6 méter átmérőjű parabola antenna az ATS-6 műhold jeleinek vételére.

Európában jelenleg még nincs üzemi műholdas műsorszórás, de széles körű elméleti és gyakorlati kutatások folynak a témakörben. Európára jellemző, hogy kis térségben sok eltérő érdekelttségű ország helyezkedik el. Ebből kifolyólag lényeges problémát jelent a megvalósítandó műsorszóró műholdas rendszerek koordinációja. Ilyen rendszerek kialakítására megvan az igény, részben a földi hírközlő hálózat terheltesítése, részben a műsorról való ellátottság bővítése céljából. A hasonló érdekelttségű országok együttműködve, közös műholdon keresztül tervezik rendszereiket kialakítani. Így az északi államok (Dánia, Svédország, Norvégia, Finnország, Izland, Grönland) az 5°E geostacionárius pozícióra kívánják műholdjukat fellőni. A NORDSAT rendszerű hálózat a 12 GHz-es sávban fog sugározni.

A Német Szövetségi Köztársaság a 70-es évek eleje óta önálló kísérleteket folytat. Tervbe vette, hogy 1983-ban üzembe helyezi TV-SAT nevű kísérleti műsorszóró műholdját, amely 65 dBW EIRP teljesítménnyel és kb. 0,5 átmérőjű vevőantennával közvetlen műsorvételt tesz majd lehetővé. Ezzel a fejlesztéssel egyidejűleg tárgyalások folynak egy francia—NSZK—olasz—luxemburgi közös műholdas műsorszóró rendszer kidolgozásáról.

A műholdas műsorszóró rendszerek áttekintése

A megvalósított műholdas műsorszóró — kísérleti és üzemi — rendszerekben a kitűzött hírközlési feladat a következő: valamely adott földrajzi terület egy, vagy több rádió és/vagy tv műsorjellel való el-

látása oly módon, hogy biztosítsa a műsor újraelosztását és/vagy az egyéni vétel lehetőségét.

A hírközlési feladat megoldását jelentő műsorszóró műholdas rendszerek rendszertechnikai szempontból számos tekintetben hasonlóak, de közöttük jelentős eltérések is találhatóak. A közös vonások a következők:

Az adott földrajzi terület besugárzása geostacionárius műholdról, speciálisan kialakított sugárzási karakterisztikájú antennával történik. A műhold funkcionálisan egy frekvencia-transzponáló típusú ismétlő állomás, amely a műsorjeleket erre a célra létesített földi állomásról kapja. Az alkalmazott modulációs rendszer *eltér* a földi műsorszórásban szabványosított modulációs rendszerektől. A rádió- és tv-műsorvevő készülékek *közvetlenül* nem alkalmasak a műholdas műsorszórás vételére. A műsor vétele megfelelően kialakított másodlagos műsor-elosztó rendszer, vagy megfelelő *vevő- és moduláció-átalakító berendezés közbeiktatásával* lehetséges.

Jelentős eltérések találhatóak az egyes alkalmazott modulációs megoldásoknál. A japán BSE kísérletben többek között a tv-műsorjel digitális átviteli lehetőségét is vizsgálták (64 Mbit/s DPCM primer moduláció és 4-PSK, vagy 8-PSK szekunder moduláció alkalmazásával). Ezt a speciális kísérletet leszámítva, minden rendszerben *nagy-lökötű analóg frekvenciamodulációt* (FM) alkalmaztak. Mindegyik rendszerben a képjel mellett egy, vagy több hangjel került átvitelre. Az első hangjel a kép kísérő hangja, a többi hangjel vagy másnyelvű kísérőhang (pl. SITE kísérletben), vagy rádió műsorjel. A kép és hangjelek nyalábolására alkalmazott módszerek a következők:

- hangátvitel frekvenciamodulált segédvívön, a segédvívök egy-hangjel hozzáférésűek;
- hangátvitel frekvenciamodulált segédvívön, a segédvívöt több hangjel FDM-nyalábolott jele modulálja (az EKРАН rendszerben a segédvívön kísérő hang és rádió műsorjel, a BSE kísérletben a második segédvívön 6 db 5 kHz-es sávzélességű beszédjel van);
- hangátvitel frekvenciamodulációval, független vívőhullámon (TRUST kísérletben).

A független vívőhullámon történő hangátvitel a műhold főcsatorna nonlineáris karakterisztikái és a több-vívő hozzáférés következtében kép—hang áthalás szempontjából kedvezőtlenebbnek mutatkozott.

Több rendszerben az első segédvívő névleges frekvenciája és modulációs lökete a vevőberendezés egyszerűsítése érdekében a földi műsorszórásban alkalmazott kép és hangvívő közti távolságnak, illetve löketcnek megfelelően lett megválasztva (EKРАН, BSE). A szükséges hangminőség eléréséhez ez esetben a segédvívő szintjét emelni kell, amely a képjel torzulásainak növekedését okozza (intermoduláció). A segédvívő frekvenciájának növelése esetén nagyobb modulációs löket és alacsonyabb segédvívő szint alkalmazható. Ugyanakkor demoduláló, vagy demoduláló-remoduláló típusú vevők rendszeresítése esetén lehetőség van adóoldali szótag-kompador és vevőoldali expander alkalmazására a jelátvitel minőségének javítására (MOSZKVA).

Lényeges eltérések találhatóak az alkalmazott

frekvenciasávok megválasztásában. A különböző rendszerekben a 700–860 MHz-es, a 2,5; a 4; vagy a 12 GHz-es sávot használják a kísérleti műsor sugárzására. A végleges rendszerek a jelen előírások alapján a 12 GHz-es sávban fognak üzemelni 11,7 és 12,5 GHz között. Tekintettel arra, hogy a műhold adóantennájának sugárzási karakterisztikáját a besugárzendó terület határozza meg, valamint a rendelkezésre álló adóteljesítmény csak szűk határok között mozoghat, a szükséges antennanyereség a frekvenciától független kötött paraméter. A műhold–föld szakasz csillapítása és egy adott méretű földi vevőantenna nyeresége egymást kompenzálva változik a frekvencia függvényében. Ezen okból az alkalmazott frekvenciasáv megválasztása pusztán technikai-gazdaságossági kompromisszum eredménye, illetve zavaratasi kérdések függvénye. A földi hírközlő hálózattal megegyező frekvenciasáv alkalmazása esetén a zavartalan együttműködés érdekében spektrális energia-diszperzió alkalmazása is szükséges lehet.

A több tv-képlelet sugárzó rendszerekben általában minden egyes képjel a hozzá nyalabolt hangjelekkel együtt külön fedélzeti főcsatornán kerül továbbításra. A főcsatorna sáv szélessége 25–40 MHz. Ettől eltér a Kanadai ANIK-B rendszer, amely üzembiztonsági okokból úgy lett kialakítva, hogy egy-egy műhold-fedélzeti végerősítő HH-cső, szükség esetén két tv-műsorjelet is továbbíthat, a vételi jelminőség rovására.

A megvalósított rendszerekben jelentős eltérés van a műhold által hatásosan kisugárzott teljesítményben (EIRP). Ezt részben az alkalmazott végerősítő HH-cső kimenő teljesítményének eltérése, részben a besugárzendó terület nagyságának eltérése indokolja. Kanada CTS műholdja 200 W-os kimenő teljesítményű HH-csővekkel 59 dBW-os EIRP csúcsot ért el a 12 GHz-es sávban, az ANIK rendszerben viszont 6 W-os HH-csővekkel csak 36 dBW értékű EIRP-t lehetett megvalósítani. A realizált hatásos sugárzási teljesítmény a többi rendszerekben is ezen két határérték közé esik.

Eltérések mutatkoznak az átvitelre kerülő jelek paramétereit illetően is. Ez részben az eltérő szabványok (NTSC, PAL, SECAM), részben az eltérő kompromisszumok eredménye. Így például a TRUST kísérlet folyamán 4 MHz-es, a SITE kísérlet folyamán pedig 4,2 MHz sáv szélességű NTSC videójelátvitel történt, annak ellenére, hogy mindkét kísérlet az ATS-6 műholdon keresztül, annak ugyanazon fedélzeti főcsatornáját alkalmazva került lebonyolításra. Japán a BSE kísérlet keretében eredményesen próbálta ki különlegesen széles sávú rendszerét (High-definition TV system; CCIR Rec. 801). Az átvitt hangjelek általában 10 kHz sáv szélességűek. A második, illetve további hangjelek 15 kHz (Hifi rádióműsor jel), 10 kHz második kísérő hang, vagy 5 kHz sáv szélességűek voltak.

A videójel átviteli paramétereinek javítása érdekében a különböző rendszerek a standard videó *preemphasis karakterisztikát* alkalmazták (CCIR Rec. 405–1). A MOSZKVA rendszerben a videó szinkron impulzusok fel-, illetve lefutó élénél a *preemphasis karakterisztika* differenciáló hatása következtében kialakuló jelcsúcsok korlátozása 2–3 dB modulációs

lökett növelést tett lehetővé. Ez nem csökkentette a szinkronizációs biztonságát, viszont a nagyobb modulációs löket jel/zaj viszony javulást eredményezett.

A különböző rendszerekben elért jelátviteli minőség nyilvánvalóan erősen függ az alkalmazott vevőrendszer kialakításától. A műholdas vevőkészülékek problémáival egy másik alkalommal foglalkozunk.

Műholdas tv-sugárzás Európában

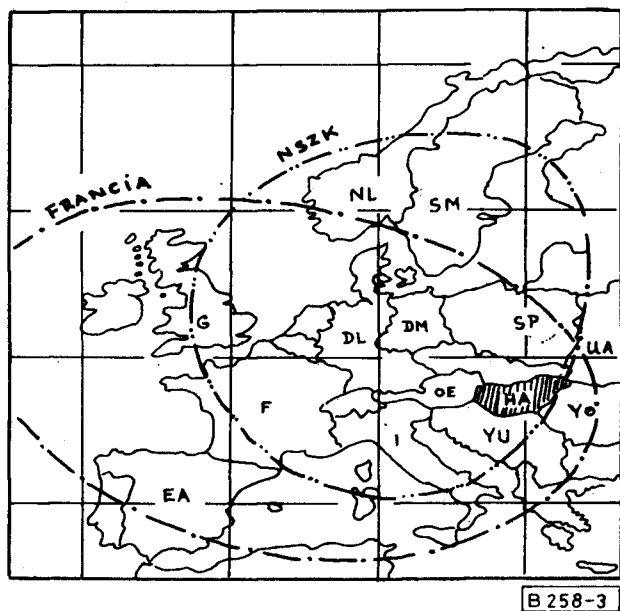
Az 1977-ben, Genfben megrendezett „SB” (Satellite Broadcasting) értekezlet alkalmával az ITU (International Telecommunications Union) tervet dolgozott ki az üzemszerű műholdas műsorszórás adminisztratív feladataira. Ennek kapcsán a műsorszórásra a 11,7–12,5 GHz-es mikrohullámú sávot jelölték ki a „Down-link” (lesugárzás) irányára. A műholdak meghajtása („Up-link”) a 14 GHz-es sávban történik. A műholdak kb. 800 MHz széles adási frekvenciasávján belül 40 csatornát jelöltek ki, egyenként 19,2 MHz-es csatornatávolsággal. A műholdakat úgy kell kivitelezni, hogy 0,9 m (3 láb) átmérőjű, egyéni, földi vételre szolgáló antennák szintjén legalább -103 dBW/m^2 földfelszíni teljesítménysűrűséget hozzanak létre. Ez a teljesítménysűrűség egyben kijelöli azt a földi besugárzott területet is, amelyen belül *egyéni vételt* lehet megvalósítani. A *közösségi vételre* szolgáló, 1,8–2 m átmérőjű antennákkal bíró berendezések számára minimálisan -111 dBW/m^2 teljesítménysűrűséget írtak elő és ez azt jelenti, hogy a közösségi vétel lényegesen nagyobb területen biztosítható, mint az egyéni vétel.

A műsorszóró műholdak az egyenlítő felett, a föld felszínétől 36 000 km magasságban a földről állni látszanak, illetve a földdel azonos szögsebességgel forognak a gravitációs középpont körül. Mivel már most számos *geostacionárius* objektum van az egyenlítő síkjában (pl. telefonátviteli holdak stb.), csak kevés számú szabad pozíció áll rendelkezésre a műsorszórás céljaira. Európa térségében a következők az 1977-ben kiosztott pozíciók:

Pozíció Greenwich-hez képest	A besugárzott ország
+23° (kelet)	Szovjetunió
+5° (kelet)	Görögország, Törökország, Ciprus, Finnország, Svédország, Norvégia, Dánia, Izland
–1° (nyugat)	Bulgária, Csehszlovákia, Lengyelország, NDK, Románia, Magyarország
–7° (nyugat)	Albánia, Jugoszlávia
–19° (nyugat)	Ausztria, Belgium, Franciaország, Luxemburg, Olaszország, NSZK, Svájc
–31° (nyugat)	Anglia, Írország, Izland, Portugália, Spanyolország
–37° (nyugat)	Andorra, Liechtenstein, Monaco, San-Marino

A műholdak cirkuláris polarizációval adnak és a polarizáció forgásiránya a minimális zavartatások érdekében a frekvenciában, illetve területileg szomszédos államok esetében ellentétes.

A közeljövőben nem várható, hogy Magyarországnak, vagy a közvetlen szomszédos államoknak (a Szovjetuniót kivéve) műholdas tv sugárzása lenne. Az NSZK–francia *ARIANE* program keretében azonban várható, hogy 1984-re megindul a tv műsorok sugárzása a -19° -os egyenlítősi-kú pozícióra helyezett műhoddal, $64-65,5$ dBW EIRP sugárzási



3. ábra. Az *ARIANE* francia–NSZK műhold -111 dBW/m² teljesítménysűrűségű sugárzásának határai, 1980-as előzetes adatok alapján. (Wireless World 1980/10.)

teljesítménnyel. Az *ARIANE* műhold 5 db NSZK felhasználású és 5 db francia felhasználású tv-műsor sugárzására lesz alkalmas. Ezen műhold sugárzási karakterisztikája a -111 dBW/m² teljesítménysűrűséggel befedi egész Magyarországot (3. ábra), az 1980-as publikált tervek alapján. A jó minőségű *egyedi vételhez* szükséges -103 dBW/m²-es teljesítménysűrűségi határ azonban Ausztria középvonalára esik és így Magyarország területén 1 m körüli átmérőjű antennával és a technika mai állásához illeszkedő jóminőségű parametrikus keverővel (és FM/AM transzkódderral) sem várható, hogy elfogadható vételt lehet majd megvalósítani. Feltehetően eredményes vételt produkálhatnak azonban a 2 m, vagy ennél nagyobb átmérőjű antennával ellátott *közösségi vevőrendszerek*.

Olvasóink tájékoztatására meg kell jegyeznünk, hogy egy a 12 GHz-es sávban működő kis zajú parametrikus keverő a maga lokál-jel ellátó egységeivel, valamint az FM/AM konverziós áramkörök, házi, amatőr eszközökkel nem lesznek kivételmentesek. Az áramkörök finommechanikai és speciális alkatrészigénye jelen ismereteink szerint túlhaladja az egyéni előállíthatóság határait. A forgalomba került gyári *vevő-adapterek* 500–1000 USA \$-ért vásárolhatók, de várható, hogy az árak a sorozatgyártással csökkenni fog. Ma még azonban a műhold-vevő adapterek és antennák tömeggyártásáról nincsenek ismereteink.

IRODALOM

- Final Acts of the WARC-77* (Geneva 1977)
 Freeman, K. G.: 12 GHz FM Fernsehempfang über Satelliten (Funkschau 1974, Heft 3.)
 Magele, M.: Direkte Rundfunkversorgung über Satelliten (Nachrichten Elektronik 1980/2.)
 Avjacskev, V. M.: Prijomnie Usztróisztva szisztemi „Ekran” (Elektroszvjaz 1977/5.)
 Kantor, L. Ja.: Szisztema szputnyikovo Televizionnovo vessanyija „Moszkva” (Elektroszvjaz 1980/1.)