

# Mikrohullámú rádiórelé rendszerek: jelen és jövő

DR. SOMOGYI ANDRÁS

Orion Rádió és Villamossági Vállalat

DR. KÁNTOR CSABA

Posta Kísérleti Intézet

## Összefoglalás

A cikk vizsgálja a földfelszíni mikrohullámú rádiórelé rendszerek távközlésben elfoglalt szerepét, kitér a jövőbeni fejlődés irányaira. Az elemzés szempontjai: a digitalizálódás, a rendszertechnikai és technológiai fejlődési trend, az alkalmazástechnika várható alakulása. A cikk foglalkozik a Magyar Posta távközlésfejlesztési elképzeléseivel, a mikrohullámú rendszerek hazai alkalmazási lehetőségeivel.

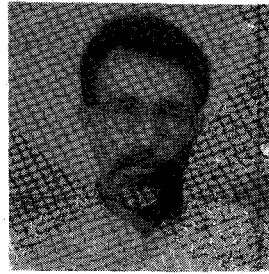
## Bevezetés

A földfelszíni mikrohullámú rádiórelé rendszerek napjainkban meghatározó szerepet játszanak a világ távközlésében. Az Egyesült Államok távközlési forgalmának 70 %-a bonyolódik le rádiórelé rendszereken, míg az európai távközlési hálózatokon belül – az országok fejlesztési színvonalától függően – a forgalom 20–50 %-át viselik a földfelszíni rádiórelé rendszerek. Az európai mikrohullámú távközlés több, mint 20 %-a digitális rendszereken folyik és ez az arány meredeken emelkedik.

Az országok fejlettségi színvonalát említettük fentebb, mert több, mint triviálisan szoros az összefüggés a nagy mennyiségű – de az alacsonyan fejlett országokban olcsó – élőmunkát igénylő tradicionális kábeles összeköttetések létesítése, illetve a korszerű technikát alkalmazó, kevésbé sebezhető, könnyebben szervizelhető mikrohullámú rendszerek felépítése, és az adott ország ipari – technológiai fejlettsége, felhalmozott szellemi tőkéje között. A transzkontinentális hírközlésben alternatíva lehet az ugyancsak mikrohullámú (4–6 GHz) műholdas távközlés és egészen kis ill. közepes távolságokon a rendkívül nagy sávzélességet biztosító, ezért a csatornánkénti költségeket a hagyományos kábelhez képest jelentősen redukáló optikai kábeles átvitel. A hírközléssel foglalkozó nemzetközi szervezetek (CCIR, CCITT, CEPT) megítélése szerint a földfelszíni mikrohullámú rendszerek távlatilag is megőrzik stratégiai jelentőségüket és az ugyancsak gyorsan fejlődő optikai hírközléssel együtt a belátható jövő átviteli eszközeinek tekinthetők.

A földfelszíni mikrohullámú rendszerek fejlődési trendjét vizsgálva szempontokként az alábbiakat választottuk:

Beérkezett: 1989. VIII. 2. (\*)



DR. KÁNTOR CSABA

1971-ben szerzett villamosmérnöki diplomát a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karának Híradástechnikai Szakán. A Posta Kísérleti Intézet Mikrohullámú és űrtávközlési osztályának tudományos osztályvezetője. A földfelszíni mikrohullámú összeköttetések és űrtávközlési rendszerek fejlesztésével, hullámterjedési jellemzőivel, tervezési módszereivel kapcsolatos postai kutatásokat irányítja. 1981-ben a budapesti 13 GHz-es mikrohullámú PCM átkérőhálózat megvalósítását előkészítő, kutatásokért Békésy-emlékéremmel tüntették ki. 1985-ben a mikrohullámú összeköttetések nyomvonaltervezése témakörben a Budapesti Műszaki Egyetemen műszaki doktori címet szerzett.



DR. SOMOGYI  
ANDRÁS

Villamosmérnöki oklevelét 1958-ban kapta meg az BME Villamosmérnöki Kar Híradástechnika Szakon. 1966-ban végezte el a Félvezető Szakmérnöki Tagozaton, 1967-ben védte meg egyetemi doktori disszertációját tranzisztorok nagyfrekvenciás viselkedése témában. 1958 óta dolgozik az ORION-ban, előbb TV-fejlesztőként, majd mikrohullámú rádiórelé berendezések fejlesztésével kezdett foglalkozni. 1975-től 1987-ig a mikrohullámú fejlesztési főosztály vezetője, 1988-tól a professzionális profil főmérnöke. Tagja a HT szerkesztőbizottságának.

- a digitalizálási irányzat és az analóg rendszerek jövője,
- rendszertechnikai és technológiai fejlődés,
- alkalmazástechnika.

## 1. Digitális és analóg rendszerek

A jelen és a jövő felvázolása szükségessé teszi a kezdetekre való visszapillantást. A mikrohullámú földfelszíni rendszerek térhódítása a 40-es évek végén, az 50-es évek közepén vette kezdetét, amikor a mikrohullámú erősítéstechnika II. világháború alatt kifejlesztett eszköztárának polgári alkalmazására lehetőség nyílt. A kezdetet természetesen az elektroncsöves analóg FM

rendszerek jelentették, hiszen a modulációs technika hagyományai a vivőhullámú gyakorlatban kialakultak. Az első európai digitális rádiórelé rendszerek a 60-as évek elején kerültek alkalmazásra. Nem kis büszkeséggel emlékezhetünk vissza arra, hogy hazánkban a fejlett ipari országokkal egyidőben indult meg a rádiórelé berendezések fejlesztése és gyártása. A 4 GHz-es és 6 GHz-es nagykapacitású analóg rendszereket a Távközlési Kutató Intézet fejlesztette és a Finommechanikai Vállalat vette gyártásba. Az európai irányzat fővonulatában a 60-as évek elején a BHG és az ORION fejlesztői hozták létre az első magyar digitális rádiórelé családot a DM (deltakódmodulált) rendszer 6 és 32 csatornás változatait, melyekből az ORION világvizonylatban is kiemelkedő mennyiséget, több ezer állomást gyártott és exportált.

A kezdeti – nemzeti sajátosságokra szabott – digitális rendszereket a széles körű nemzetközi szabványosítás, a kompatibilitásra való törekvés következtében a 60-as évek végén, a 70-es évek elején felváltották a PCM rendszerek újabb és újabb technológiai generációival. A digitális és az analóg technika közötti verseny véglegesen a 80-as évek elején-közepén dőlt el a digitális rendszerek javára. A technológiailag legfejlettebb országok már a 80-as évek végétől, a többiek pedig várhatóan legkésőbb a 90-es évek közepétől új analóg mikrohullámú rádiórelé rendszereket nem telepítenek.

Tekintsük át röviden a digitalizálódás rohamos és végleges térhódításának főbb okait és azokat a műszaki feltételeket, melyek a lehetőséget kínálták az ez irányú fejlődéshez.

A digitalizálódás okai között elsőként az adatforgalomnak a távközlés egészéhez viszonyított rohamosan növekvő arányát kell említenünk. A számítógépes hálózatok megteremtése, a számítógépes tervezési módszerek (CAD) elterjedése ill. a szétszórt kutató-fejlesztőhelyek központi nagyszámítógépekre való támaszkodása parancsolóan előírták az adatforgalom nagy távolságú csatornáinak kialakítását. Az adatforgalom természetes közege pedig a digitális jel.

Az adatátvitel szocializálódása, az ipari-technológiai közegekből a társadalmi közegbe való átemelése jelenik meg az ISDN (integrált szolgáltatású digitális hálózat) koncepcióban. Ebben az információ csaknem minden lehetséges formáját (kép, hang, adat) felölelő kétoldali interaktív kapcsolat integrálódik a forrás és a felhasználó között, teljesen digitalizált közegben. Ez a szolgáltatás minőségének óriási javulását teszi lehetővé, hiszen elmaradnak az adatforgalom útjából az óhatatlanul minőségrontó AD/DA átalakítások.

A sokfelhasználós adatátviteli rendszerek éppúgy, mint a távbeszélő forgalomba bekapcsolódó szétszórt előfizetői területek (pl. rurál hálózatok) szükségessé teszik az információ egyszerű leágaztathatóságát és új információ egyszerű beiktatási lehetőségét. Az időosztású digitális (PCM) rendszerek kínálják ezt a szolgáltatást.

A mikrohullámú rendszerek digitalizálásához az alábbi műszaki feltételek teremtették ill. teremtik meg a lehetőséget:

Elsőként kell említeni a félvezető technológia rohamos fejlődését. A naponta megjelenő új és még újabb, egyre növekvő komplexitású digitális integrált áramkörök egyre inkább nem áramköri, hanem komplett szolgáltatási funkciókat valósíthatnak meg egy token belül és lehetővé teszik a számítástechnikában kialakult áramköri intelligencia meghonosítását a rádiórelé rendszerekben.

A félvezető technika fejlődése, az olcsó digitális félvezető eszközök megjelenése tette lehetővé a PCM technika korszerű változatainak széles körű elterjedését.

A kapcsolástechnika digitalizálása, azaz az elektronikus tárolt-program vezérlésű (TPV) távbeszélő központok kifejlesztése és alkalmazásba vétele lehetővé tette az információ digitális síkon való csatlakozását a központhoz. Ez egyben gazdasági kényszert is jelent az átviteli út digitalizálásához.

A korszerű, sok állapotú modulációs rendszerek kialakítása ill. az ezekhez szükséges eszközök (adaptív kiegyenlítő, lineáris erősítők, stb.) megjelenése a spektrumkihasználás területén is versenyképessé teszi a digitális mikrohullámú berendezések alkalmazását, lehetővé teszi digitális összeköttetések telepítését az analóg rendszerekhez kialakult frekvenciaraszterekben.

A képfeldolgozás fejlődése, a TV képelemek adaptív kódolási algoritmusainak kifejlesztése és alkalmazása a video információ továbbítását is lehetővé teszi digitális mikrohullámú rendszereken.

A verseny tehát eldőlt. Mégis fel kell tennünk a kérdést, vajon végleg és főként a közeli jövőben kihalnak-e az analóg FM mikrohullámú rendszerek? Ne feledjük a cikkünk elején említett adatot: az európai mikrohullámú távközlés 20 %-a bonyolódik le digitális rendszereken. Az országok döntő többségében ma még az analóg távközlési környezet tekinthető tipikusnak. A fejlett nyugat-európai országok között is különleges helyet foglal el Franciaország, ahol a teljes postai távbeszélő hálózatot – sokéves, gondos előkészítő munka után – egyetlen nap alatt digitalizálták. Különösen alacsony a távközlő hálózat digitalizáltsági foka az úgynevezett „szocialista” országokban, ahol számottevő elektronikus nagyközpont gyártás nem folyik, az egy-egy központ típus kifejlesztéséhez szükséges 3–5 milliárd USD tőke, valamint csúcstechnológiát képviselő eszközpark – már csak a csúcstechnológia transzfer nyugati korlátozásai miatt is – nem áll rendelkezésre. (Magának az elektronikus távbeszélő központnak, mint készterméknek az exporttilalmát is csak 1988 szeptemberében oldották fel). Ugyancsak az analóg környezet a jellemző az iparosodás általánosan alacsonyabb foka mellett az ún. „harmadik világbeli” országokban is.

Az említett országok postai adminisztrációi általá-

ban hasonló utakat követnek a digitalizálási stratégia megválasztásában. Először az országon áthaladó, tranzitcélokat szolgáló nagy kapacitású gerinchálózati összeköttetéseket váltják ki digitális rendszerekkel. Ezt követően ún. szigetstratégiát alkalmaznak, azaz az ország egy-egy meghatározott területét – az infrastruktúrális fejlesztési szükséglet és a gazdasági lehetőségek által körülhatárolt ütemben – digitalizálják, egy-egy TPV központ környezetében. A kisebb helyi bővítések vagy az analóg átviteli utak nem a digitalizálási stratégiába illeszkedő felújításai azonban analóg FM rendszerekkel történnek még hosszú ideig, becsülhetően legalább 2000-ig.

Még egy – nem elhanyagolható – tényezőt kell megemlíteni: a TV képlelet a mai kódolási technikával digitális rendszereken csak 140 Mbit/s sebességen lehet továbbítani továbbfeldolgozásra is alkalmas, kiváló minőségben. A 140 Mbit/s sebességű rendszerek a megfelelő spektrumkihasználáshoz szükséges modulációs eljárásokat és az azokhoz tartozó kiegyenlítő áramköröket is beleértve túlságosan költségesek a csak TV átvitelre szolgáló hálózatok kialakításához. Így TV jel átvételére még hosszú ideig perspektivikusnak ítéltethető az analóg FM rádiórelé rendszerek.

Érdemes említést tenni olyan hibrid mikrohullámú rádiórelé berendezésekről, melyekben együtt él – átmeneti megoldásként – az analóg és a digitális rendszertechnika. Ezek a rendszerek az időmultiplex (TDM) és a frekvenciamultiplex FDM-FM információ egyidejű átvételére szolgálnak. Egyik alapváltozat az, amelynél az analóg és digitális jelek között megosztják egy olyan mikrohullámú rendszer alapsávját, mely eredetileg csak FDM (vagy analóg video) jel átvételére szolgált. (DUV = adatjel az alapsáv alatt; DAV = adatjel az alapsáv felett; DAVID = adatjel a videoalapsáv felett). A másik változat olyan rádiórelé rendszer, melynek üzemi RF csatornáin egyaránt – és egyidejűleg egymás mellett – vihetünk át analóg távbeszélőcsatornákat, analóg TV jelet és pl. 34 Mbit/s sebességű digitális jelet. A tartalék RF csatorna valamennyi információ számára közös. (Ez utóbbi rendszert a Szovjet Posta igényei alapján az ORION fejlesztette ki és gyártásbavétele most van folyamatban).

Az említett rendszerek az analóg környezetben teremtik meg az átmenet lehetőségét a digitalizálás irányába.

## 2. Rendszertechnikai és technológiai fejlődés

Ha a fentiek alapján vizsgálódásunkat a továbbiakban a digitális mikrohullámú rádiórelé berendezésekre korlátozzuk, a rendszertechnikai fejlődés a közelmúltól napjainkig és a belátható jövőben a modulációs rendszereken keresztül mérhető le a leglátványosabb módon.

A korábban fejlesztett berendezésekben – és a kis kapacitású berendezésekben ma is – az ún. alacsony

szintű modulációs rendszerek alkalmazása vált általánossá. 34 Mbit/s sebességig megfelelőnek bizonyultak a QPSK vagy maximum 8 PSK modulációs változatok, amelyek elviselhető spektrum kihasználást biztosítanak és nem támasztanak különlegesen szigorú követelményeket az átviteli út jellemzőivel (jel/zaj viszony, linearitás, amplitúdó- és fáziskarakterisztika, stb.) szemben.

A spektrumkihasználás további javítását, azaz azonos információmennyiség keskenyebb RF sáv szélességben való továbbítását a modulációs szintek számának növelésével érhetjük el. Ez az igény elsősorban a nagy kapacitású rendszereknél jelentkezik. Az előregedő analóg rendszerek digitális rendszerekkel való kiváltásakor általában megoldandó feladat az analóg és digitális átvitel együttélésének biztosítása egy frekvenciasávon belül, mégpedig a korábban az analóg rendszerek számára kiosztott frekvenciaraszterek betartása mellett.

Különböző szintű modulációs rendszerek spektrumhatásfokát az 1. táblázat (bit/s/Hz) hasonlítja össze.

1. táblázat

Moduláció	Spektrumhatásfok [bit/s/Hz]	Relatív adóteljesítmény	
		Elméleti	Valóságos
4 PSK	2	$P_o$	$P_o'$
8 PSK	3	$P_o + 3,3 \text{ dB}$	$P_o' + 6,6 \text{ dB}$
16 QAM	4	$P_o + 6,5 \text{ dB}$	$P_o' + 13 \text{ dB}$
32 QAM	5	$P_o + 8,1 \text{ dB}$	$P_o' + 17 \text{ dB}$

A relatív adóteljesítmény növekedése arra utal, hogy a magasabb szintű modulációs rendszerek jel/zaj viszony igénye azonos jeltévesztési arány mellett meredeken nő a modulációs szintek számával. A valóságos jel/zaj viszony (ül. relatív adóteljesítmény) igény ennél sokkal jobban növekszik az átviteli út hibái (nonlinearitások, többutas terjedés miatti amplitúdó- és fázishibák, stb.) miatt.

Mindez azt jelenti, hogy az amplitúdó- és fáziskorrekcióra szolgáló eszközök a modulációs szintek számának növelésével egyre bonyolultabbak és költségesebbek lesznek. A nagy kapacitású (140 Mbit/s) mikrohullámú berendezésekben ma alkalmazott 16 QAM ill. 64 QAM modulációs módszerekkel együtt jár az igen nagy linearitású RF erősítők (GaAsFET), frekvencia-és időtartománybeli adaptív kiegyenlítők, transzverzális szűrők stb. alkalmazása az ezekhez tartozó nagy bonyolultságú félvezető eszközökkel együtt.

2. táblázat

RF raszter [MHz]	Információsebesség [Mbit/s]				
	34	2x34	1x140	2x140	4x140
40	QPSK	QPSK	16QAM	256QAM	256QAM (két polarizációban)
30	QPSK	8PSK	64QAM	1024QAM	tisztázatlan
20	QPSK	16QAM	256QAM	256QAM (két polarizációban)	tisztázatlan

A fejlődés a vázolt irányba mutat. Kísérleti összeköttetésekben megvalósítottak 256 QAM modulációt és előrehaladott laboratóriumi kísérleteket publikáltak 1024 QAM modulációval. A 2. táblázat az alkalmazott modulációs módszer függvényében mutatja az átvihető információkapacitást (sebességet) ill. a megengedhető RF csatornaraszteret.

A modulációs szintek belátható számához az említett kiegyenlítő módszereken kívül további adaptív „csodafegyverek” bevezetése várható: keresztpolarizációs interferencia kioltás, a diverziti jelek minimum torzításra történő adaptív összegzése, antenna iránykarakterisztika adaptív korrekciója, stb.

Határozott tendenciát mutat a mikrohullámú rádiórelé rendszerek által lefoglalt frekvenciasávok alakulása. A 70-es évek végén ill. a 80-as évek elején történt meg az áttörés a 10 GHz feletti sávok kihasználására. A 4 GHz-es, 6 GHz-es és 11 GHz-es frekvenciasávokban a nagy kapacitású rendszerek generációváltása történik napjainkban, itt üzemelnek a 140 Mbit/s-os összeköttetések. A 2, 7, 8, 13 és 15 GHz-es sávokat a kis és közepes kapacitású körzeti hálózatok használják ki, míg a félvezető technika fejlődése eredményeként egyre inkább kommerciális eszközökkel birtokba vehető 18 GHz–40 GHz közötti frekvenciákon a kisebb kapacitású adat- és egyéb „szolgáltató” hálózat elterjedése várható. A 40 GHz feletti sávokat ma még üzemszerűen nem használják.

Az elektronika általános fejlődési irányával egyúttal haladva a digitális mikrohullámú rádiórelé berendezésekben is a megbízhatóság növekedése ( $10^5$ - $5 \cdot 10^5$  óra/adóvevő) és a méretek további csökkenése várható a félvezető technológia által kínált újabb eszközök kiterjedt alkalmazásával (CMOS VLSI IC-k, nagy bo nyolultságú BOAK, SMD szereléstechnológia stb.).

### 3. Alkalmazástechnika

Az alábbiakban röviden megemlítünk néhány olyan alkalmazást, melyeknek a szokványos pont-pont közötti távbeszélő- és televízióátviteli összeköttetések mellett rohamos elterjedése várható és további perspektívákat nyújtanak a mikrohullámú rádiórelé berendezések számára.

#### *Adathálózati összeköttetések*

Általában kis kapacitású (max. 2 Mbit/s), 1–3 rádiófrekvenciás szakaszt tartalmazó rendszerek. Jellemzőjük a rendkívül kis méretek, az RF berendezést tartalmazó kültéri konténer az antennával kerül egybeépítésre. Alkalmazásuk jelentős elterjedése várható az ISDN rendszerek meghonosodásával. A berendezések alkalmasak nagy sebességű adatok átvitelére, videotelefon hálózat létesítésére, videokonferencia lebonyolítására. A vázolt célokra legalkalmasabbak a 15–40 GHz közötti és azok feletti frekvenciasávok. Ezekben a spektrumkihasználás drasztikus és költséges javítása

még hosszú ideig nem sürgető feladat, a nagy frekvenciák lehetővé teszik a berendezés méreteinek csökkentését.

#### *Előfizetői rendszerek*

Egy főállomásból és – ma 64–480 előfizetőt kiszolgáló állomásokból álló pont – több pont közötti összeköttetést biztosító TDMA rendszerek, elsősorban szétszórt előfizetőknek a távbeszélő, telex és adathálózatba való bekapcsolására.

A rendszerek belső forgalmát 10–30 PCM rádiócsatorna látja el az időrések szabad hozzáféréseinek biztosításával. Funkciójukat tekintve – a CCIR ajánlások megfogalmazása szerint – rádiókoncentrátorok, mely esetben a koncentrációt a beépített szoftver valósítja meg. Ugyancsak a tárolt program vezérli az időrések kiosztását, a távfelügyeleti rendszert, stb. Napjainkban az előfizetői rendszerek általában az 1,5 GHz-es sávot használják, de a tendencia a 10 GHz feletti sávok irányába mutat.

#### *Speciális rádiórelé rendszerek*

Mind pont – pont közötti, mind pont – több pont közötti összeköttetésekre szolgáló igen gyors telepíthetőségű rádiórelé rendszerek, melyeknek közös jellemzője az illetéktelen lehallgatás és zavartatás elleni fokozott védelem. A leggyakrabban alkalmazott (és egymással változatosan kombinált) védelmi módszerek:

- Szórt spektrumú rendszerek. A kisugárzott spektrumot hosszú álvéletlen kóddal (kvázi fehér zaj) való szorzás útján szétterítik a frekvenciatartományban.
- Frekvencia-hopping rendszerek. A kisugárzott vívő frekvenciát változtatják hosszú álvéletlen kód szerint néhányszor 10 Hz – néhányszor 10 kHz közötti sebességgel.
- Burst kommunikációs rendszerek. Kódolt, tömörített és csomagokba rendezett információval modulálják az RF vivőt.

A speciális – általában fegyveres testületek által alkalmazott – rádiórelé berendezések frekvenciasávjai változatosak, az adott felhasználáshoz alkalmazkodva üzemelnek 1 GHz–40 GHz között.

### 4. Hazai hálózatfejlesztési tervek

#### *4.1. Digitalizálási stratégia*

A távközlő hálózat digitalizálása a nemzetközi tapasztalatok felhasználásával ma már hazánkban is elkezdődött. A digitális távbeszélő alaphálózat kiépítése a központok és az átviteli rendszerek helyes kiválasztásával lehetővé teszi a 64 kbit/s-os központtól – központig terjedő csatornákat, az azokhoz való hozzáférést azok adathálózati felhasználásával, szinte többletköltség nélkül. Sőt ezeknek a csatornáknak az adatát-

viteli hatékonysága – azonos minőség mellett – többszöröse az analóg alapszernakénak.

A hálózat digitalizálása során meg kell vizsgálni, hogy a gerinchálózat átviteli útjai milyen feltételekkel digitalizálhatók, mikor kell az analóg átviteli utat kizárólagosan meghagyni, mikor lehet ill. kell párhuzamosan analóg és digitális rendszereket ill. kizárólagosan digitális rendszereket üzemeltetni. Fontos az üzembiztonsági szempontok figyelembevétele is.

A hálózat digitalizálása során a digitális szigeteket a digitális lefedő hálózattal összhangban előre kidolgozott stratégia szerint kell létrehozni. A digitális hálózat berendezésigénye a körzethálózatban és a helyi hálózatban várhatóan meghaladja a korábbi analóg hálózat ilyen jellegű igényét. Míg a korábbi hálózatban a hálózat alsó síkjában a fizikai átvitel uralkodott, addig a digitális hálózatban az időmultiplex átviteli berendezések, közöttük a digitális mikrohullámú berendezések, kihelyezett koncentrátorok, multiplexerek, stb. berendezések kapnak jelentős szerepet.

#### 4.2. Digitális mikrohullámú rádiórelé összeköttetések gerinchálózatokban

Az analóg digitális rendszerekre való áttérésnél a gazdasági szempontok figyelembevételevel célszerű az analóg rendszerek meglévő infrastruktúráját felhasználni. Ez azonban azt jelenti, hogy az összeköttetések létesítéséhez 50 km körüli szakasztávolságokat lehet figyelembe venni, azaz csak a 12 GHz alatti frekvenciasáv használata jöhet szóba.

A mikrohullámú rádiórelé összeköttetések számára felhasználható frekvenciasávok korlátozottak, ezért olyan rendszereket kell telepíteni, amelyek a frekvenciasávokat hatékonyan használják fel, azaz minél több információt visznek át rádiófrekvenciás csatornánként. Csak ebben az esetben lehet túlszárnyalni az analóg rendszerek által biztosított kapacitást és lehet gazdaságosan kiépíteni az útvonalakat és a hálózatot.

A megfelelő modulációs rendszer kiválasztása döntő tényező, mivel a rendszert optimalizálni kell a hatékony frekvencia-felhasználás, költség, kapacitás stb. szempontjából.

A rádiófrekvenciás vivőnkénti bitsebesség megválasztásánál lényeges szempont, hogy a 12 GHz alatti frekvenciasáv általában analóg rendszerek számára használatos, ha ezeket a frekvenciasávokat most digitális rendszerekre kívánjuk felhasználni, elektromágneses kompatibilitási kérdésekkel kell szembenéznünk, vagy az analóg rendszereket más frekvenciasávba kell áthelyezni. A gerinchálózati átviteli igényeknek megfelelő 140 Mbit/s átviteli sebességű mikrohullámú rádiórelé rendszereket három frekvenciasávban lehet létesíteni: a 4 GHz-es, a 6 GHz-es és a 11 GHz-es sávban.

A 4 GHz-es sávban nálunk jelenleg analóg FM berendezések üzemelnek többnyire a CCIR Rec. 382-3 ajánlásnak megfelelő frekvenciaraszterben. Mivel a 16

QAM modulációs eljárás a 140 Mbit/s-os rendszerek átvitelét csak 40 MHz-es raszterben teszi lehetővé, ha ebben a sávban digitális rendszert kívánunk telepíteni, vagy a régi analóg hálózatot kell átrendezni, vagy 64 QAM modulációs technikát kell alkalmazni. Az új csatorna-kiosztás például alapulhat a CCIR Rep. 935 függelékében leírtak szerint 20 MHz-es alapszertávolságokkal és 4170 MHz sávközépi frekvenciával. Mivel a sávközépi rés az alapszter távolság többszöröse, ha az alsó sáv határait jól választjuk meg, a frekvenciasávban a keresztpolarizációs szétválasztás felhasználásával átvihető 7 duplex, 40 MHz raszterávolságú, 140 Mbit/s kapacitású rádiófrekvenciás csatorna.

Csomóponti állomáson többirányú leágazásoknál, további frekvenciasávok használata szükséges. A 6 és 11 GHz-es sáv alkalmas a 140 Mbit/s átviteléhez szükséges 40 MHz-es csatornatávolságú frekvenciaraszter kialakítására, akár olyan módon is, hogy a szomszédos csatornákon váltakozva üzemeltetnek analóg és digitális mikrohullámú rendszereket.

A 6 GHz-es sávban a CCIR szerint két frekvenciaraszter áll rendelkezésre széles sávú mikrohullámú rendszerek számára. Az egyik a CCIR 383. ajánlása szerinti raszter. Ebben a raszterben a csatornakiosztás 29,65 MHz-es és 8 db oda-vissza irányú RF csatorna helyezhető el benne.

A másik raszter a CCIR 384-3 szerinti, amely nagy kapacitású FDM illetve PCM rendszerek számára alkalmas, mivel csatornaosztása 40 MHz. Ugyancsak 8 db RF csatorna elhelyezésre van lehetőség. Ez a raszter azonban jelenleg nálunk nem használható. A 11 GHz-es sáv frekvenciakiosztása digitális rendszerek számára a CCIR 387-3. ajánlás 1. függeléke szerint lehetséges, amely 40 MHz csatornatávolságú rasztert ad meg.

#### 4.2.1 A felhasználható digitális rendszerek

A digitális mikrohullámú rendszereknél a frekvenciaraszter csatornaosztása, az alkalmazott modulációs eljárás és az elérhető átviteli sebesség, és ezzel az átvihető távbeszélő csatornák száma között szoros összefüggés van. Például, mint ahogy a 2. táblázatban látható a tercier szintű átvitel, vagyis a 34 Mbit/s átviteli sebesség 29 MHz-es csatornaosztás esetén bármelyik modulációs móddal elérhető. A PCM hierarchiában a következő szintet, vagyis a 140 Mbit/s-os átviteli sebességet (ami RF csatornánként 1920 TF csatorna átvitelét biztosítja) ilyen RF csatornatávolság mellett csak 64 QAM modulációval lehet elérni. Ez azt jelenti, hogy a rendelkezésre álló 6 GHz-es sávban, ahol az RF csatornák távolsága 29,65 MHz, a gerinchálózat kialakításával a gazdaságos csatorna, illetve frekvencia felhasználás érdekében feltétlenül 64 QAM modulációval dolgozó mikrohullámú berendezések alkalmazását kell figyelembe venni.

Megjegyezzük, hogy Magyarországon nagy kapacitású (legalább 140 Mbit/s átviteli sebességű) mikro-

hullámú rendszerek elhelyezése lehetséges a 4 GHz-es sávban, a kiterjesztett raszterban is (3400–4200 MHz vagy 3600–4200 MHz). A meglévő analóg 4 GHz-es rendszerek ugyanis általában már amortizációjukon túl dolgoznak, így cseréjük idősebbé vált. A 4 GHz-es analóg rendszerek cseréjekor 64 QAM modulációjú 4 GHz-es digitális rendszerek kerülhetnek alkalmazásra. Ha valamely analóg rendszer lebontásakor a rajta átvitt csatornát továbbra is analóg módon szükséges átvinni, akkor vagy a párhuzamos analóg-digitális átvitel vagy az analóg csatornáknak (elsősorban a TV jelének) a 6 GHz-es sávba való áthelyezése a megoldás.

A 6 GHz-es sávban az országos mikrohullámú gerinchálózat úgy alakítható ki, hogy az részben a meglévő, illetve építés alatt álló 4 és 6 GHz-es hálózatra épül, azok állomásait felhasználja, másrészt a távlati igények ismeretében új irányok nyitását is figyelembe kell venni. A hálózat nyomvonala olyan, hogy az a megyeszékhelyeket (a régió illetve gyűjtőgóc központokat) vagy közvetlenül felfűzi, vagy azok egy egyszakaszos más frekvenciás (pl. 13 GHz-es) mikrohullámú összeköttetéssel elérhetők. A szakasztávolságok megválasztásánál figyelembe kell venni, hogy az összeköttetések diversity alkalmazása nélkül megvalósíthatók legyenek a jelenleg alkalmazható berendezésekkel, a CCIR ajánlásokban leírt minőségi paraméterek tűrési határain belül.

Figyelembe kell venni azt is, hogy a rendelkezésre álló 6 GHz-es raszter egyes irányokban már ma teljesen telített, így csak korlátozott számú oda-vissza csatorna áll rendelkezésre. Mivel a nemrég telepített új rendszerek létezésével feltehetően még évekig számolni kell, így egyes szakaszokon a közeljövőben a 6 GHz-es sávban digitalizálásra nem fog sor kerülni. Ilyen helyeken a meglévő analóg csatornák mellé tehető az üres helyekre digitális csatorna. Azonban az analóg és digitális csatornák párhuzamos üzemeltetésével kapcsolatosan kevés tapasztalat és adat áll rendelkezésre, így ez a megoldás megfontolandó. Célszerűnek látjuk azonban a digitális és analóg rendszerek párhuzamos üzemeltetési feltételeinek vizsgálatát is.

A meglévő, illetve most épülő állomások felhasználásával alakíthatók ki a gerinchálózati kerülő irányok is.

A 11 GHz-es sávban az RF csatornatávolság 40 MHz. Ez lehetővé teszi, hogy már 16 QAM modulációval elérhető a 140 Mbit/s-os átviteli sebesség. Mivel ebben a sávban 11 RF csatorna áll rendelkezésre, ezért igen nagy kapacitásigények is kielégíthetők.

A 11 GHz-es rendszert általában új nyomvonalon lehet kialakítani, amely kevéssé követi csak a meglévő, illetve épülő rendszerek nyomvonalát. Ezzel újabb helységek fűzhetők fel az országos hálózatra, kerülőirányok alakíthatók ki.

Mivel ugyanabban a 11 GHz-es sávban jelenleg is analóg rendszerek üzemelnek, ahol a digitális rendszert ki akarjuk építeni, ezért – amennyiben a 11 GHz-es gerinchálózat kiépítésének megkezdésekor

ezek a rendszerek még üzemelni fognak, interferenciás zavarok szempontjából számításokat kell végezni, hogy a rendszerek ne zavarják egymást.

#### 4.3 Digitális mikrohullámú összeköttetések körzeti hálózatokban

A körzeti hálózatokban elsősorban a kis és közepes kapacitású digitális mikrohullámú rádiórelé rendszerek alkalmazása jöhet szóba.

Ilyenek a 2 GHz-es sávban üzemelő 8 Mbit/s csatorna kapacitású rendszerek. A körzeti hálózatban igényelt szakasztávolságok már lehetővé teszik a 12 GHz feletti frekvenciák alkalmazását is. A mikrohullámú rádiórelé berendezésekkel áthidalható szakasztávolság azonban folyamatosan csökken a frekvencia növekedésével, így például 30 km 13 GHz-en és 5–8 km 18 GHz-en.

A mikrohullámú rádiórelé szolgálatnál a rádiószakaszonkénti költség közel állandó, így elvileg minél hosszabb egy rádiószakasz, annál gazdaságosabb a rádiórelé összeköttetés. A digitális mikrohullámú rádiórelé rendszerek körzeti hálózatokban való megfelelő alkalmazásának előfeltétele a hálózattal szemben támasztott műszaki követelmények, az elérhető szakasztávolság, a szükséges csatorna kapacitás, valamint a meglévő vezeték nélküli infrastruktúra figyelembe vétele. A koncepció kialakításánál célszerű figyelembe venni, hogy például egy 13 GHz-es frekvenciasávban üzemelő 34 Mbit/s átviteli sebességű rendszer a körzeti hálózatban max. 30 km-es szakasztávolságokkal építhető ki, 15 GHz-en 8 Mbit/s-os átviteli sebességénél max. 20–25 km hidalható át. 18 és 22 GHz-en kis és nagy sebességű (2–140 Mbit/s) nyalábok is átvihetők, de csak kis (5–8 km) távolságokra. A nagyobb távolságok természetesen mindig áthidalhatók ismétlődő állomások segítségével, láncba kapcsolt szakaszokkal, de ezekben az esetekben a költség alakulása kedvezőtlenebb.

A góckörzeti hálózatban alkalmazott 12 GHz feletti mikrohullámú összeköttetéseknel figyelembe kell venni, hogy egy adott földrajzi területen gyakran kerülhet sor ugyanazon frekvenciák többszöri felhasználására.

Az egyes digitális szigetek kiépítésénél alkalmazott, vezeték nélküli berendezésekkel kiépülő struktúráknak szervesen kell illeszkedniük az országos gerinchálózathoz, a góckörzeti és nagyvárosi hálózatok struktúrájához.

A gócs-, autonóm és szatellit központok országos elhelyezkedését megvizsgálva megállapítható, hogy környezetünkben bármely alacsonyabb síkon lévő központ, illetve település nem nagyobb, mint 40 km sugárú körzeten belül helyezkedik el. Így a mikrohullámú rendszerek alkalmazásával a gócs-, autonóm és szatellit központ helyektől az alacsonyabb síkú központok, vagy előfizetői pontok általában közvetlenül elérhetők. A góckörzeti hálózati síkban különböző vezeték nélküli struktúrák alkalmazhatók.

Az egyes struktúrák kombináltan, egyes vezetékes és vezeték nélküli kiépítéssel is alkalmazhatók.

A góc-, autonóm és szatellit központok, valamint a hozzájuk tartozó előfizetői szintű egységek kis és közepes csatornaszámú, analóg vagy digitális pont-pont közötti mikrohullámú összeköttetésekkel csatlakoztatathatók egymáshoz.

Földrajzilag azonos irányban elhelyezkedő pontok esetén leágazó típusú pont-pont közötti digitális mikrohullámú összeköttetéseket alkalmazva a gócközpontból önállóan megvalósítható az autonóm, a szatellit és az előfizetői pontok elérése.

#### 4.4 Digitális mikrohullámú összeköttetések előfizetői hálózatokban

A mikrohullámú rádiórelé rendszereket egészen az utóbbi időkig nem nagy számban alkalmazták előfizetői összeköttetések létrehozására, kivéve azokat a speciális eseteket, amikor igen nehezen elérhető helyekre, például hegycsúcsokra építettek ki távbeszélő állomásokat. A rádiórelé rendszereket elsősorban frekvencia-gazdálkodási szempontok miatt nem alkalmazták, mivel az egy távbeszélő csatornára jutó költség igen magasnak adódik. Rádiórelé rendszereket például a 144 kbit/s-os ISDN eléréséhez a költségtényezők miatt várhatóan a jövőben is csak néhány különleges esetben fognak használni. Gazdaságos lehet viszont a pont-pont közötti mikrohullámú rádiórelé összeköttetések alkalmazása a magasabb kapacitású, például a 2; 8; 34 Mbit/s vagy ennél nagyobb sebességgel működő áramkörökben, és igen hasznosak lehetnek azokban az esetekben amikor a csatlakozási igényeket igen rövid időn belül kell kielégíteni. Egy másik, teljesen új alkalmazási területe a keskeny sávú mikrohullámú rádiórelé rendszereknek a pont-több pont típusú összeköttetések létrehozása.

##### 4.4.1 Pont-pont közötti összeköttetések

A pont-pont közötti rádiórelé rendszerrel szemben támasztott követelmények közel azonosak, akár előfizetői vonalként, akár sokcsatornás távbeszélő jel átvitelére használják. A kis csatornaszámú digitális mikrohullámú összeköttetések akár előfizetői vonalként, akár az előfizetői pontok és a távbeszélő központ közötti koncentrátorok csatlakoztatására is felhasználhatók. Ami ez utóbbi felhasználást illeti, a kapacitás igény 2 Mbit/s-tól egészen 140 Mbit/s-ig terjedhet.

Ezeknek az igényeknek a kielégítésére az általában szükséges nem túl nagy szakasztávolság igény (10 km) miatt igen alkalmasak a 18 GHz-es és 22 GHz-es frekvenciasávok. Ezek alkalmazásakor figyelembe kell venni a speciális hullámterjedési hatásokat.

##### 4.4.2 Pont-több pont típusú összeköttetések

Az eddig tárgyalt összes mikrohullámú rádiórelé összeköttetés pont-pont közötti átvitelre szolgált, azaz bármely adó által kisugárzott jelet csak egyetlen vevő veszi.

A pont-több pont típusú összeköttetések teljesen eltérő technológiát jelentenek, amennyiben négyhuzalos csatlakozást hoznak velük létre. A nehézséget az okozza, hogy a csomópont felé több adó egyidejűleg csatlakozik egyetlen vevőhöz. A különböző adók ezért különböző frekvenciával (FDMA, frequency division multiplex access) vagy különböző időben (TDMA, time division multiplex access) üzemelnek az interferencia elkerülése érdekében. Ez a probléma jól ismert a műholdas távközlés gyakorlatában, ahol több földi állomás kapcsolódik egyetlen műholdhoz. Digitális mikrohullámú rádiórelé összeköttetéseknel a legalkalmasabb módszer a TDMA, mivel az állomások egyedi időresei szabályosan ismétlődnek egy bizonyos keret struktúrában.

Az ilyen típusú rendszerek egyrészt jól felhasználhatók helyi hálózatokban (LAN) egy zárt körű felhasználói csoport belső forgalmának lebonyolítására (pl. városi bankhálózat kialakításánál), másrészt a TDMA rendszer közhasznú hálózathoz való csatlakoztatásával koncentrátoroként alkalmazható az előfizetői állomások és a távbeszélő központ, vagy a rendszer egyes állomásai között.

A hálózat alapstruktúrája csillag elrendezésű, de hurkolt hálózat is kiépíthető.

#### IRODALOM

- [1] Ph. Magne: DIGITAL RADIO LINKS Thomson-CSF 1982. február
- [2] Kamilo Feher: Digital Communications Microwave Applications Prentice Hall 1981.
- [3] G. Har - J. A. Steinkamp: Future Trends in Microwave Digital Radio. A view from Europe. IEEE Communications Magazine február 1987. Vol. 25. No 2.
- [4] F. Fedi: Application of Microwaves: Present and Future Alta. Frequenza Vol. LVI. No 10