

Hatékony frekvenciafelhasználású cellástechnika I. Cellás elv alapjai

ÖKRÖS TIBORNÉ tudományos főmunkatárs
Posta Kísérleti Intézet

Összefoglalás

Az URH mozgó és állandóhelyű rádiótvkzlési szolgáltatások iránt egyre nagyobb igény jelentkezik, melyet a frekvenciasávok korlátozott mennyisége miatt csak korszerű cellástechnika alkalmazásával lehet kielégíteni. A hatékony frekvenciafelhasználást biztosító cellás elvet ismerteti a cikk, amellyel az adók geometriai elhelyezése és frekvenciafelhasználása határozható meg.

Bevezetés

A csökkenő teljesítmények melletti ismételt frekvenciakiosztás gondolata nem új keletű (1947), mégis csak később jöhettek létre a korszerű cellás rendszerek, mivel a működtetéshez szükséges technológia (elektronikus kapcsolás és vezérlés) kifejlesztésének lehetősége csak az utóbbi másfél évtizedben vált valóra [1].

Az URH mozgó és állandóhelyű rádiótvkzlési hálózatok a hagyományos (500 MHz alatti) vagy a magasabb (900 MHz-es) frekvenciasávokban üzemelhetnek. Szóba kerül már az 1000 MHz feletti frekvenciák használatának szükségessége is [1], [2]. A hagyományos rendszerek kapacitása korlátozott: nincs elég frekvencia az 500 MHz alatti sávokban, a frekvencia ismétlések lehetősége is kicsi a nagy cellaméretok miatt. Hatékony frekvenciafelhasználású cellás rendszer kialakításához a magasabb frekvenciasávokban állnak rendelkezésre szabad frekvenciasávok.

Az URH földi mozgó és állandóhelyű rádiószolgáltatok hálózata adóhelyeinek és frekvenciáinak meghatározása során eleget kell tenni az interferáló adók közötti minimális távolságra vonatkozó feltételeknek. A cellás hálózat geometriai tulajdonságai és frekvenciakiosztása szoros összefüggésben vannak.

Cellás elv alapjai

A cellástechnika az ellátandó terület felosztásán és a frekvenciák ismételt felhasználásán alapszik. A területek egységét, a cellát egyenként saját bázisállomás lát el. A cellák bizonyos csoportokat (cluster) képeznek, melyekre szabályos elrendezésű csatornakiosztást lehet alkalmazni úgy, hogy a cellacsoporton belül egy frekvencia csak egyszer fordul elő, viszont a teljes ellátandó területen ugyanaz a frekvencia ismételt felhasználásra kerül. Az azonos frekvenciájú csatornákat ugyanis megfelelő távolságban egymástól újból fel lehet használni zavaró azonos-csatorna interferencia észlelése nélkül. A szomszédos cellák azonban mindig eltérő csatorna készlettel rendelkeznek az interferen-



ÖKRÖS TIBORNÉ

Villamos mérnöki oklevelét 1960-ban szerezte a Budapesti Műszaki Egyetemen. 1958–67 között a Budapesti Rádiótechnikai Gyárban üzemmérnök-ként, 1967 óta a Posta Kísérleti Intézetben tudományos kutatóként dolgozik. Tématerülete mindvégig az URH rádió-kommunikáció.

ciák elkerülése végett. A frekvencia ismételt kiosztása folytán az adott területen egyidejűleg több hívás lebonyolítható, mint a területen felhasznált frekvenciák száma. Ilyen elv alapján egyetlen rádiófrekvencia 1 erlangnál is nagyobb forgalmat bonyolíthat le.

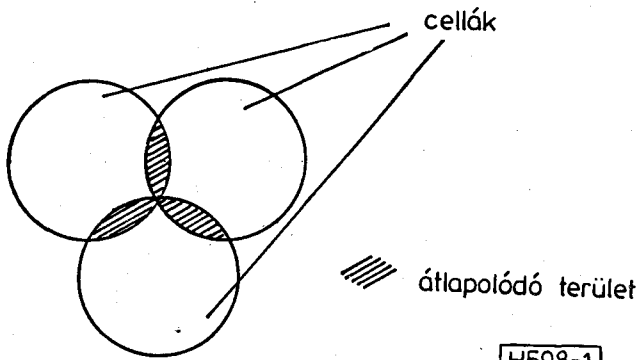
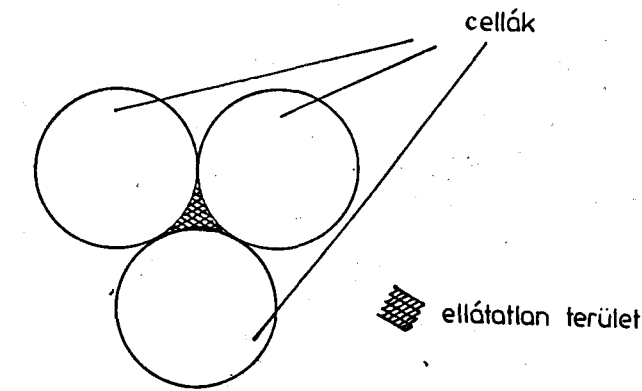
Ha a rendelkezésre álló C csatornamennyiséget N készletre bontjuk, akkor mindegyik készlet C/N csatornát tartalmaz. Ezeket a készleteket használják fel az egyes cellák. Bizonyos cellákban előfordulhat olyan mértékű forgalom, hogy a cella csatornakészlete által meghatározott kapacitás telítődik. A cellán belüli forgalom további növekedése szükségesé teszi a cellahatárok megváltoztatását, a cella osztását. Ez úgy következik be, hogy a korábbi egyetlen cella helyén több cella létesül, melyek mind rendelkeznek az eredeti cella által felhasznált csatornakészlettel. A cellaosztáskor az adók teljesítményét a cellaméretnek megfelelően csökkenteni kell.

A nagy forgalom koncentrációjú területeken tehát kiscellás, míg a kisebb forgalmi igényt támasztó területeken nagycellás szerkezetű rendszert célszerű létesíteni.

Cellás geometria tulajdonságai

A gyakorlatban szabályos geometriai szerkezetre törekszünk a cellás hálózat adóhelyeinek meghatározásánál.

Az egyes adók ellátási területe alkotja tulajdonképpen a cellát, amely körsugárzó antenna és ideális terjedési feltételek mellett kör alakú. Tervezési célokra azonban nem célszerű kör alakú cellákat feltételezni, mert ellátatlan vagy többszörösen ellátott (átlapolódó) területek adódnak (1. ábra). A kör alakú ellátási területek megközelíthetők szabályos poligonnal is (háromszöggel, négyszöggel, hatszöggel), melyeknél ellátatlan vagy átlapolódó területek nem keletkeznek. A hexagonális cellaforma adja a legkedvezőbb megoldást, az



H598-1

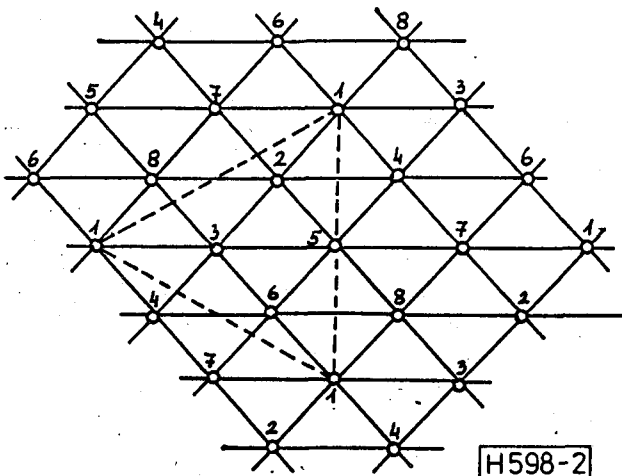
1. ábra Ellátás kör alakú cellákkal

adott területen szükséges adók száma ez esetben a legkisebb [9],[10],[12].

A gyakorlatban a tényleges cellák alakja torzul és ha közelítjük hatszöggel, ez tervezési tárgyalási célokra megfelelő.

Szabályos hálózat

A hálózat adóinak elrendezése egyenletes, az adók párhuzamos vonalrendszer keresztesződéseiben helyezkednek el. Az adóhelyekre kijelölt csatornákat célszerű közönséges 1, 2, 3... számokkal jelölni.

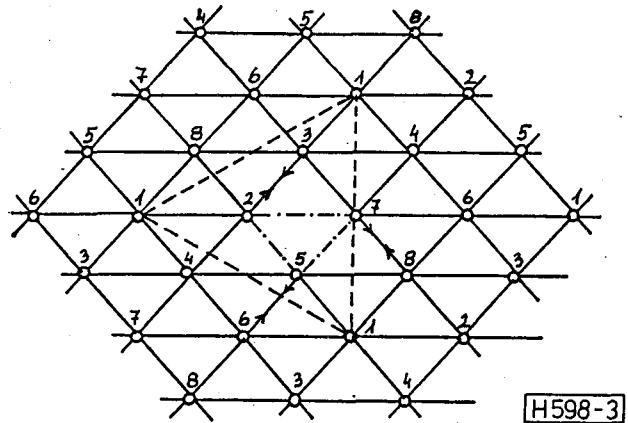


2. ábra Egyenletes lineáris adóhálózat

Az egyenletes hálózatban belül lineáris és nemlineáris csatornakiosztás lehetséges [7].

Lineáris a hálózat, ha a hálózat bármely pontját összekötő egyenes mentén az egymást követő helyek csatornaszámainak különbsége egyenlő (2. ábra). A lineáris hálózatban – bármely csatorna felhasználása esetén – a kölcsönös interferencia mértéke egyenlő. Ilyen csatornakiosztásnál az interferencia zavarok minden hálópontban azonos mértékűek.

A nemlineáris hálózatoknál az egyes adók ellátási területei nem egyformák, a csatornaszám különbségek nem azonosak a hálózat egyenesei mentén, az interferencia mértéke pontról – pontra változik (3. ábra).



3. ábra Egyenletes nemlineáris adóhálózat

A hexagonális cellaformák esetén a hálózatot képező vonalak éppen 60°-os szögben metszik egymást, az adóhelyek egyenlő oldalú háromszöghálóat alkotnak. Megkülönböztethetünk:

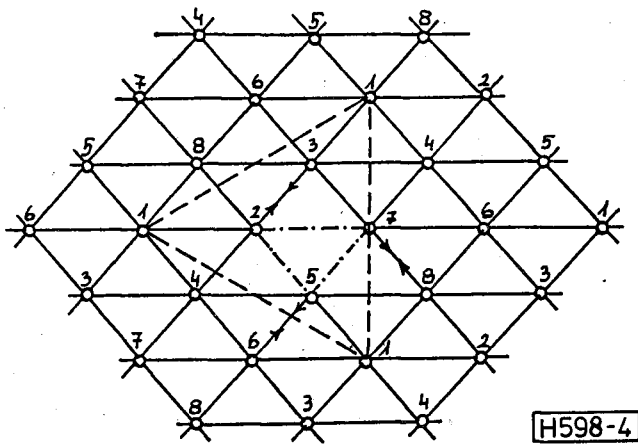
- egyenlő oldalú háromszögből álló azonos-csatorna,
- egyenlő oldalú háromszögből álló különböző-csatorna,
- azonos- és különböző-csatornára nézve egyaránt egyenlő oldalú háromszögből álló szabályos (reguláris) hálózatokat (4., 5., 6. ábrák).

Szabályos (reguláris) hálózat – a későbbiek során láthatjuk – csak bizonyos csatornaszámok esetén képezhető [7], [8].

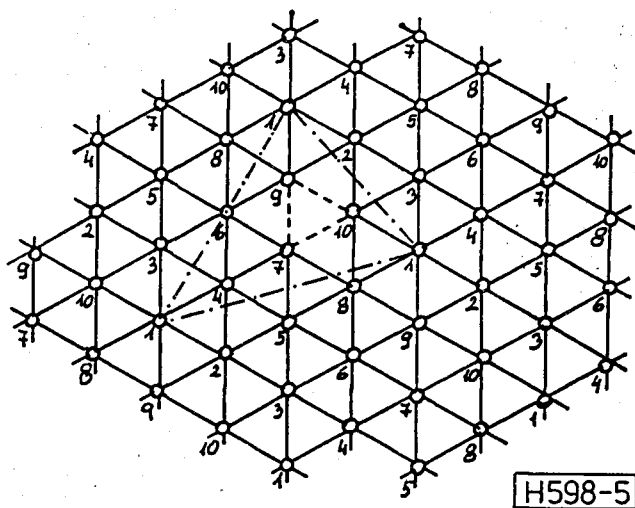
A hexagonális cellás geometria koordinátáit a 7. ábra szemlélteti. A koordináta tengelyek 60°-os szögben metszik egymást, a tengelyek mentén vett egységnyi távolság pedig a cella sugár $\sqrt{3}$ -szorososa. A cella R sugara a cella középpontja és a cella bármelyik csúcsa közötti távolság. Ebben az elrendezésben minden cella középpontja egész számú számpárossal megadott pontra esik és két pont távolsága az alábbi összefüggéssel számítható [7], [8]:

$$d_{12} = \sqrt{(u_2 - u_1)^2 + (u_2 - u_1)(v_2 - v_1) + (v_2 - v_1)^2} \quad (1)$$

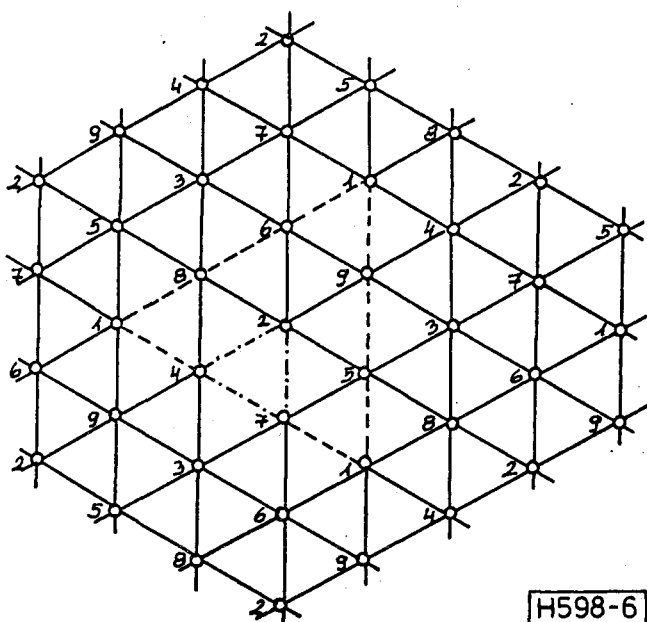
ahol u_1v_1 és u_2v_2 a pontok koordinátáit jelentik. Ezzel az összefüggései is kiadódik, hogy a szomszédos cellák



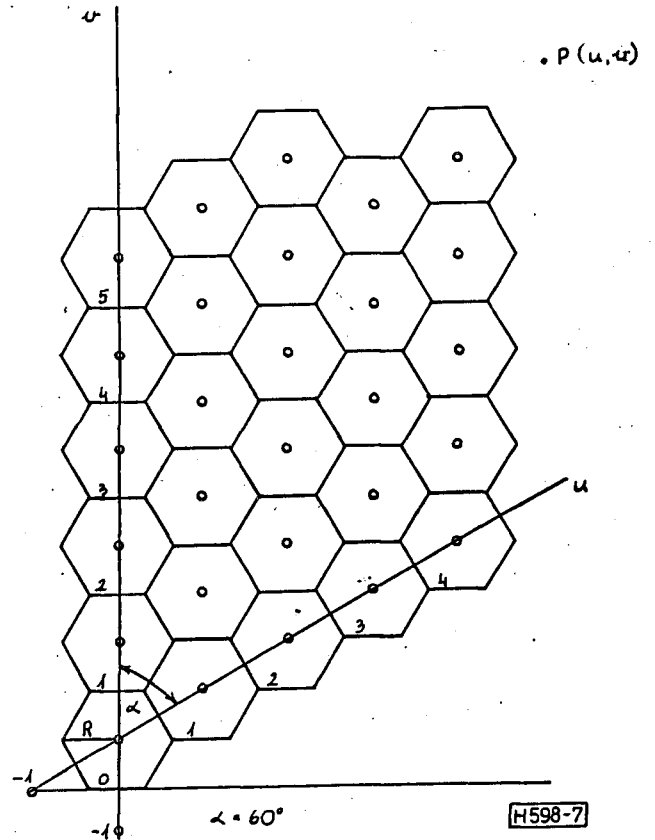
4. ábra Egyenlő oldalú háromszögháló azonos csatornára (C = 8)



5. ábra Egyenlő oldalú háromszögháló különböző csatornára (C = 10)



6. ábra Egyenlő oldalú háromszögháló összes csatornára (reguláris) (C = 9)



7. ábra Hexagonális cellás geometria

középpontja (adók) távolsága egységnyi és a cella R sugara pedig

$$R = 1/\sqrt{3} \quad (2)$$

Optimális hálózat

A hálózat akkor optimális, ha ezzel a leghatékonyabb rádiófrekvenciás ellátás biztosítható, ha az ellátási területek minimális átlapolódásúak, a különféle interferenciák minimálisak és azonos szintűek minden ellátási területen.

Minimális átlapolódások és egyforma ellátási területek elérése céljából – ha lehetséges – a hálózatnak nemcsak szabályosnak (regulárisnak), de lineárisnak is kell lennie [7], [8], [9], [10].

Az interferencia által korlátozott adóhálózatban az azonos-csatorna interferencia van túlsúlyban, ezért célszerű az azonos-csatornájú adókat oly módon elhelyezni, hogy azok egy egyenlő oldalú háromszöghálót alkossanak (így az azonos-csatornájú adók közötti D távolság minden cellahelyre nézve ugyanaz, iránytól függetlenül).

Ha a hálózat nagy kiterjedésű, akkor minden adó hat azonos-csatornájú adó veszi körül, melyek szabályos hatszöget alkotnak, majd nagyobb távolságban a többi azonos-csatornájú adó következik.

Ezen hatszögek a szabályos hálózatban állandóan ismétlődnek, így elegendő egyetlen adó által létesített

ellátási területet vizsgálni, ha minden adó egyenlő mértékben járul hozzá a teljes terület ellátásához a vizsgált egyetlen csatornán belül.

A vizsgált egyetlen csatornán minél nagyobb rádiófrekvenciás ellátási tényezőt kapunk, annál kevesebb frekvenciára van szükség a teljes ellátáshoz, üil. adott csatornaszámmal annál több forgalom bonyolítható le. A kölcsönös interferenciák úgy csökkenthetők, hogy a két szomszédos egyenlő oldalú azonos-csatorna háromszög által alkotott rombusz területén lineárisan osztjuk ki a csatornákat.

Az azonos-csatorna interferencia csökkentésének mértéke nem abszolút amplitúdótól, hanem az azonos csatornájú jel-interferencia viszonytól függ. Minthogy a közepes jel és a közepes interferencia fordítva arányos a forrástól számított távolság negyedik hatványával, a szükséges azonos-csatornájú cella távolságot (D) a cella sugár (R) többszöröseként lehet meghatározni a kívánt jel-interferencia viszonytól függően [2]:

$$\text{ha } J = k/R^n \text{ és } I = k/D^n \quad (3)$$

ahol k egy sugárzási jellemzőktől függő állandó mennyiség és $n = 4$,

$$\text{akkor } J/I = (D/R)^n, \text{ ill. } D = R(J/I)^{1/n}. \quad (4)$$

Megfelelően csökkentve D és R értékét, minden csatorna ismételten kiosztható több cella részére az ellátási területen belül. Ha azonban az azonos-csatornájú cellahelyek közötti kölcsönös interferencia megnőne, akkor még egyéb eszközök (diverziti, teljesítményvezérlés, stb.) használata is szóba jöhet. A D azonos-csatorna ismétlési távolságot tehát megfelelően kell megválasztani, hogy az azonos-csatorna interferencia fellépésének valószínűsége elfogadhatóan kicsi (5 ~ 10%) legyen [10].

Az azonos-csatorna ismétlési viszony (a hálózat geometria) és a csatorna készlet nagysága a (csatornakiosztás) összefüggésben vannak [2], [7], [8], [9], [10], [12]. Az origóba helyezett referencia cellához képest bármely legközelebbi azonos-csatornájú cellahely távolsága az (1) képlet alapján számítható:

$$D = \sqrt{u^2 + uv + v^2} \quad (6)$$

Ha a hálópontok koordinátáinak uv értékeire – lent leírt módon – megfelelő ij számokat választunk, akkor a szabályos hálózat D oldalú azonos-csatornájú hatszöge területén éppen az N csatornakészletnek megfelelő számú R sugarú elemi (különböző-csatornájú) hatszög fordul elő. Ha u_i az azonos-csatornájú cellák középpontja D, a szomszédos (különböző-csatornájú) cellák középpontja pedig egységnyi távolságra van egymástól, akkor a két terület aránya:

$$N = u^2 + uv + v^2 \quad (7)$$

Szabályos hálózat esetén a N csatornakészletre adó-

dó (7) összefüggésben az uv koordinátáknak pozitív egész számoknak kell lenniük (zérus is lehetséges).

A tény, hogy uv egész szám lehet azt jelenti, hogy csak bizonyos számú cella csoportosítható a kívánt geometria szerint.

Optimális hálózatnál uv már közös tényezővel sem rendelkezhet és zérus sem lehet.

A (2), (6) és (7) képletek összevonása esetén kapjuk meg a D/R azonos-csatorna ismétlési viszony és az N csatornakészlet (cellacsoport = cluster) szám közötti klasszikus összefüggést:

$$D/R = \sqrt{3N} \quad (8)$$

A $D/R = 4,6/1$ tipikus érték az $N = 7$ csatornakészlet számnak felel meg, amikor is a teljes rendelkezésre álló C csatornamennyiség 7 készletre oszlik és a cellák 7-es csoportokat (cluster) alkotnak. Hatszög formájú, szabályos cella hálózat létesítésére csak bizonyos N számok (csatornaszámok) alkalmasak: 3, 4, 7, 9, 12, 13, 16, 19, 21, 25, stb. A vastagbetűs számokkal optimális (reguláris és lineáris) hálózat valósítható meg [7].

Frekvenciakiosztási formula

A csatornakiosztás, ill. frekvenciaszámítás a c csatorna kijelölését jelenti a cellahelyek által alkotott rácsháló pontjaira. A kiosztás a következő kétismeretlenű kongruenciával fejezhető ki [7], [8]:

$$c = [(i+1) + jv] \text{ mod } N \quad (9)$$

ahol N a frekvenciakészlet (cluster) szám,
 u, v a hálópontok (cellahelyek) koordinátái.

A csatornakiosztást az i és j tényezők határozzák meg. Az i és j egész számok relatív prim kell legyenek az N modulushoz képest, ekkor (csakis ekkor) minden csatornaszám előfordul N-ig a hálózatban. Az összefüggésben célszerű ij értékű kiosztási tényezőket használni, mivel a $j \geq 1$ esetekben szimmetrikusan azonos értékek adódnak a (9) kongruencia megoldásaira.

A (9) formula fejezi ki a hálózati geometria és a frekvenciakiosztás között a már említett szoros összefüggést, az alapvető (1) képlettel együtt megköti a hálózat- és frekvenciatervezés menetét [7]:

- Az interferáló adó(k), ill. az átviteli minőség (1) képlettel kifejezhető távolság feltétel(ei)nek megfelelően és
- a (9) formulával számítható frekvenciakiosztás függvényében N értéke szerint adódó számú megoldásból választjuk ki az adó, ill. cellahelyek koordinátáit.

A tervezés során egy (vagy több) interferencia típust (távolság megkötést) vehetünk figyelembe. Elvileg maximálisan három távolság feltételt írhatunk elő, mivel a cellahelyek által alkotott háromszögháló meghatározottan tekinthető, ha három különböző távolsága

adott. (Szokásosan az azonos- és a szomszédos-csatornájú cellahelyek kijelölése kritikus). Az (1) geometriai és a (9) számelméleti összefüggésnek egyaránt megfelelő hálópont koordináták csak bizonyos N frekvencia (cella) csoport szám esetén képeznek szabályos, ill. optimális hálózatot. A szabályos hálózat lineáris csatornakiosztással válik optimálissá. Az optimális hálózat egyben szabályos is.

Befejezés

A frekvencia ismételt felhasználása és a kiszolgálandó terület cellákra való osztása képezi a cellás elv alapjait, melyek alkalmazásával az egyes rádiófrekvenciákon 1 erlangnál nagyobb forgalom is lebonyolítható.

A cellás tervezés során a hálózati geometria és a frekvenciakiosztás szoros összefüggésben vannak. Csak bizonyos csatornaszámokkal valósítható meg az optimális hálózat. Az utóbbi lineáris frekvenciakiosztást alkalmaz, melyben az ellátási területek minimális átlapolódásúak és a különféle interferenciák fellépésének valószínűsége minimális és azonos minden területen.

A jelen cikk a hatékony frekvenciafelhasználású célástechnika elvi alapjait tárgyalta. A következő beszámoló a cellás hálózatok létesítésének gyakorlati kérdéseivel foglalkozni.

IRODALOM

- [1] *Ókrös Tiborné – Oprics György*: Urh rádiótelefon rendszerek, PKI Review, 1988.
- [2] CCIR XVIth Plenary Assembly, Volume VIII – 1, Land Mobile Service, Geneva, 1986.
- [3] CCITT Rural Telecommunications, ITU, Geneva, 1986.
- [4] *Duff W. G.*: Mobile Communications, Don White Cons., USA, 1980.
- [5] Bewegliche Funkdienste, NTG Fachberichte 90., VDE – Verlag GmbH, Berlin, 1985.
- [6] *Jakes W. C.*: Microwave Mobile Communications, John Wiley, New York, 1974.
- [7] *Ókrös Tiborné*: Hálózat- és frekvenciatervezés a középhullámú műsorszóró sávban, PKI Közleményei 21. kötet, Közdok, Budapest, 1977.
- [8] *Ókrös Tiborné*: Hálózat- és frekvenciatervezési irányelvek az URH földi mozgószolgálatban, PKI Közleményei 25. kötet, Közdok, Budapest, 1979.
- [9] *Ókrös Tiborné*: Hatékony frekvenciafelhasználású módszerek vizsgálata (Cellás elv), PKI tanulmány, Budapest, 1987. november.
- [10] *Ókrös Tiborné*: Optimális URH rádiótelefon rendszerek rádiótechnikai jellemzői, PKI tanulmány, Budapest, 1987 november.
- [11] *Nehéz György*: URH rádiótelefonok zavarvédelmi vizsgálatai, PKI tanulmány, Budapest, 1982.
- [12] *Ókrös Tiborné*: Cellás rádiótelefon hálózatok tervezése, PKI közleményei 37. kötet, Közdok, Budapest, 1989.