

Az ellátottság számítógépes meghatározása TV, illetve URH-FM adóknál

ETO 621.396.74:654.19.021:65.011.44

A műsorszórási adók elhelyezése előtt fontos feladat megbecsülni a várható eredményt, a várható ellátottságot. A beruházások nagy költségigénye feltétlenül megköveteli a lehető legpontosabb becslést az ellátottságra vonatkozóan. Az előrebecsült eredmények korrigálása és a felépített rendszerek (ellenőrző) méréseinek helyes és pontos kiértékelése szintén fontos feladat.

Pontos eredményt tetemes számítással tudunk csak elérni. Ugyanakkor nagy mennyiségű adatot kell kezelni. Ezt a kettős problémát a jelenlegi technikai szinten már meg tudjuk oldani, mégpedig viszonylag olcsón (a beruházás összegéhez viszonyítva) és gyorsan a számítógép segítségével.

Az alkalmazott módszer rövid leírása

A cikk által tárgyalt számítási módszer csak az alkalmazott matematikai modellt tartalmazza, a számítási algoritmus részletes leírásával; mellőzve a részletes folyamatábrákat, miután azok már függenek az alkalmazott számítógéptől és programnyelvtől is és ezt a leírás terjedelme sem engedi meg.

A módszer elméleti alapjait [1] és [2] tartalmazza és a számítások ennek megfelelően kerülnek végrehajtásra. A számítások során az adó körül igen sok pontban meghatározzuk az ellátottsági valószínűség [1] értékeit és ezek ismeretében a rendszerre vonatkozó, a hatékonyságot leíró mérőszámokat is [2]. A pontonkénti számításokhoz az adó körüli terepet egy megfelelő osztású négyzetrács-hálózattal felosztjuk (1. ábra). Minden A_i területű négyzeten belül, 16–25 pontra kiszámítjuk a hasznos jel értéket és az egész négyzetre vonatkozóan a zavaró jel teljes értékét; majd a kettő alapján az ellátottsági valószínűséget.

Az ellátottsági valószínűségek ismeretében megrajzolható az ellátottsági térkép, amely egyértelműen kimutatja a jó, gyenge vagy rossz minőségű vétellel

rendelkező területeket; továbbá az ellenőrző mérések helyére és számára vonatkozóan kapunk tájékoztatást.

Az adatbázis

A számítások elvégzéséhez nagy tömegű adatot (terepadatok, terjedési adatok stb.) kell a számítógép számára elérhető formában tárolni.

A hullámterjedési adatokon, adóparamétereken kívül, az adatbázis szükséges adatainak többsége az alábbi elemekből áll:

- terepadatok,
- népsűrűségi adatok,
- zajadatok,
- földjellemzők,
- egyéb adatok.

Az adatfelvételt minden egyes A_{ij} területre el kell végezni. A rácsosztás csökkentésével a pontosság növelhető. VHF/UHF tartományban, műsorszórási rendszereknél az 500–1000 m-es rácsosztás elegendőnek tűnik, attól függően, hogy milyen típusú terepről van szó.

További, más jellegű szempontokat is figyelembe véve, a Magyar Posta hozott létre ilyen jellegű adatbázist, melynek legkisebb rácsosztása 100 m.

A továbbiakban feltételezzük, hogy minden egyes A_{ij} elemre vonatkozóan rendelkezésünkre állanak annak

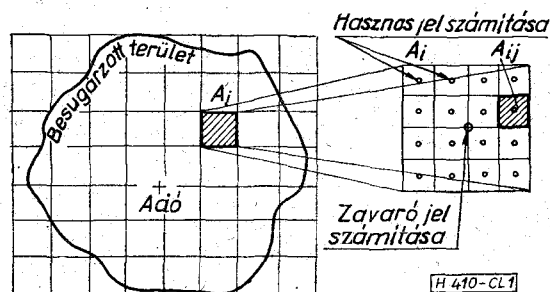
- terepadatai (helykoordinátái sík vagy gömbi koordináta-rendszerben, illetve magasságadata),
- népsűrűségi adata.

1. Az alkalmazott elhanyagolások

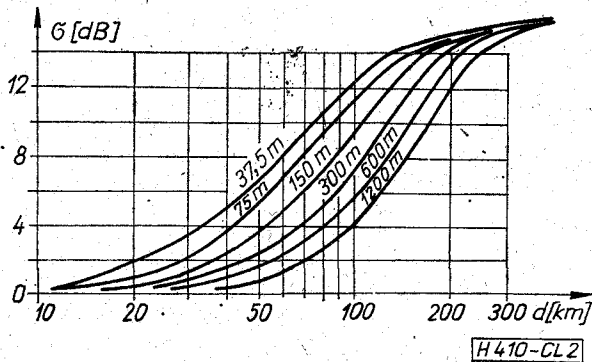
A számítások során több egyszerűsítést kell tenni, mégpedig:

- mivel a hasznos jel időbeli változásának szórását számítani nem tudjuk, közelítésként a CCIR hullámterjedési görbéit használjuk fel [3], melyek alapján, az effektív antennamagasság ismeretében, a szórás értékét becsülhetjük (2. ábra az I–II–III. sávra vonatkozóan).
- a zavaró, idegen adó jelének számításakor a terepmetszet figyelembevételétől el kell tekinteni, mivel azt nem ismerjük (a zavaró adók általában országhatáron kívül vannak) és a gépi időt jelentősen növelné,
- a zavaró adók jelének terep szerinti szóródását a hasznos jelével azonosnak vesszük, illetve azok segítségével számítjuk.

Beérkezett: 1975. VIII. 16.



1. ábra



2. ábra

Természetesen a fenti, fontosabb egyszerűsítések mellett, a számítások során még más elhanyagolásokat is figyelembe kell vennünk.

2. Az ellátottsági valószínűség meghatározása

Az ellátottság viszonylag pontos becsléséhez igen sok pontban kell meghatározni a jelteljesítményeket. A számítógép igénybevétele lehetőséget nyújt arra, hogy a hasznos jelteljesítményt pont-pont közötti számítással határozzuk meg, amely az elérhető pontosságot nagymértékben növeli.

Az ellátottsági valószínűség meghatározása az alábbi lépésekre osztható:

- hasznos jel számítása (pont-pont közötti számítással),
- zavaró jel(ek) számítása (CCIR terjedési görbék alapján),
- az ellátottsági valószínűség meghatározása.

Egy A_i felületelemre vonatkozóan, a számítás algoritmus a 3. ábrán látható.

2.1. A hasznos jel számítása

Miután a hasznos jel értékét pont-pont közötti számítással határozzuk meg, ehhez elengedhetetlenül szükséges az adó és vevőpont közötti terep alakulása. Ezért először a terepmetszet előállítását vizsgáljuk meg.

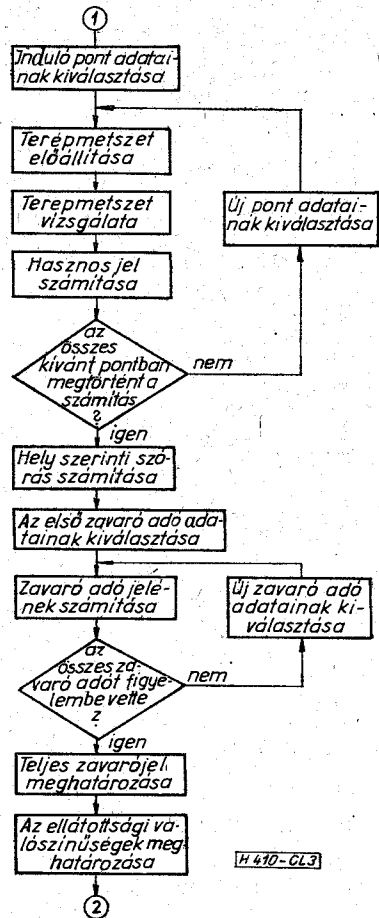
2.1.1. A terepmetszet előállítása

A terepmetszet kialakítása a tárolt hely- és magasság-koordinátákból történik az adó és vevőpont között, a távolság függvényében. A terepmetszet számított pontjainak sűrűségét úgy célszerű megválasztani, hogy ha a metszet valamelyik tengelyel párhuzamosan halad is, rácsosztásonként legálább két számított pontot kapjunk. Így

$$\Delta d \cong \frac{a\sqrt{2}}{4} \tag{1}$$

megfelelő, ahol a a helykoordináták lépésköze, a rácsosztás nagysága (100–1000 m), Δd a terepmetszet lépésköze.

Az előállított terepmetszet végig egyenlő lépésközű és a metszet pontjainak magasságát az irányvonal mentén fekvő magasságadatokból kapjuk, lineáris interpolálással (4. ábra).



3. ábra

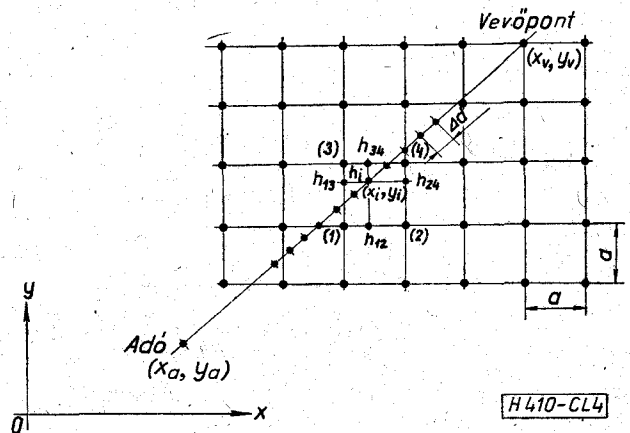
A számítások során a vevőpontot célszerű úgy venni, hogy az mindig valamelyik rácspontba (amelyre vonatkoztatjuk az adatbázis adatait) kerüljön. Így egy interpolációs számítási eljárással kevesebbet kell elvégezni.

A 4. ábra jelöléseivel az alkalmazandó lépésköz:

$$\Delta d = \frac{d}{n+1}, \tag{2}$$

ahol

$$d = \sqrt{(x_v - x_a)^2 + (y_v - y_a)^2} \tag{3}$$



4. ábra

az adó és vevőpont távolsága és

$$n = \left\lceil \frac{4d}{a\sqrt{2}} \right\rceil. \quad (4)$$

Ekkor az interpolált magasságértékek az i -edik pont körül, amely az adótól $d_i = iAd$ távolságra van

$$h_{12} = h_1 + \delta_1(h_2 - h_1) \quad (5)$$

$$h_{34} = h_3 + \delta_1(h_4 - h_3)$$

$$h_{13} = h_1 + \delta_2(h_3 - h_1) \quad (6)$$

$$h_{24} = h_2 + \delta_2(h_4 - h_2),$$

ahol

$$\delta_1 = \frac{x_i}{a} - \left\lfloor \frac{x_i}{a} \right\rfloor \quad (7)$$

$$\delta_2 = \frac{y_i}{a} - \left\lfloor \frac{y_i}{a} \right\rfloor. \quad (8)$$

Így h_i -re két közelítést kapunk

$$h_{ix} = h_{13} + \delta_1(h_{24} - h_{13}) \quad (9)$$

$$h_{iy} = h_{12} + \delta_2(h_{34} - h_{12}), \quad (10)$$

amelyek számtani átlaga lesz h_i értéke, azaz

$$h_i = \frac{h_{ix} + h_{iy}}{2}. \quad (11)$$

Az így kapott

$$h = (h_0, h_1, \dots, h_i, \dots, h_{n+1}) \quad (12)$$

magasságérték-sorozat adja a terepmetszetet.

2.1.2. A terepmetszet korrekciója és simítása

A fent kapott terepmetszet azonban még nem veszi figyelembe a légkörnek a hullámterjedésre gyakorolt hatását, amelyet a megnövelt föld sugarral tehetünk meg. Ennek érdekében a (12) alatti terepmetszet az 5. ábra alapján korrigáljuk.

A föld görbületét parabolaívvel közelítve, az y_i lehajlást a következőképp számolhatjuk [4]:

$$y = \frac{x_{[km]}^2}{17} \quad [m]. \quad (13)$$

Ekkor

$$h'_i = h_i + \frac{d_i(d - d_i)}{17} \quad [m] \quad (14)$$

lesz, ahol h'_i az i -edik pont új értéke.

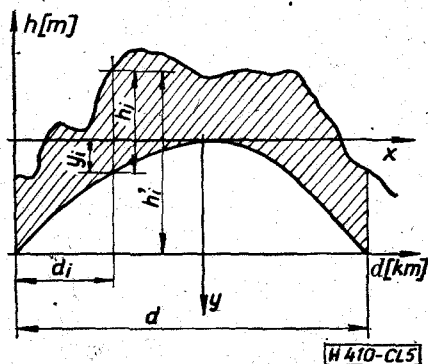
A gyakorlatban az így kapott terepmetszet azonban még nem használható, mert a terep minden alakulását hűen követi és így a hasznos jel számítása túl bonyolulttá válhat. Ezt elkerülendő a terepmetszetet simítjuk, mégpedig az alábbiak szerint:

$$h_i = \frac{h_{i-1} + h'_i + h'_{i+1}}{3} \quad I \leq i \leq n \quad (15)$$

és

$$\left. \begin{aligned} h_0 &= h'_0 \\ h_{n+1} &= h'_{n+1} \end{aligned} \right\}, \quad (16)$$

ahol h'_i a (14) szerint számított érték. A továbbiakban terepmetszet alatt a (15), (16) által leírt metszetet értjük.



5. ábra

2.1.2. A hasznos jel középértékének és szórásának számítása

A hasznos jel pont-pont közötti számítása három részre osztható

- a terepmetszet vizsgálata,
- a hasznos jel középértékének meghatározása,
- a hasznos jel szórásának meghatározása.

A jelteljesítmény számítására alkalmazott eljárás az [5] által javasolt algoritmusra épül; a feladat által megkövetelt módosításokkal. Ez a számítási folyamatára látható a 6. ábrán.

A számításokhoz a vevőantennát veszteségmentesnek tekintjük és a műsorszóró rendszert a 7. ábrának megfelelő felépítésben vizsgáljuk.

A 7. ábrán a vevőoldalon elhagytuk az antenna-áramkört jelképező téglalapot és mindkét oldalon elhagytuk az antennakábeleket, illetve az adó- és vevőkészülékeket jelképező téglalapokat.

Az alkalmazott jelölésekkel az átviteli veszteség [6, 7]:

$$L = L_0 + L_{lp} + L_{rp} \quad [\text{dB}], \quad (17)$$

ahol

$$L_0 = L_{lt} + A_0 + L_{rt} = A_0 \quad [\text{dB}] \quad (18)$$

az átviteli alapveszteség;

$$L_{lp} = -G_{lp} \quad [\text{dB}] \quad (19)$$

$$L_{rp} = -G_{rp} \quad [\text{dB}]$$

az adó-, illetve vevőantenna nyereségek;

$$A_0 = A_1 + A_2 \quad [\text{dB}] \quad (20)$$

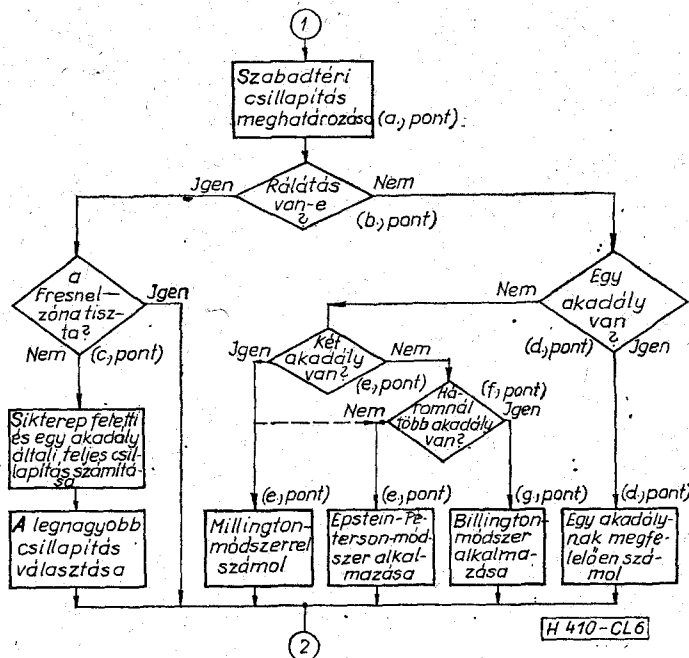
a terjedési út által okozott csillapítás, amely az A_1 szabadtéri csillapításból és az A_2 terjedési útvonalból adódó csillapításból áll.

A P_r középértékek számításához minden esetben ismerni kell az A_0 csillapítás értékét, amelyet a következőkben a 6. ábra minden egyes esetére vonatkozóan meghatározunk.

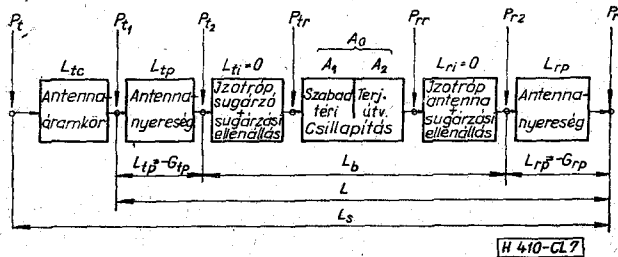
a) Szabadtéri csillapítás

A szabadtéri csillapítás minden esetben részét képezi a teljes csillapításnak és ehhez kell hozzáadni a terep által okozott csillapítást. Ennek értéke az ismert kifejezés [4, 8] alapján:

$$A_1 = 32,45 + 20 \log f_{\text{MHz}} + 20 \log d_{\text{km}} \quad [\text{dB}]. \quad (21)$$



6. ábra



7. ábra

b) Rálátás vizsgálata

A számítógép a terepmetszet alapján, a terepmetszet és az adó- és a vevőantennát összekötő egyenes közötti különbségeket képezi és vizsgálja ezek előjelét (8. ábra).

Az ábra jelölésével a különbség értéke:

$$H_i = \frac{(H_0 - H_{n+1}) + (h_0 - h_{n+1})}{d} d_i - (H_0 + h_0) + h_i \text{ [m]}$$

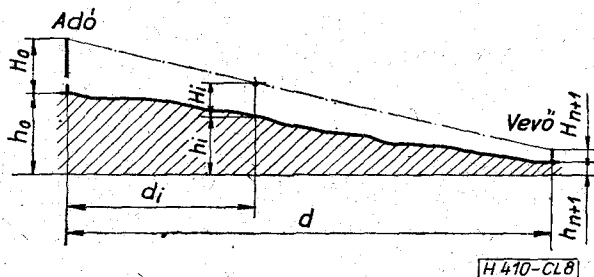
és

$$1 \leq i \leq n, \tag{22}$$

Ha

$$H_i < 0 \quad 1 \leq i \leq n, \tag{23}$$

azaz a különbségek negatívak, akkor rálátásos a terep.



8. ábra

c) Rálátásos terjedési eset

Abban az esetben, ha a terjedés rálátásos, meg kell vizsgálni, hogy van-e az első (esetleg második) Fresnel-zónán belül terepakadály. Amennyiben a terep nem esik bele az első Fresnel-zónába, akkor szabadtéri terjedéssel számolhatunk.

A H_i különbségek birtokában képezve a Fresnel-integrál [8, 9] integrálási határát,

$$v_i = H_i \sqrt{\frac{2d}{\lambda d_i (d - d_i)}} \quad 1 \leq i \leq n, \tag{24}$$

ahol λ a hullámhossz, akkor szabadtéri terjedéssel abban az esetben számolhatunk, ha

$$v_i < -0,8 \text{ minden } i\text{-re.} \tag{25}$$

Amennyiben ez valamely i -nél nem áll fenn, akkor síkterepi, illetve egy akadály esetének megfelelően számolva, a nagyobb csillapítást választjuk, azaz

$$A_0 = \max \{A'_0, A''_0, A'''_0\}, \tag{26}$$

ahol

$$A'_0 = A_1 \tag{27}$$

a szabadtéri csillapítás (21) szerint;

$$A''_0 = 40 \log d_{km} - 20 \log (H_0 H_{n+1}) + 120,1 \text{ [dB]} \tag{28}$$

a sík terep feletti teljes csillapítás, ahol H_0 , H_{n+1} az adó-, illetve vevőantenna magassága m-ben;

$$A'''_0 = A_1 + A_2, \tag{29}$$

amelyben A_1 a (21) szerinti csillapítás és

$$A_2 = -20 \log \left| \frac{(1+j)}{2} \int_{v_0}^{\infty} \exp \left(-j \frac{\pi}{2} v^2 \right) dv \right| \text{ [dB]}, \tag{30}$$

ahol

$$v_0 = \max \{v_i\} \quad i \leq i \leq n \quad (31)$$

a késéiakadály által okozott csillapítás [8].

d) Egy késéi-akadály esete

Ha a terjedés nem rálátásos, azaz (23) nem teljesül, tehát

$$H_i \geq 0 \text{ valamely } i\text{-re,} \quad (32)$$

akkor meg kell vizsgálni, hogy milyen az akadály jellege. Ez a 9. ábra jelöléseivel a következőképp történik.

A számítógép az adótól, illetve a vevőtől kiindulva, vizsgálja a tereppontok szögmagasságát az átlátási vonal felett és megállapítja a maximumot okozó tereppont helyét, azaz keressük

$$\max \{m_i^\alpha\} \quad 1 \leq i \leq n \quad \text{és} \quad m_i^\alpha \geq m_{av}, \quad (33)$$

illetve

$$\min \{m_k^\beta\} \quad 1 \leq k \leq n \quad \text{és} \quad m_k^\beta < m_{av} \quad (34)$$

értékeket, illetve a hozzájuk tartozó d_{ix} és $d_{k\beta}$ távolságokat, ahol

$$m_i^\alpha = \frac{h_i - (H_0 + h_0)}{d_i} \quad (35)$$

az adótól kiindul és az i -edik ponthoz (d_i távolsághoz) tartozó tereppontot összekötő egyenes meredeksége,

$$m_k^\beta = \frac{(H_{n+1} + h_{n+1}) - h_k}{d - d_k} \quad (36)$$

a k -adik pontot és a vevőt összekötő egyenes meredeksége és

$$m_{av} = \frac{(H_{n+1} - H_0) + (h_{n+1} - h_0)}{d} \quad (37)$$

az átlátási vonal meredeksége.

Ha

$$|d_{k\beta} - d_{ix}| \leq 2\Delta d, \quad (38)$$

akkor az akadály egyetlen késéiakadálynak fogjuk fel és az A_2 csillapítást (30) szerint számítjuk, ahol most v_0 vagy a $d_{k\beta}$, vagy a d_{ix} távolsághoz tartozó érték (24) szerint számolva.

Ha az így kapott v_0 értékre igaz az, hogy

$$v_0 > 2, \quad (39)$$

akkor az A_2 csillapítás közelítő értéke [5] alapján

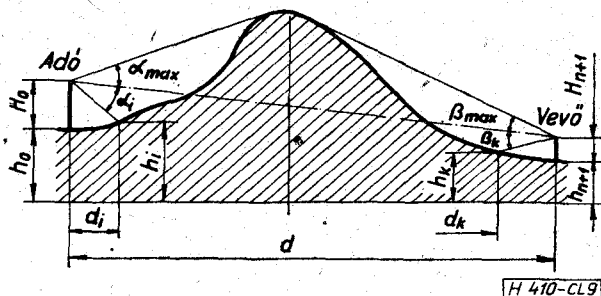
$$A_2 = 20 \log v_0 + 12,94 \text{ [dB]} \quad (40)$$

és a teljes csillapítást (20) szerint kapjuk meg.

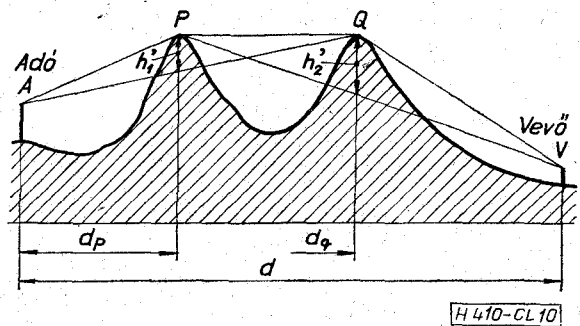
e) Két akadály esete

Amennyiben (38) nem teljesül, akkor nem egy akadály van és ezért további vizsgálatokat kell végezni.

A szögmaximumok helyéről kiindulva, a gép vizsgálatot végez a b) pontban leírt módon az átlátásra vonatkozóan. Ha a két pont között átlátás van,



9. ábra



10. ábra

akkor két akadálynak megfelelően számol, mégpedig nagyobb pontossági igények esetén a Millington által javasolt módszerrel [10, 11], amely két késéiakadály esetére a Fresnel-integrálhoz hasonló, de kettős integrállal és sorfejtéssel meghatározható összefüggést ad; kisebb pontossági igények esetén, amely a gépi számítást nagymértékben gyorsítja, az Epstein — Peterson által javasolt módszerrel [12].

Az Epstein és Peterson által alkalmazott számítás lényege az, hogy a feladatot visszavezeti az egy akadály esetére, külön-külön kiszámítva az egyes csúcsok által okozott csillapításokat, majd összeadva őket.

A 10. ábrának megfelelően legyen az AQ pontok közötti csillapítás h_1' akadálymagasság esetén A_{2AQ} ; a PV pontok közötti csillapítás h_2' akadálymagasság esetén A_{2PV} . Mindkét csillapítást a már tárgyalt egy akadály esetének megfelelő módszerrel (e) pont) számolhatjuk, első esetben zérus vevőantenna, második esetben zérus adóantenna-magassággal. Így

$$A_2 = A_{2AQ} + A_{2PV}. \quad (41)$$

A Millington által végzett összehasonlító számítások [10] azt mutatják, hogy a két módszer közötti eltérés a gyakorlati esetek többségében elhanyagolható mértékű. Ugyanott megfelelő korrekciós táblázat található a hiba mérséklésére.

A fentiek figyelembevételével, a gépi idő csökkenésének érdekében, célszerűbb Epstein és Peterson módszerét alkalmazni.

f) Három akadály esete

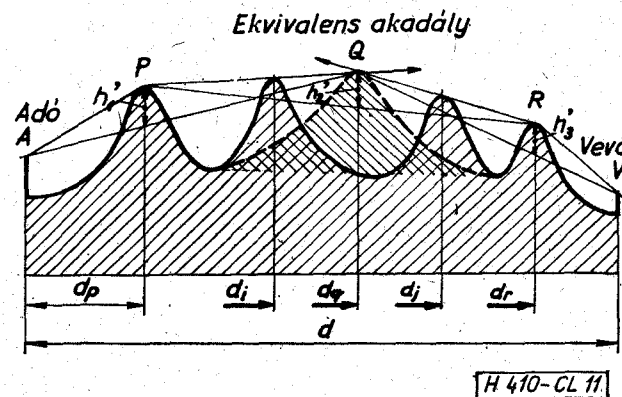
Ha a terepmetszet vizsgálatakor sem (23), sem (38) nem teljesül és a szögmaximumok helyéről kiindulva b) pont szerinti vizsgálat akadályt talál, akkor a d) pontban leírt vizsgálattal eldönthető, hogy egy vagy több közbülső akadály van-e.

Amennyiben egy közbülső akadály van, akkor az előző, e) pontban tárgyalt Epstein—Peterson módszerrel számítható a csillapítás.

g) Háromnál több akadály esete

Ha az f) pont szerinti vizsgálatnál megállapítást nyer, hogy háromnál több akadály van, akkor a Bullington által javasolt ekvivalens akadályképzéssel, a számítást visszavezethetjük három akadály esetére (11. ábra).

Bár háromnál több akadály esetére is dolgoztak ki közelítő számításokat [4, 8], az egyszerűsítés miatt célszerűbb ekvivalens adakálllyal számolni.



11. ábra

h) A hasznos jelteljesítmény középértékének és szórásának meghatározása

Az előbbi pontokban tárgyalt módszerekkel meghatározva az $A_0 = A_1 + A_2$ csillapítást, kiszámítható a hasznos jelteljesítmény középértéke és szórása. A 7. ábra jelöléseivel, mivel

$$L_{ii} = L_{ri} = 0$$

$$\left. \begin{aligned} P_{r2} &= P_{tr} \\ P_{r2} &= P_{rr} \end{aligned} \right\} \quad (42)$$

Mivel az adók esetében a' kisugárzott effektív teljesítmény, P_{tr} , vagy másképpen jelölve P_{ERP} , ismert, így a veszteségmentes vevőantenna kimenetén a hasznos jelteljesítmény:

$$P_r = P_{tr} - A_0 - L_{rp} = P_{tr} - A_1 - A_2 + G_{rp} \text{ [dB]}, \quad (43)$$

illetve

$$p_r = 10^{(P_r/10)} \text{ [W]}. \quad (44)$$

A hasznos jel vevőpontbeli térerőssége is felírható (43) alapján [6], amennyiben ez szükséges:

$$E = P_r - G_{rp} + 20 \log f_{\text{MHz}} + 107,21 \text{ [dB]}. \quad (45)$$

A (43) által meghatározott érték a jel középértéke. Az ellátottsági valószínűség meghatározásához azonban ismerni kell a szórás értékét is. Mivel a jelteljesítmény idő szerinti változásai log-normális eloszlással írhatók le [14, 15], e két paraméter ismerete elegendő. A szórás értékét, az 1. pontban leírtaknak megfelelően, a CCIR terjedési görbéiből előállított diagramokból (2. ábra) határozhatjuk meg.

Tehát ismert a hasznos jelteljesítmény

$$m_n = P_r \quad (46)$$

középértéke (43) alapján, és a_{nT} szórása a 2. ábra, vagy a IV—V. sávra megszerkesztett hasonló ábra alapján.

2.2. A zavaró jelek számítása

Az ellátottsági valószínűség meghatározásához szükséges a zavaró jelek értékének meghatározása is. Ez tulajdonképpen két részből áll:

- a természetes és ipari zavarok meghatározása és a
- zavaró, idegen adók hatásának meghatározása.

A zavaró jelek függvényében megadható egy minimális hasznos jelteljesítmény-érték [1, 6] a veszteségmentes vevőantenna kimenetén, amely tökéletes minőségű vételt [1] biztosít. Ez az érték

$$p_0 = r f k T B + \sum_{i=1}^n r_i p_{ui} \text{ [W]}, \quad (47)$$

- ahol r a minimális jel-zaj viszony természetes és ipari zajok esetére,
 f a bemenetre redukált effektív zajszám [16, 6, 1],
 k a Boltzmann-állandó,
 T a hőmérséklet °K-ban,
 B a vevőkészülék sávzélessége Hz-ben,
 p_{ui} az i -edik zavaró adó jelteljesítménye,
 r_i az i -edik zavaró adóra vonatkozó jel-interferencia viszony,
 n a figyelembe vett zavaró adók száma.

2.2.1. A természetes és ipari zavarok figyelembevétele

A (47)-es összefüggés első tagja zajtérkép segítségével határozható meg pontosan. Mivel ilyen zajtérkép a VHF/UHF sávra pillanatnyilag nem áll rendelkezésre, ezért erre a célra különböző szervezetek (CCIR, OIRT, FCC, TASO) sávonként és beépítettségi foktól függően a hasznos jel térerősségének értékére egy minimális értéket állapítottak meg [17, 18, 19].

A térerősség értékek alapján, (45) segítségével meghatározható a teljesítmény értékek táblázata is sávközépre vonatkozóan. Általában a CCIR ajánlásait vesszük figyelembe, melynek megfelelő, a CCIR Rec. 417—1 [17] alapján készült táblázat az alábbi:

Sáv	I.	II.	III.	IV.	V.
Szervezet	A teljesítmény [dB]				
CCIR	-91,7	-96,5	-95,9	-94,46	-92,8
OIRT	-91,7	-93,78	-95,9	-92,46	-90,8

Tehát (47) első tagját a (45)-ből kapott

$$P_{r \min} = E_{\min} + G_{rp} - 20 \log f_{\text{MHz}} - 107,21 \text{ [dB]}, \quad (48)$$

illetve

$$P_{r \min} = 10^{(P_{r \min}/10)} \text{ [W]} \quad (49)$$

kifejezéssel számíthatjuk, ahol E_{\min} értékét a CCIR Rec. 417—1 alapján vesszük.

2.2.2. Zavaró adók jelének meghatározása

Amint azt már a bevezetőben és az 1. pontban említettük, a zavaró adók jelét — minden A_i területre — a CCIR terjedési görbéi segítségével határozzuk meg.

Mivel a zavaró adó jelének helytől függő szóródását a hasznos jel számított értékeiből határozzuk meg, valamint a gépi idő csökkentése miatt is, értékét nagyobb, a hasznos adó jelére vonatkozó több (16—25) számítási pontot magába foglaló területre számítjuk ki. A számítási pontok sűrűségét azért sem érdemes növelni, mert maga a számítási módszer is pontatlan.

a) Minden fent értelmezett területre vonatkozóan, a terjedési görbéről a CCIR Rec. 317—1-ben ajánlott módszer szerint leolvasott télerősségértékekből (47), (48) kifejezések segítségével minden egyes zavaró adóra meghatározhatók a

$$p_{ui} \quad 1 \leq i \leq n \quad (50)$$

teljesítmény középértékek, majd [3] segítségével, a frekvenciák, üzemmódok ismeretében megadhatók hozzájuk

$$r_i \quad 1 \leq i \leq n \quad (51)$$

értékei, melyek alapján (47) második tagja előállítható.

A centrális határeloszlás tétele alapján ez az összeg közel log-normális eloszlású lesz. Ennek megfelelően szórásnégyzete alábbiak szerint számítható:

b) Az idő szerinti szórás az i -edik zavaró adóra vonatkozóan, a hullámterjedési görbék (50,50) és (50,1) %-os görbeseregei alapján, a következőképp adhatjuk meg:

$$\sigma_{Tzi}^2 = \frac{F(50,1) - F(50,50)}{2,3265} \quad 1 \leq i \leq n. \quad (52)$$

Az eredő szórásnégyzet

$$\sigma_{Tz}^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_{Tzi}^2. \quad (53)$$

c) A zavaró adók jelének terület szerinti szórását a hasznos jel értékeiből határozhatjuk meg. A korrigált hely szerinti szórásnégyzet az i -edik zavaró adóra

$$\sigma_{Lzi}^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (P_{hj}^i - \bar{P}_h)^2}{m-1} \quad 1 \leq i \leq n, \quad (54)$$

ahol P_{hj}^i a hasznos adó teljesítménye dB-ben a j -edik számítási pontban, A_i -n belül,

$$\bar{P}_h = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m P_{hj}^i \quad [\text{dB}] \quad (55)$$

m a hasznos adó jeleinek várható értéke, az elemi A_i területdarabba eső, a hasznos adóra vonatkozó számítási pontok száma,

n a zavaró adók száma.

Az eredő szórásnégyzet így:

$$\sigma_{Lz}^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_{Lzi}^2. \quad (56)$$

2.2.3. Az eredő zavaró jel középértéke és szórása

Az eredő jel középértékét (47), (49), (50), (51) alapján állíthatjuk elő, amelyből

$$P_0 = 10 \log p_0 \quad [\text{dB}], \quad (57)$$

amelynek szórásnégyzetei (53) és (56) által adottak.

2.3. Az ellátottság valószínűség számítása

Miután előrebecsléssel csak a jelteljesítményre kaphatunk értéket, ezért az ellátottsági valószínűség kifejezése [1]:

$$p \approx P(\text{TMV}_1) = P(p_h > p_0) = P(p_h - p_0 > 0), \quad (58)$$

ahol p az ellátottsági valószínűség, TMV_1 a tökéletes minőségű vétel az első értelmezés szerint [1],

$p_h = p_r$ (44)-ből számítva a hasznos jel értéke, p_0 a TMV_1 -hez szükséges minimális jelteljesítmény, (47) szerint számolva.

A számítás lépései a következők lesznek:

a) Legyen a vizsgált terület egy felosztásorozata

$$\{A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n\} \quad (59)$$

és minden A_i tartalmazzon 16 számítási pontot a hasznos adóra és egyet a zavaró jelre. A_i területe 0,25—4(—16) km² között mozoghat a léfedő rács-hálózatától függően.

b) Kiszámítjuk a hasznos jel értékét a 2.1. pont alapján a 16 pontban, minden i -re, azaz

$$\{P_{h1}^i, P_{h2}^i, \dots, P_{h16}^i\} \quad \text{minden } i\text{-re.} \quad (60)$$

Meghatározzuk a CCIR görbék alapján az időszórás

$$\{\sigma_{hT1}^i, \sigma_{hT2}^i, \dots, \sigma_{hT16}^i\} \quad \text{minden } i\text{-re.} \quad (61)$$

c) Meghatározzuk minden A_i -re a hasznos jel helytől függő változásából — az 1. pont szerint — a zavaró jel helytől függő változásának szórását (54) segítségével, azaz

$$a_{zi}^i \quad \text{minden } i\text{-re} \quad (62)$$

értékét.

d) Meghatározzuk a zavaró jel értékét a 2.2. pont alapján, a minimális hasznos jelteljesítmény és a CCIR görbék segítségével, azaz

$$P_z^i \quad \text{minden } i\text{-re} \quad (63)$$

értékét, valamint az időszórás (53) alapján

$$\sigma_{zr}^i \quad \text{minden } i\text{-re.} \quad (64)$$

e) Ekkor meghatározhatók a különbségjelek sűrűségfüggvényei [1], illetve annak paraméterei, amelyek

$$h_j^i(z) = \int_{-\infty}^{\infty} f_{hj}^i(x+z) g_{zr}^i(x) g_{Lz}^i(x) dx \quad (65)$$

$1 \leq j \leq 16$ és minden i -re.

alakúak, ahol $f_{hj}^i(y)$ a hasznos jel sűrűségfüggvényei (60), (61) paraméterekkel, $g_{zr}^i(x) g_{Lz}^i(x)$ a zavaró jel együttes normális sűrűségfüggvénye az időtől és tereptől való függés leírására (63), (64) és (62) paraméterekkel.

Így az ellátottsági valószínűség értéke [1] az i -edik területelem j -edik pontjában

$$P_j(TMV_1) = \int_0^{\infty} h_j^i(z) dz \quad 1 \leq j \leq 16 \quad \text{és minden } i\text{-re.} \quad (66)$$

Tehát minden A_i területen belül 16 pontban meghatároztuk az ellátottsági valószínűség értékét.

3. A hatékonyság vizsgálata

Az ellátottsági valószínűség ismeretében, az adó, illetve a teljes műsorszóró rendszer hatékonyságára kaphatunk mérőszámokat [2].

A legfontosabb mérőszámok, melyek kiszámítását ismertetjük

- az ellátott terület,
- az ellátott lakosság,
- a hatékonyság mértéke.

3.1. Ellátott terület és lakosság

Az ellátott területet és lakosságot a definíció [2] szerint a következő összefüggésekkel számíthatjuk:

$$T = \int_A p(A) dA \quad (67)$$

és

$$R = \int_A p(A) \varrho(A) dA, \quad (68)$$

ahol T az ellátott terület, R az ellátott lakosság, $p(A)$ az ellátottsági valószínűség felszín szerinti függvénye, $\varrho(A)$ a népsűrűség felszín szerinti függvénye, A a vizsgált terület.

Az előző pontban tett megállapítás szerint, az (59) felosztás minden A_i területén 16 számítási pontot vettünk, azaz így 16 ellátottsági valószínűségértékét kaptunk. Minden ilyen számítási ponthoz egy elemi A_{ij} terület rendelhető, amelyre

$$A_i = \sum_{j=1}^{16} A_{ij} \quad \text{minden } i\text{-re,} \quad (69)$$

ahol

$$A_{ij} = \frac{A_i}{16} \quad (70)$$

Legyen a számított ellátottsági valószínűség értékek sorozata

$$\{p_{11}, p_{12}, \dots, p_{ij}, \dots, p_{16}\} \quad \text{minden } i\text{-re} \quad (71)$$

$$p_{ij} = P_j^i(TMV_1) \quad \begin{matrix} \text{minden } i\text{-re} & \text{és} \\ \text{minden } j\text{-re} \end{matrix} \quad (72)$$

Jelölje hasonló módon az A_{ij} terület népsűrűségét ϱ_{ij} , azaz legyen adott

$$\{\varrho_{11}, \varrho_{12}, \dots, \varrho_{ij}, \dots, \varrho_{16}\} \quad \text{minden } i\text{-re} \quad (73)$$

Ekkor a fenti jelölésekkel (67) és (68) integrálközelítő

összegei

$$T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{16} p_{ij} A_{ij}, \quad (74)$$

illetve

$$R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{16} p_{ij} \varrho_{ij} A_{ij} \quad (75)$$

Figyelembe véve azt, hogy minden A_{ij} elemi területelem azonos nagyságú és értéke

$$A_{ij} = \frac{A}{16n} \quad \text{minden } i\text{-re, } j\text{-re}$$

(74) és (75) a következő egyszerűbb formára alakítható át

$$T = \frac{A}{16n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{16} p_{ij} \quad (76)$$

$$R = \frac{A}{16n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{16} p_{ij} \varrho_{ij} \quad (77)$$

3.2. A hatékonyság mértéke

A hatékonyság mértéke az ellátottsági valószínűség és a népsűrűség ismeretében olyan mérőszámot ad, amely alkalmas különböző rendszerek összehasonlítására is.

[2] szerint a hatékonyság mértéke az alábbi módon számítható:

$$H_s = \int_0^1 \int_0^1 s(x, y) h(x, y) dx dy \quad x, y \in (0, 1] \quad (78)$$

ahol $h(x, y)$ az $X = \varrho/\varrho_M$ valószínűségi változó és az $Y = p$ valószínűségi változó együttes sűrűségfüggvénye, $s(x, y)$ súlyfüggvény, amely legegyszerűbb esetben

$$s(x, y) = \frac{x+y}{2} \quad \text{alakú} \quad (79)$$

$\varrho_M = \max_A \{\varrho\}$ a vizsgált terület (A) legnagyobb népsűrűségi értéke.

A hatékonyság mértékének számításakor a vizsgálatot a besugárzási határig [2] kellene végezni, de elegendően nagy A esetén, a keletkezett hiba elhanyagolható mértékű lesz.

A gépi számítás során egy kétdimenziós hisztogramot kell előállítani és kiszámítani a befedett térfogatot. Ehhez a következő lépésekben lehet eljutni:

a) Legyen az x és y tengelyek $(0, 1]$ intervallumának egy m egyenlő részre ($m=50-100$ elegendő pontosságot biztosít) történő felosztásosorozata

$$\left(0, \frac{1}{m}\right), \left[\frac{1}{m}, \frac{2}{m}\right), \left[\frac{2}{m}, \frac{3}{m}\right), \dots, \left[\frac{i-1}{m}, \frac{i}{m}\right), \dots, \left[\frac{m-1}{m}, 1\right), [1] \quad (80)$$

Rendeljük hozzá, sorra minden egyes intervallumhoz a $H_s = (h_{ij})$, $(m+1) \times (m+1)$ -es méretű mátrix megfelelő indexű sorát illetve oszlopát.

b) Legyen az ellátottsági valószínűség $\{p_{ij}\}$ sorozata és a népsűrűség $\{q_{ij}\}$ sorozata azonos módon rendezve és rendeljük hozzájuk az $\{I_k\}$, $\{J_k\}$ sorozatokat úgy, hogy

$$\left. \begin{aligned} I_k &= \left[\frac{p_{ij}}{1/m} \right] + 1 & 1 \leq i \leq n \\ J_k &= \left[\frac{q_{ij}}{1/m} \right] + 1 & 1 \leq j \leq 16 \end{aligned} \right\} \quad (81)$$

és

$$k = 16i + j \quad (82)$$

Az így kapott egész értékű sorozatok mutatják, hogy az i, j -dik ellátottsági valószínűség illetve népsűrűség a mátrix hányadik sorához, illetve oszlopához tartozik.

c) Állítsuk elő a H_s mátrix h_{ij} elemeit a következőképpen

$$h_{ij} := \begin{cases} h_{ij} + 1, & \text{ha } I_k = i \text{ és } J_k = j, \\ & 1 \leq k \leq 16n \text{ és } 1 \leq i, j \leq m + 1 \\ h_{ij} & \text{egyébként,} \end{cases} \quad (83)$$

és h_{ij} kezdőértéke zérus. (83)-ban a $:=$ jel az értékadás jele.

d) Miután a számítási pontok száma az alkalmazott felosztás mellett, $16n$, így a keresett hisztogramot megkapjuk, ha a

$$h_{ij} := \frac{h_{ij}}{16n} \quad 1 \leq i, j \leq m + 1 \quad (84)$$

osztást elvégezzük.

e) Meghatározzuk a mátrix elemeihez tartozó súlyfüggvényértékeket. Legyen az alkalmazott súlyfüggvény a (79) szerinti, ekkor ha m a felosztások száma, akkor

$$s_{ij} = \frac{(j-1)\Delta x + (i-1)\Delta y}{2} \quad 1 \leq i, j \leq m + 1 \quad (85)$$

ahol

$$\Delta x = \Delta y = \frac{1}{m} \quad (86)$$

Így (85)-ből

$$s_{ij} = \frac{i+j-2}{2m} \quad (87)$$

f) A hatékonyság mértéke ekkor a következőképpen kapható (84) és (87) segítségével

$$H_s = \sum_{i=1}^{m+1} \sum_{j=1}^{m+1} s_{ij} h_{ij} \quad (88)$$

4. Adatok az ellenőrző mérésekhez

Az ellátottság meghatározásának lényeges részét képezik az ellenőrző mérések, melyek alapján a becsült eredmények korrigálhatók. Nyilván ott célszerű ellenőrző méréseket végezni, ahol a becsült eredmények a legnagyobb bizonytalansággal rendelkeznek.

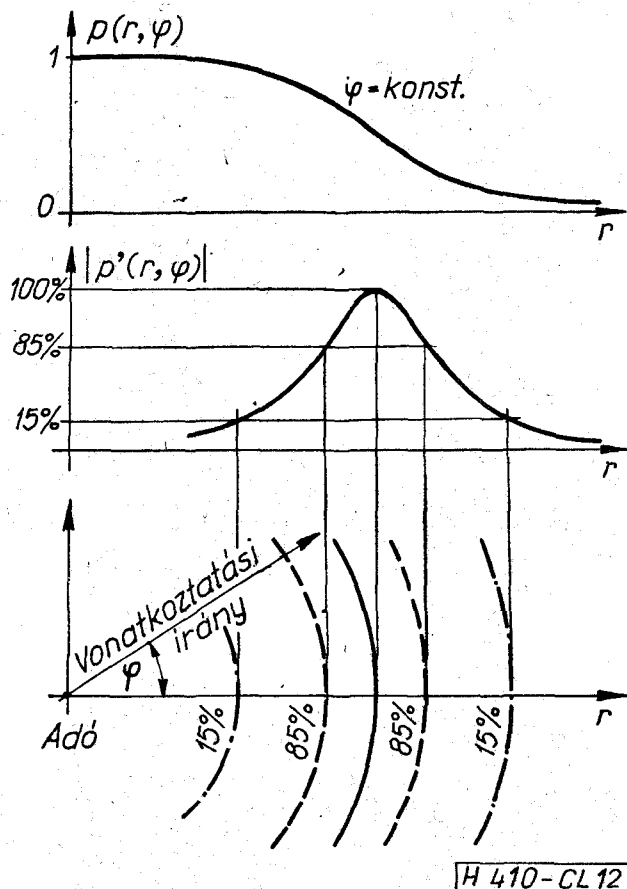
4.1. A mérőpontok helye

A mérések helyének közelítő becslésére vizsgáljuk az ellátottsági valószínűség alakulását. Az ellátottsági valószínűség folytonos függvénye és

$$p = p(r, \varphi) \quad (89)$$

alakban írható fel, ahol r az adótól mért távolság, φ valamely vonatkoztatási iránytól mért szög.

A (89) függvény képe a 12. ábrán látható.



12. ábra

A mérések számát ott kell sűríteni, ahol a függvény változása a legnagyobb. Képezve (89) r szerinti deriváltjának abszolút értékét, a maximum jelzi a távolságot, melynek környezetében a mérési pontok számát sűríteni célszerű (12. ábra).

Meghatározva a derivált függvény maximumának 85 és 15%-os pontjait és körbejárva az adót, egy sávot kapunk és ezen belül célszerű méréseket végezni, a maximumtól távolodva csökkenő számban.

A mérések számát úgy kell megállapítani, hogy a mérési eredmények függetlenek legyenek egymástól. Ez a távolság — mérések szerint — átlagosan 2 km, sugárirányban nagyobb [20].

4.2. A mérőpontok száma

Ha a mérésekhez pontosabb eredményeket kívánunk kapni, akkor minden egyes A_i területre meghatározhatjuk a szükséges mérésszámot.

Jelölje \bar{p}_i az A_i területre vonatkozó ellátottsági

valószínűség középértékét, azaz

$$\bar{p}_i = \frac{1}{16} \sum_{j=1}^{16} p_{ij} \text{ minden } i\text{-re} \quad (90)$$

Ennek ismeretében a korrigált szórás értéke

$$s_i^2 = \frac{1}{15} \sum_{j=1}^{16} (p_{ij} - \bar{p}_i)^2 \text{ minden } i\text{-re} \quad (91)$$

Legyen adott ezek segítségével a következő intervallum:

$$I = \left(\bar{p}_i - \lambda_p \frac{s_i}{\sqrt{n_i}} ; \bar{p}_i + \lambda_p \frac{s_i}{\sqrt{n_i}} \right) \quad (92)$$

ahol λ_p a normális eloszlás $p\%$ -hoz tartozó értéke, n_i az A_i területhez tartozó szükséges mintavételezések száma.

Ekkor annak valószínűsége, hogy a középérték, p_{mi} , ebbe az intervallumba esik [21]:

$$P(p_{mi} \in I) = 1 - \frac{p}{100} \quad (93)$$

ahol p_{mi} az A_i területhez tartozó elméleti, ismeretlen középérték, p a kívánt pontosság %-ban.

Ha adott az I , konfidencia intervallum, akkor (92) alapján a szükséges mérészsám:

$$n_i = 4 \left(\frac{\lambda_p s_i}{I} \right)^2 \text{ minden } i\text{-re} \quad (94)$$

6. Összefoglalás

A cikk egy régi problémát kíván megoldani, a műsorszóró rendszerek hatékonyságának pontosabb meghatározását. Az eddig alkalmazott módszerek elvi és gyakorlati pontatlansága erre nem ad lehetőséget. Az elvi pontatlanság az alkalmazott módszerek nem kellő mértékű matematikai megalapozottságából; a gyakorlati kivitelezés pontatlansága pedig a kézi számítási módszerekből adódott, amelyek nem adtak lehetőséget a megfelelő számú pontban végzett kiértékelés elvégzésére.

Ezért a pontosabb eredmények eléréséhez az egzakt matematikai leírás kívül, igénybe kell venni a számítógép által adott lehetőségeket is. Az elvégzendő nagy tömegű számíthatóhoz ad módszert a cikk.

I R O D A L O M

- [1] Dr. Cserny: Műsorszóró hírközlő rendszerek hatékonyságának vizsgálata a VHF/UHF sávban, Híradástechnika, XXVI, 8. sz. 233–239, 1975.
- [2] Dr. Cserny: VHF/UHF sávi műsorszóró rendszerek hatékonyságának mérőszámai, Híradástechnika, 1975, (megjelenés alatt)
- [3] Technical Data used by the European VHF/UHF Broadcasting Conference, Stockholm, 1961
- [4] DuCastel: Tropospheric Radiowave Propagation beyond the Horizon, Pergamon Press, Oxford, 1966
- [5] Edwards—Durkin: Computer prediction of service areas for VHF mobile radio networks, Proc. IEE., 116, 1493–1500, September 1969
- [6] Norton: Transmission Loss in Radio Propagation, Proc. IRE., 41, 146–152, January 1953
- [7] Norton: System Loss in Radio Wave Propagation, NBS Journal of Research, Pt. D., 63D, 53–73, July 1959
- [8] Jordan—Balmair: Electromagnetic waves and radiating systems, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1968
- [9] Bullington: Radio Propagation Fundamentals, BSTJ, 36, 593–626, May 1957
- [10] Millington—Hewitt—Immirzi: Double knife-edge diffraction in field-strength predictions, Proc. IEE., 109C, 419–429, March 1962
- [11] Millington—Hewitt—Immirzi: The Fresnel surface integral, Proc. IEE., 109C, 430–437, March 1962
- [12] Epstein—Peterson: An experimental study of wave propagation at 850Mc, Proc. IRE., 41, 595–611, May 1953
- [13] Deygout: Multiple knife-edge diffraction of microwaves, IEEE. Trans. on Ant. and Prop., AP-14, 480–489, July 1966
- [14] Bullington: Radio transmission beyond the horizon in the 40- to 4000Mc band, Proc. IRE., 41, 132–135, 1953
- [15] Bullington: Radio propagation variations at VHF and UHF, Proc. IRE., 38, 27–32, 1950
- [16] Friis: Noise Figures of Radio Receivers, Proc. IRE., 32, 419–429, July 1944
- [17] CCIR: Documents of the XIth Plenary Assembly, Vol. V., Oslo, 1966
- [18] NAB Engineering Handbook, McGraw-Hill, New-York, 1960
- [19] Kirby: Measurement of service area for television broadcasting, Trans. IRE., PGBTS-7, 23, February 1957
- [20] Kirby—Capps: Correlation in VHF propagation over irregular terrain, Trans. IRE., AP-7, 77–85, January 1956
- [21] Cramér: Mathematical methods of statistics, Princeton, 1954