

# Műsorszóró hírközlő rendszerek hatékonyságának vizsgálata a VHF/UHF sávban

ETO 621.391.8:621.396.43:654.19

A hírközlési rendszerek célja információ továbbítása a forrástól (adótól) a nyelőig (vevőig). A rendszer hatékonyságának mérése, tehát annak mérése, hogy a rendszer ezt a célt milyen mértékben teljesíti, illetve ennek meghatározása pont-pont közötti összeköttetés esetén viszonylag egyszerű feladat. A műsorszóró hírközlési rendszereknél azonban egy adó és több, statisztikus elhelyezkedésű vevőről van szó és ebben az esetben a rendszer hatékonyságát meghatározni körülményes.

Az erre a célra alkalmazott számítási módszerek a hatékonyság mérőszámaként az ún. ellátott területet alkalmazták módszerként más-más (többé-kevésbé különböző) definícióval. Nemzetközi kapcsolatokban, az egységesség miatt, a CCIR által elfogadott meghatározásokat és számítási eljárásokat alkalmazzák [1] [2]. E módszernek a hibáit Kirby megkísérelte csökkenteni [3], azonban az ő módszere sem adott kielégítő eredményt.

A módszerek fő hibái, hogy nem adnak

- egyértelmű választ a vétel minőségéről egy adott pontban, és
- az alkalmazott mérőszámok (pl. ellátott terület) nem fejezik ki a cél megvalósítását, azaz azt, hogy a kívánt információ a lehető legnagyobb megbízhatósággal, minél több hallgatóhoz, nézőhöz jusson el.

A cikk célja a rendszerszemléletű tárgyalásmód segítségével egyértelmű matematikai alapot adni a hatékonyság vizsgálatához.

## 1. Műsorszóró hírközlő rendszerek

A műsorszóró hírközlő rendszereknél nem elegendő az üzenetek minimális redundanciájú továbbítása, mivel itt már ennél többről, speciális, esztétikai követelmények kielégítéséről van szó. Ez ideális esetben a valóság újraelőállítása lenne a vételi helyen, amely információelmélet szempontjából azt jelenti, hogy végtelen információmennyiséget kellene átvenni, amit megvalósítani nem tudunk. Szerencsére erre nincs is szükség, mivel az ember érzékelő képessége véges (a hallható hangok a látható fény tartománya, színfelbontás stb.) és így elegendő véges információmennyiség adott hibájú átvitelének megvalósítása.

Ezt a (látszólag) valóság-hű vételt az 1. ábrán látható rendszerrel kell megvalósítani.

Az átvitelt megvalósító eszközök korlátait úgy kell kialakítani, hogy azok illeszkedjenek az ember

érzékelési korlátaival, azaz csak azokat az információkat vigyék át, amelyek a látszólag valóság-hű vétel megvalósításához feltétlenül szükségesek. Ilyenkor beszélhetünk „tökéletes minőségű vétel”-ről (pontos meghatározás a 2.1. definícióban).

Egyetlen pont-pont közötti átvitel esetén a rendszer kialakításakor a feladat az, hogy a „tökéletes minőségű vétel”-t a lehető legnagyobb valószínűséggel biztosítsuk, miután a rendszer elemei csak adott valószínűséggel biztosítják a tökéletes átvitelt.

Műsorszóró hálózat esetén egy adó és több vevő van és a feladat az, hogy minél több vevőhöz, minél nagyobb valószínűséggel továbbítsák az információt.

Tehát lényeges valamilyen módon mérni ennek megvalósítását. A jelenleg alkalmazott becslési módszerek nem adnak kielégítő eredményt, mivel az alkalmazott mérőszám, az ellátott terület nagysága csak egyoldalú értékelésre nyújt módot. Ezért a mérhető és becsülhető paraméterek segítségével az ellátott terület mérőszámán kívül, más, komplexebb mérőszámot (mérőszámokat) kell kialakítani az átvitel hatékonyságának meghatározására.

## 2. Az ellátottság fogalma

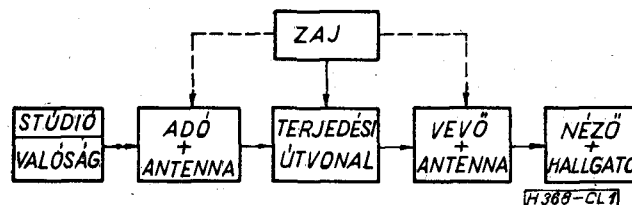
A hatékonyság vizsgálatához a következőkben néhány fogalom definícióját adjuk meg, amelyekre a továbbiakban, levezetésekben támaszkodunk és amelyek meghatározásával további megfelelő mérőszámok alakíthatók ki [4].

### 2.1. Definíció:

*Tökéletes minőségű vételről* a (továbbiakban: *TMV*) beszélünk akkor, ha az átviteli csatorna által okozott zajok az átvitelre, a berendezésekre előírt műszaki specifikációk által megengedett szint alatt maradnak és a nézőben, hallgatóban keltett szubjektív érzet a vett jelet hibátlannak érzi.

A definíció értelmezése: Az átviteli csatornába az adó + terjedési útvonal + vevő alrendszert értjük és az általa okozott zajok közé soroljuk a természetes és mesterséges eredetű zajokat, torzításokat stb.

Természetesen a *TMV* különböző adásmódoknál, rendszereknél (mono, sztereo-FM adás, színes tv stb.)



1. ábra

más és más konkrét előírásokat jelent, de rendszertechnikai szempontból ezek csak a definíció értelmezését jelentik az egyes esetekre. (Így ha egy rendszerre az egyedüli előírás az, hogy a hangfrekvenciás torzítás 1% alatt legyen, akkor minden rendszer, amelyre ez teljesül, TMV-t ad.) Nyilván a technika fejlődésével a TMV-t meghatározó kritériumok változnak.

Lényeges kiemelni a szubjektív ítélet jelentőségét, mert bár az ember szubjektív ítélete gyengébb kritérium (hiszen ezen alapul a sávhatárolt hangátvitel, illetve a korlátozott képfelbontás, színelbontás elégségsége), mint a berendezésekre előírt specifikáció, mégis sok esetben az ember érzékenyebb olyan hibákra, torzításokra (interferencia, reflexió), melyek műszeres ellenőrzése néha igen körülményes.

2.2. Definíció:

*Elláttnak* nevezünk egy adott helyet (illetve adott helyen levő egyént), ha az ott felállított, a rendszer előírásai által meghatározott minőségű vevőkészülék minden időpontban TMV-t biztosít.

Nyilván a berendezések jellemzőinek statisztikus ingadozásai, a hullámterjedés sztochasztikus jellege miatt, a TMV csak bizonyos valószínűséggel következik be.

2.3. Definíció:

Egy adott hely (vagy egyén) ellátottságának valószínűségét, azaz  $P(TMV)$ -t, *ellátottsági valószínűségnek* (a továbbiakban: ell. vsz.) nevezzük.

A továbbiakban az ell. vsz. rendszertechnikai értelmezésével és matematikai meghatározásával foglalkozunk.

3. A TMV és az ell. vsz. rendszertechnikai értelmezése

3.1. A TMV-t befolyásoló tényezők

A 2.1. definíció szerint a TMV-t az adó+terjedési út vonal+vevő alrendszerre előírt műszaki jellemzők és a szubjektív értékítélet határozzák meg, azaz

$$TMV = M \cdot S, \tag{1}$$

ahol

$M$  az elemi események (állapotok) azon halmaza, amelyek teljesülése esetén az átviteli csatorna jellemzői az előírásoknak megfelelőek,

$S$  az elemi események (állapotok) azon halmaza, amelyek bekövetkezése esetén a szubjektív értékítélet szerint a vétel tökéletes.

$M$  kialakítására vonatkozóan fel kell tételni azt, hogy ha tetszőleges  $\omega$  elemi eseményre  $\omega \in M$ , akkor  $\omega \in S$  is teljesül, azaz, ha a műszaki jellemzők előírásai teljesülnek, akkor a szubjektív ítélet is tökéletesnek találja a vételt. Ebből következik az, hogy

$$M \subseteq S \tag{2}$$

és így

$$TMV = M \cdot S = M. \tag{3}$$

Ellenkező esetben van  $\omega \in M$  úgy, hogy  $\omega \notin S$  és ez azt jelentené, hogy a rendszerre előírt paraméterek már nem felelnek meg az igényeknek (azaz a berendezés erkölcsileg elavult).

Ezek az események egy  $\Omega$  eseménytér részhalmazai, melyeken értelmezhető egy  $A$   $\sigma$ -algebra és hozzájuk rendelhető egy  $P$  valószínűségi mérték, melyek együttesen egy  $(\Omega, A, P)$  valószínűségi mezőt alkotnak.

Így (3)-ból

$$P(TMV) = P(M). \tag{4}$$

Mivel a vizsgált alrendszer három egymástól független részből áll, ezért írható, hogy

$$M = A \cdot CS \cdot V. \tag{5}$$

ahol!

$A, V$  az elemi események azon halmazai, melyek bekövetkezésekor az adó+antenna, illetve a vevő+antenna, a rá vonatkozó műszaki előírásokat teljesíti,

$CS$  az elemi események azon halmaza, amelyek bekövetkezésekor a csatorna tökéletes minőségű, azaz az általa okozott csillapítás, torzítás stb., az előírásoknak megfelelő.

Így (4) és (5) alapján

$$P(TMV) = P(A) \cdot P(CS) \cdot P(V). \tag{6}$$

Mivel az ellátottság szempontjából feltételezhető, hogy

$$P(A) \approx 1 \text{ és } P(V) \approx 1 \tag{7}$$

így az ellátottsági valószínűség

$$p = P(TMV) = P(M) \approx P(CS). \tag{8}$$

Tehát elegendő a csatorna (terjedési út vonal) viselkedését vizsgálni, illetve arra vonatkozó méréseket végezni.

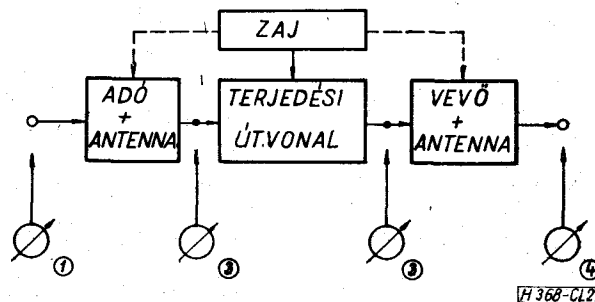
3.2. A rendszerbeli mérések lehetősége és helyei

A TMV, illetve az ell. vsz. meghatározásához szükséges azt ismerni, hogy a rendszerben hol és milyen paramétereket tudunk mérni. A 2. ábra jelzi azokat a pontokat, ahol mérni tudunk.

Az ①-es és ②-es pontokon végzett mérések segítségével, melyek viszonylag könnyen, állandóan elvégezhetőek, biztosítani tudjuk azt, hogy

$$p_a = P(A) \approx 1 \text{ legyen.}$$

(Meg kell jegyezni, hogy a ②-es pont tulajdonképpen az antennakábel bemenete, de a kábel és az



2. ábra

antenna jellemzői viszonylag jól meghatározhatók és becsülhetők és így nagy valószínűséggel lehet következtetni a kisugárzott jelre, azaz arra, hogy  $p_a \approx 1$ )

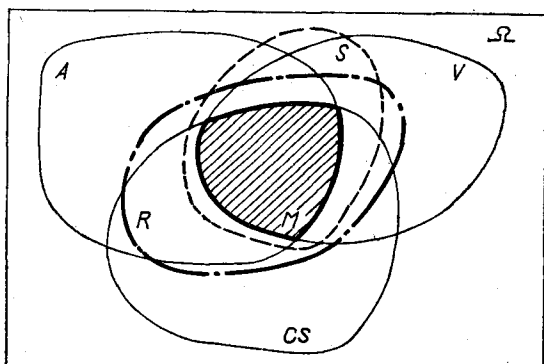
A *TMV* mérésére, mint lehetőség, a ③-as és ④-es ponton végzett megfigyelések szolgálhatnak. Azonban figyelembe kell venni azt, hogy a ③-as ponton végzett mérések (térerősség, polarizáció stb.) nem elegendők a *TMV* kielégítő meghatározásához. Ezért a *TMV* pontosabb becsléséhez a ④-es ponton kellene méréseket végezni. Itt azonban műszeresen mérni nem vagy igen körülményesen lehet és a szubjektív ítéletalkotás szórása elég nagy.

### 3.3. A *TMV* és az ell. vsz. kétféle értelmezése

A 3.1. pontban megállapítottuk, hogy

$$TMV = M = A \cdot CS \cdot V. \quad (9)$$

Ennek halmazelméleti reprezentálása a 3. ábrán látható.



H 358-CL3

3. ábra

A feladat az, hogy az *M* esemény bekövetkezését valamilyen módon mérni tudjuk a 3.2. pontban megállapított helyeken.

Az elvégzett mérések általában nem függetlenek egymástól és nem tudunk olyan méréseket végezni, hogy

$$M = \sum_{i=1}^{\infty} M_i \quad (10)$$

legyen, ahol

$$M_i M_j = \emptyset \text{ minden } i, j\text{-re, ha } i \neq j \text{ és}$$

$M_i \subseteq M$  minden  $i$ -re, olyan esemény (mérési eredmény), melynek bekövetkezéséből egyértelműen következik az, hogy  $M_i \subseteq TMV$ , azaz a vétel tökéletes minőségű.

Csak azt tudjuk biztosítani, hogy több esemény (mérési eredmény) együttes bekövetkezésekor teljesüljön a *TMV* is, azaz

$$M = \prod_{i=1}^{\infty} M_i. \quad (11)$$

ahol  $M_i$  az az esemény, hogy az  $i$ -edik szempont szerint a rendszerre megkövetelt előírás teljesül.

A gyakorlati mérések során csak véges számú szempont szerint tudunk vizsgálatot végezni, akár a ③-as, akár a ④-es ponton (2. ábra).

Azaz írható az, hogy

$$R = \prod_{i=1}^k M_i \subseteq M \quad (12)$$

és

$$S = \prod_{j=1}^n M_j \subseteq M, \quad (13)$$

ahol

$R$  az az esemény, amely a ③-as ponton végzett  $k$  számú vizsgálat együttes bekövetkezése esetén jön létre,

$S$  az az esemény, amely a ④-es ponton végzett  $n$ -féle (szubjektív) vizsgálat együttes bekövetkezése esetén jön létre.

Az  $R$  és  $S$  eseményre vonatkozóan megállapítható, hogy általában

$$R \neq S$$

mert található  $\omega \notin R$  úgy, hogy  $\omega \in S$  és fordítva. Ez azt jelenti, hogy a szubjektív ítéletalkotás során felfedezhetünk olyan (elemi) eseményt, amit a ③-as ponton végzett mérésekkel nem. (Pl. idegen adó által okozott interferencia.)

Mivel (12) és (13) alapján

$$M \subseteq R \text{ és } M \subseteq S, \quad (14)$$

akkor (11) felhasználásával az is igaz, hogy

$$M \subseteq R \cdot S. \quad (15)$$

Ennek alapján az ellátottsági valószínűség [8] [25]

$$p = P(TMV) = P(M) \leq P(R \cdot S). \quad (16)$$

A mérések során minél több szempontot vonunk be vizsgálataink sorába, annál biztosabban tudunk következtetni a *TMV* bekövetkezésére, illetve annál pontosabb az ell. vsz. becslése. Ezért célszerű a ③-as ponton végzett mérések mellett szubjektív vizsgálatot is végezni a ④-es ponton.

Az eddigiek alapján a *TMV*-t és az ell. vsz.-et kétféle módon értelmezhetjük, amelyek megfelelnek a ③-as, illetve a ④-es ponton végzett mérések eredményeinek.

Így a

$$p = P(TMV) \approx P(R) = P(TMV_1) \quad (17)$$

és a

$$p = P(TMV) \approx P(S) = P(TMV_2) \quad (18)$$

összefüggésekkel a *TMV* és az ell. vsz. első, illetve második alakját értelmezzük. (Pontos definíciók az 4.1.1. és 4.2.1. pontokban található.)

### 3.4. A *TMV* és az ell. vsz. két értelmezése közötti kapcsolat

Az előző pont alapján megállapítható, hogy mind a ③-as, mind a ④-es ponton célszerű méréseket végezni. Ugyanakkor az így kapott eredmények egymástól nem függetlenek.

Az ell. vsz.-ről írható, hogy

$$p = P(TMV) = P(M \cdot S) = |P(S/M) \cdot P(M) = P(M), \quad (19)$$

ahol felhasználtuk a (13)-as összefüggés eredményét, azaz azt, hogy  $M \subseteq S$ .

(19) tovább írható (16) felhasználásával

$$P(M) \approx P(R \cdot S) = P(S|R) \cdot P(R) = P(TMV_2 | TMV_1) \cdot P(TMV_1). \quad (20)$$

Tehát az ellátottsági valószínűség

$$p \approx P(TMV_2 | TMV_1) \cdot P(TMV_1) \quad (21)$$

összefüggéssel adott közelítő értékét tudjuk meghatározni, ha mindkét ponton végzünk méréseket.

Ha csak egy ponton végzünk mérést, azt célszerű inkább a ③-es ponton megtenni, mivel az itt kapott eredmény jobban megközelíti a  $TMV$ -t. (Elsősorban tv-adásnál.)

#### 4. Az ellátottsági valószínűség matematikai meghatározása

##### 4.1. Az ell. vsz. első alakja

A  $TMV$  és az ell. vsz. első értelmezésénél a 2. ábra ③-as pontján mérhető jellemzőket vizsgáljuk.

A gyakorlatban a VHF/UHF sávban, műsorszóró adók esetén, ezek közé a jellemzők közé

- a hasznos jel térerőssége (és időbeli lefolyása),
- a zavaró adók térerőssége (és időbeli viselkedése), és esetleg
- a környezet általános zajszintje (természetes és mesterséges eredetű elosztott zajforrások szintje) tartoznak.

Általában ez utóbbinál előre feltételezett értékekkel dolgoznak, amelyekhez meghatározzák a minimálisan szükséges hasznos jeltérerősséget (nagyvárosi, vidéki stb. [1] [2] [5]).

##### 4.1.1. Definíció:

Az első értelmezés szerint, *tökéletes minőségű a vétel* (továbbiakban:  $TMV_1$ ) ha a 2. ábra ③-as pontján a jel – zaj viszony a rendszerre előírt értéknél nagyobb, azaz a hasznos jel teljesítménye egy adott értékkel nagyobb a teljes zajteljesítménynél.

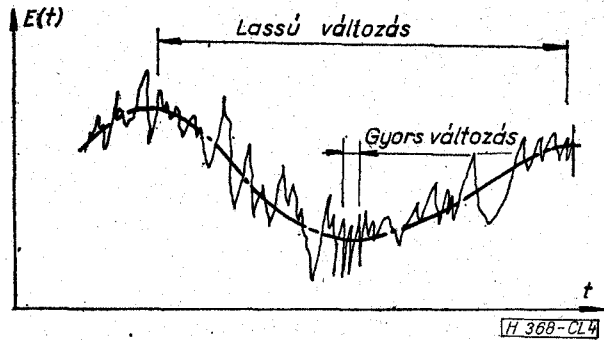
##### 4.1.2. A $TMV_1$ -t befolyásoló jellemzők leírása

###### a) A térerősség mint sztochasztikus folyamat

Egy adott pontban a térerősség csak statisztikus értelemben írható le, mivel a hullámterjedést befolyásoló légkör törésmutatója mind hely-, mind időfüggő. Ez a függés a frekvenciával növekszik.

A térerősséget időben leíró  $E(t)$  függvény, egy sztochasztikus folyamat valamely megvalósítása, amelynek létezik időbeli átlaga, azaz

$$\langle E(t) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T E(t) dt. \quad (22)$$



4. ábra

Ez a sztochasztikus folyamat stacionárius, mivel a folyamatot leíró statisztikus jellemzők időben változatlanok [6] [7] [8].

A térerősség középértéke, az adó és a vevő egymástól mért távolságától és a közbülső terep alakulásától függ. Az időbeli változások alapvetően gyors és lassú változásokra oszthatók (4. ábra).

A gyors időbeli változások néhány tized sec-tól néhány perc időtartamig terjednek és statisztikusan Rayleigh-eloszlással írhatók le [9] [10] [11].

$$P(E > E_0) = \exp(-E_0/\bar{E}), \quad (23)$$

ahol

$E$  a pillanatnyi térerősség,

$E_0$  egy adott érték,

$\bar{E}$  az átlag térerősség.

A térerősség gyors változásai az ellátottság problémáját nem érintik és sokkal lényegesebb a lassú változások vizsgálata.

A lassú időbeli változások néhányszor tíz perc és néhány óra időtartam között mozognak és statisztikusan log-normális eloszlással írhatók le [10] [11] [12], azaz a dB-ben mért értékeik normális eloszlást követnek, amelynek sűrűségfüggvénye:

$$f(E) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(E-m)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (24)$$

ahol

$E$  a térerősség dB-ben,

$m = 20 \log E_{[\mu V/m]}$  a várható érték

$\sigma$  a szórás.

A térerősség maga log-normális eloszlású, amelynek sűrűségfüggvénye, a (24)-es kifejezés alapján [13]:

$$g(E) = \frac{8,68}{E \sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(20 \log E - m)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (25)$$

ahol

$E$  a térerősség  $\mu V/m$ -ben,

$m$  a várható érték,

$\sigma$  a szórás.

###### b) A teljesítmény eloszlásfüggvénye

A jelteljesítmény sűrűségfüggvénye a (24)-es összefüggésből a következőképp származtatható. Jelölje a térerősséget, mint valószínűségi változót  $X$ , akkor tudjuk, hogy az

$$Y = 20 \log X = 20 \frac{\ln X}{\ln 10} = 8,68 \ln X \quad (26)$$

változó normális eloszlású, azaz

$$X = \exp\left(\frac{Y}{8,68}\right) \quad (27)$$

log-normális eloszlású. Mivel a teljesítmény a térerősség négyzetével arányos, így egy konstanstól eltekintve, a teljesítmény  $Z$  valószínűségi változója

$$Z = X^2 = \exp(2Y/8,68), \quad (28)$$

alakú, ahonnan

$$\ln Z = 2Y/8,68 \quad (29)$$

$$Y = 8,68 \ln \sqrt{Z} = 20 \log \sqrt{Z} = 10 \log Z \quad (30)$$

amelyről tudjuk, hogy normál eloszlású. A kapott eredményeket a normális eloszlás sűrűségfüggvényébe behelyettesítve, azt kapjuk, hogy

$$h(z) = \frac{4,34}{z\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(10 \log z - m)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (31)$$

ahol

$z$  a teljesítmény értéke,

$m$  a várható érték

$\sigma$  a szórás

c) A hasznos jel értéke

Egy adott pontban, mérések vagy számítások [9] [10] [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20] segítségével a térerősség viszonylag könnyen megadható. A térerősség alapján az a teljesítmény, amely a 2. ábra ③-as pontján vehető, izotróp antennával, dB-ben [21] [22]:

$$P_h = E - 20 \log f_{\text{MHz}} - 107,21 \text{ [dB]}, \quad (32)$$

azaz

$$P_h = 10^{P_h/10} \text{ [W]} \quad (33)$$

d) A zajjelek értéke

A műsorszóró rendszer működési tartományát a zajok korlátozzák, befolyásolják. Megállapítható, hogy a zajforrásokat két fő csoportba sorolhatjuk

- minden irányban megosztott zajforrások (a zajforrásnak nincs határozott iránya),
- meghatározott irányú zajforrások.

Az előbbieket közé tartoznak az atmoszferikus, kozmikus és ipari zajok (kivéve néhány erős ipari zajforrás), valamint ide sorolható a vevőkészülékek saját zaja, míg az utóbbi kategóriába az idegen adók sorolhatók. Mindkét kategóriabeli zavar ellen úgy védekezhetünk, hogy megadunk egy mérések, tapasztalati eredmények alapján kapott védelmi értéket (jel-zaj viszonyt), amelynek teljesülése esetén, a vétel várhatóan megfelelő minőségű lesz.

Ha az idegen adók jelétől eltekintünk, akkor a  $TMV$ -hez szükséges minimális hasznos jelteljesítmény [21] [22]:

$$p'_0 = rfkTB \text{ [W]} \quad (34)$$

ahol

$r$  a minimálisan szükséges jel-zaj viszony,

$f$  a bemenetre redukált effektív zajszám, amely magába foglalja a természetes és az ipari zajok értékét is a vevőkészülék zajszáma mellett,

$k$  Boltzmann-állandó,

$T$  a hőmérséklet K°-ban,

$B$  a sáv szélesség Hz-ben.

Az effektív zajszám értéke [23]:

$$f = f_a - 1 + f_c/f_r \quad (35)$$

$f_a$  a veszteségmentes antenna zajtényezője, amely a külső zaj szintjére vonatkozik,

$f_c$   $r'/r$  a vevőantenna veszteségtényezője,

$r'$  a vevőantenna teljes ellenállása,

$r$  a vevőantenna sugárzási ellenállása,

$f_t = p_r/p_t$  az antennakábel veszteségtényezője,

$p_r$  a kábel bemenetén a teljesítmény,

$p_t$  a teljesítmény a kábel kimenetén,

$f_r$  a vevőkészülék zajszáma.

A (34)-es összefüggés két részre bontható:

$$p'_0 = rp_{z1} + rp_{z2} \text{ [W]} \quad (36)$$

ahol

$$p_{z1} = f_c/f_r kTB \text{ [W]} \quad (37)$$

amely a belső eredetű zajokat foglalja magában és

$$p_{z2} = (f_a - 1)kTB \text{ [W]} \quad (38)$$

amely a külső eredetű egyenletes eloszlású zajokat foglalja magába.

Ha a külső eredetű zaj ismert (zajtérkép) mindennütt, akkor pontosan meghatározható a  $TMV$ -hez szükséges jelteljesítmény. (A belső eredetű zajok megadhatók mérések alapján átlagos vevőre.)

Miután eddig még ilyen pontosságra nem volt szükség, mérések alapján különböző szervezetek (CCIR, FCC, TASO) minimálisan szükséges térerősséget adnak meg [1] [2] [5].

Diszkrét zajforrások (idegen adók) esetén, bevezetve a következő jelöléseket

$p_{zi}$  az  $i$ -edik zavaró adó jelteljesítménye,

$r_i$  az  $i$ -edik zavaró adóra vonatkozó minimális jel-interferencia viszony,

írható, hogy a teljes zajteljesítmény

$$p_z = p_{z1} + p_{z2} + p_{z3}, \quad (39)$$

ahol

$$p_{z3} = \sum_{i=1}^n p_{zi} \quad (40)$$

A  $TMV$ -hez minimálisan szükséges hasznos teljesítmény [21] [22]:

$$p_0 = rfkTB + \sum_{i=1}^n r_i p_{zi} \quad (41)$$

4.1.3. Az ell. vsz. első alakjának meghatározása

Az 4.1.1. definíció alapján  $P(TMV_1)$  értékére a következő írható:

$$p \cong P(TMV_1) = P(p_h > p_0) = P(p_h - p_0 > 0) \quad (42)$$

ahol

$p_h$  a hasznos jel teljesítménye,

$p_0$  a minimálisan szükséges jelteljesítmény.

A valószínűség meghatározásához ismernünk kell a két jel különbségének viselkedését.

Tehát, ha  $X$  és  $Y$  a két valószínűségi változó, akkor

$$Z = X - Y \quad (43)$$

sűrűségfüggvényét és eloszlásfüggvényét keressük. Mivel a hasznos jel és a zajjel, tehát  $X$  és  $Y$ , egymástól függetlenek, így együttes sűrűségfüggvényük

$$f(x, y) = f_1(x) \cdot f_2(y) \quad (44)$$

alakú lesz. Ekkor [8] [24] [25] [26] alapján

$$\begin{aligned} P(Z < z) &= P(X < z + Y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{x+z} f_1(x) f_2(y) dx dy = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} f_2(y) \int_{-\infty}^{x+z} f_1(x) dx dy = \int_{-\infty}^{\infty} F_1(y+z) f_2(y) dy \end{aligned} \quad (45)$$

és sűrűségfüggvénye

$$g(z) = \frac{d}{dz} \int_{-\infty}^{\infty} F_1(y+z) f_2(y) dy = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(y+z) f_2(y) dy \quad (46)$$

illetve eloszlásfüggvénye

$$\begin{aligned} G(z) &= P(Z < z) = \int_{-\infty}^z g(t) dt = \\ &= \int_{-\infty}^z \int_{-\infty}^{\infty} f_1(y+z) f_2(y) dy dz \end{aligned} \quad (47)$$

Ennek alapján, a fenti jelölésekkel, (42)-re írható, hogy

$$\begin{aligned} P(TMV_1) &= P(p_h - p_0 > 0) = 1 - P(p_h - p_0 \leq 0) = \\ &= 1 - P(Z \leq z), \end{aligned} \quad (48)$$

illetve

$$P(TMV_1) = \int_z^{\infty} g(z) dz = \int_z^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_1(y+z) f_2(y) dy dz \quad (49)$$

és mivel az integrálási határ,  $z=0$ , így

$$\begin{aligned} P(TMV_1) &= \int_z^{\infty} g(z) dz = \\ &= \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_1(y+z) f_2(y) dy dz \end{aligned} \quad (50)$$

itt

$f_1(x)$  a hasznos jel sűrűségfüggvénye,  $m_h, a_h$  paraméterekkel, amely itt a jel időfüggését írja le,  $f_2(y)$  az együttes zajteljesítmény sűrűségfüggvénye,  $m_z, a_z$  paraméterekkel.

Így  $g(z)$  paraméterei:

$$\begin{aligned} m &= m_h - m_z \\ \sigma^2 &= \sigma_h^2 + \sigma_z^2 \end{aligned} \quad (51)$$

Az (50)-nel megadott valószínűségérték helytől függő folytonos függvény, melynek segítségével egy  $A_i$  felületelem az ell. vsz. átlagos értéke

$$P_{im} = \frac{\int_{A_i} p(A) dA}{\int_{A_i} dA} = \frac{\int_{A_i} p(A) dA}{A_i} \quad (52)$$

Az (52)-es kifejezésben a

$$T_i = \int_{A_i} p(A) dA \quad (53)$$

érték  $A_i$  azon területhányada, amelyre  $P(TMV_1) = 1$ . Az így definiált értéket ellátott területnek nevezzük [4].

#### 4.2. Az ell. vsz. második alakja

A  $TMV$  és az ell. vsz. második értelmezése esetében a 2. ábra ④-es pontján mérhető jellemzőket vizsgáljuk. Az itt végzett mérések, mivel szubjektív ítéletalkotáson alapulnak, igen megbízhatatlanok, bár az irodalmi adatok szerint megfelelő gyakorlással az elég kis értékre csökkenthető le [27].

A vétel minőségét legerősebben az idegen adók által okozott interferencia és a tereptárgyakon létrejött reflexió befolyásolja. A szubjektív ítéletalkotásra, illetve mérésre, a CCIR [1]-en kívül [27] [28] ad útmutatást.

##### 4.2.1. Definíció:

A második értelmezés szerint, tökéletes minőségű a vétel (a továbbiakban:  $TMV_2$ ), ha a 2. ábra ④-es pontján, a szubjektív ítéletalkotás szerint a vétel kifogástalan minőségű.

##### 4.2.2. A szubjektív ítéletalkotás matematikai leírása

Az ell. vsz. második értelmezése esetén pontos matematikai leírásra nincs mód és a mérési eredményeket is csak empirikus eloszlásfüggvények alakjában kezelhetjük.

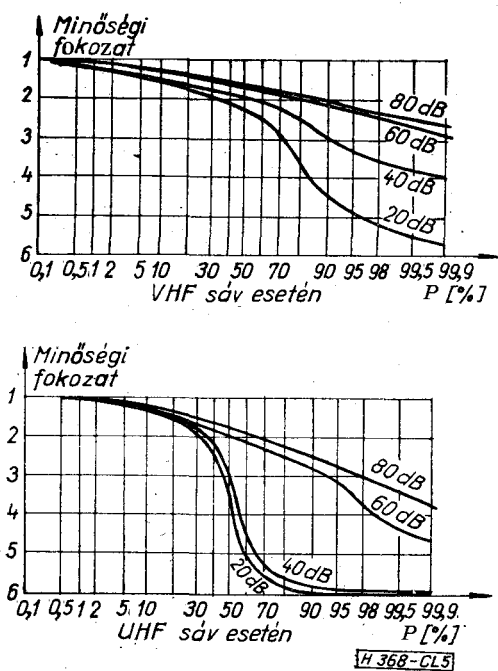
VHF/UHF sávon végzett mérésekből [29] kiértékelt empirikus eloszlás függvények láthatók, ún. Gauss-papíron ábrázolva, az 5. ábrán. A szubjektív ítéletalkotás nyomán kapott görbék láthatóan nem normális eloszlásúak.

Az 5. ábra az ell. vsz.-et tartalmazza, azzal a feltétellel, hogy a térerősség nagyobb vagy egyenlő az ábrában feltüntetett értéknél. (Tehát nem  $P(TMV_2)$  értékét, hanem  $P(TMV_2 | TMV_1)$  értékét.)

#### 4.3. Az ell. vsz. teljes alakja

A 3.4. pontban az ell. vsz.-re (19), (20) alapján azt kaptuk,

$$p \cong P(TMV_2 | TMV_1) \cdot P(TMV_1) \quad (54)$$



5. ábra

és itt  $P(TMV_1)$  értéke (50) alapján

$$P(TMV_1) = \int_0^{\infty} g(t) dt$$

és  $P(TMV_2 | TMV_1)$  az 5. ábra alapján meghatározható.

Az így kapott ell. vsz. érték már jól közelíti a torzítatlan értéke, ha szubjektív ítéletalkotás kellő pontosságú.

### 5. Összefoglalás

A cikk célja a műsorszóró hírközlő rendszerek hatékonyságának vizsgálata, illetve annak matematikai megalapozása volt. Az alapfogalmak ( $TMV$ , ell. vsz.) egyértelmű definiálásával, valamint a mérhető jellemzők által biztosított eredmények vizsgálatával, az eddig alkalmazott módszerek hibáit (a fogalmak nem kellő pontosságú definiáltságát, a levezetett eredmények pontatlanságát, meghatározatlanságát) kísérelte meg kiküszöbölni. Ez lehetőséget ad arra is, hogy a módszer alapján további összefüggések legyenek előállíthatók.

- [1] CCIR: Documents of the XIth Plenary Assembly, Vol. V., Oslo, 1966
- [2] TECHNICAL Data used by the European VHF/UHF Broadcasting Conference, Stockholm, 1961
- [3] Kirby: Measurement of service area for television broadcasting, Trans. IRE, PG BTS-7, 23, February 1957
- [4] Cserny: VHF/UHF sávú műsorszóró hírközlő rendszerek hatékonyságának mérőszámai (előkészületben)
- [5] NAB Engineering Handbook, McGraw-Hill, New York, 1960
- [6] Reza: Bevezetés az információelméletbe, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966
- [7] Gilman—Szkorohod: Teorija szlucsajnuh processzov, I., Nauka, Moszkva, 1971
- [8] Borovkov: Kursz teorii verojátnosztyej, Nauka, Moszkva, 1974.
- [9] Bullington: Radio propagation fundamentals, BSTJ, 36, 593—626, may 1957.
- [10] Bullington: Radio Transmission Beyond the Horizon in the 40- to 4000 Mc Band, Proc. IRE, 41, 132—135, 1953.
- [11] Bullington: Radio Propagation Variations at VHF és UHF, Proc. IRE, 38, 27—32, 1950.
- [12] Rice: Tropospheric Fields and Their Long Term Variability as Reported by TASSO, Proc. IRE, 48, 1021—1029, June 1960.
- [13] Cserny: TV, illetve URH—FM adók ellátott területének meghatározása számítógép segítségével, PRTMI tanulmány, 1972.
- [14] Jordan: Electromagnetic Waves and Radiating Systems, Prentice-Hall, New-York, 1950.
- [15] Matthews: Radiowave propagation VHF and above, Chapman és Hall, London, 1965.
- [16] Molnár—Tári—Kováts: Rádió-hullámterjedés és hálózat-tervezés, KÖZDOK, Budapest, 1969.
- [17] Tári Kováts: URH-rádióhullámok terjedése, BME Tov. Képz. Int., Budapest, 1973.
- [18] Epstein—Peterson: An experimental Study on Wave Propagation at 850 Mc, Proc. IRE, 41, 595—611, May 1953.
- [19] Bullington: Characteristics of Beyond-Horizon Radio Transmission, Proc. IRE, 43, 1175, october 1955.
- [20] Millington—Hewitt—Immirzi: Double knife-edge diffraction in field-strength predictions, Proc. IEE, 109C, 419—429, March 1962.
- [21] Norton: Transmission Loss In Radio Propagation, Proc. IRE, 41, 146—152, January 1953.
- [22] Norton: System Loss in Radio Wave propagation, NBS Journal of Research, Pt. D., 63D, 53—73, July 1959.
- [23] Friis: Noise Figures of Radio Receivers, Proc. IRE, 32, 419—429, July 1944.
- [24] Gnedenko: The theory of probability, Mir, Moszkva, 1969.
- [25] Prékopa: Valószínűségelmélet, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972.
- [26] Rényi: Valószínűségszámítás, Tankönyvkiadó, Budapest, 1968.
- [27] Waldo: Report on the analysis of measurements and observations New-York city UHF—TV Project, IEEE Trans. on Broadcasting, 7—36, August 1963.
- [28] Fredendall—Behrend: Picture Quality-Procedures for Evaluating Subjective Effects of Interference, Proc. IRE, 48, 1030—1034, June 1960.
- [29] Braum—Hughes: Studies of Correlation Between Picture Quality and Field Strength in the United States, Proc. IRE, 48, 1050—1058, June 1960.