

# Mikrohullámú csillaghálózat tervezése PC-vei

SEBŐK ATTILA  
Orion

## ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk alapját a szerzőnek a Kandó Kálmán Villamosipari Műszaki Főiskolán hasonló cím alatt kidolgozott szakdolgozata képezi. Ez a mikrohullámú csillaghálózatok számítógéppel segített tervezési kérdéseivel foglalkozik. Először a hullámterjedésre ható főbb tényezőknek (a fading jelenségek, az RF szakaszcsillapítás, az interferenciák) a hálózattervezésre való hatását vizsgálja. Majd az ennek alapján készült programot ismerteti folyamatábra szinten.

## Bevezetés

Elsődleges célom az volt, hogy a mikrohullámú csillaghálózat tervezésének fáradságos "favágó" munkáját a számítógépre hárítsam. Főiskolai diplomamunkám és a jelen cikk is e célt szem előtt tartva készült, s mindkettő magán viseli ennek jeleit. Mivel igyekeztem a számítógépnek jó "szerszámot" adni ehhez a munkához, a fő hangsúly az interferencia-egyenletek mátrix formában való felírására és az ebből számítható fading tartálékra (esőcsillapítás és többutas terjedés esetén) esik. Az egyéb részek taglalása a felsorolt szakirodalomban bőségesen megtalálható.

## Az átviteli közeg

A mikrohullámú összeköttetések legnagyobb részben átviteli útként a troposzférát használják fel. A troposzféra az atmoszféra legalsó rétege, amelyben a hőmérséklet, a relatív nedvességtartalom és a légnyomás változik - általában csökken - a magassággal, jelenségként előállhat benne felhő, jég, hó, eső, köd, amelyek mind hatással vannak a rádióhullámok terjedésére.

## Az eső és az esőcsillapítás

A tervezés szempontjából a legkedvezőtlenebb hónapban fellépő esőcsillapítás valószínűségének meghatározása a legfontosabb. Az eső által okozott csillapítás a mikrohullámoknak a cseppekben való elnyelődéséből és a cseppeken való szóródásból ered. Egy  $d$  hosszúságú szakaszon fellépő  $\Delta_{ar}$  esőcsillapítás a szakasz mentén változó  $\gamma_{R(d)}$  fajlagos esőcsillapítástól függ:

Beérkezett. 1989. III. 8. (\*)



## SEBŐK ATTILA

A Kandó Kálmán Villamosipari Műszaki Főiskola Híradásipari szakán szerzett

diplomát 1988-ban. Első munkahelye az Orion MFLV, ahol gyártmányfejlesztőként dolgozik a Számítástechnikai fejlesztésén.

$$\Delta_{ar} = \int_0^d \gamma_{R(d)} dd$$

$\gamma_{R(d)}$  értéke gömbalakú cseppeket feltételezve tapasztalati képlet segítségével határozható meg /3/:

$$\gamma_R = AR^B$$

R - esőintenzitás [mm/h/

A és B - a frekvenciától, a hőmérséklettől és a cseppméret-eloszlástól függő változó.

## Felhő és köd

A felhő és a köd zömmel 0,1 mm-nél kisebb cseppeket tartalmaz, így a  $\gamma_r$  fajlagos csillapítás 100 GHz alatt a Q folyékony víztartalommal lineárisan közelíthető /4/:

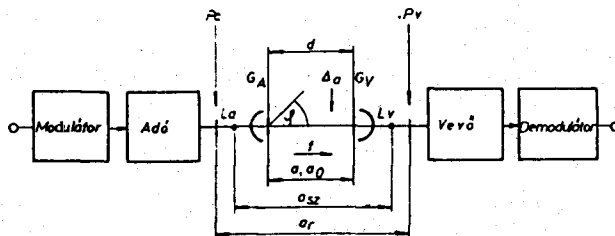
$$\gamma_f = K_f Q^{\alpha(f)} / \text{dB/km}$$

(f) - a frekvenciától és a hőmérséklettől függő tényező.

## Szakaszcsillapítás /8/

(Lábra)

- d - szakaszhossz
- a - útvonalcsillapítás (dB)
- $a_0$  - szabadtéri csillapítás (dB)
- $a_{sz}$  - szakaszcsillapítás (dB)
- $\Delta_a$  - járulékos útvonalcsillapítás (dB)



H 522-1

1. ábra. RF szakaszcsillapítás értelmezése

- $L_a$  - az adókimenet és az antenna közötti összes csillapítás (dB)
- $L_v$  - az antenna és a vevő bemenet közötti összes csillapítás (dB)
- $P_a$  - adóteljesítmény (dBm) vagy (dBW)
- $P_v$  - vételi szint (dBm) vagy (dBW)
- $f$  - üzemi frekvencia (MHz) vagy (GHz)
- $G_a$  - adóantenna nyereség (dB)
- $G_v$  - vevőantenna nyereség (dB)

Az antenna nyereség az irányított antenna és az izotróp sugárzó teljesítmény-sűrűségének viszonya:

$$G = \frac{S_{\max}}{S_0}$$

irányított antenna vett teljesítménysűrűsége:

$$S_v = G_A S_0 = G_A \frac{P_A}{4\pi d^2}$$

A vett teljesítmény (vevőantenna hatásos felületével számolva  $A_{HV}$ ):

$$P_v = S_v A_{HV} = A_{HV} G_A \frac{P_A}{4\pi d^2}$$

Az adó-, és vevőantenna nyereségével kifejezve:

$$P_v = G_A G_v \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 P_A, \text{ ahol}$$

$\lambda$  - a hullámhossz.

Az RF szakasz csillapítása:

$$\frac{P_v}{P_A} = G_A G_v \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2$$

dB-ben:

$$a_{sz} = G_{AdB} + G_{vdB} + 20 \lg \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)$$

A szabadtéri csillapítás:

$$a_0 = -32,447 \text{ dB} - 20 \lg f [\text{MHz}] - 20 \lg d [\text{km}]$$

A fading

A berendezések hatótávolságát a maximális adóteljesítményből a tápvonal csillapításából, az antennanyereségekből és a rádiófrekvenciás vételi küszöbszintből számíthatjuk - szabadtéri terjedést feltételezve. A gyakorlatban a földfelszín és a légkör hatására a szabadtéri csillapítás elméleti értékéhez képest többletcsillapítás (fading) jelentkezik. Ez az idő nagyon kis százalékban jelentős értéket is elérhet. A szabadtéri terjedés figyelembevételével számolt névleges vételi teljesítmény és a vételi küszöbszint különbsége adja a fading- tartalékot.

A jelenséget tárgyaló irodalom alapján [8,9] két alapesetet különböztetünk meg:

- a) szelektív (interferenciás) fading
  - b) csillapítás fading
- a) Ez a fading fajta a többutas terjedéssel áll kapcsolatban. Okai lehetnek:
- földfelszíni visszaverődés
  - légköri rétegződésről való visszaverődés
  - légköri hullámvezető, vagy sugárpálya rendellenes törése

A legtöbb esetben gyors változású és a mélysége, bizonyos körülmények között igen nagy lehet.

- b) Ennek a fadingnek egy része frekvenciafüggetlen, a másik része ugyan növekvő frekvenciával növekszik, de viszonylag kis frekvenciatartományban. Okai lehetnek:

- magassági inverzió következtében előálló részleges, vagy teljes visszaverődés
- sugárpálya elhajlás
- légköri nedvességtartalom (eső, felhő, köd stb.) okozta elnyelési-, és szórás csillapítás.

Itt az eső okozta csillapítás játssza a döntő szerepet.

### Fading előrejelzés

A vizsgálatok szerint [5] egyazon időben legalább hat többutas összetevő létezik, de csak akkor keletkezik észrevehető fading, ha két közel azonos nagyságú összetevő lép fel. Az eső-, és a többutas fading nagysága függ az útvonal hosszától, az éghajlattól, a frekvenciától. Az esőcsillapítás értéke a rendelkezésre álló irodalom és a CCIR 233-3-as beszámoló alapján pontosan számítható, mélysége és gyakorisága meteorológiai statisztika alapján jó közelítéssel jósolható.

Az összeköttetések minőségének meghatározásánál célszerű e két összetevő hatására fellépő azonos szintű fadingokhoz tartozó időszázalékok összeadása. Mikrohullámú összeköttetések tervezésénél az idő kis százalékában fellépő (néhány perces) mélyfading értékét előre kell jelezni. A különböző országokban végzett vizsgálatok alapján a mélyfading Rayleigh-eloszlásának valószínűsíthető és a többutas terjedés következménye. Az amplitúdó-eloszlás mellett igen fontos a fading időtartamának ismerete is. A mérések azt mutatják [6,7], hogy a fading időtartama log-normál-eloszlású.

A szakaszok tervezésénél alapkérdés, hogy az összeköttetés minőségének és megbízhatóságának biztosításához milyen fadingtartalékra van szükség.

### Interferencia

Csillaghálózat esetén több mikrohullámú végállomás páronként egy központi állomáson (csillagpont) keresztül tartja a kapcsolatot. A csillagpont jellegét tekintve ismétlődőállomásnak tekinthető.

Az alapproblémát az interferenciák által lecsökkent fadingtartalék okozza. Ennek értéke az üzemkiesési idő szempontjából fontos, hiszen minél nagyobb az összeköttetés fadingtartaléka, annál kisebb a fading következtében fellépő üzemkiesési idő.

Fajtái: a) belső interferencia  
b) külső interferencia

- a) A belső interferenciák értékét kellő gondossággal alacsonyan lehet tartani.
- b) A vevőantennára a neki nem megfelelő antennákról érkező zavaró jelek összege a külső interferencia.

- Fajtái: 1. A szomszédos RF csatornák által okozott interferenciák (azonos RF szakaszon).  
2. Antenna előre-hátra viszony (sugárzási diagram) által okozott interferencia.  
3. Overreach interferencia (vonalon haladó mikrohullámú összeköttetések interferenciája).  
4. Más összeköttetés által okozott interferencia.

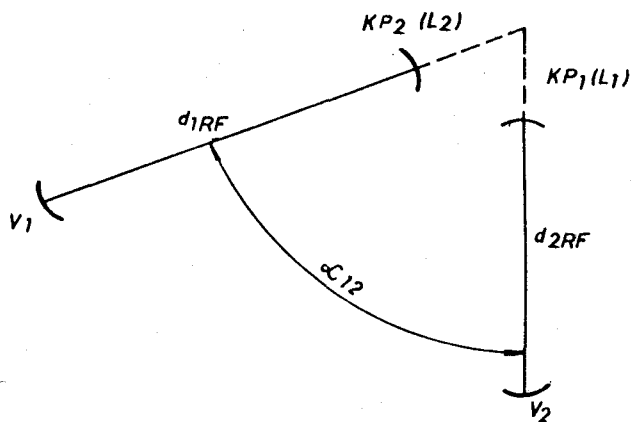
1. Ez ellen a vevő mikrohullámú és KF szűrője nyújthat védelmet, valamint a polarizációs szétválasztás (RF szakaszon teljes frekvenciakiépités esetén a páros, páratlan csatornák ellentétes polarizációban vannak) és az adó spektrumszélességének korlátozása. Csillagszerű hálózat esetén ezzel az interferenciával nem kell foglalkozni. Adott esetben csak a depolarizáció okozhat gondot

2. Tervezésnél fontos szerepet játszó interferencia.

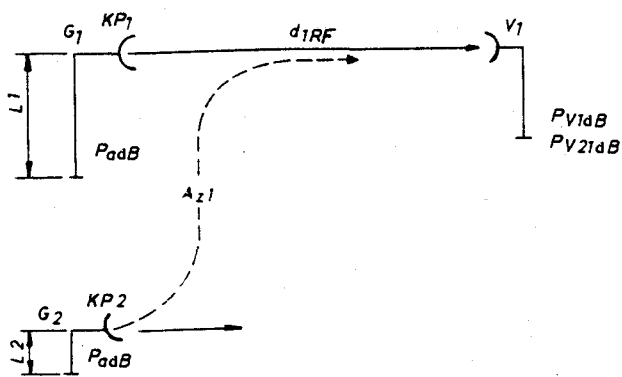
(2. ábra)

Számításánál a hasznos vevőbemenőszintből indulunk ki.

Alapesetei: - adás interferencia  
- vétel interferencia



2. ábra. Interferencia kialakulása



3. ábra. Adás interferencia

Adás interferencia

(3. ábra)

$P_{adB}$  - adóteljesítmény (dBW)

$A_{21}$  - a szóban forgó antenna szögválasztási csillapítása  $V_2$  felé

Első lépésben az azonos RF csatornák interferenciáit számoljuk ki. Hasznos vevő-bemenő szint  $V_1$  helyen:

$$P_{V1dB} = P_{adB} + L_1 + G_1 + A_{KÖ} = P_{V1dB} / \text{dBW}$$

$A_{KÖ}$  - az itt nem említett közös csillapítások összege (adóoldali szűrőváltó szűrő, alapátviteli csillapítás stb.)

A 2. RF szakasz zavaró szintje interferencia következtében a  $V_1$  helyen:

$$P_{V21dB} = P_{adB} + L_2 + G_2 + A_{KÖ} + A_{21} \text{ [dBW]}$$

A két egyenletet egymásból kivonva:

$$P_{V21dB} = P_{V1dB} + A_{21} + (L_2 - L_1) + (G_2 - G_1) \text{ [dBW]}$$

Hasonlóan az 1. sz. RF szakasz zavaró szintje  $V_2$  helyen:

$$P_{V12dB} = P_{V2dB} + A_{12} + (L_1 - L_2) + (G_1 - G_2) \text{ [dBW]}$$

Az összefüggést mátrix alakban is fölírhatjuk:

$$\begin{bmatrix} P_{V11dB} & P_{V12dB} \\ P_{V21dB} & P_{V22dB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{V1dB} & P_{V2dB} \\ P_{V1dB} & P_{V2dB} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \emptyset & A_{12} \\ A_{21} & \emptyset \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \emptyset & L_1 - L_2 \\ L_2 - L_1 & \emptyset \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \emptyset & G_1 - G_2 \\ G_2 - G_1 & \emptyset \end{bmatrix} \text{ [dBW]}$$

Általánosítva:

$$P_{vikdB} = P_{vk} + A_{ik} + L_{ik} + G_{ik}$$

$P_{vk}$  - bemenőszint mátrix  
 $A_{ik}$  - antenna mátrix  
 $G_{ik}$  - antenna nyereség mátrix  
 $L_{ik}$  - antenna tápvonal mátrix

A szomszédos RF szakaszok ellentétes polarizációja miatt az  $A_{ik}$  mátrix azon tagjait, ahol az indexek különbsége (k-i) páratlan, az ellentétes polarizációjú antenna sugárzási diagramból, ahol páros az azonos polarizációjú antenna sugárzási diagramból kell leolvasni. Tehát a mátrix elemei megadják, hogy a központi állomás azonos frekvenciájú, különböző irányba sugárzó adói mekkora zavarshoznak létre az egyes külső végállomásokon. A szomszédos RF csatornáktól származó interferencia-egyenlet:

$$P'_{vikdB} = P_{vk} + A'_{L_{ik}} + G_{ik} + A_{sz} + K_{ik}$$

$A_{sz}$  - a szűrőmátrix:

$$A_{sz} = \begin{bmatrix} A_{sz+3} & A_{sz+3} \dots \\ A_{sz+3} & A_{sz+3} \dots \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

Az  $A_{sz}$  értékét a vevőmikrohullámú és KF szűrő karakterisztikája határozza meg. A +3 dB-lel a két szomszédos csatorna együttes hatását vesszük figyelembe. Az  $A_{ik}$  mátrix képzési szabálya az  $A_{ik}$  képzési szabályának inverze.  $K_{ik}$  korrekciós mátrixnak szűrő szerepe van: ha a tervezésnél  $P_{vikdB}$  tagot vigyelembe akarjuk venni, úgy  $K_{ik} = 0$ , ha el kívánjuk hagyni,  $K_{ik} = -\infty$  (számítógépes algoritmus során egy viszonylag kis negatív szám pl.: -50000). Általános alakja:

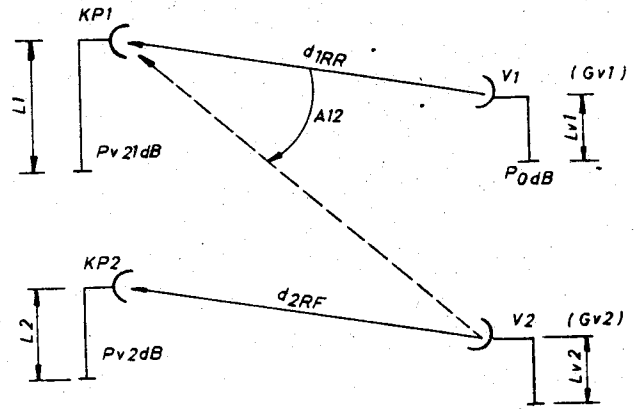
$$K_{ik} = \begin{bmatrix} -\infty & 0 & 0 & \dots \\ 0 & -\infty & 0 & \dots \\ 0 & 0 & -\infty & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

Fontos meglátni, hogy a  $P_{vik}$  mátrix első öt tagját figyelembe véve a főátlóban lévő elemek (k=i) a hasznos jelszintet adják. Ezt azonban ki akarjuk hagyni a zavarshoz mátrixból. Ezt teszi meg a  $K_{ik}$  mátrix. A zavarshoz mátrix ily módon megadja, hogy a központi állomás szomszédos (frekvenciában legközelebb lévő) adói mekkora zavarshoznak eredményeznek a külső végállomásokon. A számításnál azonban a zavarshoz nem mond számunkra sokat, hanem a hasznos jelszinthez mért szintkülönbségére vagyunk kíváncsiak. Ehhez bevezetjük az interferencia mátrix fogalmát:

Azonos RF csatornák esetén:

$$C_A = C_{ik} = A_{ik} + L_{ik} + G_{ik} + K_{ik}$$

összehasonlítva az adás interferencia-egyenlettel:



H 522-4

4. ábra. Vétel interferencia

$$C_A = P_{vikdB} - P_{vk} + K_{ik}$$

Szomszédos RF csatornák esetén:

$$C'_A - C'_{ik} = A'_{ik} + L_{ik} + G_{ik} + A_{sz} + K_{ik}$$

Vétel interferencia:

(4. ábra)

$A_{12}$  -  $KP_1$  antenna szögelválasztási csillapítás  $V_2$  irányába.

Vizsgáljuk  $V_2$ - $KP_2$  szakasz  $KP_1$  antennára gyakorolt hatását.

Azonos csatornás interferencia:

A 2. RF szakasz zavaró szintje a  $KP_1$  helyén:

$$P_{V21dB} = P_{V2dB} + A_{12} + (L_1 - L_2) + (G_1 - G_2)$$

Az 1. RF zavaró szintje a  $KP_2$  helyén:

$$P_{V12dB} = P_{V1dB} + A_{21} + (L_2 - L_1) + (G_2 - G_1)$$

Mátrix alakban:

$$\begin{bmatrix} P_{V11dB} & P_{V12dB} \\ P_{V21dB} & P_{V22dB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{V1dB} & P_{V1dB} \\ P_{V2dB} & P_{V2dB} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \emptyset & A_{21} \\ A_{12} & \emptyset \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \emptyset & L_2 - L_1 \\ L_1 - L_2 & \emptyset \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \emptyset & G_2 - G_1 \\ G_1 - G_2 & \emptyset \end{bmatrix} \quad [\text{dBW}]$$

Általánosítva:

$$P_{vik} = P_{vk}^* + A_{ik}^* + L_{ik}^* + G_{ik}^* \quad /* - \text{transzponált mátrix/}$$

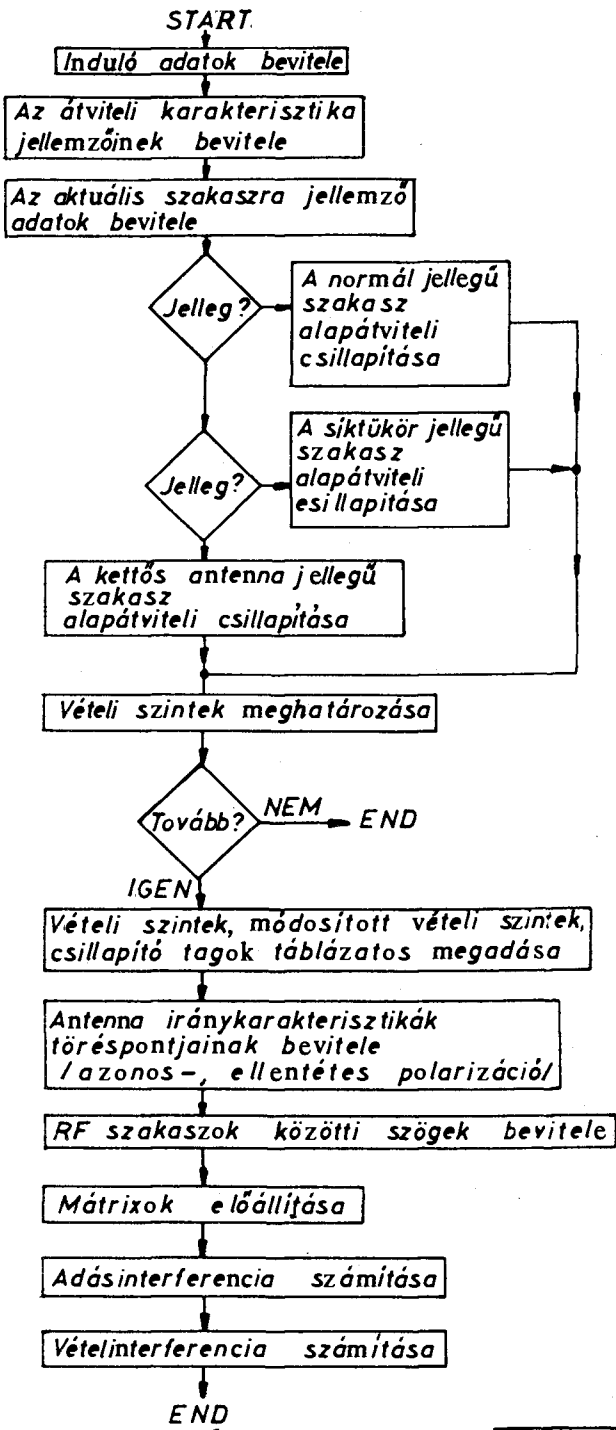
A szomszédos csatornás interferencia-egyenlet:

$$P'_{vikdB} = P_{vk}^* + A'_{in} + L_{ik}^* + G_{ik}^* + A_{sz} + K_{ik}$$

Azonos csatornás interferencia mátrix:

$$C_v = A_{in}^* + L_{ik}^* + G_{ik}^* + K_{ik}^* = C_{ik}^*$$

### A program folyamatábrája



H 522-5

5. ábra. A program folyamatábrája

A szomszédos csatornás interferencia mátrix:

$$C_v' = A_{ik}' + L_{ik}' + G_{ik}' + A_{sz} + K_{ik}$$

A vétel interferencia következtében előálló jel/zaj viszony:

A hasznos teljesítményszint az 1.sz. RF szakaszon:

$$P_{v1} = P_a + G_{v1} - 20 \lg d_{RP} + L_{v1} + A_{KÖ} + G_1$$

A 2. sz. RF szakasz zavaró teljesítménye az 1. sz. RF szakaszon:

$$P_{v21} = P_a + G_{v2} - 20 \lg d_{RF} + L_{v2} + A_{kÖ} + G_1 + A_{12}$$

A jel/zaj viszony:

$$P_{v1} - P_{v21} = G_{v1} - G_{v2} - 20 \frac{d1RF}{d2RF} + (L_{v1} - L_{v2}) - A_{12}$$

3. Vonalban haladó mikrohullámú összeköttetések esetén lép fel /9/.
4. Itt más, sok esetben egymástól különböző információ hordozó mikrohullámú összeköttetések egymásra hatásáról van szó. Csak formailag tartoznak külön csoportba, az RF jel/zajviszony számítása analóg a fent leírtakkal.

A fentiek figyelembevételével az 5. ábra szerinti folyamatára lehetővé teszi a program elkészítését tetszőleges gépre, tetszőleges nyelven.

### IRODALOM

- [1] Dr. Ferenczy Pál.: Hírközlésmélet Tankönyvkiadó, Bp. 1972.
- [2] Arifon, P.: Towards a better understanding of radio relay systems = Thomson-CSF
- [3] Osborn, T.L.: Application of rain attenuation rate for 11 GHz rádió - path engineering = B.S.T.J. Nov. 1977.
- [4] Ryde, J.W. - Ryde, D.: Attenuation of centimetre waves by rain, hail, fog and clouds = Report 8516, GEC Research Labs., Wembley, England 1944.
- [5] Crawford, A.B. - Jakes, W.C.: Selective fading of microwaves = B.S.T.J. 1952, No.1
- [6] Bullington, K.: Phase and amplitude variations in multipath fading of microwave signals = B.S.T.J. July-Aug. 1971.
- [7] Lin, S.H. : Statistical behaviour of a fading signal = B.S.T.J., Dec.1971.
- [8] Bali-Kántor-Stefler: Mikrohullámú analóg hírközlés = Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1983.
- [9] Dr. Csernoch J.- dr. Hetényi T.: ÜTK-4002, Bp. 1982.
- [10] Dr. Csernoch János : Légköri abszorbeió csillapítás és annak figyelembevétele mikrohullámú hálózatok tervezésénél, HÍRADÁSTECHNIKA, 32. évf. 9.sz. 1981.p.341-358