# HÍRADÁS-TECHNIKA

A HÍRADÁS-TECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET LAPJA

6

XXX. ÉVFOLYAM. 6. SZÁM, 161—192 OLDAL. BUDAPEST, 1979. JÚNIUS

# HÍRADÁSTECHNIKA

1979. június, XXX. évfolyam, 6. szám

A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET LAPJA


TARTALOM


KULCSÁR GÁBOR: Algoritmus poligonok lefedésére téglalapokkal ..... 161
DR. GÉHER KÁROLY: Számítógépprogramok katalógusa, 1978 ..... 168
DR. SOMOGYI JÁNOS: Hírközlés fényvezető kábeleken ..... 173
Szemle ..... 183
SZLAVICSKA LÁSZLÓ: Eljárás az URH rádiótelefon-hálózatok tervezési jóságának kimutatására ... 184
Megemlékezés dr. Dékány Lászlónéról ..... 190
Hálózatelméleti Konferencia ..... 190
Tartalmi összefoglalások ..... 191
Обобщения ..... 191
Zusammenfassungen ..... 191
Summaries ..... 192
Résumés ..... 192



Operatív szerkesztő bizottság: BOGLÁR GYULA szerkesztő, BALOGH PÁL, DR. FLESCH ISTVÁN, MAY PÉTER, MÉREY IMRÉNÉ, NAGYGYÖRGY GÁBOR



Szerkesztőségi és kéziratokkal kapcsolatos ügyekben felvilágosítást ad: SZÖLLŐSI GYÖRGYNÉ. Telefon: 495-098

HÍRADÁSTECHNIKA

A szerkesztésért felelős: Boglár Gyula. Szerkesztőség címe: Budapest V., Kossuth Lajos tér 6—8. 1055. Telefon: 113-027. Kiadja: a Lapkiadó Vállalat, Budapest, Lenin krt. 9—11. 1073, telefon: 221-285. Levélcím: Budapest, Pf. 223. 1900. Felelős kiadó: Siklósi Norbert. Terjeszti a Magyar Posta. Előfizethető bármely postahivatalnál, a kézbesítőknél, a Posta hírlapüzleteiben és a Posta Központi Hírlapirodánál (KHI, Budapest, József nádor tér 1. 1900) közvetlenül vagy postautalványon, valamint átutalással a KHI 215—96 162 pénzforgalmi jelzőszámra. Előfizetési díj: fél évre 72 Ft, egész évre 144 Ft. Egyes szám ára: 12 Ft. Megjelenik havonta. A folyóirat külföldre előfizethető: „KULTÚRA" Külkereskedelmi Vállalat, H—1389 Budapest, Postafiók 149

HU ISSN 0018—2028

Egyetemi Nyomda — 79.4132 Budapest, 1979. Felelős vezető: Sümeghi Zoltán igazgató

Index: 25 375

HÍRADÁS-TECHNIKA

A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET LAPJA

KULCSÁR GÁBOR
Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet

# Algoritmus poligonok lefedésére téglalapokkal

ETO 514.174.3:681.3.06

**(Számítógépes adatelőkészítés pattern generátor vezérléséhez)**

Az LSI-technika fokozott követelményeket támaszt az integrált áramköri maszkok minőségével szemben. Az elemsűrűség növekedésével az egyes maszkokon található alakzatok száma nő, míg azok méretei és a közöttük levő távolságok csökkennek. Lényeges tehát, hogy az alakzatok leképzése pontos és lehetőleg torzításmentes legyen. A követelmények kielégítésére világszerte ún. pattern generátorokat alkalmaznak. Ezeknek több fajtája létezik.

A leggyakrabban alkalmazott berendezés ún. mechanikus — optikai pattern generátor. A képlemez, amely egy mozgatható asztalon helyezkedik el, egy változtatható méretű, téglalap alakú blendén keresztül megvilágítható. A blende az asztalhoz képest forgatható is. A berendezés tehát gyakorlatilag tetszőleges méretű és közel tetszőleges állású téglalap alakzatok leképzésére alkalmas a képlemez bármely részén. A gép lyukszalaggal vezérelhető. A vezérlés utasításszavak segítségével történik. Egy-egy utasításszó egy-egy téglalap leképzését teszi lehetővé a helykoordináták, méretek és az esetleges elforgatás megadásával [1]. Az adatelőkészítés végső célja tehát a vezérlő lyukszalag előállítása.

Az integrált áramköri maszkok növekvő bonyolultsága, valamint az adatelőkészítés során felmerülő számos optimalizálási és egyéb feladat természete szükségessé teszi számítógép alkalmazását. A tervrajz formájában adott áramköri alakzatokat a számítógép által feldolgozható formára kell hozni. Ez rendszerint digitalizálással, az alakzatok csúcspontjai koordinátáinak egy meghatározott körüljárási irány szerinti felvételével történik. A továbbiakban egy-egy alakzat mint számpárok rendezett halmaza adott a számítógép számára.

A számítógépes adatelőkészítés főbb feladatai a következők.

1. A pattern generátor felépítéséből, illetve működési sajátosságaiból következik, hogy a leképzendő alakzatokat olyan téglalapok halmazára kell bontani, amelyeknek egyesítése pontosan lefedi az egyes alakzatokat, azaz az egyesítések kontúrvonalai az illető alakzatok határvonalaival azonosak.

2. A vezérlő lyukszalag elkészítése előtt célszerű bizonyos optimalizálásokat végezni a pattern generátor gépidejének csökkentése, illetve hatékonyságának növelése érdekében, majd megfelelő formátumban el kell készíteni a vezérlő lyukszalagot. A fenti lépések ellenőrzése szintén számítógéppel lehetséges.

Ez a dolgozat elsősorban alakzatok téglalapokkal való lefedésével foglalkozik. Olyan algoritmus létrehozása volt a cél, amely az alakzat csúcspontjainak digitalizált koordinátáiból kiindulva meghatározza az alakzatot az alábbi értelemben lefedő, lehetőleg minimális számú téglalap csúcspontjait.

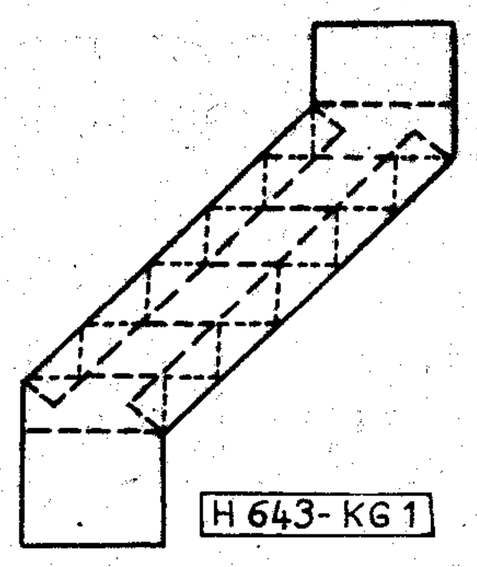
A téglalapoknak az alakzat minden pontját le kell fedniük, ugyanakkor nem fedhetnek le alakzathoz nem tartozó pontot.

## Alakzatok osztályozása

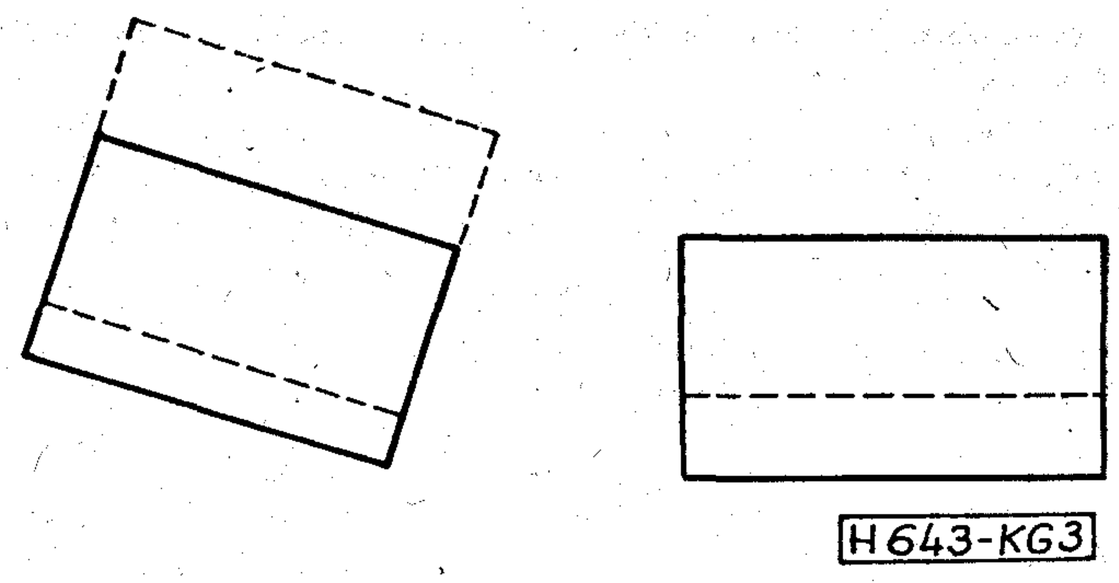
A feladat bonyolultsága szempontjából típusokba sorolhatjuk a maszkokon előforduló alakzatokat. Ortogonális alakzatnak nevezzük az olyan poligont, amelyiknek minden oldala párhuzamos valamelyik koordinátatengellyel. (Poligonon a továbbiakban olyan összefüggő sokszöget értünk, amelynek minden csúcsában két-két oldal találkozik.) Az ilyen poligonnak csak 90°-os vagy 270°-os (belső) szögei vannak. Ortogonális alakzatok téglalap felbontása viszonylag egyszerűen algoritmizálható [1].

A nem ortogonális alakzatok közül nyilván csak olyanok fedhetők le a fenti értelemben téglalapokkal, amelyeknek belső szögei között nincs hegyesszög. Ezen belül gyakorlati szempontból célszerű lehet külön osztályba sorolni az olyan alakzatokat, amelyek a koordinátatengelyekkel párhuzamos oldalakon kívül csak a tengelyekkel 45°-os szöget bezáró oldalakat tartalmaznak. Az ortogonális és a nem ortogonális alakzatok között egyaránt előfordulhatnak egyszeresen, illetve többszörösen összefüggő alakzatok is. A nem ortogonális alakzatok téglalap lefedése visszavezethető az ortogonális alakzatok lefedésére,

Beérkezett: 1978. X. 28.




*1. ábra*




*3. ábra.* Egyesíthető téglalapok

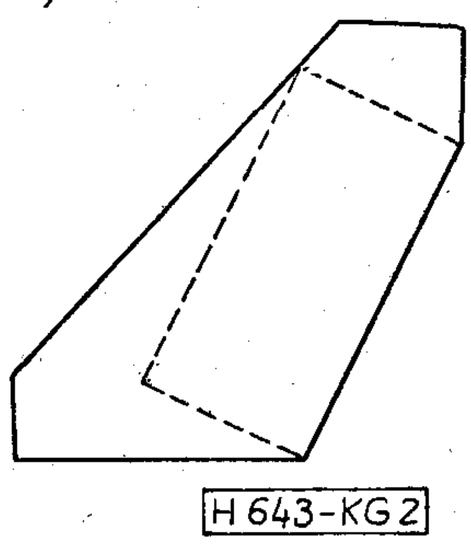
ez a módszer azonban nem optimális a pattern generátor gépidejének szempontjából (1. ábra).

A továbbiakban ismertetésre kerülő algoritmus alkalmas minden olyan (egyszeresen vagy többszörösen összefüggő) poligon téglalap lefedésére (az előbbiekben részletezett értelemben), amely belső szögei között nem tartalmaz hegyesszöget, tehát amely téglalapokkal ily módon egyáltalán lefedhető. Alakzaton a továbbiakban ilyen poligont értünk.

## Az algoritmus vázlata

### *1. eljárás*

Az alakzat minden egyes határoló oldalára olyan téglalapot illesztünk (tehát a téglalap egyik oldala és az alakzat szóban forgó oldala egybe esik), amely teljes egészében az alakzat belsejébe esik, és amely maximális abban az értelemben, hogy minden ennél nagyobb (területű) téglalap már túlnyúlna az alakzat határán (2. ábra).




*2. ábra.* „Maximális" téglalap

### *2. eljárás*

Ha több téglalap egyesítése téglalap (azaz a téglalapok által együttesen lefedett alakzat szintén téglalap), akkor ezek helyett egyesítésüket vesszük. Tehát két téglalapot akkor egyesíthetünk, ha van két közös párhuzamos oldaldarabjuk (ekkor ezek a szakaszok egybevágóak és végpontjaik egy téglalapot határoznak meg), vagy ha az egyik téglalap részhalmaza a másiknak. Az utóbbi esetben egyszerűen elhagyjuk a tartalmazott téglalapot (3. ábra).

A fenti eljárásokból következik, hogy bizonyosan nem fedünk le alakzathoz nem tartozó pontokat. Még kell azonban vizsgálnunk, hogy a kapott téglalapok az alakzat minden pontját tartalmazzák (lefedik)-e?

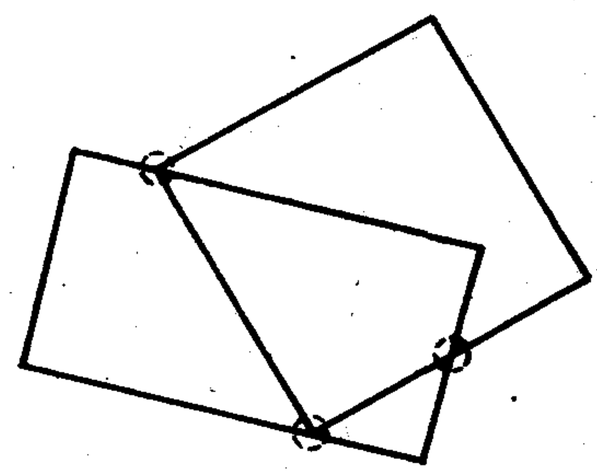
### *3. eljárás*

Kiszámítjuk a fenti eljárások során nyert téglalapok oldalainak a többi téglalap oldalaival alkotott metszéspontjait és a kapott pontokat beillesztjük az egyes téglalapokat leíró rendezett ponthalmazokba. Ha két oldal részben vagy egészben egybeesik, nem veszünk figyelembe metszéspontot (4. ábra).

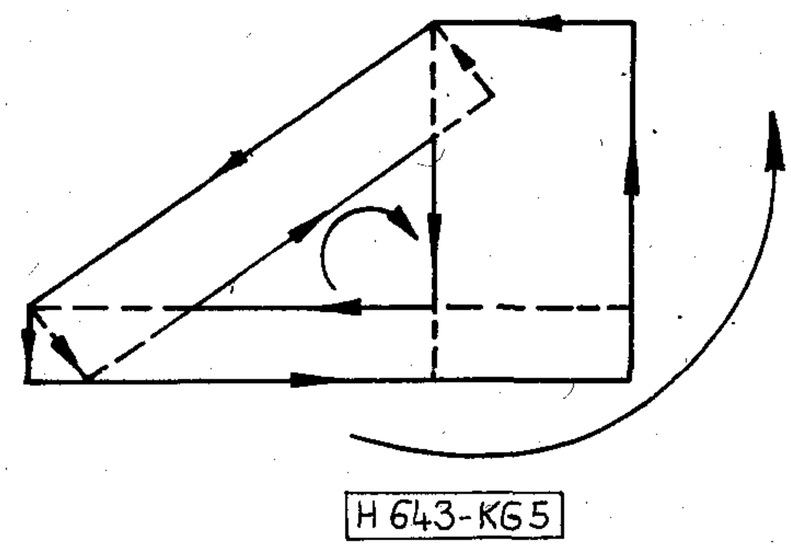
A továbbiakban az egyes pontokat összekötő szakaszokat vizsgáljuk.

Ha a téglalapok nem fedik le az alakzat minden pontját, a fenti szakaszok közül kiválaszthatjuk azokat az egymáshoz csatlakozó szakaszokat, amelyek a le nem fedett részek határoló oldalait alkotják. Ily módon egy vagy több poligonhoz juthatunk. Ha az egyes téglalapok körüljárási irányát az eredeti alakzat körüljárási irányával megegyezően vesszük fel, továbbá, ha a szakaszok képzésénél az adott egyenesdarabok irányítását megtartjuk, az egyes poligonokat fordított körüljárással kapjuk meg (5. ábra).

Az előbbieknek megfelelően csakis olyan metszéspontokat veszünk figyelembe, melyek révén keletkező




*4. ábra.* Téglalapok metszéspontjai




*5. ábra.* Lefedetlen poligon

szakaszok le nem fedett poligonok határoldalai lehetnek.

Könnyen belátható, hogy azok és csak azok a szakaszok *nem* határoldalai egy lefedetlen poligonnak, amelyekre az alábbi feltételek valamelyike teljesül:

*a)* az adott szakasz az eredeti alakzat határvonalán fekszik, illetve egyik végpontja valamelyik határszakasz belső pontja,

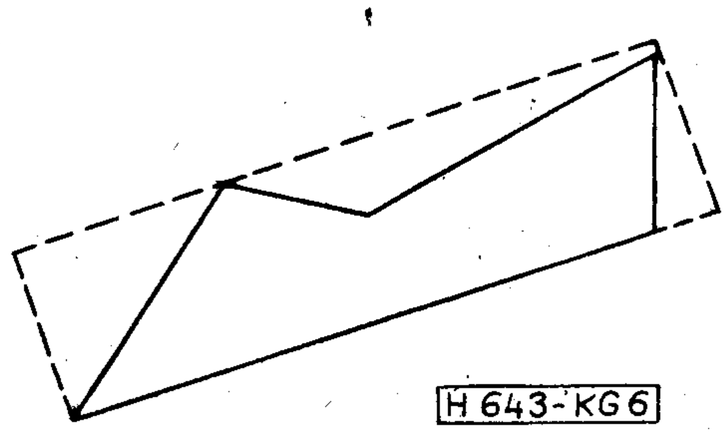
*b)* van legalább két olyan téglalap, amely az adott szakaszt (belsejében vagy határvonalán) tartalmazza.

Kiválogatjuk azokat a szakaszokat, amelyekre a fenti feltételek egyike sem teljesül. Ha nem találunk ilyen szakaszt, a téglalapok teljes egészében lefedik az alakzatot. A kapott szakaszokat kezdő- és végpontjaik összehasonlításával, az egyes lefedetlen poligonoknak megfelelő, független ciklusokba rendezzük (5. ábra). Az 1. eljárásból következik, hogy a lefedetlen poligonok mindig egyszeresen összefüggőek.

*4. eljárás*

A kapott lefedetlen poligonokat külön-külön megpróbáljuk lefedni egyetlen befoglaló téglalappal [2].

A befoglaló téglalap egyik oldala a poligon valamelyik oldalegyenesére esik és minimális azon téglalapok között, amelyek a poligont tartalmazzák (6. ábra). Ha a poligont valamely oldalegyenese felbontja, természetesen nem ültethetünk rá befoglaló téglalapot.




*6. ábra.* Befoglaló téglalap

Ha a befoglaló téglalap túlnyúlik az eredeti alakzat határán, egy másik befoglaló téglalappal kísérletezünk. Kísérletezhetünk ortogonális állású befoglaló téglalappal is, melynek oldalai párhuzamosak a koordinátatengelyekkel. Különösen szerencsés esetben a lefedetlen poligon maga egy téglalap.

*5. eljárás*

Ha nem találunk olyan befoglaló téglalapot, amely teljes egészében az eredeti alakzat belsejébe esik, az 1. eljáráshoz hasonló műveletet hajtunk végre. A művelet előtt a poligon körüljárását megfordítjuk.

A poligon minden egyes oldalára téglalapot illesztünk. A közös oldal irányítását megtartjuk, tehát a téglalap körüljárása megegyezik a poligonéval, ami más szóval azt jelenti, hogy a téglalap a poligonoldal belső partján fekszik. A téglalapok túlfedhetik a poligont, csak arra ügyelünk, hogy az eredeti alakzat határán ne nyúljanak túl.

*6. eljárás*

Az újonnan kapott téglalapokon végrehajtjuk a 2. eljárást.

*7. eljárás*

Megvizsgáljuk, hogy a kapott téglalapok lefedik-e a poligont. A 3. eljárást hajtjuk végre a poligonra szorítkozva. Ez azt jelenti, hogy mivel az új lefedetlen alakzatot a poligon belsejében keressük, csakis olyan metszéspontokat (illetve szakaszokat) veszünk figyelembe, amelyek a poligon belsejébe esnek.

*8. eljárás*

Ha ismét találunk lefedetlen alakzatot, megismételjük a 4—7. eljárásokat.

Mivel a fenti eljárások során az újonnan kapott lefedetlen poligonok valódi részhalmazai a megelőző ciklusban kapott lefedetlen poligonoknak, a lefedetlen részek területe a ciklusok során szigorúan monoton csökken, tehát véges számú ciklus után találunk olyan befoglaló téglalapokat, amelyek teljes egészükben az eredeti alakzat belsejébe esnek. Az eljárásból következik, hogy már a második ciklus után nem kaphatunk olyan lefedetlen poligont, amelynek valamelyik csúcsa az eredeti alakzatnak is csúcsa.

## Az algoritmus matematikai leírása

*1. eljárás*

A továbbiakban feltételezzük, hogy az alakzat csúcspontjainak koordinátái által adott, továbbá, hogy az egyes csúcspontok x és y koordinátái pozitív (az óramutató járásával ellentétes) körüljárási irány szerint követik egymást. Ez azt jelenti, hogy a körüljárási irány mentén haladva az alakzat határvonalán az alakzat belseje mindig a bal oldalra esik. A körüljárási irány megválasztása tetszőleges, de a továbbiakban ragaszkodni kell hozzá.

Az egyes csúcspontokat egy-egy vektor végpontjának tekinthetjük, így az alakzat *i*-edik oldalát a körüljárási irány szerint leíró vektor

$$\mathbf{n}_i = \mathbf{r}_{i+1} - \mathbf{r}_i, \tag{1}$$

ahol: $\mathbf{r}_i$ és $\mathbf{r}_{i+1}$ az alakzat sorrendben egymás után következő csúcspontjaiba mutató vektorok (7. ábra). (Az $N$ csúcspontból álló alakzat $\mathbf{r}_{N+1}$ pontján $\mathbf{r}_1$-et értjük.)

Az *i*-edik oldal pontjait az

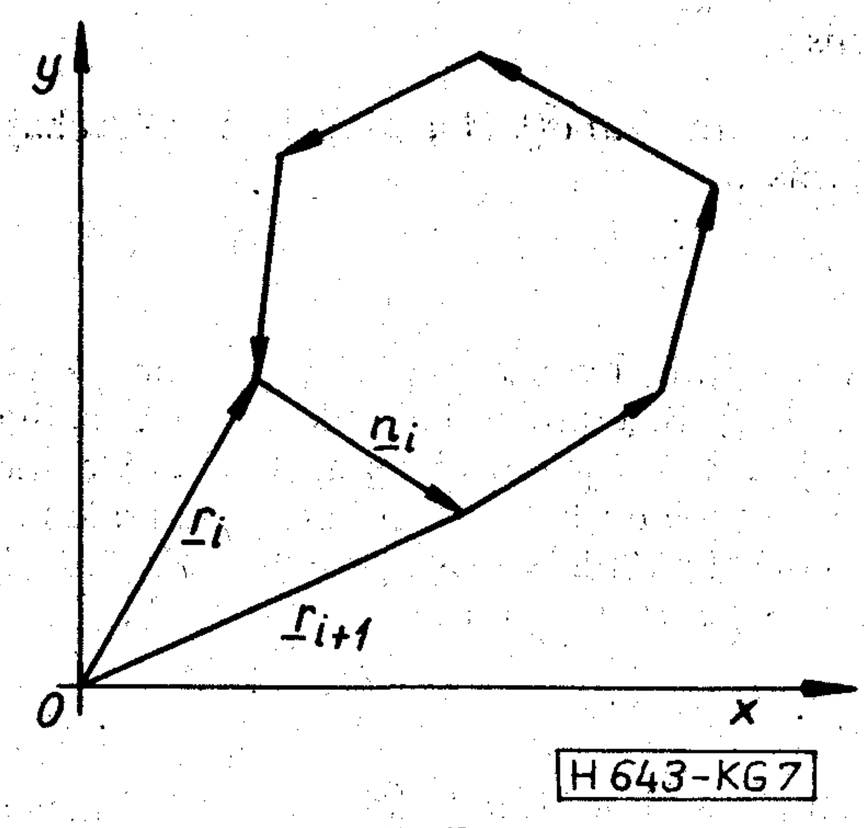
$$\mathbf{r}_i + c\mathbf{n}_i \qquad 0 \leqq c \leqq 1 \tag{1.2}$$

vektorok futják be, ahol $c$ valós szám.

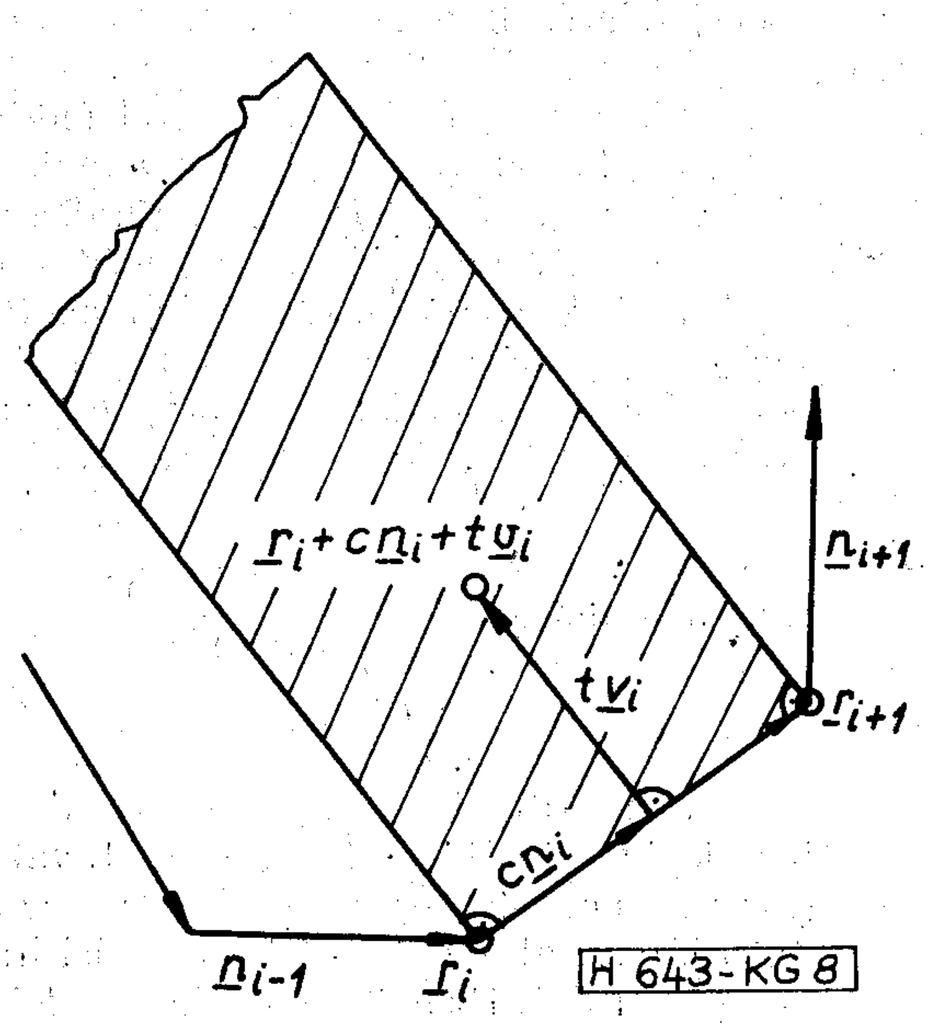
Ha $\mathbf{n}_i$ kooridinátái $n_{ix}$ és $n_{iy}$, akkor egy az $\mathbf{n}_i$-re merőleges és az alakzat belseje felé mutató $\mathbf{v}_i$ vektor kooridnátái:

$$\begin{aligned} v_{ix} &= -n_{iy} \\ v_{iy} &= n_{ix} \end{aligned} \qquad (|\mathbf{n}_i| = |\mathbf{v}_i|). \tag{1.3}$$

Az $\mathbf{n}_i$ oldal végpontjaiban az oldal belső partjára állított merőleges félegyenesek által meghatározott




*7. ábra*




*8. ábra*

sáv pontjait (8. ábra) a következő kifejezés írja le:

$$\mathbf{r}_i + c\mathbf{n}_i + t\mathbf{v}_i \qquad t > 0, \tag{1.4}$$

ahol $t$ valós szám.

Az $i$-edik oldalra illesztendő, az előbbiekben ismertetett értelemben „maximális" téglalap a fenti sávban helyezkedik el, és egyik mérete az $i$-edik oldal hosszúsága. A téglalap másik méretét az $i$-edik oldalhoz legközelebb eső, a sávon belül levő határpont és az oldal távolsága adja.

Az alakzat $\mathbf{n}_j$ oldalát az

$$\mathbf{r}_j + k\mathbf{n}_j \quad \text{és} \quad 0 \leqq k \leqq 1, \tag{1.5}$$

vektorok futják be, ahol $k$ valós szám.

Ha az $\mathbf{n}_j$ oldal vagy annak egy része a fenti sávban helyezkedik el, akkor vannak olyan $c$, $t$, $k$ számok, amelyekkel fennáll az

$$\mathbf{r}_i + c\mathbf{n}_i + t\mathbf{v}_i = \mathbf{r}_j + k\mathbf{n}_j, \tag{1.6}$$

egyenlőség és amelyekre teljesülnek a kirótt feltételek.

Szorozzuk meg (1.6)-ot skalárisan $\mathbf{n}_i$-vel, majd fejezzük ki $c$-t!

$$c(k) = \frac{\mathbf{n}_i \cdot \mathbf{r}_j - \mathbf{n}_i \cdot \mathbf{r}_i + \mathbf{n}_i \cdot \mathbf{n}_j \cdot k}{\mathbf{n}_i \cdot \mathbf{n}_i}. \tag{1.7}$$

Szorozzuk meg (1.6)-ot vektorálisan $\mathbf{n}_i$-vel, majd fejezzük ki $t$-t!

$$t(k) = \frac{\mathbf{n}_i \times \mathbf{r}_j - \mathbf{n}_i \times \mathbf{r}_i + (\mathbf{n}_i \times \mathbf{n}_j) \cdot k}{\mathbf{n}_i \cdot \mathbf{n}_i}, \tag{1.8}$$

($(\mathbf{n}_i \cdot \mathbf{n}_i)$ nyilván sohasem zérus).

(1.7)-ből $k$-t kifejezve kapjuk:

$$k(c) = \frac{\mathbf{n}_i \cdot \mathbf{r}_i - \mathbf{n}_i \cdot \mathbf{r}_j + \mathbf{n}_i \cdot \mathbf{n}_i \cdot c}{\mathbf{n}_i \cdot \mathbf{n}_j}, \tag{1.9}$$

(1.7), (1.8) és (1.9) alapján megvizsgálhatjuk $\mathbf{n}_j$ elhelyezkedését a sávhoz képest.

Ha $(\mathbf{n}_i \cdot \mathbf{n}_j) = 0$, tehát $\mathbf{n}_j$ párhuzamos a sávot határoló félegyenesekkel, akkor a számítások egyszerűsítése végett nem vizsgáljuk tovább $\mathbf{n}_j$-t. A szükséges információ megszerzéséhez az $\mathbf{n}_j$-hez csatlakozó oldalak vizsgálata is elegendő.

*a)* $\mathbf{n}_j$-nek nincs közös pontja a sávval, ha:

$$t(0) \leqq 0 \quad \text{és} \quad t(1) \leqq 0,$$

vagy

$$c(0) \leqq 0 \quad \text{és} \quad c(1) \leqq 0,$$

vagy

$$c(0) \geqq 1 \quad \text{és} \quad c(1) \geqq 1.$$

*b)* $\mathbf{n}_j$-nek minden pontja közös a sávval, ha:

$$t(0) > 0 \quad \text{és} \quad t(1) > 0,$$

és

$$0 \leqq c(0) \leqq 1 \quad \text{és} \quad 0 \leqq c(1) \leqq 1.$$

*c)* $\mathbf{n}_j$ metszi a sáv határát (vagy határait), ha:

$$t(0) > 0 \quad \text{vagy} \quad t(1) > 0,$$

és

$$0 \leqq k(0) \leqq 1 \quad \text{vagy} \quad 0 \leqq (1) \leqq 1.$$

Ha a *b)* eset teljesül, $t(0)$ és $t(1)$ közül a kisebbiket tároljuk.

Ha a *c)* eset teljesül, akkor a $k=0$, $k=1$, $k=k(0)$ és $k=k(1)$ értékek közül csak kettőnél teljesülnek egyidejűleg a $c$-re és $t$-re kirótt feltételek is. A megfelelő két $t$ érték közül a kisebbiket tároljuk.

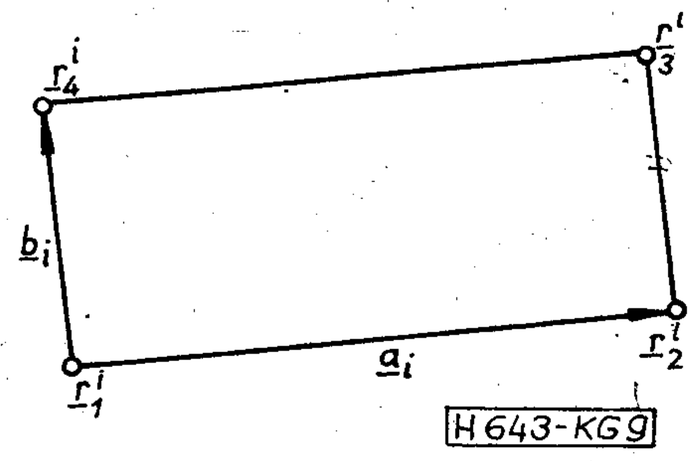
A fenti vizsgálatokat minden $j$-re elvégezzük (kivéve a $j=i-1$, $j=i$, $j=i+1$ értékeket, hiszen ezeket vizsgálni felesleges) és a kapott $t$ értékek közül csak a legkisebbet tartjuk meg. Az $i$-edik oldalra illesztendő „maximális" téglalap csúcspontjai a körüljárási sorrendben:

$$\mathbf{r}_i;\ \mathbf{r}_{i+1};\ \mathbf{r}_{i+1} + t\mathbf{v}_i;\ \mathbf{r}_i + t\mathbf{v}_i, \tag{1.10}$$

ahol: $t$ és $\mathbf{v}_i$ a fentiek alapján meghatározott. A fenti eljárást az alakzat minden oldalára végrehajtjuk.

*2. eljárás*

Páronként megvizsgáljuk az 1. eljárással kiszámított és csúcspontjaik helyvektorai által megadott téglalapokat.




*9. ábra*

Legyen az $i$-edik és $j$-edik téglalap az

$$\begin{aligned} &\mathbf{r}_1^i;\ \mathbf{r}_2^i;\ \mathbf{r}_3^i;\ \mathbf{r}_4^i, \\ &\mathbf{r}_1^j;\ \mathbf{r}_2^j;\ \mathbf{r}_3^j;\ \mathbf{r}_4^j, \end{aligned} \tag{2.1}$$

helyvektorok által adott.

Azt is mondhatjuk, hogy egy-egy téglalapot az

$$\mathbf{a}_i=\mathbf{r}_2^i-\mathbf{r}_1^i;\ \mathbf{b}_i=\mathbf{r}_4^i-\mathbf{r}_1^i, \tag{2.2}$$

vektorok feszítenek ki (9. ábra) (az 1. eljárás alapján $\mathbf{a}_i=\mathbf{n}_i$ és $\mathbf{b}_i=t\cdot\mathbf{v}_i$).

A téglalap területe:

$$T_i=\mathbf{a}_i\times\mathbf{b}_i=a_{ix}\cdot b_{iy}-a_{iy}\cdot b_{ix}. \tag{2.3}$$

Kiszámítjuk az $i$-edik és a $j$-edik téglalap területét és megvizsgáljuk, hogy a nagyobb területű téglalap tartalmazza-e a kisebb területűt. Ha igen, a kisebb területű téglalapot elhagyjuk.

Tegyük fel, hogy $T_i\geqq T_j$!

Az $i$-edik téglalap akkor és csak akkor tartalmazza a $j$-ediket, ha annak minden $\mathbf{r}_l$ csúcspontját tartalmazza ($l=1, 2, 3, 4$).

Ez azt jelenti, hogy vannak olyan $c$ és $k$ valós számok, melyekre

$$c\cdot\mathbf{a}_i+k\cdot\mathbf{b}_i=\mathbf{r}_l^j-\mathbf{r}_1^i;\quad 0\leqq c,\ k\leqq 1. \tag{2.4}$$

Szorozzuk meg (2.4)-et skalárisan $\mathbf{a}_i$-vel és fejezzük ki $c$-t!

$$c=\frac{\mathbf{a}_i\cdot\mathbf{r}_l^j-\mathbf{a}_i\cdot\mathbf{r}_1^i}{\mathbf{a}_i\cdot\mathbf{a}_i}. \tag{2.5}$$

Szorozzuk meg (2.4)-et skalárisan $\mathbf{b}_i$-vel és fejezzük ki $k$-t!

$$k=\frac{\mathbf{b}_i\cdot\mathbf{r}_l-\mathbf{b}_i\cdot\mathbf{r}_1^i}{\mathbf{b}_i\cdot\mathbf{b}_i}. \tag{2.6}$$

Ha valamelyik $c_l$-re vagy $k_l$-re nem teljesül a kirótt feltétel a $j$-edik téglalapot az $i$-edik nem tartalmazza.

Az $i$-edik és a $j$-edik téglalap egy téglalappá egyesíthető, ha a $c_l$-ek (vagy a $k_l$-ek) között nem fordul elő 0-tól vagy 1-től különböző szám, és a $k_l$-ek (vagy a $c_l$-ek) közül kettőre teljesül a kikötés. Ekkor a két téglalapot egyesítjük.

A csúcspontok meghatározása a következőképpen történik.

Ha az a két $c_l$ (vagy $k_l$), amelyekre a kikötés nem teljesül negatív, a csúcspontok a körüljárási irány szerint:

$$\mathbf{r}_{l_1}^j;\ \mathbf{r}_{l_2}^j;\ \mathbf{r}_2^i;\ \mathbf{r}_3^i, \tag{2.7}$$

$$(\text{vagy}\quad \mathbf{r}_{l_1}^j;\ \mathbf{r}_{l_2}^j;\ \mathbf{r}_3^i;\ \mathbf{r}_4^i), \tag{2.8}$$

ahol: $l_1<l_2$ azokhoz a pontokhoz tartozó indexek, amelyeknél a kikötés nem teljesült. (Kivétel: $l_1=4$; $l_2=1$.) Ha ez a két $c_l$ (vagy $k_l$), amelyekre a kikötés nem teljesül pozitív, a csúcspontok a körüljárási irány szerint:

$$\mathbf{r}_4^i;\ \mathbf{r}_1^i;\ \mathbf{r}_{l_1}^j;\ \mathbf{r}_{l_2}^j, \tag{2.9}$$

$$(\text{vagy}\quad \mathbf{r}_1^i;\ \mathbf{r}_2^i;\ \mathbf{r}_{l_1}^j;\ \mathbf{r}_{l_2}^j), \tag{2.10}$$

ahol: $l_1<l_2$ azokhoz a pontokhoz tartozó indexek, amelyeknél a kikötés nem teljesült. (Kivétel: $l_1=4$; $l_2=1$.) A fenti eljárást minden $i$-re, illetve egy-egy rögzített $i$-nél minden $j>i$-re el kell végezni.

*3. eljárás*

Legyenek az $i$-edik téglap csúcspontjai a körüljárási irány szerint az

$$\mathbf{r}_1^i;\ \mathbf{r}_2^i;\ \mathbf{r}_3^i;\ \mathbf{r}_4^i, \tag{3.1}$$

vektorok által adottak. Ekkor a téglalap $l$-edik oldalát leíró vektor

$$\mathbf{n}_l^i=\mathbf{r}_{l+1}^i-\mathbf{r}_l^i. \tag{3.2}$$

Ha az $i$-edig téglap $l$-edik oldalának és a $j$-edik téglalap $m$-edik oldalának van metszéspontja, akkor vannak olyan $c$ és $k$ valós számok, melyekkel

$$\mathbf{r}_l^i+c\cdot\mathbf{n}_l^i=\mathbf{r}_m^j+k\cdot\mathbf{n}_m^j;\qquad 0<c,\ k<1. \tag{3.3}$$

Szorozzuk meg (3.3)-at vektorálisan $\mathbf{n}_m^j$-mel és fejezzük ki $c$-t!

$$c=\frac{(\mathbf{r}_m^j\times\mathbf{n}_m^j)-(\mathbf{r}_l^i\times\mathbf{n}_m^j)}{\mathbf{n}_l^i\times\mathbf{n}_m^j}. \tag{3.4}$$

Szorozzuk meg (3.3)-at vektorálisan $\mathbf{n}_l^i$-lel és fejezzük ki $k$-t!

$$k=\frac{(\mathbf{r}_m^j\times\mathbf{n}_l^i)-(\mathbf{r}_l^i\times\mathbf{n}_l^i)}{\mathbf{n}_l^i\times\mathbf{n}_m^j}. \tag{3.5}$$

(3.4) és (3.5) nevezőjében álló $(\mathbf{n}_l^i\times\mathbf{n}_m^j)$ formálisan egy vektor, valójában az $(n_{lx}^i\cdot n_{my}^j-n_{ly}^i\cdot n_{mx}^j)$ kifejezés rövidített írásmódja. Hasonló vonatkozik a számlálóra is. Ha $\mathbf{n}_l^i\times\mathbf{n}_m^j=0$ ez azt jelenti, hogy a két oldal párhuzamos vagy egy egyenesbe esik; ekkor nem veszünk figyelembe metszéspontot. Kiszámítjuk $c$ és $k$ értékét, majd megvizsgáljuk, hogy mindkettő 0 és 1 közé esik-e. Ha igen, kiszámítjuk a metszéspontot pl. (3.3) bal oldala alapján. Ha $c=1$ és $0<k<1$, vagy $k=1$ és $0<c<1$), akkor csak $(\mathbf{n}_l^i\times\mathbf{n}_m^j)<0$ (vagy $(\mathbf{n}_l^i\times\mathbf{n}_m^j)>0$) esetén veszünk figyelembe metszéspontot. Hasonlóan ha $c=0$ és $0<k<1$ (vagy $k=0$ és $0<c<1$), akkor csak $(\mathbf{n}_l^i\times\mathbf{n}_m^j)>0$ (vagy $(\mathbf{n}_l^i\times\mathbf{n}_m^j)<0$) esetén veszünk figyelembe metszéspontot.

A továbbiakban a téglalapok egyes oldalait különálló szakaszoknak tekintjük, amelyek kezdő- és végpontjaik által adottak. A kezdő- és végpontok megkülönböztetésével a szakaszok irányítását is rögzítettük. Ha két szakasz metszi egymást, a metszéspontot beszúrjuk a kezdő- és végpontok közé, ezáltal új szakaszok jönnek létre. A fenti műveleteket minden szakaszpárra el kell végezni, beleértve az eljárás során létrejövő új szakaszokat is! A kapott szakaszok

közül kizárjuk azokat, amelyek nem lehetnek le nem fedett poligonok határoldalai.

*a)* Legyenek az eredeti alakzat *i*-edik oldalának végpontjai $\mathbf{r}_i$ és $\mathbf{r}_{i+1}$ továbbá a vizsgált szakasz végpontjai $\mathbf{r}_1$ és $\mathbf{r}_2$. A vizsgált szakaszt kizárjuk, ha a következő feltételek teljesülnek:

$$(\mathbf{r}_{i+1}-\mathbf{r}_i)\times(\mathbf{r}_2-\mathbf{r}_1)=0, \tag{3.6}$$

és

$$(\mathbf{r}_{i+1}-\mathbf{r}_i)\times(\mathbf{r}_{i+1}-\mathbf{r}_2)=0, \tag{3.7}$$

és

$$(\mathbf{r}_{i+1}-\mathbf{r}_2)\cdot(\mathbf{r}_i-\mathbf{r}_2)\leqq 0, \tag{3.8}$$

és

$$(\mathbf{r}_{i+1}-\mathbf{r}_1)\cdot(\mathbf{r}_i-\mathbf{r}_1)\leqq 0, \tag{3.9}$$

fehát ha a szakasz az alakzat határvonalán fekszik, továbbá ha:

$$(\mathbf{r}_{i+1}-\mathbf{r}_i)\times(\mathbf{r}_{i+1}-\mathbf{r}_2)=0; \quad (\mathbf{r}_2\neq\mathbf{r}_{i+1}), \tag{3.10}$$

vagy

$$(\mathbf{r}_{i+1}-\mathbf{r}_i)\times(\mathbf{r}_{i+1}-\mathbf{r}_1)=0; \quad (\mathbf{r}_1\neq\mathbf{r}_{i+1}), \tag{3.11}$$

vagyis ha a szakasz valamelyik végpontja az alakzat határvonalára esik. A vizsgálatot az eredeti alakzat minden oldalára el kell végezni.

*b)* Egy téglalap tartalmaz egy szakaszt, ha annak mindkét végpontját tartalmazza. Az *a)* vizsgálat végrehajtása után megmaradó szakaszok közül kizárjuk azokat, amelyeket legalább két téglalap tartalmaz. A 2. eljárásban leírt módszer segítségével megvizsgáljuk, hogy egy adott szakasz végpontjait egy-egy téglalap tartalmazza-e. Ha már két ilyen téglalapot találtunk, a vizsgálatot az adott szakaszra nem kell folytatni.

Az *a)* és *b)* viszgálatok után megmaradó szakaszok közül ki kell válogatni azokat a szakaszokat, amelyek ugyanannak a lefedetlen poligonnak a határoldalai és ezeket a körüljárási irány szerint sorba kell rendezni. Az eljárás a következő:

Kiválasztunk egy szakaszt és a többi közül kikeressük azt a másik szakaszt, amelyiknek a kezdőpontja megegyezik a kiválasztott szakasz végpontjával. A műveletet addig folytatjuk, amíg az egyik kikeresett szakasz végpontja meg nem egyezik a kiválasztott szakasz kezdőpontjával. Végül a kapott poligon körüljárási irányát megfordítjuk. A fenti eljárást addig ismételjük, amíg az összes szakaszt fel nem használtuk, azaz az összes lefedetlen poligont meg nem kaptuk.

Ha az előzőek során egy szakaszt többször is megkaptunk, a poligonok képzésénél csak egyszer vesszük figyelembe.

*4. eljárás*

Legyen a lefedetlen poligon *i*-edik oldalának két végpontja $\mathbf{r}_i$ és $\mathbf{r}_{i+1}$.

A poligon *i*-edik oldalára csak akkor fektethetünk befoglaló téglalapot, ha a poligon minden csúcsa az oldalegyenesnek ugyanarra a partjára esik (6. ábra). Teljesülnie kell tehát a következő feltételnek:

$$(\mathbf{r}_{i+1}-\mathbf{r}_i)\times(\mathbf{r}_j-\mathbf{r}_i)\geqq 0, \tag{4.1}$$

minden *j*-re.

Legyen

$$\mathbf{n}_i=\mathbf{r}_{i+1}-\mathbf{r}_i. \tag{4.2}$$

Ha valamelyik oldalra teljesül a (4.1) feltétel minden *j*-re kiszámítjuk az

$$m_j=\mathbf{n}_i\times(\mathbf{r}_j-\mathbf{r}_i), \tag{4.3}$$

mennyiséget és ezek közül a legnagyobbat tároljuk, majd minden *j*-re kiszámítjuk az

$$s_j=\mathbf{n}_i\cdot(\mathbf{r}_j-\mathbf{r}_i), \tag{4.4}$$

mennyiséget és ezek közül a legnagyobbat és a legkisebbet tároljuk.

A befoglaló téglalap csúcspontjainak helyvektorai (körüljárási irány szerint):

$$\begin{gathered}\mathbf{r}_i+\frac{s_{j\min}}{\mathbf{n}_i\cdot\mathbf{n}_i}\cdot\mathbf{n}_i; \quad \mathbf{r}_i+\frac{s_{j\max}}{\mathbf{n}_i\cdot\mathbf{n}_i}\cdot\mathbf{n}_i,\\ \mathbf{r}_i+\frac{s_{j\min}}{\mathbf{n}_i\cdot\mathbf{n}_i}\cdot\mathbf{n}_i+\frac{m_j}{\mathbf{n}_i\cdot\mathbf{n}_i}\cdot\mathbf{n}_i^*; \quad \mathbf{r}_i+\frac{s_{j\max}}{\mathbf{n}_i\cdot\mathbf{n}_i}\cdot\mathbf{n}_i+\frac{m_j}{\mathbf{n}_i\cdot\mathbf{n}_i}\cdot\mathbf{n}_i^*,\end{gathered} \tag{4.5}$$

ahol:

$$\mathbf{n}_i^*=(-n_{iy};\ n_{ix}),$$

($n_{ix}$ és $n_{iy}$ az $\mathbf{n}_i$ vektor koordinátái).

Miután kiszámítottuk a befoglaló téglalapot meg kell vizsgálnunk, hogy a kapott téglalap nem nyúlik-e túl az eredeti alakzat határán. Ha a befoglaló téglalap egyik oldala metszi az eredeti alakzat valamelyik oldalát, a téglalap túlnyúlik az alakzat határán. Ezt a vizsgálatot a 3. eljárásban leírt módszerrel végezzük.

Ha a befoglaló téglalap túlnyúlik az alakzaton, akkor a lefedetlen poligon másik oldalára próbálunk befoglaló téglalapot illeszteni.

Az ortogonális állású befoglaló téglalap csúcspontjainak koordinátái (körüljárási irány szerint):

$$(x_{\min};\ y_{\min});\ (x_{\max};\ y_{\min});\ (x_{\max};\ y_{\max});\ (x_{\min};\ y_{\max}), \tag{4.7}$$

ahol: $x_{\min}$, $y_{\max}$ stb. a lefedetlen poligon csúcspontjai koordinátáinak minimális, illetve maximális értékei.

*5. eljárás*

Az 5. eljárás az 1. eljárástól mindössze abban különbözik, hogy itt $\mathbf{n}_i$ helyébe a lefedetlen poligon egyes oldalait, $\mathbf{n}_j$ helyébe pedig az eredeti alakzat összes oldalát helyettesítjük.

*6. eljárás*

A 6. eljárás a 2. változtatás nélküli végrehajtása az újonnan kapott téglalapokra.

*7. eljárás*

A 7. eljárás során a 3. eljárásban megadott módszerrel felderítjük a metszéspontokat, illetve a szakaszokat. A továbbiakban eltekintünk azoktól a sza-

kaszoktól, amelyekre a 3. eljárás *a)* vagy *b)* feltétele teljesül, valamint azoktól, amelyekre az alábbi *c)* feltétel teljesül:

*c)* a szakasz egyik (vagy mindkét) végpontja a lefedetlen poligonon kívül esik.

Azt, hogy egy **p**-pont a (pozitív körüljárású) $\mathbf{r}_1$, $\mathbf{r}_2$, ..., $\mathbf{r}_N$ poligonhoz képest külső pont-e vagy sem, a következőképpen döntjük el. Kiválasztjuk a poligonnak a ponthoz legközelebb eső oldalát. Ha a pont az oldal (körüljárási irány szerinti) külső partján fekszik, akkor külső, egyébként belső vagy határpont.

Legyen

$$\mathbf{n}_i = \mathbf{r}_{i+1} - \mathbf{r}_i \tag{7.1}$$

a poligon *i*-edik oldala.

Ha teljesül az

$$\mathbf{n}_i \cdot (\mathbf{p} - \mathbf{r}_i) \geqq 0, \tag{7.2}$$

és

$$\mathbf{n}_i \cdot (\mathbf{p} - \mathbf{r}_{i+1}) \leqq 0, \tag{7.3}$$

feltétel, tehát a pontból az oldalegyenesre bocsátott merőleges talppontja az oldal belső pontja, akkor kiszámítjuk és tároljuk a

$$t_i = \left| \frac{\mathbf{n}_i \times (\mathbf{p} - \mathbf{r}_i)}{\mathbf{n}_i \cdot \mathbf{n}_i} \cdot \mathbf{n}_i \right|, \tag{7.4}$$

mennyiséget. Ez a **p** pont távolsága az *i*-edik oldaltól.

Jelöljük $\mathbf{n}_j$-vel a minimális $t_j$-hez tartozó oldalt! Ekkor

$$\mathbf{n}_j \times (\mathbf{p} - \mathbf{r}_j) < 0, \tag{7.5}$$

$$\mathbf{n}_j \times (\mathbf{p} - \mathbf{r}_j) > 0, \tag{7.6}$$

$$\mathbf{n}_j \times (\mathbf{p} - \mathbf{r}_j) = 0, \tag{7.7}$$

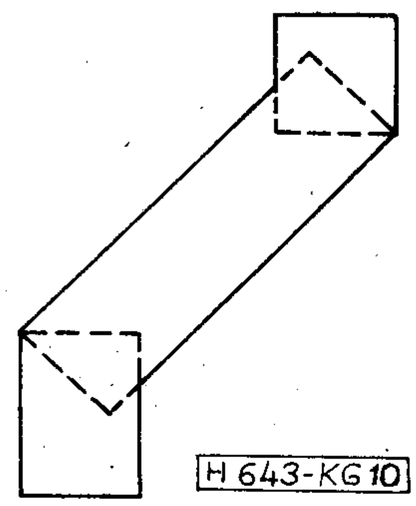
esetén a **p** pont rendre külső, belső, illetve határpont.

*8. eljárás*

A 4—7. eljárásokat minden lefedetlen poligonra végrehajtjuk (beleértve az esetleg újonnan keletkezőket is) addig, míg végül nem keletkezik új lefedetlen poligon, illetve az egyetlen befoglaló téglalappal lefedhető.

## Összefoglalás

Az ismertetett algoritmus egyedül azt tételezi fel a lefedendő alakzatokról (közönséges poligon), hogy azok teljesítik a bevezetőben a szögekre kirótt korlátozó feltételt. Ezek szerint tehát többszörösen összefüggő alakzatok előfordulását is megengedtük, ami azt jelenti, hogy az alakzatokat és azok ún. „kifordított képét" egyaránt kezelni tudjuk. Egy alakzat „kifordításánál" mindössze az eredeti körüljárási irányokat kell megfordítani; ezáltal az alakzat „belsejéből" az alakzat „külseje" lesz és viszont.




*10. ábra.* Az 1. ábrán látható alakzat lefedése a dolgozatban ismertetett eljárással

Mivel az algoritmus alapján működő számítógépi program egy nagyobb adatelőkészítő programrendszer részét képezi, szükséges, hogy a számítógép automatikusan ellenőrizze a szögkritérium teljesülését. Erre alkalmas a következő egyszerű vizsgálat.

Ha az $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \ldots, \mathbf{r}_N$ csúcspontokkal rendelkező poligon *i*-edik csúcspontjában találkozó $\mathbf{n}_{i-1} = \mathbf{r}_i - \mathbf{r}_{i-1}$ és $\mathbf{n}_i = \mathbf{r}_{i+1} - \mathbf{r}_i$ oldalvektorokra

$$\mathbf{n}_i \cdot \mathbf{n}_{i-1} < 0,$$

és

$$\mathbf{n}_i \times \mathbf{n}_{i-1} < 0,$$

akkor az *i*-edik csúcspontnál levő szög hegyesszög. A vizsgálatot minden *i*-re el kell végezni. További egyszerű vizsgálatokkal (pl. az alakzat határvonala zártságának vizsgálata) elvégezhetjük a digitalizálás számítógépi ellenőrzését is. A téglalapfelbontás ellenőrzése történhet a kapott téglalapok egyesítése kontúrvonalának kiszámításával (esetleg felrajzolásával) és összehasonlításával az eredeti alakzat határvonalával (10. ábra).

Összehasonlítva az 1. és a 10. ábrát láthatjuk, hogy az ismertetett algoritmus a gyakorlatban legsűrűbben előforduló esetekben optimális (minimális számú téglalap) megoldást nyújt.

Az integrált áramköri maszkokon időnként előfordulnak olyan alakzatok is, amelyek tartalmaznak hegyesszögeket is vagy görbeszakaszokat. Az ilyen alakzatok leképzése csak közelítőleg lehetséges. Tekintettel arra, hogy ezek az alakzatok rendszerint speciális célokat szolgálnak (tesztábrák stb.), közelítő lefedésükre nem érdemes általános algoritmust kidolgozni, inkább az a célszerű, ha ezeket az alakzatokat egyedileg kezeljük az általuk elérni kívánt későbbi hatás vagy eredmény szempontjait figyelembe véve.

IRODALOM

[1] *Feketéné Losonczi Sarolta:* Számítógéppel segített integrált áramköri maszk felbontó programrendszer pattern generátor vezérlésére. Átminősítő dolgozat. HIKI 1977.

[2] *Michael Adamowicz—Antonio Albano:* Nesting two dimensional shapes in rectangular modules. Computer Aided Design, *8.* k. 1. sz. 1976. pp. 27—33.

DR. GÉHER KÁROLY
BME Híradástechnikai Elektronika Intézet

# Számítógépprogramok katalógusa, 1978

ETO 621.39:681.3.06(085)

Az alábbi összeállítás az elektronikára vonatkozó, 1978-ban elkészült számítógépprogramok katalógusát tartalmazza. A programok adatait az intézmények illetékes vezetői küldték be a BME Híradástechnikai Elektronika Intézet felkérésére.

A kialakult szokásoknak megfelelően az elektronikus eszközökre, elektronikus áramkörökre, híradástechnikai berendezésekre és híradástechnikai rendszerekre vonatkozó programokat állítottunk össze. A programkatalógus a programokat a beérkezés sorrendjében közli.

A „Számítógépprogramok katalógusa 1979" összeállításba azokat a programokat fogjuk felvenni, amelyeket 1980. január 31-ig a BME Híradástechnikai Elektronika Intézetnek (1111 Budapest, Stoczek u. 2.) beküldenek.

| Név | Tartalom | Programozási nyelv | Programozó | Tulajdonos intézmény-szakértő | Ismertetés elkészülésének dátuma |
|---|---|---|---|---|---|
| VIKAR | Párologtatott vékonyrétegek előállításához a forrással párhuzamos forgó asztalon elhelyezkedő hordozókon egyenletes rétegvastagságot adó takarólemezt tervez. | ALGOL | Dr. Szilágyi Miklós | BME Elektronikai Technológia Tanszék<br>Dr. Szilágyi Miklós | |
| MODOF<br>KHID 2<br>MODON | Első — negyedrendű momentumok off line és on line számítására, valamint khinégyzetpróba M—051 mikrogépre. | R10—M051 cross assembler | Málnási János | BME Elektronikai Technológia Tanszék<br>Dr. Ambrózy András<br>Málnási János | |
| LAYOUT | Vékonyréteg-ellenálláshálózatok tervezése. Mesterrajzkészítéshez és értékbeállításhoz vezérlőszalag előállítása. | FORTRAN | Dr. Illyefalvi-Vitéz Zsolt<br>Dr. Szikora Béla<br>BME Elektronikai Technológia Tanszék | MIKI<br>Dr. Szikora Béla<br>Dr. Herendi Miklós<br>Dr. Illyefalvi-Vitéz Zsolt | |
| ESZR TRANZTRAN | Nemlineáris áramkör-szimulációs program, DC, AC tranziens analízis, transzfer karakterisztika, érzékenységvizsgálat, termikus analízis, eszköz- és modultár. | OS-FORTRAN | Dr. Székely Vladimir<br>Dr. Tarnay Kálmán<br>Dr. Masszi Ferenc<br>Rencz Márta<br>BME Elektronikus Eszközök Tanszék | BME Elektronikus Eszközök Tanszék<br>Dr. Székely Vladimir<br>Dr. Tarnay Kálmán<br>Dr. Masszi Ferenc<br>Rencz Márta | Felhasználói utasítás, 1978. |
| KRT2 | A program nyomtatott áramköri kártyák MSZ 9200/33 szabványnak megfelelő kapcsolási rajzát tervezi meg, legfeljebb A2 méretű lapokon. A megtervezett rajz megrajzolásához a program szalagot készít (FERRANTI rajzgéphez vagy mikrofilm-plotterhez). | FORTRAN<br>COLOMBUS<br>FORTRAN<br>ASSEMBLER<br>COLOMBUS<br>ASSEMBLER | Börtsök Zoltán<br>Csernó János<br>Koszó Gábor<br>Petrovits István<br>Váradi Tiborné<br>Vass Gyula<br>Vincze Árpád | SzKI<br>Váradi Tiborné | Programozók kézikönyve<br>Operátorok kézikönyve<br>1978. október |

| Név | Tartalom | Programozási nyelv | Programozó | Tulajdonos intézmény szakértő | Ismertetés elkészülésének dátuma |
|---|---|---|---|---|---|
| KEZI | A program kézi megadású adatok feldolgozásával rajzgép- vagy fúrógép-vezérlő utasításokat állít elő mágnesszalagon FERRANTI rajzgépre v. mikrofilm-plotterra, ill. SCHMOLL v. GID—2 fúrógépre. A programmal készelemes formátumban leírható bemenő adatokból állítható elő tetszés szerinti kártyarajz vagy konstrukciós rajz. | COLOMBUS FORTRAN COLOMBUS ASSEMBLER | Csernó János Petrovits István Vincze Árpád | SzKI Csernó János | Programozók kézikönyve 1979. január |
| CSOT | A program az ESzR szabványoknak megfelelő csatlakoztatási és összeköttetési táblázatokat (jeltáblázat, jelazonosító táblázat) készíti el bármilyen konstrukciós szinten, sornyomtatón. Lehetőség van a felhasználói igényeknek megfelelő egyéb táblázatokat készítő programmodulok illesztésére (kábelezési, elhelyezési, kimenő jelek stb. táblázatai). | FORTRAN ASSEMBLER | Donát János | SzKI Donát János | Programozók kézikönyve 1978. november |
| KAPR | A program tetszőleges szerkezetű, több fokozatú kapcsolómezők forgalomáteresztő képességét vizsgálja utánzással. Meghatározza a veszteségi valószínűséget, kijelölt csatolóútcsoportok foglaltsági eloszlását és átvitt forgalmukat. | CDC 3300 SIMULA | BHG Fejl. Int. Nagy Rozália | BHG Fejl. Int. Dr. Gosztony Géza Nagy Rozália | Belső vizsgálati jelentések 90110—159/78. 90110—185/79. |
| IVVV | Szimulációs program a megismételt telefonhívásokhoz két sorba kapcsolt veszteséges vonalnyaláb esetén, hibaoktól függően, 3 kitartásfüggvénnyel és 3 szünetidő-eloszlással. | CDC 3300 SIMULA | BHG Fejl. Int. Szentirmai Ferencné | BHG Fejl. Int. Dr. Gosztony Géza Szentirmai Ferencné | Vizsgálati jelentés a Posta Kísérleti Intézet számára V—1/78. |
| VARA | Szimulációs program a megismételt telefonhívásokhoz sorba kapcsolt veszteséges és várakozásos vonalnyalábok esetén, hibaoktól függően, 3 kitartásfüggvénnyel és 3 szünetidő-eloszlással. | CDC 3300 SIMULA | BHG Fejl. Int. Szentirmai Ferencné | BHG Fejl. Int. Dr. Gosztony Géza Szentirmai Ferencné | Vizsgálati jelentés a Posta Kísérleti Intézet számára V—1/78. |

| Név | Tartalom | Programozási nyelv | Programozó | Tulajdonos intézmény szakértő | Ismertetés elkészülésének dátuma |
|---|---|---|---|---|---|
| DPLC létrakapcsolású LC szűrőket tervező programrendszer | Kiegészítés lépcsős toleranciasémával előírt csillapítású zárórész közelítésére. | R12 FORTRAN | Dr. Horváth Judit Műszeripari Kutató Intézet | Műszeripari Kutató Intézet Dr. Horváth Judit Dr. Herendi Miklós | Felhasználási utasítás, 1978. december |
| DARC bikvadratikus felbontású aktív RC szűrőket tervező programrendszer | Kiegészítés max. lapos futási idejű, csebisevi közelítésű zárórészű aluláteresztők tervezésére. | R12 FORTRAN | Dr. Herendi Miklós Műszeripari Kut. Int. | Műszeripari Kutató Intézet Dr. Horváth Judit Dr. Herendi Miklós | Felhasználói utasítás 1978. december |
| TFREQ | Eljárás nem teljesen meghatározott Boole-függvények együttes egyszerűsítésének gyors és hatékony megoldására. | FORTRAN | MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézete Dr. Pásztor Endréné | MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézete Dr. Pásztor Endréné | Belső felhasználói leírás |
| REQ | Eljárás egy nem teljesen meghatározott Boole-függvény egyszerűsítésének gyors és hatékony megoldására. | FORTRAN | MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézete Dr. Pásztor Endréné | MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézete Dr. Pásztor Endréné | Belső felhasználói leírás |
| NET | A program tetszés szerinti struktúrájú, irányított gráf bevitelére szolgál. A bevitt információt a LIDI-rendszer által megkívánt formára alakítja át, és bekapcsolja a rendszer által tárolt adatok közé a kijelölt helyre. A program a LIDI-rendszer alkalmazási programjai közé is bekapcsolásra került. | FORTRAN | MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézete Szomor Pál | MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézete Szomor Pál | Belső felhasználói leírás |
| TERB 11 | Hazai végpontok közötti URH vagy mikrohullámú összeköttetés terepmetszetének, átlátási vonalának és első Fresnel-ellipszoidjának kirajzolása sornyomtatón, a DTM 200 topográfiai adatbázis felhasználásával. | FORTRAN ASSAMBLER (ESzR R—30) | Szász György (PSzSzI) Péteri József (SzÁMOK) Remete Lajosné (PSzSzI) | Posta Kísérleti Intézet Czigány Sebestyén Koós Árpád | Posta Kísérleti Intézet Közleményei 21. kötet |
| ZAJMRLG | TF és TV+zene átvitellel terhelt analóg mikrohullámú rádiórelé-összeköttetések zajszámítása a hálózati és berendezésadatok alapján. | FORTRAN (ESzR R—30) | Benedek Andor (TKI) | Posta Kísérleti Intézet és Távközlési Kutató Intézet Dr. Róna Péter (TKI) Czigány Sebestyén Koós Árpád (PKI) | |
| Biomérések értékelése | A biomérések eredményei 8 csatornás lyukszalagra vannak tárolva ASCII kódban, amelyet a program beolvas, a hibás adatokat kihagyva statisztikai feldolgozást végez, és ezek eredményeit kinyomtatja. | FORTRAN ASSEMBLER (SABR) | Koós Árpád Dér Gyula (PKI) | Posta Kísérleti Intézet | Posta Kísérleti Intézet Közleményei 26. kötet |

| Név | Tartalom | Programozási nyelv | Programozó | Tulajdonos intézmény szakértő | Ismertetés elkészülésének dátuma |
|---|---|---|---|---|---|
| LONET-OS78 | Helyi távbeszélő-hálózatok tervezését segítő, 19 programból álló egységes programrendszer, amely alkalmas a nagyvárosi hálózatok forgalomkoncentrációs topológiájának, trunkhálózatok forgalomirányításának és az előfizetői hálózatok struktúrájának optimalizálására. | BASIC — PDP 8 | PKI<br>Sallai Gyula<br>Dely Zoltán<br>Ecsedi Gáborné | Posta Kísérleti Intézet<br>Sallai Gyula | Helyi hálózatok tervezésének kisszámítógépes rendszere, PKI-tanulmány, 1978. |
| CRITEX | A leggazdaságosabb forgalom- és vonalkoncentrációs megoldáskombinációt választja ki az ellátandó előfizetőszám és a központtávolság függvényében. | BASIC — PDP 8 | PKI<br>Sallai Gyula | PKI<br>Sallai Gyula | Központdecentralizációs rendszerek összehasonlítása, PKI-tanulmány, 1977. |
| SUBNET | Egyközpontos tápterületen optimálisan határozza meg adott számú és típusú koncentrációs pont helyét és a hozzátartozó előfizetői területet. | BASIC—PDP 8 | Sallai Gyula<br>PKI | PKI<br>Sallai Gyula | Előfizetői hálózatok számítógépes tervezése PKI-tanulmány 1979. |
| LOCEX '78 | Központhely-optimalizálás és tolerancia-analízis a csillapítás előírások és a trunkhálózat hatásának figyelembevételével, választott metrika szerint. | BASIC PDP 8 | Sallai Gyula<br>PKI | PKI<br>llaiGyula | Előfizetői hálózatok számítógépes tervezése PKI-tanulmány 1979. |
| BASIC.UF | A TPA/i OS/i nyelvet kiegészítő programfile. Lehetővé teszi a háttérmemóriában tárolt adatok véletlen (tehát nem soros) elérését, továbbá a TEKTRONIX 4010 típusú grafikus-alfanumerikus terminál valamennyi funkciójának (grafikus és hagyományos I/0 műveletek) használhatóságát a BASIC magas szintű nyelvből. | SLANGI (TPA/i assembler) | Békési Sándor<br>MTA KFKI | MTA KFKI<br>Békési Sándor | |
| REAL-TIME BASIC | A TPA/i kisszámítógép OS/i-RTS/i operációs rendszerei között magas szintű kapcsolatot biztosító interaktív nyelv. Real-time periféria (CAMAC) kezelés, grafikus I/0 funkciók, távadatközlés. | REAL-TIME BASIC, RTS/i, OS/i | Szabó András<br>MTA KFKI<br>Simonkay Sándor<br>BME Műszer- és Méréstechn. Tsz.<br>Bolyky János<br>MTA KFKI | Bolyky János<br>MTA KFKI | A TPA/i kisszámítógép és a CAMAC-rendszer orvosbiológiai mérésadatgyűjtő-rendszerekhez.<br>8. Neumann Koll., Szeged, 1977. |

| Név | Tartalom | Programozási nyelv | Programozó | Tulajdonos intézmény szakértő | Ismertetés elkészülésének dátuma |
|---|---|---|---|---|---|
| Szövegszerkesztés | Magyar betűket is tartalmazó szöveg szerkesztése az EMG 666 klaviatúrájáról. A program a klaviatúrából beadott max. 16 karakteres szavakba rendezett szöveget tárolja, lehetőséget ad a szavak cseréjére, beszúrására és törlésére. A szövegblokkot kazettára kiírja, ill. visszatölti és utasításra nyomtatja. | EMG 666 autokód | Dr. Takács Ferenc BME-HEI | BME-HEI Dr. Takács Ferenc | |
| Cassette System | A program az EMG 666 kazettáján elhelyezett programokat, adatblokkokat, automatikusan nyilvántartásba veszi és listázza, valamint utasítás szerint a kijelölt blokkot megkeresi és végére áll, memóriába tölti és futtatja, a memóriában lévő programot törli, a soron következő blokk kódját megállapítja és kinyomtatja. | EMG 666 autokód | Dr. Takács Ferenc BME-HEI | BME-HEI Dr. Takács Ferenc | |
| Hálózati transzformátor tervezése | A program előírt melegedés, ill. hatásfok alapján a lehető legkisebb méretű vasmagra tervezi a hálózati transzformátort. További optimalizálás választhatóan minimális rézfelhasználásra, vagy minimális melegedésre történhet. | EMG 666 autokód | Pfliegel Péter Dr. Granát János BME-HEI | BME-HEI Pfliegel Péter Dr. Granát János | Híradástechnika 1979. |
| Kristályszűrők tervezése | A program rezgőkristályok létrakapcsolásával felépített sávszűrőt tervez. Az approximáció és realizáció egy, a számítási pontosságot növelő transzformáció segítségével van végrehajtva. | EMG 666 autokód | Laukó István MR Elek Kálmán BME-HEI | Magyar Rádió Laukó István BME-HEI Elek Kálmán | |
| Villamosmérnöki programcsomag | Lineáris hálózatok analízise és tervezése grafikus display segítségével. | GD 80 | BME-HEI Dr. Gefferth László Dr. Prónay Gábor Dr. Trón Tibor | MTA SzTAKI Verebély Pál | SzTAKI programleírás, 1978. |
| ISOA | LC szűrők gyártásának szimulálása, behangolhatóságuk statisztikus ellenőrzése, a gyártás várható selejtarányának meghatározása. | ICL 4—70 FORTRAN | BME-HEI Csopaki Gyula Gaál József Dr. Gefferth László Dr. Halász Edit Dr. Trón Tibor | TELEFONGYÁR Radvány Jenő | Használati utasítás 1978. |
| WR—31—02 | Távbeszélő trunkhálózat minimalizált egységköltség-mátrixának meghatározása az útvonalszakaszok és a végpontok egységköltségéből. | R 30 FORTRAN | Postai Tervező Intézet Brosch Judit | Postai Tervező Intézet Dr. Tóth Endre | 1978. |

DR. SOMOGYI JÁNOS
Telefongyár

# Hírközlés fényvezető kábeleken

ETO 621.391.63:681.7.068.3

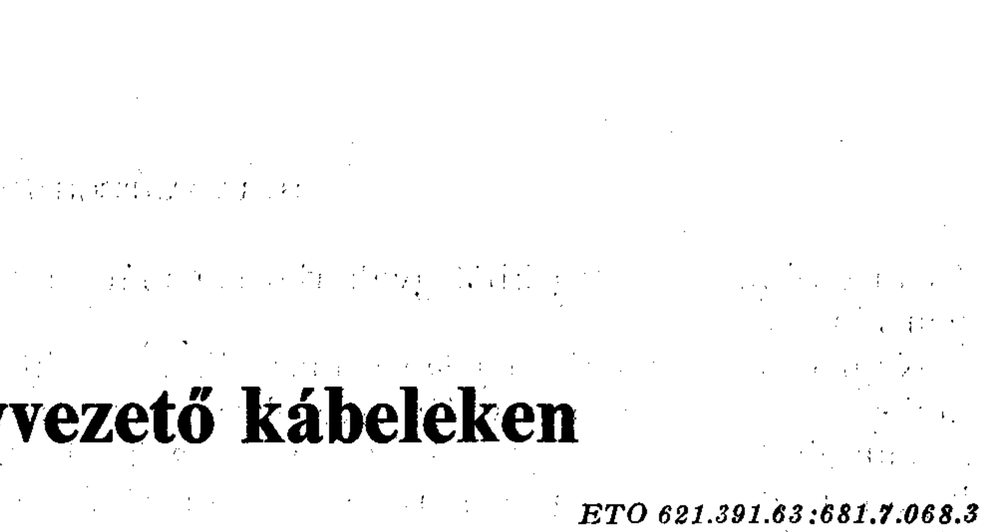
A fényt hírközlés céljára mindig felhasználtuk. A felhasználás módja a technika általános szintje által nyújtott lehetőségektől függött: a puszta tűz, a máglyák még csak irányfényként vagy valami egyszerűbb értelmű jelzésre szolgálhattak; a fáklyák feltalálása formajelek adását tette lehetővé, a tükörrel készített heliteleográfon pedig már az egész ABC közölhető volt. Napjaink technikájának vívmánya a fénynek fényvezető szálakon való továbbítása.

Az alkalmazott jelenség a totálreflexió. A geometriai optikából ismeretes, hogy, ha a fénysugár két különböző minőségű átlátszó anyag határán a közös felületre nem merőleges szögben átlép, útja törést szenved. Ha a beesés szöge változik, változik a kilépéséé is, éspedig olyan módon, hogy a vizsgált fénysugárnak a felület két oldalán az átlépési pont normálisához mért szögei szinuszainak aránya állandó (Snellius—Descartes) törvény. Ezt az arányt a két anyag relatív törésmutatójának ($n$) nevezzük. Így, ha a nagyobb törésmutatójú anyagból a kisebb törésmutatójúba lép át a fény, a kilépési szögnek nagyobbnak kell lenni egészen addig, míg a szögek növelése folyamán a kilépő fénysugár hozzá nem simul a közös felület érintőjéhez, majd a belépési szög további növelése után a fénysugár erről a felületről a tükrökre érvényes reflexió törvényei szerint veszteségmentesen visszaverődik, amit éppen ezért totálreflexiónak nevezünk.

Az 1. ábrán az $A$ jelű közeg törésmutatója legyen nagyobb, mint a $B$-vel jelzetté, vagyis $n_A > n_B$. Az 1 jelű fénysugár iránya az $A$ közegből a $B$-be átlépve az előbbiek szerint tárgyalt módon megtörik, a szögek növelése után pedig visszaverődik a 2-vel jelölt sugár útja szerint.

Amennyiben az $A$ anyag párhuzamos oldalú lemez és mindkét oldalát $B$ határolja, úgy az utóbbi fénysugár az említettek miatt cikkcakkos úton fog az $A$ lemezben haladni, míg csak a véglapon ki nem lép (2. ábra). Ha pedig az $A$ anyag hengernek vagy

Beérkezett: 1979. II. 26.

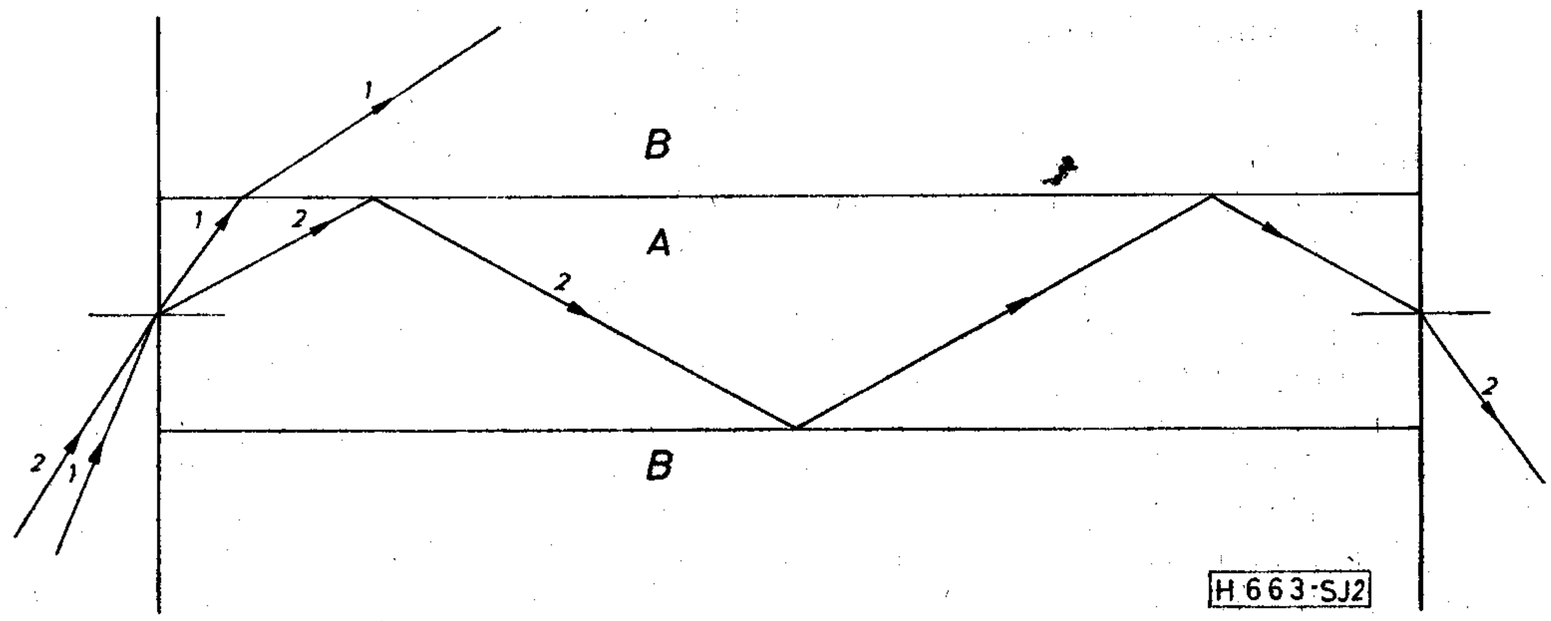



*1. ábra.* A Snellius—Descartes-törvény

éppen vékony szálnak van kiképezve, melyet $B$ anyagból való köpeny vesz körül, úgy a fénysugár abban mint egy vezetékben halad tovább, és annak enyhébb görbületeit is követi. Amennyiben az anyag jó fényáteresztő képességű, úgy segítségével a fényt eléggé messze és a környezettől elhatárolva lehet elvezetni, illetőleg segítségével fényjeleket lehet küldeni. Ezek a jelek lehetnek közönséges értelemben vett egyszerű jelzések, de lehetnek például hangnak valamilyen módon fényjelekké alakított formái.

Fényinformáció létrehozására, fény modulálására és demodulálására bizonyos eszközök már régebben is álltak rendelkezésre, ilyen a hangosfilm-technikában a felvételnél a Kerr-cella, a visszajátszásnál pedig a fotocella.

A fényvezetékes rendszer létrehozására a fő akadályt a megfelelő optikai és mechanikai tulajdonságú fényvezető anyag jelentette. Gondoljuk csak meg, hogy még jó minőségű üveg esetén is mintegy 10 cm vastagság esetén már észre tudjuk venni, hogy a látott kép szürkébb, mintha azt csak levegőn át néznénk. Mivel pedig az emberi szem különbségi küszöbe 10% körül van, az 1 dB csillapítást jelenthet, vagyis kilométerenként több ezer dB-t. Néhány




*2. ábra.* A totálreflexiót szenvedő sugár tovahaladása párhuzamos síkokkal határolt közegben

10 m ezekből az üvegekből gyakorlatilag már minden fényt elnyelne.

Nem is volt szükség a jelen célhoz alkalmas, különlegesen jó transzparenciájú üvegekre, mert még a bonyolultabb optikai eszközeinkben is csak 10 cm körüli utat tesz meg a fény az üvegben, és az abszorpciónál lényegesen nagyobb veszteséget okoznak az üveg—levegő felületek reflexiói.

A döntő lépés a módszer irányában a célnak megfelelő üveg kifejlesztésével történt meg. 1966-ban a Brit Posta és a Bell Laboratórium az amerikai Corning Glass Works-nél olyan üveg kifejlesztését rendelte meg, melynek átlátszósága az 1000 m vastagságnál még legalább 1%, vagyis a csillapítás nem nagyobb, mint 20 dB/km. Ilyen fajlagos csillapítás látszott csak reális lehetőséget nyújtani az új rendszer létrehozására, melynek többi tagja már valamilyen elfogadható fejlettségű szinten volt, vagy ennek elérése már bizonyosnak látszott.

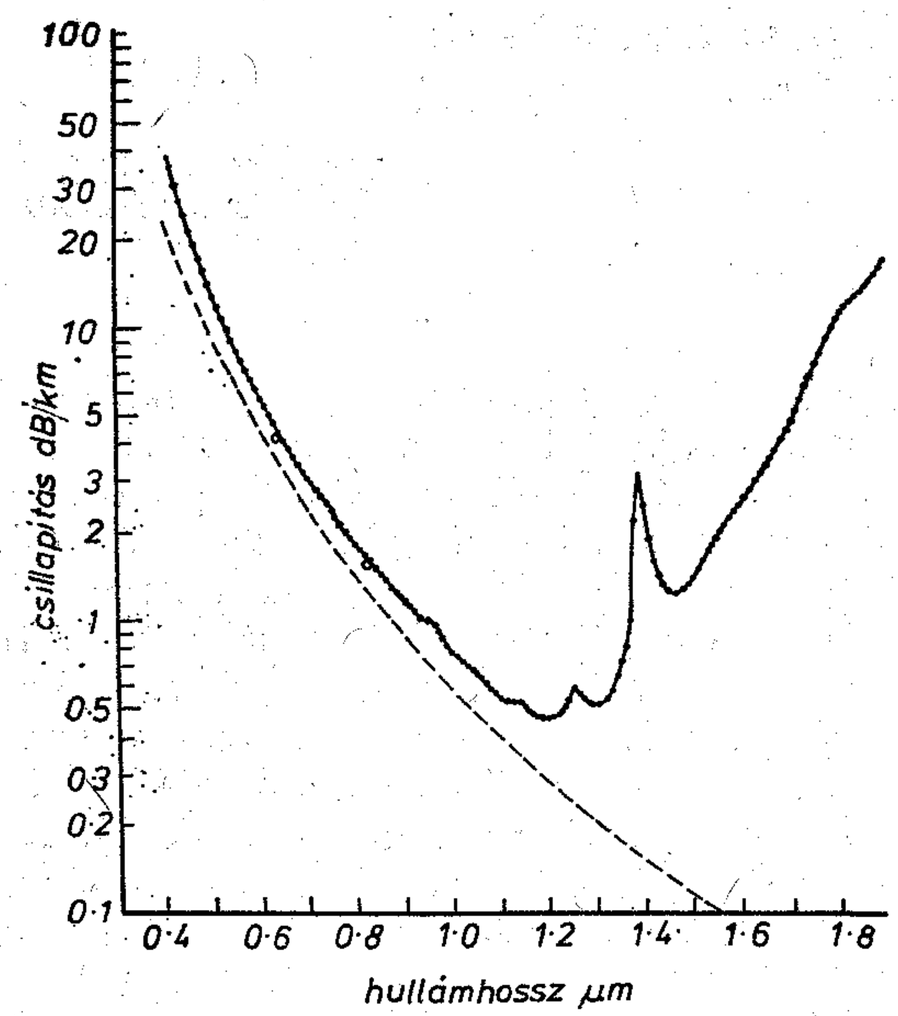
Ezt a kitűzött célt a corningi üveggyár 1970-ben elérte, de a fejlődés nem állt meg, hanem a világ legkülönbözőbb részein egymással versenyezve igyekeznek az érintett vállalatok ezt túlszárnyalni. A megjelent közlemények szerint a jelenleg alkalmazott kvarcalapanyagú anyagok elméletinek látszó határát, mely valamennyivel 0,5 dB/km alatt van, laboratóriumi szinten már számos helyen elérték, és van olyan gyár is, mely ezt már a jövőbeni gyártási programjába felvette. Napjainkban a kereskedelmi forgalomban elérhető jó minőségű fényvezetők csillapítása 5 dB/km alatt van. Ennek értékelésére megemlítendő, hogy nagyvárosok levegőjének fénycsillapítása viszonylag tiszta időben mintegy 10 dB/km-nek vehető.

A fényvezető szálakon továbbítandó fényjelek adói és vevői, bár számos más, velük szemben támasztott követelménynek is eleget tesznek, meglehetősen nem lineáris jellegűek, így a fény amplitúdó-modulációja nagyobb kívánalmak esetén meglehetősen komplikált kapcsolást igényelne, melyek tömeggyártásra a jelen fejlettségi fokon nem alkalmasak. A rendelkezésre álló fényadó és -vevő eszközök ezzel szemben kielégítően megfelelnek fényimpulzusok adására és vételére: így elsősorban valamilyen impulzusmodulációs módszer jöhet számításba a fényátviteli rendszereknél. Ezért a szálak tulajdonságait is az impulzusok átvitele szempontjából kell elsősorban vizsgálni.

## 1. A fényvezető közeggel szemben támasztott követelmények

Az egyik követelmény, amire az előbbiekben már utaltunk, a szál átlátszósága. Az elterjedten alkalmazott kvarcalapanyagot erre a célra rendkívül nagy tisztaságban kell előállítani, szigorúbb tisztasági követelmények állanak fenn, mint amilyeneket a félvezető gyártásnál találunk, $10^{-8}$ aránynál nagyobb káros szennyezést nem engednek meg.

A kvarc fényátbocsátási csillapításának egyik forrása az ultraviola és a még rövidebb hullámhosszú tartományban a belső finom struktúrájú anyagi egyenlőtlenségekből származó szórás, az ún. Rayleigh-féle szórás (Rayleigh-scattering). Ez a hullámhossz 4. hatványával fordítottan arányos törvényszerűséget mutat. Ehhez jön még az elektronok átlépéséből és a $SiO_2$ molekulák rezgésének gerjesztéséből származó csillapítás, továbbá különféle szennyeződés hatása, így elsősorban az ún. középnehéz fémek oxidjaié, mint nikkel, króm, kobalt, vas, réz stb. Hatásuk ugyanaz, mint a drágakövek színezésénél, de jelen esetben nem kívánatosak.




H 663-SJ3

*3. ábra.* **Kvarc alapú fényvezető szál jellegzetes csillapítása a fényhullámhossz függvényében**

Az 1 mikronnál nagyobb hullámhosszaknál a Si-O kötés rezonanciájából származó csillapítás hatása kezd érvényesülni a hullámhosszal egyenesen arányosan. Az infravörös tartományban első helyen az alapanyag molekulájának saját rezgéséből származó intrinsic abszorbció szerepel (3. ábra).

Az előzőekben felsorolt elemek a legközönségesebb szerkezeti anyagainkat képezik, távoltartásuk elég nehéz. Így megemlíthetjük, hogy még az anyag olvasztásánál alkalmazott platinatégelyek anyagának tisztasága is igen nagy mértékben tudja befolyásolni az átlátszóságot. Az említett fémeken kívül különösen veszélyes az OH gyök jelenléte. Ennek alaprezgésszáma 2,73 mikron hullámhossznak felel meg, de felharmonikusai is jelentkeznek, éspedig abban a tartományban, ahol egyébként kedvező csillapításértékek érhetők el. Az anyag olvasztására felhasznált lángból is bejuthat a fényvezető szálba, így lényeges csillapításkülönbséget jelent, hogy azt gáz vagy pl. villamos fűtés felhasználásával készítették. Az elméletileg kimutatott csillapításminimum 0,475 dB/km az 1,2 mikron körüli hullámhossznál.

A teljesség kedvéért meg kell említeni azoknak a vizsgálatoknak az eredményeit, melyek szerint a szál átlátszóságára a radioaktív sugárzás nagy hatással lehet. Egy nagyobb dózis az anyag belső szerkezetét oly módon változtatja meg, méghozzá maradandóan, hogy annak fajlagos csillapítása több ezer dB-lel megnő.

A szál csillapításgörbéjének lefutását lényegesen befolyásolják még a törésmutató kialakítására felhasznált anyagok optikai tulajdonságai.

Megjegyzendő még, hogy bár lényegesen kisebb csillapítású anyagokat is ismerünk, mint pl. a thalium-bromjodid, melynek csillapítása a 4—5 mikron hullámhosszaknál 0,01 dB/km, a kvarcnak egyéb kedvező tulajdonságait, mint amilyen a stabilitás és a nagy mechanikai szilárdság, nem nélkülözhetjük.

## 2. A totálreflexió

A vezetett fénynek a vezetékben való útja nem teljesen párhuzamos. Már a belépő fénynyalábnak is különböző irányú összetevői vannak, és az eredetileg párhuzamos sugarak az anyag egyenlőtlensége következtében eltérő irányúak lesznek.

Vizsgáljuk a szál véglapjának $C$ középpontjában belépő fénysugarat (4. ábra). Ez a szál magjának palástját az $A$ pontban fogja metszeni. Ebben a pontban definíció szerint a következő egyenletet írhatjuk fel:

$$\sin\theta' n_1 = \sin\theta'' n_2 \tag{1}$$

$$\sin\theta' = \sin\theta' \frac{n_2}{n_1} \tag{2}$$

$$\sin^2\theta' = \sin^2\theta'' \frac{n_2}{n_1} \tag{3}$$

Ugyanekkor a $C$ belépési pontban

$$\sin\theta n_{\text{levegő}} = \sin(90^\circ - \theta') n_1 = \cos\theta' n_1 \tag{4}$$

$$n_{\text{levegő}} = 1 \tag{5}$$

így

$$\sin\theta = \cos\theta' \cdot n_1 \tag{6}$$

$$\sin^2\theta = \cos^2\theta' \cdot n_1^2 = (1 - \sin^2\theta') n_1^2 \tag{7}$$

Az előző egyenletet $\sin^2\theta'$ helyére írva

$$\sin^2\theta = \left(1 - \sin^2\theta'' \cdot \frac{n_1^2}{n_1^2}\right) n_1^2 = (n_1^2 - \sin^2\theta'' \cdot n_2^2) \tag{8}$$

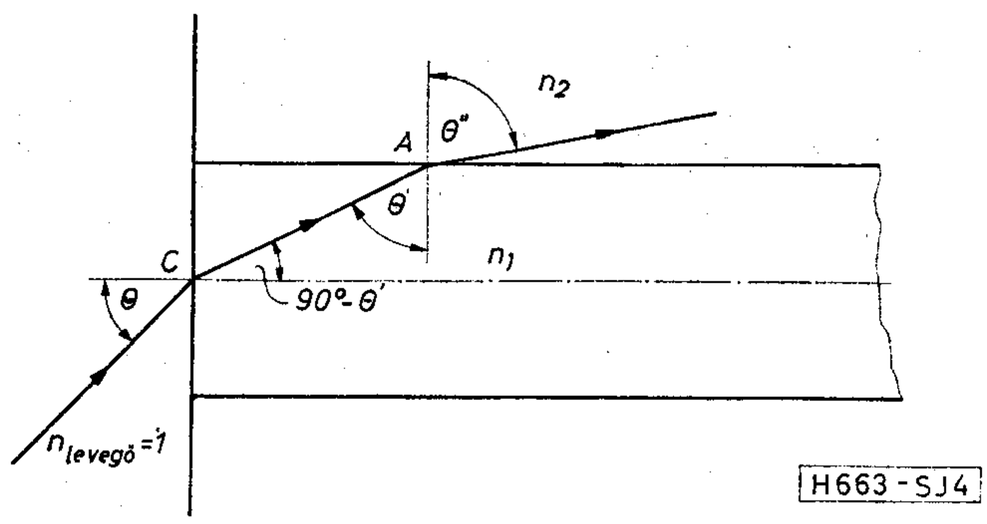
Abban a határesetben, amikor ez a fénysugár éppen nem lép ki a szál magját képező $n_1$ törésmutatójú közegből, $\theta''$ a 90°-ot éri el, és így $\sin\theta'' = 1$ lesz, az egyenlet pedig

$$\sin^2\theta = (n_1^2 - n_2^2), \tag{9}$$

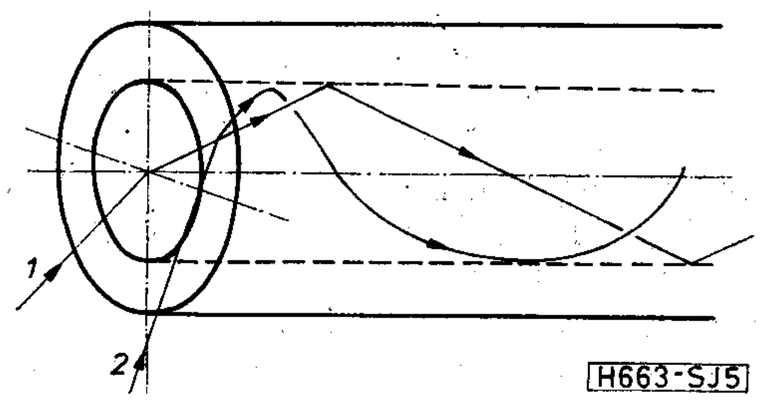
illetőleg

$$\sin\theta = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \text{NA}. \tag{10}$$

Ezt a mennyiséget a szál „numerikus apertúrájának" nevezzük; ez annak a szögnek a szinusza, mely szögnél kisebb szögben belépő fénysugarak a szálban, a totális reflexió folytán még tovább tudnak haladni, a nagyobb szögben belépők pedig a mag palástján kilépnek. Hangsúlyozzuk, az előzőek csak azokra a sugarakra érvényesek, melyeknek beesési egyenese átmegy a szál tengelyén. Ezeket a sugarakat éppen ezért meridionális sugaraknak nevezzük. A numerikus apertúra jelentősége abban áll, hogy a szál általában csak az általa meghatározott szögnél kisebb szögben belépő sugarakat tudja tovább vezetni. A sugár belépésével az átmérő mentén a középponttól a palást felé haladva a sugárnak a palástba való ütközési pontjában a normálishoz mért szöge




*4. ábra.* Numerikus apertúra kiszámítása a törésmutatókból




*5. ábra.* Meridionális (1) és helikális (2) sugarak

már nagyobb lesz, mert a hozzá tartozó érintő sík is elferdül. A belépési szöget ezért növelni lehet, az átmérő és a henger metszéspontjában pedig 90°-ot érhet el, mert ott a szálba belépve már hozzásimul a palásthoz, és egy arc sin $\frac{1}{n_1}$ menetemelkedésű csavarvonal mentén fog tovább haladni. Ezeket a sugarakat ferdén belépő angol kifejezéssel „skew", vagy más elnevezéssel csavarmentes, helikális sugaraknak híyjuk (5. ábra).

## 3. Diszperzió

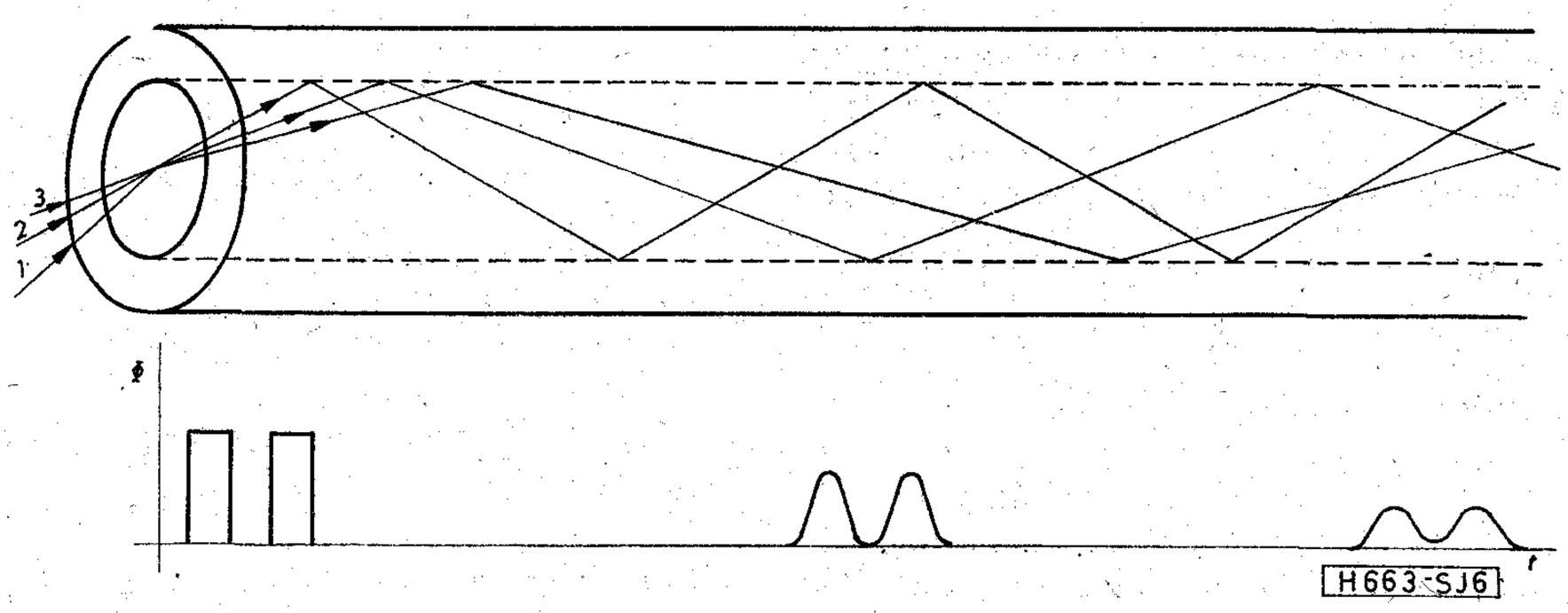
Az előzőekből nyilvánvaló, hogy a különböző körülmények között belépő sugarak különböző hosszúságú utakat fognak megtenni a be- és kilépés között, mely utak különböző időket igényelnek. Legrövidebb lesz a tengely mentén vagy vele párhuzamosan haladó sugarak útja és terjedési ideje; az $l$ hosszúságú $n_1$ törésmutatójú szálban

$$t_t = \frac{n_1 \cdot 1}{c}, \tag{11}$$

ahol $c$ a fénysebesség vakuumban. A meridián síkban haladó sugarak közül a leghosszabb utat a 0 szögben belépő teszi meg, éspedig $\frac{1}{\cos(90^\circ - \theta')} = \frac{1}{\sin\theta'}$ arányban. Ebben a határesetben $\theta'' = 90^\circ$ és $\sin\theta'' = 1$, a (2) egyenlet pedig

$$\sin\theta' = \frac{n_1}{n_2}, \tag{12}$$

Az $l$ hosszúságú szál befutásához szükséges idő pedig




*6. ábra.* Különböző szög alatt belépő sugarak különböző hosszúságú utat tesznek meg

$$t_0=\frac{n_1\cdot l}{c}\cdot\frac{n_1}{n_2}=\frac{l\cdot n_1^2}{c\cdot n_2}. \qquad (13)$$

A palást mentén belépő ferde sugarak útja és végighaladási ideje még ennél is sokkal hosszabb, így azonban csillapodásuk is sokkal nagyobb, ezért külön nem foglalkozunk velük.

Mint említettük, a szóban forgó átviteli rendszereknél az impulzusmodulációs fajták jönnek számításba. Az előbb leírt terjedési idő különbség az adott éles impulzusok elkenéséhez vezet, mivel a hosszabb úton haladva esetleg éppen akkor érkezik meg a jel, amikor a rövidebb úton haladva jelszünetet kapunk. Így pl. 10 MHz sűrűségű 1:1 arányú impulzusok esetén az impulzus időtartama $5\cdot10^{-8}$ s. Szokásos értékként $n_1=1{,}5$; $n_2=1{,}515$-öt feltételezve a (13) és (15) egyenletekből ez az időkülönbség már 1,5 km hossz esetén, tehát elég rövid távolság megtétele után előáll (6. ábra). Ez a diszperziónak nevezett jelenség a vétel minőségét kedvezőtlenül befolyásolja. Rövid távolságok, illetőleg kis jelsebességek esetén esetleg nem lényeges a hatása, de hosszú távolságú átvitelnél mindenféleképpen kiküszöbölendő. Teljesség kedvéért ismét meg kell említeni, hogy a hosszabb utat megtevő, jeltorzítást okozó sugarak nagyobb csillapítást szenvednek, és így hatásuk némiképp gyengül.

Ennek a jeltorzító hatásnak csökkentésére többféle lehetőség kínálkozik. A (11) és (13) egyenletekből a fénysugarak áthaladásának időkülönbsége a szélső esetben

$$t_0-t_t=\frac{l\cdot n_1^2}{c\cdot n_2}-\frac{l\cdot n_1}{c}=\frac{l\cdot n_1}{c\cdot n_2}(n_1-n_2), \qquad (14)$$

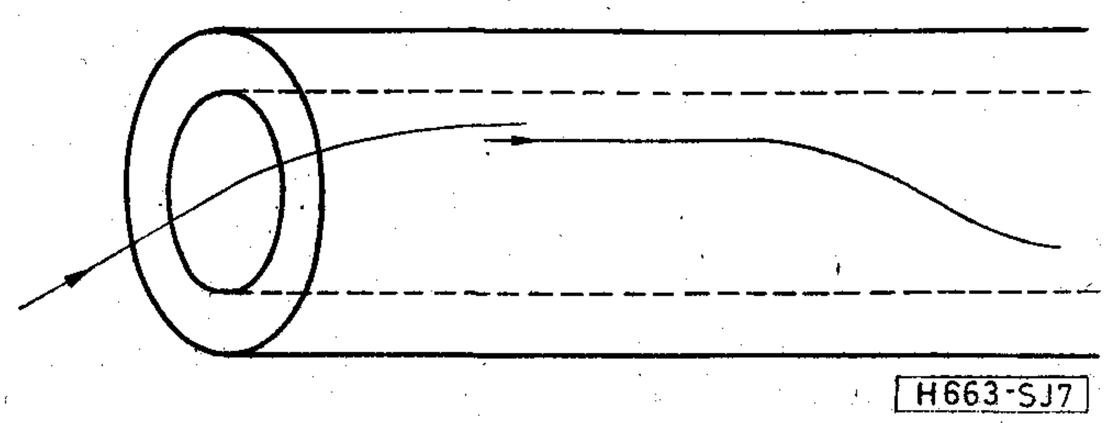
vagyis minél kisebb a mag és a köpeny törésmutatójának a különbsége, annál kisebb a problémát okozó időkülönbség. Ezért ezeket egymástól nem túlságosan különbözőnek célszerű megválasztani. Túlságosan kicsire választani sem érdemes a különbséget, mert akkor a szálban vezetett fény a különböző zavaró hatásokra, mint amilyenek az anyagegyenletlenségek, vagy a szál görbületei, könnyen kilép, ez pedig az átvitelben veszteséget okoz, és többletcsillapításként jelentkezik. A gyakorlat alapján kialakított relatív törésmutató-különbség 1% körül van, amit az előző példánkban alkalmaztunk is. Ugyancsak a gyakorlat alakította ki a szál magátmérőjének 40 μm és a köpeny külső átmérőjének 125 μm körüli méretét is. Az ilyen módon kétféle törésmutatójú anyagból felépített szálat lépcsős törésmutatójú szálnak (step-index fiber) nevezik.

Egy másik lehetőség az útkülönbségből származó diszperzió csökkentésére az, hogy a magot nem azonos törésmutatójú anyagból készítjük a teljes keresztmetszetében, hanem a törésmutató a középponttól a palást felé csökken. Az egyenlő törésmutatójú anyag koncentrikus hengereken helyezkedik el.

Ennek az előbbiekben említett fénytörési törvény alapján az a következménye, hogy ha egy fénysugár nem a tengellyel párhuzamosan lép be a szálba, vagy, ha a szálban haladva valamely egyenlőtlenség folytán útja a tengelytől eltérő irányt nyerne, az ismét a tengely irányába fordul még mielőtt a határfelületet elérné (7. ábra). Így útja és haladásának ideje rövidebb a lépcsős törésmutatójúéhoz képest. Az átvihető frekvencia így lényegesen megnövekszik: durva közelítéssel 2 nagyságrenddel nagyobbnak vehetjük. Ezt a száltípust, mivel törésmutatójának a henger sugara mentén változása, gradiense van, gradienses szálnak (graded-index fiber) nevezik.

## 4. Módusok

A további lehetőség tárgyalása előtt a fénynek a szálban való terjedése fizikájáról kell pár szót szólni. Az eddigiekben ugyanis csak a geometriai optika törvényeit használtuk fel. Alkalmazásuk egyszerű, a velük való számolás könnyen áttekinthető, és eredményeik mintegy beláthatóak. Ezért szívesen alkalmazzák őket, ha csak lehet, a felmerült problémák megoldására. Alkalmazásuknak azonban határa van. Ezt a határt a fény hullámhossza körüli méreteknek tekinthetjük. A látható fény hullámhossza 400—800 nm között van, a fényvezetők 40 μm-es átmérője pedig már közel esik ehhez. Így a pontosabb vizsgá-




*7. ábra.* Gradienses szálban a ferde szögben belépő, vagy az eltérített irányú sugarak a tengely irányába fordulnak

lathoz már a fény elektromágneses hullámelméletét fel kell használni.

Térjünk vissza a 2. ábrán vázolt lemez további vizsgálatához. A belépett folytonos fénysugár azonos fázisban lévő pontjai egy bizonyos sebességgel haladnak tova. Több azonos szögben belépett egyforma hullámhosszú sugár így interferenciára képes. Az interferencia feltétele az, hogy az egyforma fázisban lévő pontok együtt haladjanak végig a fényvezetőn a fázisfrontok reflexiói után is, vagyis az optikai út hosszának fázisváltozása az $AB$ szakaszon a $CD$ szakaszétól $2\pi$ egész számú többszörösével különbözzék, és így egységes hullámfront alakuljon ki (8. ábra).

A távolság $B$ és $C$ között

$$d/\mathrm{tg}\,\theta - d\cdot\mathrm{tg}\,\theta, \tag{15}$$

az $A$ és $B$ pontok között pedig

$$s_1 = \left(\frac{1}{\mathrm{tg}\,\theta} - \mathrm{tg}\,\theta\right)\cdot d\cdot\cos\theta = (\cos^2\theta - \sin\theta)\frac{d}{\sin\theta} \tag{16}$$

a $C$ és $D$ pontok közt a távolság

$$s_2 = \frac{d}{\sin\theta}. \tag{17}$$

Az $n_1$ törésmutatójú közegben $s$ utat megtevő hullám fázisváltozását az $s\cdot n_1\cdot k$ mennyiség adja meg, ahol $k=\frac{2\pi}{\lambda}$. Minden reflexiónál ehhez jön még egy $\Phi$ nagyságú fáziseltolódás.

Az előbb megfogalmazott feltétel a $C$-ben és a $D$-ben, tehát két alkalommal való reflexió figyelembevételével a következőképpen fejezhető ki:

$$n_1(s_2 - s_1)k + 2\Phi = 2N\pi, \tag{18}$$

ahol $N$ egy egész szám. Ez az egyenlet a megengedhető beesési szögeket adja meg, egyben arra is utal, hogy csak véges számú lehetséges úthosszat futhatnak be a sugarak, vagyis véges számú módus alakulhat ki. A kialakulás jelenségét pedig módusdiszperziónak (modal dispersion) nevezik.

Az elméletileg korrekt megoldást a Maxwell-egyenletek adják.

Ezen egyenletekből levezethető a téglalap, majd végül a kör keresztmetszetű dielektromos hullámvezető egyenlete. Mivel a közbenső lépések igen elhúzódnak, csak a számunkra érdekes utóbbi egyenletet adjuk meg henger-koordinátákban:

$$\frac{\partial^2\Psi}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial\Psi}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2\Psi}{\partial\Phi^2} + K_j^2\Psi = 0, \tag{19}$$

ahol

$$K_j^2 = n_j^2\cdot k^2 - \beta^2, \tag{20}$$

mely utóbbi egyenletben

$$\beta = n_1 k\cos\theta \quad \text{és} \quad k = \frac{2\pi}{\tau}.$$

Ennek a Bessel-típusú differenciálegyenletnek a további kifejtéséből adódnak a fényvezető szálakra vonatkozó törvényszerűségek vagy azok közelítő megoldásai.

Ezen eljárásoknak ismertetéséről hosszadalmasságuk miatt lemondunk, és itt csak az eredményeket ismertetjük. A további számolás folyamán a

$$V = \pi\frac{d}{\lambda}\sqrt{n_1^2 - n_1^2} \tag{21}$$

karakterisztikus frekvenciának is nevezett mennyiség bevezetésével a vezetett módusok száma (a kisebb számoktól eltekintve) jó közelítéssel:

$$N \approx \frac{V^2}{2}. \tag{22}$$

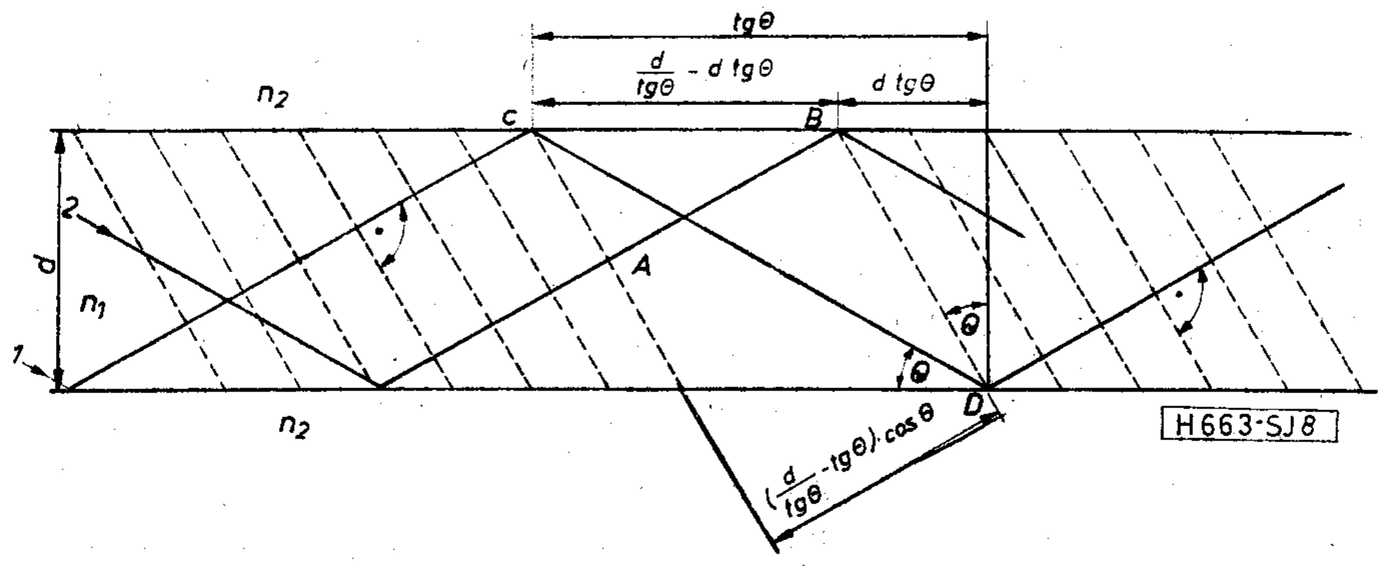
Amennyiben $V < 2{,}405$, úgy a vezetőben csak egyféle módus haladhat, amit ezért egymódusú vagy monomodális szálnak nevezünk. Ez az előzőekben említett több módusú lépcsős indexű és gradienses szálak után a harmadik száltípus. Benne a különböző módusok terjedési időkülönbségéből származó jeltorzulás nem alakulhat ki.

Az egymódusú szál magjának átmérője csak néhány μm-t tesz ki, így előállítása és alkalmazása jelenleg még elég nagy technológiai nehézségekbe ütközik.

## 5. A gradienses szál tulajdonságai

Átviteltechnikai célokra ezért a gradienses szál mutatkozik a legfontosabbnak. Amint említettük, ennél a keresztmetszet sugara mentén a mag törésmutatója változik. A változásra olyan függvényt kellett kialakítani, hogy annak hatására a létrejövő útkülönbségek a legkisebbek legyenek, más szóval, hogy minél kevesebb módus jöhessen létre.

A számítások szerint a törésmutatónak a sugár mentén való legkedvezőbb változását az




*8. ábra.* **A fényvezetőben interferáló hullámfrontok kialakulásának feltétele**

$$n(r)=n_1\left[1-\Delta\left(\frac{r}{d/2}\right)^{\alpha}\right] \qquad (23)$$

függvény adja, ahol $\Delta$ a mag és a köpeny törésmutatójának viszonya; $\alpha$-t igen jó közelítéssel 2-nek vehető. Pontosabb számítások figyelembe veszik az ún. profildiszperziót, $D$-t, vagyis a törésmutatónak a hullámhossztól való függését is, melyet a

$$D=(\lambda/\Delta)\cdot(d\Delta/d\lambda) \qquad (24)$$

mennyiség fejez ki. Ennek felhasználásával

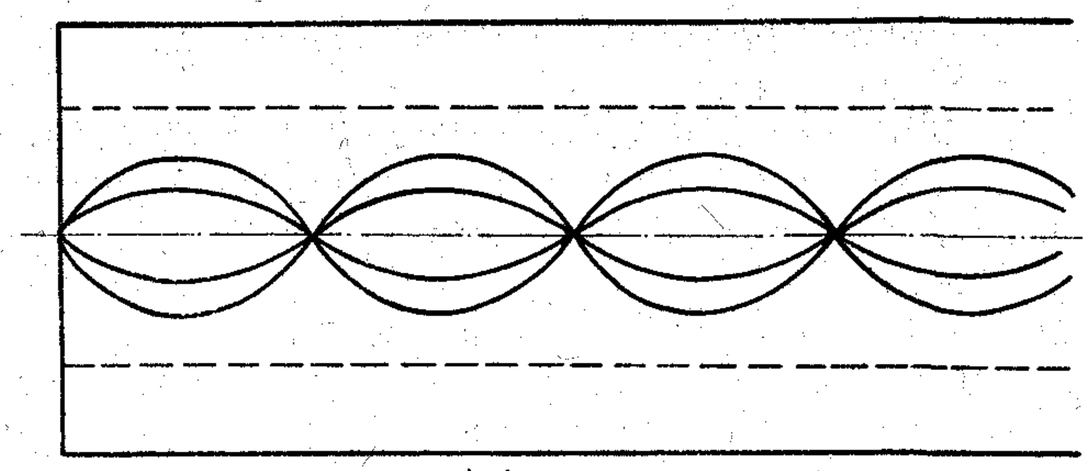
$$\alpha=2\left[1-D\,\frac{\Delta(2-D)(3-2D)}{(5-4D)}\right]\approx 2(1-1{,}2\Delta). \qquad (25)$$

Az ilyen módon kapott értékektől való nem túl nagy eltérés is már lényegesen csökkenti a móduskiegyenlítő hatást. A fentiekből az is nyilvánvaló, hogy az egyik hullámhosszra optimális profil egy másik hullámhosszon már nem lesz optimális. A kellő gondossággal gyártott gradienses szálak sávszélessége kb. 100-szorosa a lépcsős indexűének.

A lépcsős indexű szálban haladó fénysugár általában nem halad az egész szálon ugyanazzal a reflexiós szöggel végig, hanem az anyagban lévő egyenletlenségek eltérítik, más szóval módusváltás áll elő. Általában mindig a legközelebbi rendszámú módus fellépése következik be. Ez a jelenség a szál egész hosszán valamennyi módussal ismételten előfordul, és az egyes elemi fénysugarak úthosszának és az út megtételéhez szükséges időnek kiegyenlítésére vezet. Azt a távolságot, amely alatt valamennyi belépett fénysugár módust változtatott, a szál „csatolási hosszának" ($L_0$) nevezik. Ezen a távolságon az impulzusok szélesedése az úttal kb. egyenesen arányosnak vehető. Ennél nagyobb hosszakon — bizonyos tényezők feltételezésével végzett számítások szerint — az ehhez viszonyított arány négyzetgyökét követve szélesedik az impulzus: $(L_0\cdot L)^{0,5}$. A végzett mérések szerint azonban a 0,5 hatványkitevő bizonyos fokig ($\pm 0{,}17$) módosulhat.

Az anyag egyenlőtlenségéhez hasonló hatása van a felület egyenlőtlenségének is, mint amilyen a hullámosság, a keresztmetszet változása, vagy a körtől való eltérése. Ezek a tényezők jó hatással vannak az impulzusok alakjára, azonban káros hatásuk jelentkezik a szál csillapításában, mert a sugár olyan irányt is nyerhet, amely már nem marad a szálon belül: a szál sugárzóvá válik. A sugarak egy darabon a köpenyben haladnak, mintegy szivárognak (leaky ray), majd onnan is kilépnek, vagy lecsillapodnak. Ezért az impulzusszélesedés csökkenése ellenére is káros, ha a szálban belső anyagi vagy alaki egyenlőtlenségek vannak.

Gradienses törésmutató-profilú szálnál a fény vezetési mechanizmusából következik, hogy ilyen jellegű átlagolásnak nincs helye: az impulzus hossz növekedése a szál hosszával arányos, de sokkal kisebb, mint a lépcsős indexű szálnál. Ez a geometriai optikai szemléletből is kiadódik, ha meggondoljuk, hogy a szál közepétől távolodva az anyag törésmutatója folyamatosan csökken, ezért abban a fény sebessége nagyobb lesz, így a tengelytől eltávolodó sugarak bár hosszabb utat tesznek meg, de nagyobb sebességgel haladnak, és ez kiegyenlítő hatással van. Itt is fennáll azonkívül az, hogy a hosszabb utat megtevő fénysugár nagyobb csillapítást szenved el, ami szintén hatással van a vett impulzus alakjára (9. ábra).




*9. ábra.* Módusok kialakulása a gradienses szálban

A gradienses törésmutatójú szálnál egy megemlítendő probléma a numerikus apertúrának az értelmezése, hiszen ez a törésmutatóból számítva a mag sugarának minden pontján másnak adódik. Definíció szerint ez a középpontra értendő, de a tényleges fényfelvétel értékelésére a szélek felé való csökkenését figyelembe kell venni.

Az egymódusú szálaknál a profilból származó impulzustorzulás nem áll elő, de itt is felléphet az említett egyenlőtlenségekből származó sugárzás és a vele járó csillapításnövekedés. Mindezek előre jelzik, hogy a szálaknak milyen szigorú követelményeket kell kielégíteni.

## 6. Színszórás

Van az impulzushossz növekedésének olyan forrása is, mely mind a három szálfajtánál érvényesül: a törésmutatónak a hullámhossztól való függősége, a színszórás jelensége, amit anyagdiszperziónak (material dispersion) nevezünk. A rendelkezésre álló fényforrásaink, bár monokromatikusnak nevezzük őket, nem szigorúan egyféle hullámhosszú fényt sugároznak, hanem egy keskeny spektrumsávot. Ennek különböző hullámhosszú összetevői a törésmutató változása miatt különböző sebességgel haladnak. A jelenség eredményeképpen az impulzus hossza megnő a szálban való haladás alatt.

Elvileg van még egy harmadik oka is a diszperziónak, az ún. hullámvezető hatás, melynek jelentősége azonban esetünkben meglehetősen csekély. Oka a módusok csoportsebességének a hullámhossztól való függésében van.

A fényvezetőkben történő módusváltásoknak van még egy további érdekes következménye is. A betáplált impulzus a szál elején először aszimmetrikusan torzul, majd a továbbhaladás folyamán visszanyeri szimmetriáját, és valószínűségi haranggörbe alakot vesz fel.

Az impulzusszélesedés adatait katalógusokban ns/km-ben szokták megadni, más esetekben az egységnyi távolságon átvihető impulzussűrűséget (Mbit×km) közlik.

## 7. A fényvezetők gyártási technológiája

Az átviteltechnikai célokra alkalmazott szálak alapanyaga a nagytisztaságú kvarc. Törésmutatóját adalékanyagokkal módosítják: foszfor és bór csökkenti, germánium növeli.

A lépcsősen változó törésmutatójú szál készítésénél a szál magját képező nagyobb törésmutatójú megolvadt anyagot tartalmazó edény kiömlő nyílása belemerül a kisebb törésmutatójú anyagba, annak kiömlő nyílása fölé úgy, hogy a szál kiömlési folyamata alatt ebből a második edényből közösen lépnek ki oly módon, hogy a második anyag körülfogja az elsőt. A kiömlő nyílás külön való hevítésével (pl. lézerrel) a folyamatot bizonyos fokig befolyásolni lehet. Ezt a módszert kettős tégelyű eljárásnak hívják (10. ábra).

Mindenesetre rendkívüli tisztaságú környezet és teljes nyugalom szükséges a szigorú követelményeknek eleget tevő anyag előállítására. Gondoljuk meg, hogy esetleg még a pókhálónál is vékonyabb szálak hűlését mennyire befolyásolja a legkisebb légáram is.

A gradienses szálak készítésének elterjedt módja az ún. vegyi lecsapatási módszer (chemical vapor deposition = c.v.d., vagy modified chemical vapor deposition = m.c.v.d.). Ennek lényege abból áll, hogy egy kb. 1—2 m hosszú és 20 mm átmérőjű kvarccsövön nagy tisztaságú $SiCl_4$, $GeCl_4$ és $O_2$ gázállapotú anyagokat fújnak keresztül, miközben a csőnek egy kis szakaszát kívülről, lehetőleg valamilyen elektromos hevítéssel felmelegítik, izzásba hozzák, és ezt a hevített zónát mintegy 3 mm/mp sebességgel a cső mentén végigvezetik. A hő hatására a bevezetett gázok cserebomlást szenvednek, és a keletkezett $SiO_2$ és $GeO_2$ a cső belső falára kicsapódik, a felszabadult $Cl_2$ pedig eltávozik. Ezt a folyamatot többször (mintegy 50-szer) ismételve, és közben az átfújt gázok arányát egyre több $GeCl_4$ adagolásával megfelelően változtatva, a cső belülről feltöltődik, és a lerakódott anyag törésmutatója a szükséges módon változik. Ezután a csövet magas hőmérsékletre való felizzításával, annak belső szemcsés szerkezetét összeomlasztva, az anyagot homogenizálják. Így egy tömör rúd keletkezik, melynek törésmutatója a kívánt módon változik. A nyert „előformából" (preform) húzási eljárással a kívánt méretű és tulajdonságú szálat kapjuk.

Az előző eljárásokkal nyert szálnak kiváló, a jó minőségű acéllal is vetekedő mechanikai szilárdsága van, de ezt a szabad levegőn, annak korrodáló hatására igen rövid idő alatt elveszti. Felületén szabad szemmel láthatatlan méretű maródások támadnak, melyek kezdő törések kiindulásául szolgálnak. Ennek meggátlására a húzás után rövidesen megfelelő műanyag bevonattal kell ellátni őket. Ezután kábellé szerelik a szálakat.

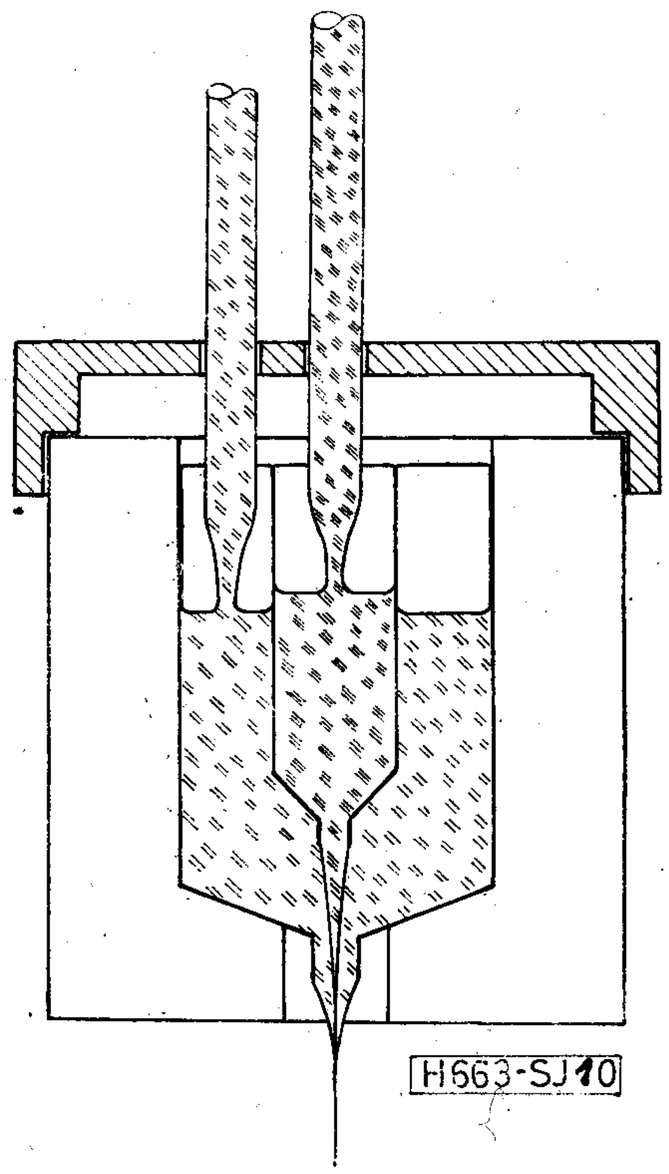
A különböző szempontok érvényesülésének hatására többféle speciális fényvezető kábelszerkezet jött létre.

A szálaknak a kábel hajlítása alatt is kellő szabadságot és viszonylag kis igénybevételt biztosít az a megoldás, melynek egy csillag keresztmetszetű műanyag magja van, és ennek hornyaiban helyezkednek el a lazán fektetett szálak. Ezt az egészet veszik körül a kábelköpeny különféle rétegei.

A sok szálat tartalmazó kábelek megoldása az az eljárás, mely először az egyes egymás mellé helyezett szálakat (mintegy 12 db-ot) műanyag szalagba ágyazza, majd több ilyen szalagot összefogva burkolja azokat kábelköpennyel. A kábelköpenyen belül az egész szerkezetnek állandó, kb. fél méter menetmagasságú csavarodása van az esetleges hajlításokból származó húzófeszültségek kiegyenlítésére.

A fényvezető kábelkonstrukciók között is fellelhető a klasszikus kábelekre emlékeztető kábellélek-elrendezés, különösen kisebb számú szálnál.

Mindhárom fajta konstrukció tartalmaz még szilárdságot növelő műanyag (kevlar) betét szálakat a fényvezető szálak igénybevételének csökkentésére.




*10. ábra.* Kettős tégelyű szálhúzási eljárás elve

A fényvezetőkkel párhuzamosan esetleg futhatnak rézvezetékek is szolgálati összeköttetés és távtáplálás céljára, de ezek a fényvezető kábel egyik értékes tulajdonságát a külvilágtól való teljes villamos elszigetelést veszik el.

A szálak ágyazásánál kétféle szempont érvényesül. Az egyik a mechanikai igénybevételt kívánja csökkenteni; ez lehetőleg lágy burkolatot alkalmaz. A másik a szálnak lehető egyenes haladást kíván biztosítani; ez a lehetőség szerint merevebb burkolatot használ. Az utóbbinak jelentősége abban áll, hogy a kábel készítésénél és fektetésénél az elemi szálak, bár kis méretű, de esetleg sűrű hajlásnak vannak kitéve (microbending), ami sugárzással jár, tehát veszteséget, azaz csillapításnövekedést okoz. Ennek nagysága 1—2 dB/km-t is kitehet. A kis csillapítású fényvezető anyagok előretörésével ez az utóbbi irányzat kezd erősödni, mivel a microbending hasonló nagyságú csillapítást okozhat, mint a szál alapcsillapítása.

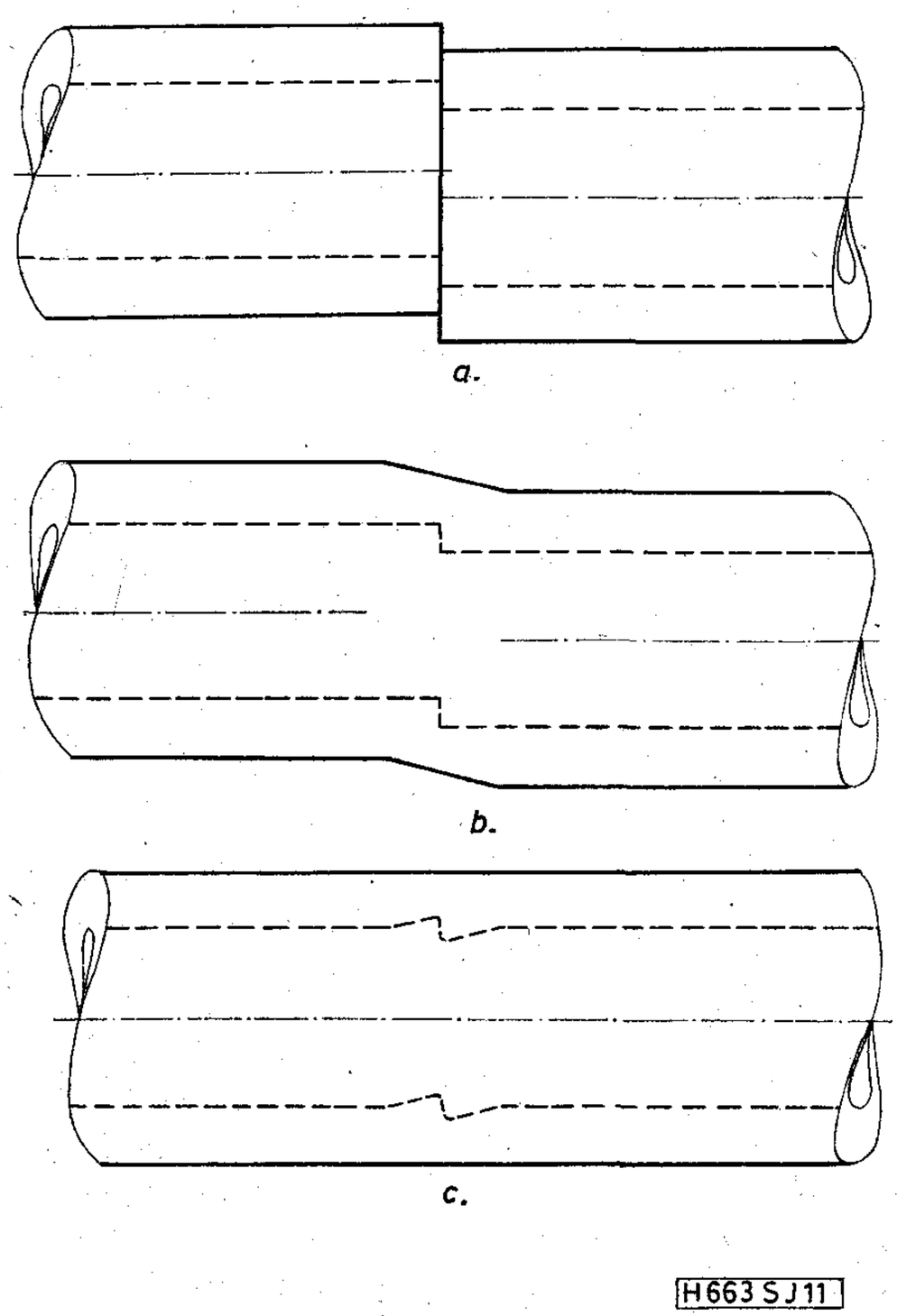
## 8. Szerelési technológia

A kábelek szerelésénél jelentkező igen fontos problémák a szálak vágása és összekötése.

A szálak vágásánál a cél a tengelyre merőleges, sima felület nyerése. Ezt legjobban az a szerszám látszik megvalósítani, mely a szálat egy az átmérőjétől függő sugarú hengerfelületre meghatározott húzóerővel feszíti fel úgy, hogy a meghajlított szálban nyomott rész ne legyen, majd gyémánt késsel vagy villamos szikrával elrepeszti a szálat.

Az összekötésnél a cél a tengelyeknek szöghibamentes sorbaállításban való rögzítése. Ezt valamilyen vezető elem segítségével, mint vezetőcsapok, vagy *V* alakú hornyot tartalmazó kötőelemek, lehet elérni (ha a *V* nyílásszöge túl kicsi, a szál viszonylag kis átmérőkülönbsége már számottevő tengelyeltolódást okozhat, túl nagy szög pedig csökkenti a beállítási pontosságot). Az ütközéssel illeszkedő szálakat villamos hegesztő szerszámmal lehet összeolvasztani. A hegesztéskor megolvadt részeken keletkezett felületi feszültség a még nem egészen pontosan beállított szálakat is közös tengelybe húzza (11. ábra). A helyesen végrehajtott hegesztésen 0,1—0,2 dB, vagy még ennél is kisebb, alig mérhető csillapításnövekedést mértek. Más megoldás a szembeállított szálvégeknek megfelelő kétalkotós gyantával való kötése. Mindkét esetben szokásos még a kötés külön mechanikai megerősítése.

A fényvezető kábeleknél is fennforog a szakadás veszélye, és mivel nagy csatornaszámú rendszerek átvitelére szolgálnak, feltétlenül szükséges a szakadási hely gyors és pontos meghatározása. Kézenfekvő a törési felületen keletkezett reflexió felhasználása, és a kifejlesztett megoldások mind élnek is ezzel. Egy lézer egy 45°-os szögben elhelyezett, félig áteresztő, félig reflektáló üveglemezen keresztül fényimpulzusokat küld a fényvezető szálba, ahonnan azok az inhomogenitásokról, tehát a szakadási helyről, reflektálódnak, és ismét az előbb említett üveglemezre, erről pedig a készülék fényvevőjébe jutnak. Innen a villamos jelek felerősítve egy oszcillográf képernyőjén válnak láthatóvá. Az oszcillogramon tüskék formájában jelentkezik az inhomogenitás, melynek helyét az említett tükörről közvetlenül reflektált jelekkel össze lehet hasonlítani. Közlemények szerint egy ilyen elrendezéssel a szakadás helye 0,5 m pontossággal állapítható meg. Külön szolgálata a készüléknek, hogy a Rayleigh szórásban különösen dús részek az oszcillogramn „fű" formájában jelentkeznek, és ezzel a hibás gyártási szakaszok megtalálhatók.




*11. ábra.* Szálak hegesztésekor a megolvadt részen keletkezett felületi feszültség helyre húzza hibásan illesztett végeket

Itt jelentkezik a fényvezető kábeleknek egy előnyös tulajdonsága: méretüknél és súlyuknál fogva igen nagy gyártási hosszakban (1—2 km) készíthetők. Ez a nagy gyártási hossz lehetővé teszi, hogy viszonylag kevés kötésre van szükség, és így ezek nem hoznak magukkal túl sok járulékos csillapítást.

## 9. Csatlakozások

A kötések egy másik fajtáját képezik az oldható kötések. A feladat itt is az, hogy a két, tengelyre merőlegesen elvágott és sima véglapú szálat a közös tengely mentén, centrikusan ütköztessük. A két szál összevezetésére bizonyos szerelvények szükségesek, pl. óracsapágykőhöz hasonlóan kidolgozott vezető, vagy alkalmas fészekben elhelyezett, megfelelő méretű kis golyók. Az oldható kötések mozgó része ismét olyan alkatrészekbe szerelendő, melynek méretei az emberi kéz számára már biztos fogást tesznek lehetővé. A csatlakozó fényvezető felületek között a veszteségek csökkentésére esetleg a mikroszkóptechnikában alkalmazott immerziós olaj alkalmazható. Az egymódusú, rendkívül kis mag keresztmetszetű szálak csatlakozásánál számításba jöhet jusztírozó csavarok alkalmazása is.

Külön probléma a szálaknak a fényforráshoz való csatlakozása. Az alkalmazott félvezető fényforrások ugyanis viszonylag divergáló fénynyalábot adnak, melyek fénykúpja túllépi a fényvezető numerikus apertúráját. A belépés hatásfokának javítására a szál egy, a méreteinek megfelelő lencsével, mely esetleg magából a szál anyagából megolvasztással van kiképezve, csatlakozik.

Ezen a helyen kell megemlíteni, hogy a komplikáltabb hálózatok felépítéséhez szükséges elosztó, kicsatoló stb. elemek a fényvezető technikában is ki vannak már fejlesztve.

## 10. Adó- és vevőeszközök

Fényjeladókként félvezető vagy solid-state eszközöket lehet felhasználni: fénydiódákat (LED), vagy lézereket (LD).

Ezeknek anyaga jelenleg leginkább GaAs. Az ebből az anyagból készült eszközök sugárzásának hullámhossza elég jól illeszkedik az átviteli rendszer többi tagjának, a fényvezető szálnak és a vételi oldalon lévő fotodiódának működési hullámhossz tartományához. A GaAs lézer készítésére azért mutatkozik alkalmasnak, mert ez az ún. direkt félvezetőkhöz tartozik, melyekben a lyukak és az elektronok egy foton kibocsátásának kíséretében közvetlenül rekombinálódnak. Ez a tulajdonságuk teszi őket stimulált emisszió kibocsátására alkalmassá.

Újabban sikeres próbálkozások vannak neodymium lézerek készítésére. Ezek sugárzásának hullámhossza 1,2 nm körül, tehát a fényvezető szál csillapítási tartományának minimális értéke körül van.

Az itt alkalmazott lézer több félvezető réteg egymásra helyezésével készül. A tulajdonképpeni sugárzó réteg két oldalán alumíniumot is tartalmazó GaAs rétegek vannak, melyeknek a szabad elektronok és lyukak létrehozásánál van szerepük, eltérő törésmutatójuk egyben a lézer működéséhez szükséges tükörként szolgál.

A lézer mechanizmusa, mint tudjuk, abban áll, hogy a gerjesztett állapotban lévő közegbe belépő foton a gerjesztett atomokban rekombinálódást vált ki, a rekombinálódást kísérő sugárzás pedig fázisban megegyezik a kiváltóval, mintegy erősítve azt. A keletkezett fotonok egy részét a tükröző felületek felhasználásával az effektus fenntartására és fokozására használjuk. Az eszköz véglapján így koherens fénysugárnyalábot kapunk, mely, ha nem is olyan tökéletesen, mint a gázlézernél, eléggé szűk nyílásszögű.

A kialakított szerkezet folyamatos üzemre is alkalmas (ezért CW = continuous wave lézernek is nevezik őket). Élettartamuk már több tízezer órát ér el.

Gyártásuknál a fokozott gyártási fegyelmet és a félvezetőgyártás minden fogását felhasználják. Így pl. az egymáshoz igen közel eső olvadáspontú anyagok felvitelénél még a Peltier-hő alkalmazására is sor kerül. Mivel a lézer igen nagy, több ezer A/cm² áramsűrűséggel működik, az esetleges inhomogenitások menthetetlenül az élettartam nagymértékű csökkenését okozzák.

A lézerből a fénysugár igen kis, néhány μm méretű résen lép ki, ezért szereléskor gondot kell fordítani a fényvezető szál illesztésére. Ennek megkönnyítésére vannak lézertípusok, melyek már gyárilag beszerelt szálcsonkkal (fiber pig-tail) kerülnek forgalomba.

Ezek a lézerek szimmetrikus felépítésű szerkezetek. Elvileg lehetséges, hogy az egyik végükön belépő fénysugár indítsa meg a sugárzást, mely a másik oldalon felerősítve lép ki, közvetlenül felerősített formában. Ennek a megoldásnak alkalmazási lehetőségét majd a jövő fogja megmutatni.

Kevésbé igényes összeköttetéseknél a jóval egyszerűbb szerkezetű LED-ek is megfelelnek. Ezekben a tükröző hatás alkalmazása elmarad.

Mindkét eszköz karakterisztikája erősen nem lineáris. A megvalósított kapcsolásokban bizonyos állandó nyugalmi árammal szokásos őket táplálni, erre szuperponálódnak a fényhatást kiváltó elektromos impulzusok, melyeknek így valamivel kisebb teljesítményűnek kell lenni.

A fényjelek vételére különféle fotodiódák szolgálnak.

A fotodiódák működése lényegében azon alapul, hogy a záróirányú feszültségre kapcsolt félvezető kristályba ütköző fotonok, ha ezek energiája nagyobb, mint a valencia és a vezetési sáv közti energiakülönbség, egy elektron—lyuk párt állít elő. A diódára kapcsolt feszültség hatására ezek egymástól eltávolodnak. Ezt a folyamatot kívülről úgy észleljük, hogy a diódán keresztül áram indul meg. A fényvevőkben alkalmazott formájuk a P—I—N típusú dióda.

Ezeknek egy tovább fejlesztett formája a lavina fotodióda (APD = avalanche photo diode). Konstrukciójuk olyan, hogy bennük a fotonok hatására keletkezett szabad töltéshordozók felgyorsulnak, és felgyorsulásuk után ütközéssel újabb szabad elektronokat és lyukakat gerjesztenek. Ezen folyamat továbbhaladásával egy lavinaszerű belső áramerősítés áll elő, némiképpen a sokszorozó csövek mechanizmusához hasonló módon.

A lavinadiódák terén végbement fejlődés után napjainkban a rendelkezésre álló legkedvezőbb elemeknek a planár diódák tekinthetők. Kialakításuk elkerüli az éles csúcsokat, melyek a viszonylag magas 100—200 V üzemfeszültség mellett a dióda üzembiztonságát veszélyeztetnék.

Egy diódatípusra a jelen alkalmazásnál számításba veendő jellemzők: a kvantumhatásfok ($\eta$), vagyis, hogy a becsapódó fotonok mekkora hányada vált majd ki áramfolyást, a megszólalási idő ($t_r$ = rise time) és a lecsengési idő ($t_f$ = fall time), mely utóbbiak az alkalmazható impulzussebességre vannak befolyással, továbbá a zajtényező és végül bizonyos gyakorlati szempontok. Ezeknek figyelembevételével az előnyös diódák főképpen elektronerősítéssel dolgoznak, ez ugyanis a zajviszonyokra kedvező befolyással van, és így nagyobb belső erősítés engedhető meg. Ugyancsak hasonló okokból kívánatos, hogy az alkalmazott diódák megvilágítás nélkül is fellépő „sötét" árama (dark current) is minél kisebb legyen.

## 11. Összeköttetés méretezésének szempontjai

Fényvezető rendszerek méretezésénél gyakorlatilag kétszer, egymástól csaknem teljesen függetlenül kell a számításokat elvégezni: csillapításra és impulzusszélesedésre.

Az alkalmazott fényforrás katalógusadata annak fényteljesítménye, és a sugárzás eloszlása a sugárzási karakterisztika. Ezeknek és a szál numerikus apertúrájának segítségével kiszámítható, esetleg grafikus integrálás alkalmazásával, a szálba becsatolható fényteljesítmény. Amennyiben a fényforráshoz még szálcsonk is tartozik, úgy már közvetlenül a kábel szálába betáplálható teljesítményt adják meg. Ez utóbbi esetben a kétféle szál: a szálcsonknak és a kábelnek esetleges numerikus apertúrakülönbségéből származó veszteséget is számításba kell venni. Az alkalmazott szál fajlagos csillapítása és hossza alapján, továbbá a kábelszakasz kötéseinek és csat-

lakozóinak csillapítása összegezésével kapható a kábelszakasz csillapítása, illetőleg a vevő diódára jutó fényteljesítmény. A vevő dióda rendszerint sokkal kevésbé érzékeny a csatolásra, mint az adók, és iránykarakterisztikájuk is egyenletesebb. A fényvezető szálak meglehetősen stabilok, hőmérséklet-változásra sem túl érzékenyek, de az alkalmazott aktív optoelektronikai eszközök elöregedési és hőmérséklet-változási tulajdonságait már figyelembe kell venni, erre mind az adó, mind a vevő oldalon 2—3 dB kielégítőnek látszik. A fentiek összegezéséből kiadódik a vevő villamos részének bemenetén megjelenő villamos jel, melyből a bit hiba arány (BER = bit error rate), vagy — amennyiben ez adott, úgy — az áthidalható kábelhossz számítható.

Az impulzusszélesedés ellenőrzésénél figyelembe kell venni már az adó és a vevő optoelektronikai átalakítóinak felfutási és lecsengési idejét. Ezekhez jön még a fényvezető szálnak módus-diszperziója, továbbá az alkalmazott fény véges sávszélességéből származó anyagi diszperzió, melyeket az egységnyi hosszakra ns/km-ben szoktak megadni. Az említett sávszélesítő hatások négyzetes összegezése adja ki az impulzusok tényleges szélesedését, melyet az impulzus-hibaarány kiszámításánál figyelembe kell venni. PCM-rendszerek esetén a fényadókat még egy bináris átalakítónak kell megelőzni, mivel a fényvezetőn csak egyféle impulzus haladhat. Ennek megfelelően a vételi oldalon visszaalakító áramkör szükséges a PCM berendezésre csatlakozás előtt.

A vételi oldalon a vevő dióda után még egy impulzusformáló szűrő — kiegyenlítő áramkör alkalmazása is szokásos a vett impulzusok kedvezőbb feldolgozására. Elvileg meg volna a lehetősége már a fényjelek formálására is: vannak bizonyos növényi eredetű festékanyagok, melyek nem lineáris fényátbocsátó tulajdonságukkal az ellaposodott fényimpulzusokat meredekebbé tudják tenni.

## 12. Analóg átviteli lehetőségek

Széles sávú, főként video-jelekre a PPM-moduláció és esetleg az FM-rendszer jön számításba még.

A teljesség kedvéért megemlítendő még, hogy vannak próbálkozások analóg átvitelre is. Itt nehézséget okoz, hogy a rendelkezésre álló optoelektronikai eszközeink nem túl lineárisak, és a szükséges torzításcsökkentő kapcsolások csak nagyon körülményesen valósíthatók meg.

Ilyen megoldások a torzításnak előre való becsatolása (feedforward) és az előtorzítás (predistortion).

Az első esetben az összeköttetést tulajdonképpen kétszer építjük fel, párhuzamosan, gondosan válogatott, egyforma karakterisztikájú fényadó és fényvevő elemekből, lehetőleg egy gyártási charge-ból. Az egyik adót, melyet nevezzünk segédadónak, az adás helyén vezérelve egy optikai „művonal" segítségével összekötjük a segédvevővel, ahol természetesen torz vételt kapunk, majd egy áramkör segítségével az eredeti jelet ebből kivonva az összeköttetés vételi oldalán várható torzítás felharmonikusait kapjuk. Ezt fordított fázisban az eredeti jelhez adva vezéreljük a főadót, mely ezek után már erősen csökkentett torzítású vételt eredményez a távoli állomáson.

A második esetben a főadó jele kimegy a vonalra, de annak egy részével a távoli állomáséhoz hasonló vevőt vezérlünk. Az így nyert tiszta torzítással egy újabb fényadót vezérlünk, és ennek jelét optikailag keverjük az állomásból kilépő jelbe.

A széles sávú analóg átvitelt a vezetékes TV-hálózat kiépítésénél tartják fontosnak (CATV).

Van lehetőség hangfrekvenciás analóg átvitelre is speciális mikrofon segítségével, mely a távoli állomáson gerjesztett fényt a mikrofon membránjára szerelt kis tükör segítségével reflektálja az elmenő szálba. A membrán rezgése esetén a rezgés amplitúdójával arányosan téríti el a visszavezető belépő nyílástól, viszonylag torzításszegény modulációt eredményezve. A készülék hallgatója egy kis kamrából áll, melynek légterét a távoli állomásról érkező fénysugár hőhatása gerjeszti.

## 13. Gazdasági szempontok

A fényvezető kábelek számos, a fémes vezetőktől eltérő tulajdonságokkal rendelkeznek, melyek közül több igen előnyös. Ilyen a külső villamos és mágneses terekkel szembeni érzéketlenségük, a villamos feszültségtől és áramtól való mentességük, a vízzel szembeni ellenállóképességük stb.

Vessünk egy pillantást a fényvezető kábelek gazdaságosságára. Az első, ami szembetűnik, a rendkívül kis anyagigény. A 0,125 mm átmérőjű üvegszálból 1 km súlya kb. 30 g. Ebből a rendkívüli tisztaságot igénylő, 0,04 mm körüli átmérőjű mag mintegy 3—4 g-ot tehet ki. Az egymódusú vezető 0,004 mm átmérőjű magja pedig már csak 50 mg körül lehet. Ezek mind meglepően kis számok. Durva számítás azt eredményezi, hogy egy csatornára a jelenlegi rézvezető súlyához viszonyítva 1:10 000-ed mennyiségű anyag szükséges. A szálak anyaga a természetben a legnagyobb mennyiségben fordul elő, és így a kiindulási anyagok költségének is alacsonynak kell lenni. Ennek ellenére a kész szálak ára még egyáltalán nem alacsony. Ennek magyarázatát abban kell keresnünk, hogy a piacon végre megjelenő termékeket évtizedes fejlesztés költségei terhelik, és kétségtelenül még eléggé körülményes műveletekkel folyik előállításuk.

Nem szabad megfeledkeznünk arról sem, hogy újdonságról van szó, és ennek következtében az első termelők igyekeznek járadékszerű haszonra szert tenni, amíg erre lehetőségük van, nem utolsósorban azért, hogy amikor már többen megjelennek a cikkel, az előző költségek megtérültek legyenek, és a továbbiakban már az árral versenyezhessenek. Ezt több műszaki újdonságnál eddig is saját szemünkkel láthattuk, gondoljunk csak a tranzisztorra, vagy a zsebszámológépre. A technológia fejlődése szükségszerűen fogja az árakat lenyomni.

Azt sem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a Föld rézkészlete korlátozott, és kimerülésének időpontja már belátható távlatba jutott. Az ólom sem áll sokkal jobban. Ez a tény a rézkábelek árának elkerülhetetlen további emelkedését fogja maga után vonni.

A rendszerekhez tartozó vonali készülékekről csak annyit mondhatunk, hogy rendkívül egyszerűek, és kevés alkatrészt tartalmaznak, így méretük is kicsiny. Bevezetésükkel ezért a távközlési berendezések méreteinek számottevő csökkenésével számolhatunk. A fényvezető szálak és kötések minőségének még mindig tartó tökéletesedése pedig azt is eredményezheti, hogy közbenső távtáplált erősítők feleslegessé válnak.

A jelenleg már elért vagy a közeljövőben várható eredmények alapján az egymódusú szálakkal elérhetőnek látszó teljesítmény: 2,5 Gbit sebességnek 100 km távolságra erősítő nélkül való továbbítása.

IRODALOM

[1] *Dietrich Marcuse:* Theory of Dielectric Waveguides. Academic Press, New York, San Francisco, London, 1974.

[2] *Hans—Georg Unger:* Optische Nachirchtentechnik. Elitera—Verlag, Berlin, 1976.

## SZEMLE

Összeállította: BALOGH PÁL

A General Electric Schenectady-i kutató- és fejlesztőlaboratóriumaiban olyan új félvezető gyártási eljárást dolgozott ki, amelynek segítségével a jelenlegi gyártási idő ezredrészére csökkenthető. Az új ún. „thermomigrációs" eljárás alacsony gyártási hőmérséklet mellett a kihasználást jelentősen növeli. Emellett sokkal rugalmasabb a hagyományos gyártási módszereknél, és így teljesen új félvezető típusok előállítását teszi lehetővé. Az eljárás technikai és technológiai részleteiről — természetesen — nem állnak rendelkezésre információk. A szakemberek igen élénken érdeklődnek a módszer iránt és amennyiben a laboratóriumi eredmények gyakorlati életben is beigazolódnak jelentős távlatokat nyit az eljárás az elektronikában.

*

Az a sebesség, amellyel a mágnesbuborékok — a parányi, henger formájú mágnesezett tartományok — meghatározott anyagokban „szállítani" tudnak, döntő jelentőségű a számítógépekben való alkalmazhatóságuk szempontjából. Az eindhoveni Philips Research Laboratoriesnak sikerült olyan mágnesezett anyagot kifejleszteni, amelyben a mágnesbuborékok — az ún. domainek — szállítósebessége 30...100-szor nagyobb, mint az eddigiek során alkalmazott anyagoké. A mágnesbuborékokat a mágneses anyag vékony, anizotróp rétegeiben alakítják ki, amelyekben a mágnesezés iránya derékszöget zár be a réteg síkjával.

A réteg síkjára ható forgó tér hatására a buborékok azon Permalloy-tartóelem modell mentén tolódnak el, amelyet a rétegre meghatároztak. A buborékszállítás sebessége azért fontos, mert ettől függ a forgó tér maximális frekvenciája és így az a frekvencia is, amellyel a buboréktároló működtethető.

Amint a Philips-Laboratórium egy korábbi vizsgálata kimutatta, az egyik térkomponensnek a réteggel való párhuzamos kapcsolásával és egy kiegészítő külső, a rétegre merőlegesen irányított térnek a hatásával a buboréksebesség jelentősen növelhető. Valójában a buborékszállításnál külső tényezők miatt forgó tér nem alkalmazható kiegészítő térként.

A buboréksebesség mellett a buboréksűrűség fontos kritérium. Ezen a területen az IBM Research Division in Yorktown Heights egy kutatócsoprtja ért el döntő sikert, amellyel a buboréknagyság jelentősen redukálható. Ez azt jelenti, hogy a szálacskaanyag egy adott felületén az eddiginél jóval nagyobb információmennyiség tárolható. Az IBM-kutatók kísérletei azt mutatták, hogy már 0,0004 mm-es átmérővel is kialakíthatók stabil mágnesbuborékok, a jelenlegi mágnesbuborékos kapcsolások 0,003...0,005 mm-es buborékátmérővel szemben.

A buborékoknak ez a kicsinyítése az adott felületen tárolható információmennyiség drasztikus növelését teszi lehetővé. A mérettől függetlenül minden buborék egy információ bitet jelent, „0" vagy „1" értékkel. Így a jelenlegi 0,003...0,005 mm átmérőjű szálacskák minden négyzetcentiméternyi felülete 460 000 bitet képes felvenni. A buborékátmérő 0,0004 mm-re való csökkentése következtében ugyanezen felületen 15 millió bit tárolható.

A kutatómunka jelenleg a szálacskák előállítására, fizikai és kémiai tulajdonságaiknak a mérésére koncentrálódik. Az ilyen kialakítású tárolóelemek üzemi gyártását még nem tudták megvalósítani. (*Blick durch die Wirtschaft, 1978. jún.* [*572*])

*

Az exportálási nehézségek, valamint a valutakurzus-problémák leküzdése érdekében a japán cégek az USA-ban kívánnak gyárakat alapítani. A Hitachi közösen a General Electric-kel szándékozik még az ősszel egy új üzemet alapítani és reméli, hogy ezáltal a színes tv-készülékek gyártási darabszámát 800 000-ről évi 1 millióra tudja emelni.

A Toshiba még ebben az évben kívánja felépíteni a 200 000 készülék/év kapacitású gyárát. Jelenleg a Sony, a Mitsubishi, Matsushita és a Sanyo cégek összesen 145 000 színes televíziót állítanak elő havonta az Egyesült Államokban. (*Elektronik Zeitung, 1978. júl.* [*553*])

*

Az üvegszálkábeles átviteltechnika jól alkalmazható az adattovábbító rendszerekben is. A Siemens fejlesztőlaboratóriuma jelenleg két különböző változattal foglalkozik: az egyik átviteli kapacitása 2 millió bit/s, a másiké pedig 40 millió bit/s. Mindkét esetben grandiensprofilú üvegszálakat alkalmaznak.

A kábelek nagy előnye a kis helyiség (pl. egy 10 szálas kábel átmérője csak 8 mm). Az üvegszálkábelek további előnyös tulajdonsága az, hogy az egymás melletti szálak egymást nem zavarják. Hasonlóképpen nem lépnek fel zavarások a központi számítógép és a perifériák közötti összekötő vezetékekben. Így az adattovábbítás gyakorlatilag hibamentes. A fényhullámvezetők a gyakorlatban fellépő mechanikus igénybevételeket elviselik, élettartamuk hasonló a jelenlegi rézkábelekhez.

Az üvegszálkábeles átvitelhez a villamos jeleket az adóban infravörös lumineszcenciás diódával alakítják át fényimpulzusokká. A vétel helyén a kereskedelmi forgalomban kapható fotódiódával és egy átviteli impedanciaerősítővel — amely a fotóáramot egy csekély zajú, problémamentesen alkalmazható kimenőfeszültséggé alakítja — alakíthatók vissza a fényimpulzusok elektromos impulzusokká. Az egyszerű, 2 Mbit/s-os rendszer esetén adóként egy lumineszcenciás diódát, vevőként egyszerű vevőerősítőt alkalmaznak. A nagyteljesítményű kivitel esetén egy „Burrus" típusként ismert adódiódát használnak. A számítógépes rendszerek továbbítandó nagy adatmennyisége az üvegszálaknál többcsatornás adó és vevő alkatrészeket, csatlakozókat és hegesztéseket tesz szükségessé. Mindkét területen sok fejlesztőmunka szükséges addig, amíg a modern üvegszáloptika eléggé érett lesz az adatfeldolgozó rendszerekben történő felhasználásra. (*Frankfurter Zeitung, Blick durch die Wirtschaft, 1978. szept. 13.* [*574*])

*

Úgy tűnik, hogy a folyadékkristályok, a fénydiódák és a plazma penelek „száműzik" a nagy katódsugár-csöveket. A Battelle Institute szerint kb. 5 cm vastag ernyőn a hagyományos televízió-képcső jó minőségű képét lehet előállítani. Egyelőre 14 sor ×16 oszlopos képet állítanak elő, de nem látnak problémát a képernyő méretének növelésében.

A képernyő homloklapjának belső felületén vezető foszfor szalag oszlopok vannak. A homloklapba huzalsorok vannak beágyazva tűszerű kinyúlásokkal a foszfor szalagokkal való metszésénél. Az oszlopok célpontjainál szekunder emisszió van, ami extra elektronokat vonz a tűk csúcsába. Ez mező emisszió hoz létre. (*Electronics, 1978. júl.* [*575*])

SZLAVICSKA LÁSZLÓ
Posta Kísérleti Intézet

# Eljárás az URH rádiótelefon-hálózatok tervezési jóságának kimutatására

ETO 621.396.4:621.396.7:654.165

A rádiótelefon-hálózatok tervezésekor több irányú követelményt kell kielégíteni. Gondot kell fordítani a forgalomlebonyolító képesség tervezésére. Törekedni kell a még rendelkezésre álló, egyre csökkenő frekvenciaspektrum minél gazdaságosabb felhasználására. Biztosítani kell az adó-vevő berendezések elektromágneses kölcsönhatásából eredő zavarok megkívánt mértékű korlátozását. Figyelmet kell szentelni a területi besugárzás optimalizálására.

A felsorolt elvárások a tervezést bonyolulttá teszik, ezért korántsem biztos, hogy minden esetben maradéktalanul sikerül kielégíteni a követelményeket.

A cikk az URH földi, mozgó rádiótelefon-hálózatok „tervezési jóságának" megállapítására közöl módszert. A tervezés minősítése a vizsgált hálózat forgalmi-, frekvenciasáv-kihasználási, zavar- és besugárzás jellemzőire terjed ki. A jellemzőknek az optimumtól való eltérése a következő, független valószínűségekként kezelhető tényezőkkel mutatható ki:

— forgalmi tényező,
— frekvenciasáv-kihasználási tényező,
— zavarmentességi tényező,
— besugárzási tényező.

A tényezők szorzatfüggvényeként előállított, numerikus alakban megadható, ún. eredő EMC-faktor a vizsgált hálózat „EMC-hatásfokát" méri. (EMC = elektromágneses összeférhetőség, amely a hálózat berendezéseit jellemzi a felsorolt hálózat paramétereinek szempontjából.)

## 1. A forgalmi tényező

A forgalom tervezése a forgalmas órai forgalom és a forgalmat a megkívánt — forgalmi rendszertől függően pl. foglaltsági, illetve várakozási — valószínűségérték teljesítésével lebonyolítani képes csatornaszám meghatározásán alapul.

A forgalmas órai forgalom ($y$), a különféle hálózattípusokra mérésekkel meghatározott előfizetőnkénti forgalmas órai hívásszám ($\lambda_m$), az átlagos tartási idő ($\Delta T$ [sec]), valamint az előfizetők számának ($M$) ismeretében a következőképpen számítható [1]:

$$y=\frac{M\cdot\lambda_m\cdot\Delta T}{3600}. \qquad (1)$$

Forgalomtorlódáskor a beérkező hívás sikertelenségi valószínűségét a megfelelő Erlang-formula írja le.

A hálózatok forgalmi méretezésének minőségi mutatója a hívás sikertelenségi valószínűség. E tényre alapozva a forgalmi tényező ($F_i$) definiálása e valószínűség komplementer valószínűségével történik:

$$F_i=1-P_i(y), \qquad (2)$$

ahol $P_i(y)$ forgalomtorlódáskor a beérkező hívás sikertelenségi valószínűsége, az $i=1, 2,\ldots j$ index számok reprezentálják a forgalmi rendszer típusát.

Adott hálózatot vizsgálva, ha a forgalom bázis állomásokra eloszlása nem egyenletes, a forgalmi tényezőt a következőképpen lehet meghatározni:

— a hálózat minden egyes bázisállomására kiszámítandó a forgalmi rendszerre jellemző sikertelenségi valószínűség,
— a valószínűségek súlyozott átlaga képezi az eredő valószínűséget (a $P_i(y)$-t):

$$P_i(y)=\frac{1}{M}\sum_{k=1}^{m}M_k\cdot P_{ik}(y), \qquad (3)$$

ahol $M$ a hálózat előfizetőinek a száma; $M_k$ a $k$-adik állomásra eső előfizetők száma; $m$ a bázisállomások száma; $P_{ik}$ ($y$) a $k$-adik állomásra számított sikertelenségi valószínűségérték.

Fontos kiemelni, hogy a (3) formulában az összegezés során a vizsgált hálózatra előírt valószínűségnél kisebb, tehát jobb értékek helyett az előírtat kell felhasználni. Ez az előfizető szubjektivitásának a figyelembevételét célozza. A felhasználó ugyanis a megengedettnél jobb minőséget természetesnek veszi, ellentétben a minőségromlással.

Ha az előfizetők területi eloszlása egyenletes, a forgalom azonos, a $P_i(y)$ valószínűség, amint a (3)-ból kitűnik, megegyezik az egy tetszőlegesen kiszemelt bázis adó-vevő állomásra esővel. Az előzők értelmében a forgalmi tényezőt a (2) eredményezi.

A forgalmi tényező megkívánt értéke hálózattípusonként változik. Nyilvános hálózatokra 0,95—0,97, biztonsági diszpécserre ~0,95, általános diszpécserre ~0,8.

A bázis adó-vevő állomásokra nehezedő forgalom többletterhelés a forgalmi tényező csökkenésében, a sikertelenségi valószínűség megnövekedésében mutatkozik.

Ha újabb csatornák kiosztására nincs lehetőség, a forgalmi tényező növelhető a tartási idő csökkentésével. Ez utóbbi a beszélgetés felépítési és bontási sebességének a növelésével, tehát magasabb szintű berendezéstechnikával, automatizálással oldható meg.

## 2. A frekvenciasáv-kihasználási tényező

A frekvenciasáv-kihasználási tényező a frekvenciakiosztási és a frekvenciasáv-foglalási tényezők szorzatfüggvényeként definiálható.

Beérkezett: 1979. III. 31.

### *2.1 A frekvenciakiosztási tényező*

Hálózattervezéskor az optimális frekvenciakiosztás érdekében törekedni kell az alábbiakra:

— minimális számú csatorna vivő frekvencia igénybevétele,
— a felhasznált szélső csatornák frekvenciatávolsága minimális legyen.

Annak mértékét, hogy a vizsgált hálózat által felhasznált csatornák száma ($n_f$) mennyire közelíti meg a realizáláshoz szükséges minimális csatornaszámot ($n_m$), az alábbi hányados fejezi ki:

$$H_1=\frac{n_m}{n_f}. \tag{4}$$

A $H_1$ értékkészlete a [0, 1] zárt intervallum. A szükséges minimális csatornaszámot a hálózattal besugárzandó terület legforgalmasabb területegységére eső forgalmából lehet meghatározni.

A második gondolat matematikai formába öntéséhez néhány sávszélesség-fogalmat kell áttekinteni.

A sávszélességigény akkor minimális, ha a hálózat egymással szomszédos csatornákat használ fel. Megeshet azonban, hogy a hálózat részére kijelölt frekvenciasávban egyes csatornák eleve nem oszthatók ki, mert más célokra foglaltak, pl. más hálózat használja fel azokat. Ezeket a felhasznált csatornák szomszédosságát megbontó csatornákat természetesen nem kell figyelembe venni a csatornák által ideális esetben kitöltött sávszélesség számításánál (1. ábra). Így pl. szimplex rendszert tekintve a miminális sávszélesség ($B_{msz}$):

$$B_{msz}=n_f\cdot\Delta f, \tag{5}$$

ahol $\Delta f$ a szomszédos csatornavivők közötti frekvenciatávolság.

A csatornák által elfoglalt teljes sávszélesség meghatározásakor figyelembe kell venni, hogy nem optimális frekvenciakiosztás esetén egyes csatornák nincsenek felhasználva — pl. intermodulációmentes (IM) csatornacsoportok képzése, stb. miatt —, ami csatornaveszteséget jelent. Ennek értelmében a teljes sávszélesség, azaz a szélső csatornák közötti frekvenciatávolság ($B_{ösz}$):

$$B_{ösz}=(n_f+n_2+n_1)\cdot\Delta f, \tag{6}$$

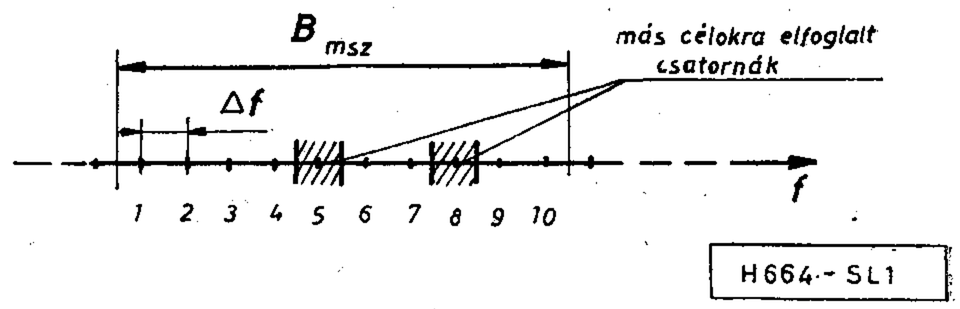
ahol $n_1$ a más célokra elfoglalt csatornák száma,
$n_2$ a nem optimális frekvenciakiosztás következtében fel nem használt csatornák száma.

A tényleges sávszélesség ($B_{tsz}$) a $B_{ösz}$-től csak abban különbözik, hogy az $n_1$ által kitöltött frekvenciasávot nem kell figyelembe venni. Így

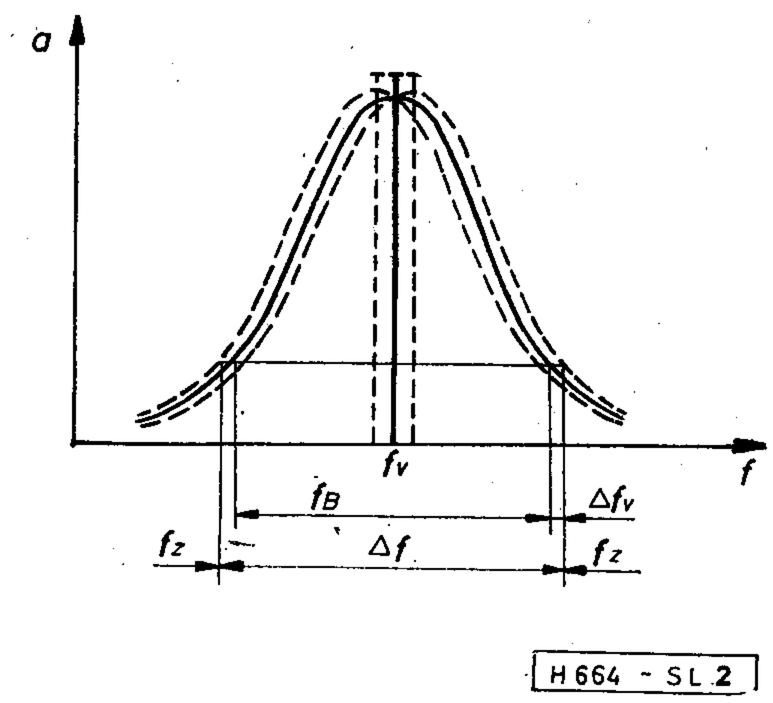
$$B_{tsz}=(n_f+n_2)\cdot\Delta f. \tag{7}$$

A szükséges fogalmak birtokában, azt a tényt, hogy az elfoglalt tényleges sávszélesség milyen mértékben közelíti meg az elérhető minimális sávszélességet, az (5) és a (7) összefüggések hányadosa érzékelteti:

$$H_2=\frac{n_f}{n_f+n_2}. \tag{8}$$




*1. ábra.* A csatornaelrendezés a mozgó rádiószolgálatban




*2. ábra.* Rádiótelefon-adó modulációs spektruma. $f_v$ a vivőfrekvencia; $f_B$ a hasznos modulációs sávszélesség; $f_z$ a zavaró oldalsáv; $\Delta f_v$ a vivőfrekvencia-ingadozás

A $H_2$ értékkészlete [0,1].

A (8) formula szimplex és duplex rendszerre egyaránt érvényes.

A frekvenciakiosztási tényezőt ($H$-t), amely a (4) és a (8) összefüggésekben megadott események egyidejű bekövetkezését fejezi ki, ezen összefüggések szorzata eredményezi:

$$H=\frac{n_m}{n_f+n_2}. \tag{9}$$

### *2.2 A frekvenciasáv-foglalási tényező*

A korszerű rádiótelefon-adók főként frekvencia-, illetve fázismodulációval továbbítják a hasznos információt. Egy csatorna sávszélességigényét az FM adó által elfoglalt spektrum burkológörbéje szemlélteti (2. ábra).

Az ábra alapján a spektrumfoglalás, amely hozzávetőlegesen megegyezik a csatornatávolsággal:

$$\Delta f\cong f_B+2\Delta f_v. \tag{10}$$

FM jel esetében a hasznos sávszélesség:

$$f_B=2\alpha(m_f)\cdot f_m', \tag{11}$$

ahol $\alpha(m_f)$ a vivő amplitúdó és annak 10%-ához tartozó spektrumösszetevő közötti oldalsávkomponensek száma; $f_m$ a moduláló feszültség frekvenciája; $m_f$ a modulációs index.

A hasznos sávszélesség függ a moduláló frekvenciától és a modulációs indextől, amely az

$$m_f=\frac{k_{FM}\cdot U_m}{f_m} \tag{12}$$

összefüggéssel jellemezhető. A formulában $k_{FM}$ dimen-

zióval rendelkező rendszer jellemző; $U_m$ a moduláló feszültség amplitúdó.

A (12)-ből kitűnik, hogy a löket növekedése $m_f$ növekedését, ez pedig a hasznos sáv kiszélesedését eredményezi.

A frekvenciasáv-foglalási tényezőt ($B$-t), a technikai színvonal alapján elérhető minimális csatornatávolság ($\Delta f_m$) és a vizsgált hálózat berendezései által nyújtott $\Delta f$ hányadosával kézenfekvő definiálni:

$$B=\frac{\Delta f_m}{\Delta f}. \tag{13}$$

A $B$ értékkészlete a 0 és az 1 közé eső számok halmaza.

A frekvenciakiosztási és a frekvenciasáv-foglalási tényező ismeretében elhárultak az akadályok a frekvenciasáv-kihasználási tényező ($S$) meghatározásának útjából. Ezt a (9) és a (13) kifejezések szorzatfüggvénye reprezentálja:

$$S=\frac{\Delta f_m \cdot n_m}{\Delta f(n_f+n_2)}. \tag{14}$$

## 3. A zavarmentességi tényező

Rádiótelefon-hálózat tervezésekor ügyelni kell arra, hogy a berendezések elektromágneses kölcsönhatásából kialakuló zavarok csak a helyek megengedett százalékában fordulhassanak elő. Ha az ún. zavarvalószínűségek meghaladják a tervezettet, a hálózat EMC hatásfoka romlik.

A zavarmentességi tényező meghatározása a zavarvalószínűség fogalmára épül. A zavarvalószínűséggel részletesebben foglalkozik az [1], [2] irodalom, most csak dióhéjban foglaljuk össze a definíciójához vezető gondolatmenetet.

Tételezzük fel, hogy a mobil vevő a hasznos jelátvitel közben a vételi csatornán kívüleső frekvenciájú zavaró jelet vesz. A zavaró térerősségszintre teljesüljön a

$$x<\xi<x+\mathrm{d}x,$$

a hasznosra pedig az

$$-\infty<\eta<x-\frac{a_{sz}}{\sigma}$$

egyenlőtlenség, ahol $a_{sz}$ [dB] a vevőszelektivitás; $\sigma$ [dB] a térerősség hely szerinti eloszlásának a szórása. Ez esetben a vevőben zavarás észlelhető. A zavarvalószínűség [$P(\Delta\bar{E})$] annak a valószínűsége, hogy a vételi helyen a zavaró térerősségszint legalább a vevőszelektivitás-értékkel nagyobb a hasznos térerősségszintnél.

A $\xi$ és $\eta$ független valószínűségi változók, a különbségük eloszlásfüggvénye írja le a zavarvalószínűséget. A normális eloszlások konvolúciójával kifejezve:

$$P(\Delta\bar{E})=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{x-\frac{a_{sz}}{\sigma}}\left[\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{1}{2}\left(x+\frac{\Delta\bar{E}}{\sigma}\right)^2} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\Delta\bar{E}}{\sigma}\right)^2} \mathrm{d}\left(\frac{\Delta\bar{E}}{\sigma}\right)\right]\mathrm{d}x. \tag{15}$$

A (15) egyenletben:

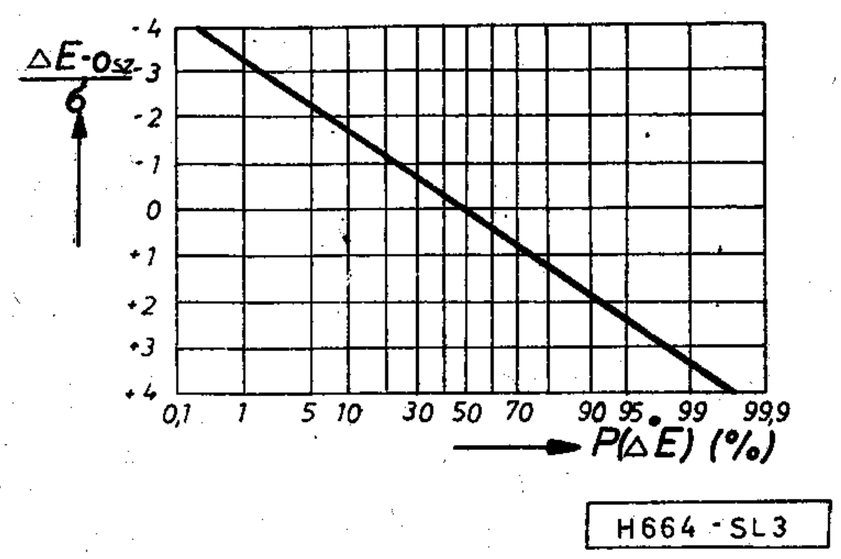
$$\Delta\bar{E}=\bar{E}_z-\bar{E}_h, \tag{16}$$

ahol $\bar{E}_z$ a zavaró, $\bar{E}_h$ a hasznos térerősség középértéke [dB(uV/m)].

A konvulúció elvégzésével és új változó bevezetésével

$$P(\Delta\bar{E})=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{\frac{\Delta\bar{E}-a_{sz}}{\sqrt{2}\cdot\sigma}} e^{-\frac{1}{2}z^2}\,\mathrm{d}z. \tag{17}$$

A (17) egyenlet grafikus megoldása a 3. ábrán látható.




*3. ábra.* A zavarvalószínűség alakulása

Vételi csatornába eső frekvenciájú zavaró jelnél a zavarás annak a valószínűségét tükrözi, hogy $\bar{E}_z$ maximálisan az $|a_{sz}|$-el kisebb $\bar{E}_h$-nál a vizsgált helyen. Ebben az esetben $a_{sz}<0$ dB.

Megemlítendő, hogy a zavarvalószínűség az adott hálózat berendezései között létrejöhető összes zavarlehetőség közül csak a bázis-mobil berendezések zavarait jellemzi, viszont ezek a leggyakoribbak, a dominálók.

Adott hálózat zavarvalószínűségeinek meghatározásához a hálózat geometriájára felírható egyenletekből kézenfekvő kiindulni. A bázis adó-vevő berendezések között a zavarok adott értéken tartásához szükséges földrajzi távolság az alábbi egyenlettel írható le:

$$d_f=R_{zf}+R_{hf}, \tag{18}$$

ahol $f=1, 2, \ldots, t$ a zavartípust jelző index szám; pl. $f=1$ azonos csatorna zavart, $f=2$ szomszédos csatorna zavart, $f=3$ harmadrendű IM zavart, stb. jelent; $d_f$ [km] a zavaró és a zavart körzetű bázis adó-vevő berendezések közötti távolság; $R_{zf}$[km] a vizsgált adó — meghatározott zavarvalószínűséghez tartozó, az index számmal jelölt típusú — zavarsugara; $R_{hf}$[km] annak a bázis adóberendezésnek az ellátási sugara, amelynek körzetét az $f$ indexszel jelzett zavartípust keltő bázisadó zavarhatja.

Az ellátási és a zavarsugarak számításmenetét a [2] részletesebben tárgyalja, úgyhogy most csak a vég-

eredményeket közöljük. Az ellátási sugár az alábbi formulával határozható meg:

$$\bar{E}_r(R_{hf})=\bar{E}_h-\left(10\lg\frac{P_a}{P_r}+G_a+G_v\right) \qquad (19)$$

ahol $\bar{E}_r(R_{hf})$ [dB(μV/m)] a vizsgált bázisadó $R_{hf}$ távolságban eredményezett hasznos térerősség szintje; $\bar{E}_h$[dB(μV/m)] a vizsgált bázisadó által létrehozandó vételi térerősség-középérték; $P_a$[W] a bázisadóteljesítmény; $P_r$[W] a kisugárzott referencia-adóteljesítmény; $G_a$[dB] a bázisadó antenna teljesítménynyereség; $G_v$[dB] a mozgó vevő antennateljesítmény nyereség. A (19) egyenletben

$$\bar{E}_h=\bar{E}_m+\bar{E}_j, \qquad (20)$$

ahol $\bar{E}_m$[dB(μV/m)] a vevőantenna-bemeneten a szükséges minimális térerősség-középérték; $\bar{E}_j$[dB (μV/m)] a járulékos térerősségszint, amelynek nagysága attól függ, hogy a szükséges minimális térerősségszintet a helyek hány százalékában $F(\bar{E})$ kívánjuk túllépni (4. ábra) [2].

Az $\bar{E}_r$ ($R_{hf}$) ismeretében az ellátási sugár leolvasható a referencia adóteljesítményhez tartozó megfelelő térerősség terjedési görbéből [3]; [4].

A vizsgálandó zavartípusra vonatkozó zavarsugár a következő formulából nyerhető [1]:

$$\bar{E}_r(R_{zf})=\bar{E}_r(R_{hf})+\Delta\bar{E}, \qquad (21)$$

ahol $\bar{E}_r(R_{zf})$ az ellátási tartomány határán mozgó adó-vevőben meghatározott zavarvalószínűséget eredményező zavaró térerősségszint. Az $\bar{E}_r(R_{zf})$ ismeretében a megfelelő hullámterjedési grafikonból leolvasható a zavarsugár.

Ha az ellátási és a zavarsugarat ismerjük, a zavarvalószínűség a következő gondolatmenettel számítható:

— a terjedési görbéből leolvasható az $R_{zf}$-hez tartozó zavaró és az $R_{hf}$-hez rendelhető hasznos térerősségszint,
— a (21)-ből számítható a $\Delta\bar{E}$,
— a 3. ábrából leolvasható a $\Delta\bar{E}$-hez rendelt zavarvalószínűség.

A hálózat geometriából kiinduló zavarvalószínűségszámításra a Függelék közöl számpéldát.

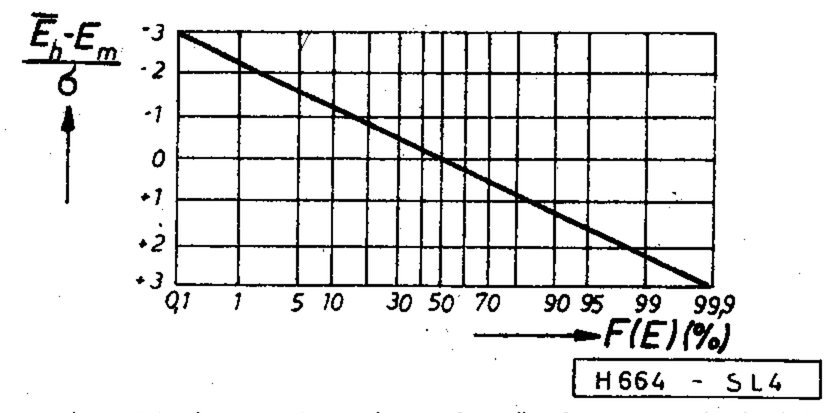
A zavarvalószínűség számításának ismeretében rátérhetünk a zavarmentességi tényező meghatározására. A további vizsgálatokhoz példaképpen az 5. ábrán feltüntetett hálózatrészletet vegyük alapul. Az elkövetkező megállapítások természetesen általános érvényűek.

Az 5. ábra rasztere tetszőleges, pl. k-adik bázis adójának adott zavartípushoz tartozó zavarsugara a (18)-ból kifejezve:

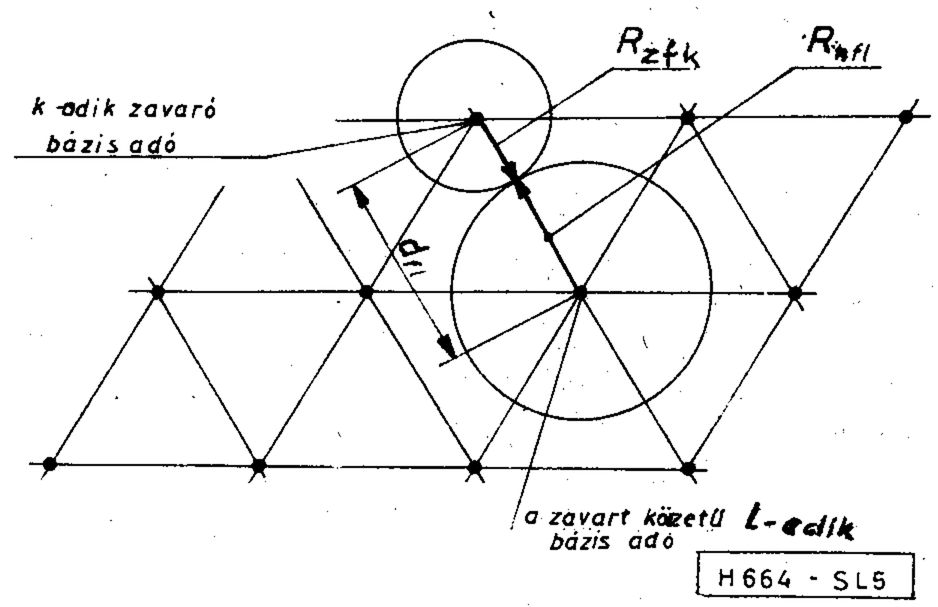
$$R_{zfk}=d_{fl}-R_{hfl}.$$

Az $R_{zfk}<0$ értéket nem vehet fel. Ezért negatív $R_{zfk}$ esetében $R_{zfk}=0$-val kell számolni.

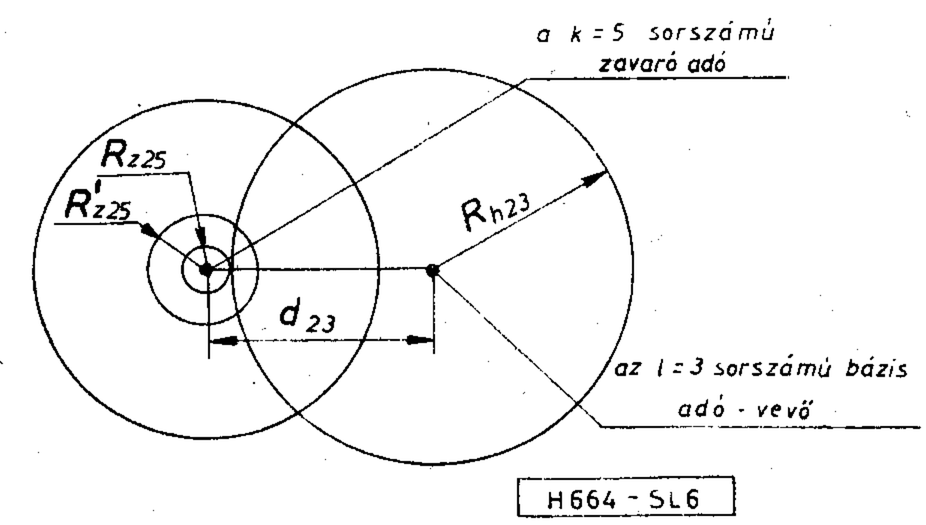
A vizsgált hálózatnál — a tervezéskor előírt zavarvalószínűséghez tartozó, tehát — a megengedett és a ténylegesen tapasztalt zavarsugarak és a hozzájuk tartozó zavarvalószínűségek kapcsolatát a kiszemelt, pl. $k=5$-ik zavaró és a pl. $l=3$-ik zavart körzetű bázisadó-vevő berendezést tekintve a 6. ábra illusztrálja, szomszédos csatorna zavart ($f=2$) feltételezve.




*4. ábra.* A szükséges minimális térerősségszint túllépési valószínűségének alakulása




*5. ábra.* Duplex-rendszerű, szabályos geometriájú hálózatrészlet. $R_{hfl}$ a zavart $l$-edik bázisadó ellátási körzet sugara; $R_{zfk}$ a vizsgált $k$-adik bázisadó zavarsugara




*6. ábra.* A zavarvalószínűségek és a zavarsugarak kapcsolatának szemléltetése. $R'_{z25}$ az előírt, pl. 10% zavarvalószínűséghez tartozó szomszédos csatorna zavarsugár; $R_{z25}$ a tényleges, pl. 20% zavarvalószínűséghez tartozó szomszédos csatorna zavarsugár

Az ábrából kitűnik, hogy $R_{z25}<R'_{z25}$. Az $R_{z25}$-höz tartozó zavarvalószínűség (20%) viszont nagyobb, mint az $R'_{z25}$-höz rendelhető (10%). Ez azt jelenti, hogy az $R_{h23}$ ellátási tartományban mozgó adó-vevőben az $R_{z25}$ sugarú kör mentén a helyek 20%-ában lépnek fel szomszédos csatorna zavarok a megengedett 10%-kal szemben.

A továbbiakban ki kell számítani a $k$-adik adót körülvevő, a zavarás típusa szempontjából szóba jöhető mindegyik legközelebbi bázisadó körzetre a zavarvalószínűséget. A megengedettnél kisebb valószínűségeket a megengedett értékkel kell helyettesíteni. A megengedettnél nagyobbakat változtatás nélkül kell elfogadni. A zavarvalószínűségeknek e

módon való figyelembevétele az 1. pontban már említett felhasználói szubjektivitás miatt történik. A felhasználó ugyanis a jobb esetet, a megengedettnél kisebb zavarokat természetesnek veszi, míg a roszszabbra érzékenyen reagál.

A távolabbi bázis adó-vevő körzetekre a zavarvalószínűségeket nem kell számítani. Egyrészt ugyanis nem valószínű, hogy ezek meghaladják a megengedett értéket, másrészt a legközelebbi körzetekre kapott értékek információt nyújtanak a távolabbiakra várható értékekről.

Több bázisadó jeléből keletkező zavaroknál — amelyek egy telephelyen több adó alkalmazásakor jellemzők — a telephelyen levő adók számának az adott zavartípust előidéző adók számával egyező osztályú kombinációit képezve kell vizsgálni a zavarvalószínűségeket. Pl. két, illetve három jelből kialakuló vevő IM esetén az adók másod-, illetve harmadosztályú kombinációira kell a zavarvalószínűségeket képezni és a leírtak szerint figyelembe venni.

Zavartípustól függően a $k$-adik adó, vagy adópár, stb. által okozott átlagos zavarvalószínűséget [a $P_{fk}(\Delta\bar{E})$-t] a figyelembe veendő valószínűségek számtani közepe eredményezi:

$$P_{fk}(\Delta\bar{E})=\frac{1}{r_{fk}}\sum_{l=1}^{r_{fk}}P_{fkl}(\Delta\bar{E}), \qquad (22)$$

ahol $l=1, 2\ldots, r_{fk}$ a $k$-adik adó, vagy adópár, stb. által előidézett és figyelembe vett zavaresetek száma; $P_{fkl}(\Delta\bar{E})$, a vizsgált $k$-adik bázisadó által — az $l$-edik bázisadó hasznos jelét vevő és ellátási körzetének határán mozgó vevőben — okozott zavartípusra számított zavarvalószínűség.

A továbbiakban ki kell számítani az adott hálózat mindegyik szóba jöhető bázis adója, vagy adópárja, stb. által okozott átlagos zavarvalószínűséget. Ezek számtani közepe tükrözi a hálózat átlagos zavarvalószínűségét [a $P_{áf}(\Delta\bar{E})$-t]:

$$P_{áf}(\Delta\bar{E})=\frac{1}{m_f}\sum_{k=1}^{m_f}P_{fk}(\Delta\bar{E}), \qquad (23)$$

ahol $k=1, 2\ldots, m_f$ a vizsgált zavartípust előidéző bázisadók, vagy adópárok, stb. száma.

Megjegyzendő, hogy ezzel az elvvel a környező hálózat(ok)ból eredő, a vizsgálatra gyakorolt zavart is figyelembe lehet venni. Ekkor a (23) egyenlet a következőképpen módosul:

$$P_{áf}(\Delta\bar{E})=\frac{1}{m_f+p_f}\sum_{k=1}^{m_f+p_f}P_{fk}(\Delta\bar{E}).$$

Az összefüggésben $p_f$ a külső hálózat(ok) azon adóinak száma, amelyek a vizsgált zavartípust előidézik.

Természetesen az elv alkalmazható a vizsgált hálózatnak a környező hálózat(ok)ra gyakorolt zavarása figyelembevételére is. Ekkor a (22) összefüggésből kiindulva:

$$P_{fk}(\Delta\bar{E})=\frac{1}{r_{fk}+v_{fk}}\sum_{l=1}^{r_{fk}+v_{fk}}P_{fkl}(\Delta\bar{E}),$$

ahol $v_{fk}$ a $k$-adik adó, vagy adópár, stb. által a környező hálózat(ok)ban keltett zavaresetek száma.

A gondolatmenetet folytatva, a (23) komplementer valószínűségével definiálható a zavarmentesség foka a [$\Phi_{áf}(\Delta\bar{E})$]:

$$\Phi_{áf}(\Delta\bar{E})=1-P_{áf}(\Delta\bar{E}). \qquad (24)$$

A zavarmentesség és az érthetőség, ill. a jelzésátviteli hibaarány függvénykapcsolatban van. A (24)-et súlyozni kell pl. beszédátviteli hálózatot feltételezve a relatív érthetőséggel. Ez utóbbit úgy kell definiálni, hogy valószínűségi változóra jellemző tulajdonságokkal rendelkezzen. Így

$$é_f=\frac{\hat{E}_f}{\hat{E}_é}, \qquad (25)$$

ahol $é_f$ a relatív érthetőség; $\hat{E}_é$ a vevőkimeneten előírt hangzóérthetőség, amelyet a hasznos vételi érzékenységi feszültségszint biztosít; $\hat{E}_f$ a vizsgált zavartípusnál — a hasznos vételi érzékenységi feszültségszint jelenlétében — a zavarmentesség fokához tartozó hangzóérthetőség.

A jelzésátviteli hibaarány a (25)-el rokon módon definiálható.

Mind a relatív érthetőség, mind a jelzésátviteli hibaarány változását a zavarmentesség függvényében a különféle zavartípusoknál mérésekkel kell meghatározni.

A relatív érthetőséggel súlyozott zavarmentesség a [$\Phi_{áf}(\Delta\bar{E}, é_f)$]:

$$\Phi_{áf}(\Delta\bar{E}, é_f)=é_f[1-P_{áf}(\Delta\bar{E})]. \qquad (26)$$

A szükséges fogalmak birtokában a zavarmentességi tényező ($Z$) a minden egyes zavartípusra kiszámított, az érthetőség értékekkel súlyozott zavarmentességek átlagával definiálható:

$$Z=\frac{1}{t}\sum_{f=1}^{t}\Phi_{áf}(\Delta\bar{E}, é_f). \qquad (27)$$

## 4. A besugárzási tényező

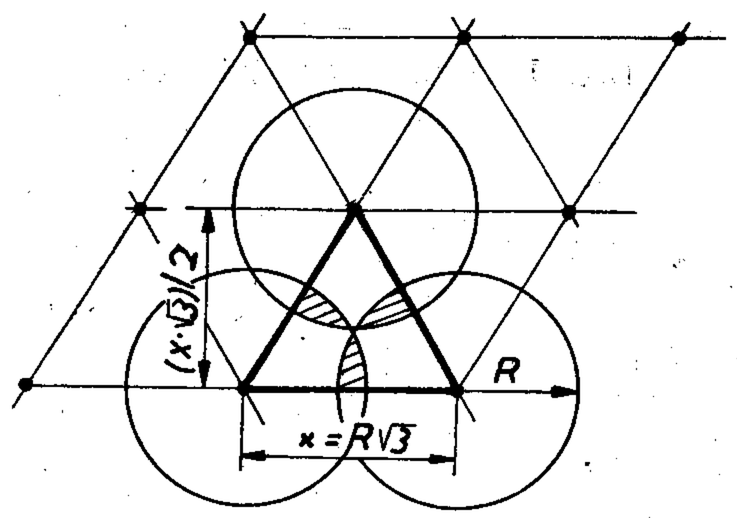
Hálózattervezéskor szem előtt kell tartani, hogy a bázisadók ellátási területeinek átlapolódásából keletkező többszörösen besugárzott területelemek minél kisebbek legyenek, de ugyanakkor besugárzatlan területelemek se keletkezzenek. A besugárzás hatásfokát tükröző átfedések mértékének kimutatására szolgál a besugárzási tényező.

Egyszeres besugárzású, szabályos geometriájú, reguláris háló esetében a besugárzási tényező ($B_e$) definíciója (7. ábra) az alábbi:

$$B_e=\frac{T_{oe}}{T_e}. \qquad (28)$$

Az egyenletben $T_{oe}$ a rácsgeometria egyetlen alapelemének területe; $T_e$ az alapelem csúcspontjaiban elhelyezkedő bázisadók alapelembe eső besugárzott területeinek az összege; az $e=1, 2\ldots, g$ jelenti a besugárzás multiplicitását. Jelen esetben $e=1$.

A $B_e$ értékkészlete a 0 és az 1 közé eső számok halmaza. Ha besugárzatlan területrészek vannak, a tervezés elfogadhatatlan. Ez egyúttal azt is jelenti, hogy $T_{oe}<T_e$.




H664 - SL7

*7. ábra.* Egyszeres besugárzású, szabályos, reguláris, hálózatgeometria-részlet a besugárzási tényező számításához. A többszörösen besugárzott területek vonalkázottak

Egyszeres besugárzású, szabálytalan geometriájú hálózatoknál a besugárzási tényezőnek a hálót felépítő összes síkidomra vett átlagával, $B'_e$-vel kell számolni:

$$B'_e = \frac{1}{d_e} \sum_{b=1}^{d_e} B_{be}. \qquad (29)$$

A formulában $b = 1, 2, \ldots, d_e$ az $e$-edik besugárzott sík terület elemeinek a száma; $B_{be}$ az $e$-edik sík $b$-edik területelemére számított besugárzási tényező.

A többszörös besugárzású, szabályos raszterű, reguláris hálózatoknál minden egyes besugárzott síkra ki kell számítani a $B_e$-t. A kapott értékek számtani közepe adja az eredő besugárzási tényezőt ($B_t$-t):

$$B_t = \frac{1}{g} \sum_{e=1}^{g} B_e. \qquad (30)$$

A többszörös besugárzású, szabálytalan geometriájú hálózatoknál a (29) kiszámítását minden egyes besugárzott síkra el kell végezni. A kapott értékek aritmetikai középértéke az eredő besugárzási tényező ($B'_t$):

$$B'_t = \frac{1}{g} \sum_{e=1}^{g} B'_e. \qquad (31)$$

Az 1—4. fejezetekben megállapított tényezőkből kialakítható az ún. eredő EMC-faktor, amely az adott hálózat hatásfokának a mutatója.

## 5. Az eredő EMC-faktor

Az eredő EMC-faktor ($R$) az eddigi fejezetekben definiált tényezők szorzatfüggvénye:

$$R = F_i \cdot S \cdot Z \cdot B. \qquad (32)$$

A (32) minden lehetséges esetre felírható.

## 6. Eredmények

A bemutatott tervezésminősítő módszer a vizsgált hálózat tervezési jóságát számértékkel jellemzi, tükrözi az optimumtól való eltérését. A különféle hálózatokra számított értékek lehetővé teszik a tervezések jóságának összehasonlítását, rangsorolását.

Az eljárás gazdasági előnye, hogy alkalmazásával felfedhetők a megtervezett, realizálás előtt álló rádiótelefon-hálózatok esetleges tervezési hibái. Az 1—4. fejezetekben definiált tényezők a hibafeltáráson kívül útmutatást adnak a korrekció módozatainak helyes megválasztásában is. Ez jelentős költségmegtakarítást és jobb paraméterekkel rendelkező hálózatokat eredményezhet.

A módszert egyelőre — adatok hiányában — hipotetikus hálózatokra próbáltuk ki. Jelenleg az eljárás számítógépre vitele történik.

*Köszönetnyilvánítás*

Köszönettel tartozom *Dr. Lajtha Györgynek*, a PKI tudományos igazgatóhelyettesének támogatásáért, tanácsaiért.

## Függelék

*Feladat:*

Adott hálózatgeometria-részletből (8. ábra) kiszámítandók a tényleges zavarvalószínűségek.
Adatok:

- az azonos csatorna szelektivitás $a_{sz1} = -8$ dB,
- a szomszédos csatorna szelektivitás $a_{sz2} = 60$ dB,
- a bázisadó eff. antennamagassága $h_{1e} = 50$ m,
- mozgó vevők eff. antenna magassága $h_{2e} = 1{,}5$ m,
- a mozgó vevő antennahossz $l = \lambda/4$ [m],
- a térerősség az idő 50%-ában legyen biztosított,
- a hálózat a 160 MHz jelű frekvenciasávban, városi környezetben működik,
- a térerősség szórása $\sigma = 5$ dB.

A zavarvalószínűség számítása szomszédos csatornazavar esetében ($f=2$, $k=1$, $l=2$):

— a 8. ábrából leolvashatóan:

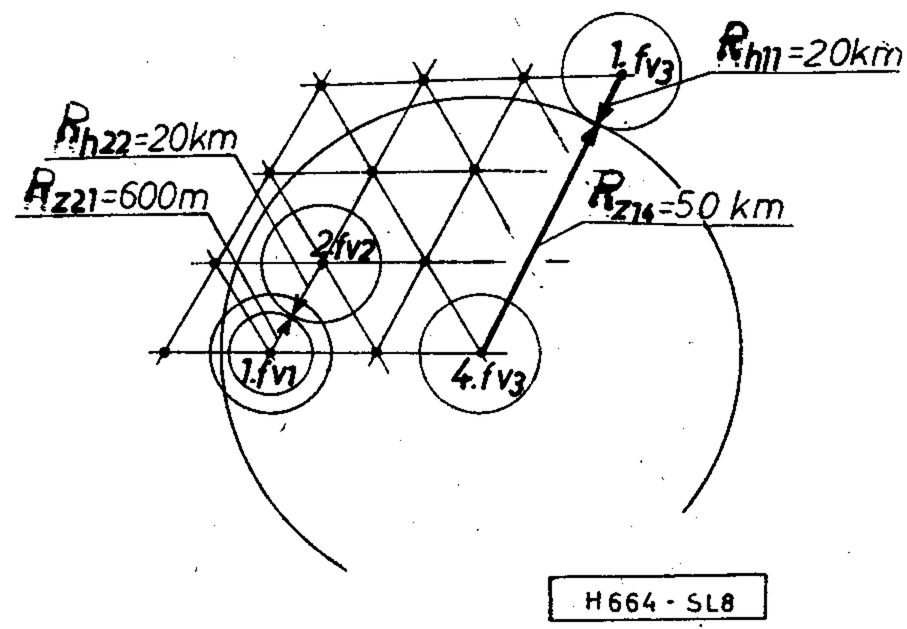
$$R_{z21} = 600 \text{ m},$$

$$R_{h22} = 20 \text{ km},$$

— a 9. ábra $h_{1e} = 50$ m paraméterű görbéjét tekintve:

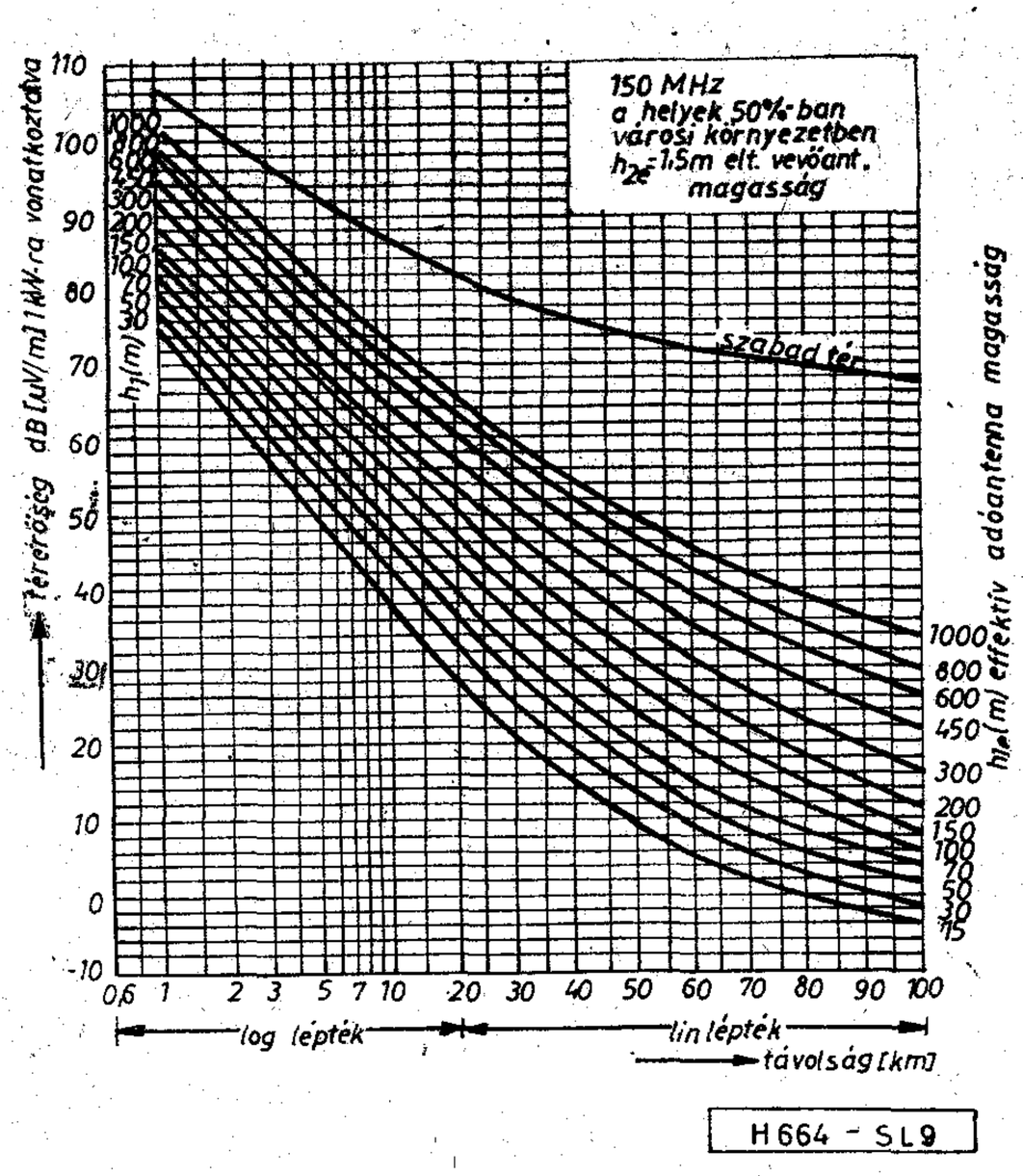
$$\bar{E}_r(R_{z21}) = 88 \text{ dB},$$

$$\bar{E}_r(R_{h22}) = 36 \text{ dB},$$




H664 - SL8

*8. ábra.* Hálózatgeometria-részlet a zavarvalószínűségek számításához. Az ábrán $f_{v1}$, $f_{v2}$, $f_{v3}$ a vizsgált bázisadó vivőfrekvenciák; $f_{v1} = f_{v2} + \Delta f$




*9. ábra.* Hullámterjedési görbék az idő 50%-ára

— a (21)-ből:

$$\Delta\bar{E}=88-36=52 \text{ dB},$$

— a 3. ábrából:

$$P_{212}(\Delta\bar{E})\cong 11\%.$$

A zavarvalószínűség számítása azonos csatornazavar esetében ($f=1$, $k=4$, $l=1$):

— a 8. ábrából:

$$R_{z14}=50 \text{ km},$$

$$R_{h11}=R_{h22}=20 \text{ km};$$

— a 9. ábrából:

$$\bar{E}_r(R_{z11})=16 \text{ dB};$$

— a (21)-ből:

$$\Delta\bar{E}=16-36=-20 \text{ dB};$$

— a 3. ábrából:

$$P_{141}(\Delta\bar{E})\cong 4\%.$$

IRODALOM

[1] *E. Wey:* Der mobile Ruf- und Spechfunk. Verlag Technische Rundschau, Stuttgart, 1972.

[2] *Szlavicska L.:* Rádiótelefon-hálózatok egzakt zavarmodellje. PKI Közleményei, 1979.

[3] CCIR XIII. th. Plenary Assembly Vol. V. Rep. 567, Geneva, 1974.

[4] *Okumura—Ohmori—Kawano—Fukuda:* Field Strength and its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service. Rewiew of the Electrical Communication Laboratory, 1968. 9—10. Sept—Oct.

## DR. DÉKÁNY LÁSZLÓNÉ

Szomorú szívvel jelentjük, hogy tragikus hirtelenséggel elhunyt dr. Dékány Lászlóné, a műszaki tudományok kandidátusa, az MTESZ és a Híradástechnikai Tudományos Egyesület elnökségének tagja, a Környezetállósági Szakosztály titkára.

Budapesten született 1934-ben és tanulmányait is ott végezte. Munka mellett tanulva képezte magát tovább és szerzett vegyészmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetemen 1962-ben. Alkotó mérnöki pályafutását 1957-ben a BHG Híradástechnikai Vállalatnál kezdte, ahol mindvégig eredményesen dolgozott.

Munkája összeforrott a tudományos igényű és színvonalú vizsgálati technikával. Elsősorban kontaktusok és érintkezőszerkezetek vizsgálatával foglalkozott. E témakörben védte meg kandidátusi értekezését 1970-ben. Nevéhez fűződik számos vizsgálati eljárás és készülék kifejlesztése, amelyek közül a kontaktusanyagok erózióállóságának izotópos vizsgálati módszere külön is említést érdemel.

Jelentős szerepe volt a gyártmányok környezetállóságának vizsgálatára szolgáló szabványok kidolgozásában. E területen nemzetközi munkát is végzett, haláláig vezetője volt az IEC TC 75 hazai munkabizottságának, valamint részt vett a KGST szakbizottságainak tevékenységében.

Széles körű műszaki irodalmi munkásságot folytatott. Lapunk a Híradástechnika hasábjain kívül számos hazai és külföldi folyóiratban is találkoztunk érdekes gondolataival.

Különös aktivitással vett részt a villamos kontaktusok kérdésével kapcsolatos nemzetközi tudományos életben, egyik szervezője volt a RECO '75 rendezvénynek és a könyörtelen halál éppen az 1980-ra tervezett, az érintkezőjelenségekkel foglalkozó budapesti nemzetközi konferencia szervezésében folytatott lelkes munkáját szakította meg.

A Híradástechnikai Tudományos Egyesület mindig munkára kész tagját, a hazai és nemzetközi tudományos élet pedig tehetséges képviselőjét vesztette el.

Emlékét megőrizzük.

## HÁLÓZATELMÉLETI KONFERENCIA

Az European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD—80) legközelebb Varsóban lesz 1980. szeptember 2. és 5. között. Részletes felvilágosítás a következő címen kérhető: Prof. J. Osiowski, Politechnica Warszawska, ul. Nowowiejska 15/19, 00—665 Warszawa, Poland.

## Tartalmi összefoglalások

**ETO 514.174.3:681.3.06**

Kulcsár G.:

**Algoritmus poligonok lefedésére téglalapokkal (számítógépes adatelőkészítés pattern-generátor vezérléséhez)**

HÍRADÁSTECHNIKA XXX. (1979) 6. sz.

A dolgozat olyan algoritmus létrehozása, amely az alakzat csúcspontjainak digitalizált koordinátáiból kiindulva meghatározza az alakzatot az alábbi értelemben lefedő, lehetőleg minimális számú téglalap csúcspontjait. A téglalapoknak az alakzat minden pontját le kell fedniök, ugyanakkor nem fedhetnek le alakzathoz nem tartozó pontokat.

**ETO 621.39:681.3.06.(085)**

Dr. Géher K.:
**Számítógépprogramok katalógusa, 1978**

HÍRADÁSTECHNIKA XXX. (1979) 6. sz.

Az összeállítás közli a Budapesti Műszaki Egyetem Híradástechnikai Elektronika Intézete által nyilvántartott híradástechnikai és elektronikai vonatkozású számítógépprogram-nyilvántartás 1978. évi szaporulatát.

**ETO 621.391.63:681.7.068.3**

Dr. Somogyi J.:

**Hírközlés fényvezető kábeleken**

HÍRADÁSTECHNIKA XXX. (1979) 6. sz.

A cikk általános összefoglalását adja a fényvezetőkábeles hírközlés alapvető ismereteinek, irodalmi adatok alapján.

**ETO 621.396.4:621.396.7:654.165**

Szlavicska L.:

**Eljárás az URH rádiótelefon-hálózatok tervezési jóságának kimutatására**

HÍRADÁSTECHNIKA XXX. (1979) 6. sz.

A cikk tervezéselemző eljárást közöl, amellyel megállapítható az URH frekvenciasávban működő földi, mozgó rádiótelefon-hálózatok tervezésének jósági foka. E célból a hálózatok forgalmi frekvenciasáv kihasználási, zavar- és besugárzásjellemzőit elemző, független valószínűségekként kezelhető tényezőket közöl. E tényezők a vizsgált hálózat esetleges tervezési hiányosságainak feltárásán kívül, támpontot nyújtanak az utólagos optimalizálás lehetőségeinek megválasztásában is. A tényezők szorzatfüggvénye, a numerikusan megadható ún. eredő EMC-faktor, a vizsgált hálózat jósági fokát, ún. EMC-hatásfokát tükrözi.

## Обобщения

**ДК 514.174.3:681.3.06**

Кулчар, Г.:

**Алгоритм для покрытия многоугольников при помощи прямоугольных параллелограммов (Подготовка данных с помощью ЭВМ к управлению паттерн генератора)**

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт)
XXX (1979) № 6

Целью статьи является создание такого алгоритма вычисления, который исходя из цифровых координат вершин данной конфигурации, определяет вершины — по возможности в минимальном количестве — прямоугольных параллелограммов, покрывающих данную конфигурацию в нижеследующем смысле. Прямоугольные параллелограммы должны покрывать каждую точку конфигурации, но в то же время не допускается покрытие точек, не принадлежащих данной конфигурации.

**ДК 621.39:681.3.06.(085)**

Д-р Гехер, К.:

**Каталог программ вычислительных машин 1978**

HIRADÁSTECHNIKA (ХИРАЦАШТЕХНИКА, Будапешт)
XXX. (1979) № 6.

Составление дает прирдст вг. 1978 ведомдсти программ вычислилехъных масин касюхся техники связи и злекртоники, изготовленной Инстнтутом Связи и Злектронники Будапестскдго Технического Удиверситета.

**ДК 621.391.63:681.7.068.3**

Д-р Шомодьи, Й.:

**Связь по оптическим кабелям**

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт)
XXX (1979) № 6

В статье на основе литературных данных дается всеобщее обобщение основных знаний связи по оптическим кабелям.

**ДК 621.396.4:621.396.7:654.165**

Славичка, Л.:

**Метод для установления доброкачественности проектирования УКВ радиотелефонных сетей**

HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт)
XXX (1979) № 6

Излагается метод анализа проектирования с помощью которого устанавливается степень доброкачественности проектирования земных, подвижных, радиотелефонных сетей, работающих в диапазоне УКВ. Приводимые для этой цели коэффициенты анализа — характеризирующие использования рабочего диапазона частот, помехи и территории покрытия — могут рассматриваться как независимые вероятности. Данные коэффициенты, кроме обнаружения возможных недостатков проектирования исследуемой сети, являются основой и для выбора возможности дополнительной оптимизации. Произведение коэффициентов — которым можно задаваться в численной форме — представляет собой результирующий ЕМС фактор и отражает степень доброкачественности исследуемой сети, которой называется ЕМС к. п. д. сети.

## Zusammenfassungen

**DK 514.174.3:681.3.06**

Kulcsár, G.:

**Algorhythmus für die Bedeckung von Polygonen mit Rechtecken. (Datenvorbereitung mit Computer zur Steurung von Patterngeneratoren)**

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXX. (1979) Nr. 6.

In dem Aufsatz wird die Herstellung solchein Algorhythmus beschrieben, welcher von den digitalisiertzen Koordinaten der Gipfelpunkte der Konfiguration ausgehend, die Gipfelpunkte möglichts von Minimalnummer-Rechtecken, die die Konfiguration in unten folgendem Sinne bedecken, bestimmt.

**DK 621.39:681.3.06(085)**

Dr. Géher, K.:

**Rechnerprogramm-Katalog, 1978**

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXX. (1979) Nr. 6.

In der Zusammenstellung wird der Zuwachs der in den Rechnerprogramm-Kartei des Instituts für Nachrichtentechnik und Elektronik der Technischen Universität Budapest registrierten Rechnerprogramme für Nachrichtentechnik und Elektronik bekanntgegeben.

DK 621.391.63:681.7.068.3

Dr. Somogyi, J.:

**Nachrichtenübertragung durch Lichtleiterkabeln**

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXX. (1979) Nr. 6.

In dem Aufsatz wird auf Grund literarischen Angaben eine allgemeine Zusammenfassung der grundlegenden Kenntnissen von Nachrichtenübertragung durch Lichtleiterkabeln, gegeben.

DK 621.396.4:621.396.7:654.165

Szlavicska, L.:

**Verfahren zur Darstellung der Güte des Entwurfes von UKW Radiotelephonnetzen**

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXX. (1979) Nr. 6.

In dem Aufsatz wird ein Entwurf analyisierendes Verfahren mit welchem der Gütegrad von mobilen Boden-Radio Telephonnetzen, die in dem UKW-Frequenzbandgebiet funktionieren, erörtert. Für diesen Zweck werden unabhängige, als Wahrscheinlichkeit behandelbare Faktoren, welche die Ausnützung-, Störung und Bestrahlungskennwerte der Verkehrfrequenzbänder analysieren, dargestellt. Diese Faktoren geben neben der Aufdeckung der eventuellen Mangelhaftigkeiten des Entwurfes des geprüften Netzes, einen Anhaltspunkt für die Wahl der Möglichkeiten der nachträglichen Optimailisierung. Die Produktfunktion der Faktoren, der nummerisch angebbare, sogenannte resultierende EMC Faktor wiederspiegelt den Gütegrad des Netzes, den sogenannten EMC Wirkungsgrad.

## Summaires

UDC 514.174.3:681.3.06

Kulcsár, G.:

**Algorythm to Cover Polygones by Rectangulars (Computer aided data preparation for pattern generator control)**

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXX. (1979) No. 6.

The paper describes the formation of such an algorythm, which determins the stationary points of, possibly minimal number of rectangulars covering the configuration in the following sense. The rectangulars have to cover all points of the configuration but at the same time they are not allowed to cover points not belonging to it.

UDC 621.39:681.3.06(085)

Dr. Géher, K.:

**1978 Computer Programme Catalogue**

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXX. (1979) No. 6.

The catalogue presents the increase of the register of the computer programmes regarding telecommunication and electronic engieering recorded by the Institute of Telecommunication and Electronics of the Technical University of Budapest.

UDC 621.391.63:681.7.068.3

Dr. Somogyi, J.:

**Communication Over Light Conducting Cables**

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXX. (1979) No. 6.

The paper gives a general summary of the basic knowledge of light condcuting cable communication, on the basis of literary data.

UDC 621.396.4:621.396.7:654.165

Szlavicska, L.:

**Procedure to State Quality of Design for UHF-Radio Telephone Networks**

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXX. (1979) No. 6.

The paper presents a design analysing procedure, by means of which the quality-grade of design for terrestrial mobile radio telephone networks, operating on the UHF-frequency range, can be stated. For this reason independent factors, which can be treated as probabilities, analysing the characteristics of utilization-, interference and radiation of the traffic frequency band of networks are described. Besides the statement of possible imperfectnesses of the desing, of the examined network a basis for the selection of possibilities of the subsequent optimailization is also given. The product function of the factors, which can be given numerically, the so-called resultant factor EMC, reflects the Q-grade of the examined network, the efficiency of the so-called EMC.

## Résumés

CDU 514.174.3:681.3.06

Kulcsár, G.:

**Algorithme pour le recouvrement des par des rectangles (Traitment des données par ordinateuer pour commander un générateur a configuration d'impulsion)**

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXX. (1979) No. 6.

L'article s'occupe d'engendrement d'un algorithme, qui en partant des coordonnées numeriques des sommets d'un polygone, détermine les sommets á nombre minimum autant que possible qui recouvre la forme dans le sens suivant. Les rectangles doivent recouvrir tout les points du polygone en même temps ils ne sont pas permis de recouvrir les points n'appartenant á cette forme.

CDU 621.39:681.3.06(085)

Dr. Géher, K.:

**Catalogue des programmes pour ordinateurs, 1978**

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXX. (1979) No. 6.

La composition donne l'augmentation en 1978 du registre des programmes pour ordinateurs, concernant la technique de la télécommunication et électronique compilé par l'Institut pour Télécommunication et Electronique de l'Université Technique de Budapest.

CDU 621. 391.63:681.7.068.3

Dr. Somogyi, J.:

**Télécommunication sur câbles optiques**

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXX. (1979) No. 6.

En résumant des données publiées dans la bibliographie, l'article fournit des connaisances de base de télécommunication sur câbles optiques.

CDU 621.396.4:621.396.7:654.165

Szlavicska, L.:

**Méthode à indiquer la qualité du dessin des réseaux radiotéléphoniques O. U. C**

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) XXX. (1979) No. 6.

L'article présente une méthode d'analyse par laquelle on peut déterminer la qualité du dessin des réseaux radiotéléphoniques terrestres mobiles fonctionnant dans la bande O.U.C. Pour ce faire, il donne des facteurs analysant des paramètres de l'exploitation de bande trafic, de bruit et d'irradiation qui peuvent être considérés comme probabilités indépendantes. En outre de révéler l'imperfection de dessin éventuel du réseau examiné, ces facteurs fournissent une base aussi pour choisir les possibilités d'optimalisation postérieures. La fonction de produit des facteurs, le facteur resultant EMC, qui peut être numeriquement fournie refléte le facteur de qualité du réseau, dit le rendement EMC.

184 — 190 ig.

# KULCSOT ADUNK ÖNNEK A GAZDASÁGI SIKERHEZ!

Ügyfeleink véleménye bizonyítja, hogy

**hirdetéseink EREDMÉNYESEK!**

Várjuk szíves érdeklődését: Lapkiadó Vállalat
Hirdetési Osztály, 1076 Budapest, Garay u. 5.
Szakelőadó: Hampó Józsefné, 415-582