

A fényvezető-technika bevezetésének gazdaságossága

HORVÁTH GÁBOR —
MÁRKUS EDIT —
DR. SALLAI GYULA
POSTA KÍSÉRLETI INTÉZET

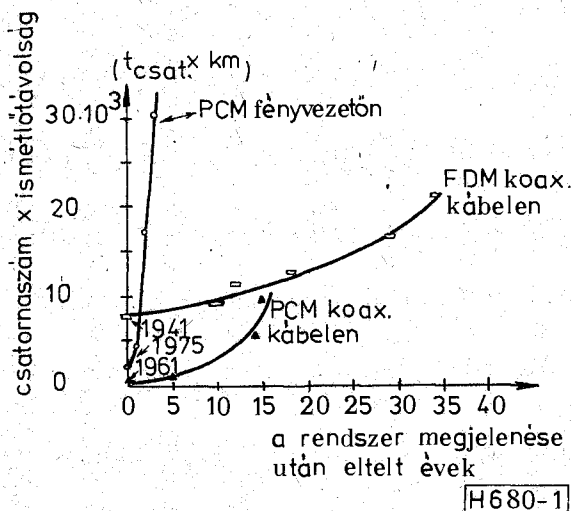
Az optikai úton történő információátvitel elvi alapjait Debye és Hondros 1910-ben megjelent [1], dielektrikum hullámvezetőben való hullámterjedés elmélete vetette meg. Az elmélet első kísérleti igazolását Schriever jelentette meg 1920-ban [2].

Később további közlemények jelentek meg a direkt képtovábbítás formájában, szálkötegen történő információátvitelről.

Ez az út azonban a távközlésben nem volt járható, mivel a használatos elektronikus rendszerekhez nem illeszthető. A hatvanas évek elején a kutatók érdeklődése az optikai átvívó közeg — azaz a fényvezető — felé fordult. A szál és a megfelelő optoelektronikai elemek párhuzamos fejlődése révén a fényvezetőket már illeszteni lehetett a meglévő elektronikus hálózathoz. Nem egészen 5 év alatt létrejöttek az első kísérleti összeköttetések, és ezzel megteremtődött a reális lehetősége egy nagy átviteli kapacitású, kis helyigényű összeköttetésnek, amely illeszkedik a digitalizálási tendenciához, és további fejlesztési lehetőségeket rejt magában. Jelen cikket abból a célból készítettük, hogy a gazdaságosság szempontja alapján összevessük a fényvezetőt a fém átviteli utakkal.

A gazdaságossági számításoknál, ahol létezik, a jelenlegi hazai árakat vettük figyelembe. Ezek mellett is gazdaságosnak tűnik a fényvezetős átviteli út, ha negyedrendű digitális átvitelt alkalmazunk. Tercier szintű digitális átvitel esetén gazdaságos és a hagyományos rendszerekkel is versenyképes alternatívaként kínálkozik a fényvezető abban az esetben, ha a rendszer a jelenlegi árak feléért beszerezhető. Az árak rohamos csökkenése az új technológiák kezdeti stádiumában nem ismeretlen, így az eddigi fejlődés [3] alapján elképzelhető, hogy akár néhány éven belül ez az átviteli út nagy jelentőségű lesz a távközlésben (1. ábra).

A gazdasági megfontolások remélhetőleg segítik az üzemeltetőket a jövőbeni alkalmazási terület megválasztásában, a gyártókat a távlati gyártmányfejlesztés meghatározásában és annak a kérdésnek a megválaszolásában, hogy érdemes-e egyes részlelmek későbbi hazai gyártásával foglalkozni.

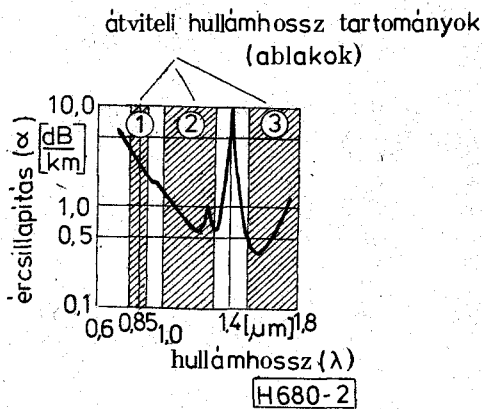


1. ábra. Koaxiális és fényvezető kábeles átviteli utak fejlődésének összehasonlítása az első rendszer megjelenésétől számított évek alatt

I. Fényvezető összeköttetés elvi felépítése

A fényvezető-kábeles összeköttetések kialakítását az tette lehetővé, hogy sikerült olyan nagy tisztaságú alapanyagot előállítani, amelyből igen jó átviteltechnikai tulajdonságú fényvezető éret lehetett húzni.

Természetesen ahhoz, hogy információt lehessen átvinni a fényvezető éren, ennek geometriájához jól illeszthető fényforrásokat és fényérzékelőket kellett kialakítani, amelyek alkalmasak az adott jelek hű elektromos fény átalakítására. Erre a célra a GaAs alapanyagú félvezető diódák látszottak legalkalmasabbnak. Ebből az anyagból készült félvezető elemek egyik sajátossága, hogy 800–900 nm hullámhosszon sugároznak, illetve érzékelnek legjobb hatásfokkal. Döntően ez határozta meg az első generációs fényvezetős rendszerek hullámhosszát 850 nm táján.



2. ábra. Kereskedelmi forgalomban kapható fényvezető ér csillapítás-hullámhossz függvénye

Egy gyártó cég spektrális csillapítás-mérésének eredményét mutatja a 2. ábra, amely $\alpha=f(\lambda)$ függvényét tartalmazza.

Ebből a bevezetéből már kitűnik, hogy a fényvezető összeköttetések döntően a vezető közeg anyagában térnek el a hagyományostól, valamint abban, hogy a hordozó vivőfrekvencia előállítás és modulálhatósága céljából az elektromos jeleket fényre kell alakítani, illetve reprodukálni.

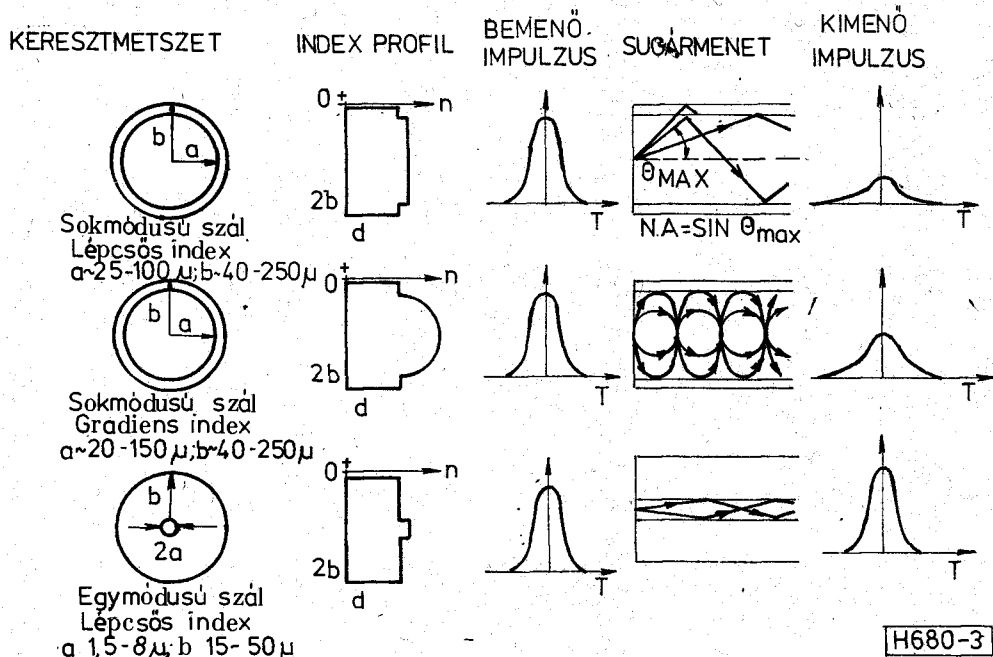
nat, amely megakadályozza a felületi hajszálrepedések kialakulását (4. ábra).

Ezt követően a fényvezető ereket további műanyag köpennyel látják el, amely a konstrukció kialakításától függően szorosan vagy lazán (lötyögően) illeszkedik az ér felületére. A kábelezési művelet már hasonló a hagyományos kábelek kialakításához, azzal a különbséggel, hogy a kábelekbe olyan szilárdságfelvevő ereket kell beépíteni, amelyek a húzási és hajlítási igénybevételekkel szemben fokozzák az erek védelmét. Ilyen kábelstruktúrákat mutat be az 5. ábra. A felhasználástól függően (behúzó, páncélos, légkabel) a további mechanikai védelemmel való ellátás a hagyományos kábelek mintájára történik.

1.2 Optikai végberendezések

A fényvezetős összeköttetések átviteli közege a fényvezető ér, melyhez az információt tartalmazó modulált fényjeleket az optikai adók és vevők állítják elő, illetve reprodukálják.

Ezeknek a berendezéseknek a funkciói a fényelektromos átalakításon kívül a vivőfrekvenciának használt fény modulációja, valamint a fényforrás igényeinek megfelelő átkódolás. Mivel rendszereink-



3. ábra. Különböző típusú fényvezetők összehasonlítása: a — magátmérő, b — az ér átmérője

1.1 Kábel típusok

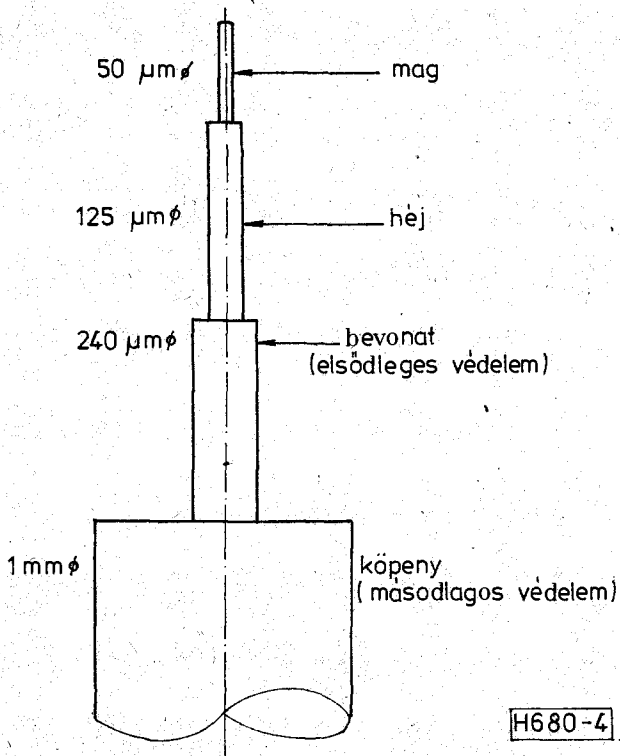
A fényvezető száltípusokról e folyóiratban megjelent cikk [12] közölt bővebb ismertetést. Emlékeztetőül a 3. ábrán foglaljuk össze ezek legfontosabb jellemzőit.

A fényvezető ereket ahhoz, hogy szerelhetőek, mechanikailag igénybevehetőek legyenek, megfelelő védelemmel, köpenyezéssel kell ellátni.

Az első ilyen jellegű védelem a fényvezető éren található néhány száz nanométeres műanyag bevo-

ben csak PCM-átvitelt képzeltünk el, ezért a további megállapítások csak ezekre a rendszerekre vonatkoznak.

Ilyen PCM-jelek átvitelére alkalmas optikai végberendezés és ismétlő tömbvázlatát mutatja a 6. ábra. A felhasznált fényelemek az adó- és vevőoldalon különböző típusúak lehetnek, s ezek fajtáját az összeköttetés minőségével szemben támasztott követelmények határozzák meg.

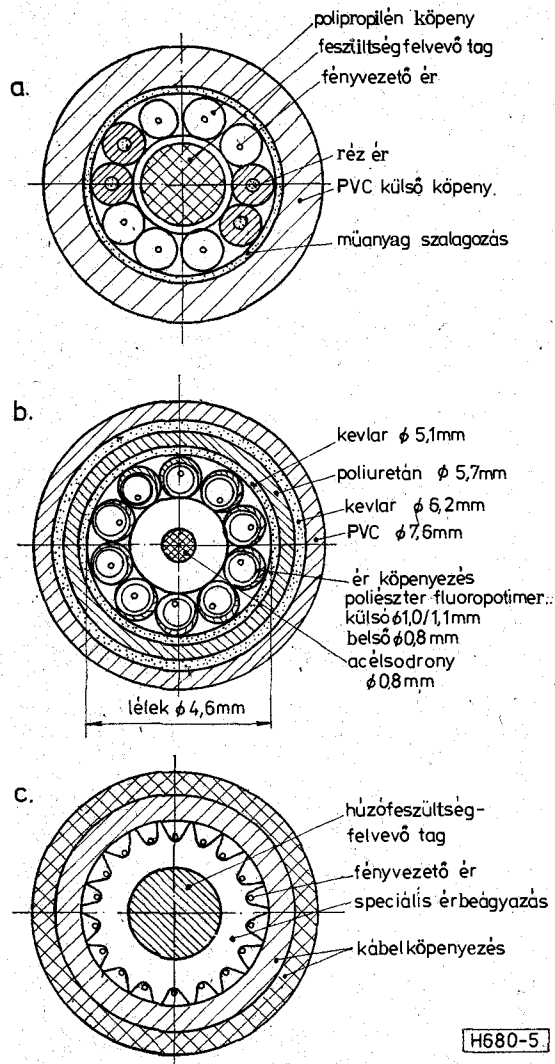


4. ábra. Védelemmel ellátott fényvezető ér szerkezete és méretei

1.2.1 Adóelemek

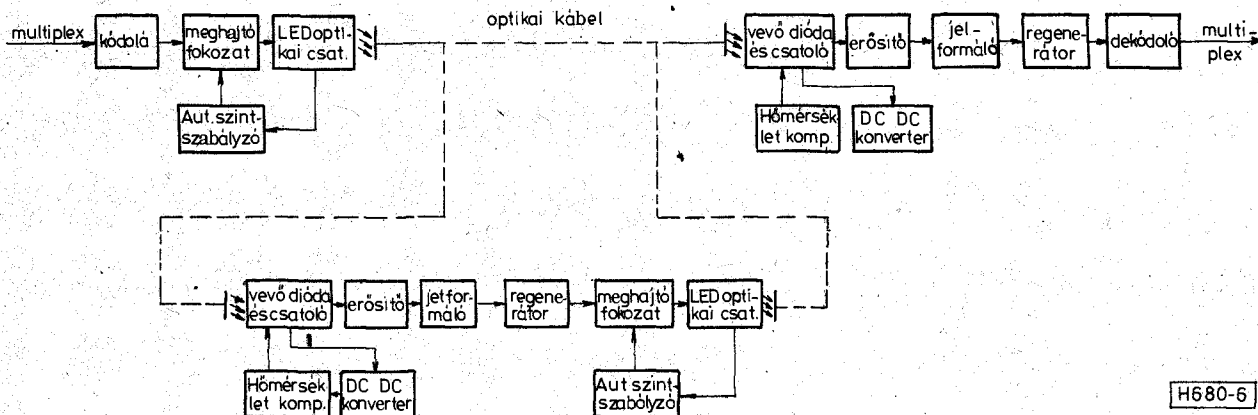
A fény elektromos átalakításra fényforrásként általában félvezető lasert (LD) vagy fényemittáló diódát (LED) használnak. Alkalmazásukkor azonban figyelembe kell venni a következő minőségi követelményeket:

- minél nagyobb kimenő teljesítmény a minél hosszabb, ismétlődő nélküli szakasz elérésére;
- nagyfokú modulációs érzékenység kis impulzusfelfutási idővel;
- nagy frekvenciastabilitás, kis spektrumszélesség, s minél jobb nyalábkonvergencia;
- hosszú élettartam, nagy megbízhatóság;
- kicsi, a fényvezető érhez jól illeszthető fényemittáló felület, jó csatlakoztathatóság;



5. ábra. Példák a különböző típusú fényvezető kábelekre a) hagyományos típusú, szoros szerkezetű kábel+rézerek b) erősített laza szerkezetű kábel, c) speciálisan kialakított laza szerkezetű fényvezető kábel

- jó illeszthetőség az integrált logikai elemekhez, kis működtető feszültség;
- kedvező ár.



6. ábra. Digitális optikai rendszer tömbvázlata

Az LD és LED összehasonlításakor megállapíthatjuk a következőket:

- impulzusmodulációnál a lascr diódával kb. egy nagyságrenddel nagyobb modulációs sebesség érhető el;
- a lasernek kisebb a spektrum szélessége és a fénykibocsátási szöge;
- a maximális vezérlőáram másképp alakul lasernél és LED-nél. Általában a laserek kisebb csatlózási veszteségeinek következtében jobb hatásfokkal lehet a fényt az érbe juttatni, s ehhez kisebb vezérlő áram is szükséges. A gerjesztési folyamat megindításához azonban egy minimális előfeszítés szükséges, ami rendszerint nagyobb áramokat igényel, mint a kis teljesítményű LED-ek;
- az eddigiekből következik, hogy azonos fényteltjesítmény esetén is laserrel nagyobb az áthidalható távolság;
- a LED élettartama jelenleg kedvezőbb, bár a rohamos fejlesztés következtében pár év múlva elképzelhetően ugyanekkora, kb. 10^5 óra lesz a laserdiódáké is;
- a költségtényező szintén a további fejlesztés függvénye, és mivel azonos minőségű LED és félvezető laser nem létezik, ezért igen nehéz a minőségi és költségtényezőket összevetni, azonban ez a költségdifferencia nem lényeges.

Végkövetkeztetésként megállapítható, hogy a félvezető lasernek olyan minőségi jellemzői vannak, amelyek a későbbiek folyamán indokolttá teszik elektromos-fény átalakítóként való felhasználását, amennyiben az élettartam- és árproblémák ezt nem korlátozzák.

1.2.2 Vevőelemek

A fény-elektromos átalakítók feladata a fényvezető végén megjelenő csillapodott fény érzékelése, s az érzékelt jel szintjével arányos elektromos jelek előállítása. Ezt a feladatot olyan fotodetektorok képesek teljesíteni, amelyek igen érzékenyek, zavarmentesek, jól illeszthetők a fényvezető érhez, s megbízhatóan működnek legalább 10^5 óra időtartamig.

Az átviteli út végén a vevőnek lehetőleg nagy érzékenységűnek és határfrekvenciájúnak kell lennie. Ennek elérésére kis geometriai méretek, megbízható és egyszerű felépítés szükséges. Ezeket a követelményeket csak zárórteges fotodetektorokkal lehet teljesíteni. Bár ezekről már jelentek meg ismertetések, a fényvezető átvitelhez alkalmazható diódák tulajdonságait röviden összefoglaljuk.

A gyors fotodetektoroknál ügyelni kell arra, hogy a zárórtegek kapacitása a lehető legcsekélyebb maradjon. A dióda kapacitása ugyanis meghatározza a határfrekvenciát. Ezt a tulajdonságot a detektor kis aktív felületének kialakításával érik el. Gyakorlatilag max. $100 \mu\text{m}$ hatásos felület-átmérőjű diódát alkalmaznak, amelyet kedvezően lehet a fényvezetőhöz csatlakoztatni. Két különböző működési elvű diódafajta alkalmazható eredményesen, a PIN-diódák és a lavina-fotodiódák (APD-k). Az APD-nél általában paraméterként adják meg:

- a letörési feszültséget,

- a legnagyobb érzékenységhez tartozó hullámhosszat,
- a max. erősítési tényezőt,
- az erősítés – sáv szélesség szorzatot,
- a zajtényezőt.

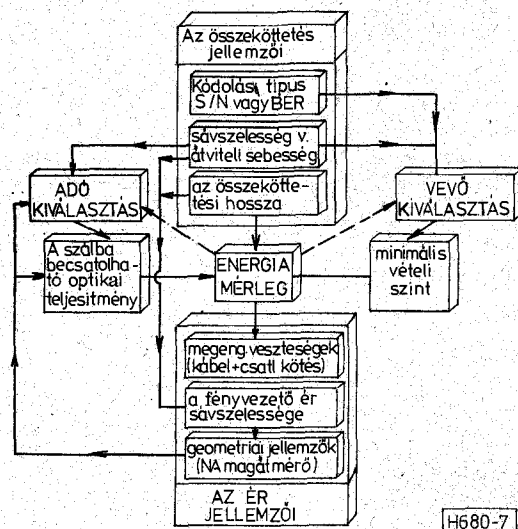
Az optikai vevőkhöz tehát a legjobb detektor kiválasztása érdekében meg kell határozni a fényforrás hullámhosszát s az átviteli sáv szélességet. A kiemeneti jelszint viszonylag nagy, valamint a zajtényező kis értéke mellett jó eredményeket lehet elérni az APD-vel. A 840–940 nm tartományban a GaAs heterodiódák a legalkalmasabbak. 1000 nm hullámhossz felett a GeInP és GaSb alapú PIN-diódák szerepe a legjelentősebb.

1.3 Kiválasztási szempontok

Hírközlési összeköttetés elemeinek kiválasztásánál általában elsőrendű szempont, hogy a rendszer funkcióiban megfelelően a célkitűzéseknek, valamint megbízhatóan, gazdaságosan üzemeltethető legyen. A gazdaságossági számításokat a cikk 3. fejezete tartalmazza, ezért itt csupán azokat a műszaki szempontokat ismertetjük, melyek egy pont – pont közötti optikai összeköttetés elemeinek kiválasztásánál szerepet játszanak.

Az összetevők kiválasztásának egyik lehetséges módszerét mutatja be a 7. ábra döntési folyamat-ábrája, mely az összeköttetés optikai végberendezéseit és a fényvezető kábelt veszi figyelembe [7].

A megbízhatósági, minőségi követelményeket elsősorban a kapcsolódó végberendezésekkel, multiplexszel összhangban kell megállapítani. A CCITT által a PCM multiplex berendezésekre előírt ajánlásokat az optikai végberendezéseknek is teljesíteniük kell.



7. ábra. Optikai átviteli út részlemeinek kiválasztási folyamat-ábrája

A rendszer sáv szélességét az átviteli sebesség határozza meg. Ez az optikai elemek és a fényvezető kábel kiválasztását is befolyásolja, de az összeköttetés hossza is meghatározó tényező.

A kábel csillapítása megszabja a végberendezésben alkalmazható fényforrások és fényérzékelők fajtáját, valamint az ismétlők számát, amelyeknek kiválasztását, a műszaki szempontokon túlmenően, jelentősen befolyásolják a gazdasági optimalizálási számítások is.

2. Összeköttetés tervezése

Összeköttetések tervezésekor az optikai átviteli út jelenlegi vagy jövőbeni lehetőségeit kell összeegyeztetnünk a távközlőhálózatban felmerülő igényekkel. A fényvezető rendszer fentebb tárgyalt műszaki jellemzőin kívül tekintetbe kell vennünk a hazai hálózat sajátosságait is. Ezt az alkalmazási terület helyes kiválasztásával érhetjük el. Ezután foglalkozhatunk csak a részletesebb tervezéssel, méretezési kérdésekkel, illetve egy konkrét szakasz méretezésével.

2.1 Az alkalmazási terület kiválasztása

A hálózatban való alkalmazásnál csak olyan összeköttetéseket vehetünk számításba, ahol szükséges és indokolt egy legalább 480 csatorna kapacitású rendszer. Ugyanakkor nagy előnye a rendszernek, hogy a helyigénye minimális, pl. egy 4 érpáras, azaz 960 csatornás optikai kábel helyigénye egy 5×4 -es, azaz 20 beszédcsatornát átvivő kábelnek felel meg.

Elvileg a lehetőségek a következők:

A helyi hálózatban az átkérő és előfizetői törzshálózat kábeli, a helyközi hálózat gerinchálózatában és a rurálhálózat góc- és végközpont közötti összeköttetéseiken lehet igény ilyen kapacitásra [10].

A helyi hálózatbeli alkalmazás mellett szólnak a kisebb távolságok (ez a jelenlegi ismétlőtávolságok miatt előnyösebb), a nagyvárosi hálózat zsúfoltsága, illetve az alépitmény-építés, útfelbontás stb. nehézségei (helyigény). Az optikai kábel alkalmas az átkérőhálózatban a régi előregedett átkérőkábelek kiváltására, valamint meglévő központok igénynövekedésének kielégítésére és az új kihelyezett központok bekötésére. Az előfizetői törzshálózatbeli alkalmazhatóságnak jelenleg műszaki korlátai vannak, mivel nincs olyan felügyelet nélkül üzemelő PCM berendezés, amely kihelyezhető a törzskábelek végpontjaira. Távlati fejlesztésben azonban itt is van lehetőség az optikai átviteli út alkalmazására. Az elosztó hálózatbeli alkalmazás csak az egészen távoli jövőben képzelhető el, olyan előfizetői igénynövekedés esetén, mint pl. videotelefon, vezetékes televízió stb.

A helyközi hálózatban a gerinchálózatbeli alkalmazás ellen szólnak a következő indokok:

A gerinchálózatban jelenleg jó állapotban levő és az igényeket megfelelően kielégítő koaxiális kábelhálózat áll rendelkezésre, fejlesztése fényvezetővel az elkövetkező években nem lenne indokolt. Távolabbi fejlesztés esetére azonban meg kell kockáztatnunk azt a jóslatot, hogy a fényvezető rendszer feltétlenül versenyképes lesz a jelenlegi koaxiális kábelekkel. Néhány éven belül reális alkalmazási lehetőségei lesznek az ún. második generációs rendszereknek, ahol a kisebb szálcsillapítás nagyobb ismétlőtávolságot enged meg. Erre az időre a fényvezető rendszerek a

távolsági összeköttetések nagyobb követelményeit is elérik. A helyközi hálózatban a rurálhálózatbeli alkalmazásnak, a góc-végközpontok közötti összeköttetések fényvezető megoldásának nagyobb lehetősége van. Ezt azonban feltétlenül alá kell támasztani olyan gazdasági számításokkal, amelyekben az igénynövekedést is számításba vesszük.

A fenti szempontok alapján a fényvezető átviteli útnak a legközelebbi jövőben alkalmazási lehetősége nyílhat a budapesti átkérőhálózat fejlesztése során, ha ezt gazdaságossági indokok is alátámasztják, s feltételezzük, hogy alkalmazható majd a rurálhálózatban. Más hálózati síkon való alkalmazáshoz még bizonyos megbízhatósági és műszaki paraméterek javítására van szükség, ezért a fejlesztésben távlati lehetőségként kell tekintetbe vennünk.

2.2 Szakaszméretezés

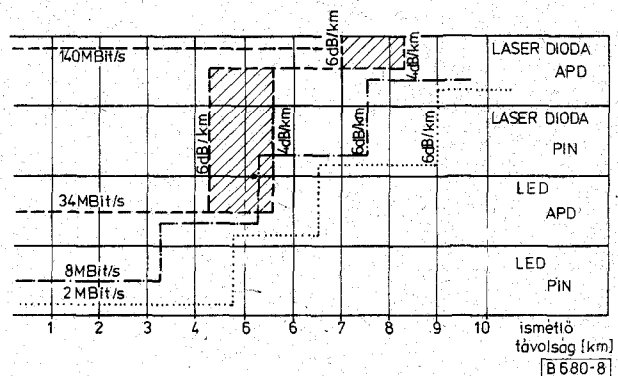
Mint minden más információt átvivő rendszernek, úgy a fényvezető átviteli összeköttetéseknek is határt szab az optikai elemek teljesítőképessége, a rendszer csillapítása, frekvenciaátvivő képessége, valamint ennél az új átviteli formánál az impulzus-szórás is, amely szintén korlátozza az áthidalható távolságot.

Az átvinni kívánt frekvenciasáv és az áthidalható távolság meghatározza az alkalmazható fényforrások és fényérzékelő elemek, valamint a fényvezető kábel típusát. Rövidebb, 1–2 km-es szakaszokra, pár MHz-es sáv átvitelére LED és PIN diódák alkalmazása is megfelelő. Szélesebb sávú (34 vagy 140 Mbit/s sebességű PCM) átvitel céljára és nagyobb távolság (6–8 km) áthidalására csak LD és APD használható fel.

A szakasz méretezését megkönnyítheti egy olyan diagram (8. ábra), amely megadja az ismétlő nélküli áthidalható, illetve az ismétlőtávolságot az alkalmazott fény-elektromos átalakítók és a bitsebesség függvényében, egy adott kábelcsillapítást feltételezve [4].

Miután ebből meghatároztuk a fényelemek típusát, katalógusadatokból felvehetjük a fényforrás átlagos teljesítmény-, valamint a vevődióda minimális vérteli szintjét. E két érték határozza meg azt a csillapítástartományt, amelyen belül a rendszer méretezésekor gazdálkodhatunk.

Ezek után összegezni kell azokat a részcsillapítás-értékeket, amelyek a kábel kilométerikus értékéből,



8. ábra. Lépcsős diagram az optikai elemek kiválasztására az ismétlési távolság és a bitsebesség függvényében

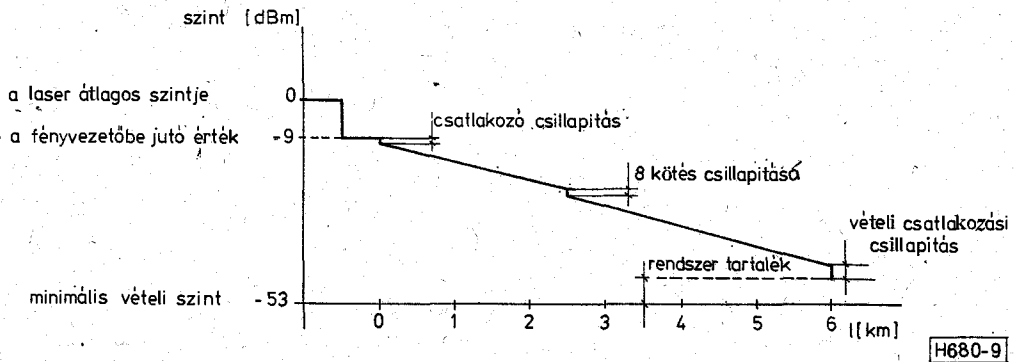
a ki- és becsatolásból, valamint a kötések, csatlakozók csillapításából adódnak.

Mivel az érzékelő elem minimális vételi szintje alatt érkező jel esetén a hibaarány megengedhetetlenül rossz lehet, ezért ennek a lehetőségnek a kizárására annyi rendszertartalékot kell betervezni, amennyi szélsőséges üzemi körülmények között is biztosítja a vételi feltételeket. Itt elsősorban a fényforrás feszültség- és klímaérzékenysége játszik szerepet, amely azonban megfelelő szabályzókörök kialakításával minimálisan csökkenthető. Elérhető, hogy 3–4 dB rendszertartalék elegendő egy pont–pont közötti ismétlődő nélküli összeköttetésnél.

A szakaszméretezés szempontjait figyelembe véve készítettük el egy 6 km hosszúságú kísérleti összeköttetés csillapítástervét is, amely most már szám- szerű értékekkel a következőképpen alakult:

6 km-es szakaszra olyan csillapításkiosztást lehet elkészíteni, amelynek kiinduló adatai a következők:

laser átlagos adószintje	0 dBm,
átlagos kábelcsillapítás	5 dB/km,
csatlakozási veszteség	0,8 dB/csatlakozó,
kötési veszteség	0,2 dB/kötés,
minimális vételi szint	–53 dBm,
laser-szál csatolási veszteség	9 dB,
APD-szál csatolási veszteség	2,5 dB!



9. ábra. Példa egy 6 km-es fényvezető-összeköttetés csillapításkiosztására

A teljes hosszakra számolva:

kábelcsillapítás	$6 \times 5 = 30$ dB,
kötéscsillapítás	$8 \times 0,2 = 1,6$ dB,
csatlakozó csillapítás	$2 \times 0,8 = 1,6$ dB,
csatolási csillapítás	$9 + 2,5 = 11,5$ dB,
összes csillapítás	<u>44,7</u> dB.

Ezekből az értékekből adódik, hogy 0 dBm átlagos adási szint és –53 dBm minimális vételi szint esetén a rendszertartalék 8,3 dB, ami megfelel 1,6 km kábelcsillapításnak. Ezeket az adatokat a 9. ábra szintdiagramja foglalja össze.

3. Gazdasági számítások

A műszaki megfontolásokon kívül gazdaságossági számításokat is végeztünk abból a célból, hogy alátámasszuk a fényvezetős összeköttetés létjogosultsá-

gát. A gazdaságossági szempontok alapján lehet megítélni, hogy a fényvezető csak műszaki érdekesség marad, vagy van reális esélye arra, hogy kiszorítson hagyományos átviteli utakat. Bár speciális kényszerítő körülmények miatt az általános esetben költségesnek bizonyuló megoldásokat is alkalmazhatjuk, de egy új rendszer igazi betörése csak akkor várható, ha a jobb műszaki paraméterek mellé legalább azonos gazdaságossági mutatók társulnak a tömeges alkalmazási területen.

3.1 A számítások módszere

Jelen számításokat első közelítésnek szántuk, csak statikus modell alapján számoltunk, nem vettük figyelembe az igénynövekedés hatását a gazdaságosságra, és elhanyagoltunk egy másik lényeges szempontot is, a fenntartási költségeket. Ezeknek a figyelembevétele a számítások további finomítására ad lehetőséget, és véleményünk szerint a fényvezetős átviteli út javára befolyásolja az eredményeket.

A számításokat az egyszeri beruházási összegek alapján az intézetben készített SELECS átviteli rendszerválasztó programmal végeztük, amely két végpont, pl. távbeszélőközpont között lehetséges különböző átviteli utak közül választja ki a minimális költségűt. A program gazdaságossági szempontok alapján választ, műszaki megkötéseket nem

vesz számításba. Kivételt képez az egyes rendszerekre definiálható minimális és maximális csatornaszám, valamint minimális és maximális hossz, amely határokon kívül az adott rendszer nincs értelmezve.

Az összehasonlító rendszerek megválasztása a felhasználó feladata. Alapos megfontolást igényel annak megítélése, hogy melyek a műszakilag egymást helyettesítő rendszerek, tudva azt, hogy két műszakilag azonos megoldás szinte nincs, de adott feladat megoldására különböző előnyökkel és hátrányokkal járó alternatív megoldások léteznek.

Egy rendszer K költségét a következő összefüggés alapján számítjuk:

$$K = \sum_{r=1}^G \left[-\text{ent} \left(-\frac{N}{V_r} \right) \right] |C_r| f(a_r),$$

ahol: N a csatornaszámigény,

G a rendszerelemek száma, $r=1, \dots, G$,
 V_r az r -edik rendszerelem egységkapacitása,
 C_r az r -edik rendszerelem egységköltsége,
 a_r az r -edik rendszerelem rendszerteknikai szerepét meghatározó kód.

A rendszerteknikai szerep és a megfelelő f költségfüggvény a következő lehet:

- végponti, egy vagy két végpontos,
- vonali, hosszal arányos,
- ismétlő jellegű, távolságtól lépcsősen függő.

A program a képlet alapján számítja a megadott L átviteli úthosszhoz és N csatornaszámhoz tartozó összköltséget minden egyes rendszerre, amely az összehasonlításban részt vesz, majd a minimális költségű rendszert kiválasztja.

Az összehasonlítást a távolság és a csatornaszám függvényében végzi. A felhasználó választja meg a vizsgálandó távolság és csatornaszám tartományt.

Az összehasonlítás eredményeképpen minden vizsgált távolság–csatornaszám párhoz tartozó minimális költségű rendszer kódszáma egy N , L paraméterű táblázatban úgynevezett „térképen” jelenik meg. Két rendszer kritikus távolsága adott csatornaszám esetén az a távolság, ahol az egyik rendszer kódja felváltja a másikat. A kritikus távolság pontossága a táblázat távolságleptékétől függ.

3.2 Az összehasonlítandó rendszerek

Jelen tanulmányban csak az átkérő hálózat fejlesztésénél, valamint az új, kihelyezett központok telepítésénél szóba jövő vezeték megoldásokat hasonlítjuk össze az optikai kábellel.

A budapesti hálózat fejlesztési tervei [10] előtérbe helyezik a budapesti átkérő hálózat digitalizálását. Ezért az összehasonlított rendszerek többsége digitális modulációs rendszer. Analóg rendszerként, összehasonlítás céljaira csak a hangfrekvenciás rendszer kívánkozik. Nagyvárosi trunkkábelek forgalmának ellátására alkalmas frekvencia-multiplexrendszerünk nincs, ezért beruházási költségeket sem tudunk felvenni.

Bár 1,2/4,4-es 4 vagy 6 csöves kiskoaxiális kábelt, mint városi átkérő kábelt, még nem alkalmaztak digitális átviteli útként, mégis, mivel a rendszer különböző elemeinek költségei ismertek, alternatív megoldásként számításba jöhet, költségei viszonylag jól becsülhetők. Nem tudtuk költségeim a minikoaxiális kábeleket, mivel jelenleg Magyarországon nem gyártják. Az első összehasonlító számításnál a következő átviteli utakat vettük figyelembe (1. táblázat).

1. Új szimmetrikus kábel, hangfrekvenciás átvitel.
2. Új szimmetrikus kábel, hangfrekvenciás áramkörök + primer szintű digitális átvitel.
3. Meglevő kábel, hangfrekvenciás áramkörök + primer szintű digitális átvitel (5 évnél nem régebbi kábel).
4. Meglevő kábelen primer szintű digitális átvitelrel nyerhető új csatornák (5 évnél régebbi kábel).
5. Kiskoaxiális kábel tercier szintű digitális átvittel.

6. Optikai kábel, LED + APD, tercier szintű digitális átvittel.
7. Optikai kábel, LD + APD, tereier szintű digitális átvittel.
8. Optikai kábel, LD + APD, negyedrendű digitális átvittel.

A 3. és 4. rendszer esetén két különböző alternatívaként vettük figyelembe ugyanazt a műszaki megoldást. A 3. rendszernél – 5 évnél nem régebbi építésű kábel esetén – a $208 \times 4/0,8$ ólomköpenyű behúzókábel értékét 50%-osnak tekintettük, és a kábelár 50%-ával számoltunk, az elérhető „maximális csatornaszámot figyelembe véve.

A 4. rendszerrel – 5 évesnél régebbi kábelek esetén – nem vettünk figyelembe kábelárat, és csak a digitalizálással nyerhető csatornaszám-növekménnyel számoltunk.

Figyelembe kell venni továbbá, hogy a meglévő kábelekre primer szintű digitális átviteli berendezések csak abban az esetben telepíthetők, ha a kábel szigetelési ellenállása legalább megfelelő, azaz

$$R_{sz} > 2000 \text{ Mohm} \cdot \text{km.}$$

3.3 Kiinduló költségadatok

Korábban indokoltuk, hogy miért az átkérő hálózatban vizsgáljuk az optikai összeköttetést, és melyek azok az alternatívák, amelyekkel reális összehasonlításra van alapunk. Néhány szempontot azonban még el kell mondanunk a költségösszetevők megválasztásához.

Olyan átviteli út esetén, amelynek megvalósult vagy tervezett szakasza van, a költségeket valamely megépített vagy építés, illetve tervezés alatt álló rendszer elfogadott költségvetése alapján számoltuk. Építési költségek esetén átlagos költséget, kábelárak esetén a jelenleg érvényes kábelárakat vettük figyelembe. Ez a helyzet az 1., 2. és 3–4. rendszerre, kivétel a túlnyomósos védelem. A túlnyomósos védelem költsége nagyobb, mint a jelenleg már üzemelő rendszerek költsége, mert ezekhez hibafigyelő, illetve távhibabehatároló-rendszer nem tartozik. A túlnyomósos védelem ismétlőtávolságát 5 km-ré számítva a berendezésköltség mint végponti költség és mint 5 km-enkénti ismétlő költség jelentkezik. A szimmetrikus kábelen átvitt digitális átviteli út esetén primer PCM-átvitelt vettünk tekintetbe, mivel ezen a módon nagyobb sebességű digitális átvitelnek kicsi a reális lehetősége.

Minden olyan esetben, ahol a tercier szintű átvitelre műszakilag lehetőség van, csak ezt vettük figyelembe, sőt optikai rendszerek esetén mint távolabbi jövőben megoldható rendszert vizsgáltuk a negyedrendű rendszer gazdaságosságát is. A költségeket a jelenleg rendelkezésre álló tercier rendszerek adatai alapján becsültük meg. Az ismétlő távolságok meghatározásánál a következő műszaki szempontokat vettük figyelembe:

- primer PCM szimmetrikus kábelen való átvitele esetén a jelenleg működő rendszerek ismétlő távolsága kb. 2 km;
- kiskoaxiális kábel esetében a 34 Mbit/s sebességhez tartozó 16 MHz súlyponti frekvenciához tartozó, számított ismétlő távolság 4 km.

A gazdaságossági számítások során összehasonlított átviteli utak

Szám	Meghatározása	Csatorna száma	R E N D S Z E R			Megjegyzés
			Végponti	Hosszal arányos	Ismétlő jellegű	
1	Új, $200 \times 4/0,8$ Qv (töltött terű) kábel, analóg moduláció, hangfrekvenciás tartomány	400/kábel	csatlakozás a switchkábelekhöz	alapépítmény-építés, kábelhúzás, kábelár	kábelkötések, méresek	
2	$200 \times 4/0,8$ új Qv kábel, digitális átviteli út alkalmazásával növelt csatornaszámmal	1200/kábel	primer PCM berendezések, kábelcsatlakozás	alapépítmény-építés, kábelbehúzás, kábelár	kábelkötések, primer PCM ismétlők+építés, szakaszmerések	28 db primer PCM berendezés telepítése kábelenként (empirikus érték)
3	Meglevő $208 \times 4/0,8$ ólomköpenyű kábelek max. kihasználása digitális átvitel alkalmazásával	1200/kábel	csatlakozás költsége, primer PCM berendezések, túlnyomós védelem (10 kábel)	kábelár 50%-a	erősített kábelkötés, túlnyomós védelem (10 kábelhez), primer PCM ismétlők+építés, szakaszmerések	28 db primer PCM berendezés telepítése kábelenként $R_{sz} > 2000$ MΩ·km
4	Meglevő $208 \times 4/0,8$ ólomköpenyű kábelek max. kihasználása digitális átvitel alkalmazásával (csak a csatornaszám-növekménnyel számolva)	780/kábel	csatlakozás költsége, primer PCM berendezések, túlnyomós védelem (10 kábel)	kábelár nincs	erősített kábelkötések, túlnyomós védelem (10 kábelhez), primer PCM ismétlők+építés, szakaszmerések	28 db primer PCM berendezés telepítése kábelenként $R_{sz} > 2000$ MΩ·km
5	1,2/4,4 4 csöves kis-koaxiális kábel digitális átvittel	480/csópár	primer PCM végberendezések, szekunder és tercier multiplexek	egy pár koaxiális csőre jutó kábelár, építés, behúzás	kábelkötések, tercier szintű ismétlők, szakaszmerések, túlnyomós védelem	az elemek rendelkezésre állnak (hazai gyártó)
6	Tercier szintű digitális átvitel optikai kábel, LD adó, APD vevő	480/érpár	csatlakozás, primer PCM végberendezések, szekunder és tercier multiplexek, optikai végberendezések	egy érpárra jutó optikai kábelár, behúzás	kábelkötések, APD+LED ismétlők (tercier), szakaszmerések	importból beszerezhető
7	Tercier szintű digitális átvitel optikai kábel, LD adó, APD vevő	480/érpár	csatlakozás, primer PCM végberendezések, multiplex berendezések, optikai végberendezések	egy érpárra jutó optikai kábelár, behúzás	kábelkötések, APD+LD ismétlők (tercier), szakaszmerések	importból beszerezhető
8	Negyedrendű digitális átvitel optikai kábel, LD adó, APD vevő (műszaki becslés!)	1920/érpár	csatlakozás, primer PCM berendezések, optikai végberendezések (140 Mbit/s)	egy érpárra jutó optikai kábelár, behúzás	kábelkötések, APD+LD ismétlők (quarter), szakaszmerések	

Ez megegyezik a létező tercier alkalmazások ismétlő távolságával is;

- optikai rendszereknél irodalmi adatok alapján becsültük meg az ismétlő távolságot, a 8. ábra alapján.

A kiinduló költségadatokat tartalmazza a 2., 3. és 4. táblázat, végponti, hosszal arányos és ismétlő

típusú költségekre csoportosítva. Az összehasonlításhoz egységnyinek vettük az új $208 \times 4/0,8$ -as ólomköpenyű behúzókábel 1 méterére eső kábelárát.

A megfelelő táblázat részletes költségadataiból a számításoknál azokat vettük figyelembe, amelyek az 1. táblázatban felsoroltunk az adott rendszernél.

Végponti költségek (relatív pénzegység)

	Részlemek (r)	Szükséges végberendezés sz.	Csatorna-szám (V_r)	Költség (C_r)	Megjegyzés
Szimmetrikus érpáros kábel	csatlakoztatás költségei	2	400	12,2	
		2	100	10,2	
		2	200	2,7	
Túlnyomásos védelem	túlnyomás + felügyelő rendszer (10 kábel)	1	12 000	800	(koaxiális k) becült érték (szimmetrikus kábel digitális átvitelrel)
Kiskoaxiális kábel	csatlakozási költségek	—	—	—	nincs becslés
Primer PCM berendezések	végáll. szekrény CMB multiplex betét transzlátor betét állvány nagyfrekvenciás rendező	2	120	65	hazai gyártás + 20% szerelési költség
		2	30	290	
		2	60	245	
		2	120	44	
		2	480	181	
Multiplex berendezések a magasabb szintekhez	multiplex berendezés 2/8/34 Mbit/s multiplex berendezés 34/140 Mbit/s	2	480	510	importajánlat
		2	1 920	800	becült érték
Optikai végberendezések LD-val, 34 Mbit/s sebesség	LD adó + APD vevő + tápegység + csatlakozó + állvány	2	480	972	importajánlat
Optikai végberendezések LED-del, 34 Mbit/s	LED adó + APD vevő + állvány + tápegység + csatlakozó	2	480	750	importajánlat
Optikai végberendezések 140 Mbit/s	LD adó + APD vevő + tápegység + állvány + csatlakozó	2	1 920	1200	becült érték

Hosszal arányos költségek (relatív pénzegység)

	Részlemek (r)	Csatorna-szám (V_r)	Költség (C_r)	Megjegyzés
Alépitmény-építési költségek	új szimmetrikus kábel	400	120	1 km cső átlagos építési költsége
	kiskoaxiális kábel	480	120	
	új szimmetrikus kábel + PCM	1200	120	
Kábelárak	új szimmetrikus Qv kábel	400	800	(analóg átvitel) (+ digitális átvitel esetén) meglévő kábelén történő digitális átvitel költségszámításához egy pár csőre eső költség egy érpárra eső költség (importajánlatból)
	régi ólomköpenyes behúzó kábel	1200	1000	
	kiskoaxiális kábel	480	100	
	optikai kábel	480	400	
Behúzási költségek	Qv kábel	400	11,5	(analóg átvitel)
	kiskoaxiális kábel	480	5	(PCM átvitel esetén)
	optikai kábel	480	5	egy pár csőre eső költség
				egy érpárra eső költség

Ismétlő jellegű (szakaszonként ismétlődő) költségek (relatív pénzegység)

	Részelemek (r)	Ismétlőtávolság (km)	Csatornaszám (V_r)	Költség (C_r)	Megjegyzés
Kábelkötések	Qv kábelhez	0,2	400	8,3	analóg
	ólomköpenyű behúzókábelhez	0,06	1 200	20	digitális erősített kötés túlnyomós védelem esetén
	kiskoaxiális kábel	0,15	480	6	
	optikai kábel (LED)	0,5	480	6	
	optikai kábel (LD)	0,8	480	5	
Túlnyomósos védelem költségei	túlnyomás + felügyelő rendszer (10 kábelhez)	5	4 800 12 000	800	kiskoaxiális
	nyomásmérőhely	0,5	480	6	ólomköpenyű szim. kábel kiskoaxiális
			1 200		ólomköpenyű szim. kábel
Primer PCM átvitel szimmetrikus kábel	regenerátor + felügyelő rend. tartály	2	30	30	
	szekevényépítés	2	330	80	
		2	1 200	44	
Tercier PCM átvitel kiskoaxiális kábel	ismétlő + felügyelő rend. tartály	4	480	75	becsült értékek
	építés	4	480	10	
		4	480	2	
Tercier PCM átvitel optikai kábel	APD+LED esetén ismétlő	5	480	1460	becsült értékek
	LD+APD esetén ismétlő	8	480	1740	becsült értékek
Quarter PCM átvitel optikai kábel	LD + APD esetén ismétlő	5	1 920	2000	becsült értékek
Szakaszmerési költségek	új szimmetrikus kábel	5	400	2	
		2	1 200	5	
	kiskoaxiális kábel	0,15	480	1	
		4	480	6	
	optikai kábel	0,5	480	3	LED (T)
		0,8	480	3	LD (T)
	0,8	1 920	3	LD (Q)	

3.4 A számítás menete

A számításnál a rendszereket 30 km maximális hosszúig értelmeztük, mivel az átkérő kábelhálózatban ez a maximális számításba vehető hossz, a csatornaszámot 400 és 2000 között vizsgáltuk, a távolságot 2 km-enként, a csatornaszámot 200-anként változtatva.

A gazdaságossági számítás első fázisában az 1–8 rendszerek között végeztünk összehasonlításokat.

Egyrészt összehasonlítottuk egymással a szimmetrikus kábeles — 1, 2, 3, 4 — megoldásokat, az új építésű átviteli utakat — ha nincs alkalmas meglévő kábel, amelyre primer PCM-rendszer telepíthető —, 1, 2, 5, 6, 7, 8 és azokat az új átviteli utakat, amelyek megvalósítására jelenleg reális lehetőség van, 1, 2, 6, 7.

Ezenkívül összehasonlítottuk egymással a LED-adóval és az LD-vel működő optikai átviteli utakat.

A számítások második fázisában az árakat mint paramétert változtatva azt vizsgáltuk, hogy hol válik gazdaságossá a tercier szintű digitális optikai átviteli út alkalmazása. Ezért a többi költség változatlanul hagyásával az optikai végberendezés és

kábelköltség változtatásával további gazdasági alternatívákat vittünk be a vizsgálandó rendszerek közé.

Ezek a 3–4-hez hasonlóan műszakilag azonos, csak költségben különböző változatok a következők.

A 6. tercier szintű LED-adós optikai rendszer változatai:

- 9 az optikai végberendezések, ismétlők és a kábelköltség az eredeti költség 75%-ára leszállítva;
- 11 az optikai rendszerelemek költsége 50%-kal leszállítva;
- 13 csak a kábel ára 50%-kal leszállítva,
- 15 csak a végberendezések ára 50%-kal leszállítva.

A 7. tercier szintű LD-s optikai rendszer változatai:

- 10 az optikai végberendezések, ismétlők és a kábelköltség az eredeti költség 75%-ára leszállítva;
- 12 az optikai rendszerelemek költsége 50%-kal leszállítva;
- 14 csak a kábel ára 50%-kal leszállítva;
- 16 csak a végberendezések ára 50%-kal leszállítva.

Ezekkel tovább folytatva a vizsgálatot, az 1–8 rendszerek közé a 6, 7 helyére a 9, 10; 11, 12; 13,

14 és 15, 16 számú alternatívákat helyettesítettük. Részletesen vizsgáltuk a 11, 12 változatokat, mert ezek bizonyultak versenyképesnek.

3.5 A számítások eredménye

A számítások első fázisában a szimmetrikus kábeles megoldásokat összehasonlítva a régi kábelre telepített digitális átvitel (4 alternatíva) látszik egyedül versenyképesnek a hagyományos hangfrekvenciás kábelrel szemben, realisabb költségelése lévén, de itt is 12 km felett van a kritikus távolság (5. táblázat). A további számításoknál, tekintve, hogy a beruházási összeg azonos, célszerű minden meglévő kábelre telepített digitális rendszer esetén így felvenni a költségeket.

Az 1–8 rendszerek összehasonlítása esetén a térképen megjelenő rendszerek a következők (6. táblázat):

- 1 hangfrekvenciás szimmetrikus kábel,
- 4 régi kábelre digitális átvitel, kábelár nélkül,

5. táblázat

Szimmetrikus kábeles átviteli utak összehasonlítása: 1 — hangfrekvenciás, 2, 3, 4 — primer PCM+hangfrekvenciás áramkörök

SORSZÁMUK: 1, 2, 3, 4

TÉRKÉPSOROK SZÁMA: 9

MIN. ÉS DELTA CSATORNASZÁM: 400, 200

MIN. ÉS DELTA TÁVOLSÁG (KM): 2, 2

TÁVOLS. 2 CSAT.SZÁM	12	22
400	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
600	1 1 1 1 1 1 1 1 4 4 4 4 4 4 4 4	1 1 1 1 1 1 1 1 4 4 4 4 4 4 4 4
800	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 4	1 1 1 1 1 1 1 1 4 4 4 4 4 4 4 4
1000	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 4 4 4 4 4	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 4 4 4 4 4
1200	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 4 4 4 4	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 4 4 4 4 4
1400	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 4 4 4 4 4	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 4 4 4 4 4
1600	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 4 4 4 4	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 4 4 4 4
1800	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 4 4 4 4 4	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 4 4 4 4 4
2000	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 4 4 4 4	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 4 4 4 4 4

6. táblázat

A számításba vett összes átviteli út összehasonlítása: 1 — hangfrekvenciás átvitel szimmetrikus kábel, 2, 3, 4 — primer PCM+hangfrekvenciás áramkörök szimmetrikus kábel, 5 — tercier szintű PCM átvitel kiskoaxiális kábel, 6, 7 — tercier szintű PCM átvitel fényvezető kábel, 8 — negyedrendű PCM átvitel fényvezető kábel

SORSZÁMUK: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

TÉRKÉPSOROK SZÁMA: 9

MIN. ÉS DELTA CSATORNASZÁM: 400, 200

MIN. ÉS DELTA TÁVOLSÁG (KM): 2, 2

TÁVOLS. 2 CSAT.SZÁM	12	22
400	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 5 5 5	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 5 5 5
600	1 1 1 1 1 1 1 1 4 4 4 4 4 4 4	1 1 1 1 1 1 1 1 4 4 4 4 4 4 4
800	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 5 5 5	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 5 5 5
1000	1 1 1 1 1 1 1 1 1 8 8 5 8 8 8	1 1 1 1 1 1 1 1 1 8 8 5 8 8 8
1200	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 8 5 8 8 8	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 8 5 8 8 8
1400	1 1 1 1 1 1 1 1 5 8 8 5 8 8 8	1 1 1 1 1 1 1 1 5 8 8 5 8 8 8
1600	1 1 1 1 1 1 1 1 1 8 8 8 8 8 8	1 1 1 1 1 1 1 1 1 8 8 8 8 8 8
1800	1 1 1 1 1 1 1 1 8 8 8 8 8 8 8	1 1 1 1 1 1 1 1 8 8 8 8 8 8 8
2000	1 1 1 1 1 1 1 1 1 5 5 5 5 5 5	1 1 1 1 1 1 1 1 1 5 5 5 5 5 5

- 5 kiskoaxiális kábel, tercier szintű digitális átvitel és
- 8 optikai átviteli rendszer, quarter szintű digitális átvittel.

Ebből azonnal látszik az optikai átviteli út gazdaságossága negyedrendű digitális átvitel esetén, még a jelenlegi árak mellett is, 1000 csatorna és 16 km felett, illetve 1800 csatornánál 14 km felett. Ezenkívül gazdaságosabb megoldásnak tűnik a kiskoaxiális kábel (5) az új építésű szimmetrikus kábelnél digitális átvitel esetén (2), amely nem jelent meg a térképen. Kis távolságok esetén, 15 km alatt, a hangfrekvenciás szimmetrikus kábel (1) az uralkodó.

A tercier szintű optikai rendszerek még abban az esetben sem jelennek meg a térképen, ha nincs meglévő kábel, azaz csak új építésű átviteli utakkal valósítható meg az összeköttetés. A 4 rendszer helyét az 5 foglalja el, amely szintén elég gazdaságos megoldás, a kritikus távolság a hangfrekvenciás átviteli úttal szemben 14 és 24 km között van, a csatornaszámtól függően. Bár az 5 rendszer gazdaságos alternatíva, és a műszaki megoldásnak sincsenek különösebb akadályai, pillanatnyilag nincs realis esélye, mivel még nem egzisztáló megoldás (ugyanilyen a 8 rendszer is). Az 5 és 8 rendszereket kihagyva, csak a jelenlegi aktualitású rendszereket 1, 2, 6, 7 összehasonlítva — csak abban az esetben, ha PCM telepítésre alkalmas meglévő kábel nincs — jelenik meg először a térképen a tercier szintű optikai átviteli utak közül a 7 rendszer, az új kábelre telepített digitális átvittel (2) konkurrálva 1200 csatorna fölött és 22 km kritikus távolságnál.

A számítások második fázisában a 9, 10 alternatívákat helyettesítve a 6, 7 helyére, a 75%-os költségű tercier szintű optikai rendszerek a 4 rendszerrel (meglévő kábelre telepített PCM) szemben éppen csak megjelennek a térképen.

Az 50%-os költségű 11 és 12 alternatívákat helyettesítve a 6, 7 helyébe, a tercier szintű digitális optikai rendszerek közül a 12 LD-s rendszer 14–20 km kritikus távolságnál mint leggazdaságosabb rend-

7. táblázat

A számításban szereplő átviteli utak összehasonlítása az 50%-os költségű tercier szintű optikai átvittel: 1 — hangfrekvenciás átvitel szimmetrikus kábel, 2, 4 — primer PCM+hangfrekvenciás áramkörök szimmetrikus kábel, 5 — tercier szintű PCM átvitel kiskoaxiális kábel, 8 — negyedrendű PCM átvitel fényvezetőn, 11, 12 — tercier szintű PCM átvitel fényvezetőn (az optikai rendszer elemek költsége 50%-os)

SORSZÁMUK: 1, 2, 4, 5, 8, 11, 12

TÉRKÉPSOROK SZÁMA: 9

MIN. ÉS DELTA CSATORNASZÁM: 400, 200

MIN. ÉS DELTA TÁVOLSÁG (KM): 2, 2

TÁVOLS. 2 CSAT. SZÁM	12	22
400	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 12 12 12 12	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 12 12 12 12
600	1 1 1 1 1 1 1 1 4 4 4 4 4 4 4 4 12 4 4 12	1 1 1 1 1 1 1 1 4 4 4 4 4 4 4 4 12 4 4 12
800	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 12 12 12 12	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 12 12 12 12
1000	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 8 8 12 12 12 8 8	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 8 8 12 12 12 8 8
1200	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 8 12 12 12 8 8	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 8 12 12 12 8 8
1400	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 8 8 12 12 12 8 8	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 8 8 12 12 12 8 8
1600	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 8 8 8 8 8 8 8 8	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 8 8 8 8 8 8 8 8
1800	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 8 8 8 8 8 8 8 8	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 8 8 8 8 8 8 8 8
2000	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 5 5 12 5 5 12	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 5 5 12 5 5 12

8. táblázat

Szimmetrikus kábeles átviteli utak összehasonlítása az egyéb (tercier szintű) PCM átviteli utakkal: 1 — hangfrekvenciás átviteli szimmetrikus kábelen, 2, 4 — primer PCM + hangfrekvenciás áramkörök szimmetrikus kábelen, 5 — terciér szintű PCM átvitel kiskoaxiális kábelen, 11, 12 — terciér szintű PCM átvitel fényvezetőn (az optikai rendszer elemek költsége 50%-os)

SORSZÁMUK: 1, 2, 4, 5, 11, 12

TÉRKÉPSOROK SZÁMA: 9

MIN. ÉS DELTA CSATORNASZÁM: 400, 200

MIN. ÉS DELTA TÁVOLSÁG (KM): 2, 2

TÁVOLS. 2 CSAT. SZÁM	12									22										
400	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	12	12	12	12	12
600	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4	12	4	4	4	4	12
800	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	12	12	12	12	12
1000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	12	12	12	12	12	12	12	12	12
1200	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	12	12	12	12	12	12	12	12
1400	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	5	12	12	12	12	12	12	12	12	12
1600	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	12	12	5	12	12	5	12	12
1800	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	5	5	12	12	5	12	12	5	12	12
2000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	12	5	5	12	5	5	12

9. táblázat

Új kábeles digitális átviteli utak összehasonlítása: 2 — primer PCM + hangfrekvenciás áramkörök új szimmetrikus kábelen, 5 — terciér szintű PCM átvitel kiskoaxiális kábelen, 11, 12 — terciér szintű PCM átvitel fényvezetőn az optikai rendszer elemek költsége 50%-os 3 — negyedrendű PCM átvitel fényvezetőn

SORSZÁMUK: 2, 5, 8, 11, 12

TÉRKÉPSOROK SZÁMA: 9

MIN. ÉS DELTA CSATORNASZÁM: 400, 200

MIN. ÉS DELTA TÁVOLSÁG (KM): 2, 2

TÁVOLS. 2 CSAT.SZÁM	12									22										
400	5	11	12	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
600	2	5	5	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
800	2	5	5	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
1000	2	2	5	12	5	5	12	12	8	8	12	12	12	8	8	12	12	12	8	8
1200	2	2	5	12	5	5	12	12	8	8	12	12	12	8	8	12	12	12	8	8
1400	5	5	5	12	5	5	12	12	8	8	12	12	12	8	8	12	12	12	8	8
1600	2	5	5	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1800	5	5	5	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
2000	2	5	5	12	5	5	12	5	5	5	12	5	5	5	12	5	5	12	5	12

szer jelentkezett 400–1400 csatorna között. 1400 csatorna felett a negyedrendű digitális optikai átviteli út gazdaságosabb (7. táblázat). Az esélyeket tovább elemezve (8. táblázat), a 8 rendszert kihagyva (mivel reális lehetősége jelenleg kicsi), a 12 alternatíva közel 50%-át foglalja el a térképnek. Sajnos, ez az 50% éppen a nagyobb távolságoknál van, ilyen nagy távolságok előfordulása ritkább.

Csak a digitális átviteli rendszereket összehasonlítva, az optikai átviteli utak már jelentős (kb. 75%) túlsúlyban vannak (9. táblázat). A 11 és 12 terciér szintű optikai rendszerek, 2 km felett 400 csatornánál és 6 km felett 600–1400 csatorna között mint versenyképes alternatív megoldások szerepelnek, bár a 12 változat többnyire gazdaságosabb.

A továbbiakban azt vizsgáltuk, hogy a kábelár 50%-os csökkenése hogyan hat a terciér szintű optikai rendszerek gazdaságosságára. A kábelár 50%-os csökkenése 13, 14 változatok közül a 14-et éppen csak behozza a térképre.

Az optikai végberendezések árának 50%-os csökkentése még kevésbé hat az optikai rendszerek gazdaságosságára, a 15, 16 alternatívák a térképen meg sem jelennek.

4. Az eredmények értékelése

A gazdaságossági számítások eredményeit értékelve, meg kell jegyeznünk a következőket:

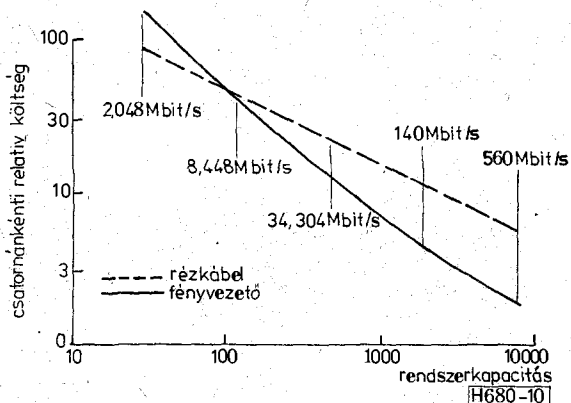
a hazai árrendszerben meglevő aránytalanságok befolyásolták a számítások eredményét, ez főképpen abban jelentkezett, hogy a digitális rendszerek kritikus távolsága a hagyományos szimmetrikus kábellel szemben 14 km-nél nagyobbának adódott. A jelenlegi aránytalanul magas PCM multiplexköltségek csökkenése gazdaságosabbá tesz minden digitális átviteli utat, így az optikai átvitelt is.

Tercier szintű PCM-átvitel esetén az optikai átviteli út a jelenlegi árakon nem gazdaságosabb az egyéb digitális utaknál, mégis szóba jöhet mint átkérő összeköttetés, néhány extrém esetben, ahol az egyéb megoldások lehetősége korlátozott.

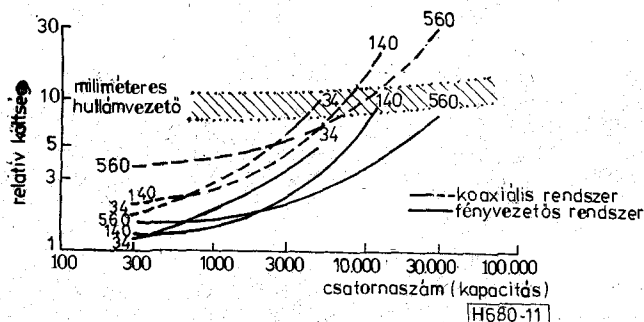
Negyedrendű PCM-átvitel esetén a fényvezetős rendszer még a jelenlegi árak mellett is gazdaságos, megfelelően nagy csatornaszámmal.

A jelenlegi költségek 25–50%-os csökkenése esetén a fényvezetős rendszer versenyképessé válik az egyéb digitális átviteli utakkal szemben terciér szinten is.

Bár az irodalomban található adatok szerint a fényvezetős átviteli rendszer gazdaságosabb mind a



10. ábra. Fényvezető és szimmetrikus kábel csatornánkénti költségének összehasonlítása a rendszerkapacitás függvényében



11. ábra. Különböző digitális átviteli utak relatív költségének összehasonlítása a csatornaszám függvényében

szimmetrikus, mind a koaxiális kábelnél tercier szintű digitális átvitel esetén [6] (10. és 11. ábra), ezt a hazai körülmények között csak az optikai rendszer-elemek (végberendezések, kábel, ismétlő) költségének 50%-os csökkenése esetén érheti el. Csak a kábelár 50%-os csökkenése esetén a rendszer gazdaságossága nem nő annyira, hogy versenyképes változáttá lépjen elő, még kevésbé befolyásolja a gazdaságosságot, ha csak az optikai végberendezés költsége csökken nek 50%-kal. A PCM-végberendezések aránytalanul magas költségének csökkenése szintén nagymértékben javítaná az optikai átviteli út gazdaságosságát.

5. Összefoglalás

E rövid műszaki és gazdaságossági áttekintés összefoglalásaképpen megállapíthatunk egy fejlesztési sorrendet. A fényvezetős átviteli út hazai elterjedésének várható sorrendjét a következőképpen jósolhatjuk meg (bár ezt még a rendszer eddig elképzelhetetlenül gyors fejlődése akár az elkövetkező 1–2 éven belül is befolyásolhatja):

- Átkérő hálózatban — speciális esetben jelenleg is, — általánosan a közeljövőben.
- Rurálhálózatban — esetleg a közeljövőben (góc- és végközpontok között).
- Törzshálózatban — esetleg a távolabbi jövőben (digitális átviteli fejlesztési problémák megoldása után).
- Gerinchálózatban — esetleg a közeljövőben speciális megoldásként, — a távolabbi jövőben (a fényvezetős rendszer ismétlőtávolságának és megbízhatóságának növelése után).

Elosztóhálózatban — csak speciális igények kielégítésére esetleg az egészen távoli jövőben.

A távlati fejlesztési irányelveknél figyelembe kell venni azokat az irodalmi jöslatokat, amelyek szérint a monomódusú szál elterjedése és egyéb átviteli tulajdonságokat javító műszaki újítások révén 40–50 km-es ismétlőtávolság és a jelenleginél jóval nagyobb csatornaszám is elérhető lesz az elkövetkező évtizedben.

I R O D A L O M

- [1] *D. Hondros—Debye*: Ann. d. Physik, 32, 466. 1910
- [2] *O. Schrieoer*: Ann. d. Physik, 63, 645—673. 1920
- [3] *Jeff D. Montgomery*: Fiber optic applications and markets. IEEE Trans., vol. GOM—26, No. 7. July 1978 p. 1099.
- [4] Proceedings of the Third European Conference on Optical Communication. 1977, München
- [5] Proceedings of the Fourth European Conference on Optical Communication. 1978, Genova
- [6] *T. G. Giallorenzi*: Optical Communications Research and Technoloy. Fibcr Optics. Proceedins of the IEEE, vol. 66, no. 7. July 1978.
- [7] Choisissez vos composants pour vos liaisons optiques. L'Onde Electrique, 1979, 2
- [8] *N. S. Kapany—J. J. Burke*: Optical Waveguides. Academic Precc, New York, 1972
- [9] *Dr. Lajtha Gy.*: Távközlőhálózatok elmélete és tervezése. Műszaki Könyvkiadó, 1971
- [10] A budapesti távbeszélő-szolgáltatás fejlesztési terve, 1980—1995. PKI-tanulmány, 1978
- [11] *Dr. Sallai Gy.*: Távközlő Hálózatok Tervezésének Gazdasági Számításai. Köz. Dok., 1979
- [12] *Dr. Somogyi J.*: Hírközlés fényvezetős kábelben. Híradástechnika, 1979. június 30/6 161. oldal
- [13] *Szentiday K.*: Lavinafotodiódák alkalmazása. Híradástechnika, 1978. november 29/11 347. oldal
- [14] *Gyárfás A.*: Az optoelektronikai eszközökkel megvalósítható jelzésátvitel. Híradástechnika, 1978. január 34/1 1. oldal