

Passzív fényvezető hálózatok

VÁGÓ ISTVÁN

Matáv Rt., PKI Távközlésfejlesztési Intézet
vago.istvan@ln.matav.hu

Kulcsszavak: PON, FTTH, FTTB, FTTx, optikai teljesítményosztó, szálbefűzés

A cikkben ismertetem a passzív fényvezető hálózat (PON) jelenlegi helyzetét, kialakulását, csoportosítását (FTTx) majd bemutatom a hálózat építőelemeit, jellegzetes környezeteit. Ezután elemzem a hálózat megvalósítási lehetőségeit és ismertetem az alkalmazható méreket, valamint a nyilvántartás fontosságát.

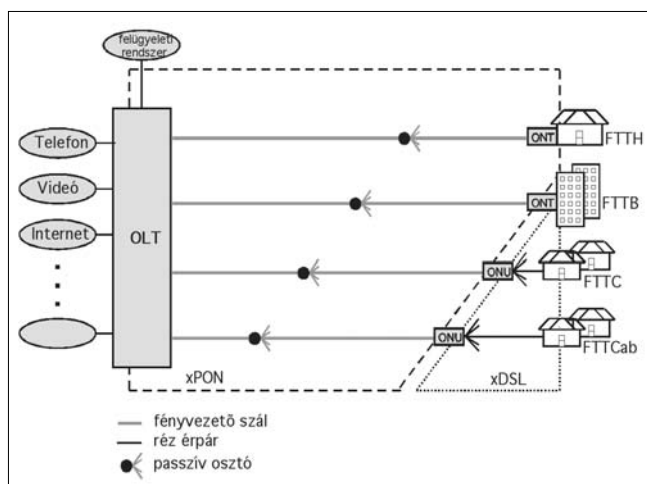
1. Bevezetés

Elérési hálózatnak nevezzük a helyi központ és az előfizető közötti hálózatot. Napjainkban az elérési hálózat megemlékezésekor legtöbbször a rézvezetőjú pont-pont hálózatra gondolnak, ahol megjelentek az xDSL rendszerek. Amennyiben a fenti hálózat mellé (fölé) egy fénykábellel megvalósított hálózatot képzelünk el, akkor ez a fényvezető elérési hálózat. Amennyiben ebben a hálózatban – a végpontok kivételével – nem használunk aktív elemet, akkor passzív fényvezető hálózatról (PON) beszélünk. Többször használom az FTTx mozaikszót, mely alatt általános értelemben fényvezető szállal „valahová” jelentést értek. Ebben az „x” minden esetben a passzív fényvezető hálózat előfizetőnél lévő (H, P, B stb.) vagy előfizetőhöz közeli (C, Cab stb.) pontjára utal.

2. A PON kialakulása, története

A távközlési hálózatok többsége a végpontokon kívül is tartalmaz aktív eszközöket. A passzív fényvezető hálózatban aktív eszköz csak a központban és az előfizetőnél (ONT), illetve a hálózat végződési pontján (ONU) található (1. ábra).

1. ábra



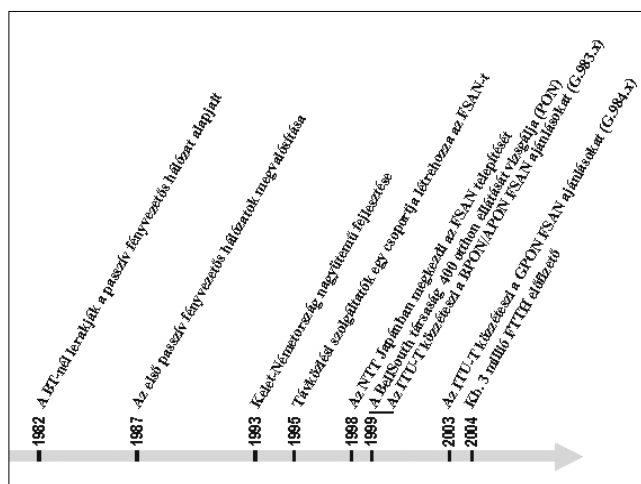
A passzív fényvezető hálózat megvalósíthatóságát 1982-ben kezdték el vizsgálni a BT laboratóriumában. A 80-as években valamennyi nagyobb távközlési szolgáltató létrehozta a saját kísérleti passzív hálózatát. Ezek a hálózatok akkor még drágák voltak és tömeges előfizetői igény sem jelentkezett. Az Internet általános elterjedése és a sávszélesség-igény növekedése teremtette meg a lehetőséget a szélessávú elérésre, ezért 1995-ben hét szolgáltató megalapította az FSAN szervezetet.

A szabványosítási összefogásnak 1999-ben született meg az eredménye, amely az ITU-T G.983.x ajánlásban rögzített 155 Mb/s-os B-PON rendszer volt, mely később APON-ként vált ismertté (Ezt a szabványt később módosították és kiegészítették a 622 Mb/s rendszer előírásával is).

2001-ben az IEEE keretében létrehozták az EFM csoportot, mely az 1,25 Gb/s-os szimmetrikus rendszert szabványosította (EPON).

Ugyanebben az évben az FSAN csoport elkezdett dolgozni az 1 Gb/s-nál nagyobb sebességű rendszer szabványosításán. Ezt a feladatot 2003-ban fejezték be, amelyet az ITU-T G.984.x ajánlasként tette közzé (GPON). A PON történetének fontosabb eseményeit a 2. ábra mutatja.

2. ábra



3. Hálózati struktúrák

Az FTTx rendszerhez a megfelelő fényvezetős elérési hálózat kiválasztása és megtervezése során a tervező többféle hálózati elrendezés közül választhat:

- pont-pont,
- pont-többpont,
- gyűrű (pont-pont típus),
- gyűrű (többpont típus).

A hálózat-típusok főbb jellemzőinek összefoglalása az 1. táblázatban olvasható.

1. táblázat

Hálózat típusa	Előny	Hátrány	Szálszám ¹
pont-pont	kis szakaszcsillapítás	nagy szálígény	legalább 1
pont-többpont	a szálmennyiség optimalizálható	Viszonylag nagy szakaszcsillapítás (passzív osztó)	legalább 1*
gyűrű (pont-pont típus)	Nagy megbízhatóság és könnyű fenntarthatóság	óriási szálígény	legalább 2
gyűrű (többpont típus)	A megbízhatóság megtartása mellett kisebb szálígény	a hálózatbővítés több előrelátást igényel	legalább 1**

¹ A központ és az adott előfizető között.

* A szálszám az osztási pont és az előfizető közötti szakaszra vonatkozik.

Az összes szálmennyiség az osztási pont elhelyezésétől függ.

** A szálszám a központ és az előfizető, illetve az előfizetők közötti szakaszokra vonatkozik. Az összes szálmennyiség a központ és az előfizetők egymástól való távolságától függ.

4. A PON építőelemei

4.1. Fényvezető szál

A fényvezető szál kiválasztása során három fő jellemzőt kell figyelembe venni:

- a szál típusa (egymódusú, többmódusú),
- diszperzió és
- csillapítás.

Az egymódusú szálak előnye a kis csillapítás és a nagy átviteli kapacitás. Ezen szál típus használatánál továbbá előny, hogy a hálózat – a szál tekintetében – homogén, ami egyszerűsíti a fenntartást, és a fejlesztést is.

Többmódusú szál alkalmazásával az áthidalható távolság – az egymódusú szálhoz képest – jelentősen csökken. Előny azonban az egyszerűbb telepítés (például a szálkötés nem igényli az egymódusú szálaknál megszokott pontosságot) és a viszonylag olcsóbb eszközök, berendezések.

A fentieket figyelembe vétele mellett nem szabad elfeledkezni a tervezett passzív fényvezetős hálózatban lévő távolságokról sem. Az említett jellemzők alapján a legtöbb esetben az egymódusú szál (elsősorban az ITU-T G.652C vagy D típust az 1260-1650 nm-es teljes hullámhossztartományban való használhatóság miatt) célszerű alkalmazni, az alábbi esetek kivételével:

- meglévő többmódusú szakaszokhoz kell csatlakozni,
- rövid szakaszok vannak.

Meg kell jegyezni, hogy a szálgyártók a többmódusú szálakat is folyamatosan fejlesztik, ezért a tervezés során célszerű ellenőrizni az újabb szálak jellemzőit. Az új és a hagyományos szálakkal áthidalható távolság között több mint egy nagyságrendnyi különbség is lehet.

Az előfizetőnél egy vagy két szál végződhet, az alkalmazott műszaki megoldástól függően. Egyszálas megoldás alkalmazásával körülbelül felére csökken a szálígény és a szálkötések, valamint a csatlakozók száma, azonban a beépítendő passzív hullámhosszosztó eszköz növeli a költséget. Általánosságban elmondható, hogy a hagyományos kábeltelepítési módszernél a kétszálas, szálbefűjást alkalmazva pedig inkább az egyszálas megoldást célszerű alkalmazni.

4.2. Fényvezető kábel

Fényvezető kábelként a szokásos csöves szerkezetű behúzó és a légkábelen kívül megjelentek a „mikrokábelek”, amelyek inkább kis átmérőjű kábelnek nevez-

Rövidítések, mozaikszavak magyarázata

PON	(Passive Optical Network)	– passzív fényvezetős hálózat a helyi központ (OLT) és az előfizető (hálózat végződési pont – ONT vagy ONU) között.
FSAN	(Full Service Access Network)	– teljes szolgáltatású elérési hálózat,
APON	(ATM based PON)	– ATM protokollon alapuló PON,
BPON	(Broadband PON)	– szélessávú PON,
EPON	(Ethernet based PON)	– Ethernet protokollon alapuló PON,
GPON	(Gigabit PON)	– Gigabit PON,
FTTB	(Fibre to the Building)	– fényvezető szállal az épületig,
FTTC	(Fibre to the Curb)	– fényvezető szállal a járdáig,
FTTCab	(Fibre to the Cabinet)	– fényvezető szállal a nagyelosztóig,
FTTH	(Fibre to the Home)	– fényvezető szállal a lakásig,
FTTP	(Fibre to the Premises)	– fényvezető szállal a helyiségig (a hálózat tekintetében lényegében azonos az FTTH-val; nagyobb előfizetők esetén használják),
ONT	(Optical Network Terminal)	– hálózati végberendezés; az előfizetőnél végződött fényvezető szálhoz közvetlenül csatlakozik az FTTH és FTTB hálózatokban.
ONU	(Optical Network Unit)	– a hozzáférési ponton elhelyezett optikai hálózati egység (berendezés), amely az optikai jeleket elektromos jelekké alakítja és azt koax kábelen vagy réz érpáron juttatnak el az előfizetőkhöz.
OLT	(Optical Line Terminal)	– a központban elhelyezett, a teljes FTTx hálózatot ellátó és felügyelő berendezés.
Triple-Play		– telefon, adat és videó szolgáltatás egy rendszeren belül.

hetők. Ezeket közvetlenül talajba, oszlopokra vagy megfelelő védőcsőbe is lehet helyezni. A harmadik a szálbefújásos módszer, melynek két változata létezik. Az egyik esetben 5-8 mm átmérőjű műanyag csöveket helyeznek el lazán egy (20-40 mm-es) védőcsőben. Ebben az esetben nem beszélhetünk kábelről, ugyanis a szálak védelmét a kis átmérőjű csövek és a védőcső együttesen biztosítják. A másik változatban a kis átmérőjű csöveket szorosan egymás mellé helyezik és a felhasználási helynek megfelelő műanyag köpenyvel látják el. Ez utóbbi egy csöves felépítésű kábelhez hasonlít, amely nem tartalmaz fényvezető szálakat. A kis átmérőjű csövekben helyezik el később a fényvezető szálakat (szálkötegeket) légbefújásos módszerrel. Mindkét változat előnye a rugalmasság, ugyanis csak a meglévő előfizetőknek megfelelő szálakat kell elhelyezni, később az igény megjelenésével bármikor bővíthető a rendszer.

A passzív fényvezető hálózatban használt kábelnek nem kell azonos típusúnak lenniük, a szakaszra vonatkozó követelményektől függően kombinálhatjuk a fent említett megoldásokat. Általános szabály, hogy a PON-ban a „gerinc” irányokat hagyományos vagy kis átmérőjű kábelkkel, míg az előfizetői leágazó irányokat befűjt szálal megoldással célszerű megépíteni.

E módszer főbb előnyei:

- kevesebb hegesztett kötés,
 - nincsenek használaton kívüli szálak,
 - az igény megjelenésével kell a bővítést elvégezni,
 - a hálózat rugalmasan és gyorsan átrendezhető.
- Hátrányai a hagyományos kábelezéshez képest:
- kisebb az elérhető szálsűrűség,
 - nagy a munkaráfordítás sok szál telepítése esetén.

Beltéri kábelezésre a szálbefújásos módszer a rugalmassága miatt előnyösebb. A fenti kábelből és a csöves felépítésű rendszerből is rendelkezésre állnak a kívánt környezeti feltételeknek megfelelő változatok.

4.3. Optikai csatlakozók, osztók és szerelvények

Az optikai csatlakozók műszaki követelményeit a gyártók többsége biztosítani tudja, ezért kiválasztásnál az árnak és a hálózatépítési technológiának kell befolyásolnia a döntést. A fenntartás egyszerűsítése miatt törekedni kell a csatlakozók tekintetében is a homogenitásra. Az egymódusú PON-ok többségében az SC, MU és LC típusokat használják egyes vagy dupla változatban, a többmódusú szálakhoz a fentiekén kívül az MT-RJ használatos.

A passzív optikai osztóknak két típusa van: a teljesítményosztó és a hullámhossz-osztó (szétválasztó, WDM) eszköz. A 3. ábrán egymás mellett látható a két megoldás vázlatja. A teljesítményosztó az optikai teljesítményt szét-

osztva azonos jelet juttat el minden végpontra, míg a WDM (CWDM) eszköz a hullámhosszat (hullámsávot) választja szét az előfizetőknek megfelelően. Az utóbbi esetben az előfizetőhöz csak az adott hullámsáv jut el.

A fenti eszközök alapvető jellemzője a beiktatási csillapítás, amely a teljesítményosztóknál az osztási aránnyal arányosan nő, a WDM eszközöknél pedig a hullámsávok számával növekszik, de jóval kisebb arányban. A hálózatban a fenti két eszköz akár együtt is alkalmazható.

A teljesítményosztó az OLT és az ONU/ONT között helyezkedik el, akár több ponton is, azonban az adott szakaszon az osztási arány(ok összege) 32-nél (esetként 64-nél) nem lehet nagyobb. A követelmények:

- kötéstartó tálcán legyen elhelyezhető,
- legyen kültéri változata,
- álljanak rendelkezésre a szokásos osztásarányú (1:8, 1:16, 1:32 és esetleg 1:64) termékek,
- a jellemzői változatlanok legyenek az 1260-1620 nm-es hullámhossz-tartományban.

A gyakrabban használt osztók főbb jellemzőit a 2. táblázat tartalmazza.

Osztási arány	Beiktatási csillapítás [dB]	PDL [dB]	Egyformaság [dB]	Reflexiós csillapítás [dB]	Irányítottág [dB]
1:8	10-11	~0,3	~1	50-55	50-55
1:16	14-15	~0,3	~1,2	50-55	50-55
1:32	17-18	~0,3	~1,3	50-55	50-55

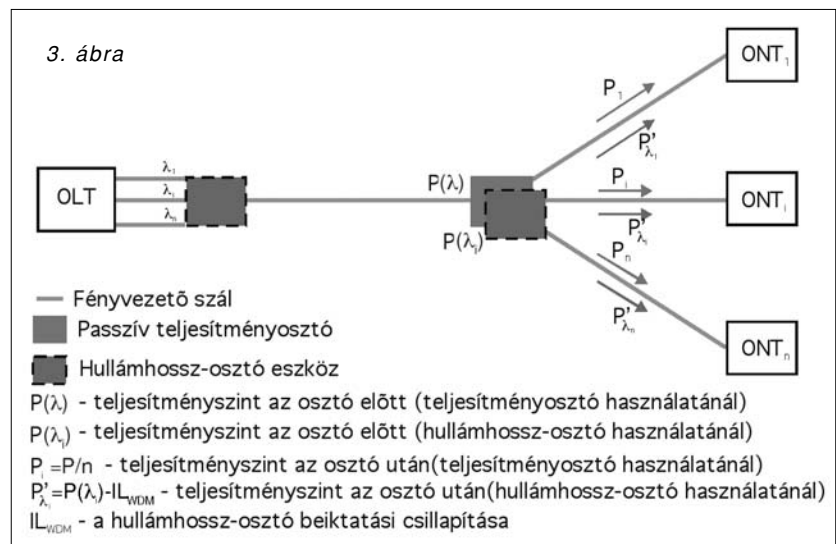
2. táblázat

A hullámhossz-osztókat az alábbi változatokban használják:

- kétsávós (1310 és 1550 nm) WDM,
- háromsávós (1310, 1490 és 1550 nm) WDM, és a
- többsávós CWDM.

Az alkalmazandó eszköz követelményei:

- kötéstartó tálcán vagy kötésszerelvényben elhelyezhető legyen,
- legyen kültéri változata,
- álljanak rendelkezésre a szabványos hullámsávú (2, 3, 4, 8 és 16) termékek.



Hullámsávok száma	Beiktatási csillapítás [dB]	PDL [dB]	Elválasztás [dB]	Reflexiós csillapítás [dB]	Irányítottság [dB]
1/2	<1,0	~0,2	25-45	>50	>50
1/3	<1,0	~0,2	25-45	>50	>50
1/4	1,5-2,0	~0,2	30-45	>50	>50
1/8	2,5-3,0	~0,2	30-45	>50	>50
1/16	4,0-5,0	~0,2	30-40	>50	>50

3. táblázat

A hullámhossz-osztók optikai követelményeit a 3. táblázat tartalmazza.

Két egyéb szerelvényre szeretném felhívni a figyelmet. Az egyik az osztási pontokon lévő szétosztó szerelvény, a másik pedig az előfizetőnél lévő végződtetési pont kialakítása. A kötösszerelvény kötéstároló tálcáján kényelmesen elhelyezhető az adott osztási arányú teljesítményosztó és rendelkezzen az osztási aránynak megfelelő szál-, illetve kábel-bevezetési lehetőséggel.

Az előfizetőnél lévő optikai végberendezés (ONT) elhelyezése és a fényvezető szál(ak) végződtetése műszaki problémát nem jelent. Mivel a végződtetési pontot nem a szokásos távközlési, hanem lakóterületi környezetben kell elhelyezni, ezért nagyon lényeges az esztétikus kialakítás. Ez csak a végződtető szerelvény (a szálvégződtetést és a berendezést is magába foglaló) olyan kialakításával oldható meg, amelynek a forma és színvilága is illeszkedik a hely stílusához, így annak inkább bútornak, mint szerelvénynek kell lennie. Ezt ma már az előfizető a hagyományos távközlési végződtetési pontok esetén is elvárja.

5. PON hálózatok jellegzetes környezetei

A lakótelepi és irodaházak környezetben számos emeletes épület található, általában 1 km-es sugarú körön belül. Az ellátandó előfizetők száma (lakások, irodák) akár több ezer is lehet. A lakások nagy sűrűsége előny, azonban a lehetséges előfizetők véletlenszerűen jelentkeznek, ami a tervezést és a későbbi bővítést nehezíti. Tovább nehezíti a hálózattervezés bizonytalanságát a gyakori költözés is.

Az épületig célszerű hagyományos vagy kis átmérőjű kábelt használni, azonban az épületen belül – az egyszerűbb bővíthetőség és a rugalmasság miatt – a szálbefújásos módszer előnyösebb, itt műanyag szálak is számításba jöhetnek.

A családi házas környezetet a nagyobb távolságok és a kisebb előfizetői sűrűség jellemzi, ami más hálózati felépítést kíván. A családi házakat célszerű csoportosítani az egyes részterületeken jelentkező igények szerint, és ezeken a részterületeken kell kialakítani az ellátó csomópontot. Ezek alkotják majd a hálózat gerincét. A lakótelepi környezethez képest ezen a területen kevesebb változtatásra lesz szükség az üzemeltetés alatt (kevesebb költözés, kiszámíthatóbb előfizetők). A szerződött és a lehetséges előfizetők aránya a tervezés egyik meghatározó alapadata, ugyanis ebből következtethetünk a későbbi bővíthetőség mértékére. Hagományos vagy kis átmérőjű kábelnél tartalék védőcső el-

helyezésével, szálbefújásos módszer alkalmazása esetén pedig tartalék csövekkel.

A lakóparki környezet az utóbbi években egyre inkább előtérbe kerül. Ez az előző ket-tőnek a keveréke, ezért nehezebb általános műszaki megoldást adni, illetve a tervezési módszert, irányelvet megfogalmazni.

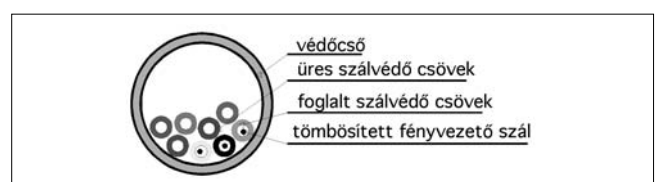
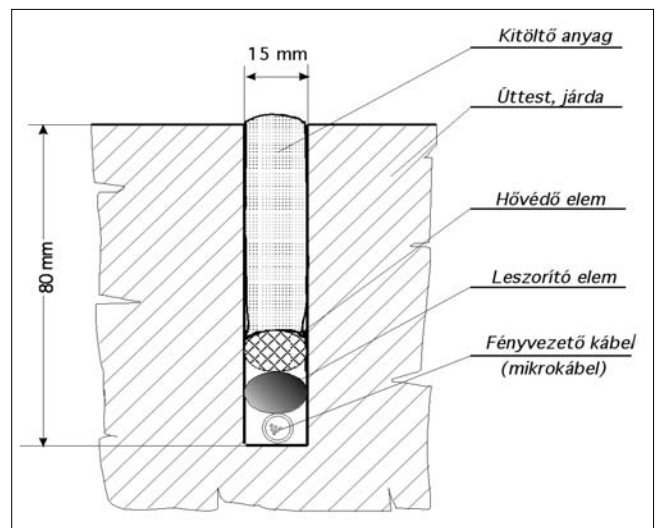
6. A hálózat megvalósítása

A hagyományos hálózatépítés során használt alépít-ménycső és a védőcső költsége csak a csövekhez használt alapanyag mennyiségével csökkenhet. Ez ki-sebb átmérővel, vagy az egyik cső elhagyásával vál-sulhat meg. A mai hálózatépítés során mindkét mód-szert alkalmazzák.

A kisebb átmérőjű védőcső kisebb átmérőjű kábelt tud csak fogadni, „gyengébb” kábelt takar. Ez azonban a korábbiaktól eltérő telepítési módszerrel kompenzál-ható. A fajlagos szálsűrűség jól jellemzi a fényvezető kábeleket; a hagyományos kábelre ez 0,4-0,5 szál/mm², míg a kisebb átmérőjű kábelre több mint a kétsze-rese (1,1-1,2). A szálsűrűség mellett a két kábel tömeg-aránya is lényeges: egy hagyományos 144 szálas ká-bel 250-300, a kis átmérőjű kábel (azonos szálszám-mal) 110-120 kg/km. Ennek a kábelnek egyik alkalmazási lehetőségét a 4. ábra mutatja. A kábelt közvet-lenül a járdában, úttestben helyezik el. Ez a módszer – az ábrán látható fektetési mélység mellett – nem elég biztonságos az országos nyilvántartás rendezetlenségé-e és az engedély nélküli útbontások miatt.

Egy másik lehetőség a méretcsökkentésre az 5. ábrán bemutatott hálózatépítési módszer kissé módosított alkalmazása.

4. és 5. ábra



Ebben az esetben – a fényvezető kábel helyett az ábrán látható csőrendszer helyezzük el. (Az útba mart horony szélessége a külső védőcső átmérőjétől, a fektetési mélység pedig a védelmi igénytől függően változhat.) A telepített csőhálózatba ezután már egyszerűen befújhatók a tömbösített fényvezető szálak, melyek erősített védőburkolattal vannak ellátva. Ebben az esetben a fényvezető kábelt a tömbösített szálak és a védőcső együtt valósítja meg. A módszer előnyei:

- a telepítés időpontjában csak a szükséges szálmennyiséget kell elhelyezni,
- a szála ható feszültség elhanyagolható,
- a hagyományos módszerhez képest hosszabb szálkötés-mentes szakaszokat lehet megvalósítani, és
- a hálózat gyorsan átrendezhető.

Ennek a módszernek is vannak azonban hátrányai:

- a hagyományos kábelhez képest kisebb szálsűrűség valósítható meg,
- törzsránynál több munkát igényel a telepítés, ami az egy tömbbe foglalt szálak számának növelésével csökkenthető.

7. Mérések, nyilvántartás

Az FTTx hálózatokban lévő passzív fényvezetős elemek (teljesítményosztó, WDM) és az 1490 nm-es átviteli hullámhossz miatt a szokásos mérés technológiát át kell gondolni. Amennyiben a hálózat ITU-T G.652C vagy D típusú szálakat tartalmaz, akkor az 1550 nm-en elvégzett mérésekből következtetni lehet az 1490 nm-es „viselkedésre” is. Az 1490 nm-es beiktatási csillapítás-mérést csak azokon a szakaszokon kell elvégezni, ahol a régebbi szál típusokat (ITU-T G.652A vagy B) tartalmazó kábeleket telepítettek.

A fontosabb ellenőrző mérések a következők:

- szakaszcsillapítás mérése egy, esetleg két irányban (beiktatásos módszer),
- reflexiós csillapítás mérése (szakaszon, elemeken),
- OTDR-es ellenőrző mérések.

A legegyszerűbb mérési módszer a beiktatásos szakaszcsillapítás mérés. A mérést a legnagyobb üzemi hullámhosszon kell elvégezni. Passzív fényvezetős hálózatoknál – a sok szál miatt – ezek elvégzése költséges, ezért célszerű a mérések számát minimalizálni. Általában elfogadható, ha minden szálát egy hullámhosszon beiktatási módszerrel lemérnek. A mérési eredmény és a hálózattervezés során készített csillapítás-terv összehasonlítása jól használható a kivitelezés minőségének ellenőrzésére. További támpontot ad az azonos hosszúságú (közel azonos) szakaszok mérési eredményeinek összevetése.

A különböző gyártási technológiájú vagy eltérő időpontban gyártott fényvezető szálakat tartalmazó szakaszokat ajánlatos kétirányú méréssel is ellenőrizni. Az átlagtól való jelentős eltérés esetén kell csak OTDR-t használni. Amennyiben az optikai berendezések (OLT, ONU vagy ONT) érzékenyek a reflexiós csillapításra, akkor a szakaszokon ezt a mérést is el kell végezni. Gon-

dot kell fordítani a teljesítmény vagy hullámhossz-osztó eszközök nem használt kapuinak végződésére is.

Az FTTx hálózat *nyilvántartása* különösen fontos, mert ezt a hálózatot gyakran kell bővíteni, átrendezni, amihez naprakész nyilvántartás kell. Emiatt az FTTx hálózatok átadás-átvétele nem a hibátlanul megvalósított hálózattal és egy teljes mérési jegyzőkönyvvel fejeződik be, hanem a megfelelő adatokkal ellátott nyilvántartással, és ezt a helyes adathalmazt csak folyamatos éln-tartással lehet a célnak megfelelően használni.

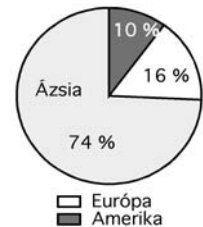
8. A jelenlegi helyzet

Észak-Amerikában az FCC (Federal Communications Commission) nemrég módosította a szélessávú hálózatra vonatkozó befektetési szabályokat. Ennek hatására az FTTH rendszerek megvalósításában élenjáró egyik szolgáltató a 2004. év végéig egymillió előfizetői pont létrehozását tervezte. A 2004. év végén körülbelül 250 ezer FTTH előfizető volt Észak-Amerikában.

Ázsiában az FTTx előfizetők számát elsősorban Japán határozza meg, ahol az első kereskedelmi FTTH csatlakozást 2001-ben valósították meg és a távközlési szolgáltatóknak 2004-ig mintegy kétmillió előfizetője volt. A meglévő fényvezetős hálózat felhasználásával a japán lakosok 70%-a egy héten belül hozzáférhet az FTTH rendszerhez, ami legalább 100 Mb/s-os szimmetrikus sebességet jelent.

Európa több országában is üzemeltetnek a szolgáltatók FTTH rendszert. Az élen Svédország, Olaszország és Hollandia áll. A 2004. év végén körülbelül 450 ezer FTTH előfizető volt Európában.

A három régióra vonatkozó FTTH előfizetők százalékos megoszlása a *körgrafikonon* látható.



A 4. táblázat egy Japánban megvalósított Triple-Play szolgáltatást biztosító PON hálózat költségeit és bevételeit tartalmazza. Ahogyan az látható, az előfizetésekkel szembe fordított bevételek 8 hónap után eléri a hálózatépítés során befektetett költségeket.

Havi bevételek (előfizetőnként) [\$]		Havi költségek (előfizetőnként) [\$]	
Telepítés	Ingyenes	Állandó költségek	
Alapszolgáltatások		OLT	50
Nagysebességű optikai hozzáférés	55	ONU	150
Internet szolgáltatás	10	IPTV	50
Végberendezés bérlet	5	IP STB	150
Alapszolgáltatások összesen		VoIP alaphálózat	50
Választható szolgáltatások		Telepítés	300
WLAN	5	Állandó költségek összesen	
IP telefon	10	750	
		Ismétlődő költségek	
IPTV (alapcsomag)	35	Teljesítményosztó bérlet	15
Választható szolgáltatások összesen	50	Szolgáltatás, egyéb	10
Mindösszesen		Ismétlődő költségek összesen	25

Irodalom

- [1] BT Technical Journal (4/9/02) [4] www.iec.org
 [2] www.ofsoptics.com [5] www.ponforum.org
 [3] www.ospmag.com