

# Hálózati Technológiák és Alkalmazások

Vida Rolland  
BME TMIT

2019. november 21.



# Miért kellenek mégis optikai hálózatok?

---

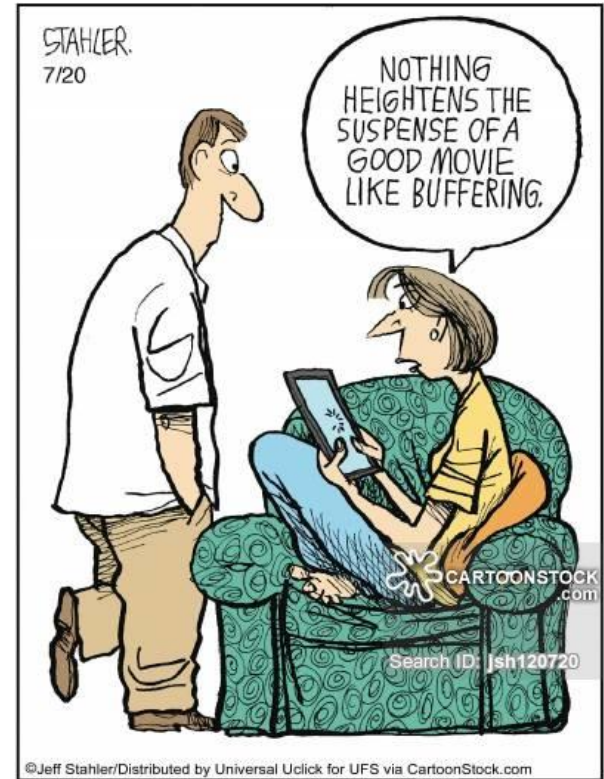
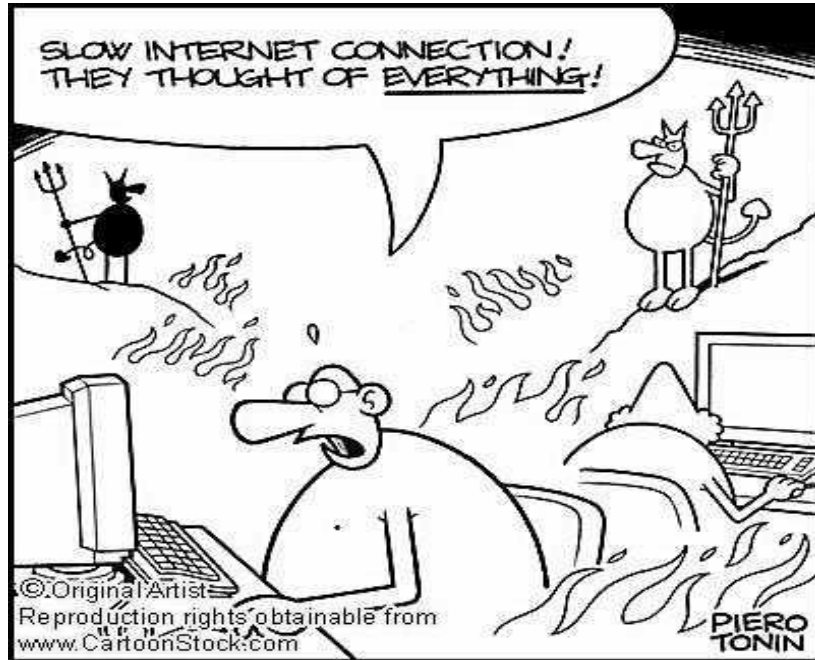
- Ma már nem a webezés, hanem a multimédia a fontos
  - MPEG-1 – ISO/IEC szabvány
    - Moving Pictures Experts Group
    - 50:1 – 100:1 video tömörítés
    - 1.5 Mbps, VHS minőségű kép
  - MPEG-2
    - DVD minőségű kép
    - Nagy felbontás, nagy színmélység, sok mozgás (pl. sportközvetítés) – 4-8 Mbps
  - HDTV – 14 Mbps, **8K UHD TV – 50 Mbps** (7680 x 4320, 60 fps)
- Az xDSL sávszélessége messze nem elegendő ehhez
  - Csak nagyon rövid helyi hurkok esetén

# Miért kellene mégis optikai hálózatok?

---

- HFC (Hybrid Fiber Coax)
  - A TV csatornák felett kb. 3-400 MHz sávszél downlink csatornáknak
    - 50-60 db csatorna
    - QAM-256-al 40 Mbps egy csatornán → 2 – 2.5 Gbps sávszél
    - 100-200 ház egy kábelben → mindenkinek jut 10-20 Mbps downstream
  - Szépen hangzik, de...
    - Minden kábelt le kell cserélni 850 MHz-es koaxra
    - Új fejállomások, új fényvezető csomópontok (fiber node), kétirányú erősítők
    - Szinte a teljes kábelhálózati rendszert le kell cserélni
- **Akkor miért ne legyen minél több fényvezető szál benne?**

# A kis sebesség ma már kínszűz!!



# Adatátvitel fényvezető szálon

---

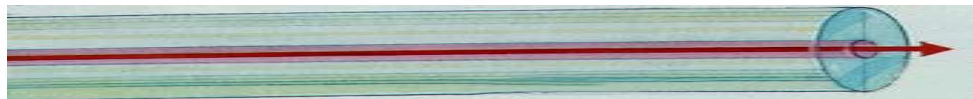
- Három fő komponens:
  - **Fényforrás**
    - LED (light emitting diode), félvezető lézer
  - **Átviteli közeg**
    - Rendkívül vékony üvegszál
  - **Fényérzékelő (detektor)**
    - fény hatására elektromos impulzusokat állít elő
- Az adatátviteli sebességet az átalakítás sebessége határozza meg
  - A gyakorlati sebesség egy szálon ma 10-50 Gbps

# Fényvezető szálak



- **Többszörös módusú szál**

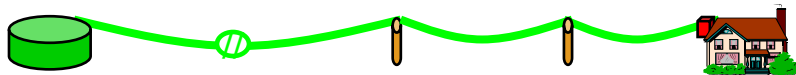
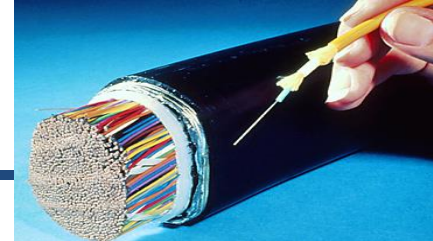
- A fényimpulzusok hosszanti irányban szétszóródnak a szálban
- Egyszerre több, különböző szögben visszaverődő fénysugár halad
- Olcsó megoldás, de csak kis távolságokra hatékony (500 m)



- **Egymódusú szál**

- Ha az üvegszál átmérője nagyon kicsi, a fény visszaverődés nélkül, egyenesen terjed
- Jóval drágább a szál, és nagyobb kapacitású, jobb lézereket igényel
- Nagyobb távolságok áthidalására sokkal jobb
  - 50 Gbps 100 km távolságba erősítés nélkül
  - A transzatlanti optikai kábeleknél nagyon fontos, hogy kevés erősítő legyen
- A gerinchálózatban csak egymódusú szálakat használnak

# Fiber vs. Réz érpár



- Optikai kábel

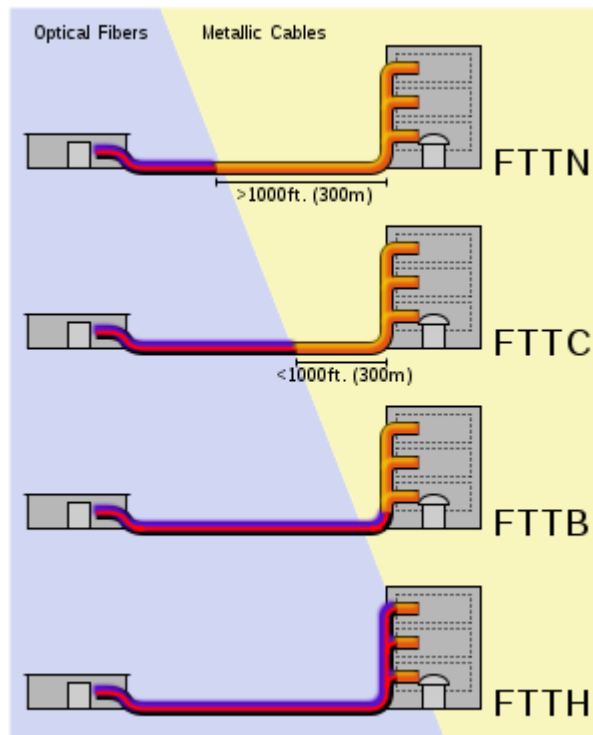
- Fényjelekkel működik
- Nem érzékeny az elektromágneses interferenciákra
- Ismétlők kb. 30 km után
- Kismértékű hőágulás
- Törékeny, viszonylag merev anyag
- Kémiaailag stabil

- Réz érpár

- Elektromos hullámok
- Érzékeny az elektromágneses interferenciákra
- Ismétlők 5 km után
- Nagymértékű hőágulás
- Hajlítható anyag
- Érzékeny a korrózióra és galvanikus reakciókra
- Újrahasznosítható
  - Jó pénzért el lehet adni a rezet

# FTTx

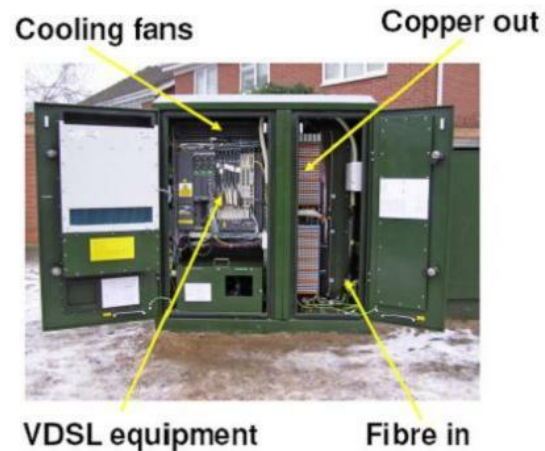
- FTTx – Fiber To The x
  - FTTN – Fiber To The Neighborhood
  - FTTC – Fiber To The Curb
  - FTTB – Fiber To The Building
  - **FTTH – Fiber To The Home**
  - ...
  - FTTO – Fiber To The Office
  - FTTD – Fiber To The Desk
  - FTTE – Fiber To The Enclosure
  - FTTP – Fiber To The Premises
  - FTTU – Fiber To The User





# FTTC/FTTB

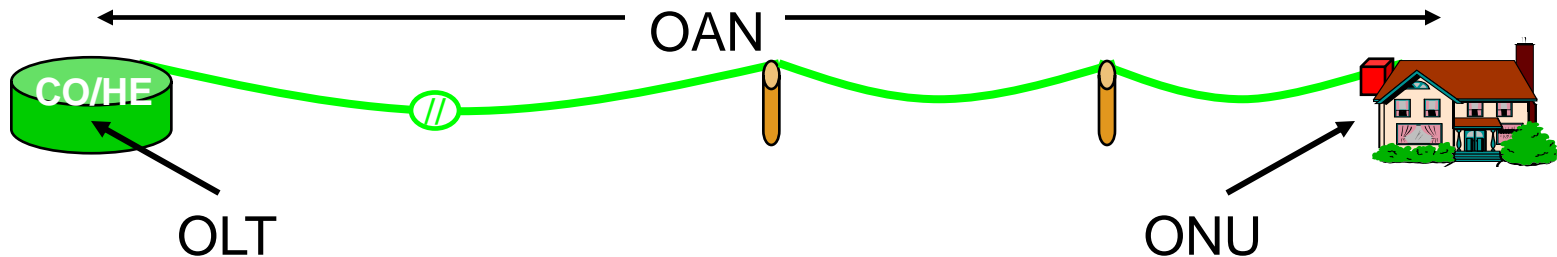
- **Fiber To The Curb / Building**
  - Üvegszál az elosztódobozig / épületig
- Üvegszál a helyi központból minden lakókörzetig
  - A szál egy ONU-ban végződik
    - Optical Network Unit – optikai hálózategység
  - Több helyi rézhurok, coax, Ethernet kábel csatlakozhat hozzá
    - Nagyon rövid hurkok, lehetséges szimmetrikus nagysebességű kiterjesztés
      - Pl. VDSL – Dél-kelet Ázsiában nagyon elterjedt
    - Alkalmas MPEG-2 átvitelre, videokonferenciázásra
    - Az FTTC/FTTB maga szimmetrikus átviteli sebességeket biztosít



# FTTH – Fiber To The Home

---

- Rendszerelemek
  - OAN: Optical Access Network
    - Optikai hozzáférési hálózat
  - ONU/ONT: Optical Network Unit/Terminal
    - Az előfizető otthonában
  - OLT: Optical Line Termination
    - végződtetés a szolgáltató hálózatában

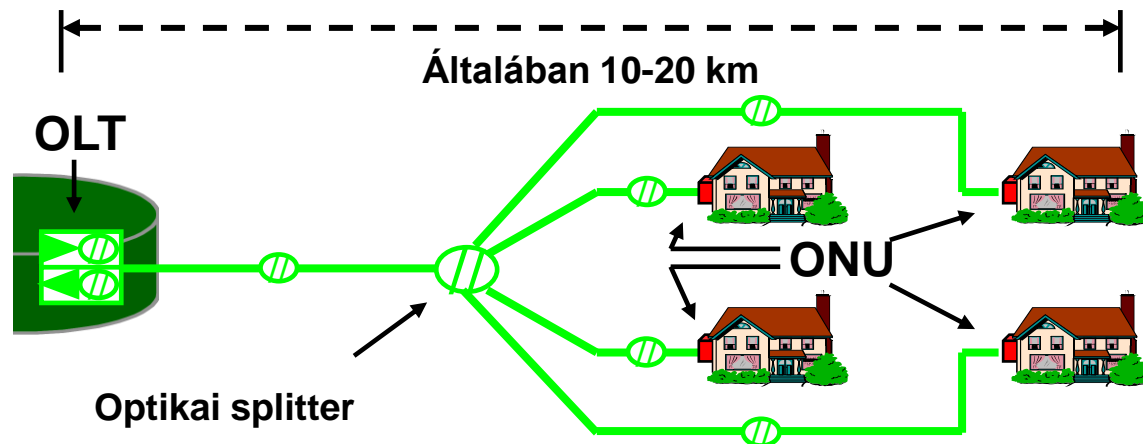


# FTTH architektúrák



- **PON – Passive Optical Networks**

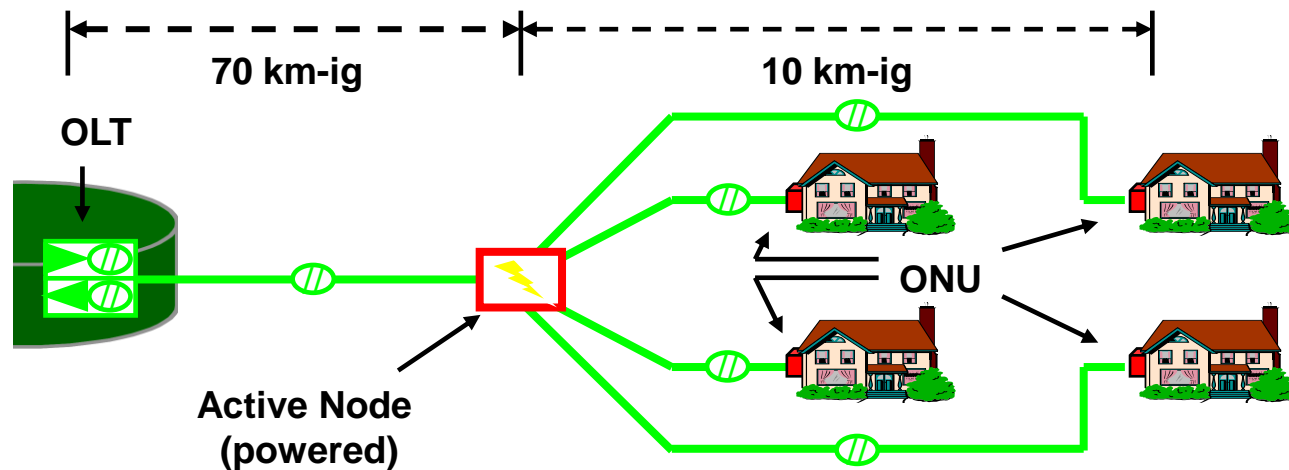
- Több felhasználó megoszt egy fényvezető szálát
- Optikai splitter-ek a jel szétválasztására és aggregálására
- Áramellátás csak a végeknél szükséges
- Osztott hálózat – Point to Multipoint (P2MP)



# FTTH architektúrák

- **Active Node (AON)**

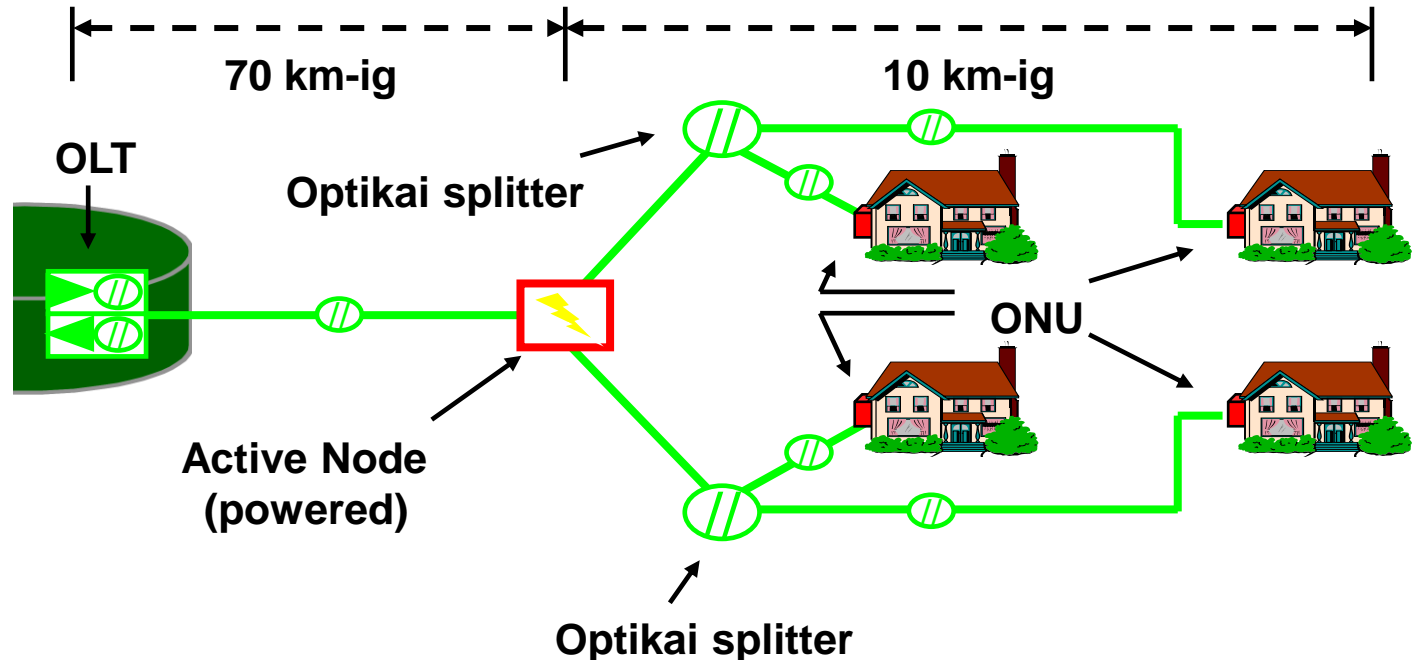
- Az előfizetőknek saját fényvezető száluk - Point to Point (P2P)
- Aktív, árammal táplált csomópontok a forgalom elosztására - Ethernet switch



# FTTH architektúrák

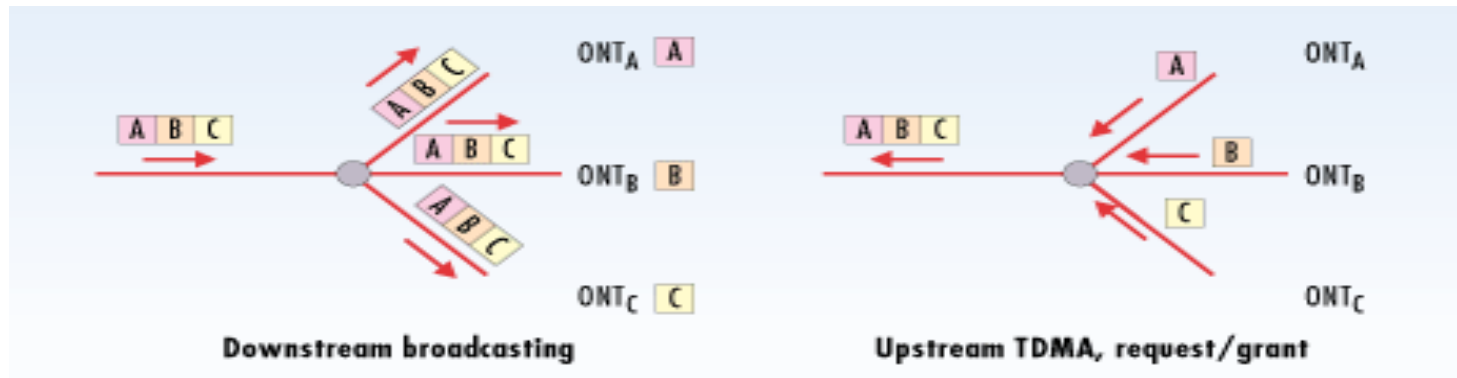
- **Hybrid PON**

- Az előbbi két architektúra kombinált változata



# TDM-PON le- és feltöltés

- A le- és feltöltés nem egyformán működik
  - A letöltés broadcast
    - A splitter minden szálra kitesz minden csomagot
    - Az ONU csak azt a csomagot kezeli melyet neki címeztek (fejléc alapján)
  - A feltöltés TDMA-t használva történik
    - Az OLT időszeleteket oszt ki az ONU-knak
    - Szinkronizált csomagküldés
    - Időszeletek kiosztása igénylések függvényében



# Ethernet vagy ATM alapú TDM-PON?

---

- Két külön technológia vetélkedik egymással
  - APON – ATM-based PON
    - Az első PON implementáció
  - EPON – Ethernet-based PON

# ATM (Asynchronous Transfer Mode)

---

- A különböző típusú forgalmak (audio, video, data) párhuzamos átvitelére találták ki
  - Az 1500 byte-os Ethernet csomagok túl nagyok
    - 1.500 byte = 12.000 bit
    - 10 Mbps-os Etherneten 0.1  $\mu$ s bit time  $\rightarrow$  1.2 ms / keret
  - Ha több forrás (gép vagy alkalmazás) áll sorban, túl nagy várakozási idők
- Az audio és video alkalmazásoknak szoros **késleltetés (delay)** és **késleltetés-ingadozás (jitter)** követelményei vannak

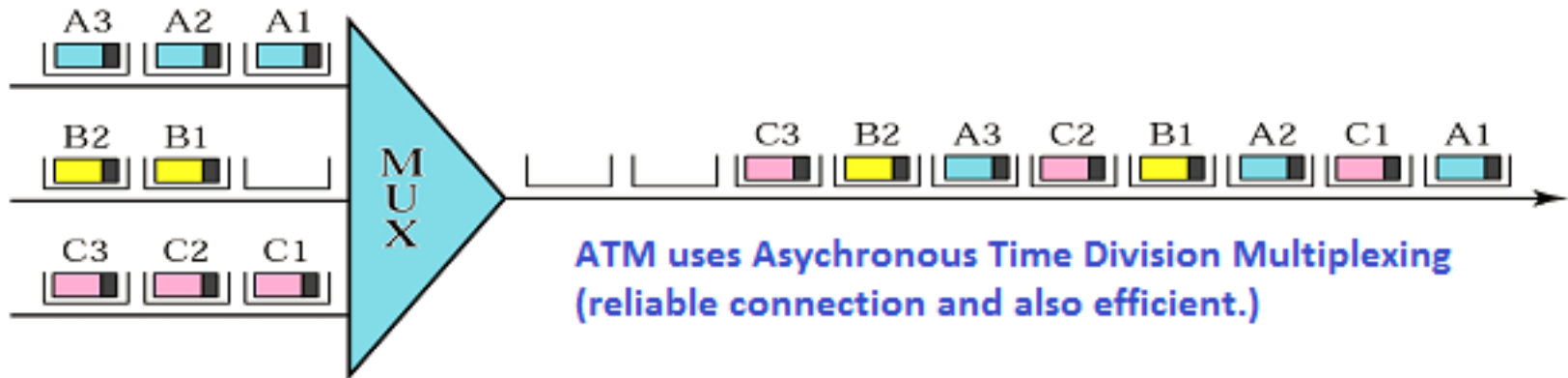
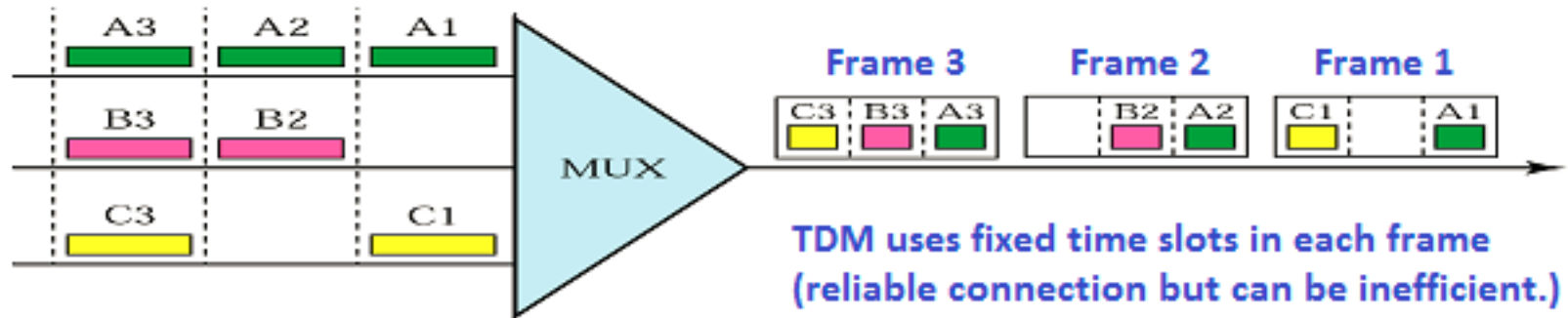


# ATM (Asynchronous Transfer Mode)

---

- ATM megoldás
  - Fix méretű **ATM cellák**: 5 byte fejléc + 48 byte adat = **53 byte**
  - **Segmentation and Reassembly (SAR)**
    - Változó méretű keretek feldarabolása, majd visszaállítása a vevőnél, a fejléc alapján
  - **Asynchronous Time Division Multiplexing**

# ATM (Asynchronous Transfer Mode)



# APON

---

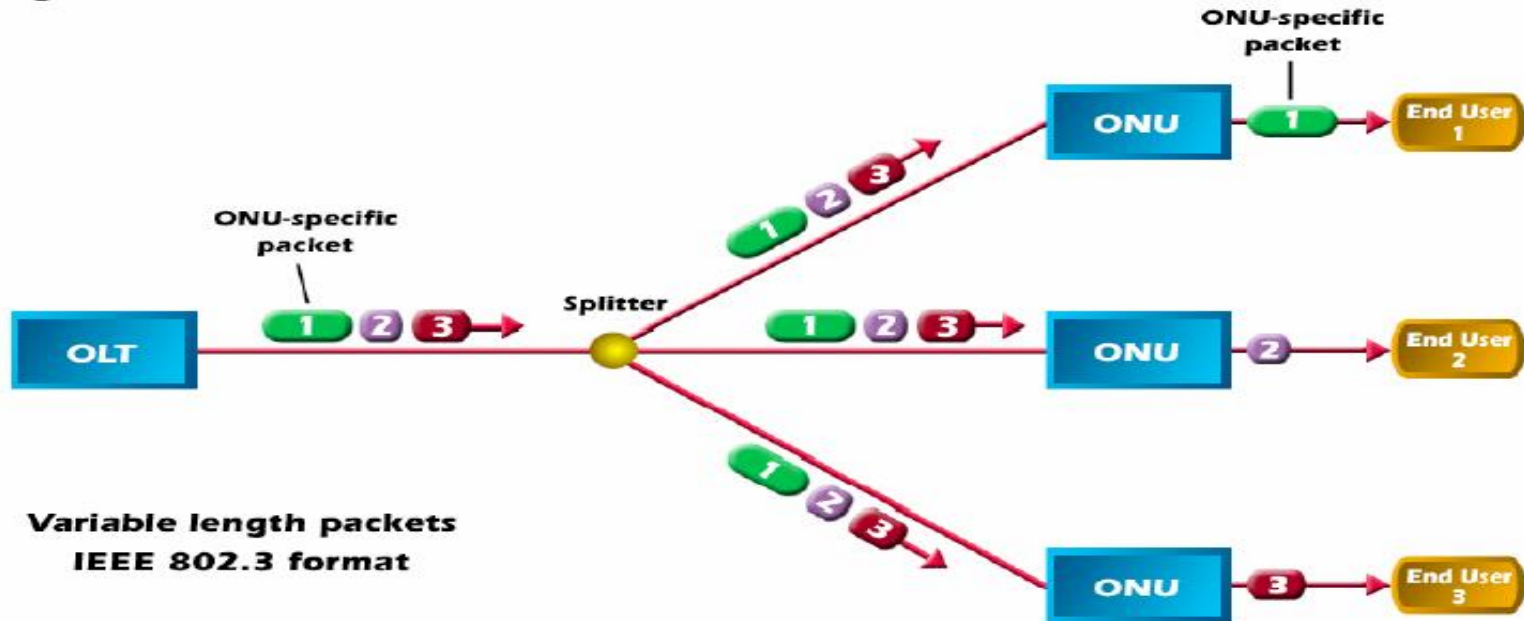
- **Segmentation and Reassembly (SAR)**
  - Fix hosszúságú csomagok
    - 53 byte-os ATM cellák
  - Az adatok átmennek egy ATM Adaptation Layer-en (AAL) ahol 48 byte-os darabokra osztják őket
    - Plusz 5 byte a fejléc
  - A címzettnél az eredeti forgalmat újból összerakják
- A SAR miatt az ATM kifejezetten alkalmas video, hang és adatátvitelre
  - A kis, fix hosszúságú cellákban jól lehet késleltetésre érzékeny forgalmat szállítani
  - A procedúra időigényes, az 5 byte-os fejléc pedig nem hatékony (10%-os overhead)
- A fix hosszúságú cellák jól illeszkednek a PON TDMA alapú feltöltéséhez
  - Könnyű az időszeletek kezelése

# EPON

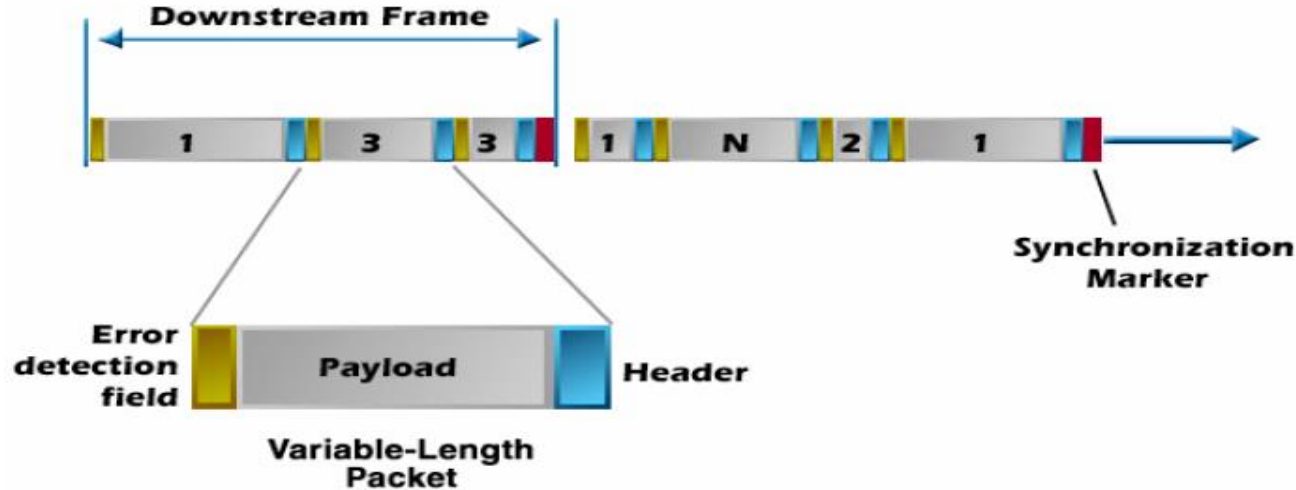
---

- Az adatok az IEEE 802.3 (Ethernet) formátumot használják
  - Változó hosszúságú csomagok 64 és 1518 byte között
- Hogyan oldjuk meg a TDMA alapú feltöltést?
  - fix hosszúságú időszeltek, melyekbe több csomagot be tud rakni az ONU
    - Javít a hatékonyságon
    - Nehéz változó hosszúságú csomagokkal jól feltölteni egy fix hosszú időszeltet

# EPON downstream forgalom

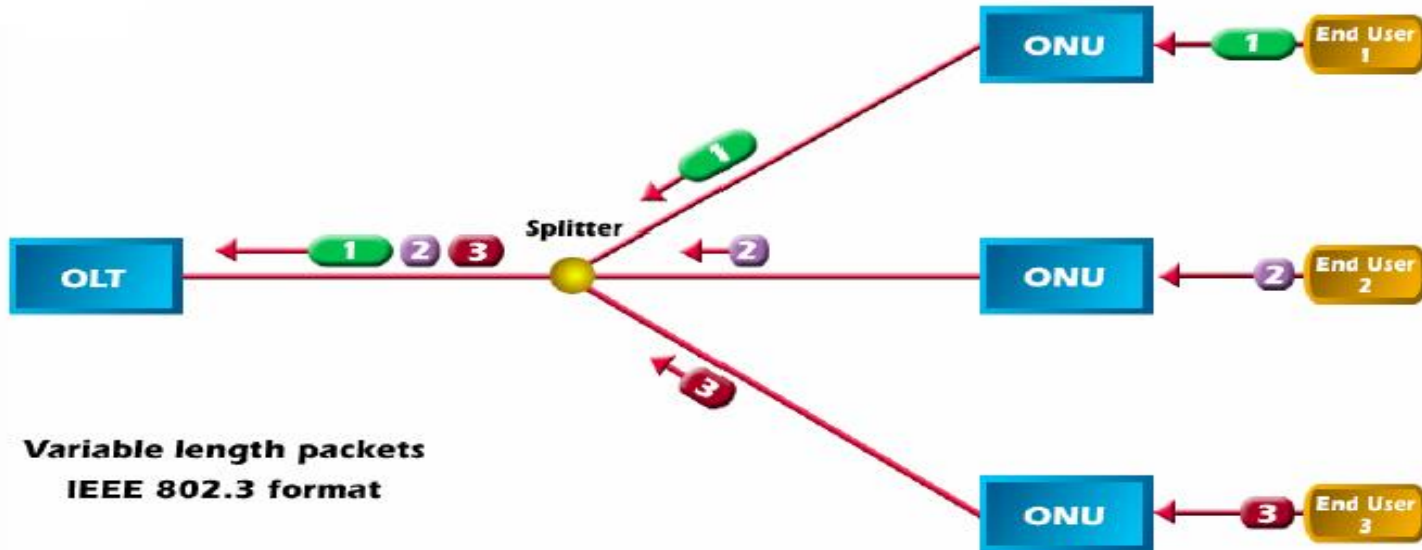


# EPON downstream csomagok

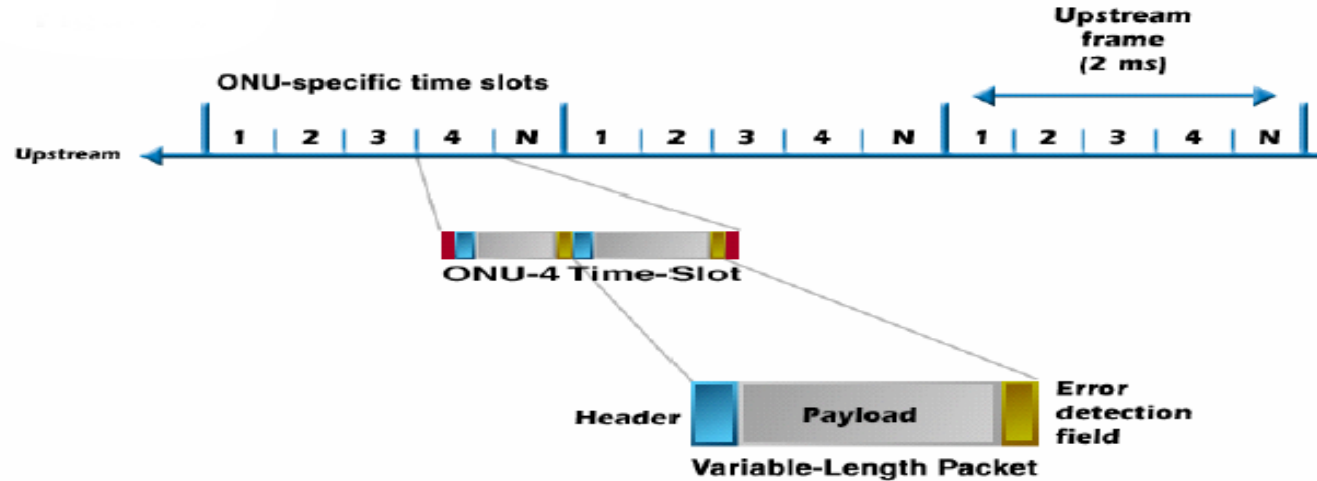


- Fix időközönként (2ms) küldött frame-ek, változó hosszúságú csomagokkal
- Szinkronizációhoz szükséges információ minden frame előtt
- Minden csomag fejléce megmondja ki a címzett
- Hibaellenőrző információ a csomag végén

# EPON upstream forgalom



# EPON upstream csomagok



- Az upstream forgalom frame-ekre (2ms) osztva
- Minden ONU-nak van egy saját időszelete, melyet változó hosszúságú csomagokkal tölthet fel



# Hagyományos PON

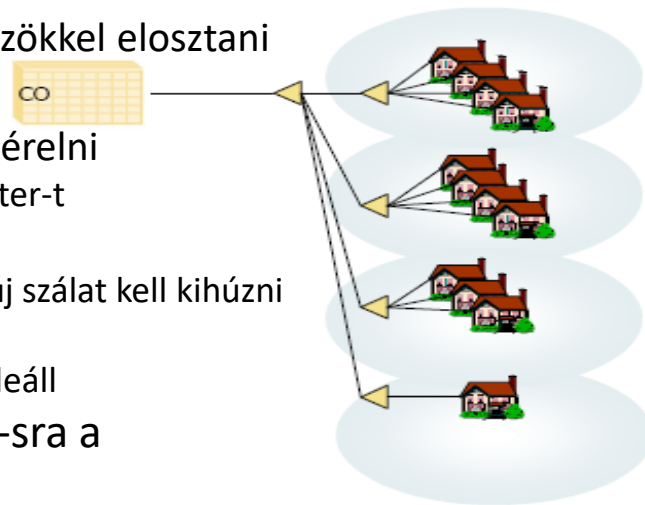
- Az alapötlet:
  - Mindenkinek nem éri meg külön szálát kihúzni az OLT-től
  - Elég egy szálát közel vinni a felhasználókhöz, majd passzív eszközökkel elosztani

- Hátrányok

- A splitter-ekben nincs intelligencia, nem tudod őket távolról vezérelni
  - Ha valami hiba van, nem könnyű egyenként megnézni minden splitter-t
- Nem flexibilis
  - Ha egy 4-es splitter-en keresztül csatlakozol, egy 5-ik előfizetőnek új szálát kell kihúzni
  - Újratervezni a hálózatot, betenni egy nagyobb splitter-t
  - Egy splitter cseréjénél minden downstream előfizető szolgáltatása leáll

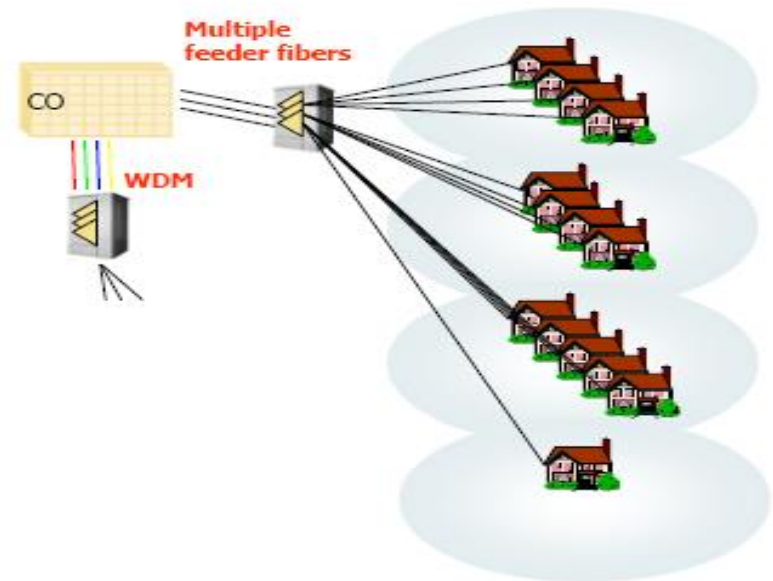
- Megoldás: ha 1x32-es splittert használasz, ne tervezd 32 ONU-sra a hálózatot, csak 16-osra vagy 24-esre

- Van hely bővítésre
- A maradék 16-nak többre fog kerülni a szolgáltatás



# Passive Star PON

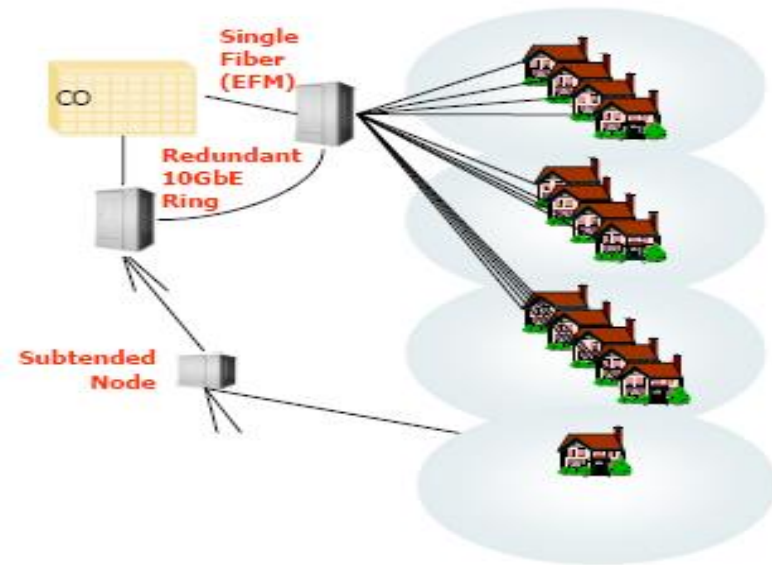
- A splitter-ek egy dobozban csoportosítva
  - Egyszerűbb a hibaelhárítás
- Továbbra is fa struktúra
  - Ha a splitter és a CO közötti szál meghibásodik, nincs backup
  - A splitterek passzívak, nem tudnak átváltani egy új útvonalra hiba esetén



# Active Star

- Hátrány az aktív (árammal ellátott) node szükségessége
- Sok szempontból előnyös intelligens eszközöket használni a hálózat szélén
  - Az aktív node **IGMP\*** proxy-ként működhet
    - Multicast forgalom támogatása
    - Hatékony erőforráskihasználás
  - Hibatűrő megoldás
    - Az aktív node-ok gyűrűbe kötve
    - **Ethernet Protection Switching Rings (EPSR)**
    - 50 ms alatti váltás hiba esetén
      - Video esetén pillanatnyi kockás kép
      - Egy telefon kapcsolat nem szakad meg
  - Könnyen menedzselhető, könnyű hibaelhárítás

\*IGMP- Internet Group Management Protocol



# Újabb TDM-PON verziók

---

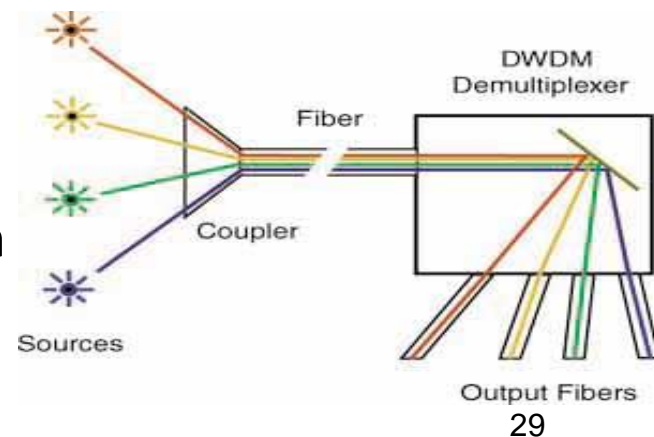
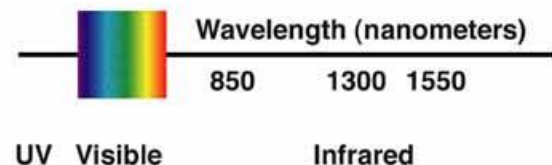
- **Broadband PON (BPON)**
  - 622 Mbps downstream, 622 Mbps upstream
- **Gigabit PON (GPON)**
  - Több downstream/upstream változat
    - Legelterjedtebb az 2.48 Gbps downstream és 1.244 Gbps upstream
- **XGPON (10G-PON) – 2010**

# Hullámhossz osztás – WDM-PON

- WDM – Wavelength Division Multiplexing
  - Több hullámhossz (szín, frekvencia) ugyanazon az üvegszálon
  - Akár 160 szín
    - 10 Gbit/s szálon elméletileg 1.6 Tbit/s

- WDM-PON

- Ötvözi a TDM-PON és az AON előnyeit
- Virtuális P2P kapcsolat minden ONU-nak
- Alacsonyabb késleltetés mint a TDM-PON-ban

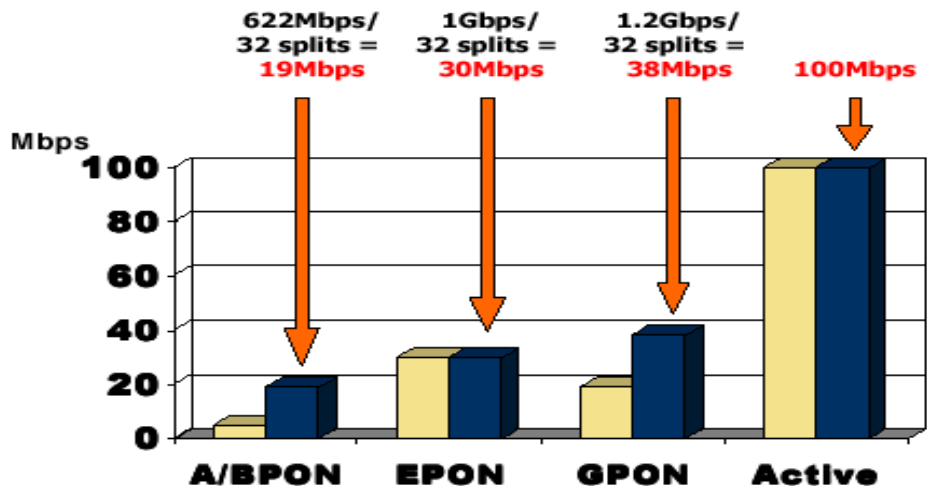


# WDM-PON verziók

---

- Nincs szabványosított megoldás
  - Lehet dedikált uplink és downlink hullámhossz minden ONU-nak
  - Lehet adaptívan hozzárendelni a hullámhosszokat az ONU-khoz, igény alapján – adaptív lézerek
  - Lehet több ONU ugyanazon a hullámhosszon, ott TDM-et használva
  - Composite PON (CPON) – WDM technológia downstream irányban, TDMA upstream irányban

# Adatátviteli sebességek összehasonlítása



- PON megoldásoknál kisebb sebességek
  - Osztott rész az OLT és az első splitter között
  - Valamivel jobb a helyzet ha nem telített a splitter
    - Nem 32-be, hanem csak 16-ba vagy 24-be kell osztani
- Active Node-nál mindenkinek saját fényvezető szála
  - Magánfelhasználóknak általában 100 Mbps mindkét irányban
  - Üzleti előfizetőknek akár több Gbps

# FTTx szolgáltatás

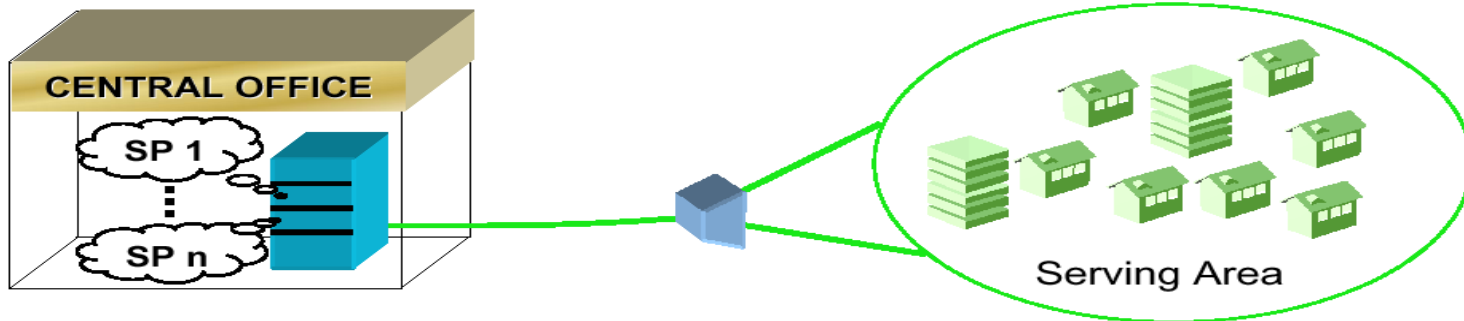
---

- Két szolgáltatási modell
  - Saját hálózat
    - Az FTTx szolgáltatások nagy része
    - A hálózat tulajdonosa egyenesen a felhasználóknak adja el a szolgáltatást
    - Hagyományos telefon és kábeltévé szolgáltatási modell
  - Nyílt hozzáférés
    - Több országban törvényi szabályozás miatt
    - A hálózat tulajdonosa átadja az infrastruktúrát több viszonteladó szolgáltatónak, ők szerződnek a felhasználókkal



# Nyílt hozzáférés (Open Access)

- A tulajdonos egyenlő feltételek mellett adja át a hálózatát különböző szolgáltatóknak (Telco, ISP, video szolgáltató, stb)
  - Saját maga nem lép be a versenybe
- Általában önkormányzati, városi hálózatok
  - A hálózati infrastruktúra közszolgáltatásnak számít
    - Úgy mint a víz, az áram vagy az úthálózat



# Open Access példák

---

- Sok önkormányzati Open Access hálózat Nyugat Európában és főként Skandináviában
  - Stokab (Stockholm) – az első önkormányzati FTTx hálózat (1996)
  - Vasterbotten – vidéki régió, fele akkora mint Hollandia, 260.000 lakos
    - 15 önkormányzat összekötve egy FTTx hálózaton
  - Svédországban 289 önkormányzat, több mint 200-nak saját hálózata
  - CityNet, Amsterdam – 450.000 házat bekötő hálózat
  - Több önkormányzati hálózat Dániában
- Franciaországban és Angliában új törvényjavaslatok a nyílt hozzáférésű hálózatok támogatására vagy kötelezővé tételére
- Néhány önkormányzati hálózat az USA-ban

# FTTH Európában

---

- Sok országban jogilag szabályozva
  - Nemzeti szélessávú stratégiák
- Miért nem építenek saját optikai hálózatot az „incumbens” szolgáltatók?
  - Így is uralják a piacot, nincsenek rákényszerítve
  - A rövid előfizetői hurkok miatt viszonylag magas xDSL sebességek
  - Skandináviában olcsóbb az önkormányzatok hálózatait bérelni, mint sajátot építeni
  - A videoátvitel még nem annyira követelmény mint Ázsiában
- A helyi önkormányzatoknak az FTTH egy fontos eleme a regionális fejlesztésnek
  - Vonzóvá teszi a régiót, megéri befektetni

# FTTx saját hálózaton

- Versenyhelyzetes piacok
  - Minden szolgáltatónak saját hálózata, mellyel lefedik ugyanazt a területet
  - Leginkább jellemző az USA-ban és Japánban
    - 9 japán szolgáltatónak van saját hálózata
  - Európában is van rá példa (Hollandia)
  - Nagyobb sebességek, kisebb üzemeltetési költségek (OpEx)
    - Nagyobb tőkeberuházás (CapEx)



# FTTH verseny Tokió belvárosában

