

# **Přístupové a metropolitní optické sítě – současný stav a výhledy jejich rozvoje**

**Anton Kuchar**

**Ústav radiotechniky a elektroniky AV ČR**

**Praha**

# **Obsah přednášky**

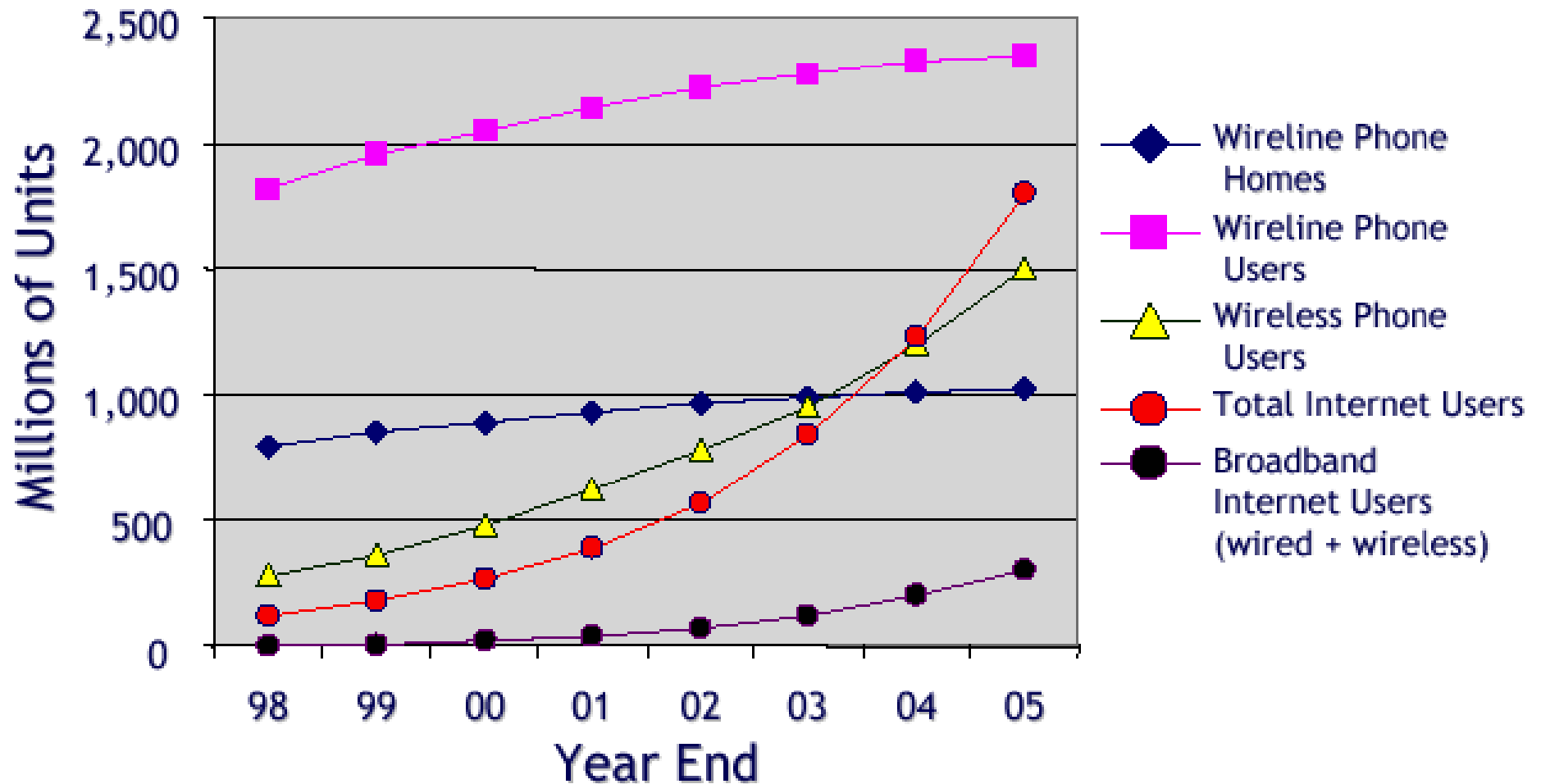
- 1. Úvod**
- 2. Dálkové sítě**
- 3. Metropolitní sítě**
- 4. Přístupové sítě**
- 5. Služby pro přenos informace**
- 6. Netechnické aspekty**
- 7. Závěr**

# Úvod

- **Velké pokroky v dálkových sítích**
- **Zanedbaná, ale drahá „periferie“**
- **Jaké služby? Konvergence**
- **Každý chce mít „Broad band“**
- **Provoz roste, ale výnosy klesají**
- **Legislativci na scéně**

# Úvod

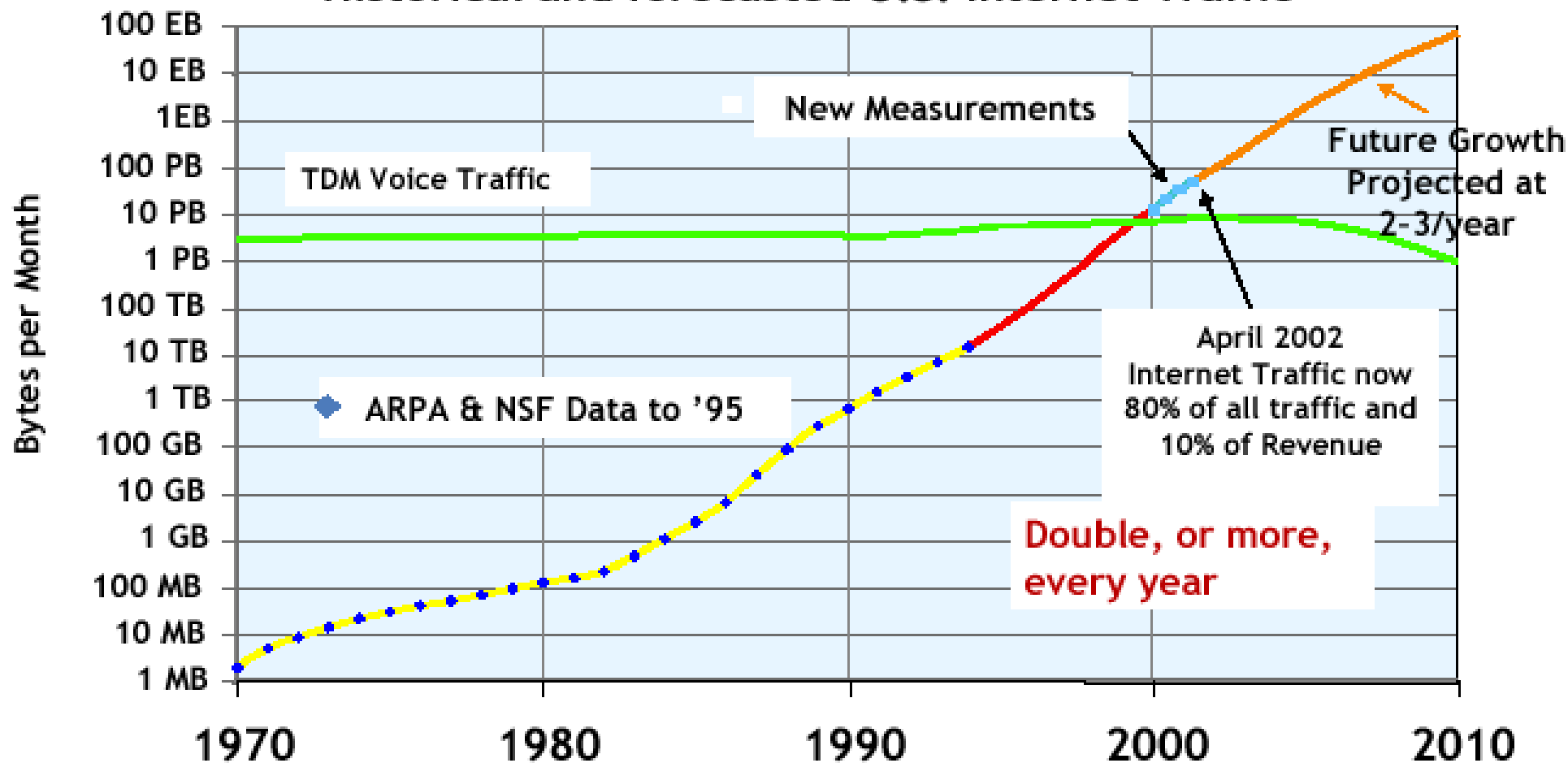
## Nárůst počtu účastnických přípojek



# Úvod

## Růst internetového provozu

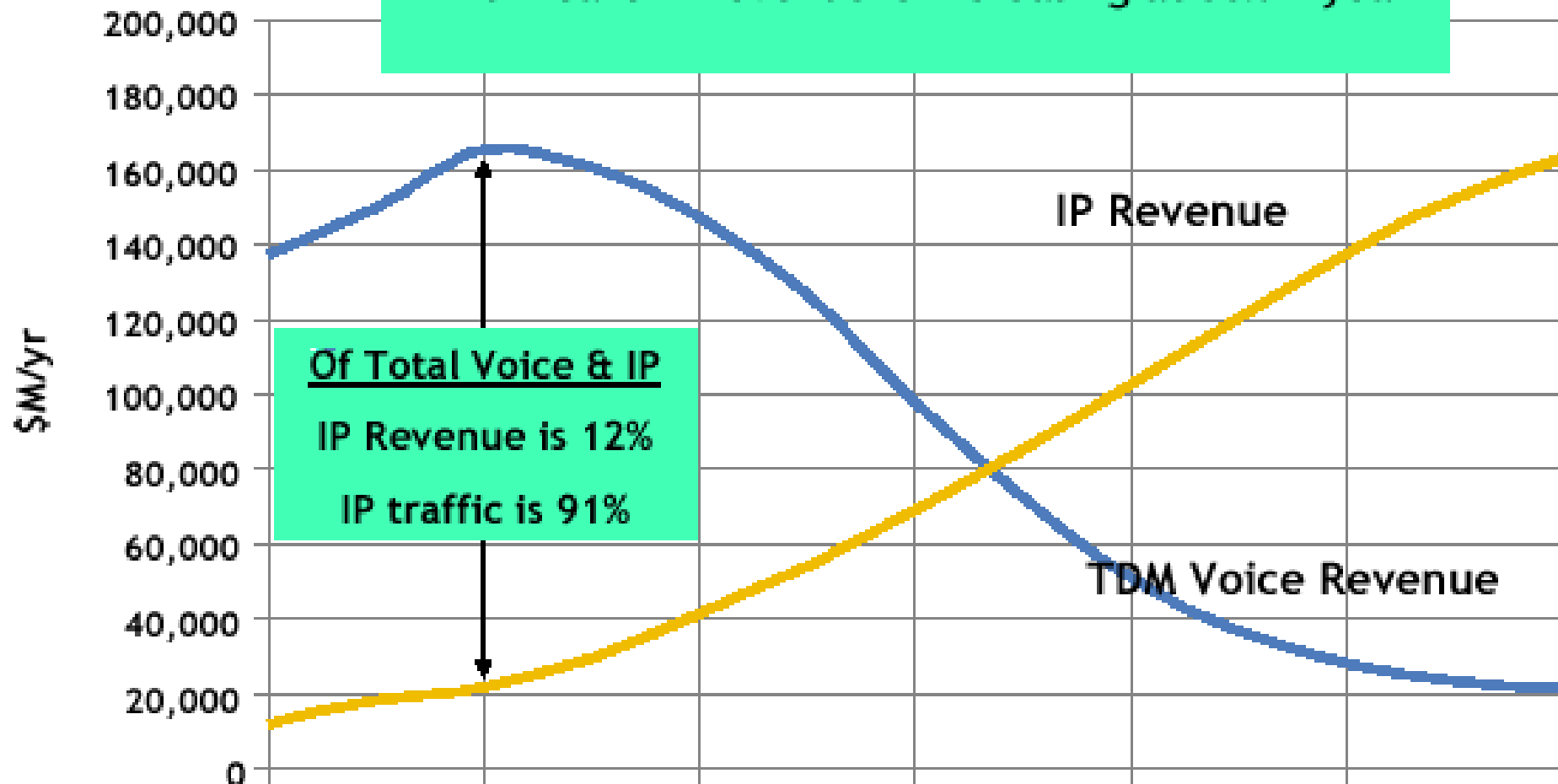
Historical and forecasted U.S. Internet Traffic



# Úvod

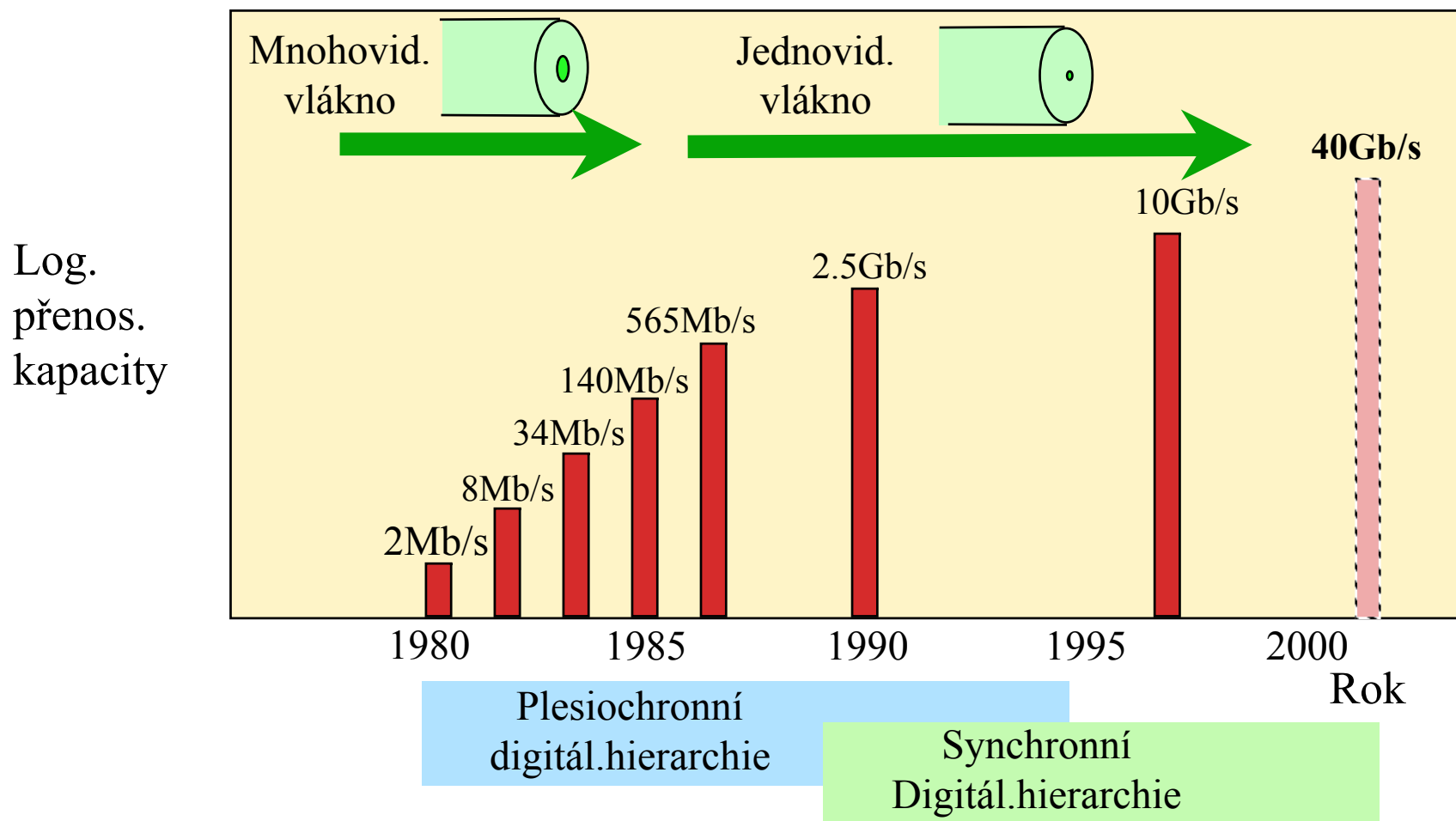
## Vývoj výnosů za hlas. a internetové služby

IP revenue per bit is decreasing at 2:1 per year  
This means IP revenue is increasing at 50% / year



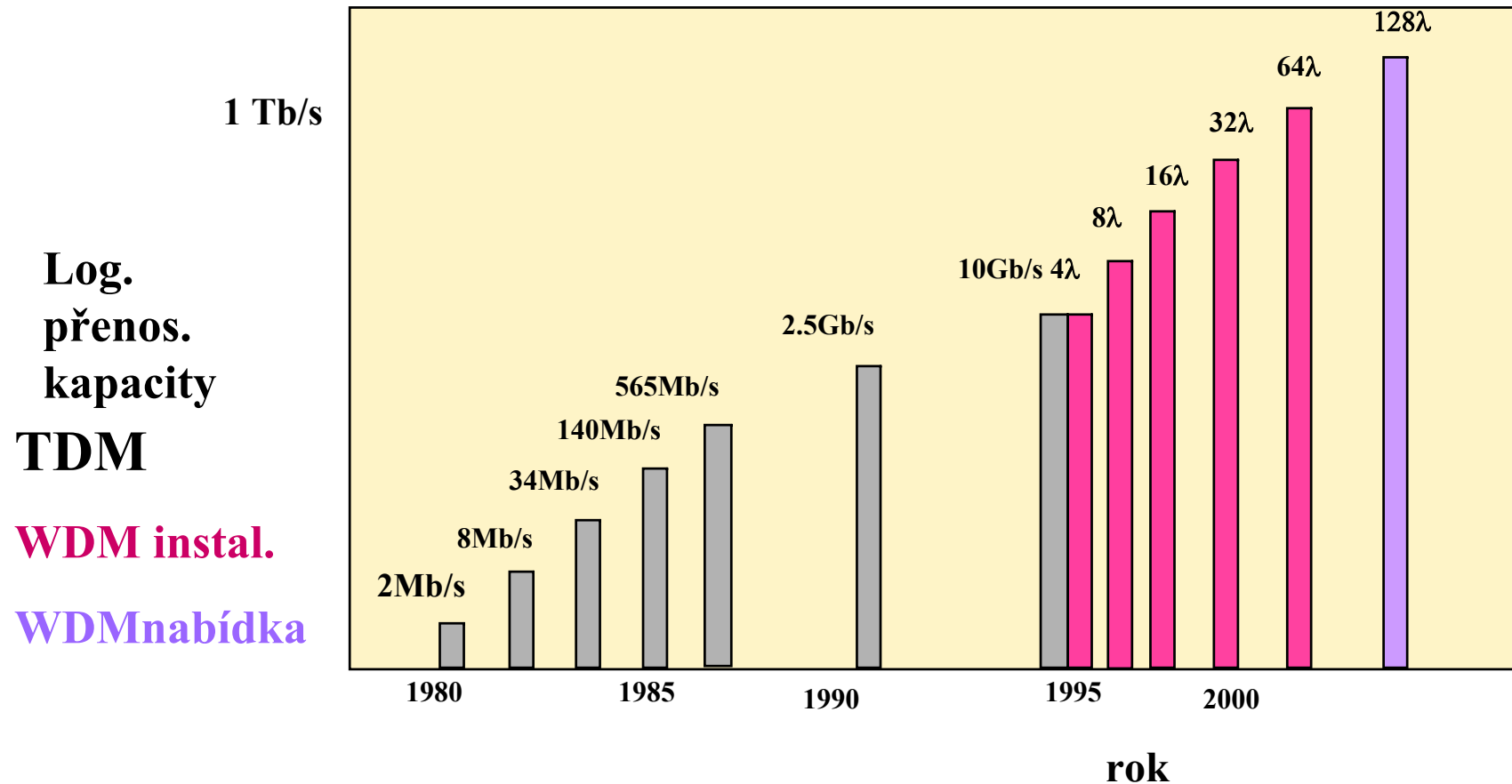
# Dálkové sítě

Nárůst přenosové kapacity na jedné vln. délce



# Dálkové sítě

Nárůst přenosové kapacity jednoho světlovodu s využitím vln. mux. (WDM)



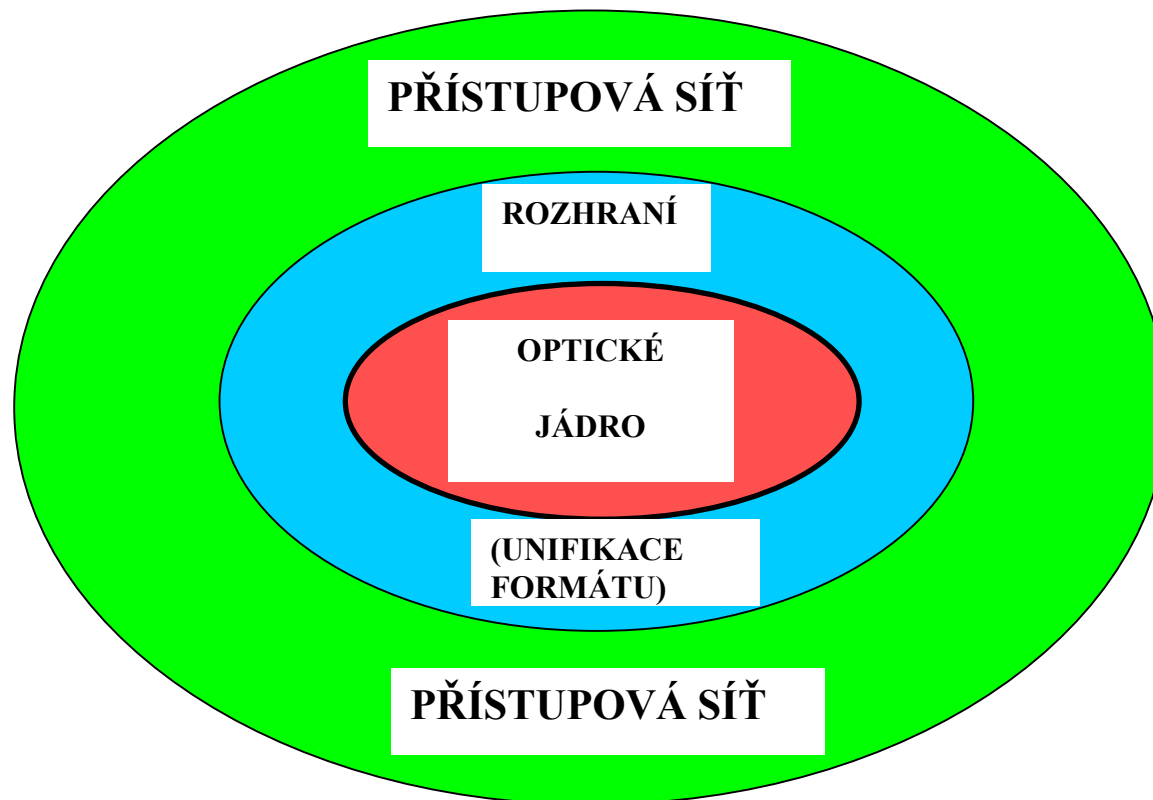


# Obecný model (pevné) transportní sítě

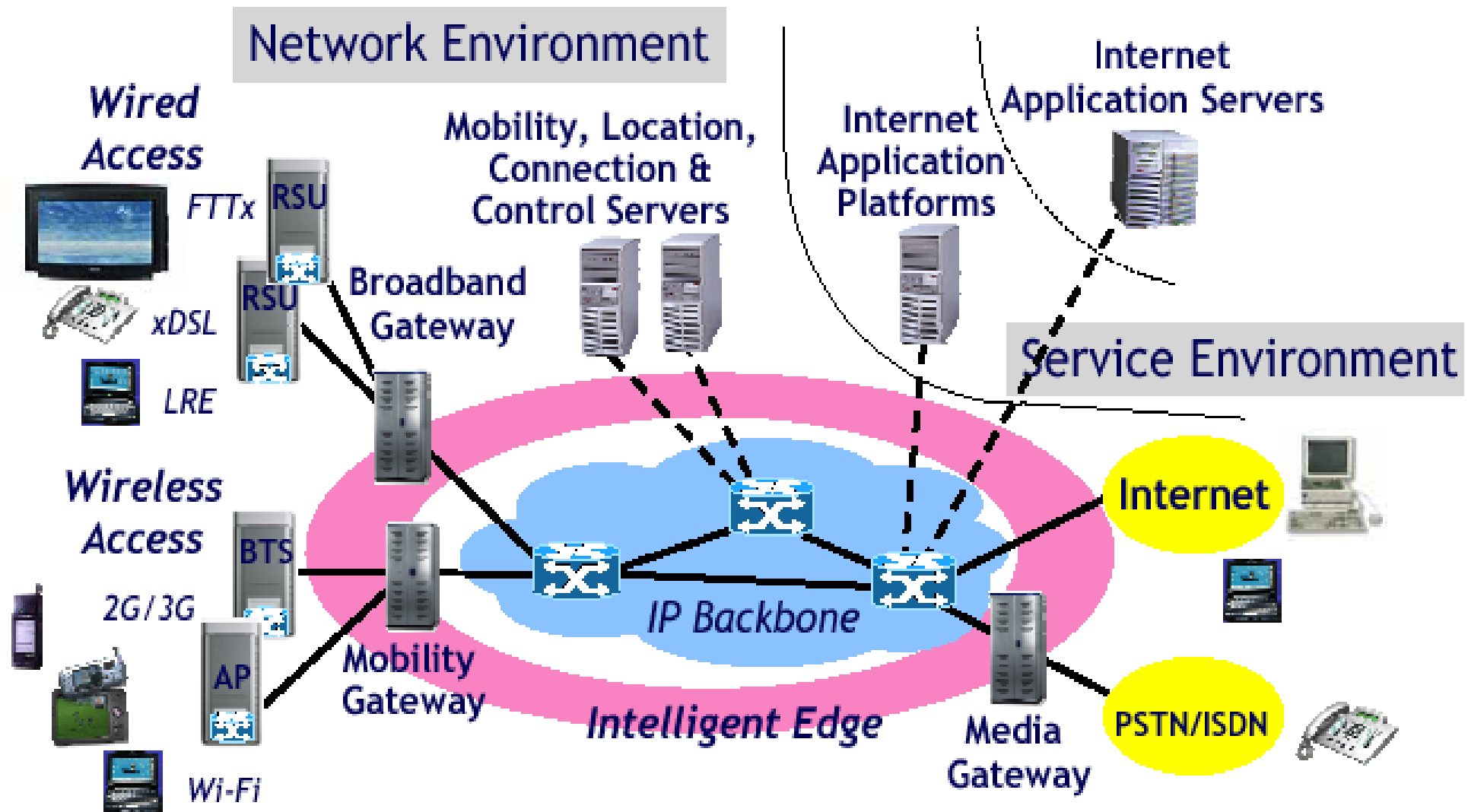
## Transportní síť má dvě části:

- **Místní = přístupové + metropolitní sítě (periferie, okraj, včetně vnitroobjektové části)**
  - Agregace signálů (provozu)
  - Signály se třídí a seskupují podle místa určení a požadované kvality služby (QoS)
- **Dálkové sítě - jádro**
  - Je transparentní vzhledem k signálovým formátům
  - Ryze optické přepojování a směrování
- **Sít'ové technologie:**
  - ATM (využívají zavedení, dominantní = „incumbents“ oper.)
  - nebo IP/MPLS (využívají jí noví, alternativní provozovatelé )

# Vývojový trend architektury sítí pro přenos informace

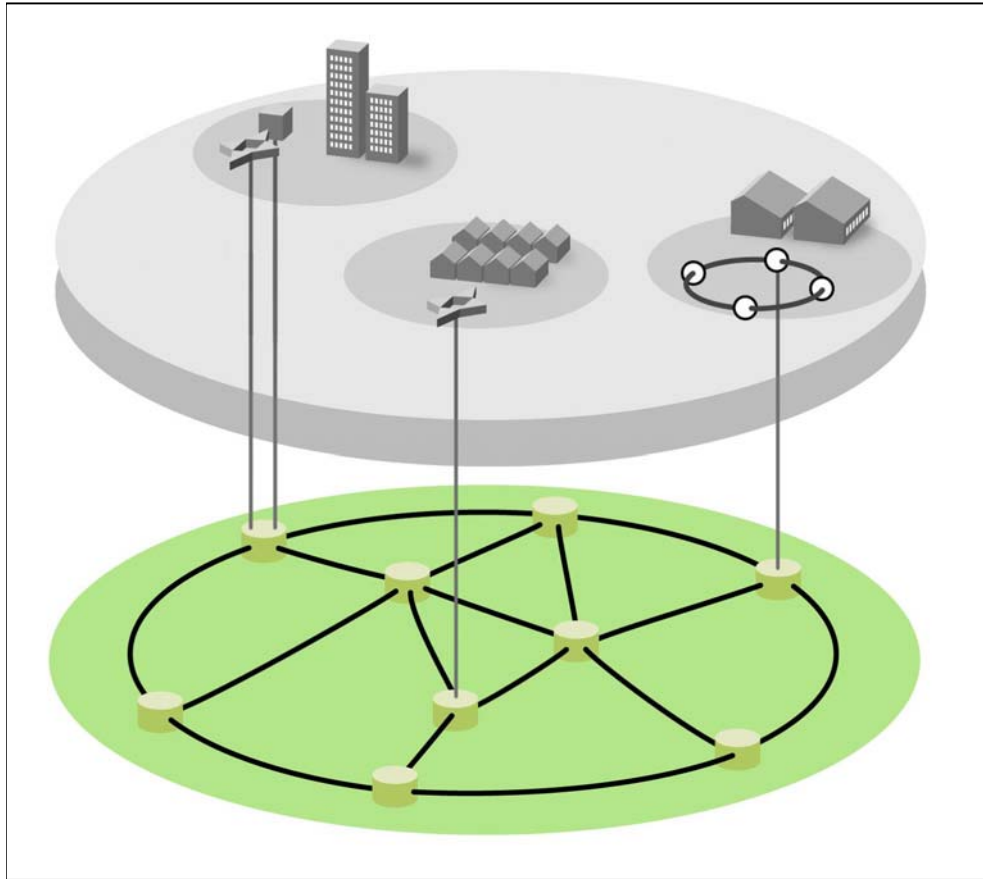


# Obecné uspořádání IP sítě



# Elektrická a optická vrstva

## *Síťové funkce na optice*



### ***Elektrická vrstva: služby***

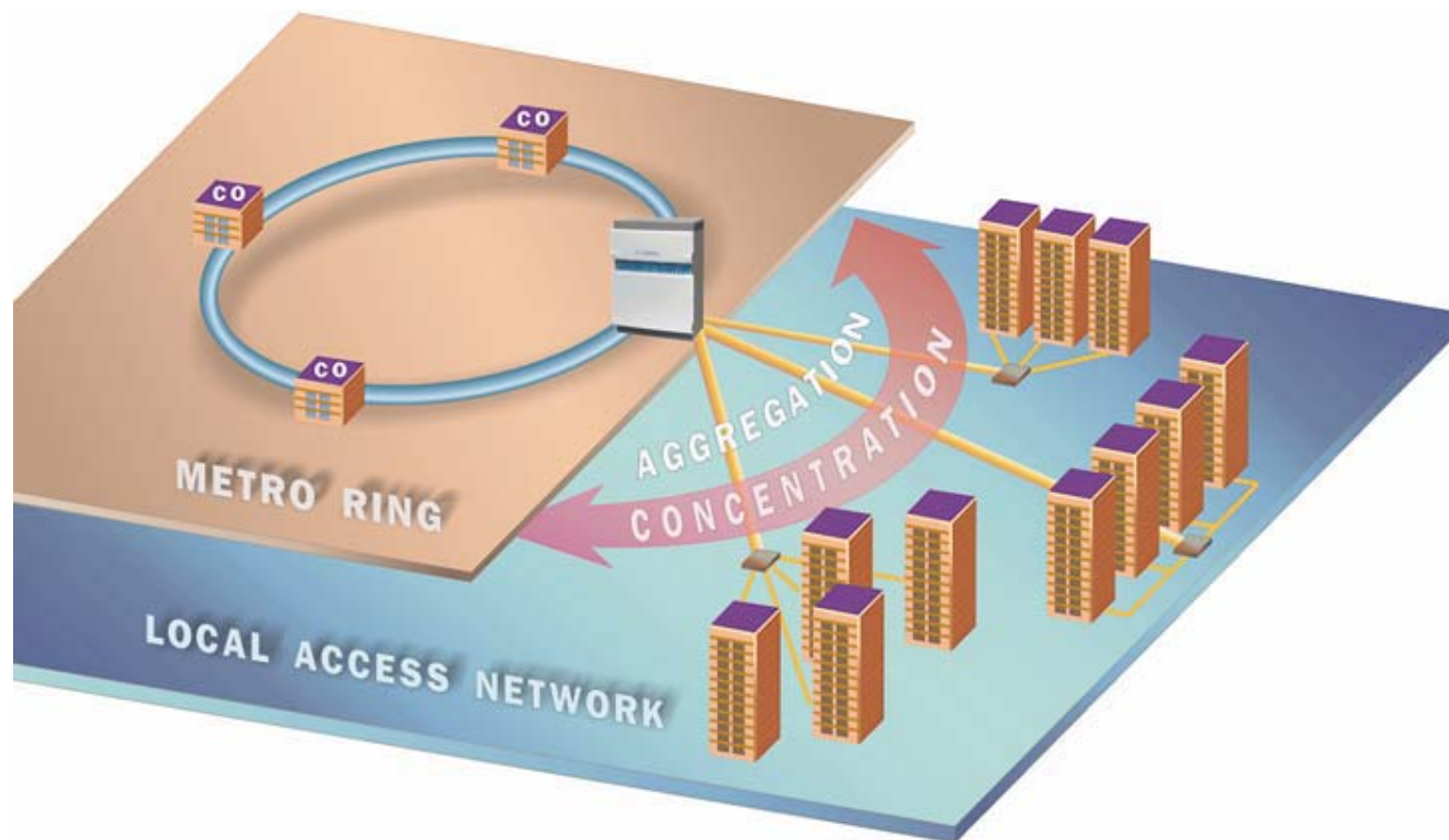
- *Sub-lambda multiplex (soustředování a přepojování)*
- *TDM, ATM, IP, GigE, ...*

### ***Optická expresní vrstva***

- *Jednoduchý a rychlý přenos*
- *Transparentní vln. kanály*
- *Regenerace, translace  $\lambda$ , ...*

# Metropolitní a přístupové sítě

## Celkový pohled



# Metropolitní sítě

## Co je to MAN?

- Segmentace sítí (části):  
přístup/okraj/agregace/jádro /región /dálková síť  
(WAN)
- Jsou něco mezi přístupovými a dálkovými sítěmi:  
L asi do 100 km
- Vlastnosti: Mnoho různých typů uzlů, signálových  
formátů a druhů provozu,..
- Uživatelé:
  - Podniky a instituce (LANy...)
  - MSP, domácí kanc., domácnosti (indiv. konc. uživatelé)

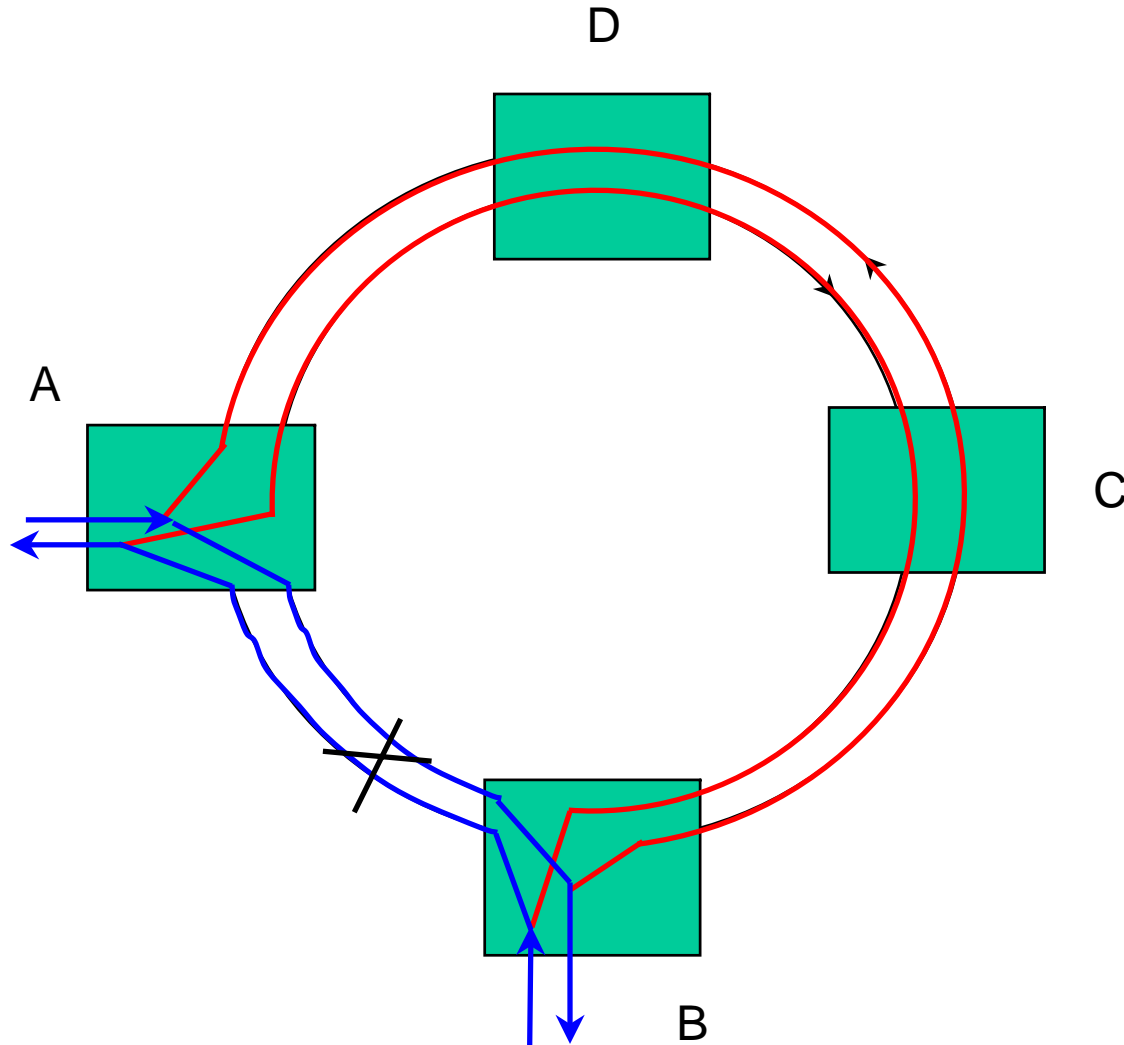
# Metropolitní sítě

- Převládá paketový provoz
- Původně byly zřizovány pro propojení LANů
- Kruhová topologie, později i polygonální
- Řídké (hrubé) vlnové multiplexování (C-WDM)
- Transport protokoly:
  - Doposud: ATM nad SDH 10 (40) Gb/s
  - Nově: Ethernet (v jádru až 10 Gb/s, rozšiřuje se do reg. i dálk. WANs, LAN/přístup/okraj/agregace = 1 Gb/s)

# Metropolitní síť

Fyzická vrstva - topologie

Optická MAN (OMAN) s jedním párem vláken

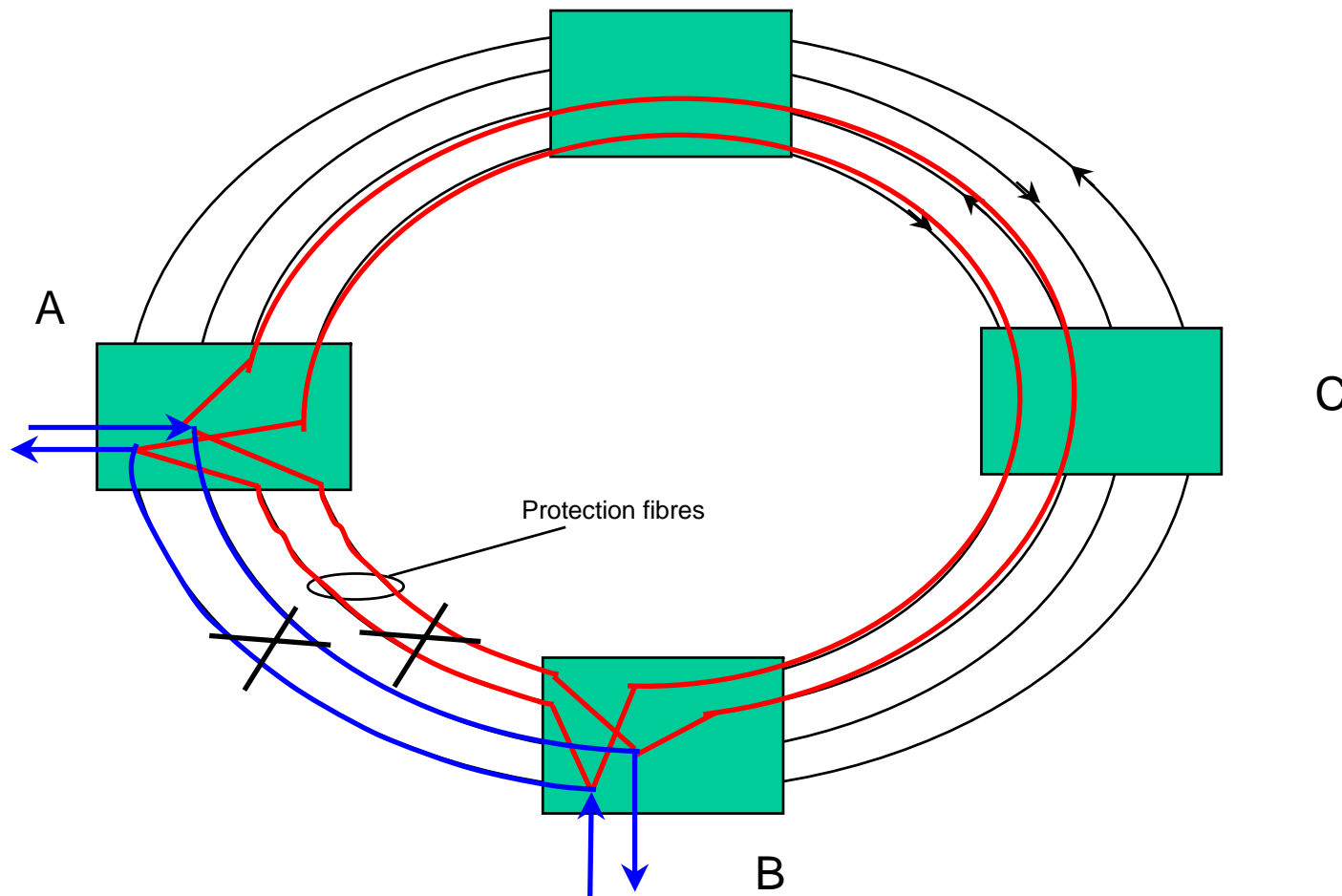




# Metropolitní síť

## Fyzická vrstva - topologie

OMAN se dvěma páry vlákn  
D



# Metropolitní síť

Fyzická vrstva – omezení přenosu signálů (a)

- Většina MANů je omezena výkonem, zejm. když obsahují i optické odbočovače/slučovače (Optical Add/Drop Multiplexers, ADMs). Pokud však využívají přímo modulované laserové diody (LD) na 10 Gb/s mohou být na velké vzdálenosti (>200 km) omezeny disperzí
- Elektronická regenerace je využívána jen k de/multiplexování signálů v uzlech sítě

# Metropolitní síť

## Fyzická vrstva – omezení přenosu signálů (b)

- Vliv disperze: je kompenzován speciálními vlákny kromě případů, kdy jsou použity vlákna s negativní disperzí (NDFs). Tam se jako předkompensace využívá „chirp“ („rozježení“ spektra) přímo modulovaných LD
- Vliv nelinearit vlákna: Přenosová kapacita je obvykle omezena čtyřvln. směšováním (Four-Wave Mixing, FWM) a Ramanovým jevem, které způsobují mezikanál. přeslechy. Velká disperze, velký rozestup mezi kanály a malý výkon ve vláknech snižují vliv FWM. Velký efektivní průřez jádra vláken snižuje vliv Ramanova jevu.

# Metropolitní sítě

## Fyzická vrstva – typy vláken

- SSMF (Standard SM Fibre)
  - LWPF\* (Low Water Peak Fibre, jako např. **AllWave** od firmy Lucent ) umožňují využívat oblast kolem vln. délky 1400 nm kde je i poměrně nízký útlum (0,35 dB/km)
  - NZDF (NonZero Dispersion Fibre – potlačuje FWM)
  - NDF\* (Vlákno s negative disperzí, jako např. **MetroCor** od firmy Corning). Má poněkud vyšší útlum na vln. délce 1385 nm
- \* = speciálně navrženo pro MAN

# Metropolitní síť

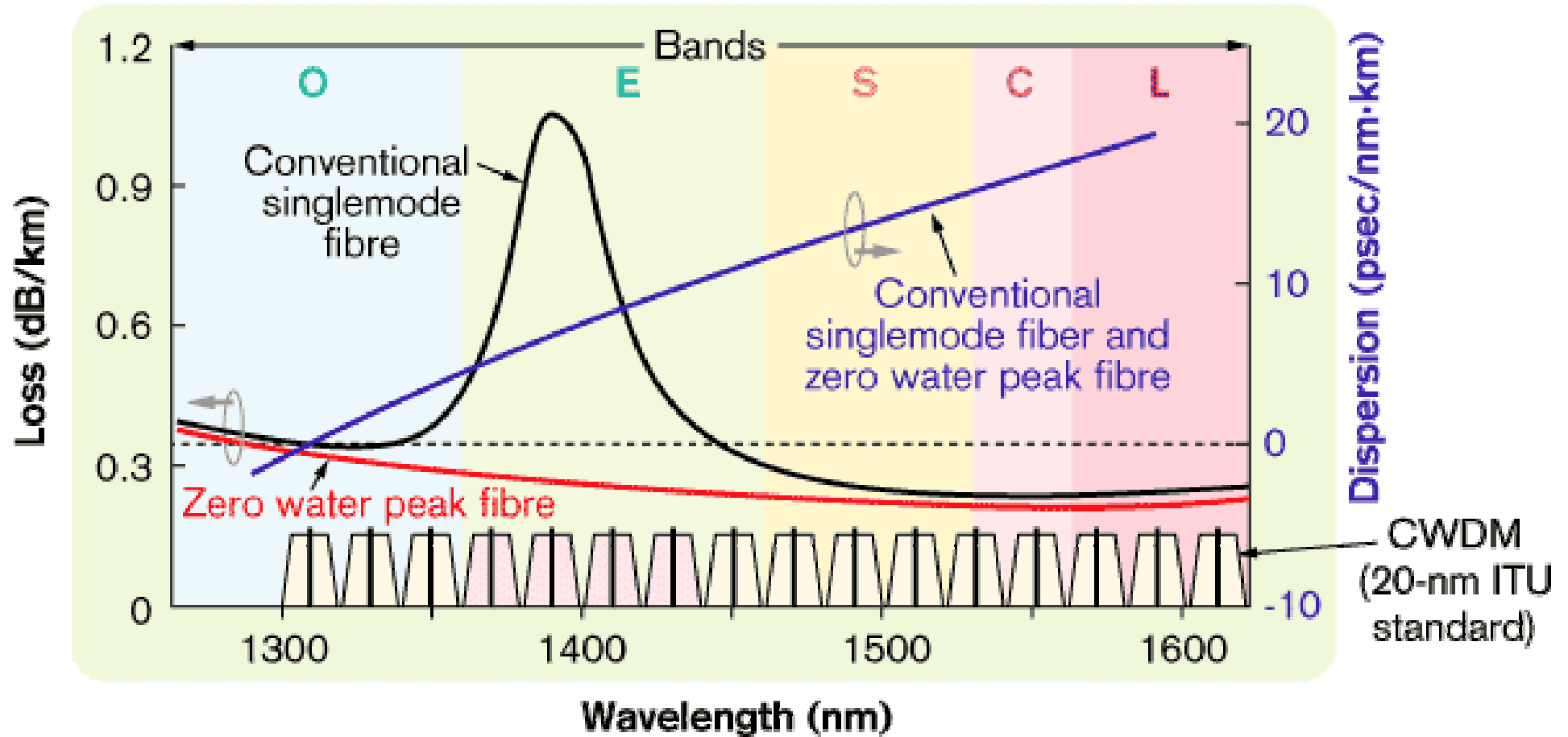
## Fyzická vrstva – volba nejvhodněj. vlákna

- **LWPF\*** pro překlenutí vzdáleností do 200 km
- **NZDF** pro překlenutí více než 200 km
- **NDF\*** je optimalizováno pro vybrané přímo modulované laserové diody (LD) pro pásmo „C“
- Kombinace LWPF+NZDF pro různě dlouhé úseky
- NZDF je optimalizováno pro WDM systémy, hodí se i pro regionální síť – nevyžaduje speciální typ vlákna

# Metropolitní síť

## Fyzická vrstva – „řídké“(C)WDM

### Spectral attenuation and dispersion comparison



# Metropolitní síť

## Fyzická vrstva — optické zesilovače

- Optické zesilovače pro MANy jsou speciálně navrženy pro kompenzaci ztrát vznikajících zejm. v optických uzlech sítě. Musejí být levné a kompaktní a mít automatickou regulaci zisku pro případ fluktuace výkonu na jejich vstupu způsobené změnou počtu optických kanálů
- Nyní: Erbium-Doped Fibre Amplifiers (EDFAs)
- Brzy: Distributed Raman Fibre Amplifiers

# Metropolitní sítě

Fyzická vrstva — další součástky pro MANy

- Zdroje záření: Fabry-Perot laserové diody (LD), nechlazené Distributed-FeedBack (DFB) LD, čelně emitující (Vertical Cavity Surface Emitting LDs, VCSEL) = nejperspektivnější (levné)
- Vysílače/přijímače (Transceivers) - kompaktní
- Pasivní součástky: Konektory, optické filtry, slučovače/odbočovače (couplers/splitters)
- Optické integrované obvody
- Síťové prvky: OADM, OXC – začínají splývat



# Metropolitní síť

## Vyšší vrstvy – přístupová rozhraní

- Množství signálových formátů a protokolů v přístup. sítích – na okraji MANů se musejí sjednotit a utřídit („grooming“)
- Nyní: Převládajícím přístup. protokolem je ATM (např. v ADSL, standardím PON,...). Je zralý, má mnoho možností (zajišťuje kvalitu služby (QoS), zabezpečení ...), je však drahý a neefektivní pro poskytování služeb založených na IP protokolu
- Prosazuje se: Ethernet – je široce využívaný, karty jsou levné, je vhodný pro IP formát

# Metropolitní sítě

## Vyšší vrstvy – vylepšení transportní infrastruktury

### Dva přístupy:

- Úprava SDH pro přenos dat – pružné přidělování kapacity v jemnějších krocích. Stávající SDH plýtvá kapacitou při přenosu dat, např. pomocí ATM (muxování virt. okruhů ATM) nebo metodou „PoS“ (Packet over Sonet), neboť hierarchie SDH je příliš hrubá. Je to nejlepší krátkodobé řešení, avšak drahé. Využívané dominantními operátory.
- Nasazení GbE. Je plně duplexní, spínaný, vhodný pro IP (podobná délka paketů, neplýtvá), velmi oblíbený standard LAN (celosvětově 300 mil. portů), často jsou jim vybaveny oba konce spoje). Jednoduchý, levný, spolehlivý. Atraktivní pro altern. operátory využívající nenasvícená vlákna.

# Metropolitní síť

## Vyšší vrstvy – rozšířené SDH (a)

**SDH – 2. generace** vybavené datovými rozhraními („data – aware“)

- Podporují více přenos. rychlostí na jedné platformě. Provádí agregaci dat. Ethernetové rámce jsou adaptivně (vůči přenos. rychlostem) mapovány do virtuálních kontejnerů SDH (VCs) pomocí protokolu „Generic Framing Procedure“ (GFP).
- Kritické služby jsou zabezpečeny jako u sítí SDH a současně se využívá pružnost Ethernetu.
- Umožňuje další vývoj. Následující krok – optimalizovaný přenos po Ethernetovém kruhu přidáním vrstvy pro agregaci a přepojování paketů.
- IEEE 802.17 standard for „Resilient Packet Ring“ (RPR)

# Metropolitní síť

## Vyšší vrstvy – rozšířené SDH (b)

- Širší třída sítí SDH = **Multiservice Platform Devices (MSPD)**
- podporují TDM ale umožňují i efektivní přenos dat v existujících sítích SDH
- integrují funkcionalitu WDM (vrstva 0) and Ethernetu (vrstva 2) do jádra platformy SDH (vrstva 1)
- mohou integrovat funkce ADM+DXC, obsahují rozhraní pro Ethernet 10/100/GbE, Fibre Channel a ESCON, zpracování paketů a integrované přepínání
- mohou obsahovat integrovaný přenos pomocí WDM, optické ADM and OXC.
- mohou podporovat signalizaci a řízení sítě pomocí řídicí vrstvy („control plane“) příští generace.

# Metropolitní síť

## Vyšší vrstvy — Ethernet v sítích MANs

Rychle narůstají služby využívající přepínaného Ethernetu.

- o (Původní) Ethernet v sítích MAN umožňuje přepojování mezi dvěma body. Přidání dalšího uzlu vyžaduje další vlákno. Obnovení služby v případě poruch trvá 1-5 sekund. Neumožňuje třídít služby („class of service“, CoS). Nedosahuje „telekomunikační“ (carrier-class) spolehlivosti.
- „Ethernet over SDH“ (EoS). Umožňuje poskytovat Ethernetové služby po stávajících okruzích SDH. Packetová data, hlasové služby a pronajímání okruhů mohou koexistovat na síti. Přepínaný EoS umožňuje každému portu GbE se napojit vysokou rychlostí současně do mnoha míst.

# Metropolitní sítě

## Vyšší vrstvy– koncepce „E-MAN“ (a)

- Přístupová část MANu (“poslední míle”, GbE přípojky) agreguje provoz sbíhající se z jednotlivých objektů
- E-MAN je považováno za dedikované Ethernetové řešení, nebo jako součást většího uzlu MAN který podporuje také SDH nad WDM
- Institucionální uživatelé jsou připojeni k sítím E-MAN pomocí rozhraní kompatibilním s Internetem místo toho, aby byly opakovaně konvertovány do a z ATM a SDH

# Metropolitní síť

## Vyšší vrstvy– koncepce „E-MAN“ (b)

- Umožňuje VLANy (virtuální LANy) and VPNy (virtuální privátní sítě), poskytované na základě SLA („Service Level Agreement – kontrakt na úroveň poskytované služby). Parametry SLA musejí být nakonfigurovány
- MPLS (Multi Protocol Label Switching) umožňuje rozšiřitelnost E-MANů. VLAN každého zákazníka může být namapována na Label Switched Path (LSP) (cestu předem vytyčenou „nálepkou“) přes celou MAN případně i WAN. Mohou být zřízeny i záložní LSP.

# Metropolitní síť

## Vyšší vrstvy— 10 Gb Ethernet v jádru MANů

10GbE zachovává rámeček i formát, je však navržen pouze pro duplexní provoz. Byly navrženy tři varianty:

1. 4 vln. délky na 3.125 Gb/s s klasickým kódem 8B/10B
  2. Na jedné vlnové délce s kódováním 64B/66B
  3. Na jedné vlnové délce která zahrnuje podvrstvou rozhraní WAN dávající výstup kompatibilní s SDH
- Standard IEEE měl být ratifikován v lednu 2004
  - Uvažuje se i o 40/100 Gb/s Ethernetu: Přenášel by se paralelně na 10 vlnových délkách



# Metropolitní síť

## Vyšší vrstvy— odolnost („resilience“) sítí MAN (a)

### „Resilient Packet Ring“ (RPR)

- RPR – transportní datová vrstva 2, IEEE standard 802.17
- Má napravit nedostatky SDH. Optimalizuje sdílení vláknových okruhů při přenosu paketizovaných dat
- Definiuje odolnou fyzickou vrstvu MAC (Media Access Control) optimalizovanou pro hladký Ethernetový provoz mezi LANy a přes MAN a regionální kruhové sítě až ke koncovým uživatelům
- Je pružnější a efektivnější než současné obousměrné kruhové topologie



# Metropolitní síť

Vyšší vrstvy— odolnost („resilience“) sítí MAN (c)

Vlastnosti RPR:

- Vícenásobné využití šířky pásma
- Doba zotavení po poruše je menší než 50 ms
- daná využíváním statistického multiplexování
- Efektivnost z hlediska nákladů
- Na vrstvě MAC jsou definovány speciální pakety které umožňují lokalizovat závadu a rychle přepnout na zálohu

Ale:

- Je navržen pro jednokruhové sítě, tudíž se nehodí na polygonální sítě
- Diferenciace služeb a řízení sítě je daná výrobcem

# Přístupové sítě

- **Délka účast. přípojek  $L < 10$  km**
- **Musí být levné**
- **Přípojky:**
  - **měděné páry**
  - **koax**
  - **optika (světlovodem, nebo vzduchem)**
  - **rádio**
  - **energetická síť**

# Přístupové sítě

- **Technologie využívané v přístupových sítích :**
  - **POTS**
  - **xDSL**
  - **xPON**
  - **Konvenční a hybridní TKR (HFC)**
  - **Ethernet, atd.**
  - **Kombinované modulace při radiovém přenosu**
  - **Intenzitní modulace při optickém přenosu  
vzduchem**

# Přístupové optické technologie

- T-PON (pasivní větvené optické sítě na bázi TDM)
- FSAN APON (ITU-T 983.1, využívá ATM)
- FSAN BPON (Broadband PON)
- FSAN GPON (Gigabitový PON)
- EFM (Ethernet in the First Mile) GE-PON
- P2P Optický Ethernet (Point-to-Point)
- P-to-MP Optický Ethernet (Point-to-MultiPoint)
- WDM-PON (využívají optické vlnové multiplexování – WDM)
- Super-PON (využívají optické zesilovače)

# Komponenty optických přístupových sítí – vše je o ceně

- Vysilače (LD: FP, DFB, DBR (pevné, laditelné, kontin./dávkový provoz))
- Přijímače (PIN, APD, kontin./dávkový provoz))
- Modulátory s reflektorem
- Integrované moduly (např. vys./prij. v jednom TO pouzdře)
- Optické (před)zesilovače (EDFA, Raman, SOA)
- Pasivní optika (světlovody, vazební členy, konektory, de/multiplexory)

# Přístupové sítě

## Standardy PON v FSAN a ITU (G983.x )

FSAN = Full Service Access Networks

- **Dosah až 20 km**
- **Až 32 rozbočovačů**
- **ATM**
- **Jednovidové světlovody**
- **Přenosové rychlosti: 155/155 (původní), 155/622 (G983.1) po 622/1244 Mb/s.**
- **G983.4 a .7 = dyn. přiděl. šířky pásma, podmíněný přístup, .... Také analog. (digi. mux na subnosných) video na 1.55um.**



# Přístupové technologie- GPON

## Paketově orientované

- Vlnová pásma podle G983.3, po jednom jednovidovém světlovodu
- Rychlost přenosu:
  - 1,25 nebo 2,5 Gb/s k uživateli
  - 155, 622, 1250 nebo 2500 Mb/s od uživatele
- Optika: vlákna G982, rozboč. až 1:64, WDM ...
- Signál: NRZ, chybovost  $10^{-10}$ , kompatibilní s ATM s QoS
- Dosah do 20 km

# **Přístupové technologie- EPON**

## **Ethernetový PON – podobný P2P Ethernetu**

- Vlnová pásma podle G983.3, po jednom jednovidovém světlovodu
- Rychlost přenosu: 1,25 Gb/s
- Signál: Kód 8G/10B, BER  $10^{-12}$ , FEC
- Rozbočení nejméně 1:16

# **Přístupové sítě**

## **Pronikání optiky k uživatelům**

- FTTC (Fibre-To-The-Curb) (k okraji chodníku)
- FTTP (Fibre-To-The-Premises) (k areálu)
- FTTB (Fibre-To-The-Building) (k budově)
- FTTH (Fibre-To-The-Home) (do domu)
- FTTD (Fibre-To-The-Desk) (na stůl)
- FTT? (až kam?)

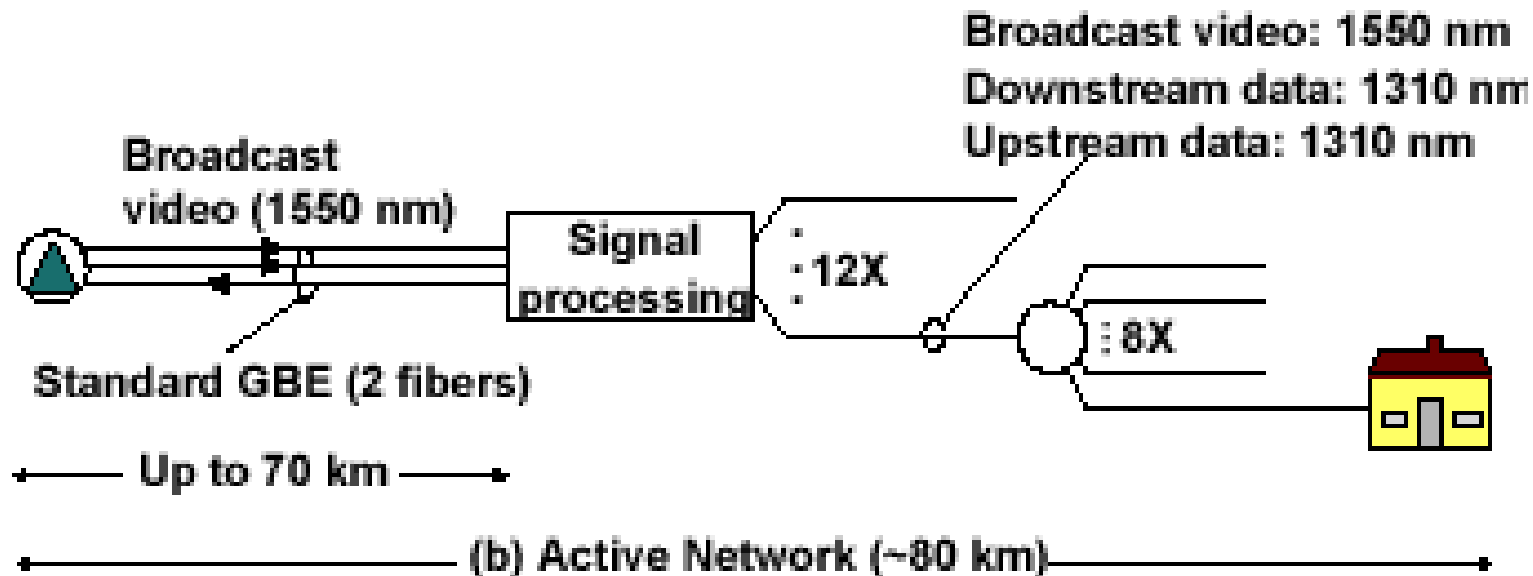
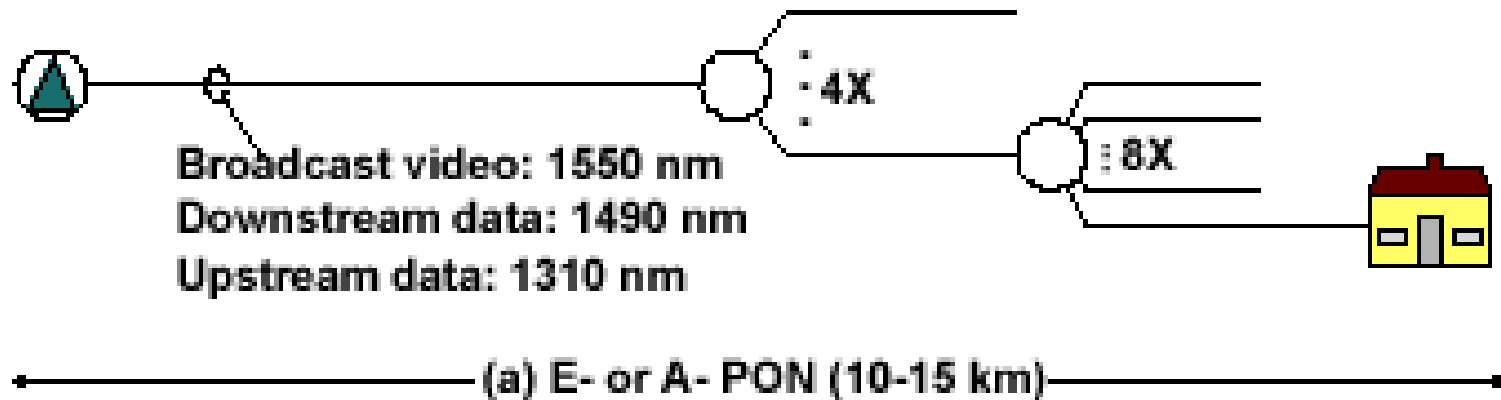
# Přístupové sítě - konkurenti

## Boj o zákazníky mezi:

- Tradičními telko provozovateli (ti chtějí max. využít svoje investice vložené do kroucených párů → xDSL)
- Provozovateli TV kabelových rozvodů - TKR (ti chtějí maximálně využít širokopásmovosti TKR)
- Mobilními provozovateli (ti chtějí maximálně využít touhu zákazníků po mobilitě)
- Šířiteli R a TV (pokrývají signálem celé obsluhované území, mohou poskytovat i interaktivní služby)

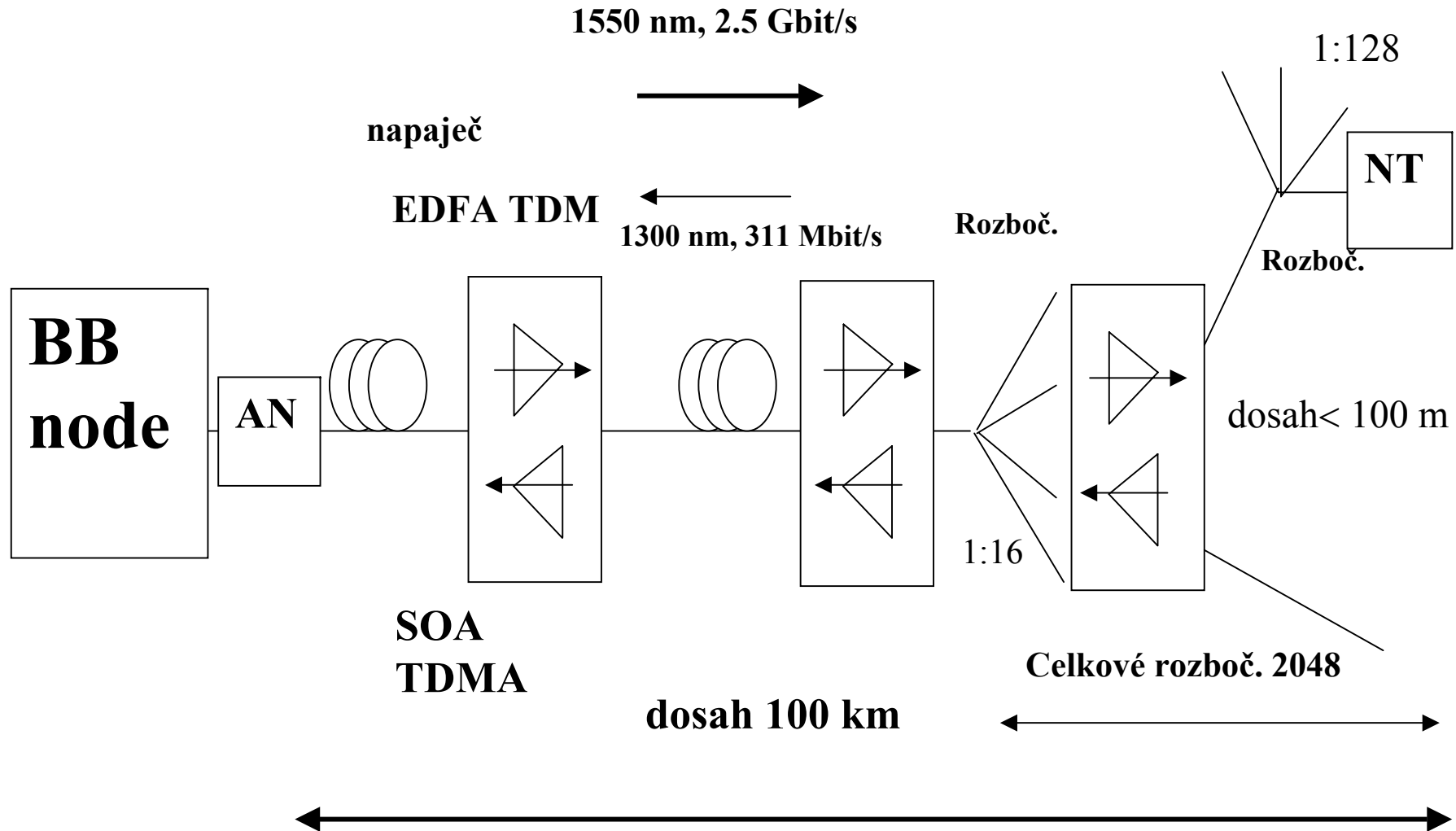
# Přístupové sítě

## Architektura sítí FTTH



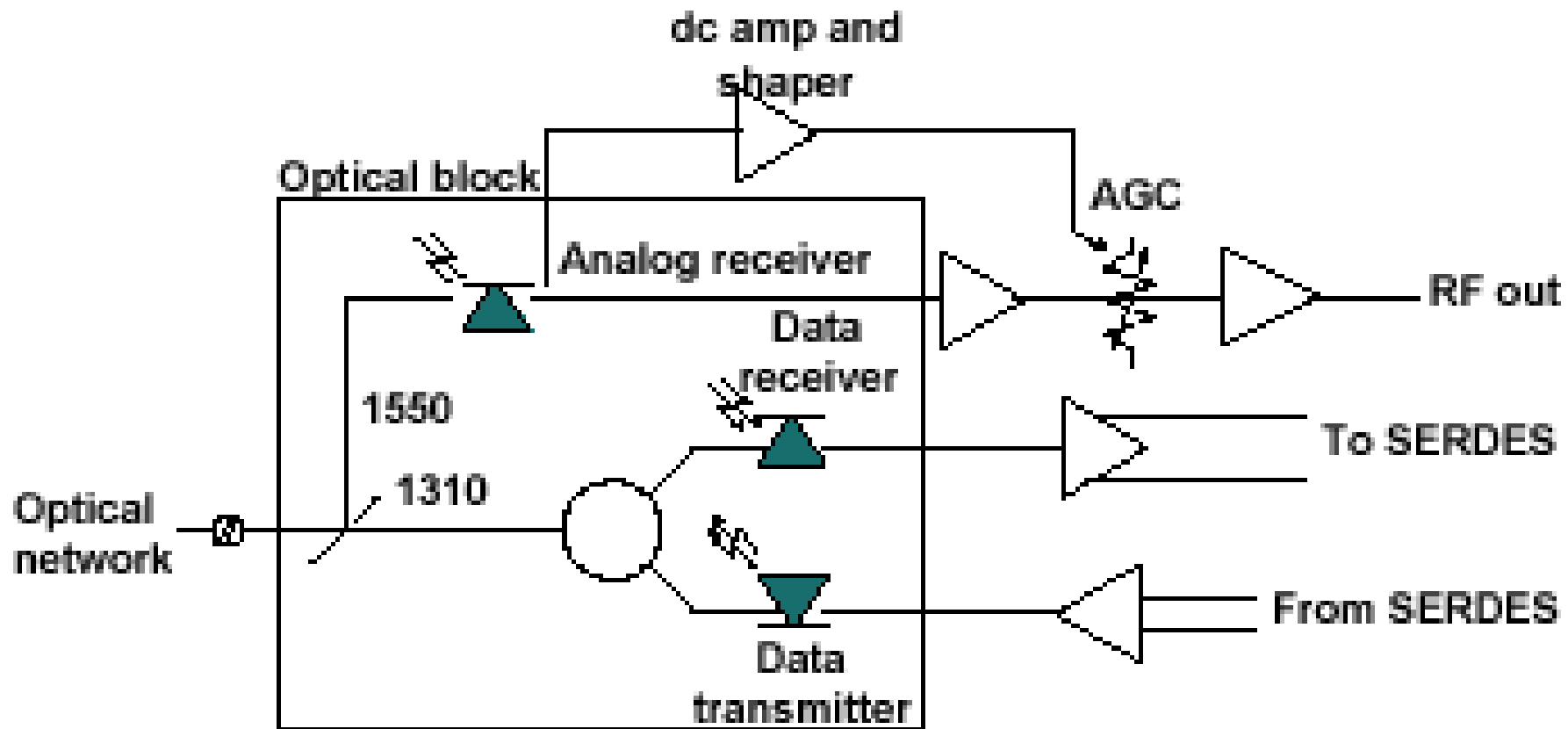
# Přístupové sítě

## Super-PON (využívají opt. zes-če EDFA a SOA)



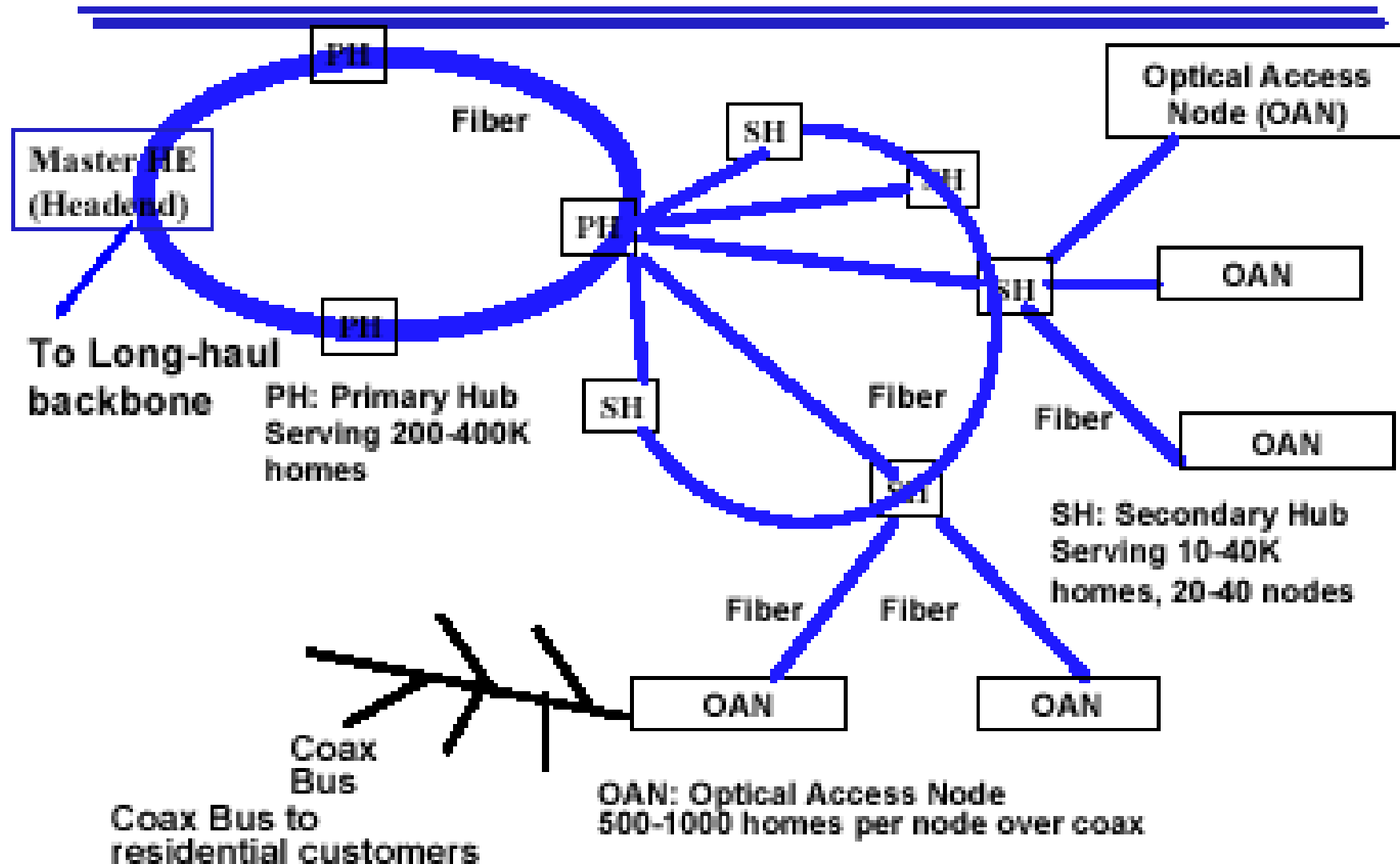
# Přístupové sítě

Koncové zařízení u účast. FTTH: „Triplexer“



# Přístupové sítě

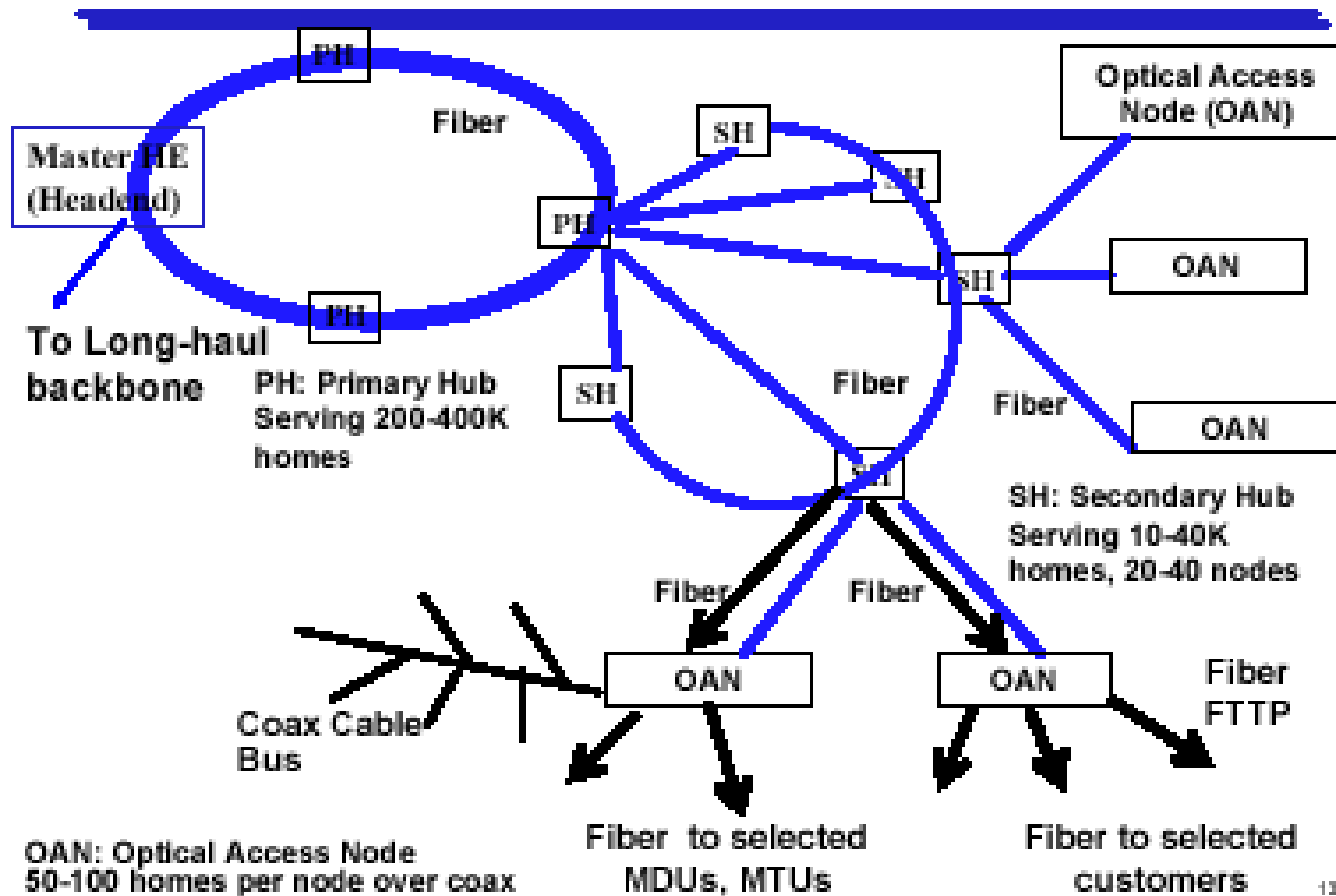
Sítě HFC (Hybrid Fibre Coax)





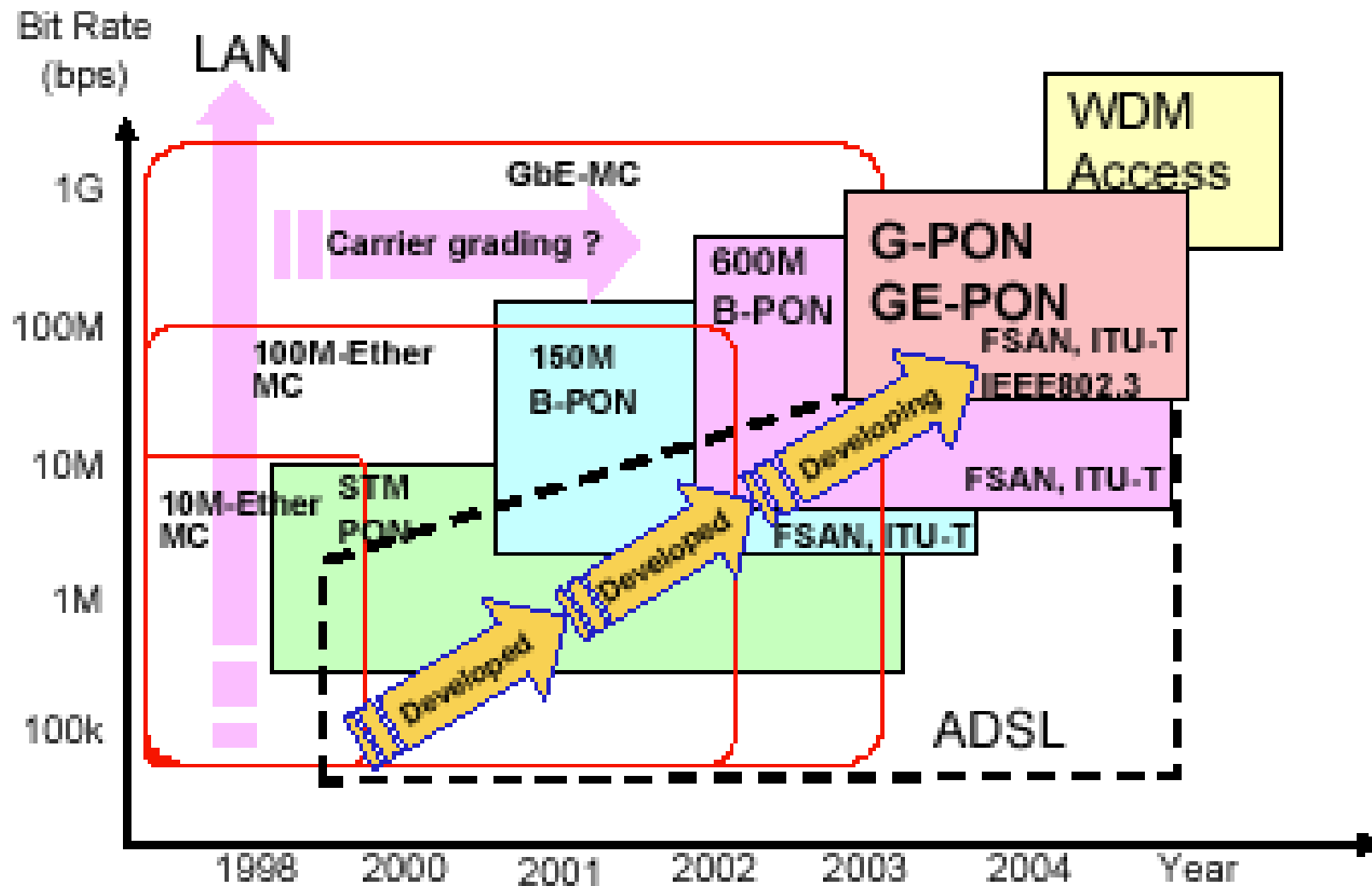
# Přístupové sítě

HFC + vlákno (modře) až k vybraným zákazníkům



# Přístupové sítě

Trend vývoje širokopásmového přístupu



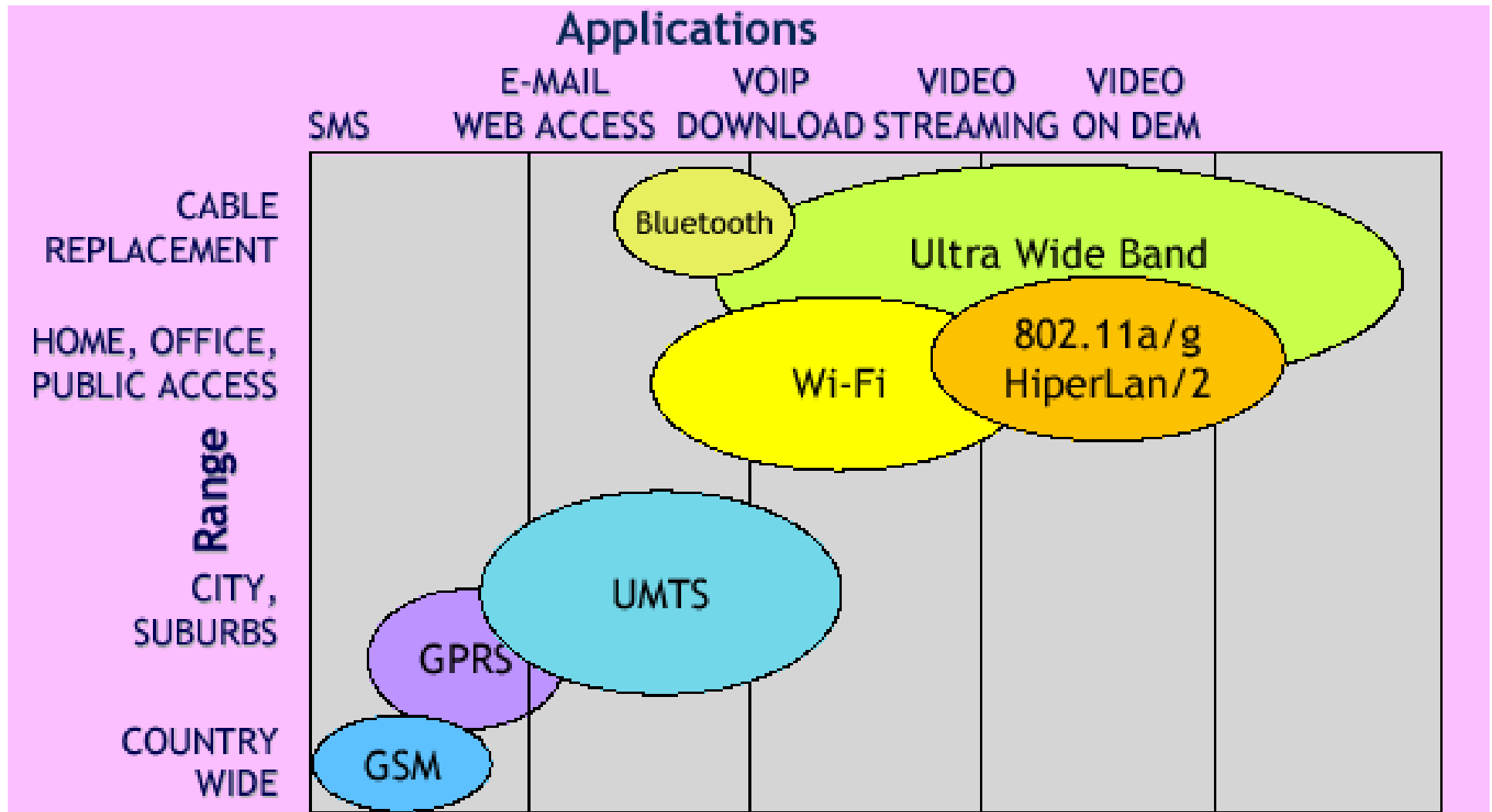
# Přístupové sítě

## Alternativní technologie

- Měděné páry: xDSL (Digital Subscriber Line) – ADSL, HDSL, VDSL, ...
- Koax: Televizní kabelové rozvody (TKR) – DOCSIS x.x
- Pozemské rádio: MMDS, LMDS, WiFi, ...
- Družice
- Optika vzduchem

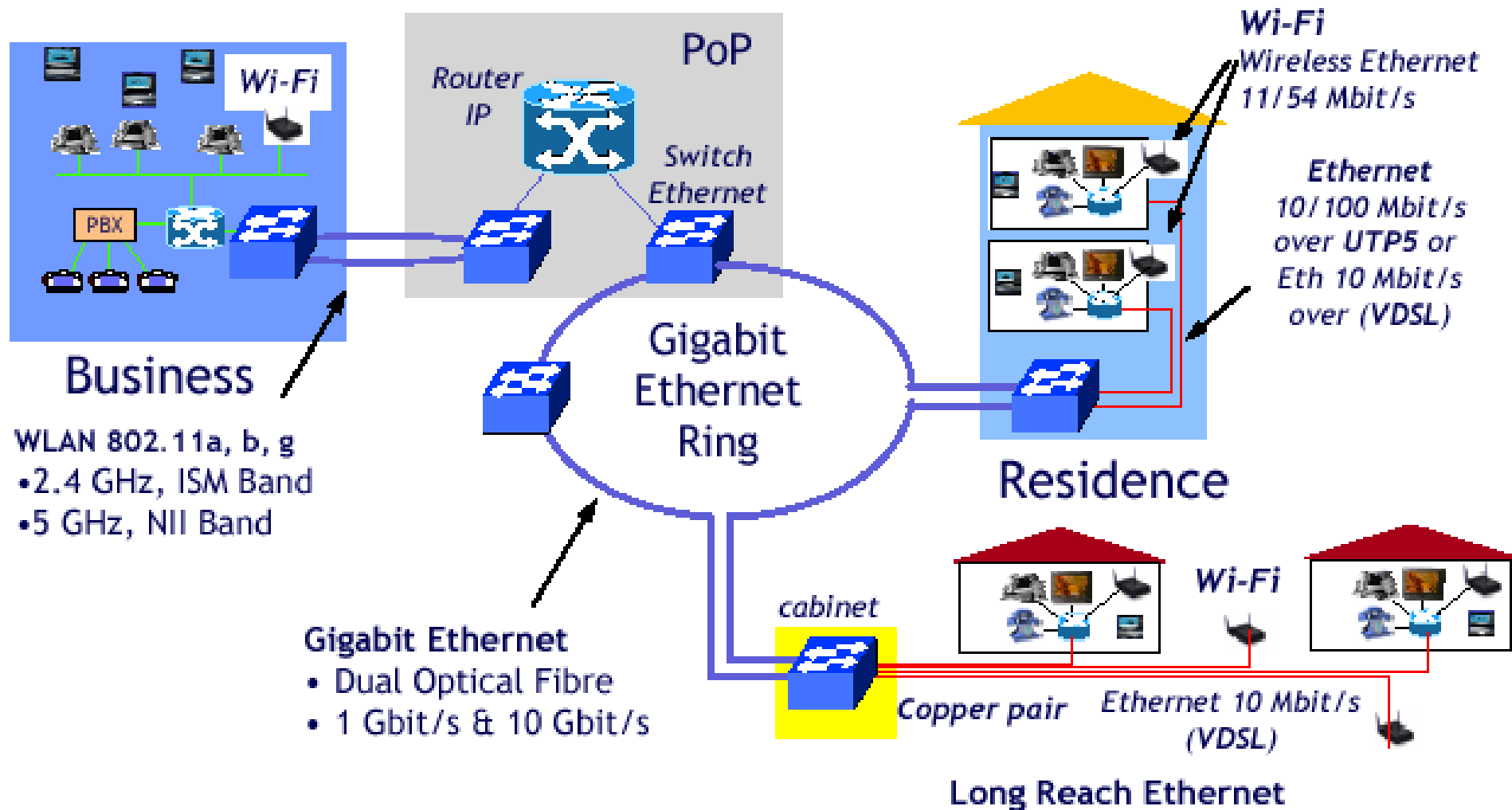
# Přístupové sítě

Nový hráč v přístup. sítích: Wi-Fi=chybějící článek?



# Přístupové sítě

Kombinace: Ethernet po vláknu, Cu a vzduchem



# Situace v zavádění přístupových sítí ve světě a u nás

- USA: 24 mil. širokopásmových (ŠP) přípojek
  - 63% přes kabelové modemy (15 mil.)
  - 37% ADSL (8 mil.)
  - Něco přes družice, FTTH teprve začíná
- Japonsko: 12 mil. ŠP přípojek
  - 8,5 mil. ADSL
  - 2,3 mil. HFC
  - 0,5 mil FTTH (nejvíce na světě, podpora vlády)
- ČR:
  - Asi 20000 přípojek ADSL ve velkých městech
  - Asi 35000 přes kabelové modemy

# Služby

## Klasifikace

### Dva druhy:

- Služby poskytované provozovateli sítí poskytovatelům služeb (např. poskytování přenos. kapacity na základě SLA)
- Služby nabízené poskytovateli sítí koncovým uživatelům (např. telefon, televize, Internet, ap.)

# Služby

## Transportní služby

- Zvyšuje se přenosová rychlost a dynamika provozu
- Jsou vyžadována transparentní propojení LANů
- Virtuální privátní sítě (VPN), Ethernetovské virtuální privátní spoje, poskytování přenosové kapacity přes Ethernet
- Propojení vzdálených datových center (Storage Area networking, SAN)



# Služby

Služby koncovým uživatelům

## Služby využívající IP protokol

- Voice over IP (VoIP)
- Videokonference
- Video na přání (VoD)
- Web hosting
- Přenos obsahu (stahování hudby a videa z webu)
- Hry
- Skupinová spolupráce na dálku
- e-learning, ....

# Služby

## Národní zvláštnosti

Velmi záleží na kulturních zvyklostech, politice vlády, konkurenčním prostředí, nabídce obsahu, ap. **NELZE OPISOVAT!**

- V Korei, Izraeli a v Japonsku vládní podpora zavádění širokopásmových služeb a aplikací IP – vzdělávání, hry, videokomunikace
- V USA, intenzivní konkurence mezi provozovateli kabelových a družicových televizí donutil provozovatele TKR zavést VoD aby se diferencovali ve své nabídce
- V Británii a Evropě, vysokorychlostní Internet je populárnější než služby video, atd.

# Některé netechnické aspekty

- **Ekonomické aspekty**

- Až 80% investic je v přístupových sítích
- Mnoho proměnných: místní poměry, cena práce, zařízení, ...
- Kdo by měl platit koncová zařízení?

- **Politika, legislativa**

- Přístup k účastnické přípojce zajištěný zákonem („Local Loop Unbundling“, LLU = „zpřístupnění“)
- Direktivy EU o elektronických komunikacích – návrh nového Zákona o elektronických komunikacích
- Konfliktní skupinové zájmy (dominantní – altern. operátoři)
- Je nutná podpora vlády a samospráv, aby bylo naplněno heslo „Broadband for all“ – ŠP připojení pro každého

# Závěr

- Technologie: Záleží na situaci (hustota osídlení, druh zákazníků ...) – budou využívány kombinace různých technologií. Narůstá význam bezdrátových sítí, zejm. jako přístup ke koncovým bodům optických sítí
- Služby: Budou nabízeny jako celek (telefon, audio+video, data – „triple play“)
- Jiné aspekty: Role vlád a legislativy – vytvořit podmínky, aby bylo překonáno „úzké hrdlo“ v přístupu k informačním sítím