

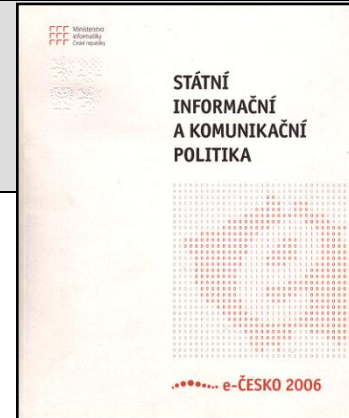
Katedra softwarového inženýrství,  
Matematicko-fyzikální fakulta,  
Univerzita Karlova, Praha



## Lekce 9: "drátový" broadband

*J. Peterka, 2011*

# co je broadband?

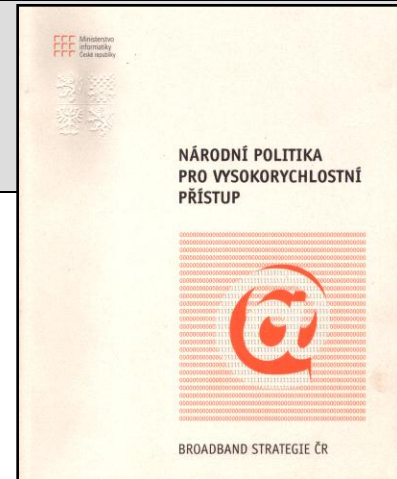


- spíše "buzzword" než exaktně definovaný pojem
  - obvyklé chápání: dostatečně rychlé připojení k Internetu
    - dostatečně rychlý přístup k Internetu
  - alternativní chápání: takové připojení (přístup), které není úzkým hrdlem
    - které neomezuje uživatele v tom, co a jak chce dělat
- otázka:
  - jak rychlé je "dostatečně rychlé"?
    - někdo se ani nesnaží stanovit nějakou hranici
    - jinde se hranice stanovuje
  - problém:
    - potřeby uživatelů a aplikací se mění v čase (rychle rostou), "statická" definice není optimální
- oficiální definice v ČR:
  - obsažená ve Státní informační a komunikační politice (eČesko 2006) a Národní politice vysokorychlostního přístupu (národní broadbandové strategii)
  - má 2 části:
    - obecnou, nezávislou na čase
    - upřesňující, časově závislou
- obecná část definice:
  - *takový druh přístupu uživatelů k poskytovaným zdrojům a službám, který koncové uživatele neomezuje v tom, co a jak hodlají dělat, kdykoli to chtějí dělat*
    - dostupný trvale, 24 hodin denně, 7 dnů
- upřesňující část definice (pro rok 2005)
  - alespoň 256 kbit/s (nominální rychlost)
    - efektivní rychlost alespoň 80% nominální

# broadband: terminologie

- "broadband" je zažitý (anglický) termín, jak jej překládat do češtiny?
  - varianta: jako "**širokopásmový**":
    - jde o doslovný překlad, implikuje "velkou šířku pásma"
      - šířka pásma ovšem vypovídá o "spotřebě" (jak velká šířka pásma je využita), nikoli o "efektu" (jaká přenosová rychlost je dosažena)
    - alternativní pohled (některých autorů):
      - "šířka" pásma představuje rozsah frekvencí jen u analogových systémů (a měří v Hz)
      - u digitálních systémů se šířkou pásma rozumí přenosová rychlost (a měří v bitech za sekundu)
  - varianta: jako "**vysokorychlostní**"
    - věcně správnější, týká se efektu (schopnosti přenášet data určitou rychlostí), nikoli spotřeby zdrojů (využití šířky přenosového pásma)
- oficiální definice v ČR (SIKP/eČesko, národní politika ...) používá termín "vysokorychlostní"
  - ale např. dokumenty EU používají termín "širokopásmový" (broadband)

# broadband v praxi

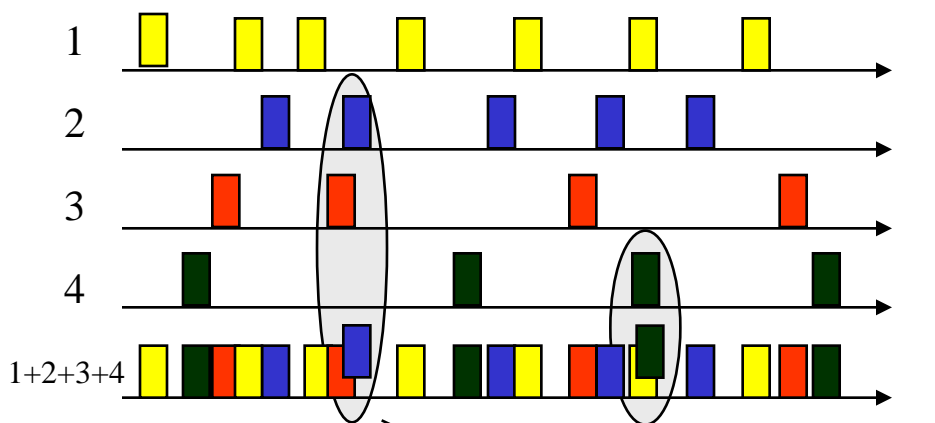


- dostupnost broadbandu je vnímána jako strategická záležitost
  - všímají si politici, angažuje se stát, ...
  - zde: zůstaneme u technických aspektů
- "drátový" (wireline) broadband
  - snaha využít jakoukoli existující "drátovou" infrastrukturu pro poskytování broadbandu
    - místní smyčky:
      - xDSL, metro Ethernet,
    - (televizní) kabelové rozvody:
      - DOCSIS
    - napájecí rozvody (230 V):
      - powerline technologie
    - optické rozvody:
      - FTTx technologie
- bezdrátový (wireless) broadband
  - snaha využít všechna dostupná frekvenční pásma
    - licenční i bezlicenční
  - snaha využít všechny druhy bezdrátových sítí:
    - s plnou mobilitou:
      - mobilní sítě 3G/UMTS
    - s částečnou mobilitou:
      - bezdrátové sítě na bázi Wi-Fi, WiMAX
    - bez mobility:
      - sítě FWA, WLL
    - distribuční (broadcast) sítě:
      - sítě TV vysílačů: DVB

# další aspekty broadbandu

- na uživatele, nebo na přípojku?
  - když se mluví o určité minimální rychlosti (např. 256 kbit/s), je to vztaženo k jednomu uživateli, nebo k přípojce jako takové?
    - například přípojka 2 Mbit/s pro 1 uživatele může "bohatě stačit" a nebýt úzkým hrdlem
    - stejná přípojka pro 20 uživatelů už "nemusí stačit", a může je omezovat v jejich činnosti
      - tento aspekt snad žádná definice nezohledňuje!!!
- symetrie, nebo asymetrie?
  - musí být rychlosti v obou směrech stejné?
    - nebo nemusí = asymetrické přípojky
  - týká se "spodní hranice" jen downstreamu?
    - nebo pomalejšího nižší z obou směrů
  - pozorování:
    - záleží hodně na charakteru uživatele a na využívaných službách
    - příklady:
      - **WWW**: vysoké nároky jen na downstream, na upstream jen minimální
      - **FTP** (někteří uživatelé): větší nároky na upstream/upload
      - **VOIP**: stejné nároky na oba směry, úzkým hrdlem je pomalejší z nich
- nominální vs. efektivní (skutečně dosahovaná) rychlost
  - to, co poskytovatelé služeb inzerují, je nominální rychlost
    - teoretická, resp. vztažená k tomu, jak dlouho trvá přenos 1 bitu,
    - nebere v úvahu režii a hlavně efekt agregace
  - to, co zákazníci skutečně získávají (využívají, měří), je rychlost efektivní
    - je typicky nižší než rychlost efektivní
    - často např. v rozpětí 40 – 90% nominální rychlosti
  - rozdíl (nominální vs. efektivní) závisí na řadě faktorů:
    - míře agregace
    - počtu zákazníků
    - ceně a kvalitě služby
    - chování (všech) zákazníků
      - i na denní a noční době
    - na uplatňované Fair Use Policy
      - Fair User Policy, Fair Usage Policy

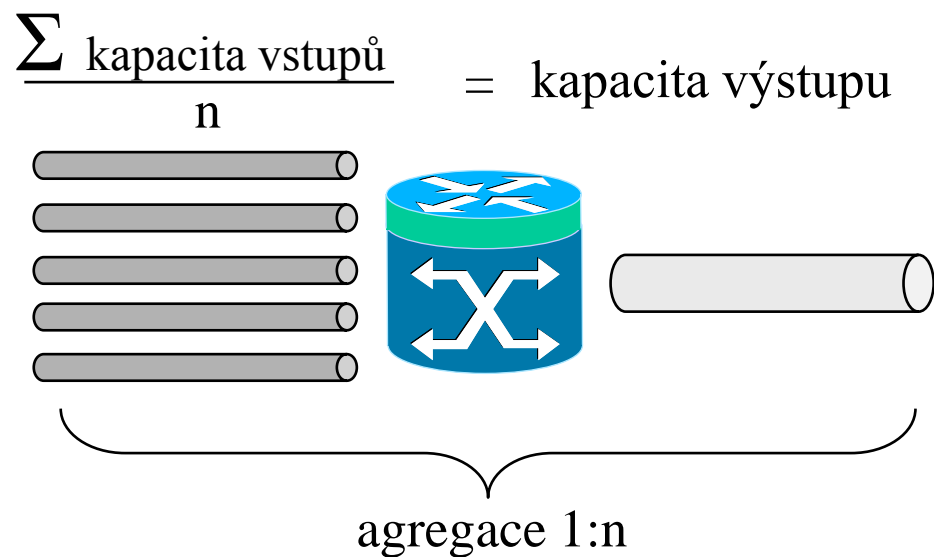
# agregace u broadbandu



problém, lze řešit pozdržením

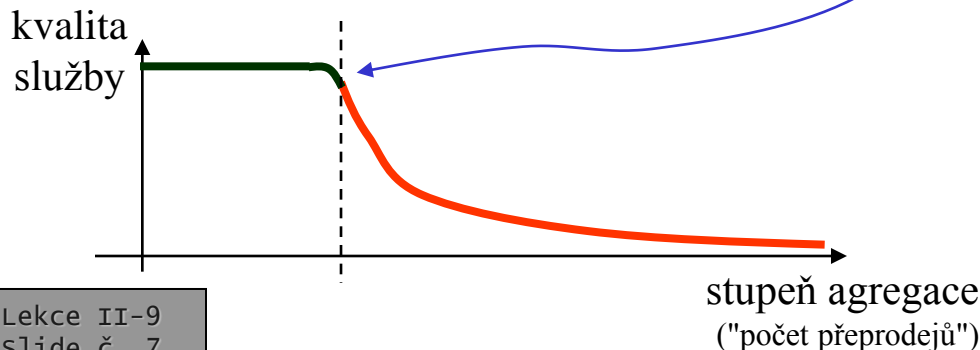
- pozorování:
  - koncoví zákazníci negenerují souvislé toky dat !!!
    - jejich "zátěž" kolísá v čase, a někdy je i nulová
- důsledek:
  - není nutné (vhodné, ekonomické) jim vyhradit určitou přenosovou kapacitu po celé trase přenosu
    - dimenzovanou podle maxima jimi generované zátěže
  - lze (je výhodné) využít sdílení určité (větší) přenosové kapacity více zákazníky

- agregace = sloučení více přenosových kapacit do jedné společné kapacity
  - která je menší než součet vstupních kapacit
- poměr (stupeň) agregace:
  - v jakém poměru je součet kapacit vstupů ke kapacitě výstupu
    - 1: 1 = není žádná agregace
      - hodí se například pro ISP, kteří sami agregují provoz od více zákazníků
    - 1: n = agregované připojení (n > 1)



# důsledky agregace

- jiný pohled na agregaci:
    - poskytovatel (ISP, operátor) prodává jednu a tu samou kapacitu/službu více zákazníkům současně
      - a ti ji sdílí
      - anglicky: **overbooking**,
        - česky: "přeprdej"
  - důsledek:
    - čím vyšší je stupeň agregace (čím vyšší je přeprdej), tím levnější může být výsledná služba (nižší koncová cena)!!!
  - otázka:
    - jaký vliv má rostoucí agregace na celkovou kvalitu (užitnou hodnotu) poskytované služby?
- pozorování:
    - do určitého stupně (poměru míry) agregace nezhoršuje poskytovanou službu
    - ale záleží hodně na:
      - charakteru poskytované služby
      - chování zákazníků
      - počtu zákazníků
        - větší počty dokáží efektivněji "rozředit" různé excesy a odchylky z průměrného chování
    - nad "zlomovou hodnotou" už agregace zhoršuje poskytovanou službu
  - otázka:
    - jaká míra agregace je optimální?
      - z hlediska kvality poskytované služby a ceny?
        - není jednoznačná odpověď!!!
    - 1: 50
      - může stačit pro (běžné) domácnosti
      - nemusí stačit pro intenzivnější/aktivnější domácí uživatele
    - 1: 5 až 1:20
      - obvykle pro firmy
    - 1:1 pro poskytovatele (providery)
      - kteří sami již agregují datové toky od svých zákazníků



# Fair Use (User, Usage) Policy

- agregace není zlem!!!
  - umožňuje snížit cenu výsledné služby na přijatelnou úroveň
    - a učinit ji dostupnou koncovým zákazníkům
  - ale nesmí se přehnat !!!!
- stanovení (vhodné míry) agregace:
  - poskytovatel musí odhadnout průměrné (očekávané) chování zákazníka
    - míru, v jaké bude službu využívat
  - podle toho zvolí míru agregace a stanoví výslednou cenu služby
- problém:
  - co když zákazníci nevykazují očekávané (průměrné) chování?
    - problém "stahovačů"?
    - několik málo "nadprůměrných" zákazníků dokáže radikálně zhoršit kvalitu služby pro ostatní zákazníky

je to určitý kompromis, na trhu by měly existovat služby s různě voleným kompromisem

- dražší služby s nižší agregací
- levnější služby s vyšší agregací

- řešení:
  - přinutit zákazníky, aby se chovali očekávaným (průměrným) způsobem
- možnosti:
  - technická opatření
    - nejde se chovat "jinak",
      - např. prioritizace, snížení rychlosti
  - restrikce (omezení)
    - využití služby je nějak omezeno
      - například objemem přenesených dat
  - penalizace
    - zákazník zaplatí za "nadměrné využívání"
- Fair Use Policy (Fair User Policy, Fair Usage)
  - soubor restrikcí, technických opatření a penalizací, kterými si poskytovatel služby vynucuje dodržování očekávaného (průměrného) chování !!!



# možné formy FUP

- poskytovatel měří " míru využití služby"
  - typicky skrze objem přenesených dat za určité období
    - nejčastěji za měsíc
    - nebo za týden
    - někde za 1 den/24 hodin
    - někde se měří jen DOWNstream, někde samostatně Upstream a DOWNstream, někde součet UP+DOWN
  - v závislosti na tom stanovuje limity
    - např. 1 GB za týden
- po překročení limitu následuje:
  - snížení přenosové rychlosti, nebo
  - snížení priority datových přenosů, nebo
    - prioritu mají přenosy těch uživatelů, kteří ještě nepřekročili limit
    - projevuje se dalším snížením efektivní rychlosti
  - zpoplatnění dat, přenesených nad limit
    - typicky: "za každých, byť jen započatých ..."
  - přerušením poskytování služby
    - dnes už vzácné ....



- poskytovatelé neradi zveřejňují všechny detaily FUP
  - někdy je ani přesně nedefinují
  - někdy všelijak klamou a mlží
- obecný trend:
  - FUP by se měly stávat méně restriktivními
- nebezpečí FUP:
  - omezují zákazníka v tom, co na Internetu dělá
  - omezují rozvoj obsahových služeb
    - brání rozvoji
  - ve svém důsledku omezují i poskytovatele připojení
    - když omezují rozvoj služeb

# připomenutí: technologie xDSL

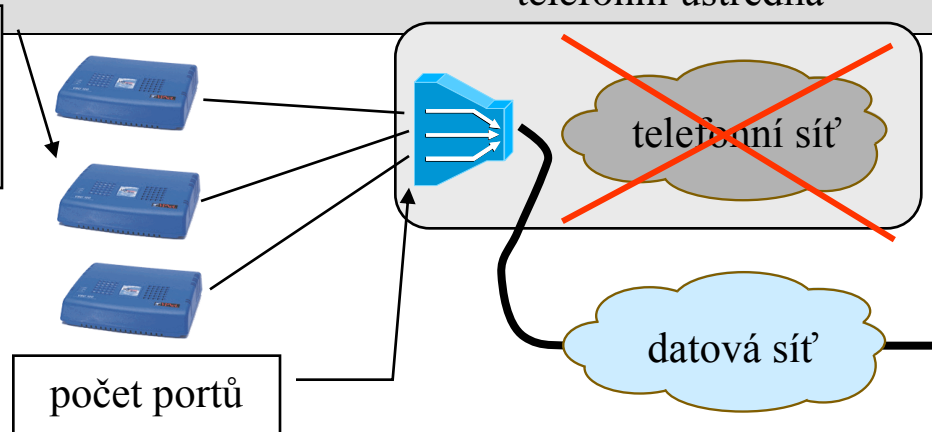
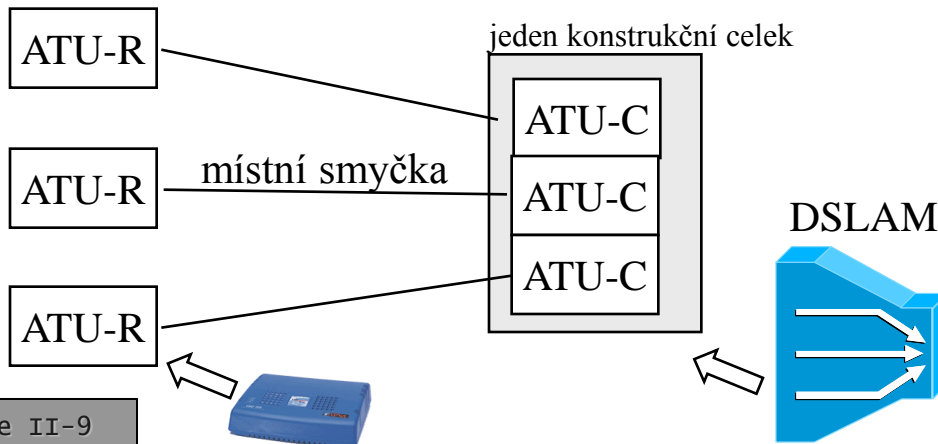
- jde o celou skupinu (rodinu) technologií
  - DSL: Digital Subscriber Line
  - nasazují se na místní smyčky
    - na metalická účastnická vedení, anglicky: Subscriber Line
  - snaží se maximálně využít jejich přenosový potenciál
    - pro "digitální" přenosy, proto "Digital Subscriber Line"
- mohou využívat:
  - celé frekvenční pásmo místní smyčky
    - pak nemohou koexistovat s hlasovými službami
  - pouze nadhovorové pásmo
    - pak mohou koexistovat s hlasovými službami, které jsou po místní smyčce poskytovány v hovorovém pásmu
- mohou nabízet:
  - asymetrické přenosové rychlosti
    - jiné (vyšší) rychlosti na downstreamu a jiné (nižší) na upstreamu
  - symetrické přenosové rychlosti
    - stejné rychlosti na upstreamu a downstreamu
- mohou využívat:
  - jediný pár kroucené dvoulinky
    - jednou místní smyčku
  - více párů současně
    - více místních smyček
- obecná závislost:
  - skutečně dosahovaná rychlost
    - klesá se vzdáleností (délkou místní smyčky)
    - roste s počtem použitých párů
    - roste s dokonalostí xDSL technologie

# přehled (základních) DSL technologií

	symetrie	počet párů	využívá pásmo	max. downstream	max. upstream	dosah
<b>ADSL</b>	asymetricky	1	25-138 kHz UP, 138-1104 DOWN	8 Mbit/s	1 Mbit/s	2-5 km, s měřením a výběrem páru až 8 km
<b>G.Lite</b> (bez splitteru)	asymetricky	1	25-138 kHz UP, 138-1104 DOWN	1,5 Mbit/s	1 Mbit/s	5,5 km
<b>HDSL</b>	symetricky	2	0-392 kHz	2x 1,544 Mbit/s, nebo 2x 2 Mbit/s		4 km
<b>SDSL</b>	symetricky	1	0-700 kHz	až 2,32 Mbit/s		3 – 6 km
<b>SHDSL</b>	symetricky	1-2	0-385 kHz	až 2,3 Mbit/s (1 pár), až 4,5 Mbit/s (2 páry)		2 – 4 km
<b>VDSL</b>	asymetricky/ symetricky	1	25 kHz – 30 MHz	až 36 Mbit/s symetricky (nebo až 52 Mbit/s na downstreamu)		300-1350 m

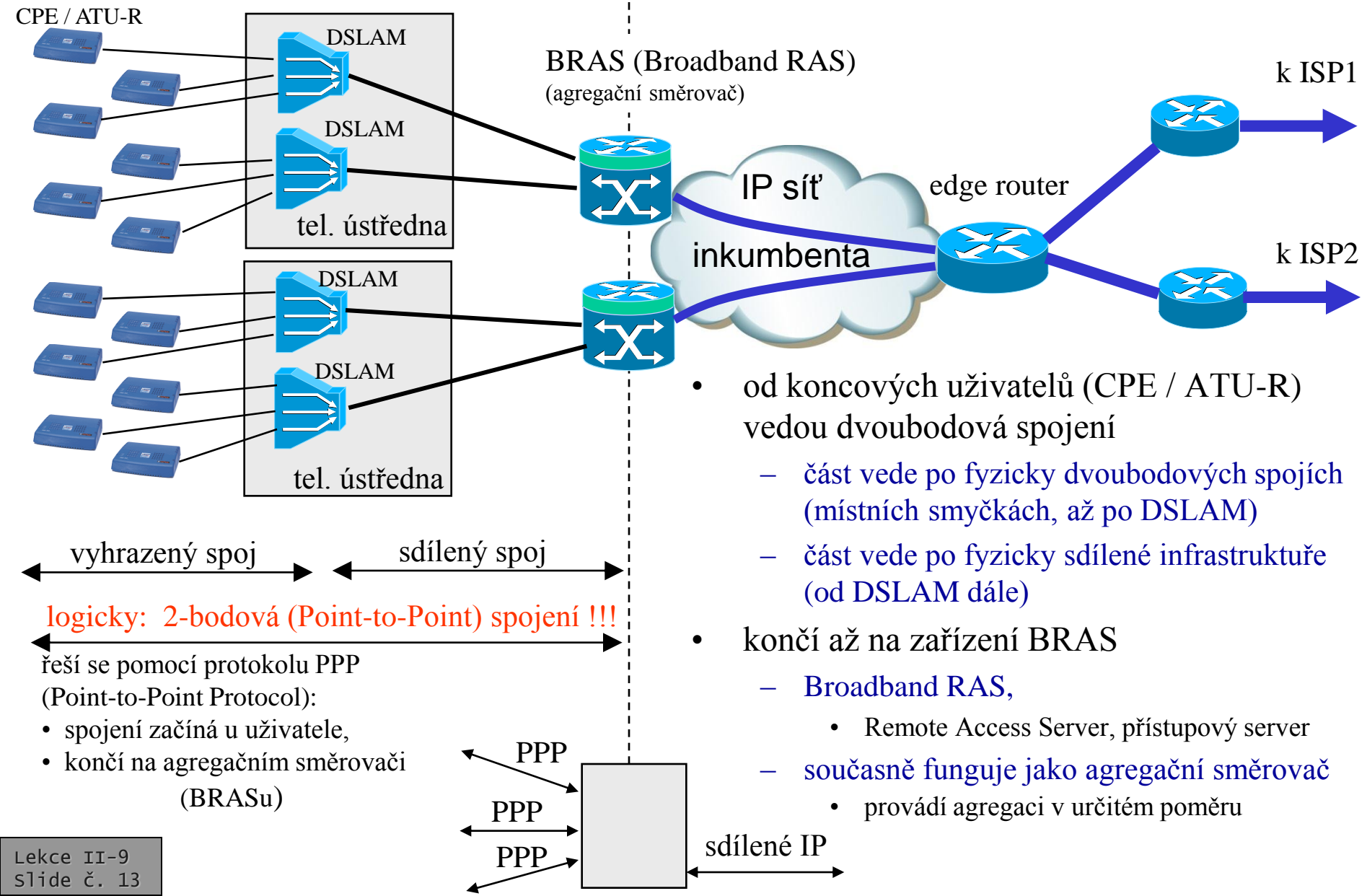
# ADSL

- Asymmetric DSL
  - začátek vývoje:
    - Bellovy laboratoře, 1989
  - standardizace:
    - ITU G.992.1, 1998
- standard pokrývá pouze komunikaci po místní smyčce, mezi zařízeními
  - ATU-R (ADSL Transmission Unit – Remote)
    - u zákazníka, ADSL modem
  - ATU-C (ADSL Transmission Unit – Central)
    - na telefonní ústředně, řešeno jako DSLAM



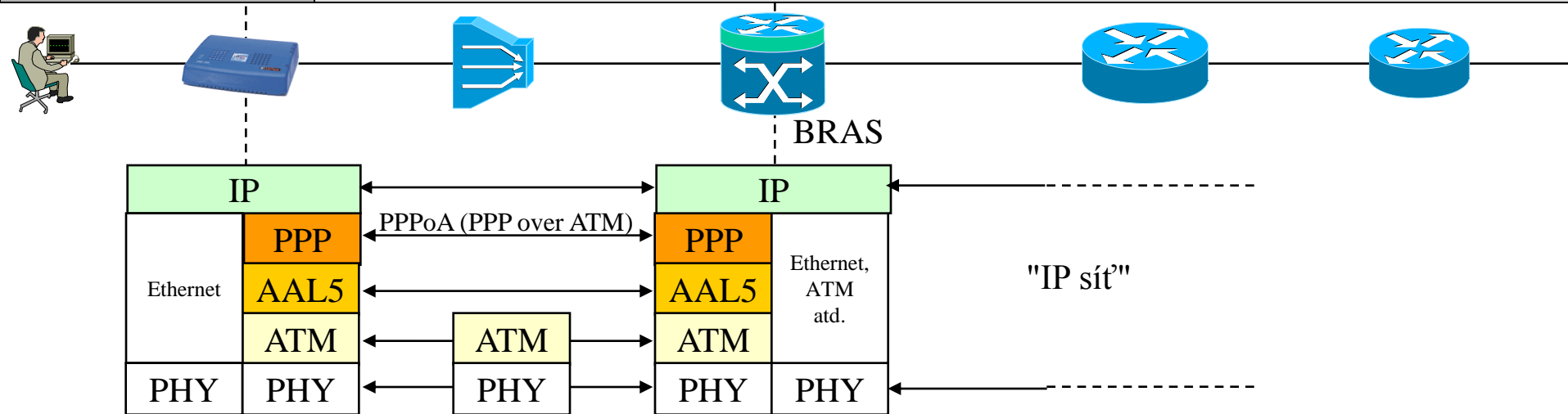
- DSLAM (DSL Access Multiplexor)
  - DSL přístupový multiplexor
    - více než jen několik ADSL modemů v jednom konstrukčním celku
  - multiplex = slučuje data od několika ATU-R do jednoho "fyzického" toku
    - a posílá je "dále", do datové sítě
  - má určitou kapacitu
    - počet portů DSLAM-u = počet ATU-R, které lze k němu připojit
  - zajišťuje návaznost na datové sítě
    - zapouzdřuje jednotlivé bity od ATU-R do paketů/rámců, a zajišťuje jejich přenos dál, po datové síti
      - již mimo telefonní síť

# ADSL a "střední míle"



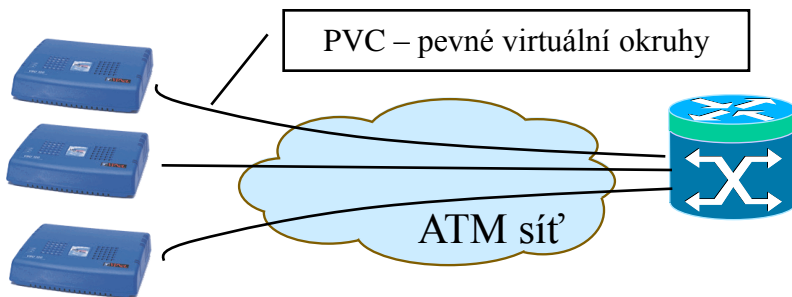
- od koncových uživatelů (CPE / ATU-R) vedou dvoubodová spojení
  - část vede po fyzicky dvoubodových spojiích (místních smyčkách, až po DSLAM)
  - část vede po fyzicky sdílené infrastruktuře (od DSLAM dále)
- končí až na zařízení BRAS
  - **Broadband RAS**,
    - Remote Access Server, přístupový server
  - **současně funguje jako agregační směrovač**
    - provádí agregaci v určitém poměru

# ADSL a PPPoA (PPP over ATM)



- mezi ADSL modemem (CPE, resp. ATU-R) a BRAS vede PVC okruh
  - obvykle skrze ATM síť !!!!

- pro přenos IP paketů mezi CPE/ATU-R a BRAS se používá protokol PPP (Point-to-Point Protocol)
  - zajišťuje například navazování spojení, přidělování IP adres
- rámce PPP se vkládají do rámců AAL5
  - které se vkládají do ATM buněk
  - využívá se PPPoA,
    - PPP over ATM, dle RFC 2364



# funkce BRAS/SSG/SSD v ADSL

dělá se ručně nebo automaticky

- BRAS (Broadband Remote Access Server) zajišťuje

- autentizaci uživatelů

- při navazování PPP spojení
- využívá k tomu buď RADIUS server, nebo nějakou databázi oprávněných uživatelů

- zprostředkovává poskytnutí konfiguračních údajů

- například IP adres a dalších parametrů (rychlost, kvalita služby, agregace atd.)

- zajišťuje agregaci

- sdílení společné přenosové kapacity

- zajišťuje prioritizaci datových toků

- pokud je požadováno

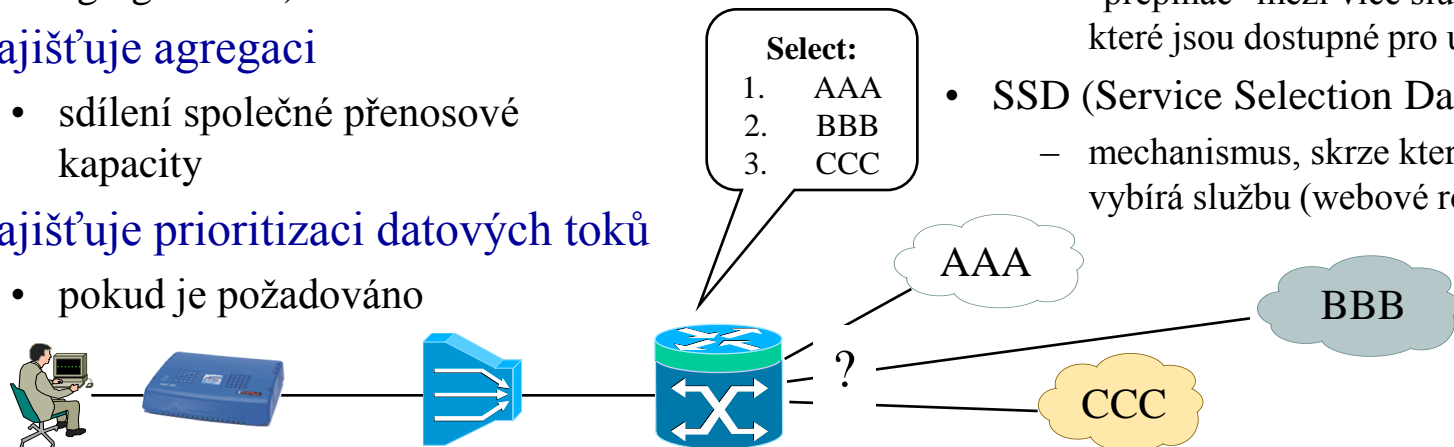
- může současně sloužit k výběru poskytované služby

- např. mezi:

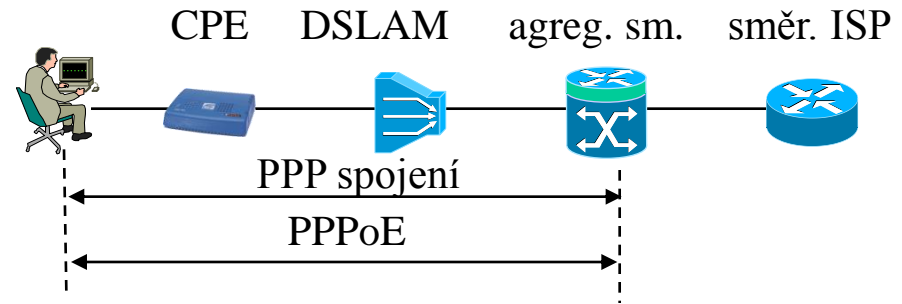
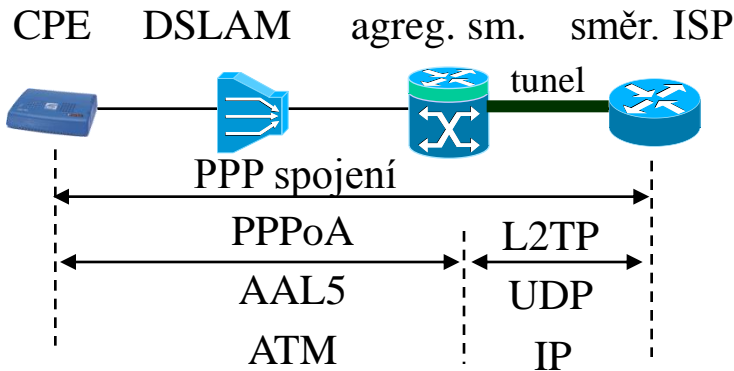
- přístupem k Internetu od ISP1
- přístupem k Internetu od ISP2
- přístupem k placenému prostoru
- přístupem k chráněnému intranetu

- může sloužit současně jako:

- SSG (Service Selection Gateway)
  - "přepínač" mezi více službami, které jsou dostupné pro uživatele
- SSD (Service Selection Dashboard)
  - mechanismus, skrze který uživatel vybírá službu (webové rozhraní)

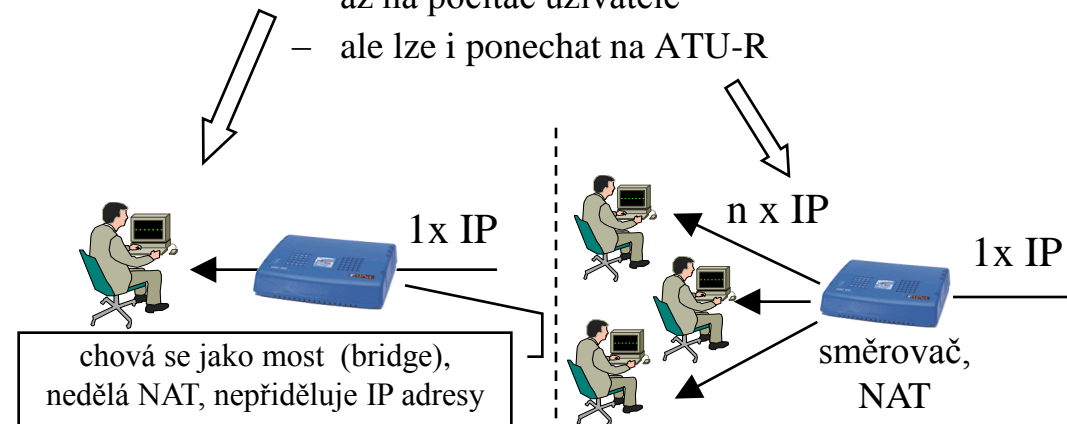


# další varianty



- PPPoE (PPP over Ethernet)

- používá se jiný způsob transportu PPP rámců
  - nikoli nad ATM/AAL5, ale nad Ethernetem
  - PPPoE dle RFC 2516
- jednodušší řešení v koncových bodech
  - PPP spojení lze protáhnout až do koncového zařízení (za ATU-R)
    - až na počítač uživatele
    - ale lze i ponechat na ATU-R

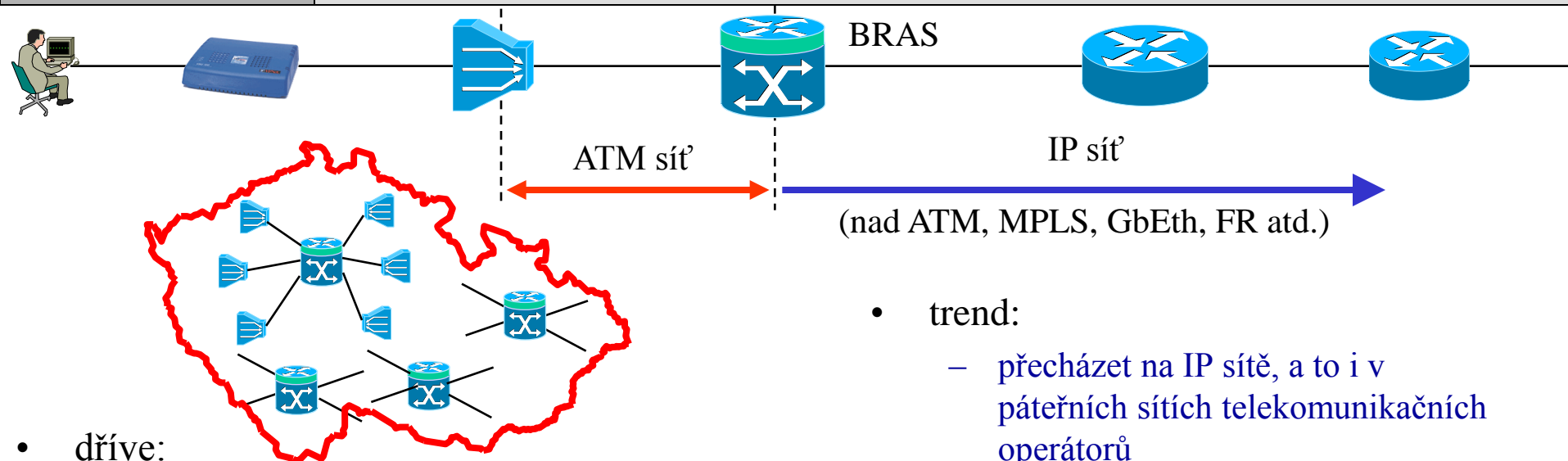


- PPPoA a L2TP:

- dvoubodové PPP spojení se "protáhne" dále, za BRAS, až k ISP
  - další část je tunelována skrze IP síť, pomocí protokolu L2TP
    - Layer 2 Tunelling Protocol
- **výhody:**
  - ISP má více možností jak ovlivnit připojení zákazníka
- **nevýhody:**
  - není možná volba služby na agregčním směrovači (BRAS)



# další vývoj: IP DSLAMy

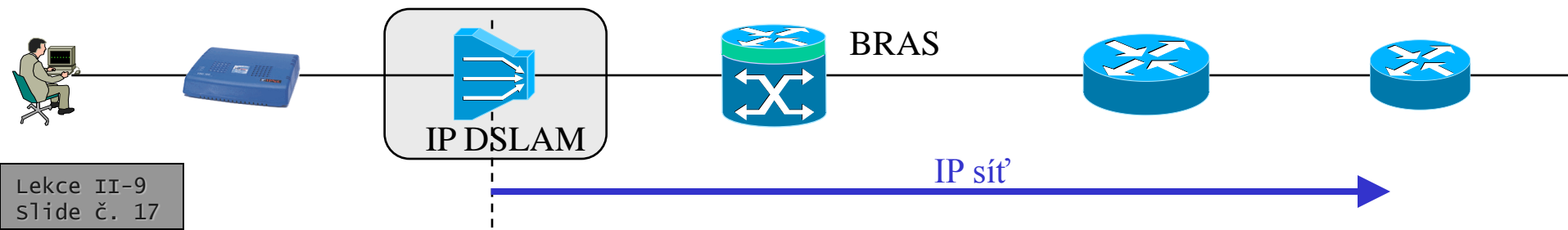


- dříve:

- DSLAMy (umístěné v prostorách telefonních ústředěn) se propojovaly pomocí ATM sítě
  - a napojovaly na agregační směrovače (BRAS)
    - v celé ČR byly (zpočátku) pouze 4 "agregační body"
  - důvod: ATM síť se používaly i k dalším účelům
    - např. k propojení telefonních ústředěn - CBR
- DSLAMy musely mít rozhraní, uzpůsobené ATM síti

- trend:

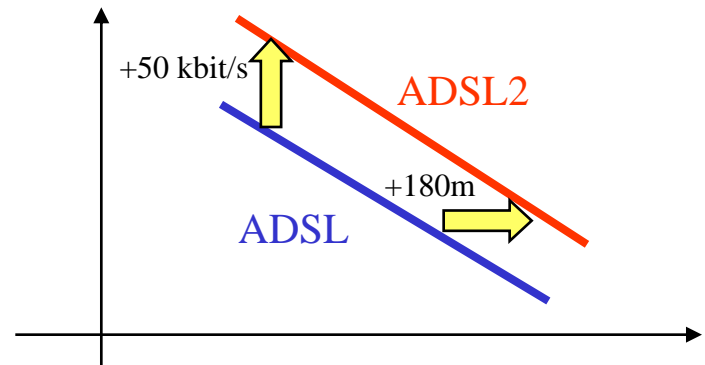
- přecházet na IP síť, a to i v páteřních sítích telekomunikačních operátorů
  - včetně propojení DSLAMů s agregačními směrovači
- snaha propojit DSLAMy a agregační body pomocí IP sítě
  - jsou nutné IP DSLAM-y
    - s výstupním rozhraním pro IP síť
    - už nepoužívají PPPoA, ale PPPoE



# ADSL2

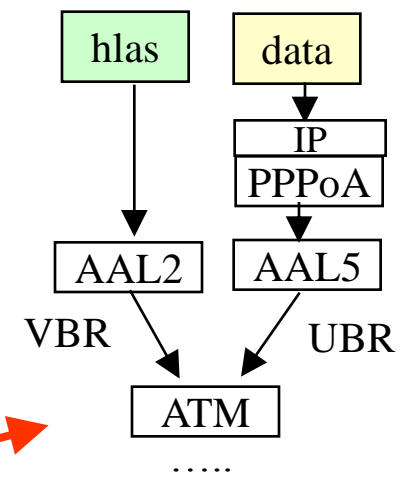
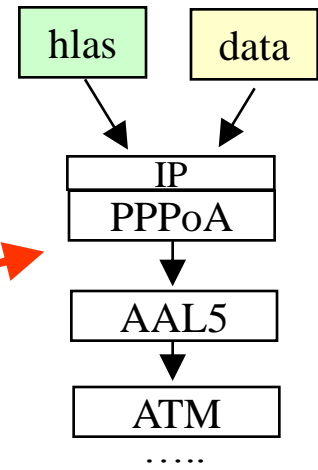
- využívá stejné frekvenční rozsahy jako ADSL
  - do 1,104 MHz
- ale:
  - dosahuje vyšších přenosových rychlostí
    - až o 50 kbit/s více
  - zvyšuje dosah
    - až o 180 metrů (Reach Extended ADSL2)
- využívá:
  - dokonalejší modulaci a kódování
  - proměnlivou délku rámce
    - redukuje také hlavičku, a tím i režii
  - regulaci vysílacího výkonu
    - ADSL pracuje na plný výkon nepřetržitě
    - ADSL2 zvyšuje výkon, jen když je třeba, jinak je v úsporném (pohotovostním) režimu
  - lepší přizpůsobení poměrům signál/šum
    - lépe se vyrovnává s rušením a dalšími poruchami a nedokonalostmi vedení
  - rychlý start
    - "naběhne" již za 3 s (ADSL více než 10 s)
- dokáže:
  - přidělovat kanály s různými vlastnostmi různým aplikacím
    - například může vyčlenit určité kanály pro přenos hlasu
    - podpora CVoDSL
- nabízí také plně digitální režim
  - ADM (All-Digital Mode)
    - obsazuje celé frekvenční pásmo, včetně hovorového
    - využívá to k rychlejšímu upstreamu
      - až 2 Mbit/s
- stále platí:
  - čím větší dosah, tím nižší je maximální dosažitelná přenosová rychlost

původní režie  
32 kbit/s, nyní  
jen 4 kbit/s



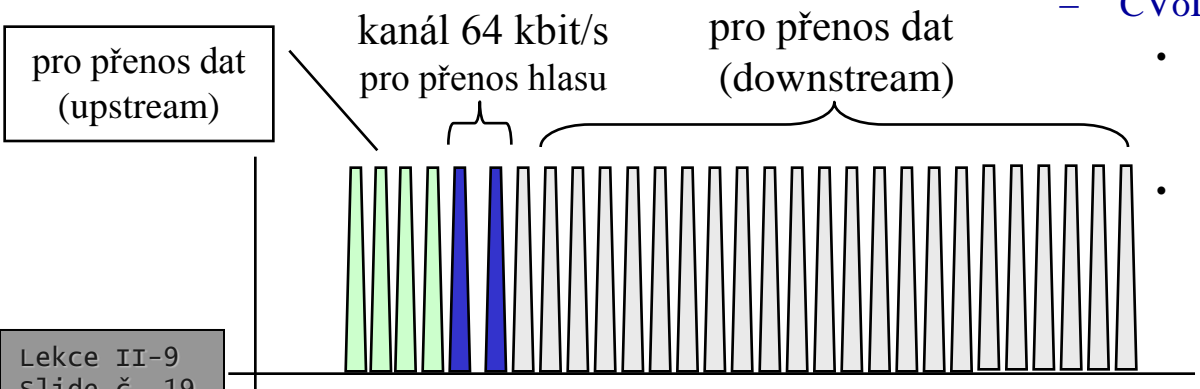
# odbočení: VOIP, VoATM a CVoDSL

- existuje více možností jak poskytovat hlasové služby spolu s ADSL (xDSL)
  - hlas a data samostatně
    - hlas v hovorovém pásmu, jako PSTN či ISDN
      - klasické přepojování okruhů
    - data v nadhovorovém pásmu
      - běžné ADSL
  - hlas skrze VOIP (nad ADSL)
    - hlasové služby jsou poskytovány na bázi VOIP
      - bez specifické podpory ze strany ADSL, jako kterákoli jiná aplikace
        - » bez QoS
        - » ADSL "neví" o VOIP



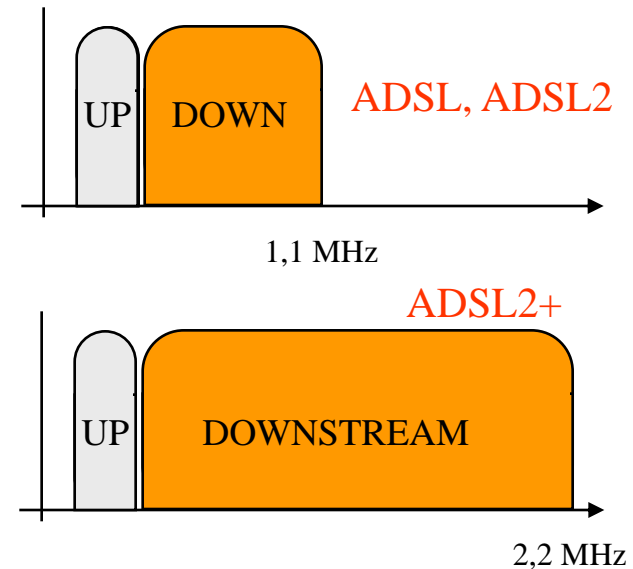
- VoATM (Voice over ATM)
  - xDSL stále "neví" o hlasových službách
  - digitalizovaný hlas se vkládá do rámců AAL2 a ATM
    - a přenáší skrze xDSL přípojku
  - hlas dostává podporu díky způsobu fungování AAL2 (oproti AAL5)

- princip CVoDSL (Channelized Voice over DSL):
  - upstream i downstream využívá větší počet frekvenčních kanálů pro přenos dat
    - klasické ADSL: všechny se využijí pro přenos dat
  - CVoDSL:
    - některé frekvenční kanály se využijí pro přenos hlasu (v datové podobě)
      - teprve ostatní pro přenos "obecných" dat
    - hlas je digitalizován skrze PCM, není "blokován" (vkládán do paketů) ale přenášen jako proud (stream)



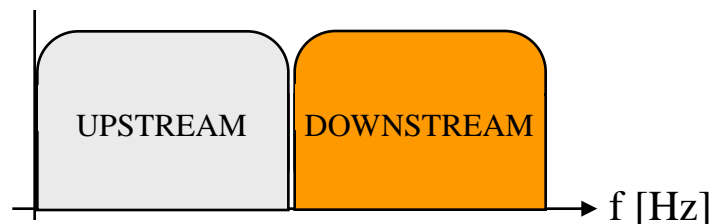
# ADSL2+

- snaha dále (a výrazněji) zvýšit přenosovou rychlost
  - a moc nezkracovat dosah
- cíl:
  - poskytnout dostatek kapacity pro služby charakteru VoD a IPTV
    - pro živý streaming v TV kvalitě je zapotřebí "několik" Mbit/s (dle kódování),
    - musí zůstat kapacita i pro běžné připojení k Internetu, které nesmí zpomalovat živý streaming
- problém:
  - technologická zdokonalení už nedávají dostatek prostoru
- řešení:
  - využije se větší frekvenční rozsah na místní smyčce
  - až do 2,208 MHz
    - dvojnásobek oproti ADSL a ADSL2
- výsledek:
  - standard G.992.5, schválený v lednu 2003
    - zahrnuje vše z ADSL2
  - dosahuje až 25 Mbit/s na downstreamu
    - ovšem jen do vzdálenosti 1,5 km !!!!
    - při větších vzdálenostech max. 12 až 16 Mbit/s!!!!
  - dokáže koexistovat s hlasovými službami, nebo fungovat v plně digitálním režimu
    - využívat jen nadhovorové pásmo, resp. využívat celé frekvenční pásmo místní smyčky



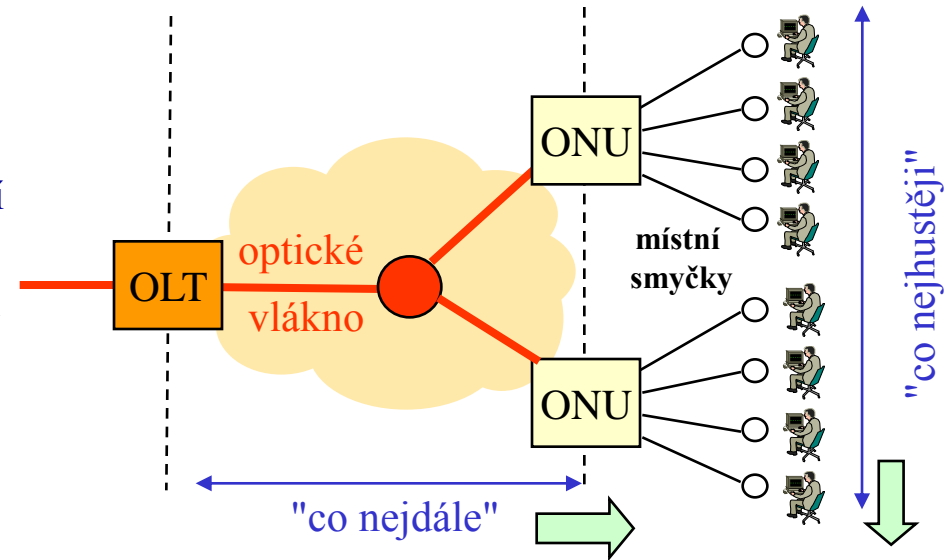
# symetrické DSL (SDSL, HDSL, SHDSL)

- asymetrie v rychlostech je vhodná pro "konzumenty", kteří více stahují než uploadují
  - například pro domácnosti
- pro firmy bývá výhodnější symetrie
  - více uploadují ...
  - chtějí využít DSL pro telefonii (klasickou či VOIP)
    - kde je úzkým hrdlem nižší z rychlostí
- pro symetrická řešení existuje (používá/používalo se) více řešení
  - SDSL (Symmetric DSL)
    - (staré) proprietární řešení, nasazované v USA
  - HDSL (High bit-rate Digital Subscriber Line)
    - (staré) řešení, používané pro připojování pobočkových tel. ústředen po místní smyčce
    - varianty:
      - 1,54 Mbit/s v obou směrech (USA)
      - 2 Mbit/s v obou směrech (Evropa)
    - využívá celé frekvenční pásmo
    - vyžaduje 2 až 3 páry kroucené dvoulinky
      - tj. 2 až 3 místní smyčky
  - HDSL-2:
    - vystačí jen 1 párem / místní smyčkou
- SHDSL (Symmetric High-Bitrate Digital Subscriber Loop, Single-pair High-speed Digital Subscriber Line)
  - první mezinárodně standardizované symetrické řešení
    - ANSI (T1E1.4/2001-174) pro Severní Ameriku
    - ETSI (TS 101524) pro Evropu
    - ITU-T (G.991.2) celosvětově
  - nabízí rychlosti 192 kbit/s až 2,3 Mbit/s
    - na jednom páru / místní smyčce
  - obvyklý dosah:
    - až 3 km na 1 páru / místní smyčce
  - dosah i rychlost lze zvyšovat:
    - pomocí opakovačů na vedení
    - využitím více párů (místních smyček) současně
      - » lze zvýšit rychlost až na 4,6 Mbit/s
      - » lze zvýšit dosah na 5 km (na 2 párech)
  - existuje zdokonalená verze (G.991.2 F) pro USA, která nabízí až 5,7 Mbit/s na jednom páru
- všechna symetrická řešení (SDSL, HDSL, SHDSL) využívají celé frekvenční spektrum místní smyčky
  - nedokáží koexistovat s hlasovými službami

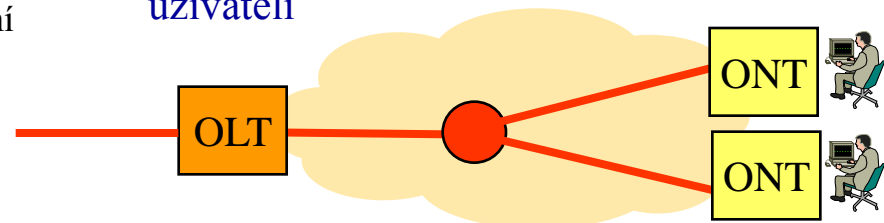


# optika v přístupových sítích

- místní smyčky existují a jejich potenciál ještě není využit "zcela na doraz"
  - ale snahy o jeho "vyšší" využití již naráží na problémy
    - vyšší přenosové rychlosti vyžadují využití stále širšího frekvenčního pásma
      - nelze dělat donekonečna
      - začíná se projevovat rušení, přeslechy
    - současně ale klesá dosah
      - a to významně !!!
- mnohem větší potenciál mají optická vlákna
  - zatím je tento potenciál využíván jen minimálně
    - lze výrazně zvyšovat jeho využití
- problém:
  - optická vlákna jsou stále moc drahá
    - včetně pokládky, instalace, konektorování
  - ve většině případů je stále ekonomicky neúnosné je dovést až do bytů

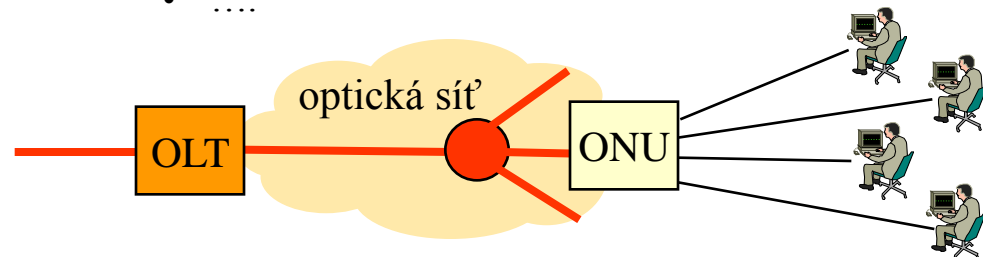
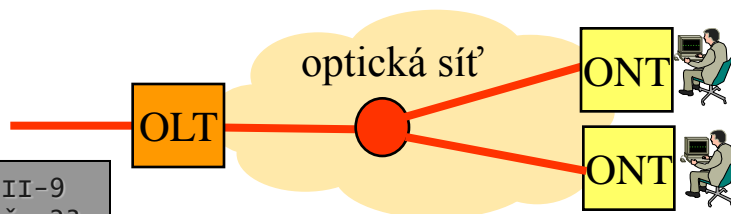


- snaha o kompromis:
  - dosáhnout "co nejdále" pomocí optiky
  - "zbytek" rozvést pomocí místních smyček či jiných kovových vedení
    - nejlépe do co nejvíce míst
      - kde se mohou vyskytovat potenciální zákazníci
- zvláštní případ:
  - optická vlákna až (přímo) ke koncovému uživateli

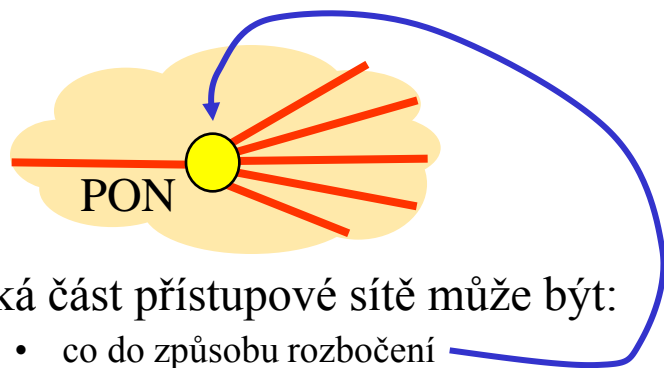


# FTTx (Fiber To The .....

- **FTTx:**
  - obecné označení pro použití optických vláken v přístupových sítích
    - x se liší podle toho, kam až optické vlákno dosahuje
- varianta "pouze optika"
  - optické vlákno dosahuje až ke koncovému zákazníkovi
    - **FTTH** (Fiber to the Home),
    - **FTTA** (... Appartmnet),
    - **FTTO** (... Office),
    - **FTTS** (... Subscriber)
    - .....
  - "na konci" je zařízení **ONT**
    - Optical Network Termination
      - zajišťuje zakončení čistě optického rozvodu a umožňuje přímé napojení uživatelského zařízení
- varianta: optika+metalika
  - kombinují se optické rozvody ("na začátku") a metalické rozvody (místní smyčky) "na konci"
  - "na začátku" je zařízení **OLT**
    - Optical Line Termination,
      - zajišťuje návaznost na páteřní síť
      - zakončuje optické vlákno, vedoucí k páteřní síti
  - "na rozhraní" (Opt./El.) je zařízení **ONU**
    - Optical Network Unit
      - převodník mezi optickým a metalickým vedením
  - **konkrétní označení se liší podle toho, kam až "sahá" optika:**
    - **FTTEx** (Fiber to the Exchange)
      - optika povede až na tel. ústřednu
    - **FTTC** (... Curb), **FTTN** (... Neighbourhood)
      - optika vede k ONU "na kraji ulice"
    - **FTTB** (... Building, ... Basement), **FTTC** (... Cabinet)
      - optika vede k ONU někde uvnitř budovy
    - .....

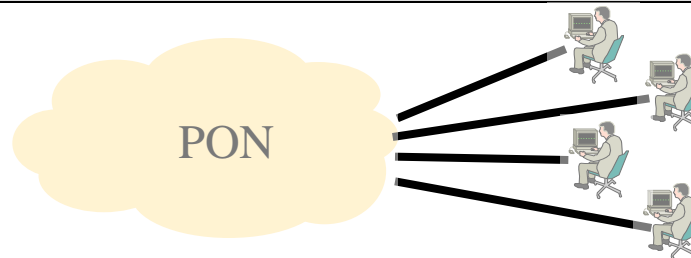


# PON a VDSL



- optická část přístupové sítě může být:
  - co do způsobu rozbočení
    - aktivní
      - s aktivními prvky (např. zesilovači)
        - které vyžadují napájení !!!
      - je to nákladné
        - a z ekonomických důvodů se v přístupových sítích moc nepoužívá
    - pasivní
      - bez aktivních prvků / jen s pasivními prvky
        - bez napájení, pasivní rozbočovače
      - je to jednodušší a lacinější
        - pro přístupové sítě to stačí
  - PON (Passive Optical Network)
    - pasivní optická síť ve výše uvedeném smyslu
      - pouze s pasivním rozbočením optického signálu

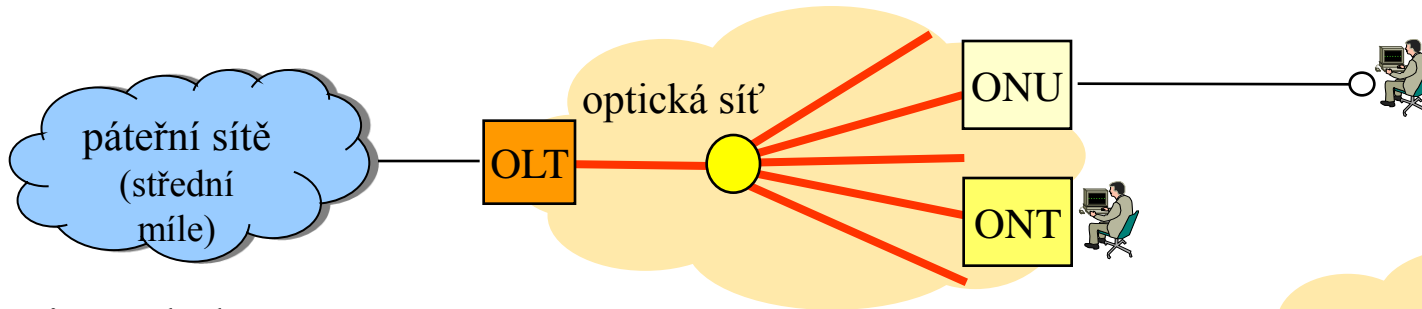
dnes velmi oblíbené a používané řešení



- metalická část přístupové sítě (pokud nejde o čistě optickou variantu)
  - musí být dimenzována tak, aby "nebrzdila" optickou část
  - "klasické" technologie xDSL už nestačí
    - musí být vyvinuty nové, dostatečně rychlé
    - jejich krátký dosah už není tolik na závadu !!!
      - protože větší vzdálenosti jsou překlenuty optikou !!!
- VDSL (Very-high Speed DSL)
  - je příkladem takové technologie, pro použití spolu s PON
    - eventuelně i samostatně (na krátkou vzdálenost)
- VDSL2
  - připravovaná verze



# pasivní optické sítě (PON)

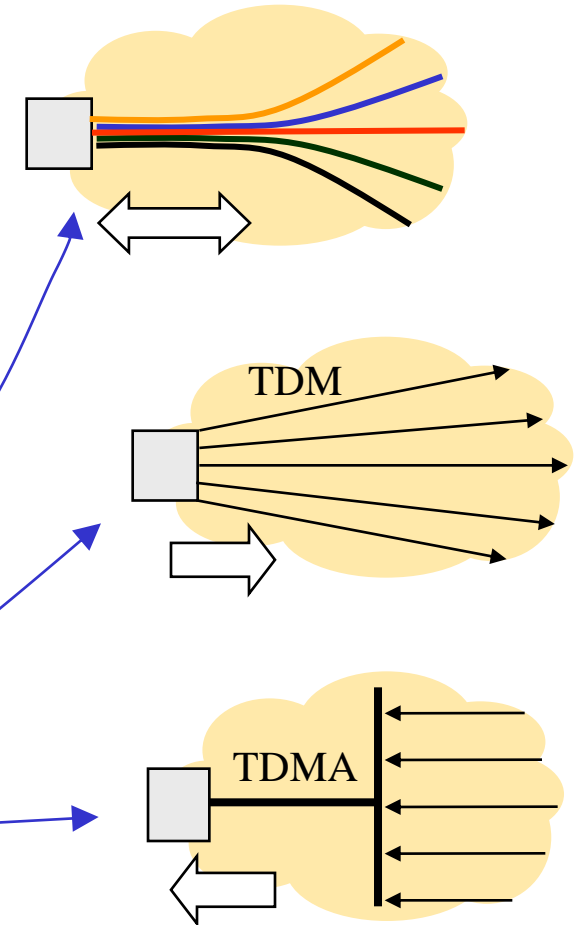


- mají za úkol:

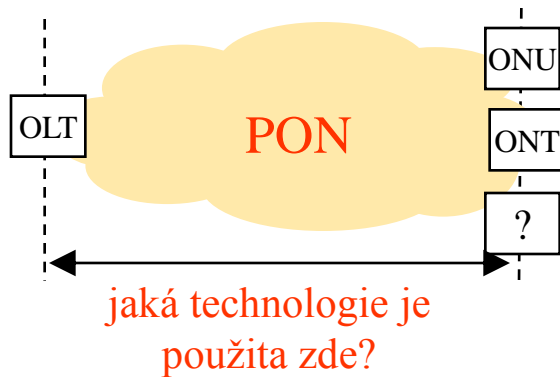
- "rozdělit" data k určitému počtu koncových uživatelů
  - co největšímu
- k prvků ONU (Optical Network Unit)
  - kde optická síť přechází na metalickou, a signál se mění z optického na elektrický
- nebo: k prvkům ONT (Optical network Termination)
  - kde je přímo napojeno zařízení koncového uživatele

- možnosti řešení:

- vlnový multiplex (WPON, Wavelength PON)
  - pro každý koncový bod (ONU-ONT) jiná a samostatná  $\lambda$ 
    - je to nezávislé na technologii (prookolech vyšších vrstev)
- časový multiplex
  - TDM pro "downstream"
    - každý dostává jen to, co je mu určeno
  - TDMA pro "upstream"
    - jde o sdílený přístup, musí být řízeno, skrze dělení v čase



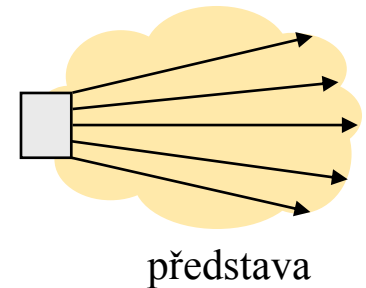
# APON, BPON, GPON, EPON



- **APON**, později přejmenováno na **BPON** (Broadband PON):
  - aby si lidé nemysleli, že dostanou jen ATM služby
  - základem (pro přenos dat) je technologie ATM
    - rychlosti 155 Mbit/s, 622 Mbit/s
  - nabízí např. 10/100 Mbit/s Ethernet či distribuci videa
    - nad ATM
  - definováno standardem ITU-T G.983
    - připraveno skupinou FSAN (Full Service Access Network)

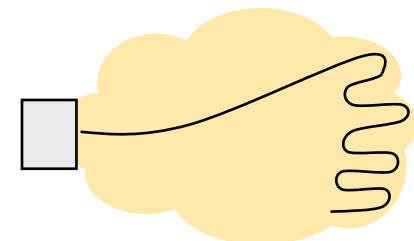
- **GPON** (Gigabit PON)
  - jako BPON, ale pro gigabitové rychlosti
  - definováno standardem ITU-T G.984
- **EPON** (Ethernet PON)
  - základem (pro přenos dat) je přímo Ethernet
  - definováno by IEEE 802.3ah

- "downstream" ve skutečnosti funguje jako broadcast



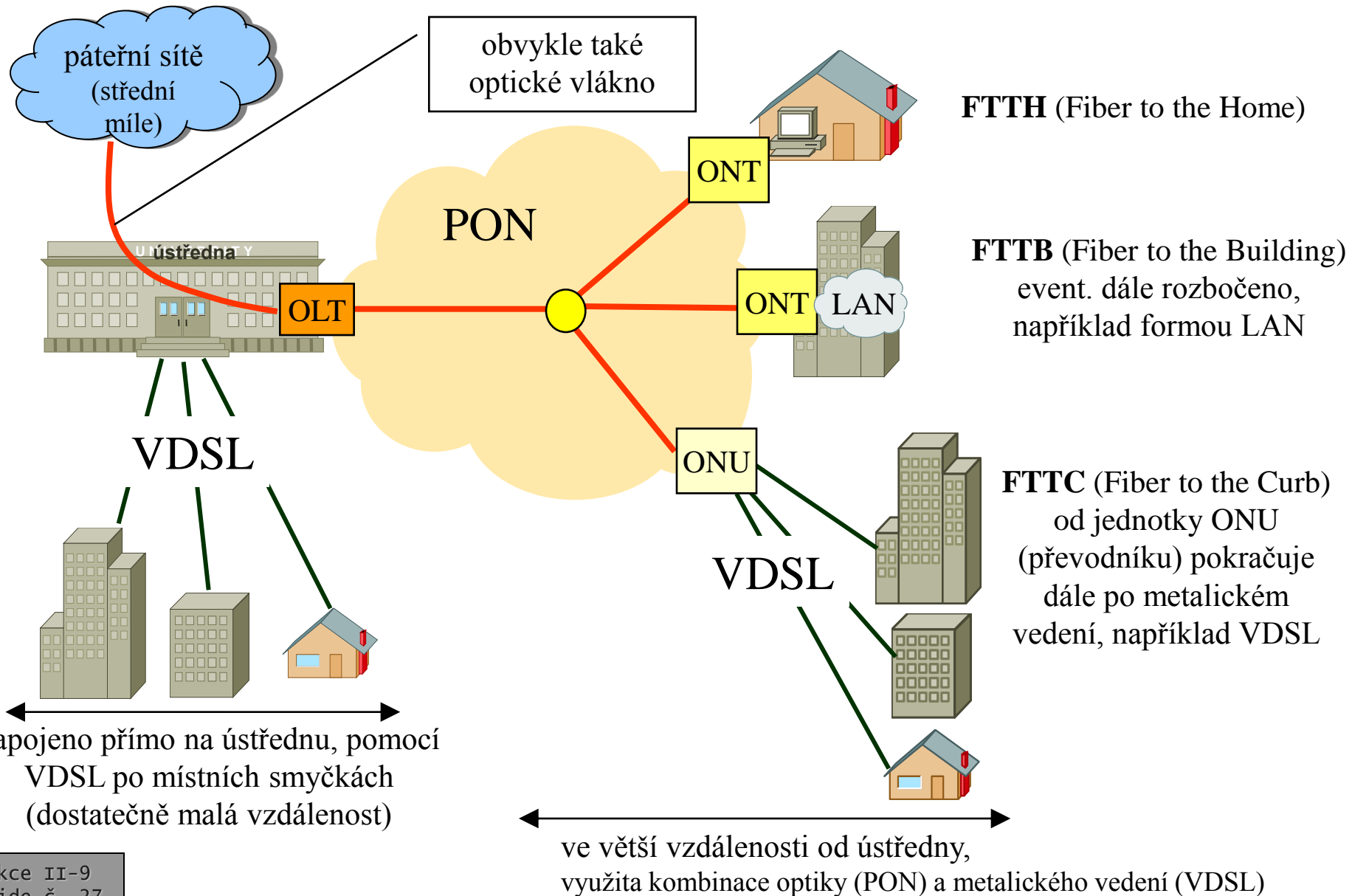
- je sdíleno jedno vlákno
  - a každý tak "slyší vše"

- každý "konec" (ONU, ONT) si bere jen to, co mu patří



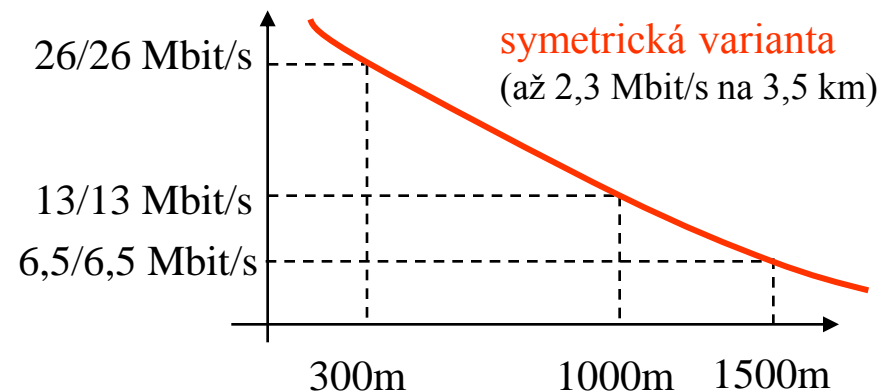
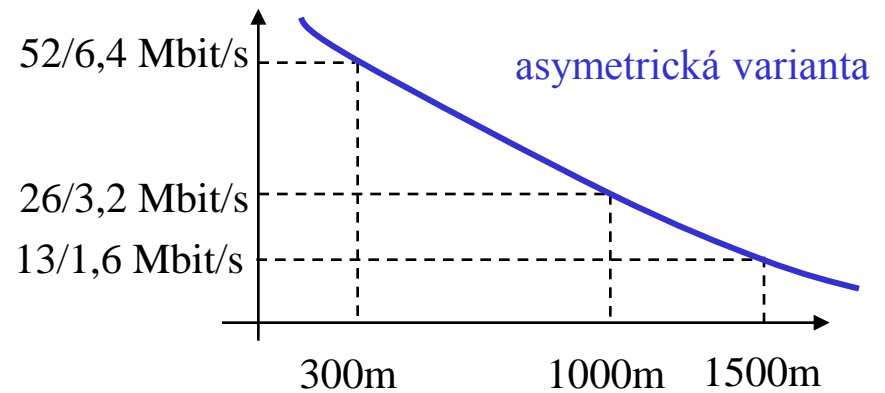
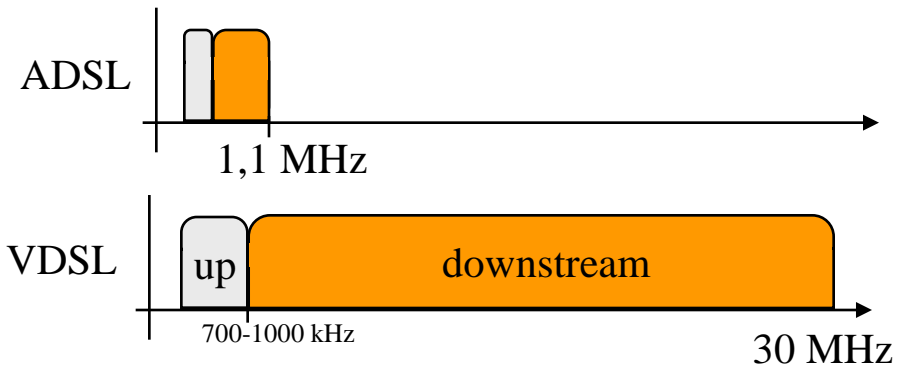
- zabezpečeno pomocí šifrování

# shrnutí – představa



# VDSL

- zatím nejrychlejší technologie z rodiny xDSL
  - až 52 Mbit/s na downstreamu
  - možnost symetrické i asymetrické konfigurace
    - co do rychlosti up/downstreamu
- cena za vyšší rychlost:
  - zmenšený dosah
    - se zvyšováním rychlosti prudce klesá
    - například jen 300 metrů pro 52 Mbit/s
  - větší rozsah využitého frekvenčního pásma na místní smyčce
    - 200 kHz až 30 MHz !!!!
    - dokáže koexistovat s PSTN/ISDN
      - s (klasickými) hlasovými službami



# přípojky kabelové televize

- původně:

- kabelové rozvody sloužily jako "společná TV anténa"

- rozváděly "běžný" TV signál do míst se špatným příjmem
- odsud zkratka **CATV**
  - Community Antenna TV
- šlo o stejné vysílání, které se šířilo i éterem

- rozvody byly jednosměrné

- a distribuční – pro broadcast
- na bázi koaxiálních kabelů

- později:

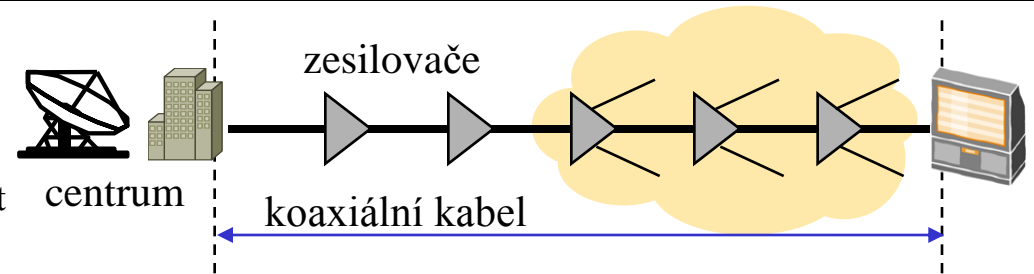
- vzniká specifické vysílání pro kabelové rozvody

- kabelová televize
- šířily se jiné programy než jaké byly dostupné éterem

- rozvody byly stále jednosměrné

- ale už byly rozsáhlejší
  - celé kabelové sítě, se zesilovači pro zvýšení dosahu

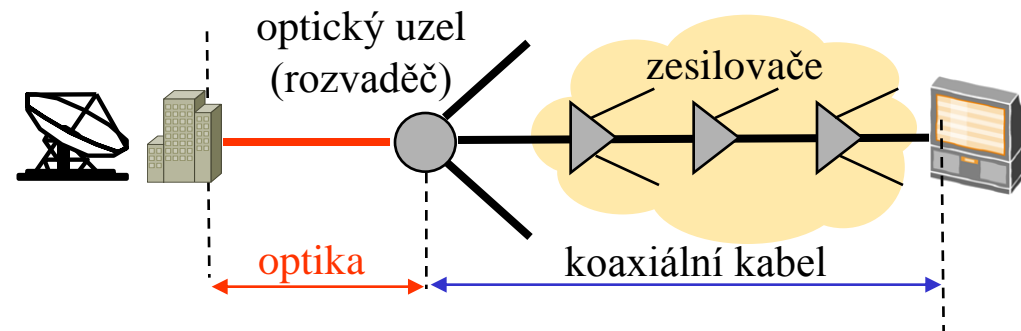
- rozvody vedou hlavně do domácností



- další vývoj:

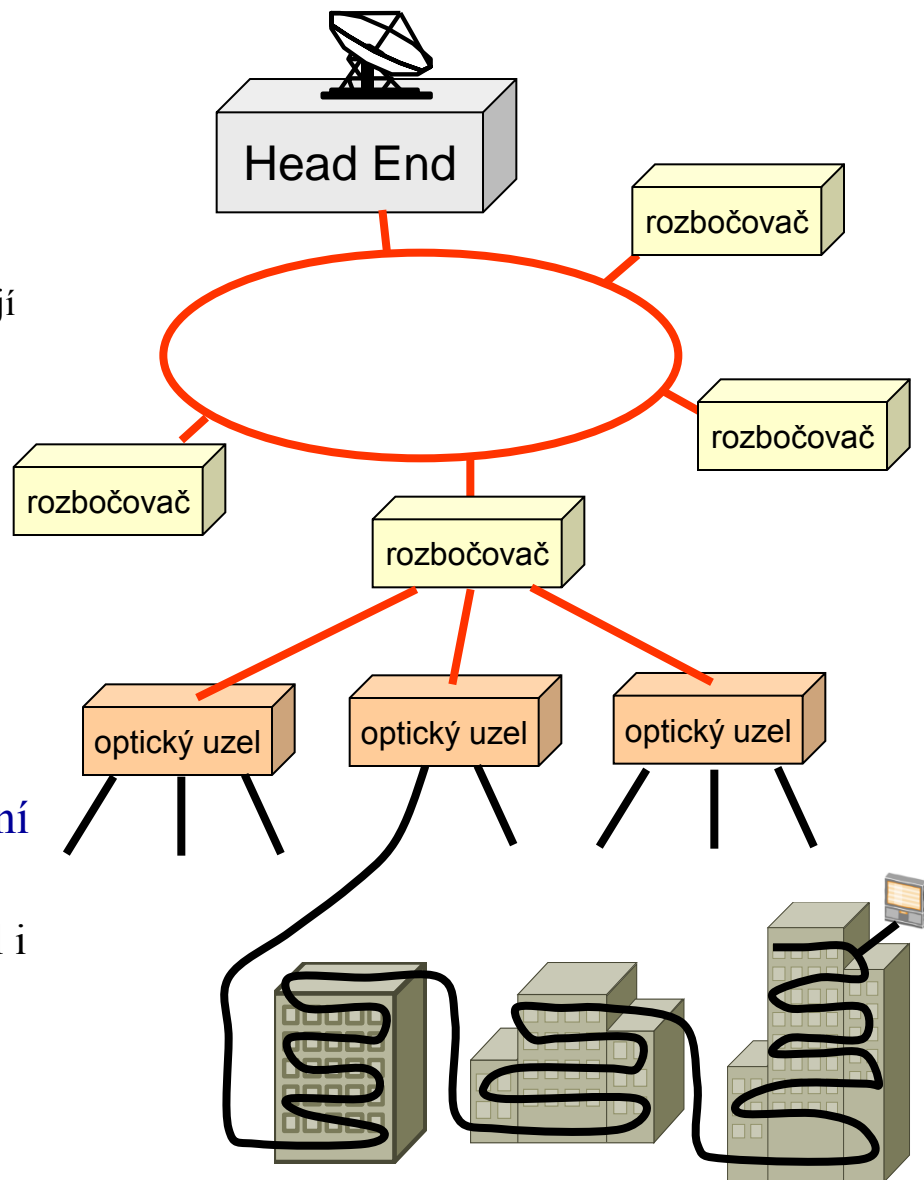
- kabelové rozvody se zvětšují a "zahušťují"
- začínají využívat také optická vlákna

- stávající se z nich hybridní opticko-koaxiální sítě
- HFC (Hybrid Fiber-Coax)
- optická vlákna se používají v "páteřních" částech, pro překlenutí větších vzdáleností
- koaxiální kabely se používají "na konci", pro připojení koncových účastníků



# kabelové sítě HFC

- postupně:
  - kabelové sítě dostaly složitější (hierarchickou) strukturu
    - zakončovací systém (Head End)
      - vstupní bod do celé sítě, tudy vstupují TV programy do celé kabelové sítě
    - optické rozbočovače (hub-y)
      - primární, sekundární
    - optické uzly
      - zajišťují přechod z optiky na koax
    - distribuční zesilovače
    - koncová zařízení
      - TV přijímač, dekodér, ...
  - stále ale byly jednosměrné a distribuční !!!!
    - měly ale dostatek kapacity a potenciál i pro další služby
  - záměr:
    - umožnit obousměrnou komunikaci a podporu datových přenosů



# kabelové sítě HFC – se zpětným kanálem

- zavedení zpětného kanálu vyžadovalo úpravu všech prvků kabelové sítě

- výsledek:

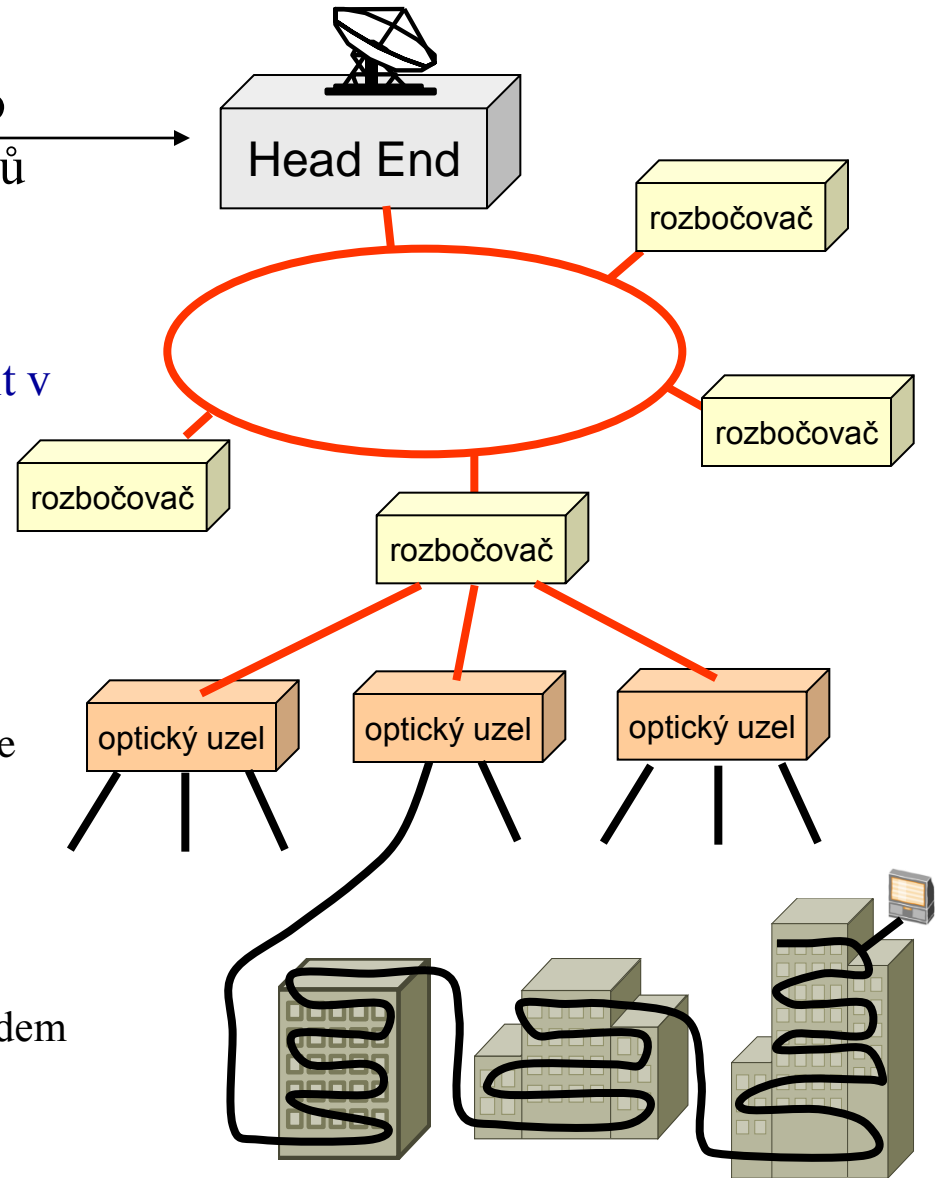
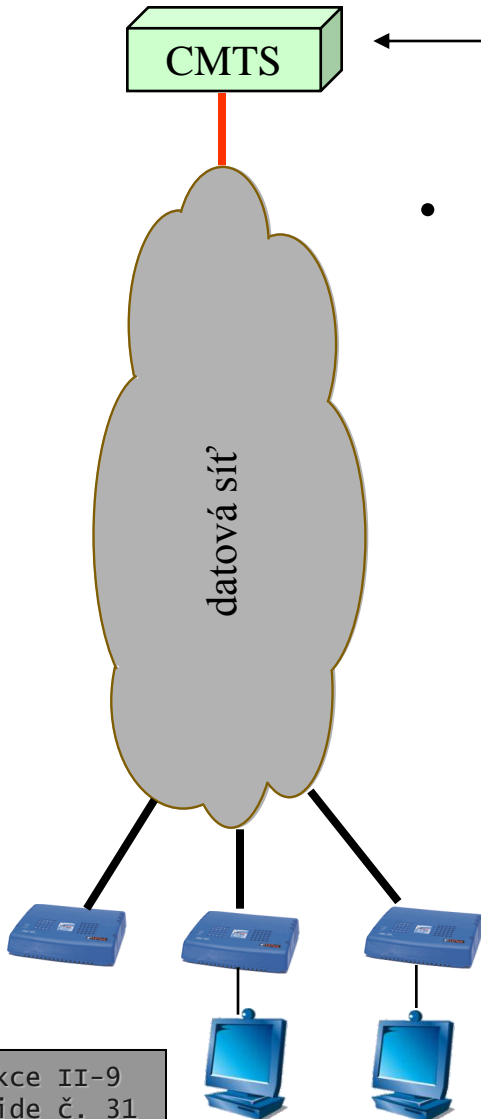
- možnost vytvořit v kabelové síti obousměrnou datovou síť, pro přenos dat

- "začátek":

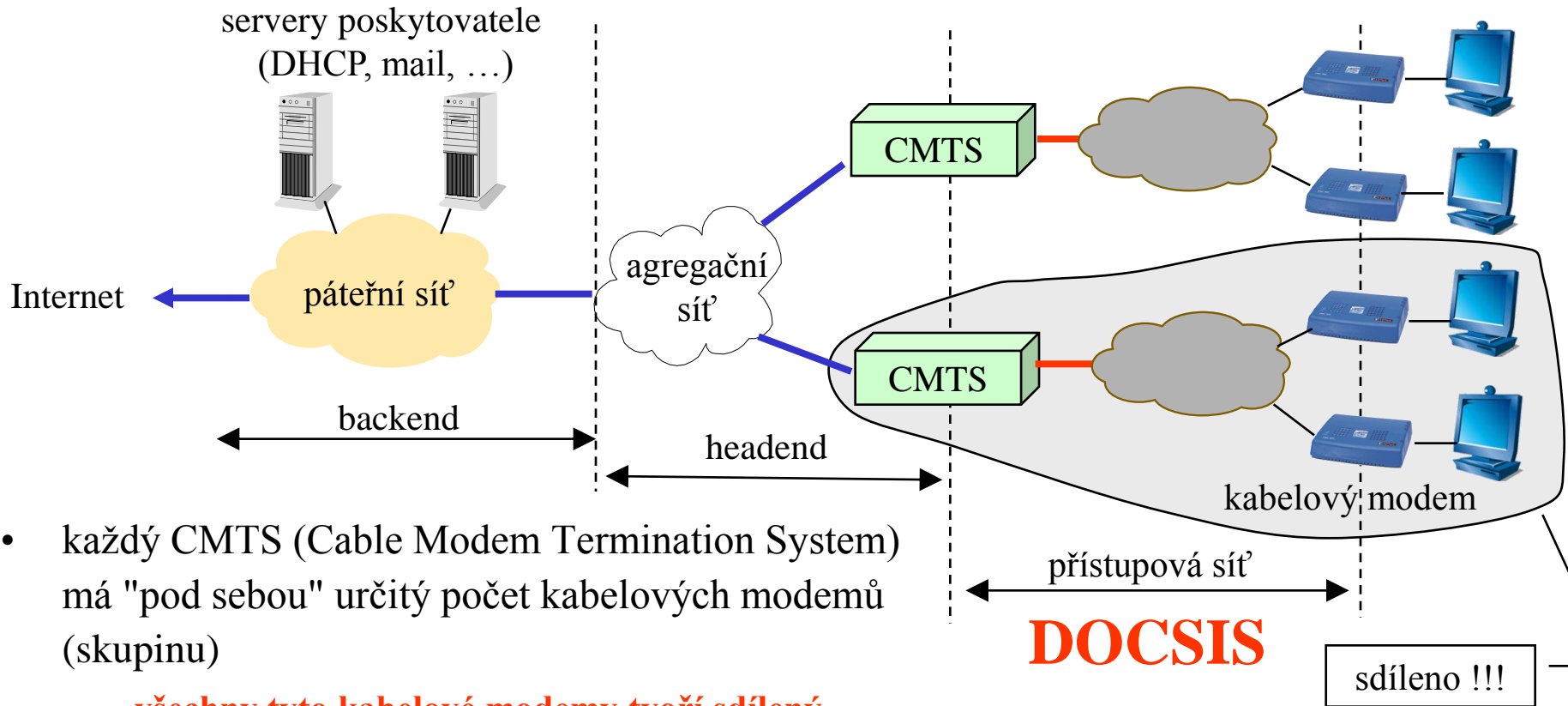
- **CMTS**, Cable Modem Termination System

- "konec":

- kabelový modem



# dnešní struktura (datových) kabelových sítí



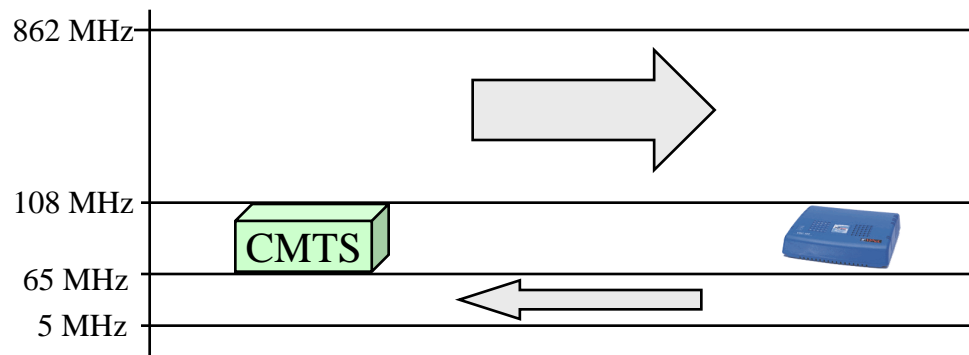
- každý CMTS (Cable Modem Termination System) má "pod sebou" určitý počet kabelových modemů (skupinu)
  - všechny tyto kabelové modemy tvoří sdílený segment!!!!
    - sdílí jednu společnou kapacitu
  - kabelový operátor může přidávat další CMTS a zmenšovat skupiny modemů, které sdílí společnou přenosovou kapacitu
    - a tím optimalizovat svou síť

- pro komunikaci mezi CMTS a kabelovým modemem (datové přenosy) byl vyvinut standard DOCSIS
  - Data over Cable Service Interface Specification



# DOCSIS 1.0

- k dispozici má (dopředné) frekvenční kanály
  - dimenzované podle potřeb přenosu TV programů
    - o šířce 6 MHz (v USA, norma NTSC)
      - standard **DOCSIS**
    - o šířce 8 MHz (v Evropě, norma PAL/SECAM)
      - standard **euroDOCSIS**
  - jsou odděleny na principu frekvenčního multiplexu
- některé frekvenční kanály jsou využívány pro potřeby (jednosměrného) šíření TV programů
  - ostatní pro potřeby datových přenosů
  - není pevně určeno – lze měnit



- pro dopředný směr (ke kabelovému modemu):
  - využívají se (některé) frekvenční kanály v rozsahu 108 až 862 MHz
  - přenosová rychlost:
    - od 39 do 57 Mbit/s na kanál !!!
- pro zpětný směr (od kabelového modemu)
  - kanály o šířce 0,2 až 3,2 MHz, v rozsahu 5 až 65 MHz
  - přenosová rychlost:
    - až 10 Mbit/s
- počítá se s asymetričností
  - vyšší rychlostí na downstreamu
  - novější verze standardu počítají i se symetrickými rychlostmi

kanály jsou sdíleny všemi modemy (uživateli) "pod" stejným CMTS !!!

# DOCSIS 1.0, 2.0 a 3.0

- DOCSIS 1.0 (1997) nabízí až 55 Mbit/s na (dopředný) kanál
  - ale pozor, jde o sdílenou kapacitu!!
  - kabelový operátor určuje jednotlivým uživatelům maximální rychlost nižší
    - podle toho, jakou službu si objednají a zaplatí
    - 55 Mbit/s je technologický limit pro sdílenou skupinu
  - reálně dostupnou kapacitu pro koncového uživatele lze zvyšovat optimalizací (zmenšováním) počtu modemů ve sdílené skupině!!!
    - až do maxima 55 Mbit/s
    - případně využitím více frekvenčních kanálů
- obdobně pro zpětný směr
- DOCSIS 1.1 (1999) nabízí podporu QoS
  - verze 1.0 nepodporovaly QoS
- DOCSIS 2.0 nabízí ve zpětném směru až 35 Mbit/s na kanál
  - oproti max. 10 Mbit/s u DOCSIS 1.0
  - přináší i další vylepšení
    - např. v bezpečnosti, přístup v reálném čase
- euroDOCSIS
  - liší se hlavně šířkou frekvenčního kanálu u dopředném směru
    - 8 MHz (dle normy PAL/SECAM), oproti 6 MHz DOCSIS (dle normy NTSC)
- DOCSIS 3.0
  - připravovaný standard
  - plně na bázi IP, podpora IPv6, ...
  - channel bonding
    - využití více kanálů pro datové přenosy jedním uživatelem
  - max. rychlost (na uživatele):
    - 200 Mbit/s dopředně, 100 Mbit/s zpětně