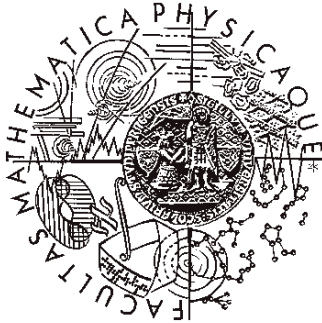




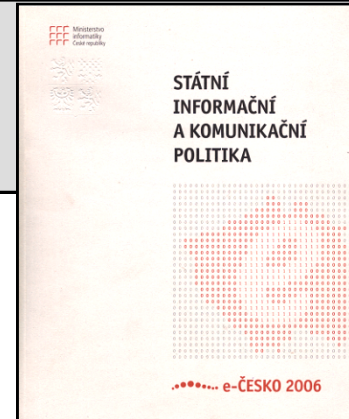
Katedra softwarového inženýrství,
Matematicko-fyzikální fakulta,
Univerzita Karlova, Praha



Lekce 9: "drátový" broadband

J. Peterka, 2008

co je broadband?

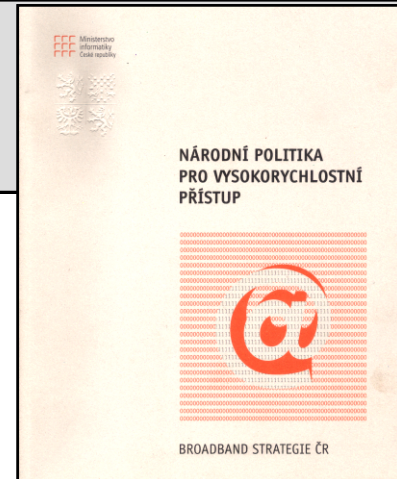


- spíše "buzzword" než exaktně definovaný pojem
 - obvyklé chápání: dostatečně rychlé připojení k Internetu
 - dostatečně rychlý přístup k Internetu
 - alternativní chápání: takové připojení (přístup), které není úzkým hrdlem
 - které neomezuje uživatele v tom, co a jak chce dělat
- otázka:
 - jak rychlé 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

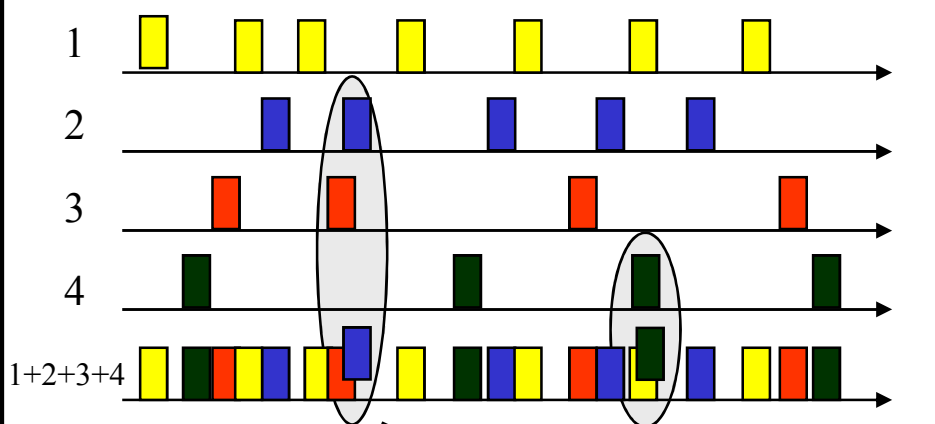


- dostupnost broadbandu je vnímána jako strategická záležitost
 - všímají si politici, angažuje se stát, ...
 - zde: zůstaneme u technických aspektů
- "drátový" (wireline) broadband
 - snaha využít jakoukoli existující "drátovou" infrastrukturu pro poskytování broadbandu
 - místní smyčky:
 - xDSL, metro 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

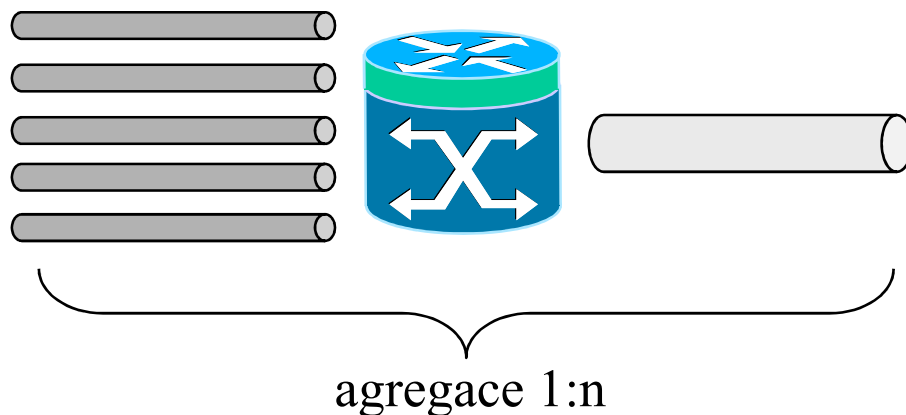
agregace u broadbandu



- 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

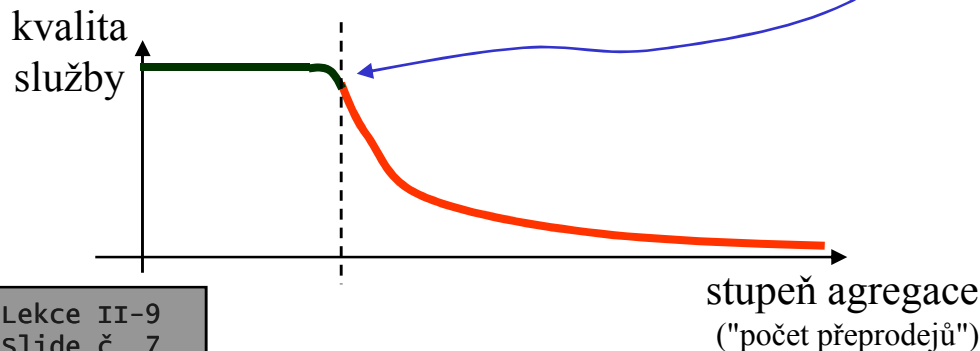
- agregace = sloučení více přenosových kapacit do jedné společné kapacity
 - která je menší než součet vstupních kapacit
- poměr (stupeň) agregace:
 - v jakém poměru je součet kapacit vstupů ke kapacitě výstupu
 - 1: 1 = není žádná agregace
 - hodí se například pro ISP, kteří sami agregují provoz od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

$$\frac{\sum \text{kapacita vstupů}}{n} = \text{kapacita výstupu}$$



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)
 - kterí 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

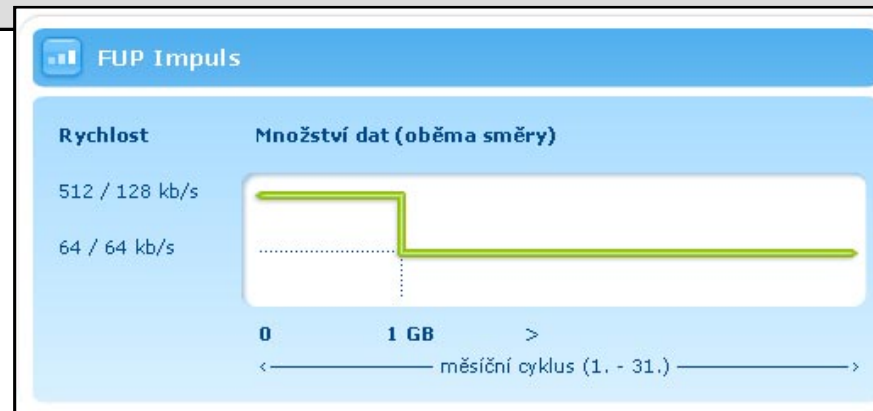
je to určitý kompromis, na trhu by měly existovat služby s různě voleným kompromisem

- 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

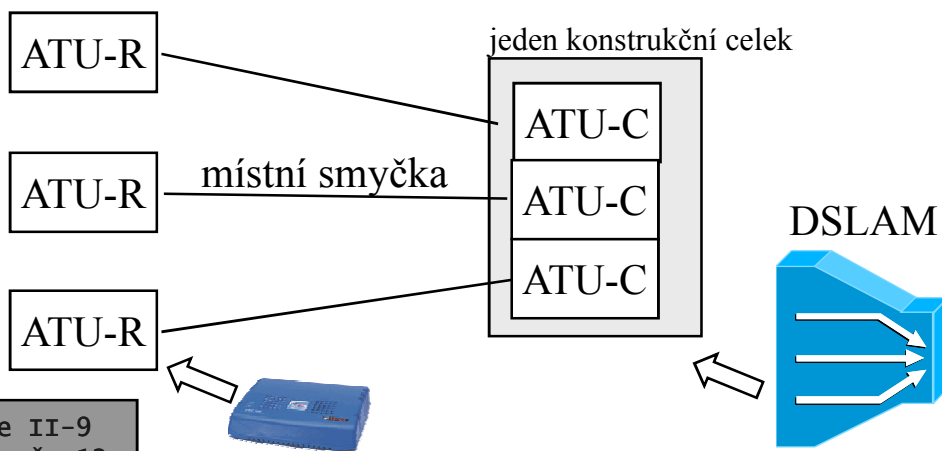
- jde o celou skupinu (rodinu) technologií
 - DSL: Digital Subscriber Line
 - nasazují se na místní smyčky
 - na metalická účastnická vedení, anglicky: Subscriber Line
 - snaží se maximálně využít jejich přenosový potenciál
 - pro "digitální" přenosy, proto "Digital Subscriber Line"
- mohou využívat:
 - 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
ADSL	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
G.Lite (bez splitteru)	asymetricky	1	25-138 kHz UP, 138-1104 DOWN	1,5 Mbit/s	1 Mbit/s	5,5 km
HDSL	symetricky	2	0-392 kHz	2x 1,544 Mbit/s, nebo 2x 2 Mbit/s		4 km
SDSL	symetricky	1	0-700 kHz	až 2,32 Mbit/s		3 – 6 km
SHDSL	symetricky	1-2	0-385 kHz	až 2,3 Mbit/s (1 pár), až 4,5 Mbit/s (2 páry)		2 – 4 km
VDSL	asymetricky/ symetricky	1	25 kHz – 30 MHz	až 36 Mbit/s symetricky (nebo až 52 Mbit/s na downstreamu)		300-1350 m

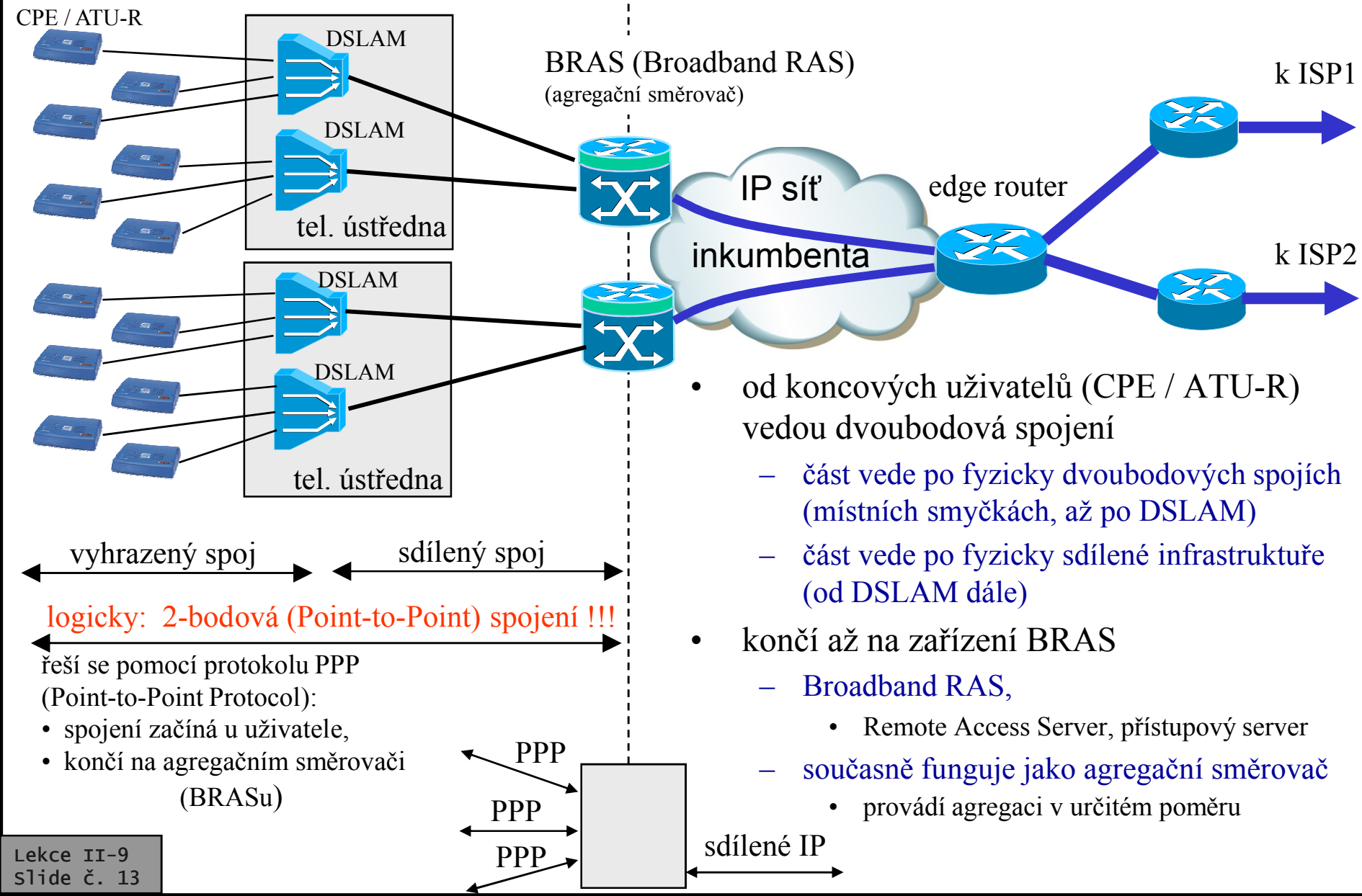
ADSL

- 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

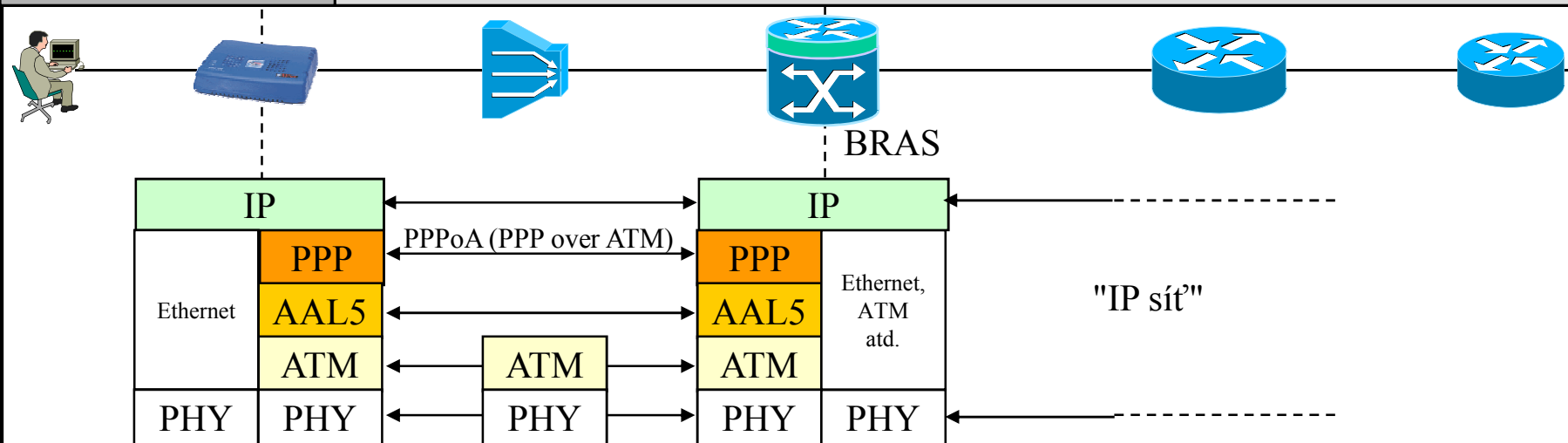


- DSLAM (DSL Access Multiplexor)
 - DSL přístupový multiplexor
 - více než jen několik ADSL modemů v jednom konstrukčním celku
 - multiplex = slučuje data od několika ATU-R do jednoho "fyzického" toku
 - a posílá je "dále", do datové sítě
 - má určitou kapacitu
 - počet portů DSLAM-u = počet ATU-R, které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

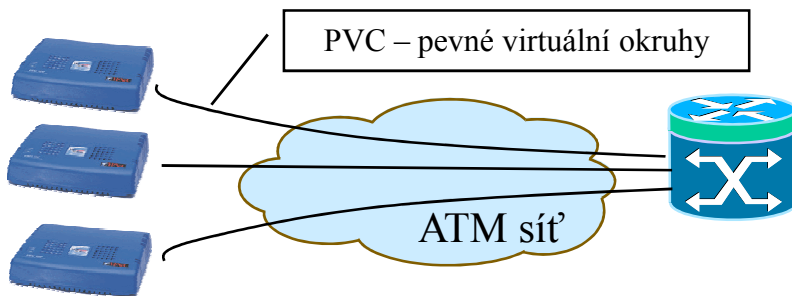
ADSL a "střední míle"



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

- 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

dělá se ručně nebo automaticky

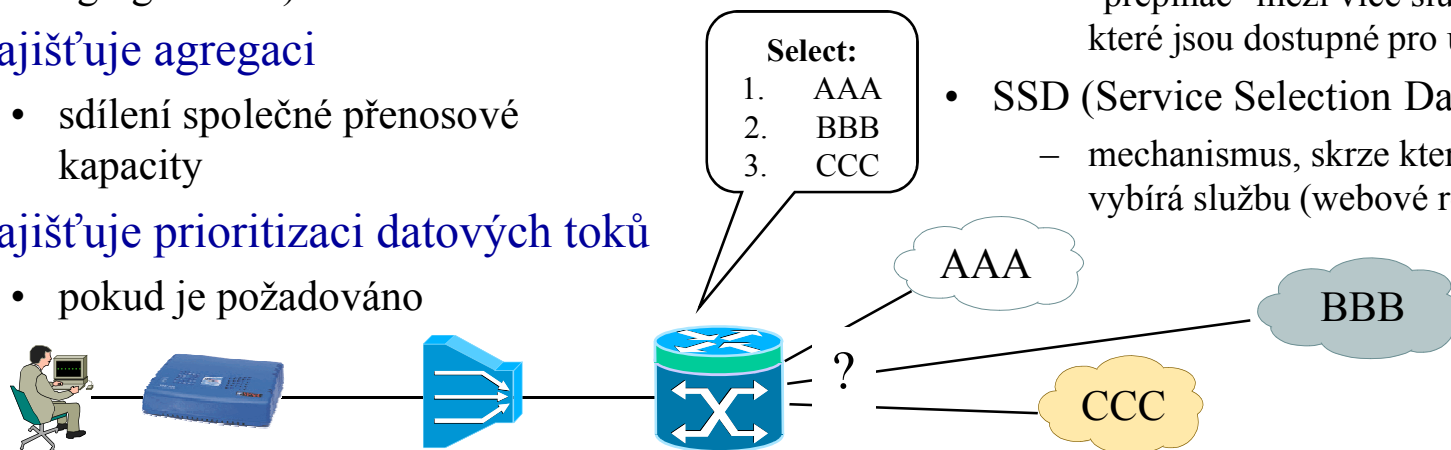
- může současně sloužit k výběru poskytované služby

- např. mezi:

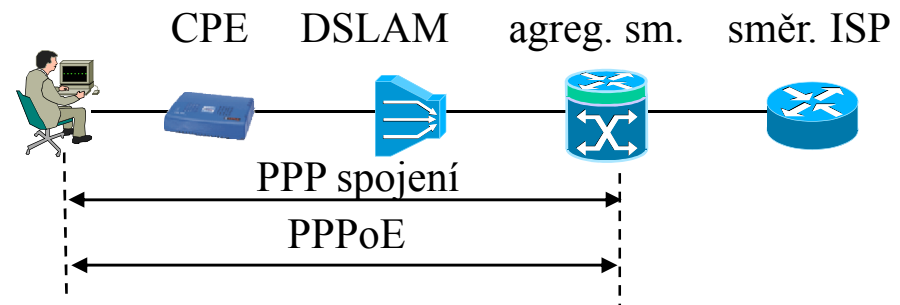
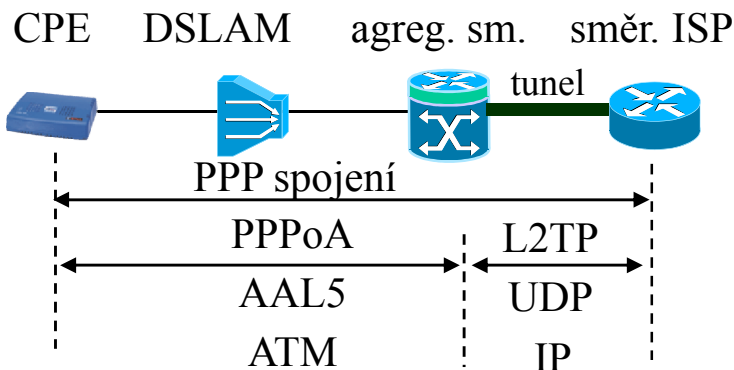
- přístupem k Internetu od ISP1
- přístupem k Internetu od ISP2
- přístupem k placenému prostoru
- přístupem k chráněnému intranetu

- může sloužit současně jako:

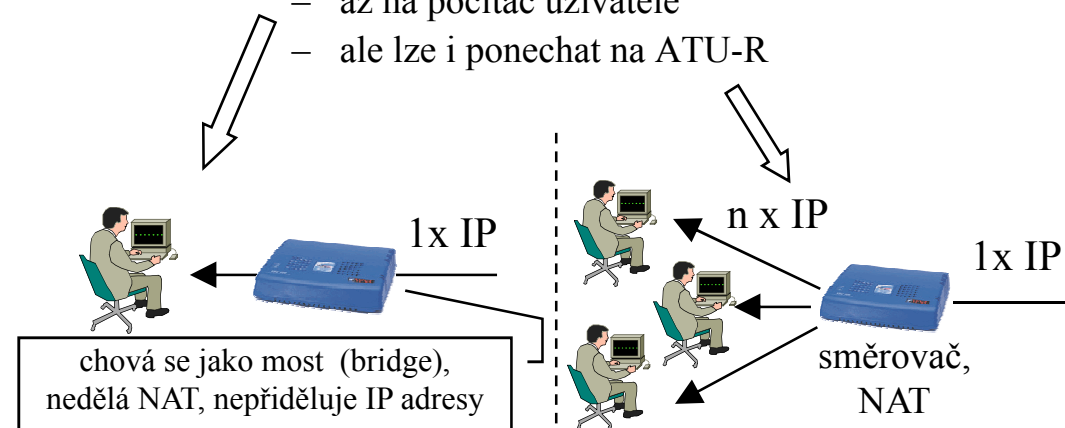
- SSG (Service Selection Gateway)
 - "přepínač" mezi více službami, které jsou dostupné pro uživatele
- SSD (Service Selection Dashboard)
 - mechanismus, skrze který uživatel vybírá službu (webové rozhraní)



další varianty



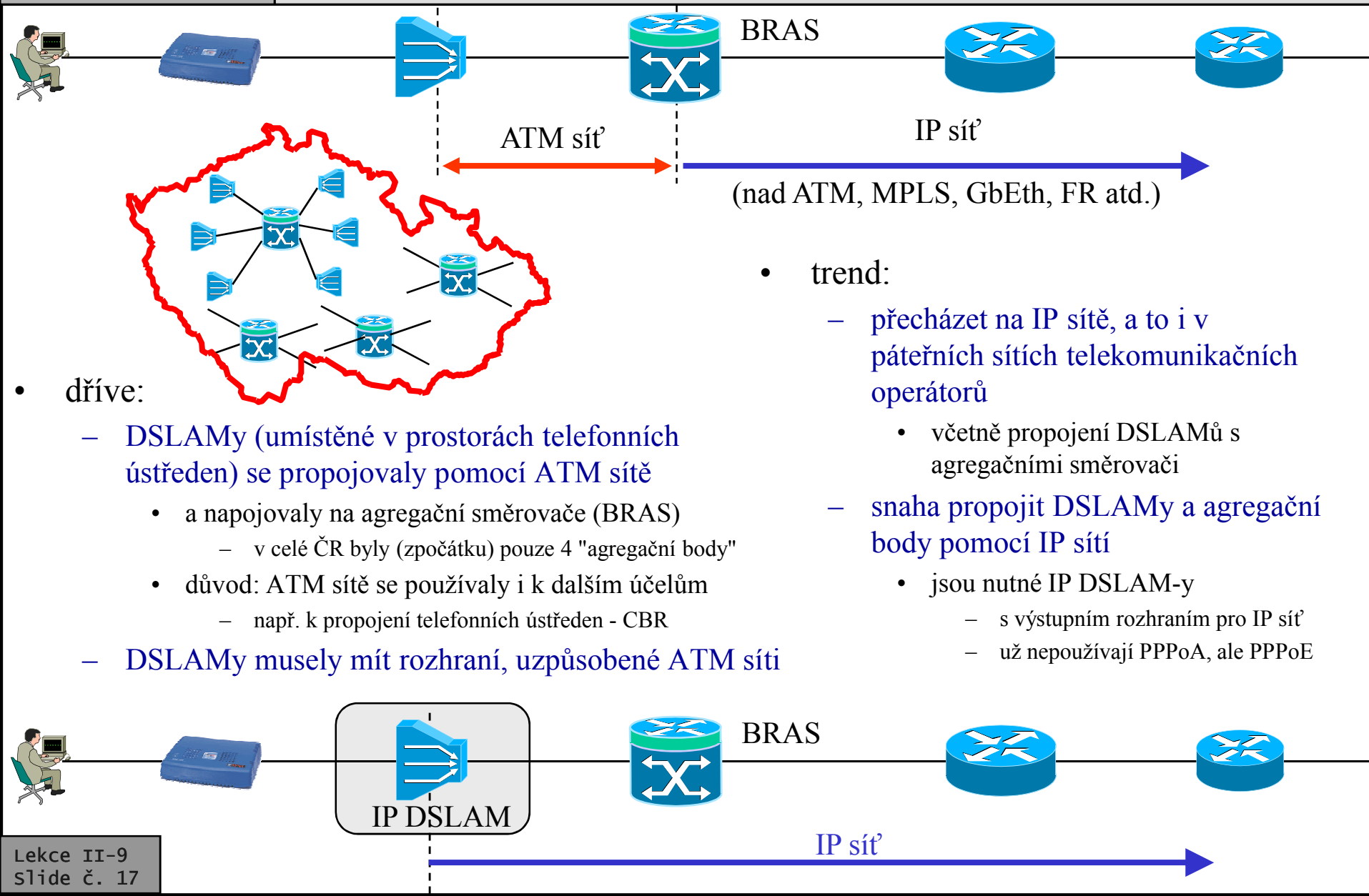
- PPPoE (PPP over Ethernet)
 - používá se jiný způsob transportu PPP rámců
 - nikoli nad ATM/AAL5, ale nad Ethernetem
 - PPPoE dle RFC 2516
 - jednodušší řešení v koncových bodech
 - PPP spojení lze protáhnout až do koncového zařízení (za ATU-R)
 - až na počítač uživatele
 - ale lze i ponechat na ATU-R



• 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 agregačním směrovači (BRAS)

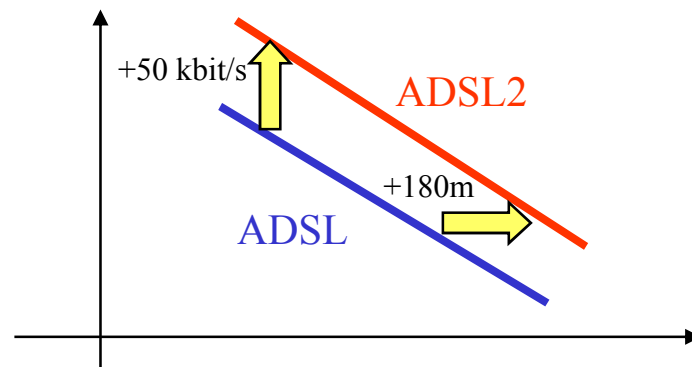
další vývoj: IP DSLAMy



ADSL2

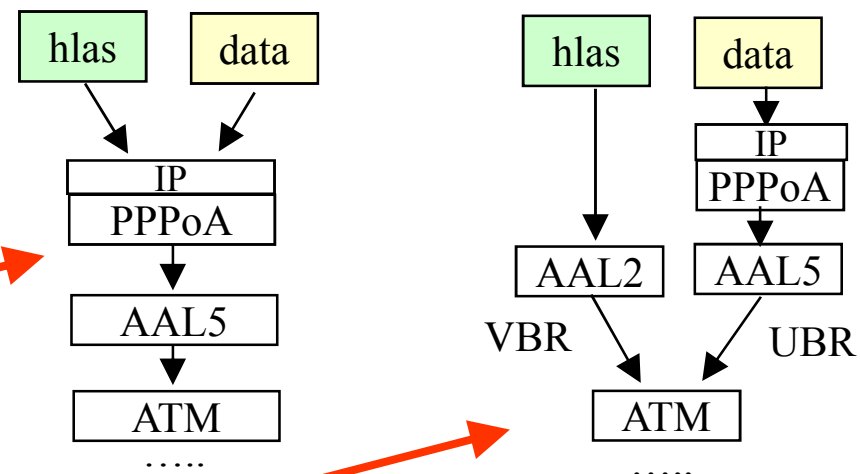
- využívá stejné frekvenční rozsahy jako ADSL
 - do 1,104 MHz
- ale:
 - dosahuje vyšších přenosových rychlostí
 - až o 50 kbit/s více
 - zvyšuje dosah
 - až o 180 metrů (Reach Extended ADSL2)
- využívá:
 - dokonalejší modulaci a kódování
 - proměnlivou délku rámce
 - redukuje také hlavičku, a tím i režii
 - 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

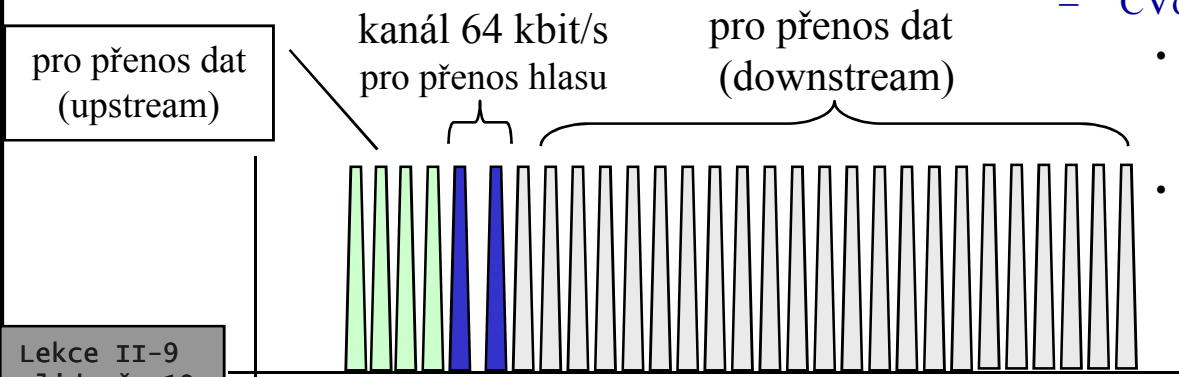


odbočení: VOIP, VoATM a CVoDSL

- 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)

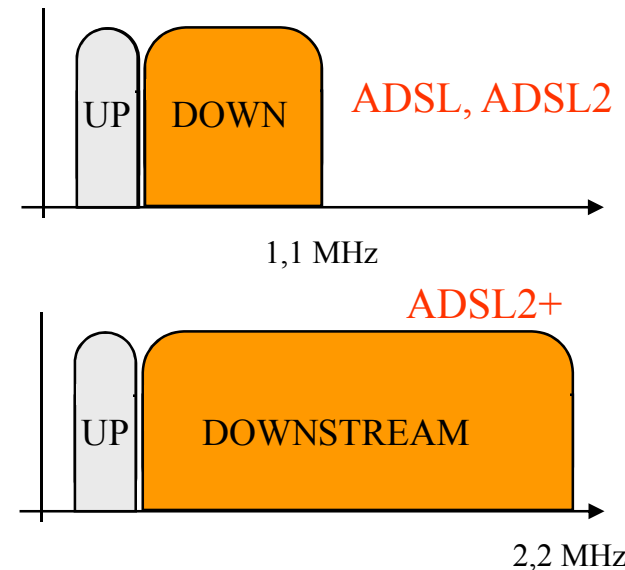


- princip CVoDSL (Channelized Voice over DSL):
 - upstream i downstream využívá větší počet frekvenčních kanálů pro přenos dat
 - klasické ADSL: všechny se využijí pro přenos dat
 - CVoDSL:
 - některé frekvenční kanály se využijí pro přenos hlasu (v datové podobě)
 - teprve ostatní pro přenos "obecných"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



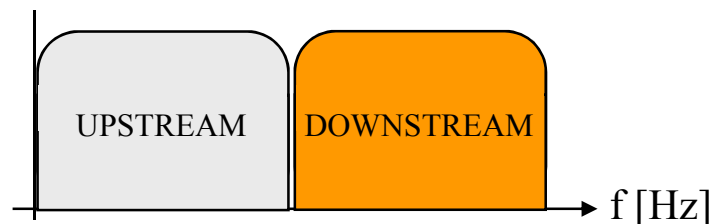
ADSL2+

- 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



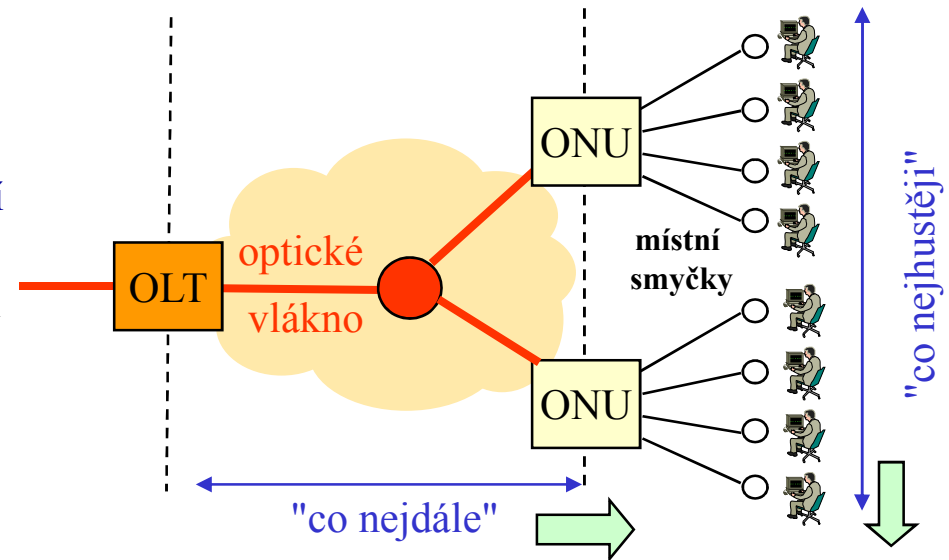
symetrické DSL (SDSL, HDSL, SHDSL)

- 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. ústředěn 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

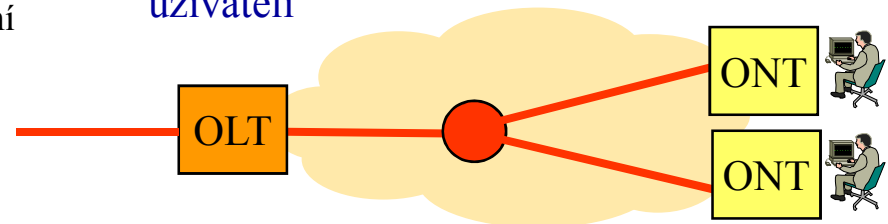


optika v přístupových sítích

- 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

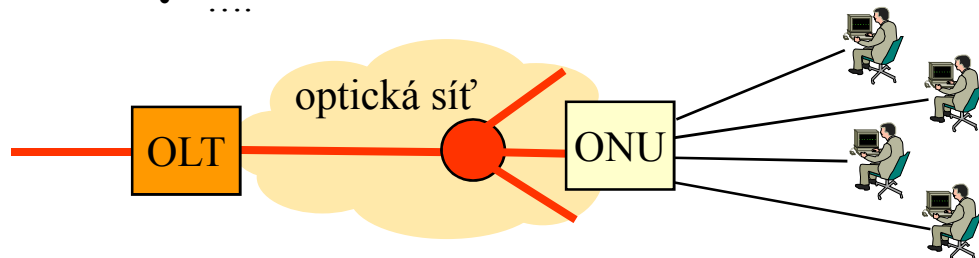
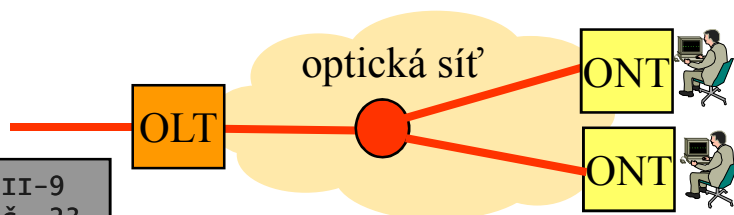


- snaha o kompromis:
 - dosáhnout "co nejdále" pomocí optiky
 - "zbytek" rozvést pomocí místních smyček či jiných kovových vedení
 - nejlépe do co nejvíce míst
 - kde se mohou vyskytovat potenciální zákazníci
- zvláštní případ:
 - optická vlákna až (přímo) ke koncovému uživateli

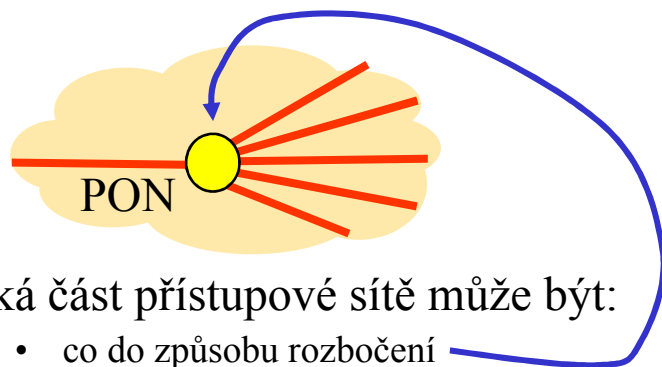


FTTx (Fiber To The)

- 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** (... Appartment),
 - **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
 -

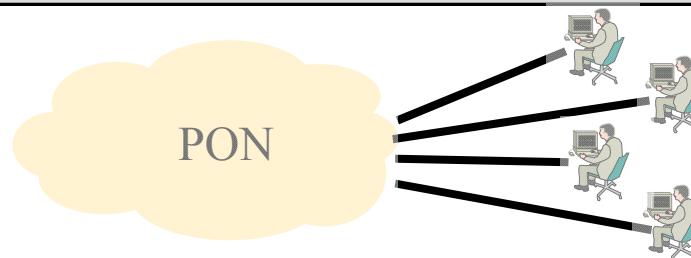


PON a VDSL



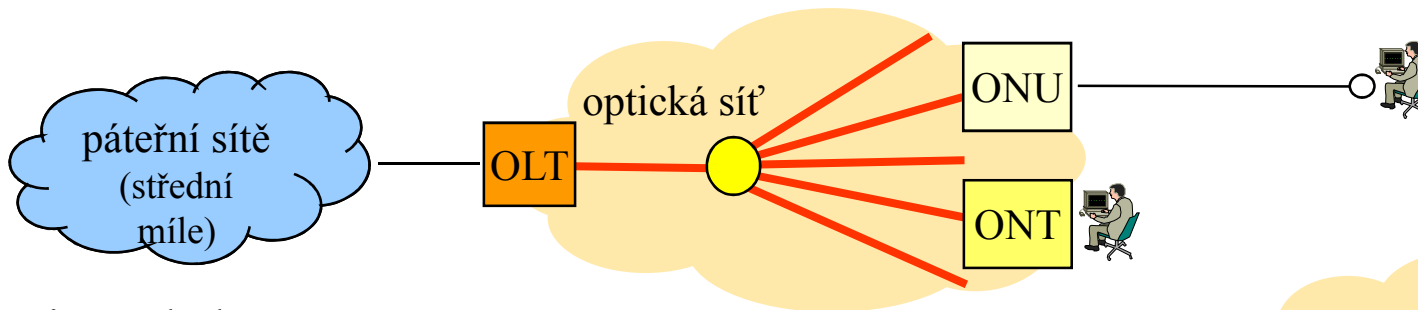
- optická část přístupové sítě může být:
 - co do způsobu rozbočení
 - **aktivní**
 - s aktivními prvky (např. zesilovači)
 - které vyžadují napájení !!!
 - je to nákladné
 - a z ekonomických důvodů se v přístupových sítích moc nepoužívá
 - **pasivní**
 - bez aktivních prvků / jen s pasivními prvky
 - 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

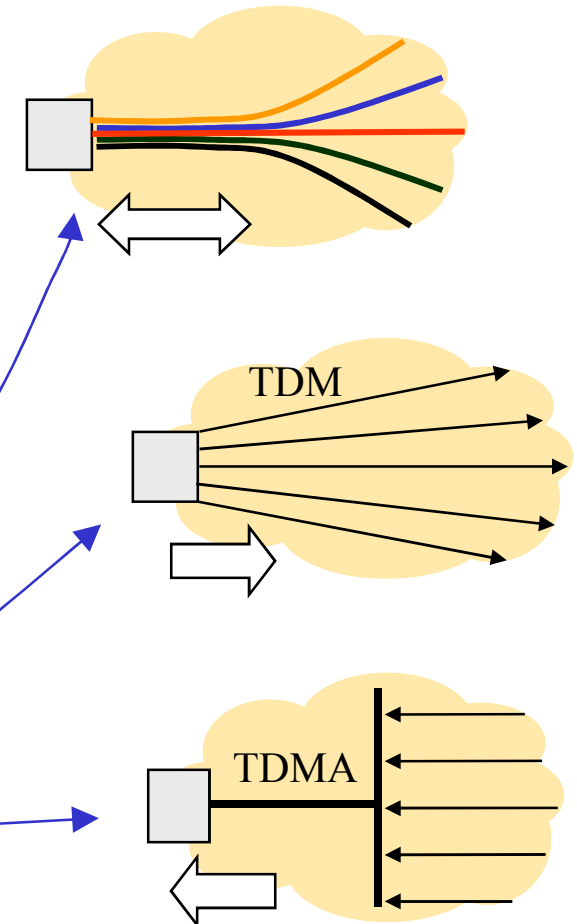


- metalická část přístupové sítě (pokud nejde o čistě optickou variantu)
 - **musí být dimenzována tak, aby "nebrzdila" optickou část**
 - **"klasické" technologie xDSL už nestačí**
 - musí být vyvinuty nové, dostatečně rychlé
 - jejich krátký dosah už není tolik na závadu !!!
 - protože větší vzdálenosti 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:
 - "rozvádět" 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 λ)
 - 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



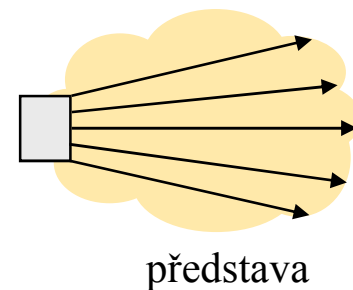
APON, BPON, GPON, EPON



- **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

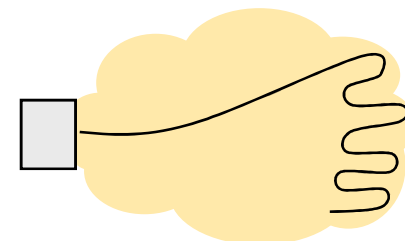
- "downstream" ve skutečnosti funguje jako broadcast



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

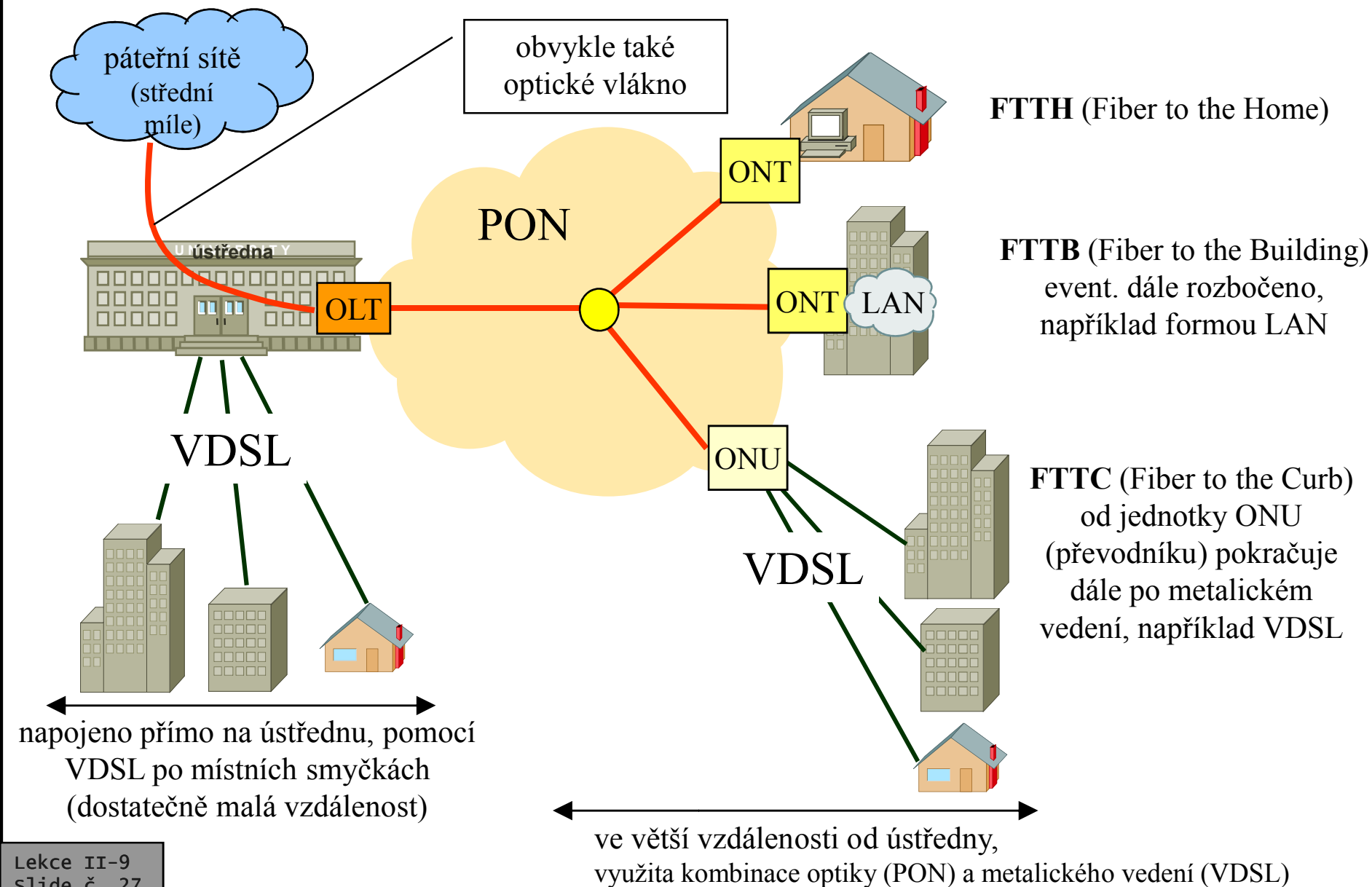
- každý "konec" (ONU, ONT) si bere jen to, co mu patří

skutečnost



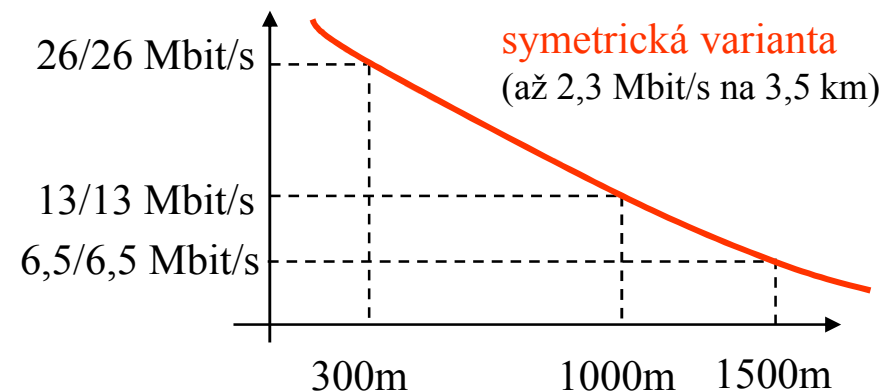
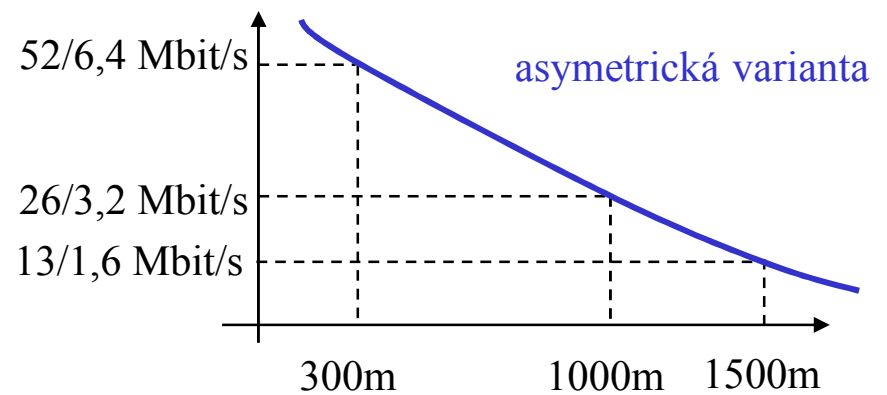
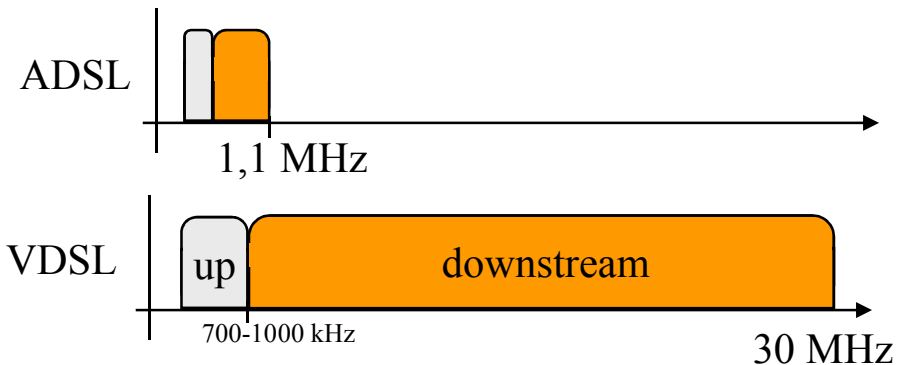
- zabezpečeno pomocí šifrování

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:

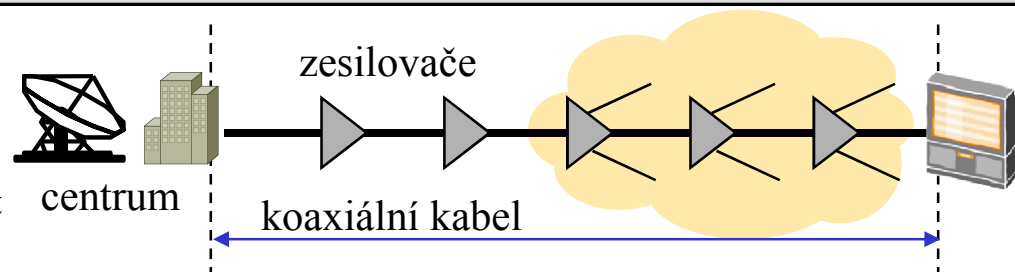
- vzniká specifické vysílání pro kabelové rozvody

- 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

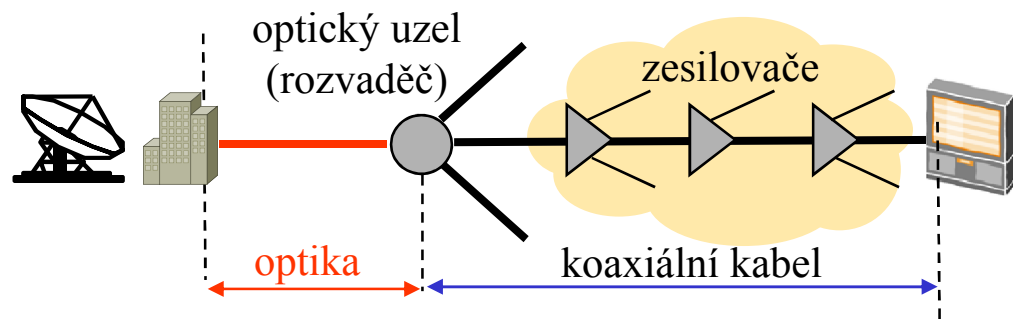


- další vývoj:

- kabelové rozvody se zvětšují a "zahušťují"

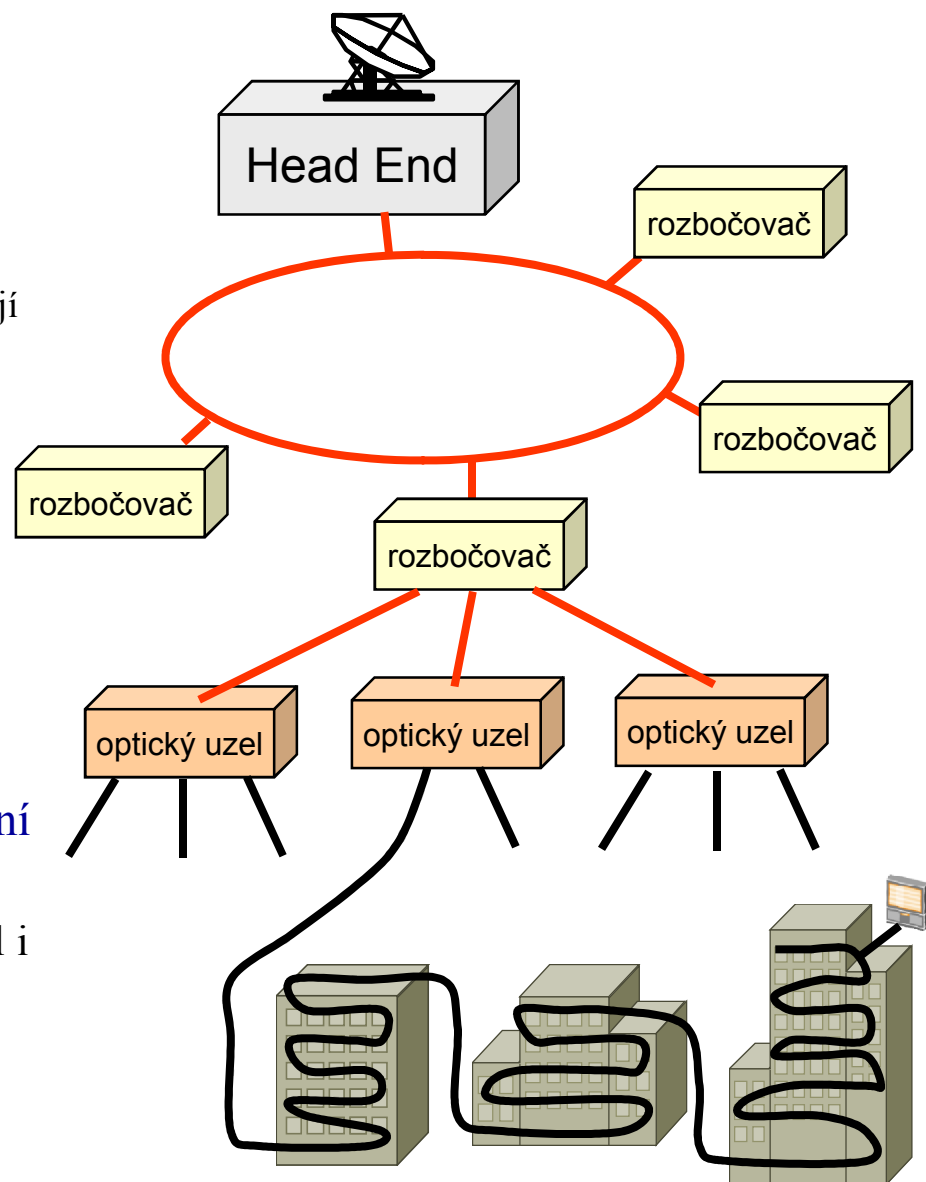
- začínají využívat také optická vlákna

- 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 opticky 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:

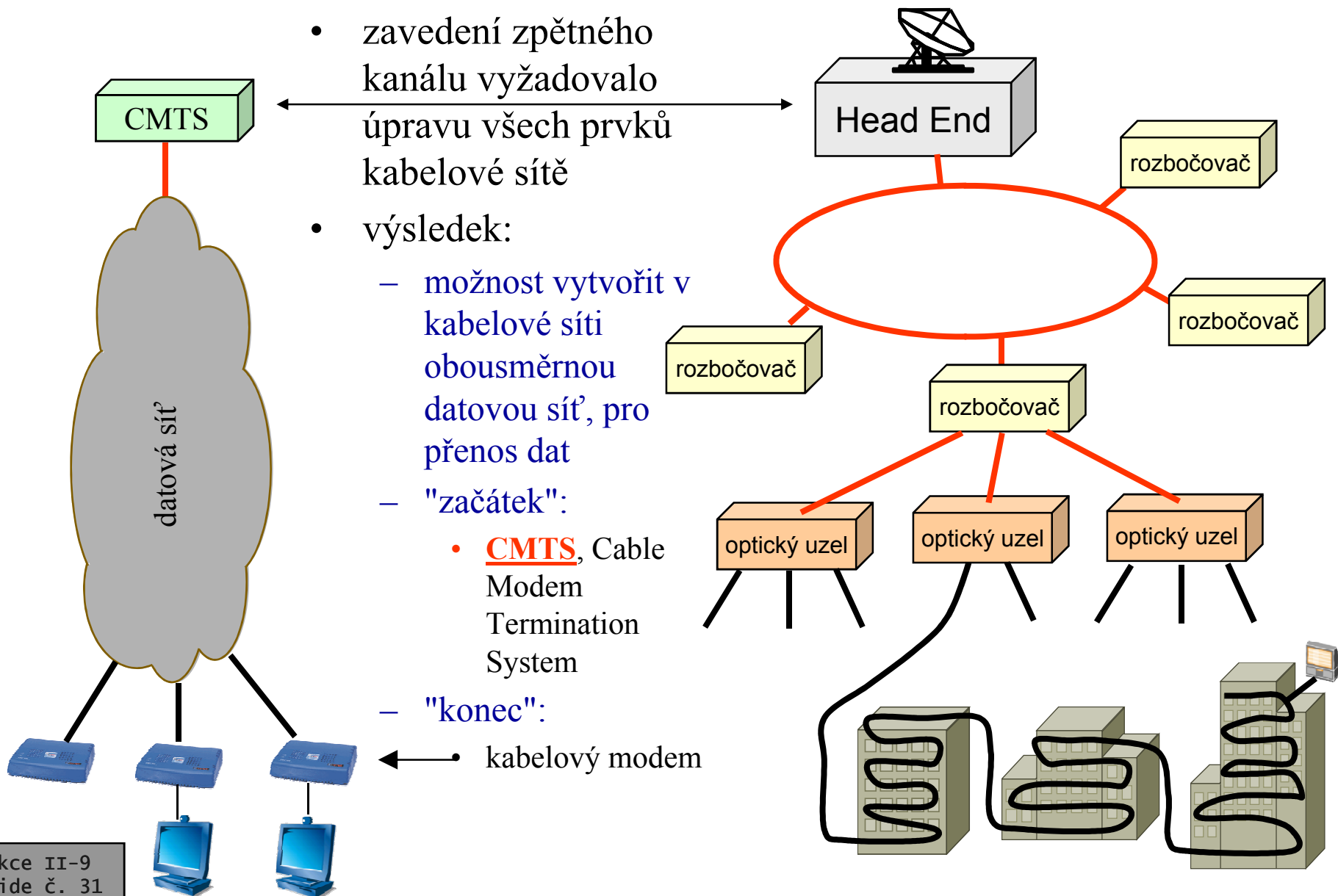
- možnost vytvořit v kabelové síti obousměrnou datovou síť, pro přenos dat

- "začátek":

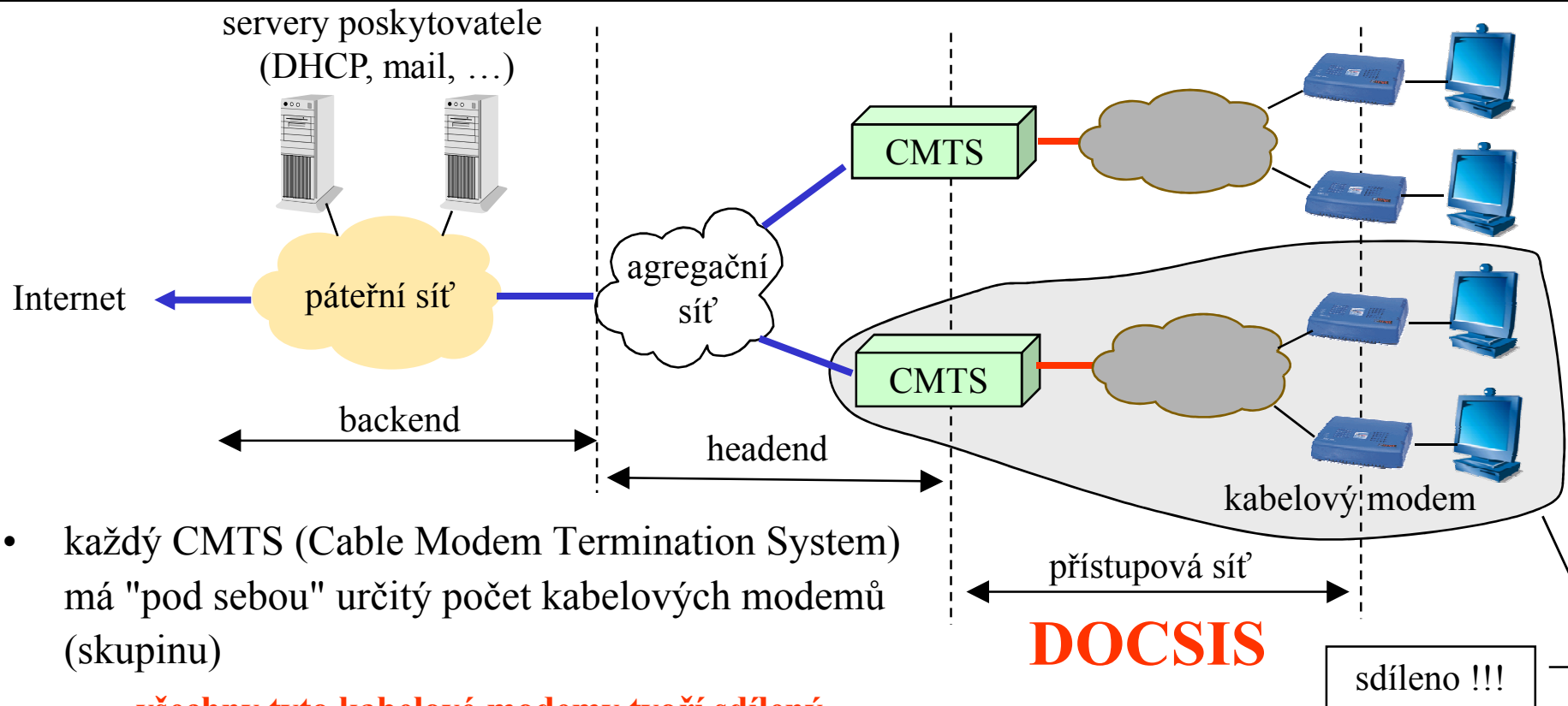
- **CMTS**, Cable Modem Termination System

- "konec":

- kabelový modem



dnešní struktura (datových) kabelových sítí



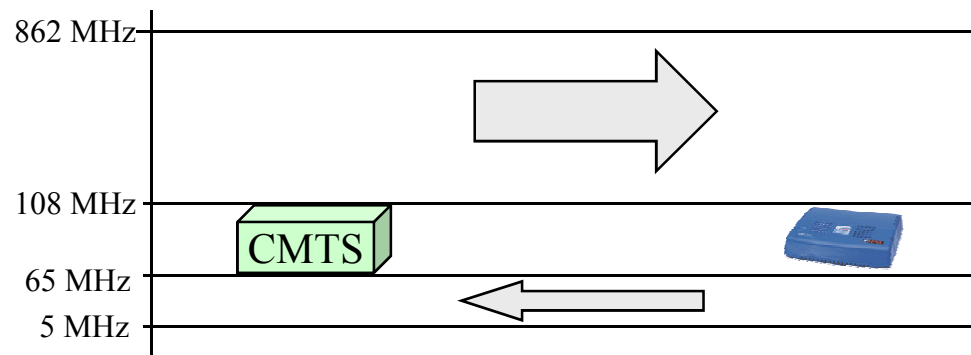
- každý CMTS (Cable Modem Termination System) má "pod sebou" určitý počet kabelových modemů (skupinu)

- 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, 1.1 a 2.0

- 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 v 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