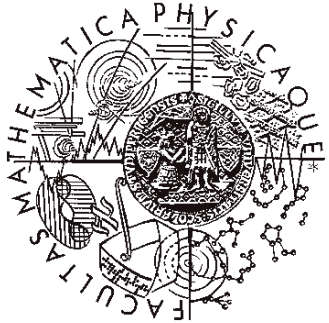
Počítačové sítě, v. 3.6

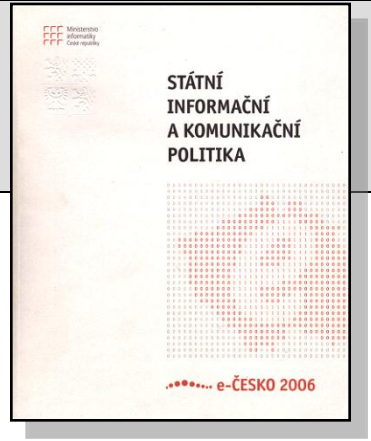


Katedra softwarového inženýrství,
Matematicko-fyzikální fakulta,
Univerzita Karlova, Praha

Lekce 9: "drátový" broadband

Elektronicky podepsal RNDr. Ing. Jiří Peterka
Důvod: Jsem autorem této přednášky
Umístění: http://nswi021.earchiv.cz

co je broadband?



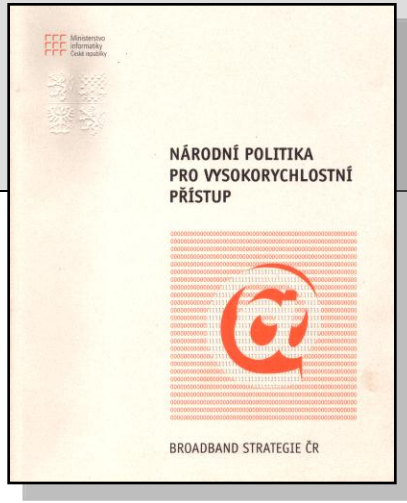
- spíše "buzzword" než exaktně definovaný pojem
  - obvyklé chápání: dostatečně rychlé připojení k Internetu
    - dostatečně rychlý přístup k Internetu
  - alternativní chápání: takové připojení (přístup), které není úzkým hrdlem
    - které neomezuje uživatele v tom, co a jak chce dělat
- otázka:
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

© J. Peterka, 2013

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 rozumní přenosová rychlost (a měří v bitech za sekundu)
  - varianta: jako "**vysokorychlostní**"
    - věcně správnější, týká se efektu (schopnosti přenášet data určitou rychlostí), nikoli spotřeby zdrojů (využité 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



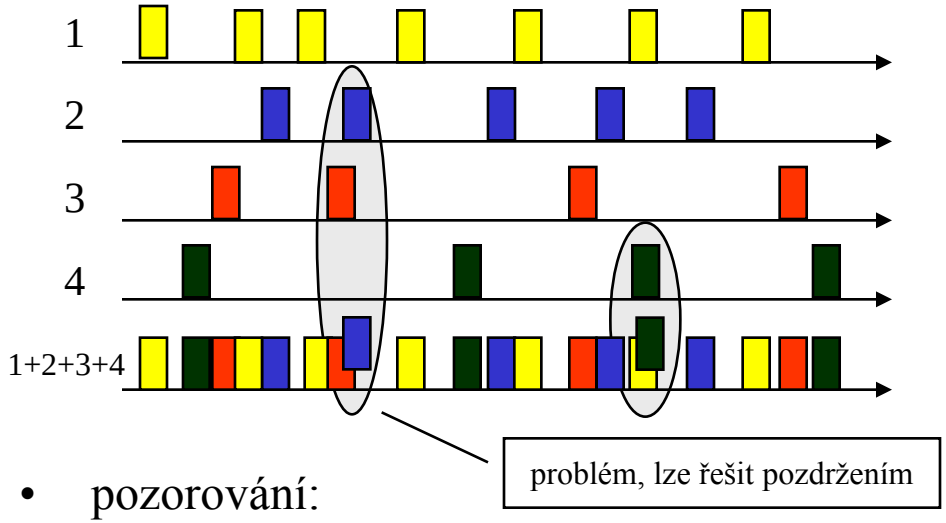
- dostupnost broadbandu je vnímána jako strategická záležitost
  - všímají si politici, angažuje se stát, …
  - zde: zůstaneme u technických aspektů
- "drátový" (wireline) broadband
  - snaha využít jakoukoli existující "drátovou" infrastrukturu pro poskytování broadbandu
    - místní smyčky:
      -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

© J. Peterka, 2013

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 vs. marketingová rychlost
  - to, co poskytovatelé služeb inzerují, je **marketingová rychlost**
    - tu také zákazníci platí (dnes: 8 nebo 16 Mbit/s)
  - to, co je na konkrétní přípojce nastaveno, je **nominální rychlost**
    - teoretická, resp. vztažená k tomu, jak dlouho trvá přenos 1 bitu,
    - nebere v úvahu režii a hlavně efekt agregace
    - například 4 Mbit/s (když marketingová je 8 Mbit/s)
  - to, co zákazníci skutečně získávají (využívají, měří), je **efektivní rychlost**
    - je typicky nižší než rychlost nominální
    - 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

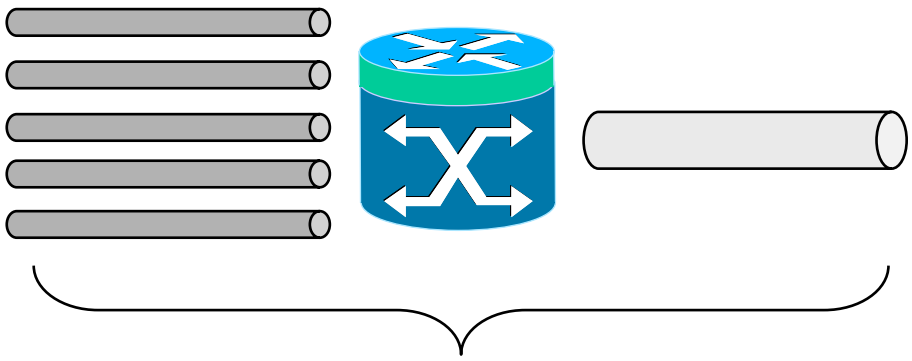
agregace u broadbandu



- 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

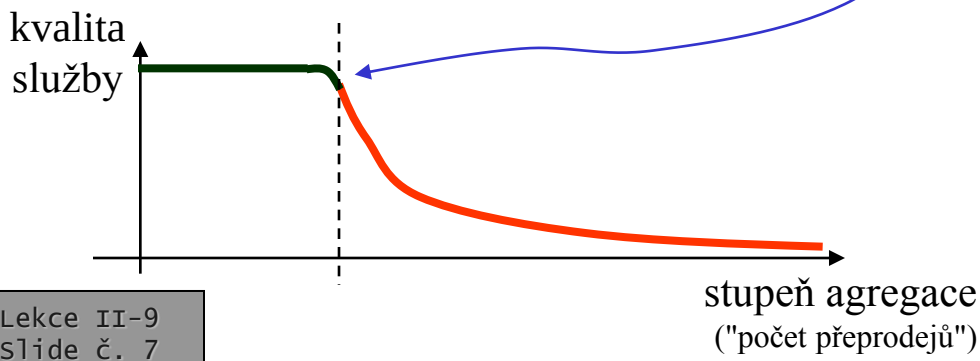
- agregace = sloučení více přenosových kapacit do jedné společné kapacity
  - která je menší než součet vstupních kapacit
- poměr (stupeň) agregace:
  - v jakém poměru je součet kapacit vstupů ke kapacitě výstupu
  - 1: 1 = není žádná agregace
    - hodí se například pro ISP, kteří sami agregují provoz 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: "přeprodej"
- důsledek:
  - čím vyšší je stupeň agregace (čím vyšší je přeprodej), 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

© J. Peterka, 2013

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 !!!

© J. Peterka, 2013

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 Subsriber 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 mstní 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

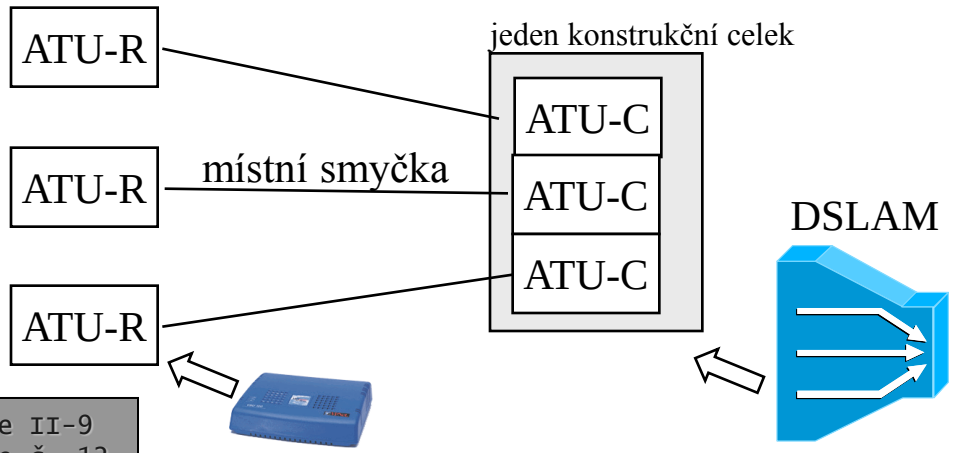
© J. Peterka, 2013

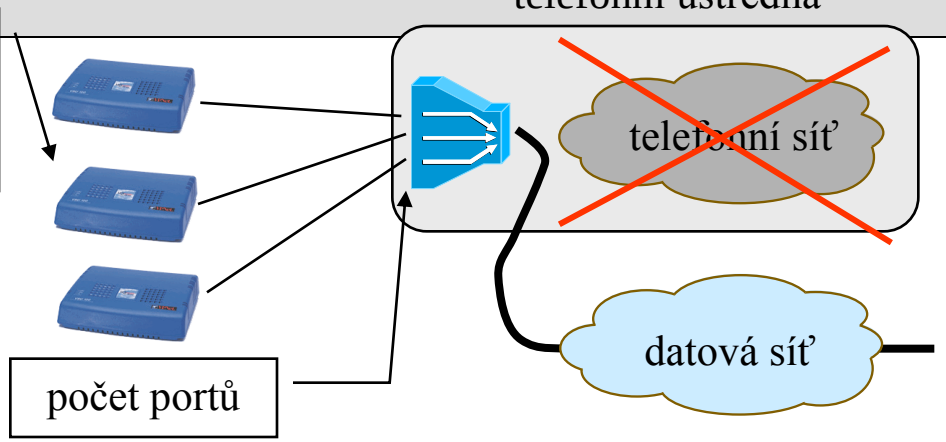
přehled (základních) DSL technologií

	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

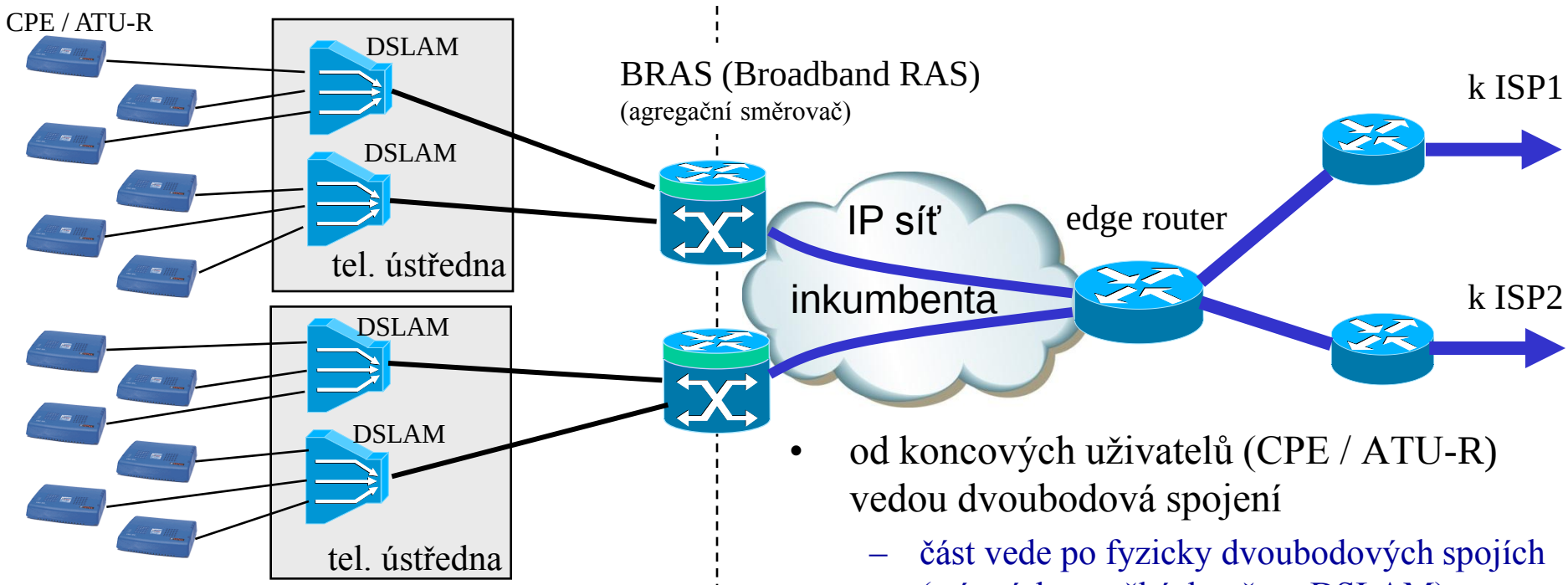




- DSLAM (DSL Access Multiplexor)
  - DSL přístupový multiplexor
    - více než jen několik ADSL modemů v jednom konstrukčním celku
  - multiplex = slučuje data od několika ATU-R do jednoho "fyzického" toku
    - a posílá je "dále", do datové sítě
  - má určitou kapacitu
    - počet portů DSLAM-u = počet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

© J. Peterka, 2013

ADSL a "střední míle"

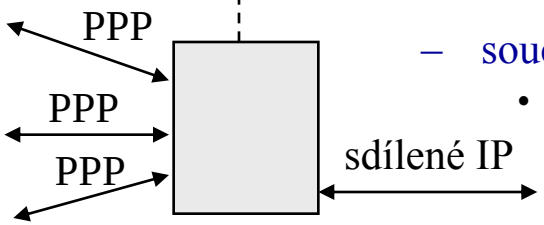


- od koncových uživatelů (CPE / ATU-R) vedou dvoubodová spojení
  - část vede po fyzicky dvoubodových spojích (místních smyčkách, až po DSLAM)
  - část vede po fyzicky sdílené infrastruktuře (od DSLAM dále)
- končí až na zařízení BRAS
  - Broadband RAS,
    - Remote Access Server, přístupový server
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

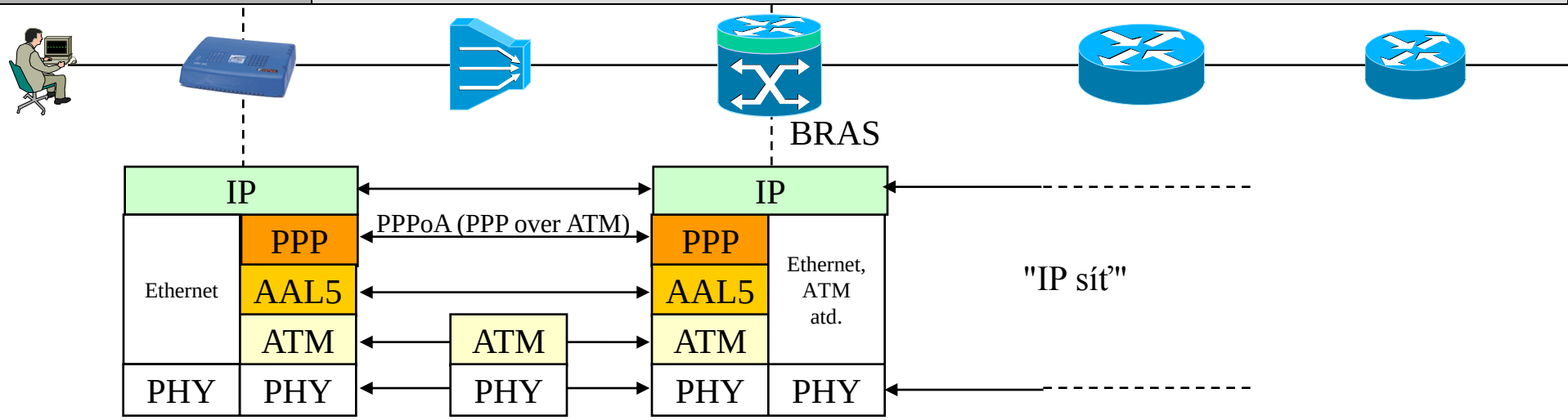
vyhrazený spoj ⟷ sdílený spoj

logicky: 2-bodová (Point-to-Point) spojení !!!

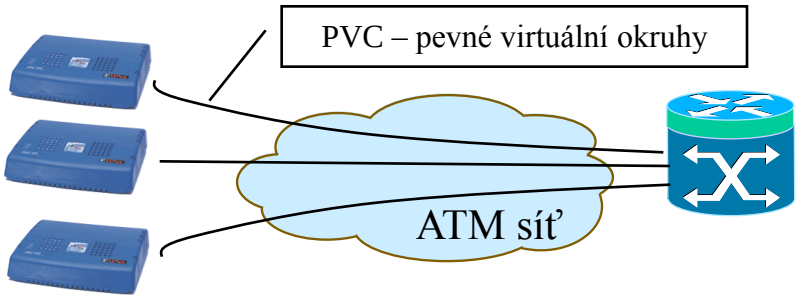
řeší se pomocí protokolu PPP (Point-to-Point Protocol):
- spojení začíná u uživatele,
- končí na agregačním směrovači (BRASu)



ADSL a PPPoA (PPP over ATM)



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



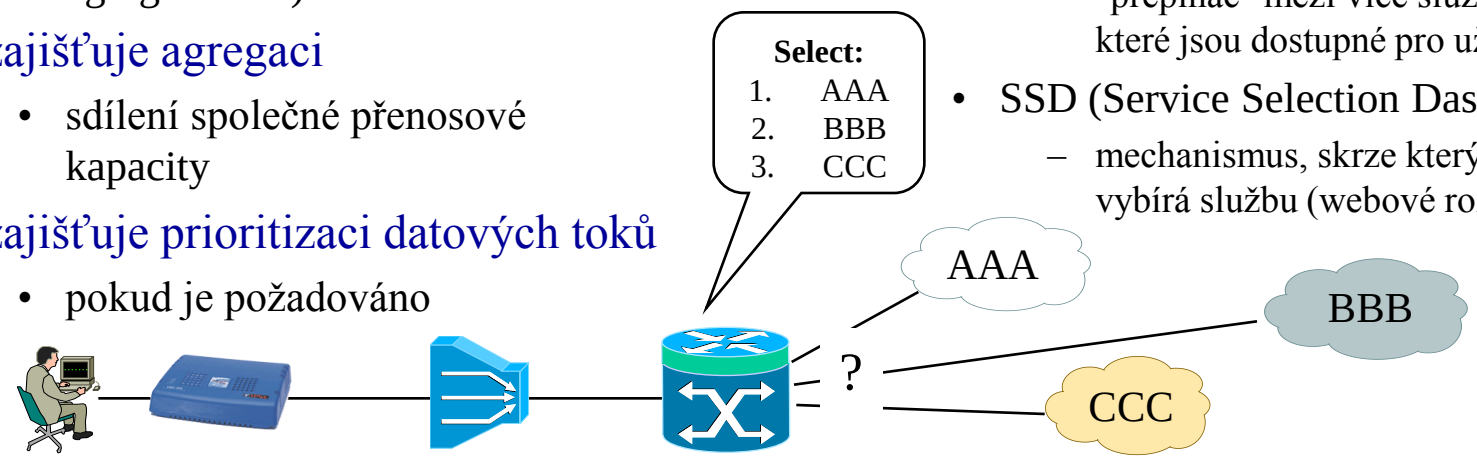
- pro přenos IP paketů mezi CPE/ATU-R a BRAS se používá protokol PPP (Point-to-Point Protocol)
  - zajišťuje například navazování spojení, přidělování IP adres
- rámce PPP se vkládají do rámců AAL5
  - které se vkládají do ATM buněk
  - využívá se PPPoA,
    - PPP over ATM, dle RFC 2364

funkce BRAS/SSG/SSD v ADSL

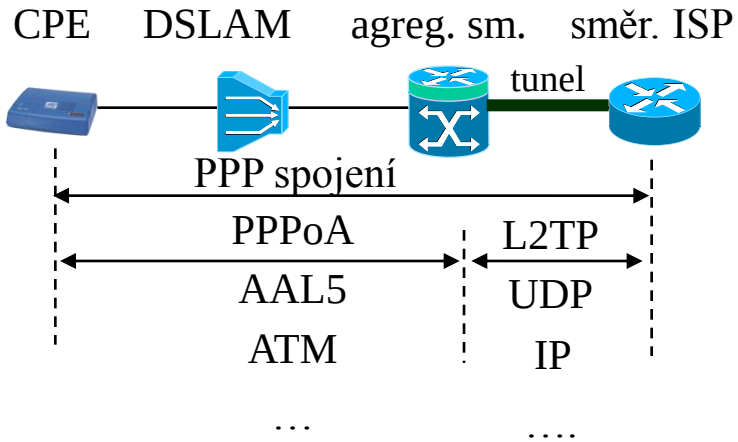
dělá se ručně nebo automaticky

- 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

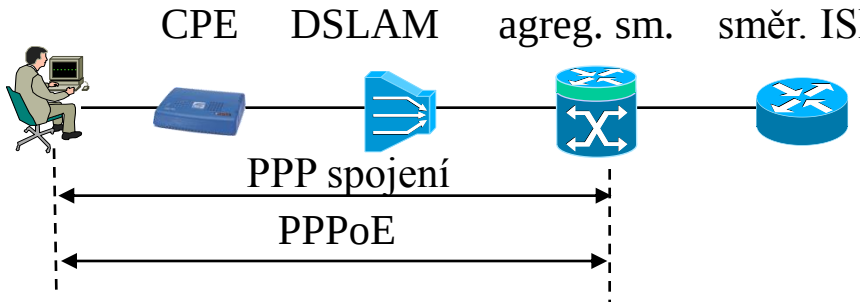
- může současně sloužit k výběru poskytované služby
  - např. mezi:
    - přístupem k Internetu od ISP1
    - přístupem k Internetu od ISP2
    - přístupem k placenému prostoru
    - přístupem k chráněnému intranetu
  - může sloužit současně jako:
    - SSG (Service Selection Gateway)
      - "přepínač" mezi více službami, které jsou dostupné pro uživatele
    - SSD (Service Selection Dashboard)
      - mechanismus, skrze který uživatel vybírá službu (webové rozhraní)



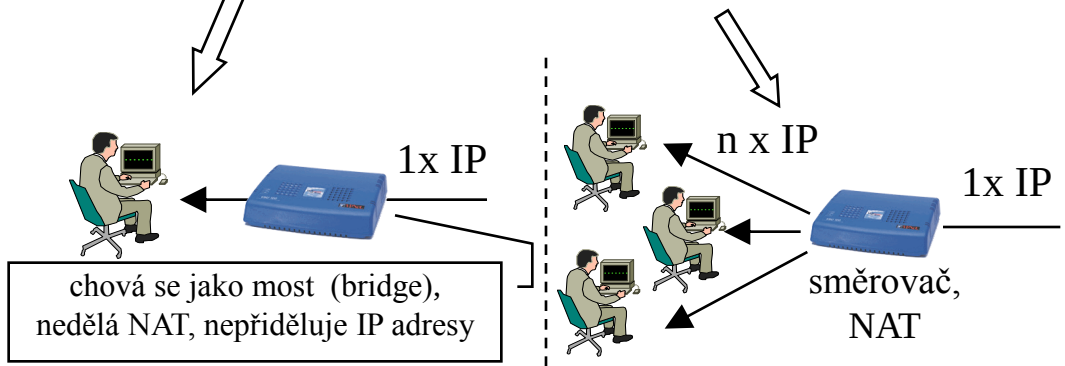
další varianty



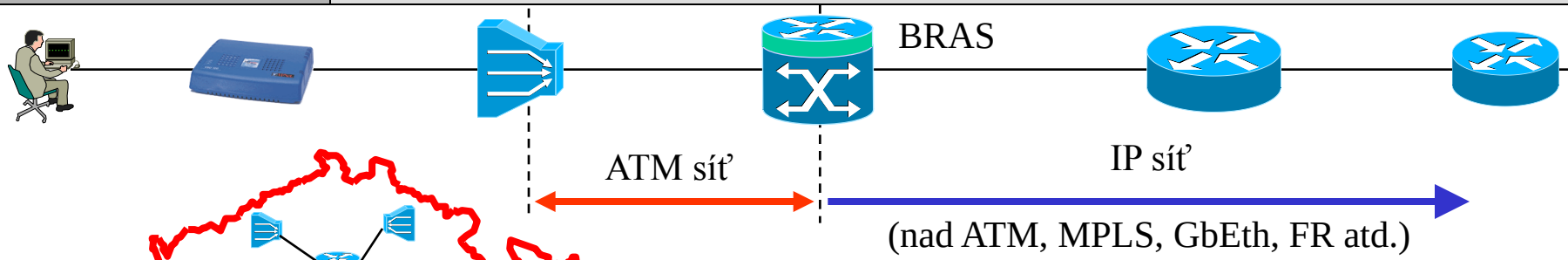
- PPPoA a L2TP:
  - dvoubodové PPP spojení se "protáhne" dále, za BRAS, až k ISP
    - další část je tunelována skrze IP síť, pomocí protokolu L2TP
      - Layer 2 Tunelling Protocol
  - výhody:
    - ISP má více možností jak ovlivnit připojení zákazníka
  - nevýhody:
    - není možná volba služby na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

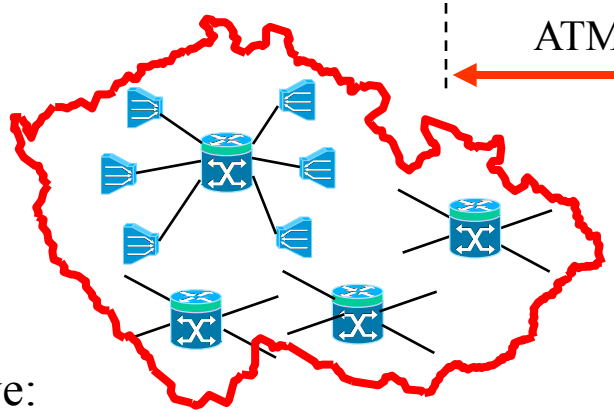


- PPPoE (PPP over Ethernet)
  - používá se jiný způsob transportu PPP rámců
    - nikoli nad ATM/AAL5, ale nad Ethernetem
    - PPPoE dle RFC 2516
  - jednodušší řešení v koncových bodech
    - PPP spojení lze protáhnout až do koncového zařízení (za ATU-R)
      - až na počítač uživatele
      - ale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



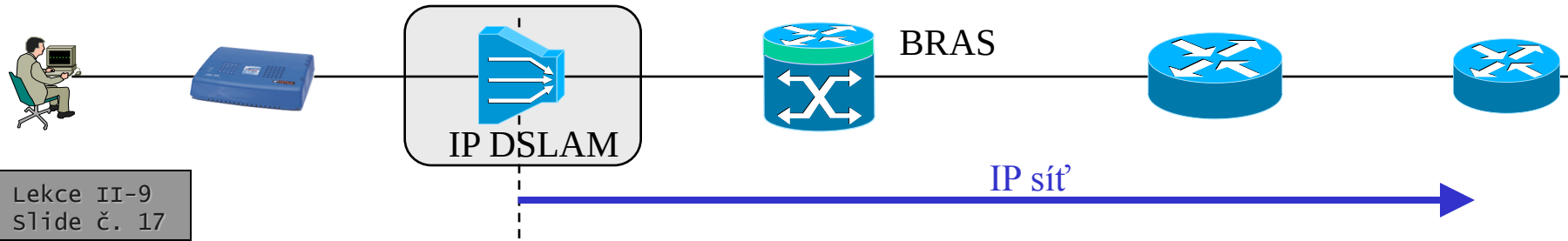
další vývoj: IP DSLAMy





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

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

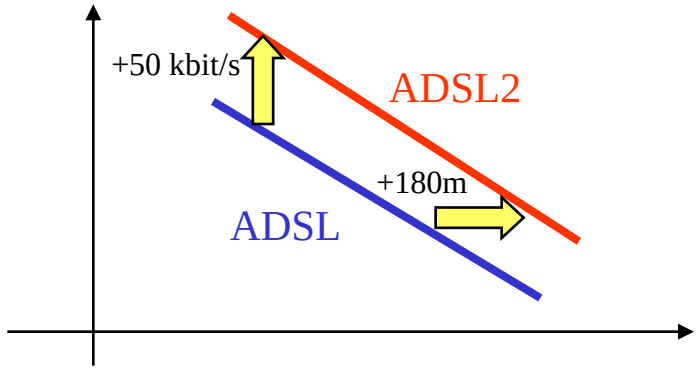


ADSL2

- 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)

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

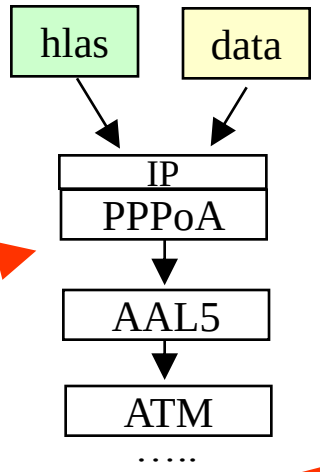
- dokáže:
  - přidělovat kanály s různými vlastnostmi různým aplikacím
    - například může vyčlenit určité kanály pro přenos hlasu
    - podpora CVoDSL
- nabízí také plně digitální režim
  - ADM (All-Digital Mode)
    - obsazuje celé frekvenční pásmo, včetně hovorového
    - využívá to k rychlejšímu upstreamu
      - až 2 Mbit/s
- stále platí:
  - čím větší dosah, tím nižší je maximální dosažitelná přenosová rychlost

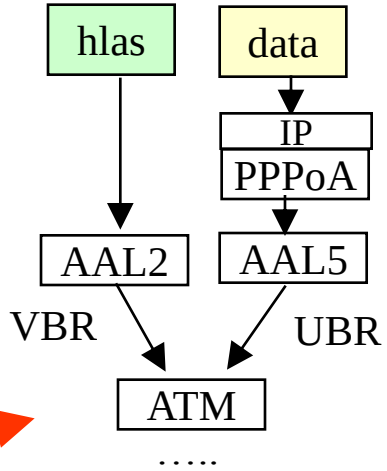


© J. Peterka, 2013

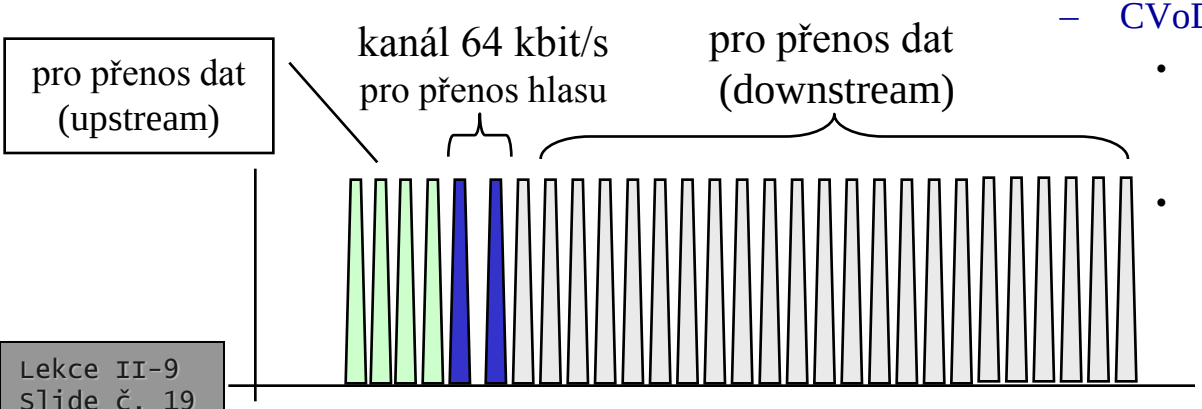
odbočení: VOIP, VoATM a CVoDSL

- 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)





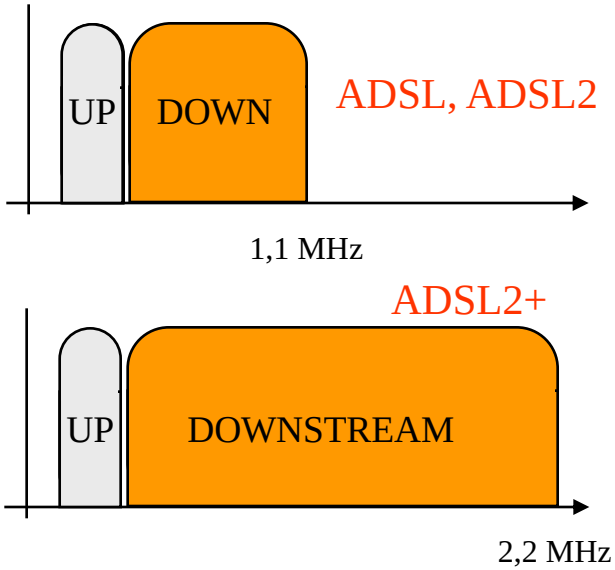
- princip CVoDSL (Channelized Voice over DSL):
  - upstream i downstream využívá větší počet frekvenčních kanálů pro přenos dat
    - klasické ADSL: všechny se využijí pro přenos dat
  - CVoDSL:
    - některé frekvenční kanály se využijí pro přenos hlasu (v datové podobě)
      - teprve ostatní pro přenos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



© J. Peterka, 2013

ADSL2+

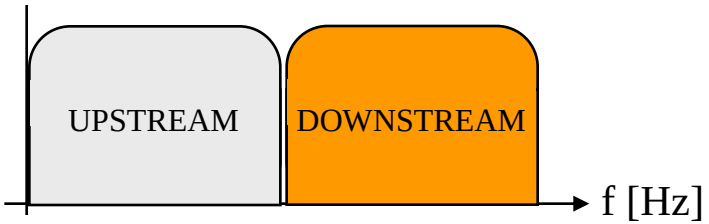
- snaha dále (a výrazněji) zvýšit přenosovou rychlost
  - a moc nezkracovat dosah
- cíl:
  - poskytnout dostatek kapacity pro služby charakteru VoD a IPTV
    - pro živý streaming v TV kvalitě je zapotřebí "několik" Mbit/s (dle kódování),
    - musí zbýt kapacita i pro běžné připojení k Internetu, které 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



© J. Peterka, 2013

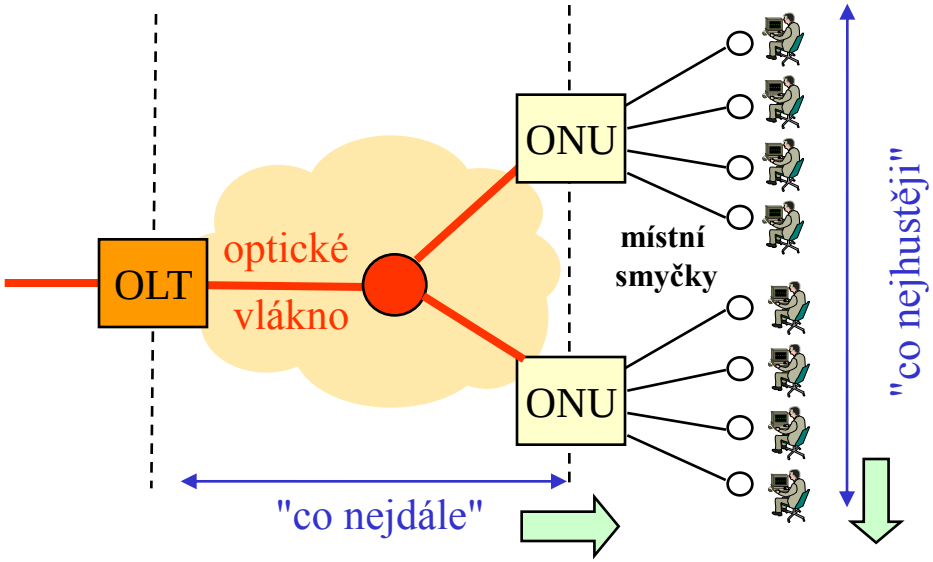
symetrické DSL (SDSL, HDSL, SHDSL)

- 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 5,7Mbit/s na jednom páru
- všechna symetrická řešení (SDSL, HDSL, SHDSL) využívají celé frekvenční spektrum místní smyčky
  - nedokáží koexistovat s hlasovými službami

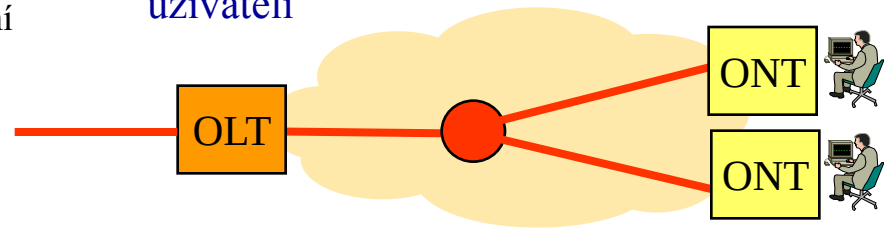


optika v přístupových sítích

- 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

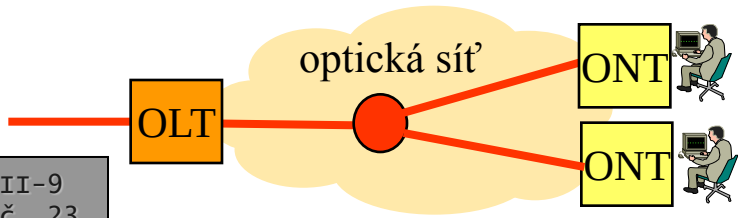


- snaha o kompromis:
  - dosáhnout "co nejdále" pomocí optiky
  - "zbytek" rozvést pomocí místních smyček či jiných kovových vedení
    - nejlépe do co nejvíce míst
      - kde se mohou vyskytovat potenciální zákazníci
- zvláštní případ:
  - optická vlákna až (přímo) ke koncovému uživateli

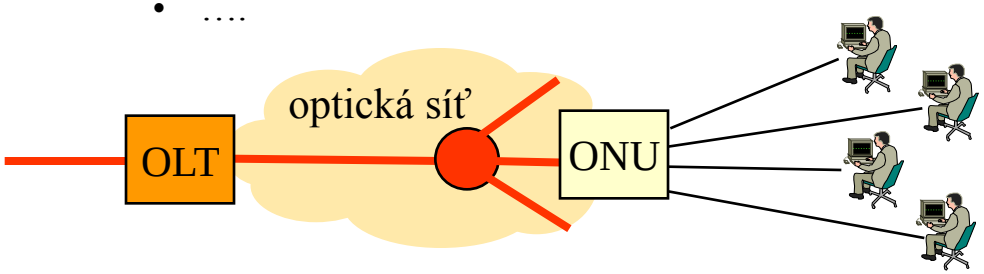


FTTx (Fiber To The …..)

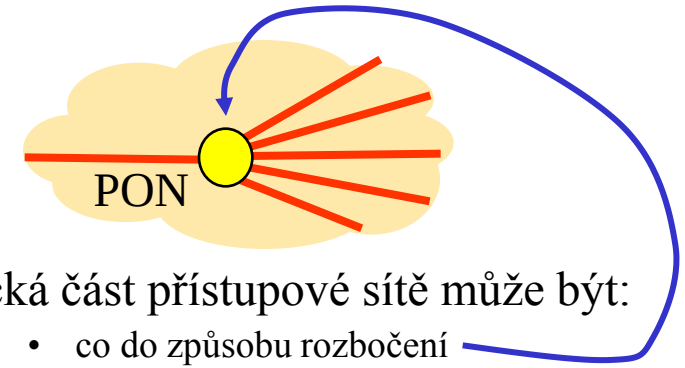
- FTTx:
  - obecné označení pro použití optických vláken v přístupových sítích
    - x se liší podle toho, kam až optické vlákno dosahuje
- varianta "pouze optika"
  - optické vlákno dosahuje až ke koncovému zákazníkovi
    - **FTTH** (Fiber to the Home),
    - **FTTA** (… Appartmnent),
    - **FTTO** (… Office),
    - **FTTS** (… Subscriber)
    - …..
  - "na konci" je zařízení ONT
    - Optical Network Termination
      - zajišťuje zakončení čistě optického rozvodu a umožňuje přímé napojení uživatelského zařízení

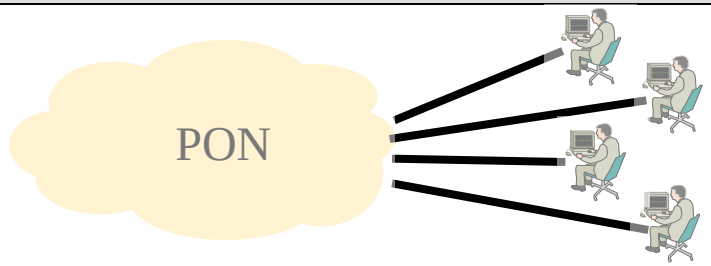


- varianta: optika+metalika
  - kombinují se optické rozvody ("na začátku") a metalické rozvody (místní smyčky) "na konci"
  - "na začátku" je zařízení OLT
    - Optical Line Termination,
      - zajišťuje návaznost na páteřní sítě
      - zakončuje optické vlákno, vedoucí k páteřní síti
  - "na rozhraní" (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



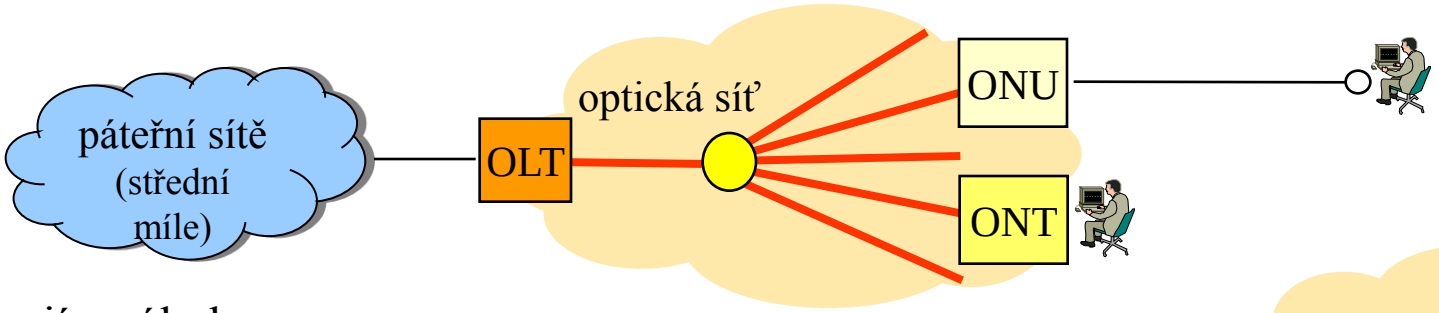


- optická část přístupové sítě může být:
  - co do způsobu rozbočení
  - aktivní
    - s aktivními prvky (např. zesilovači)
      - které vyžadují napájení !!!
    - je to nákladné
      - a z ekonomických důvodů se v přístupových sítích moc nepoužívá
  - pasivní
    - bez aktivních prvků / jen s pasivními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

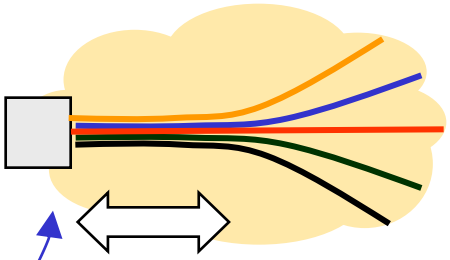
dnes velmi oblíbené a používané řešení

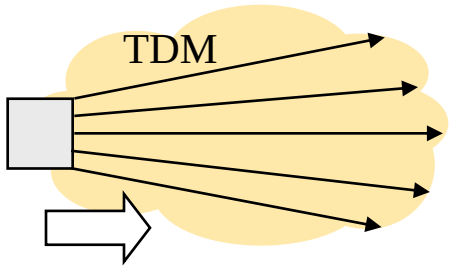
- metalická část přístupové sítě (pokud nejde o čistě optickou variantu)
  - musí být dimenzována tak, aby "nebrzdila" optickou část
  - "klasické" technologie xDSL už nestačí
    - musí být vyvinuty nové, dostatečně rychlé
    - jejich krátký dosah už není tolik na závadu !!!
      - protože větší vzdálenosti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

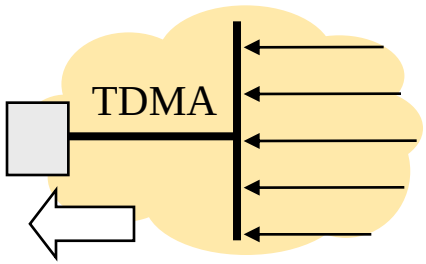
pasivní optické sítě (PON)



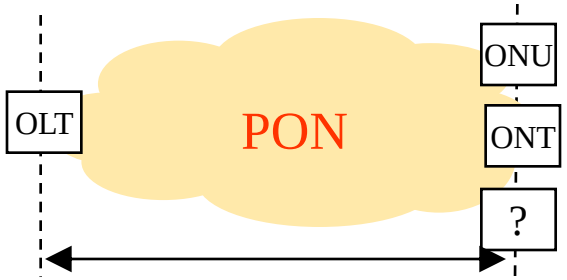
- mají za úkol:
  - "rozvádět" data k určitému počtu koncových uživatelů
    - co největšímu
  - k prvků ONU (Optical Network Unit)
    - kde optická síť přechází na metalickou, a signál se mění z optického na elektrický
  - nebo: k prvkům ONT (Optical network Termination)
    - kde je přímo napojeno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

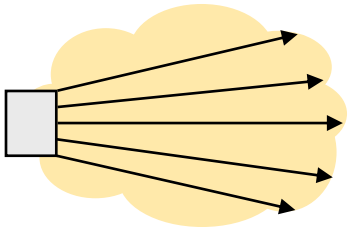


jaká technologie je použita zde?

- **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)

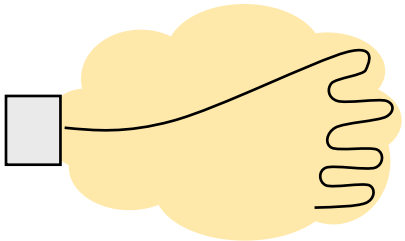
- **GPON** (Gigabit PON)
  - jako BPON, ale pro gigabitové rychlosti
  - definováno standardem ITU-T G.984
- **EPON** (Ethernet PON)
  - základem (pro přenos dat) je přímo Ethernet
  - definováno by IEEE 802.3ah

- "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



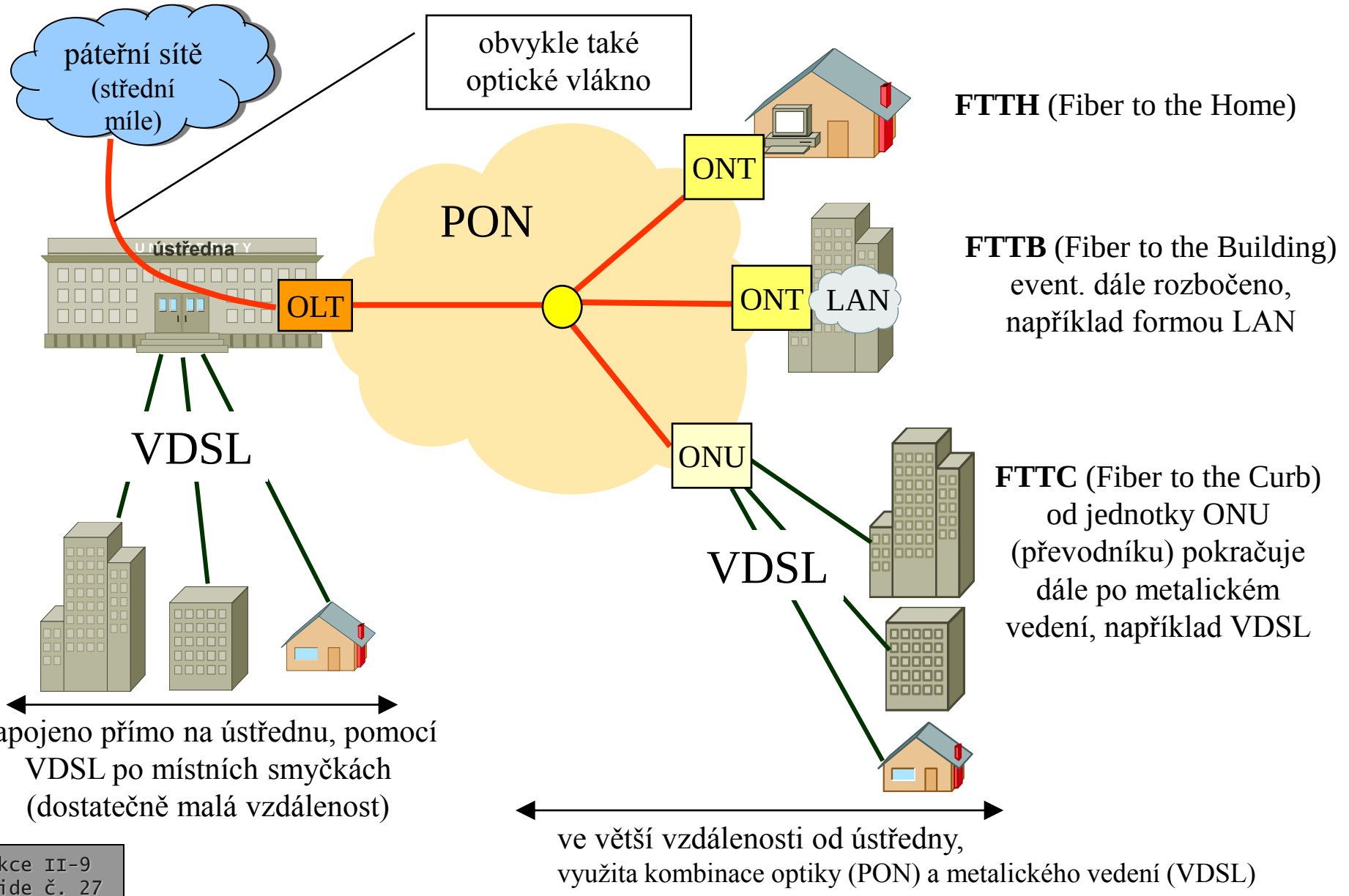
představa

skutečnost



© J. Peterka, 2013

shrnutí – představa



FTTH (Fiber to the Home)

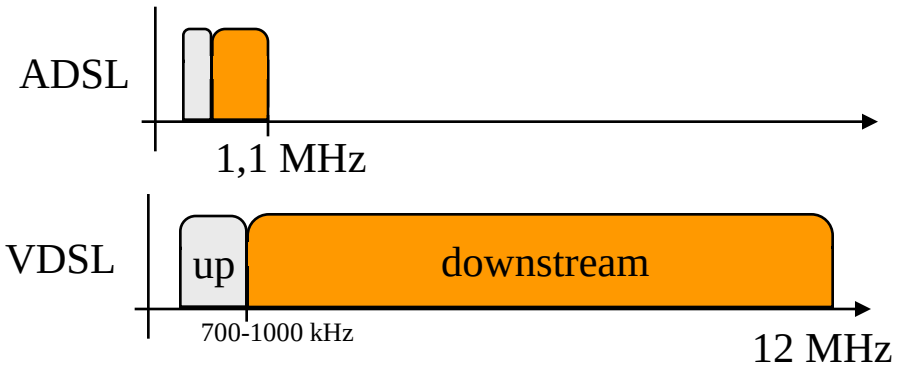
FTTB (Fiber to the Building) event. dále rozbočeno, například formou LAN

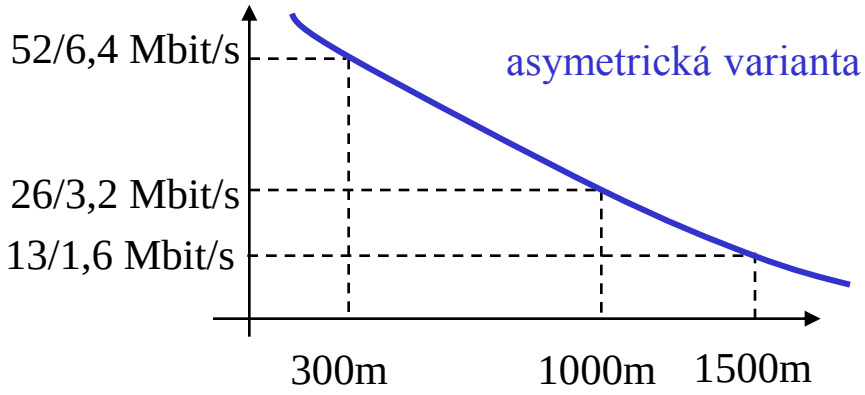
FTTC (Fiber to the Curb) od jednotky ONU (převodníku) pokračuje dále po metalickém vedení, například VDSL

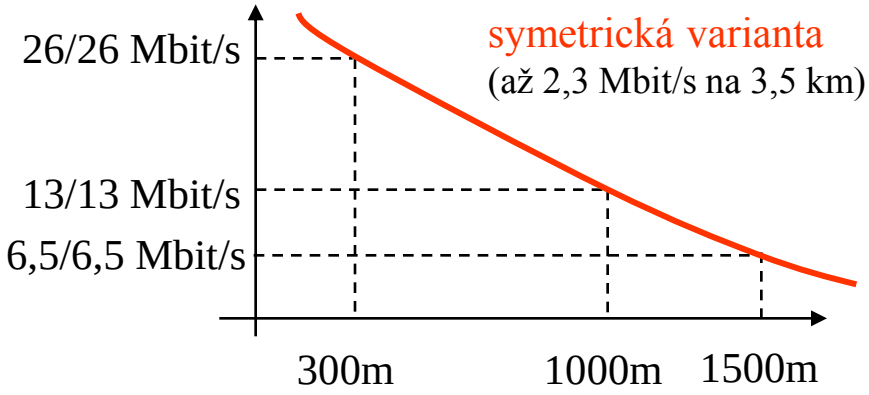
© J. Peterka, 2013

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

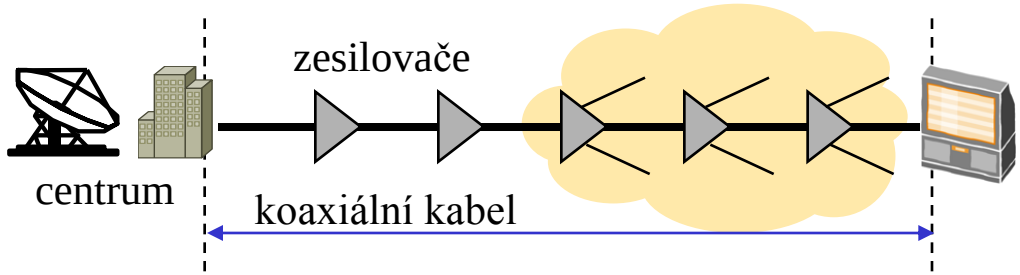




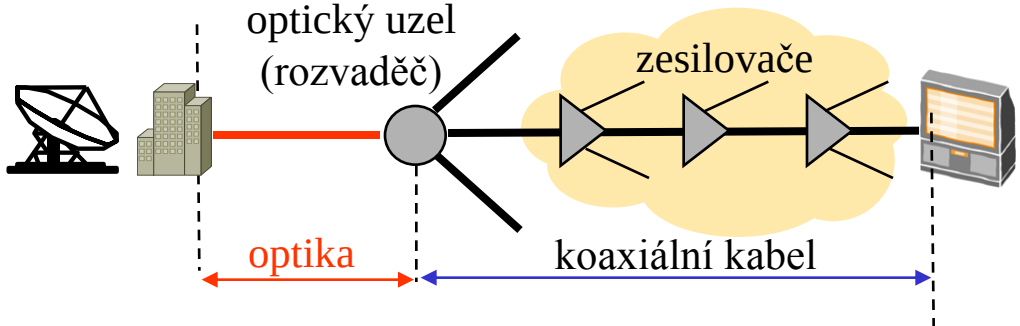


přípojky kabelové televize

- 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

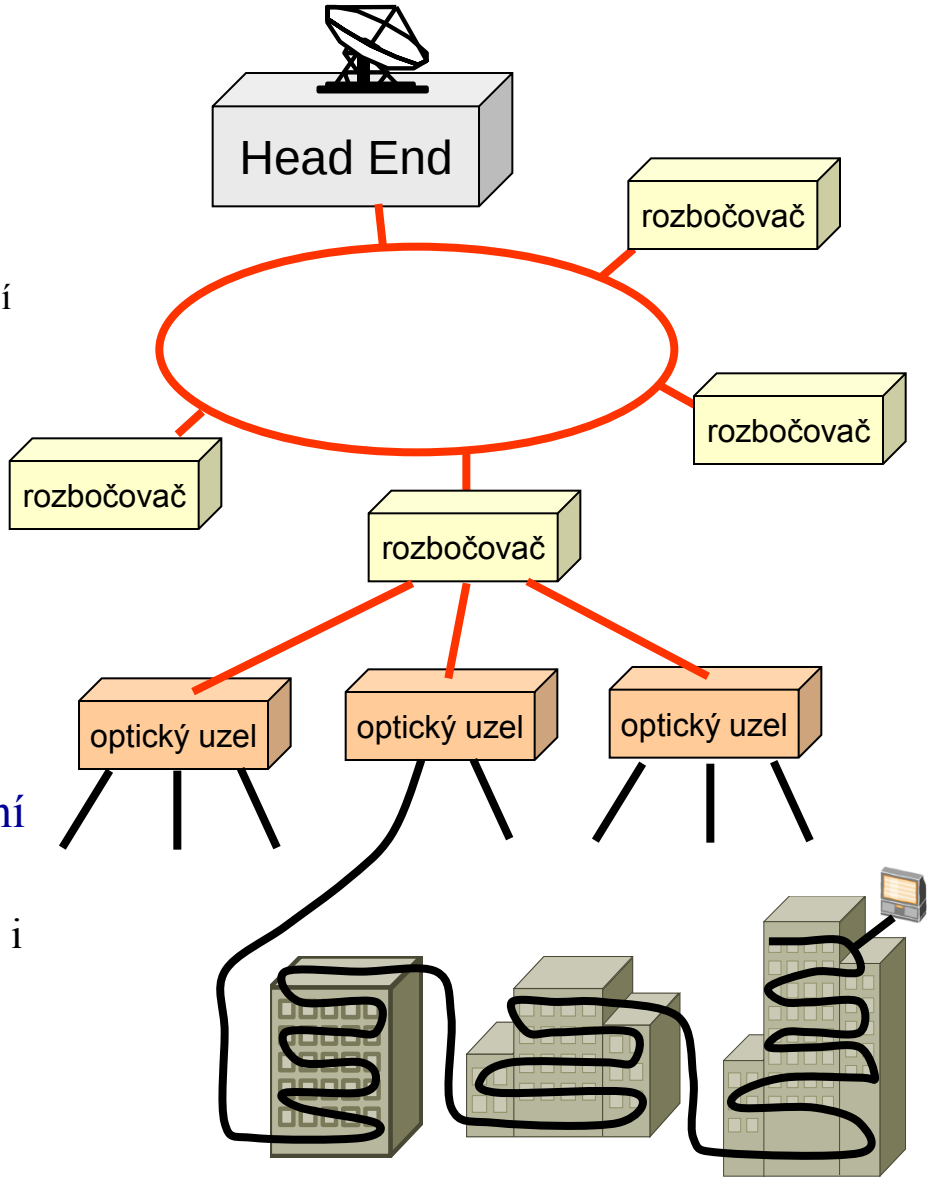


- další vývoj:
  - kabelové rozvody se zvětšují a "zahušťují"
  - začínají využívat také optická vlákna
    - stávající se z nich hybridní opticko-koaxiální sítě
    - HFC (Hybrid Fiber-Coax)
    - optická vlákna se používají v "páteřních" částech, pro překlenutí větších vzdáleností
    - koaxiální kabely se používají "na konci", pro připojení koncových účastníků



kabelové sítě HFC

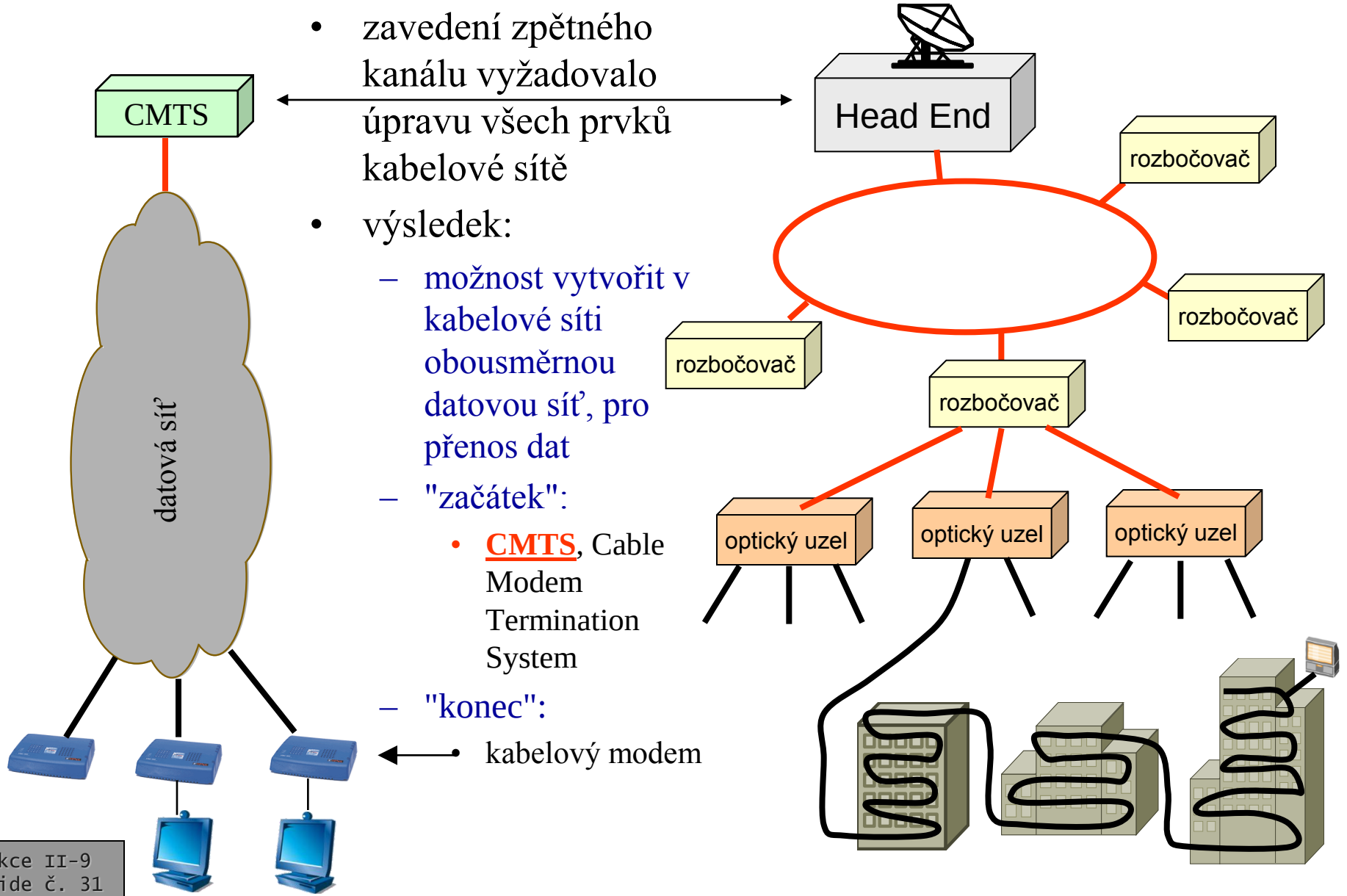
- postupně:
  - kabelové sítě dostaly složitější (hierarchickou) strukturu
    - zakončovací systém (Head End)
      - vstupní bod do celé sítě, tudy vstupují TV programy do celé kabelové sítě
    - optické rozbočovače (hub-y)
      - primární, sekundární
    - optické uzly
      - zajišťují přechod 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



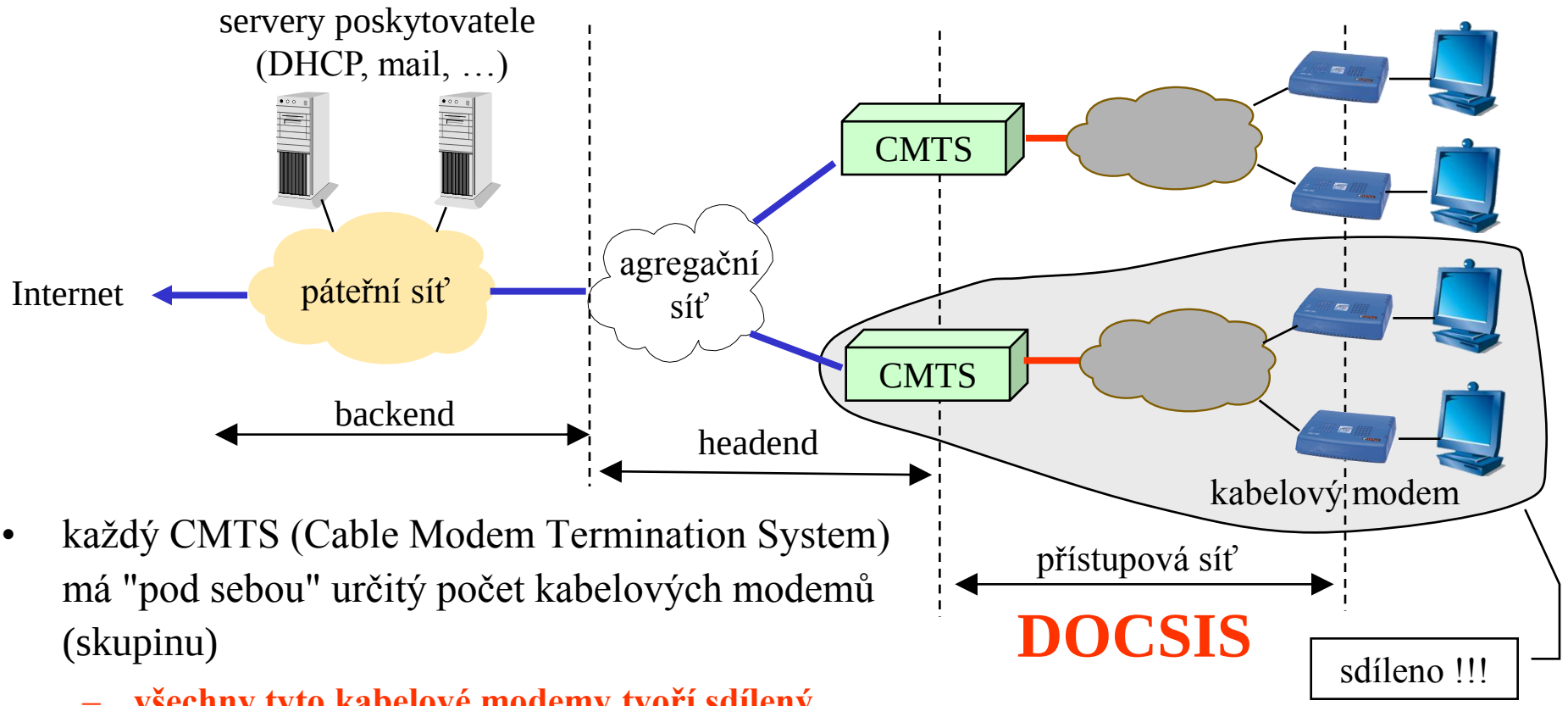
© J. Peterka, 2013

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



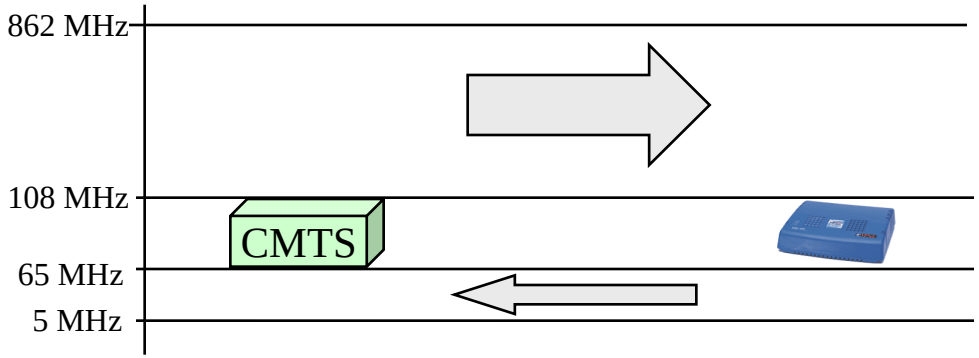
- každý CMTS (Cable Modem Termination System) má "pod sebou" určitý počet kabelových modemů (skupinu)
  - **všechny tyto kabelové modemy tvoří sdílený segment!!!!!**
    - sdílí jednu společnou kapacitu
  - kabelový operátor může přidávat další CMTS a zmenšovat skupiny modemů, které sdílí společnou přenosovou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

© J. Peterka, 2013

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 !!!

© J. Peterka, 2013

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 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