



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



Lekce 7: ATM, X.25, Frame Relay a MPLS

J. Peterka, 2010

co je ATM? (Asynchronous Transfer Mode)

- je přenosovou technologií
 - pochází „ze světa spojů“
 - byla vyvinuta s ohledem na potřeby „světa spojů“ i „světa počítačů“
 - snaží se vycházet vstříc jejich specifickým potřebám
 - byla (vcelku) kladně přijata i „ve světě počítačů“
 - oba světy (svého času) považovaly ATM za svou společnou budoucnost (?)
- ... která měla „zvítězit“
 - stát se univerzální (jednotnou) přenosovou technologií, kterou používají všichni a ke všemu
 - v rámci druhého pokusu o konvergenci
 - to se nestalo !!!!
- naděje, vkládané do ATM, se nenaplnily
 - protože ATM je:
 - drahé
 - komplikované
 - nepružné
 - nemá broadcast
 - pouze spojované
 -
 - přesto není ATM mrtvé
- dnes je ATM jednou z mnoha technologií
 - má své „místo na slunci“
 - je používána v některých páteřních sítích,
 - hlavně tam kde je požadována podpora kvality služeb

připomenutí: myšlenka konvergence

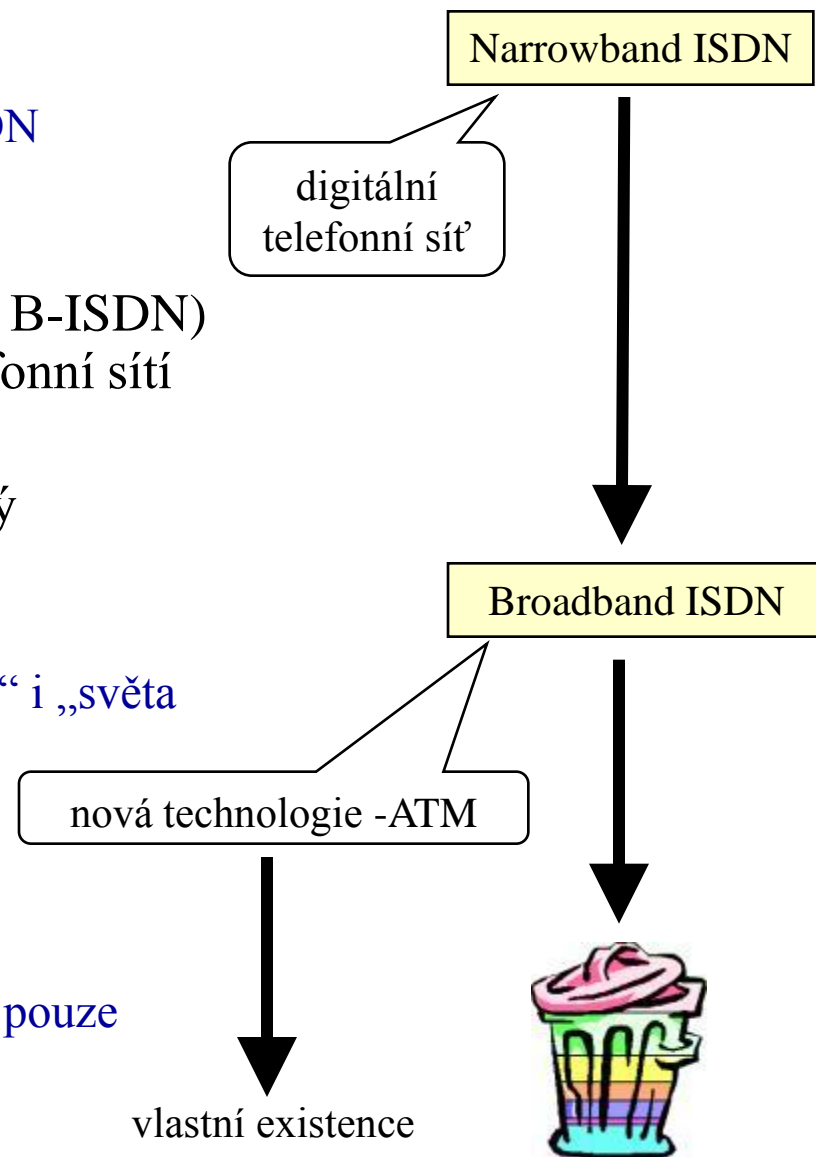
- světy spojů a počítačů si tradičně budovaly oddělené přenosové sítě, šité na míru vlastním požadavkům
 - svět spojů: "chytré" sítě, fungující na principu přepojování okruhů
 - svět počítačů: "hloupé" sítě, fungující na principu přepojování paketů
- důsledek:
 - bylo to (a stále je) neefektivní
- myšlenka:
 - **proč raději nebudovat (a neprovozovat) jen jednu síť, pro potřeby obou světů?**
- problém:
 - požadavky obou světů jsou značně odlišné, je těžké jim vyhovět současně
 - a zachovat rozumnou efektivitu fungování

1. pokus o konvergenci:

- síť ISDN (Integrated Services Digital Network)
 - pochází ze světa spojů
 - navrženo pro potřeby světa spojů
 - potřeby světa počítačů nebyly zohledněny
 - možné očekávání: svět počítačů se přizpůsobí?
 - je technologií, která pro přenos dat využívá existující telefonní síť fungující plně digitálně
 - proto kanály á 64 kbps
 - jako „konvergované řešení“ ISDN neuspělo
 - přenosová kapacita ISDN je příliš malá
 - proto byla klasické ISDN prohlášeno za „úzkopásmové“
 - Narrowband ISDN, N-ISDN
- ... a začaly přípravy širokopásmového ISDN
- Broadband ISDN, B-ISDN

druhý pokus o konvergenci: B-ISDN, nebo ATM?

- když úzkopásmové ISDN neuspělo
 - začalo se připravovat širokopásmové ISDN
 - Broadband ISDN
 - s podstatně vyššími rychlostmi
- širokopásmové ISDN (Broadband ISDN, B-ISDN) již nemohlo fungovat nad (digitální) telefonní sítí
 - z kapacitních důvodů
- bylo třeba vyvinout zcela nový přenosový mechanismus
 - s větší kapacitou
 - s respektováním požadavků „světa spojů“ i „světa počítačů“
- **výsledkem je technologie ATM**
 - **Asynchronous Transfer Mode**
- samotné B-ISDN nikdy nevzniklo !!
 - a ani se o něj nikdo nepokoušel – zůstalo pouze ATM



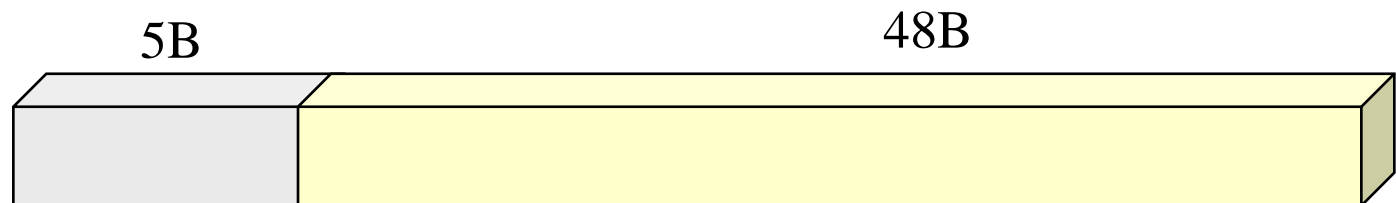
filosofie ATM: způsob přenosu

- **ATM se snaží respektovat potřeby obou „světů“. Ale jaké tyto potřeby jsou?**
 - **v čem se liší?**
- „svět spojů“ preferuje
 - fungování na principu přepojování okruhů
 - spojovaný a spolehlivý způsob přenosu
 - vyhrazenou přenosovou kapacitu a garanci kvality služeb
- „svět počítačů“ preferuje
 - fungování na principu přepojování paketů
 - nespojovaný a nespolehlivý způsob přenosu
 - efektivnost přenosů
 - nepožaduje (tolik) garantovanou kvalitu služeb
- **výsledek:**
 - **ATM bude fungovat spojovaně**
 - (v zásadě) na principu přepojování paketů !!!!!
- ve světě spojů:
 - potřebují spíše pravidelné a „okamžité“ přenosy, se zárukami kvality a dostupnosti přenosové kapacity
 - lépe zde vyhovují malé bloky přenášených dat
 - kvůli tomu, že když jsou malé, je jich hodně, a když je zapotřebí něco přenést, je větší šance najít „volný blok“
- ve světě počítačů:
 - potřebují spíše nárazovité přenosy, požadují spíše efektivnost fungování
 - lépe vyhovují větší bloky přenášených dat
 - kvůli tomu, že větší blok má relativně menší vlastní režii na přenos (hlavičky apod.)

jak velké mají být?

filosofie ATM - buňky

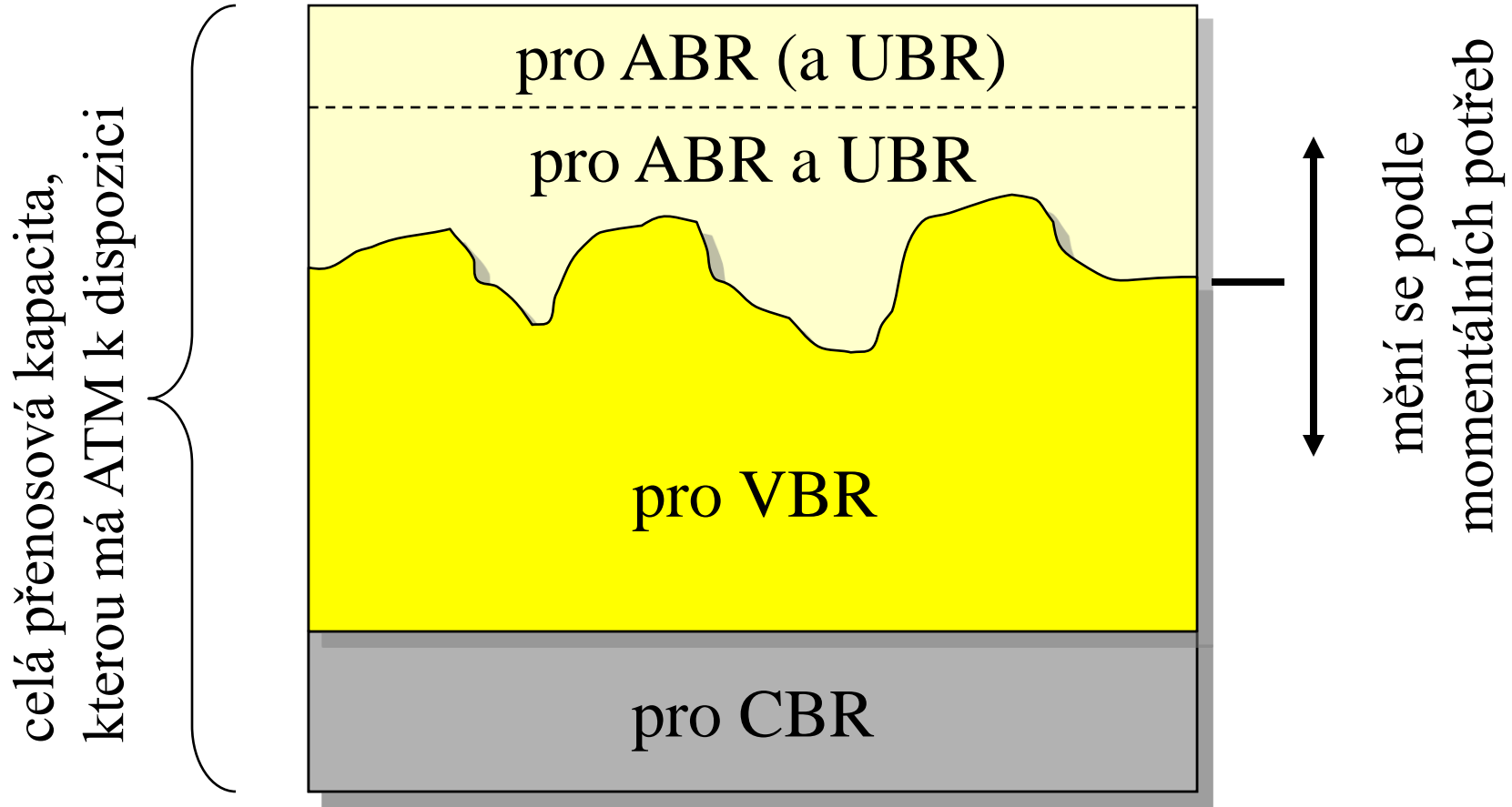
- kategorický požadavek „světa spojů“:
 - bloky velikosti max. 32 bytů
 - aby byl nějaký blok k dispozici, když je třeba něco rychle přenést
 - snižování latence
 - kategorický požadavek „světa počítačů“
 - bloky velikost min. 64 bytů
 - aby nebyla tak velká režie
 - nakonec zvítězil kompromis:
 $(32+64)/2 = 48$
- ATM pracuje s bloky dat, které mají vždy pevnou délku:
 - jsou malé
 - nazývají se buňky (cells)
 - mají 48 bytů pro data
 - 48 bytů užitečného nákladu, tzv. payload
 - mají 5-bytovou hlavičku
 - celkem mají 53 bytů
 - díky pevné velikosti je lze zpracovávat i v HW



služby ATM

- jak dokáže ATM vyhovět různým požadavkům na charakter přenosu?
 - někdo chce garantovat (celou) přenosovou kapacitu,
 - někdo chce garantovat alespoň určitou minimální přenosovou kapacitu
 - někdo nepotřebuje žádné garance
- malou velikostí buněk
 - výsledný efekt spojuje výhody přepojování paketů a přepojování okruhů
- řešení: ATM nabízí různé třídy služeb
 - CBR
 - Constant Bit Rate
 - garantuje (celou a konstantní) přenosovou kapacitu
 - VBR
 - Variable Bit Rate
 - Garantuje tu přenosovou kapacitu, kterou přenos právě potřebuje
 - ABR
 - Available Bit Rate
 - garantuje určitou minimální přenosovou kapacitu
 - UBR
 - Unspecified Bit Rate
 - negarantuje nic
 - jako "best effort"

představa realizace

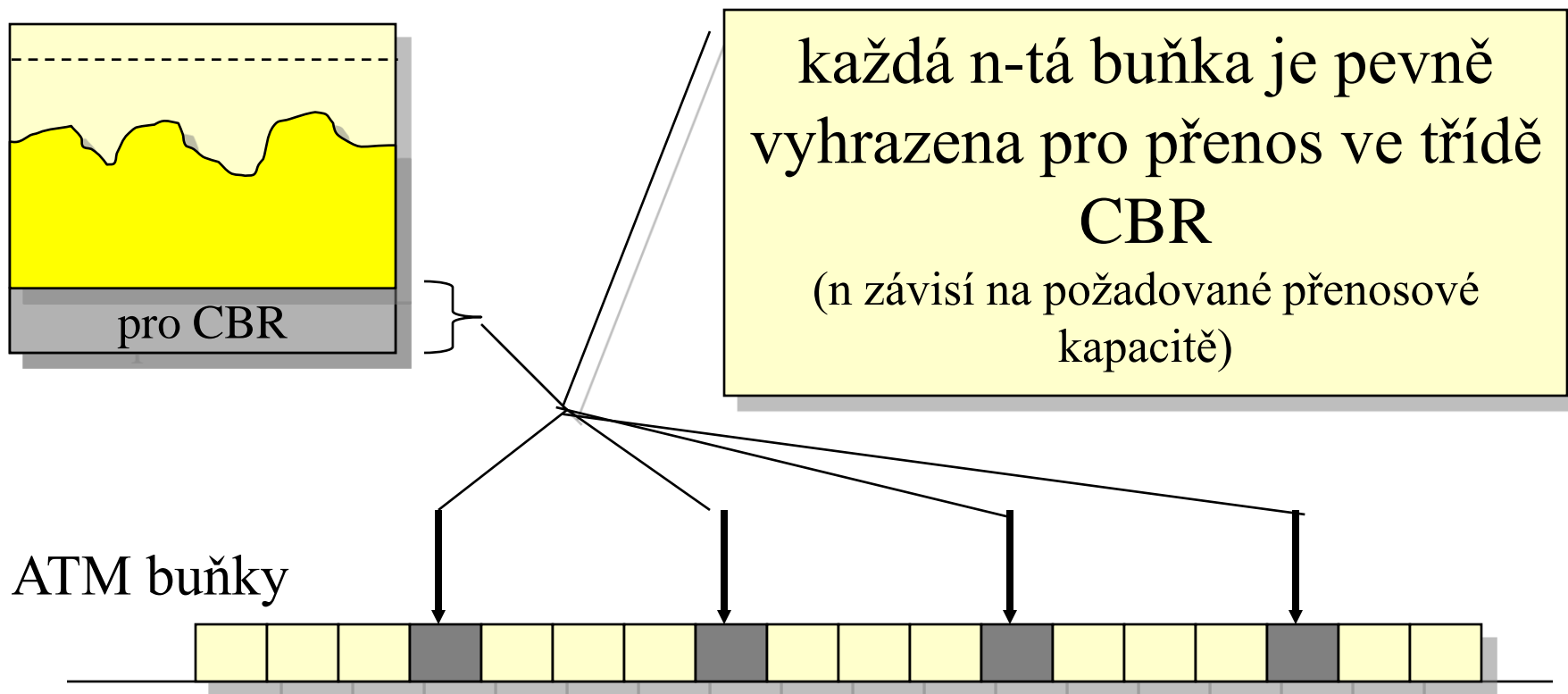


CBR, Constant Bit Rate

- garantuje konstantní rychlost přenosu
 - angl: bit rate,
- vytváří ekvivalent „kusu drátu“
 - poskytuje vyhrazenou a konstantní přenosovou kapacitu
- ale chová se jako bitová roura
 - přenosová kapacita je již upravena pro přenos dat (jednotlivých bitů)
 - z jedné strany data vstupují, z druhé vystupují
 - není žádné potvrzování, žádné řízení toku, ...
- je garantováno i maximální přenosové zpoždění
 - a pravidelnost (rozptyl zpoždění)
- předpokládané použití:
 - vše, co by jinak potřebovalo „samostatný drát“
 - například přímé propojení telefonních ústředěn
 - vhodné pro cokoli, co generuje KONSTANTNÍ datový tok
 - například nekomprimované video, nekomprimovaný zvuk atd.

emulace přepojování okruhů

realizace CBR

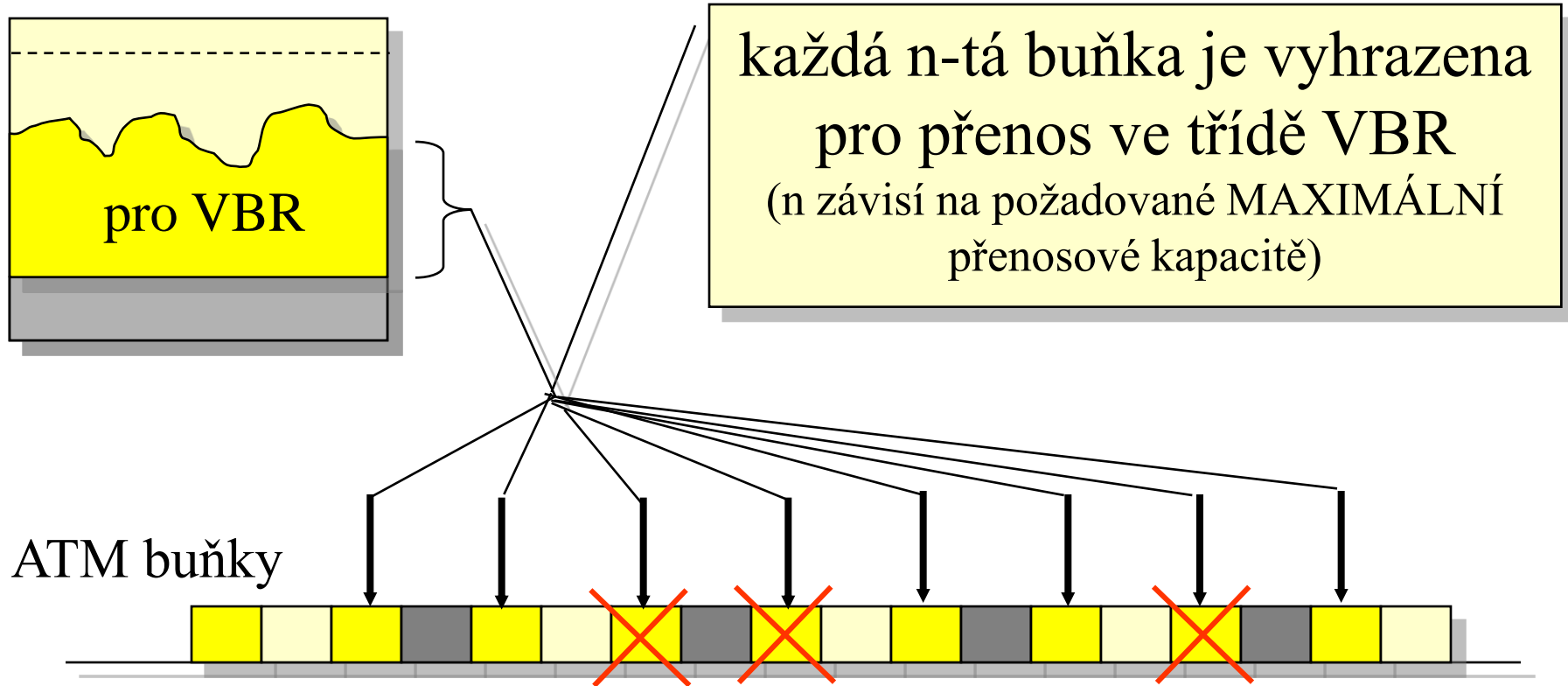


- buňka, přidělená v režimu CBR, již nemůže být „vrácena zpět“ a použita jinak
 - pro potřeby jiného přenosu

VBR, Variable Bit Rate

- představa:
 - v tomto režimu si každý přenos dohodne se sítí, že bude používat přenosovou kapacitu v určitém rozmezí
 - MIN až MAX
 - řeší se v rámci navazování spojení
 - ATM síť rezervuje kapacitu pro maximum požadavků
 - pro hodnotu MAX
 - aby síť dokázala vždy vyhovět v plném rozsahu skutečných požadavků
 - ale pokud je skutečně požadována nižší kapacita, může být přenechána někomu jinému
 - pro potřeby jiných přenosů
- srovnání s CBR:
 - V CBR i VBR se rezervují prostředky pro maximum
 - V CBR se nevyužité prostředky (rezervované buňky) nevrací, ve VBR ano
- předpokládané použití:
 - pro přenosy, které potřebují malé přenosové zpoždění a pravidelnost doručování
 - malý rozptyl
 - ale generují proměnlivý datový tok
 - například komprimovaný obraz, komprimovaný zvuk
 -

realizace VBR



- buňka, přidělená v režimu VBR ale fakticky nevyužitá, může být „vrácena zpět“ a použita jinak
 - pro potřeby jiného přenosu

rt-VBR a nrt-VBR

- třída VBR má dvě varianty,
 - podle toho zda komunikující strany potřebují být trvale a přesně synchronizovány mezi sebou
- **rt-VBR**
 - **real-time VBR**
 - mohou měnit rychlost bitového proudu (bit rate)
 - tam kde jsou striktní požadavky na přenosové zpoždění a pravidelnost doručování
 - **například:**
 - pro komprimované video

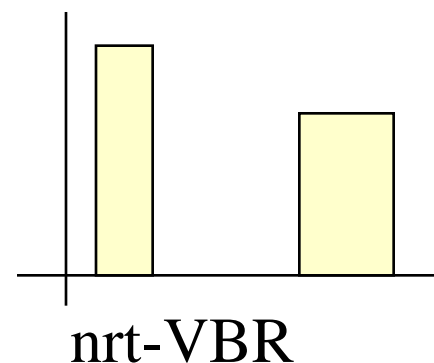
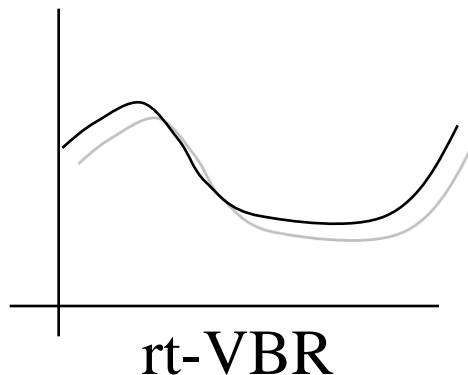
- **nrt-VBR**

- **non-real-time VBR**

- pro přenosy vykazující dávkový (bursty) charakter
 - ale stále náročné na přenosové zpoždění a pravidelnost doručování

- **například:**

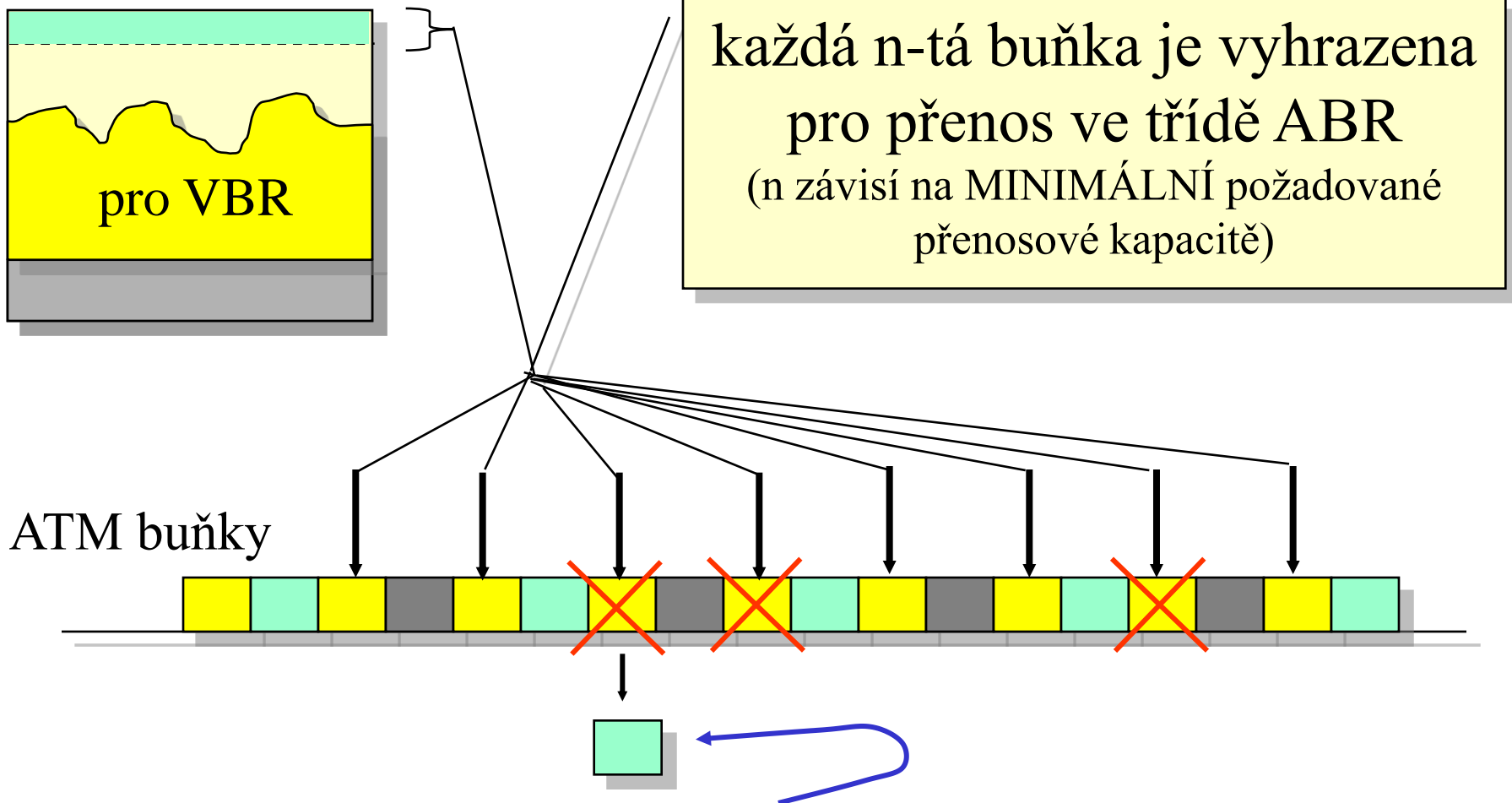
- pro terminálový přístup do rezervačních systémů
 - pro transakční systémy



ABR, Available Bit Rate

- představa:
 - v tomto režimu si každý přenos dohodne se sítí, že bude používat přenosovou kapacitu v určitém rozmezí
 - MIN až MAX
 - ATM síť rezervuje kapacitu pro spodní hranici požadavků
 - pro hodnotu MIN
 - aby síť garantovala „alespoň něco“
 - aby dokázala vždy vyhovět alespoň minimálním požadavkům (MIN)
 - pokud je pak požadována kapacita vyšší než MIN, je poskytnuta pokud jsou dostupné potřebné zdroje
 - v opačném případě nikoli
- v režimu ABR se používá řízení toku
 - odesílatel se dozví, zda jeho požadavky nad dohodnuté minimum jsou plněny nebo ne
 - a může tomu uzpůsobit své chování
- předpokládané použití
 - např. propojení sítí LAN

realizace ABR

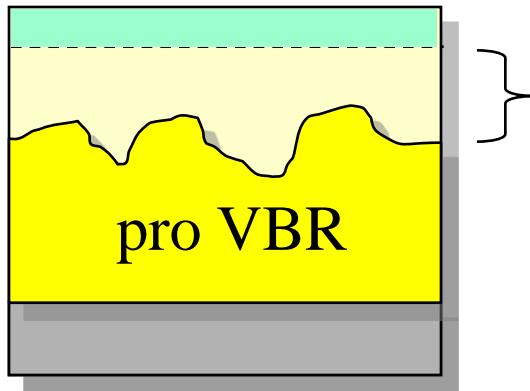


- požadavky „nad minimum“ jsou uspokojovány z momentálně dostupných zdrojů

UBR, Unspecified Bit Rate

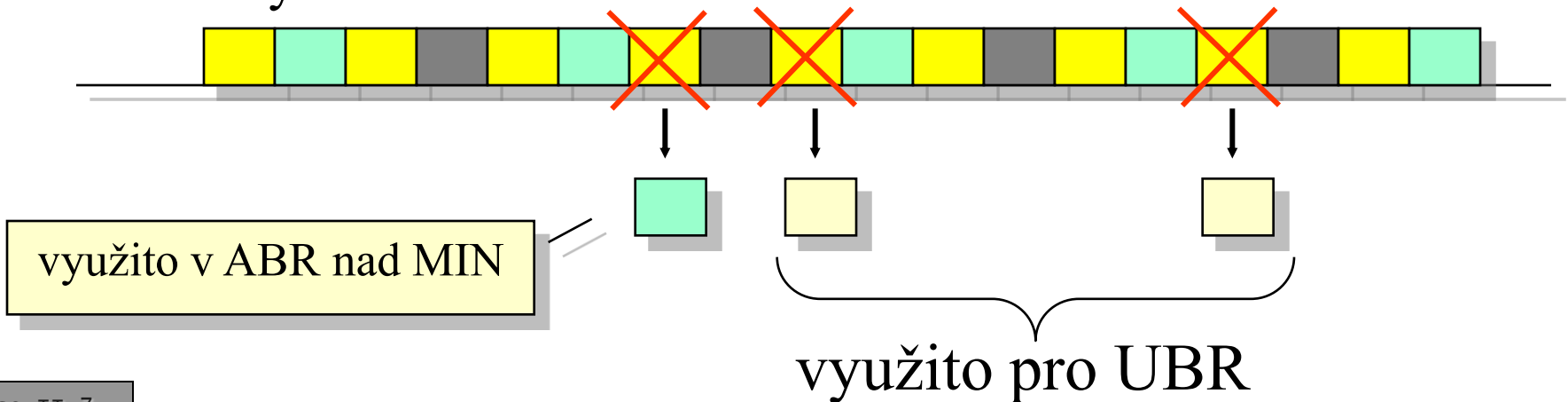
- v tomto režimu nejsou poskytovány žádné garance
 - požadavky jsou uspokojovány podle momentální situace
 - po splnění všech požadavků CBR, VBR a ABR
 - v zásadě jde o princip „best effort“ z klasických paketových přenosů
 - data jsou přenášena na principu FIFO
 - data k odeslání čekají v bufferu až pro ně bude volná buňka
- používá se pro aplikace, které dokáží tolerovat:
 - nepravidelnost v doručování
 - způsobenou tím že data čekají na odeslání až bude volná buňka
 - ztráty dat
 - při zahlcení ATM ústředí jsou zahazována UBR data
- používá se např. přenos protokolu IP
 - resp. UDP a TCP

realizace UBR



- žádná buňka není dopředu vyhrazena
- Buňky jsou přidělovány podle momentálních možností, po uspokojení požadavků ve třídách CBR, VBR (a ABR)

ATM buňky

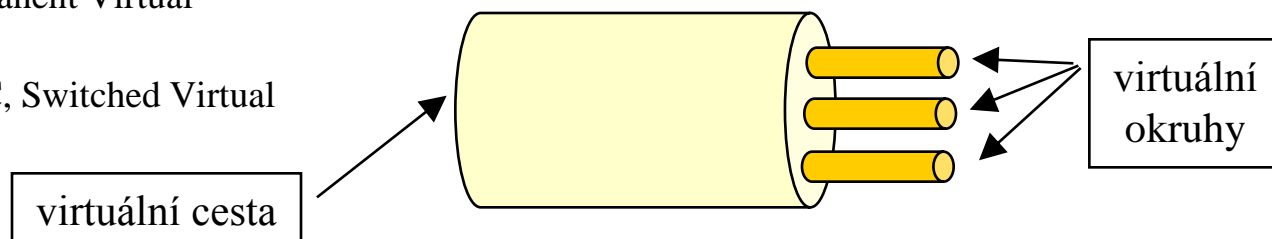


shrnutí

	CBR	RT-VBR	NRT-VBR	ABR	UBR
Garance přenosové kapacity	Ano	Ano	Ano	Částečně	Ne
Vhodné pro real-time přenosy	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne
Vhodné pro nárazový (bursty) provoz	Ne	Ne	Ano	Ano	Ano
Informuje o zahlcení	Ne	Ne	Ne	Ano	Ne

ATM - vlastnosti

- ATM pracuje na spojovaném principu
 - **hlavičky buněk jsou hodně malé**
 - je v nich prostor na identifikaci spoje (okruhu)
 - **nespojovaný přenos v ATM prakticky nejde**
 - v hlavičkách malých buněk není prostor pro plnou adresu příjemce
 - je to proti filosofii ATM
- ATM nabízí virtuální okruhy (kanály)
 - **kteřé jsou obecně jednosměrné**
 - ale lze je vytvářet v párech, pro plně duplexní spojení
 - mohou mít různé vlastnosti v obou směrech
 - **virtuální okruhy mohou být:**
 - **pevné** (PVC, Permanent Virtual Circuit), nebo
 - **komutované** (SVC, Switched Virtual Circuit)
- přenosové služby (virtuální okruhy) nepoužívají potvrzování
 - **fungují jako nespolehlivé**
 - důsledek očekávání, že půjde o přenosy po optice, která je velmi spolehlivá
 - **při zahlcení jsou oprávněny zahazovat buňky**
 - ale nejsou oprávněny měnit jejich pořadí
- ATM se snaží maximálně zjednodušit „směrování“ a manipulaci s buňkami v mezilehlých uzlech
 - **důsledkem je dvouúrovňová hierarchie virtuálních spojů a jejich adresování**
 - **virtuální okruhy** (Virtual Circuits, VC)
 - **virtuální cesty** (Virtual Paths, VP)



proč „okruhy a cesty“?

- představa:

- mezilehlé uzly (ATM ústředny) se při přenosech mezi sebou navzájem budou rozhodovat jen podle cesty
 - identifikátory VPI, Virtual Path Identifier
 - identifikátory VPI jsou při přechodu přes ATM ústřednu přepisovány !!!
- pouze při doručování koncovým uzlům budou brány v úvahu identifikátory konkrétních okruhů
 - identifikátory VCI, Virtual Circuit Identifier

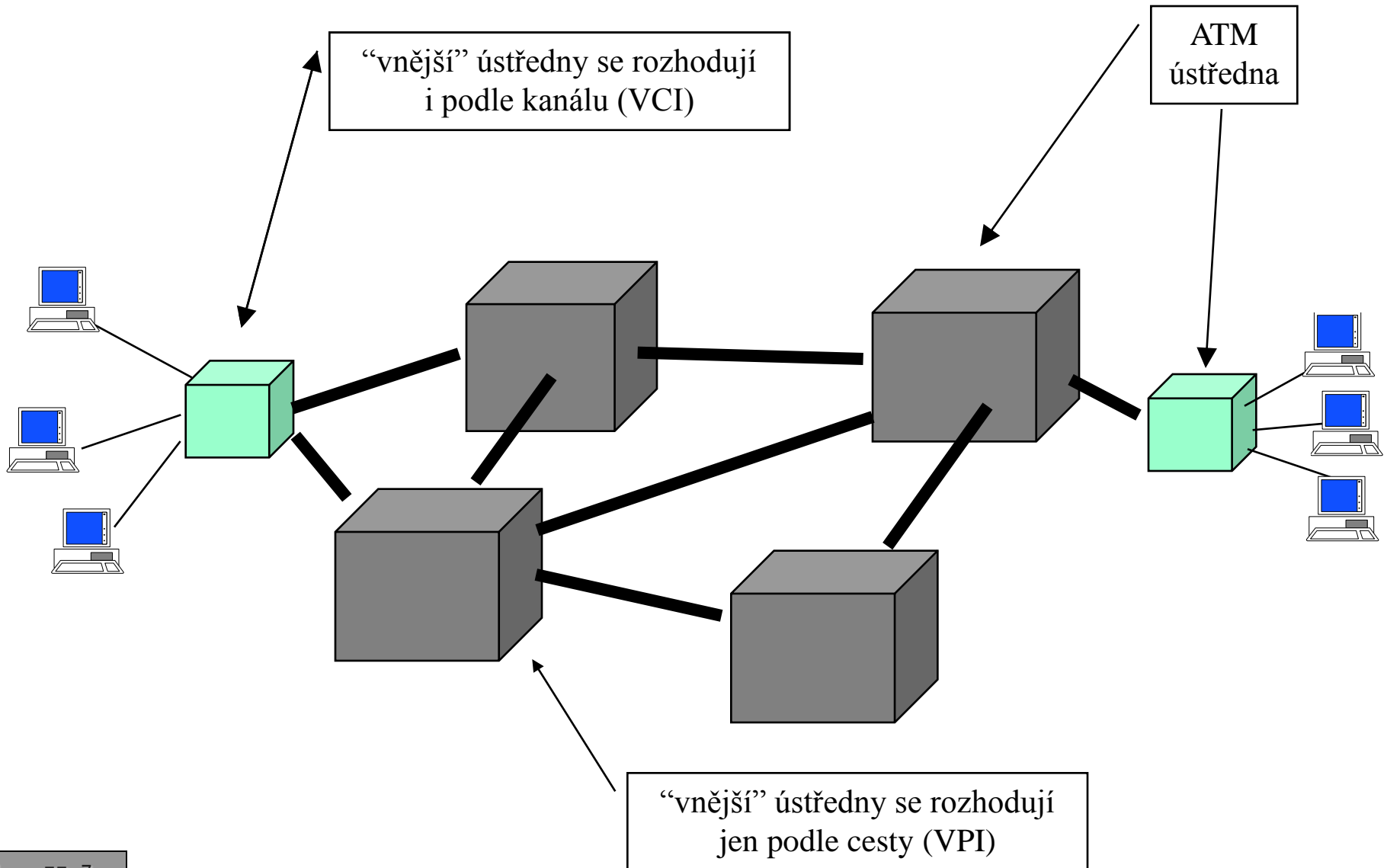
- výhody:

- snazší a rychlejší „směrování“
 - a menší objemy směrovacích tabulek
- snazší zřizování nových okruhů
 - v rámci již existujících cest
- lze snadno „přesměřovat“ celé skupiny virtuálních okruhů,
 - například při výpadku celé přenosové cesty
- snazší tvorba virtuálních podsítí

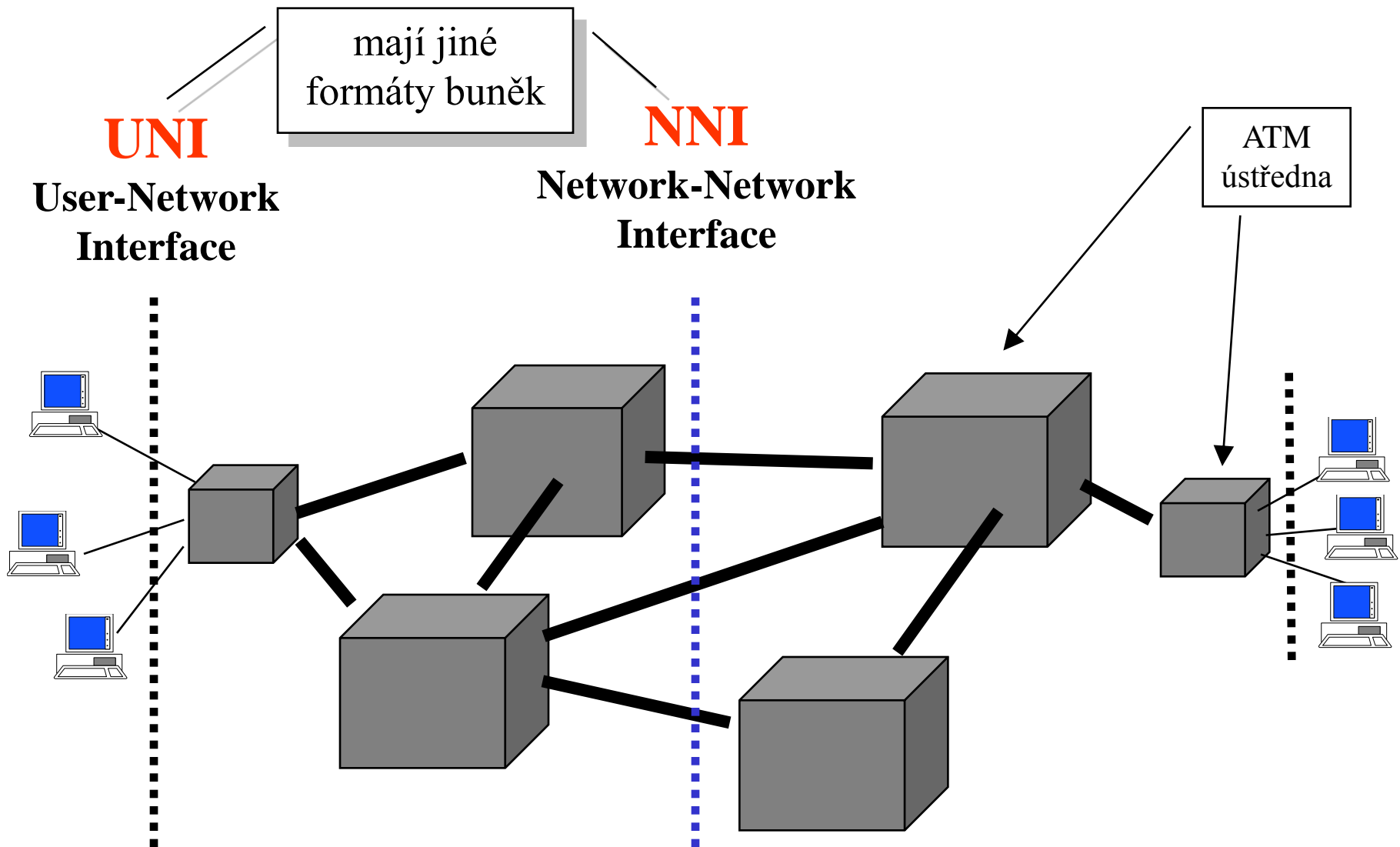
- nevýhody:

- nutnost dvojí role ústředem
- nutnost dvojího rozhraní
 - UNI a NNI

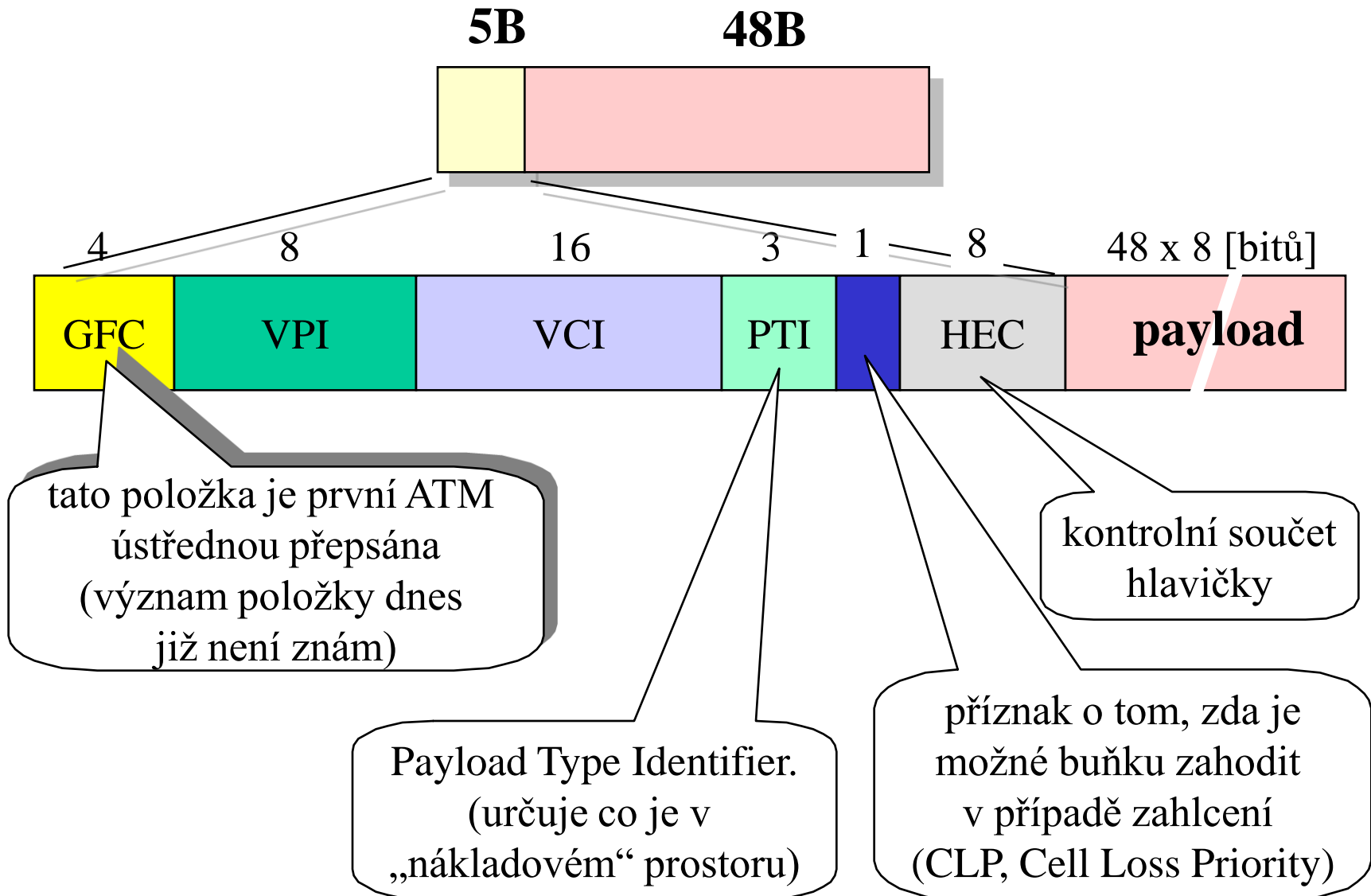
představa okruhů a cest



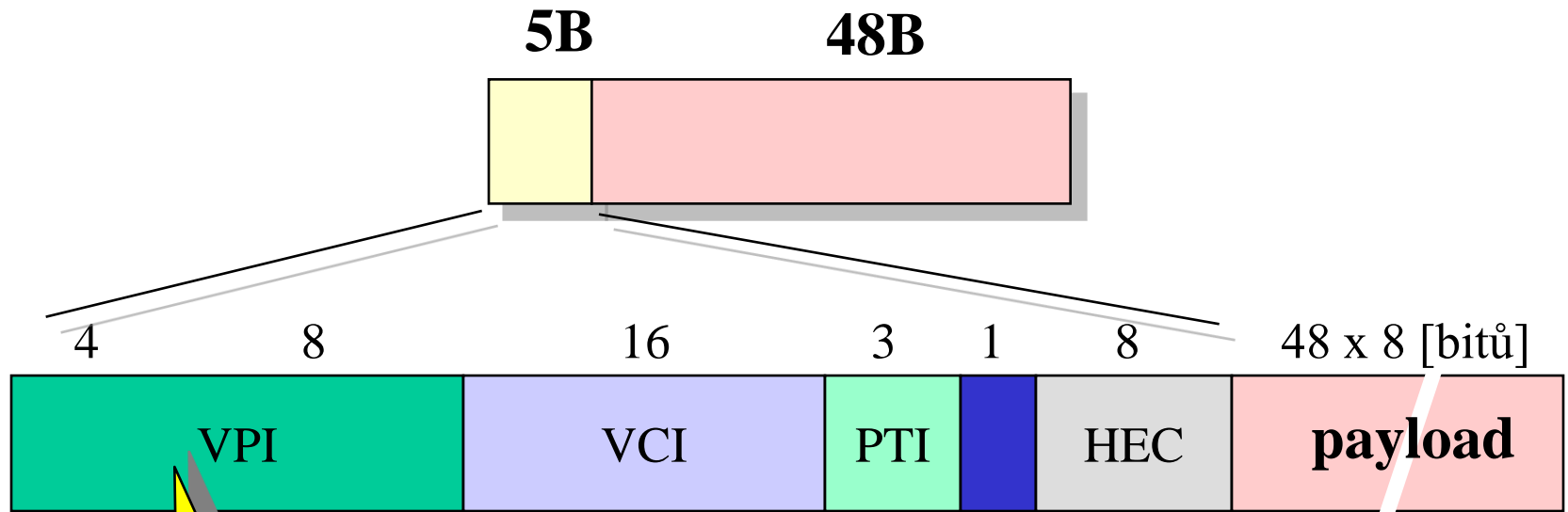
rozhraní UNI a NNI



formát ATM buňky - pro UNI



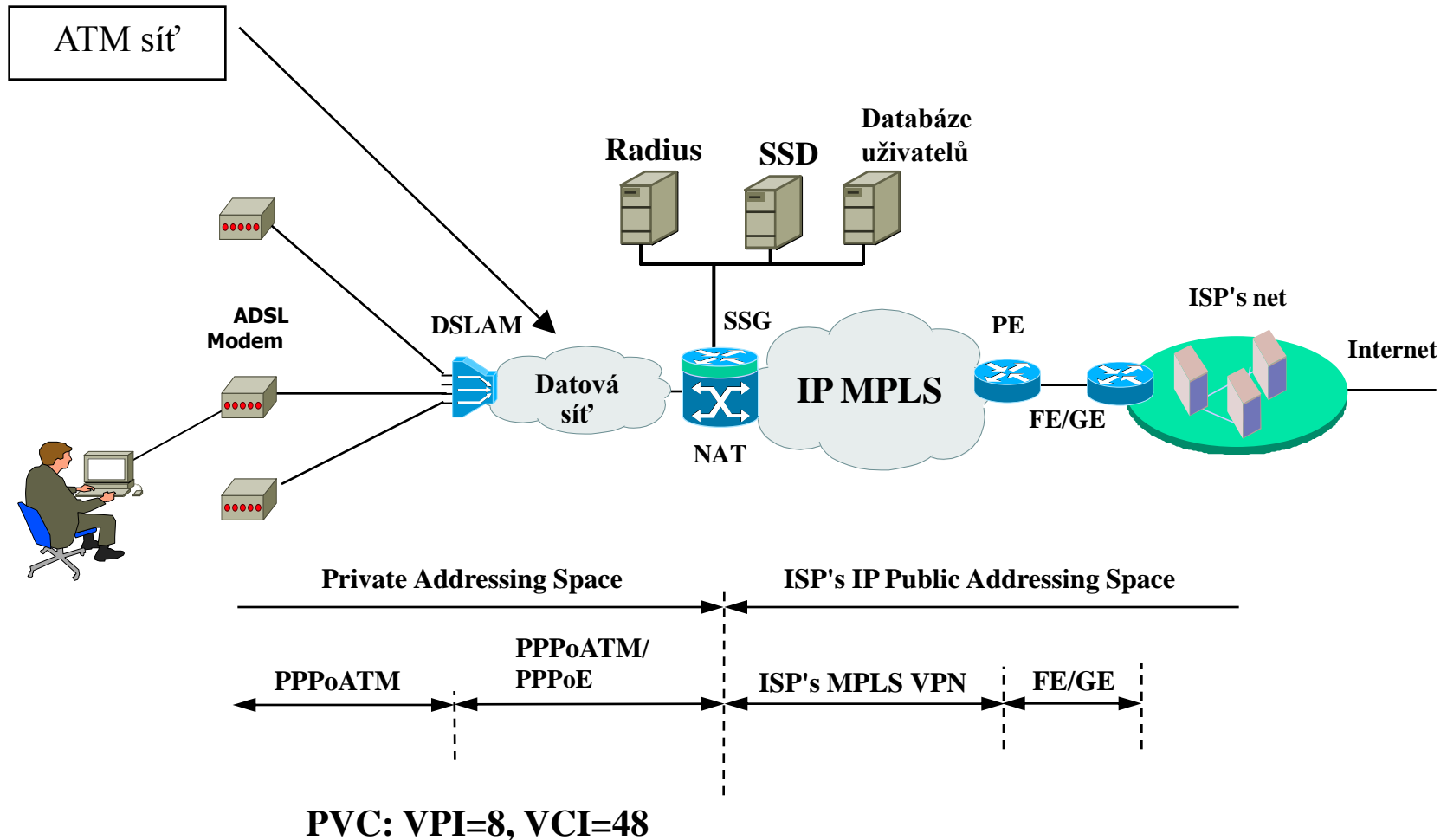
formát ATM buňky - pro NNI



identifikátor cesty je „roztažen“ na 12 bitů

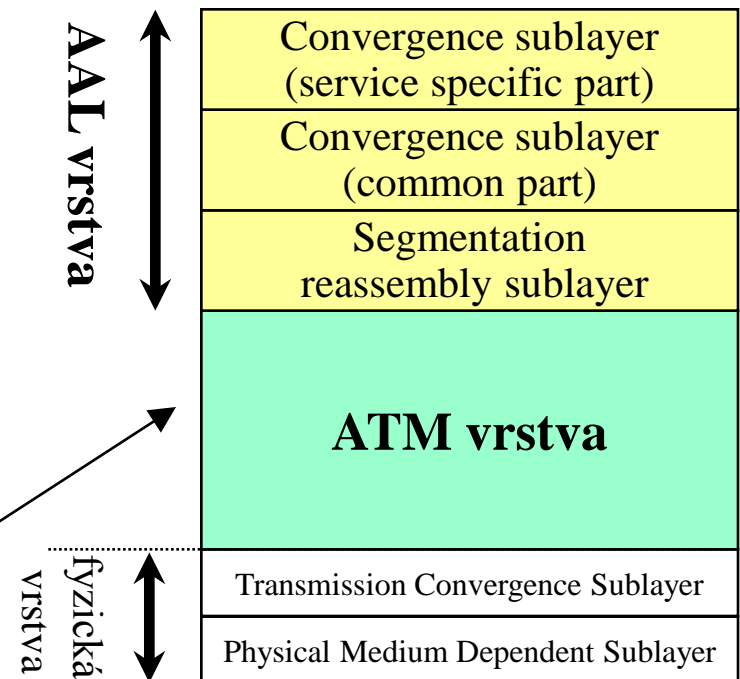
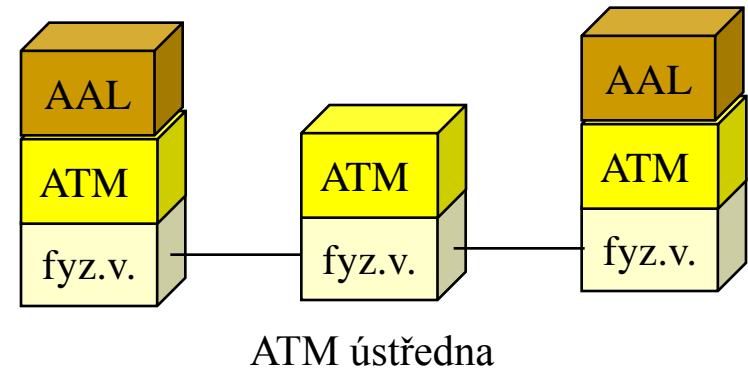
ostatní položky jsou beze změny

příklad: ATM v rámci ADSL u ČTc



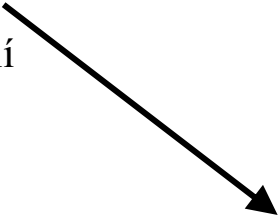
vrstvý model ATM

- základem je ATM vrstva
 - má za úkol přenášet jednotlivé buňky
- pod ATM vrstvou je fyzická vrstva
 - zajišťuje vlastní přenos dat, není součástí definice ATM
- nad ATM vrstvou je vrstva AAL (ATM Adaptation Layer)
 - má hlavně za úkol přizpůsobování potřebám vyšších vrstev
 - AAL je přítomna až v koncových uzlech, nikoli v mezilehlých
 - nikoli v ATM ústřednách (ATM switches)
- ATM sama nepřenáší data !!!!!!!
 - nemá (vlastní) fyzickou vrstvu
 - neříká jak konkrétně využít konkrétní přenosové médium
 - ATM není vázána na žádnou konkrétní přenosovou rychlost
 - jako např. FDDI, omezená na 100 Mbps už svou přístupovou metodou
 - **ATM nemá žádný rychlostní limit**



zde se přenáší ATM buňky, v režimech CBR, VBR, ABR a UBR

fyzická vrstva

- rychlost ATM je dána tím, co se "pod ní podstrčí"
 - pod ATM lze „podstrčit“ různé přenosové technologie
 - např. SONET, SDH, bezdrátové technologie, apod.
 - rychlost ATM přenosu je dána především touto „podstrčenou“ technologií
 - ATM byla vymyšlena s představou provozování po optických vláknech
 - dnes ji lze provozovat po mnoha dalších přenosových cestách
 - fyzická vrstva má dvě podvrstvy:
 - TCS, Transmission Convergence Sublayer
 - generuje kontrolní součet (hlaviček) ATM buněk
 - zarovnává ATM buňky do proudu, který vytváří nižší podvrstva
 - posílá prázdné buňky, když není co přenášet
 - PMD, Physical Medium Dependent Sublayer
 - zajišťuje vlastní (fyzický) přenos dat
- 

připomenutí: hierarchie SDH

- novější, plně synchronní
 - SDH, Synchronous Digital Hierarchy
 - je "vyšší" než PDH
- má jednodušší způsob sestavení svých rámců
 - umožňuje přímé "vkládání" a "vyjímání" jednotlivých 64 kbit/s kanálů
 - není nutné k tomu "rozkládat" celé rámce
- vychází z amerického standardu pro SONET (Synchronous Optical Network)
- podle SDH bývají dimenzovány vysokorychlostní páteřní přenosové trasy
 - např. ATM
 - 155 Mbps, 622 Mbps atd.

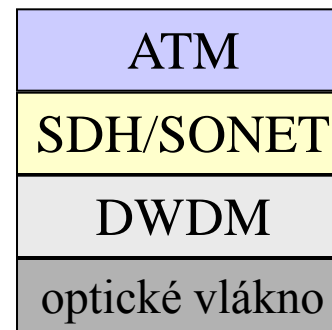
PDH

Řád	Přenosová rychlost
0. (E0)	64 kbit/s
1. (E1)	2,048 Mbps
2. (E2)	8,448 Mbps
3. (E3)	34,368 Mbps
4. (E4)	139,264 Mbps

SDH

Řád	Přenosová rychlost
STM-1	155 Mbit/s
STM-2	622 Mbps
STM-3	2,488 Gbps
STM-4	9,95 Gbps

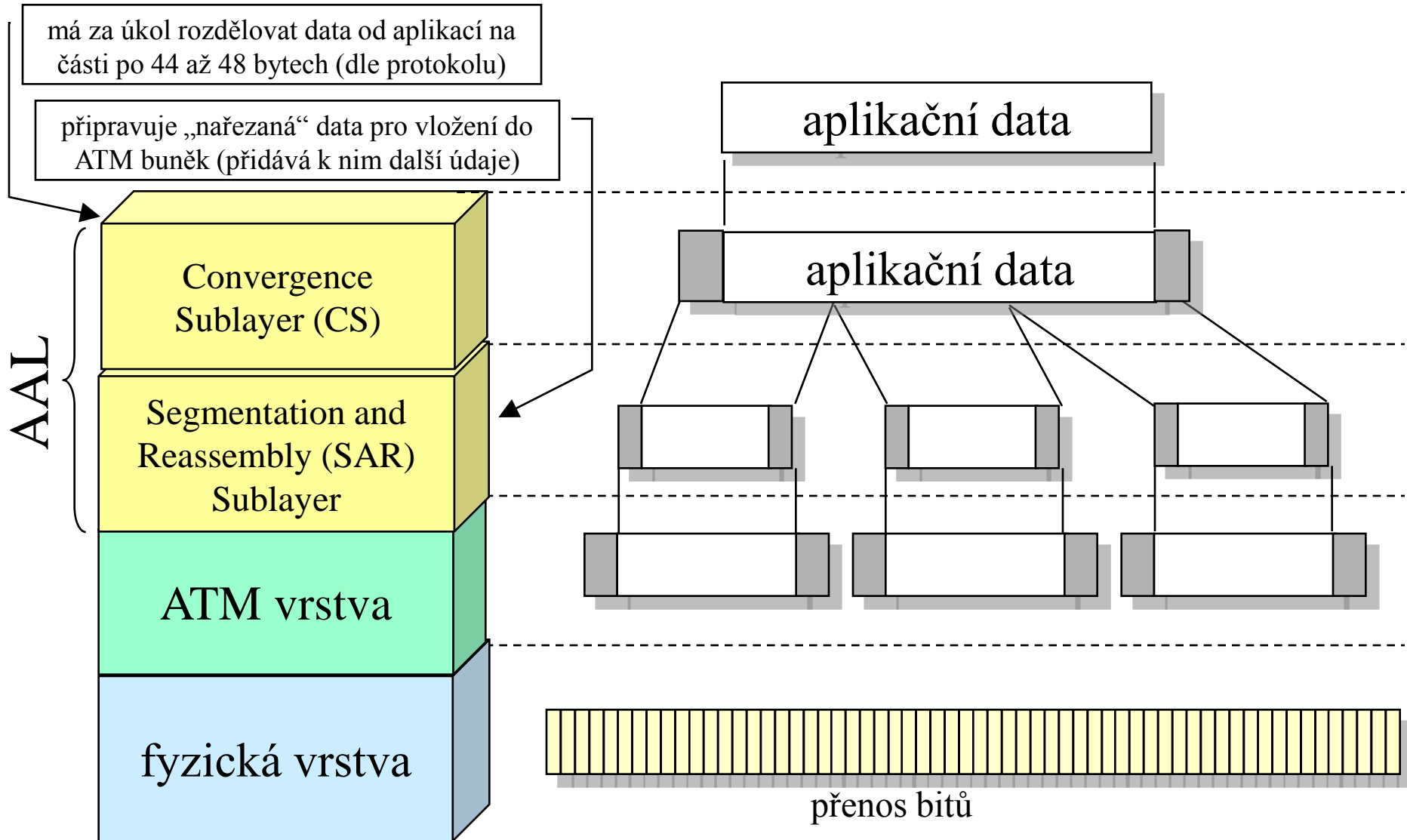
nejčastější rychlosti ATM



ATM a AAL vrstva

- **ATM vrstva** zhruba odpovídá linkové vrstvě ISO/OSI
 - s podstatným rozdílem: zajišťuje end-to-end přenosy, zatímco linková vrstva přenáší jen k sousedům
 - tj. chová se spíše jako síťová vrstva
- ATM vrstva zajišťuje přenos který je:
 - nespolehlivý
 - spojovaný
- nevšímá si obsahu přenášených dat
 - nijak nevyhodnocuje obsah jednotlivých buněk
 - nekontroluje nepoškozenost dat
- je optimalizována na výkon a rychlost
- **vrstva AAL** připomíná transportní vrstvu
 - má vyšším vrstvám zakrýt charakter ATM a dát jim právě to, co chtějí
 - v tom odpovídá transportní vrstvě
 - nad AAL bývá další (skutečná) transportní vrstva
- funkce AAL vrstvy
 - rozklad dat na vhodně velké části, aby šly umístit do buněk
 - musí vkládat do přenášených dat režijní data pro správné rozdělení a pozdější poskládání
 - může zajišťovat
 - detekci chyb
 - řízení toku
 - může zajišťovat různé formy podpory kvality služeb

vrstva AAL



historie AAL

- původně se předpokládalo, že aplikace se liší v požadavcích na:
 - real-time vs. non-real-time přenosy
 - constant bit rate vs. variable bit rate
 - spojovaný vs. nespojovaný přenos
- z 8 možných kombinací autoři (ITU) povolili jako smysluplné pouze 4
 - označili je jako třídy A, B, C a D
 - pro tyto 4 třídy byly vyvinuty protokoly AAL1 až AAL4
 - protokoly AAL3 a AAL4 později splynuly, v AAL3/4
- pak byl přidán AAL5

	A		B		C		D	
přenos (velikost zpoždění)	real-time	ne	real-time	ne	real-time	ne	real-time	ne
bit rate	konstatní		variabilní		konstatní		variabilní	
režim	spojovaný přenos				nespojovaný přenos			

QoS - Quality of Service

- ATM počítá s tím, že mezi poskytovatelem a uživatele služby existuje „kontrakt“
 - smlouva o garanci některých vlastností
 - může to dokonce mít i formu právní (vymahatelné) smlouvy
 - uzavírá se při navazování spojení
 - pokud síť nemá dostatek zdrojů, odmítne spojení navázat
 - obecně: QoS, Quality of Service
- příklady konkrétních vlastností a parametrů, které mohou být garantovány:
 - PCR, Peak Cell Rate
 - MCR, Minimum Cell Rate
 - CLR, Cell Loss Ratio
 - CTD, Cell Transfer Delay
 - CDV, Cell Delay Variation
 -
 - některé parametry se týkají toho, jak se bude chovat uživatel
 - jak rychle bude posílat data atd.
 - jiné se týkají toho, jak se bude chovat síť
 - jak často bude něco zahazovat atd.

AAL1, AAL2

- AAL1 je protokol pro přenos dat
 - v reálném čase (malé zpoždění a rozptyl)
 - konstantní rychlostí (bit rate)
 - spojovaným způsobem
- AAL1 vytváří „bitově orientovanou bitovou rouru“
 - z jedné strany vstupují bity
 - konstantní rychlostí
 - z druhé strany musí být stejnou rychlostí odebírány
 - s minimálním zpožděním, rozptylem atd.
 - není žádné potvrzování, žádná kontrola neporušenosti obsahu
- AAL2 je protokol pro přenos dat
 - v reálném čase (malé zpoždění a rozptyl)
 - proměnnou rychlostí (bit rate)
 - spojovaným způsobem
- AAL1 je vhodná pro nekomprimované „živé“ přenosy (audio, video)
 - které mají „plynulý přísun dat“
- AAL2 je zaměřena spíše na komprimované přenosy
 - které vykazují nerovnoměrné požadavky, ale potřebují rychlou odezvu a žádné rozptyly ve zpoždění

v zásadě
odpovídá CBR

AAL3/4

- je protokolem pro přenosy, které nejsou citlivé na časové závislosti
 - a spíše jim vadí ztráty a chyby
 - liší se ve spojovaném (AAL3) a nespojovaném (AAL4) režimu
- autoři dospěli k závěru, že nejsou potřebné 2 různé protokoly
- AAL3/4 může fungovat ve 2 režimech:
 - stream režim
 - chová se jako „roura“, nejsou hranice mezi částmi dat
 - režim zpráv (paketů)
 - jsou zasílány celé zprávy (najednou, jako celek)
- AAL3/4 umožňuje logický multiplex
 - více relací v rámci virtuálního okruhu

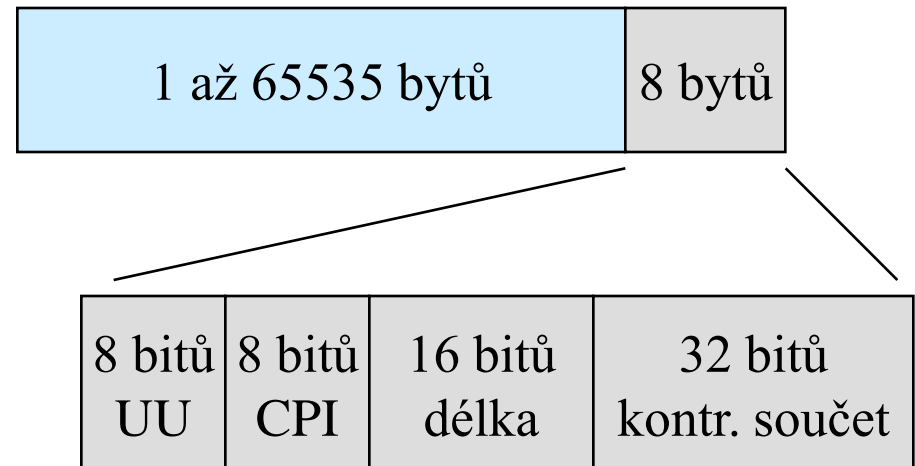
odpovídá nrt-VBR a ABR

	A		B		C		D	
přenos	real-time	ne	real-time	ne	real-time	ne	real-time	ne
bit rate	konstatní		variabilní		konstatní		variabilní	
režim	spojovaný přenos				nespojovaný přenos			

AAL5

- protokoly AAL1, AAL2 a AAL3/4 vznikly „ve světě spojů“
 - a „ve světě počítačů“ jsou považovány za zbytečně složité a velmi neefektivní
- protokol AAL5 je reakcí „světa počítačů“ na ostatní AAL
- AAL5 nabízí
 - spolehlivý i nespolehlivý přenos
 - stream režim i režim zpráv
 - zprávy mohou být až 64KB (lze např. přímo vkládat IP datagramy)
- AAL5 má menší režii než AAL3/4
 - k přenášeným bytům přidává méně svých režijních bytů
- od vyšších vrstev přijímá AAL5 „velké“ bloky
 - až 64 KB
- tyto bloky vkládá do vlastního rámce
 - s 8-bytovou „patičkou“
- rámec pak „rozseká“ na kusy á 48 bytů
 - které vkládá do buněk
 - poslední buňka rámce se pozná podle jednoho bitu v položce hlavičky, která vyjadřuje typ obsahu

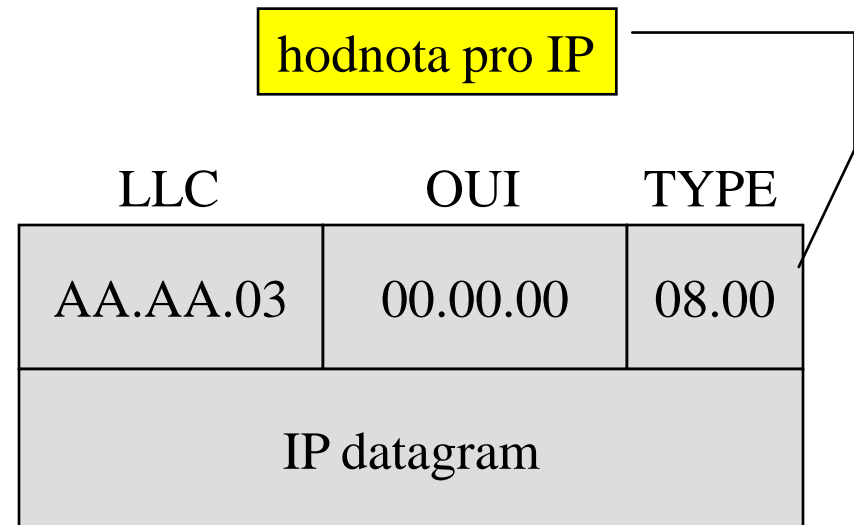
rámec AAL5



problém s AAL5

- z AAL5-rámce není poznat
 - od koho pochází
 - proto nemůže AAL5 poskytovat obousměrný multicast
 - jakému protokolu odpovídá obsah rámce
- možné řešení:
 - VC Multiplexing
 - po každém kanálu (VC) bude přenášen pouze jeden typ paketů

- možné řešení:
 - LLC/SNAP encapsulation
 - AAL5 rámec se zabalí do rámce LLC a SNAP



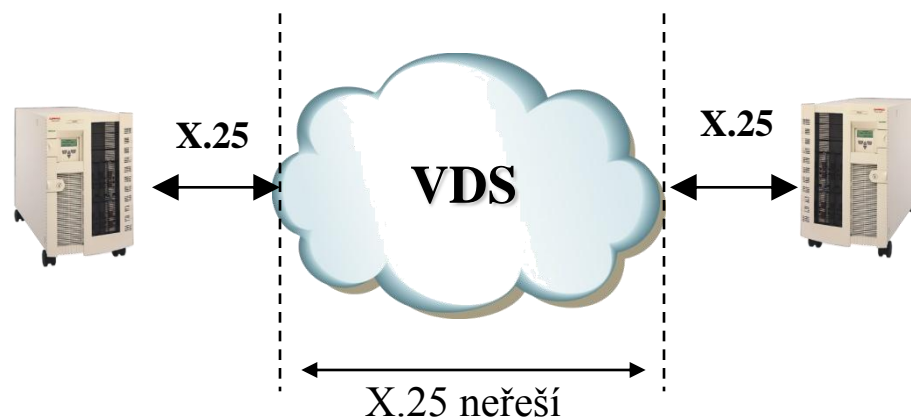
řeší to problém s identifikací obsahu

ATM - kritika

- technologie ATM vznikala hodně „od zeleného stolu“
 - a dosud není zcela dokončena
 - některé aspekty ještě nejsou ani vyřešeny, natož standardizovány
 - vývoj ATM byl doprovázen mnoha chybami a omyly
 - některé věci se ukázaly jako nesprávné a byly dodatečně měněny
- „koncepte“ ATM je dosti odlišná od ostatních technologií, hlavně ve světě LAN
 - je relativně těžké „navázat“ např. IP, IPX, multimedia apod. na ATM
- ATM příliš nezapadá do referenčního modelu ISO/OSI
 - role vrstev je dosti odlišná
- ATM se snaží být univerzální
 - vyhovět různým požadavkům současně
- ... ale platí za to příliš vysokou daň:
 - ATM je příliš složité
 - příliš těžkopádné, málo flexibilní
 - příliš neefektivní
 - hodně drahé
- představa, že ATM bude konvergovanou technologií, se nevyplnila
- ATM prohrává v souboji v jinými technologiemi
 - např. Gb Ethernet
 - které nejsou tak „dokonalé“, ale jsou pružnější, efektivnější a lacinější
- ATM se stále používá:
 - v páteřních sítích kde je nutná koexistence hlasových, obrazových a datových provozů
 - např. Telefónica O2 Czech Republic má celorepublikovou páteřní síť ATM

CCITT (ITU): X.25

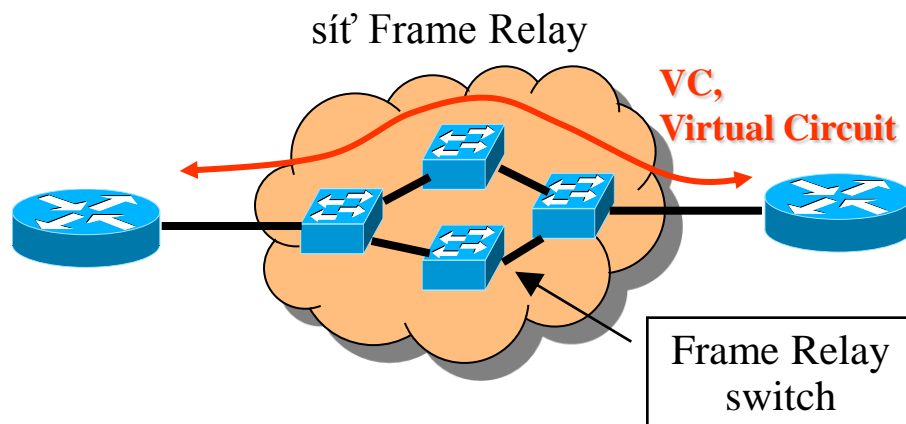
- X.25 je přenosová technologie, vytvořená pro potřeby veřejných datových sítí
 - v polovině 70.let
 - vznikla ve světě spojů
 - v rámci CCITT (International Consultative Committee for Telegraphy and Telephony), od roku 1993 ITU (International Consultative Committee for Telegraphy and Telephony)
 - pokrývá fyzickou, linkovou a síťovou vrstvu
 - "zapadá" do 3 nejnižších vrstev RM ISO/OSI
 - funguje na principu přepojování paketů
- X.25 funguje spojovaně
 - podobně jako ATM
 - používá virtuální okruhy (VC)
 - řeší řízení toku
- X.25 funguje spolehlivě
 - na rozdíl od ATM
 - má zabudovány silné mechanismy pro korekci chyb
 - předpokládá, že přenosové cesty jsou hodně nespolehlivé a chyb je hodně



- X.25 řeší připojování koncových uzlů k veřejným datovým sítím
 - neřeší "vnitřní" fungování VDS
- X.25 předpokládá "inteligenci v síti"
 - chytrou síť, hloupé terminály
 - dnes se vychází spíše z opačného předpokladu
 - hloupá síť, chytré uzly
- dnes je X.25 překonané
 - nedokázalo se zbavit zabudovaných mechanismů pro zajištění robustnosti (spolehlivosti)
 - dnes by X.25 pro směrovače představovalo příliš velkou zátěž

Frame Relay (FR)

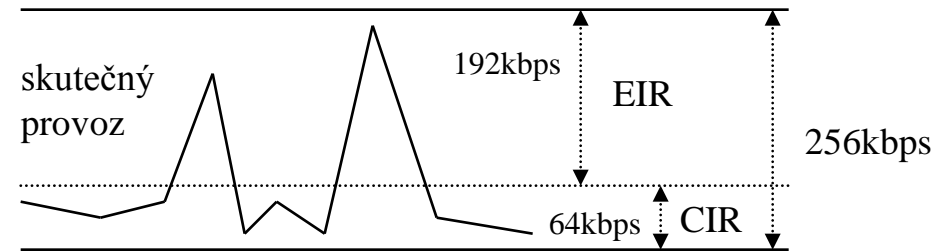
- linková technologie
 - pokrývá linkovou (a fyzickou) vrstvu
- vznikla v polovině 80. let,
 - používá se od 90. let
 - hlavně pro vzájemné propojování sítí
- funguje spojovaně
 - vytváří virtuální okruhy (VC)
- funguje nespolehlivě
 - nezajišťuje spolehlivost
 - předpokládá, že přenosové cesty nebudou příliš zatížené chybami
 - již "nenese zátěž robustnosti" jako X.25
 - v porovnání s X.25 je FR výrazně "odlehčené"
- má řízení toku
 - flow control
 - ale pouze "end-to-end",
 - nikoli "per hop" – v každém uzlu



- virtuální okruhy FR jsou realizovány na linkové vrstvě!!
 - Frame Relay zajišťuje end-to-end komunikaci na linkové vrstvě !!!!
 - stejně jako ATM, v rozporu s RM ISO/OSI
- představa:
 - virtuální okruh FR je analogie "kusu drátu"
 - analogie (vyhrazené) pevné linky, vedené skrze sdílenou infrastrukturu

Frame Relay (FR)

- Frame Relay přenáší linkové rámce
 - do kterých se vkládají např. IP pakety
 - max. velikost rámce 4096 bytů, v praxi spíše kolem 1600 bytů
 - přizpůsobení Ethernetu
- Frame Relay se snaží garantovat přenosovou kapacitu
 - na principu, který je obdobný režimu ABR (Available Bit Rate) u ATM
 - je garantováno minimum
 - tzv. **CIR**, Committed Information Rate
 - navíc lze připustit ještě **EIR**, Extended Information Rate



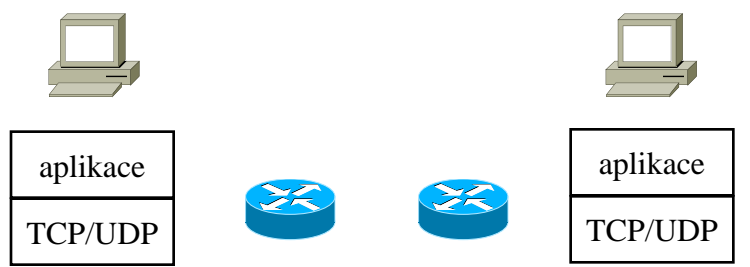
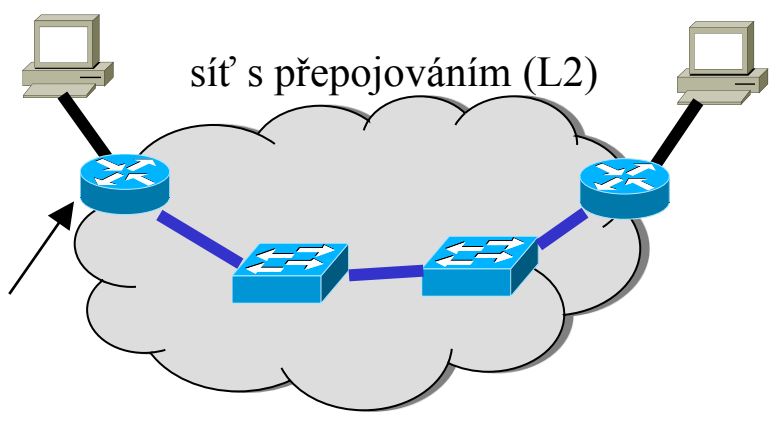
- lze garantovat také
 - B_C : Committed Burst Size
 - a umožnit B_E : Extended Burst Size
 - velikost dávky (burst)
- rámce, které na vstupu do FR sítě překračují dohodnuté CIR (či B_C), jsou označeny příznakem DE
 - Discard Eligibility
 - síť je může zahodit, pokud je nebude schopna přenést

IP streams, tag/label switching

- protokol IP funguje nespojovaně
 - každý IP paket je přenášen nezávisle na ostatních paketech
 - vhodná cesta pro jeho přenos se hledá vždy znovu
 - neefektivní, hlavně pro "rychlé" a spojované technologie nižších vrstev, jako je ATM
- přenosové technologie nižších vrstev fungují spojovaně
 - je velká reže s "mapováním" nespojovaného fungování na spojované
 - nejhorší případ: pro každý paket se zřizuje samostatné spojení
- pozorování:
 - komunikace mezi dvěma koncovými uzly většinou není omezena jen na zaslání jednoho jediného paketu
 - většinou jde o určitou sekvenci paketů, které se přenáší mezi stejnými dvěma uzly
 - tj. nějaký "proud"
- nápad:
 - snažit se detekovat "proudy" IP paketů a ty přenášet spojovaným způsobem
 - což bude mnohem efektivnější
- IP Streams
 - jakou takovému "proudu" IP paketů
 - obdobně pro jiné protokoly
- nápad:
 - když už budou takovéto "proudy" detekovány:
 - všechny pakety v rámci proudu se označí "nálepkou"
 - anglicky: tag, label
 - a budou se přenášet na úrovni linkové vrstvy
 - jakýmkoli dostupným způsobem
 - přepínače (switch-e) se budou rozhodovat podle nálepky, nikoli podle obsahu IP paketu!!!
 - bude to tzv. "label switching", resp. "tag switching"
 - někdy se to označuje také jako IP switching

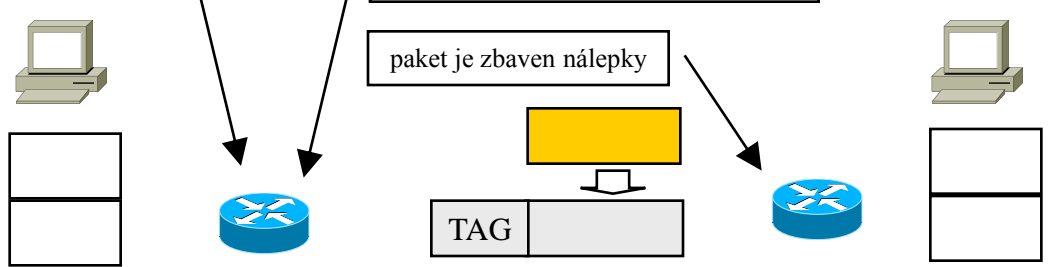
snaha nahradit nespojovaný způsob fungování spojovaným

IP streams, tag/label switching



IP	IP	IP	IP
MAC +LLC	MAC +LLC	MAC +LLC	MAC +LLC
PHY	PHY	PHY	PHY

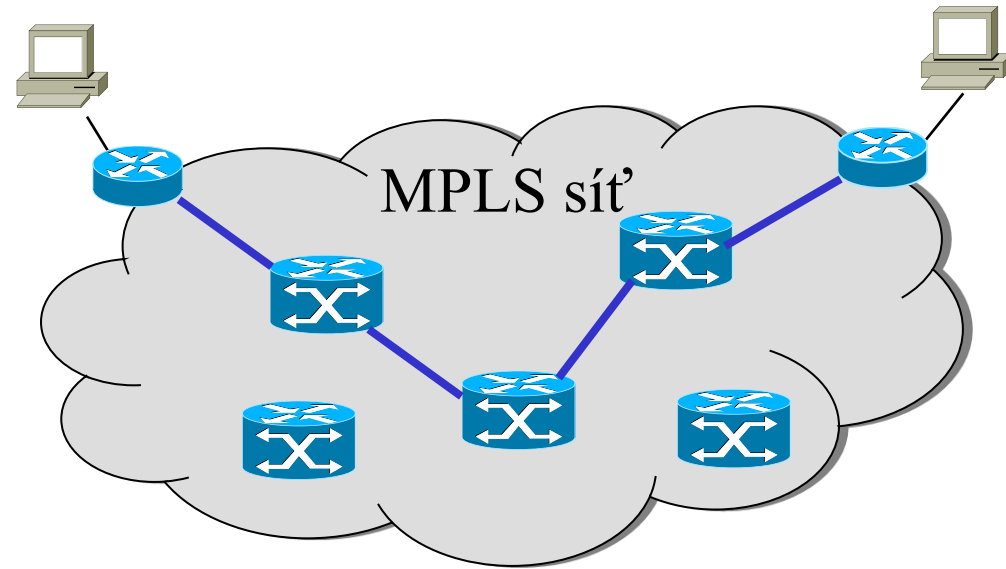
"okrajový" směrovač



IP	IP	IP	IP	IP	IP	IP	IP	IP
MAC +LLC	MAC +LLC	LS	LS	LS	MAC +LLC	MAC +LLC	MAC +LLC	MAC +LLC
PHY	PHY	PHY	PHY	PHY	PHY	PHY	PHY	PHY

MPLS (MultiProtocol Label Switching)

- standardizovaný způsob využití "label switching-u", z rodiny TCP/IP
 - dle RFC 3031, 3032
- snaha nahradit pomalé a složité směrování rychlejším přepínáním na úrovni linkové vrstvy
 - není vázáno jen na ATM – lze použít i jiné technologie na úrovni L2 !!!



- "Edge Router"



- detekuje IP streamy (resp. streamy dalších protokolů), hledá cestu skrze MPLS síť a opatřuje jednotlivé pakety nálepkami (labely)

- LSR (Label Switching Router)



- vnitřní prvek MPLS sítě, rozhoduje se pouze podle nálepky (labelu), nebere v úvahu obsah paketu
 - nemusí mu rozumět, může jít o různé protokoly)

- LSP (Label Switching Path)

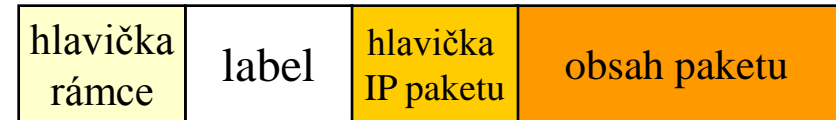
- cesta skrze MPLS síť, vytyčený po detekci streamu. Po této cestě jsou přenášeny pakety označené stejnou nálepkou

- LDP (Label Distribution Protocol)

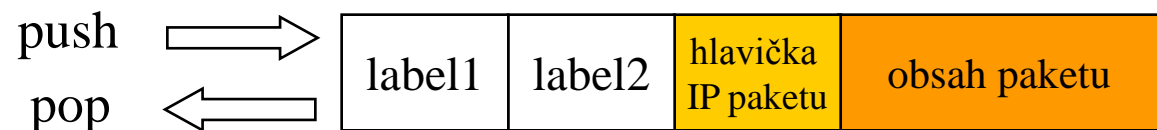
- protokol pro distribuci nálepek v rámci MPLS sítě (součást TCP/IP)

MPLS Label a FEC

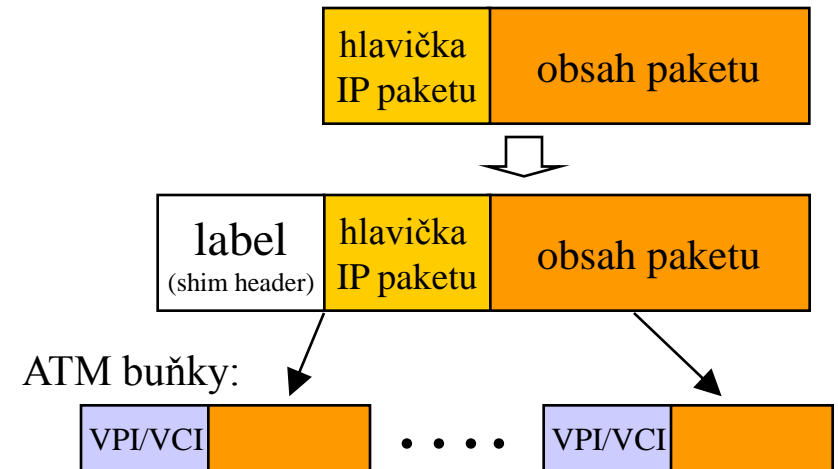
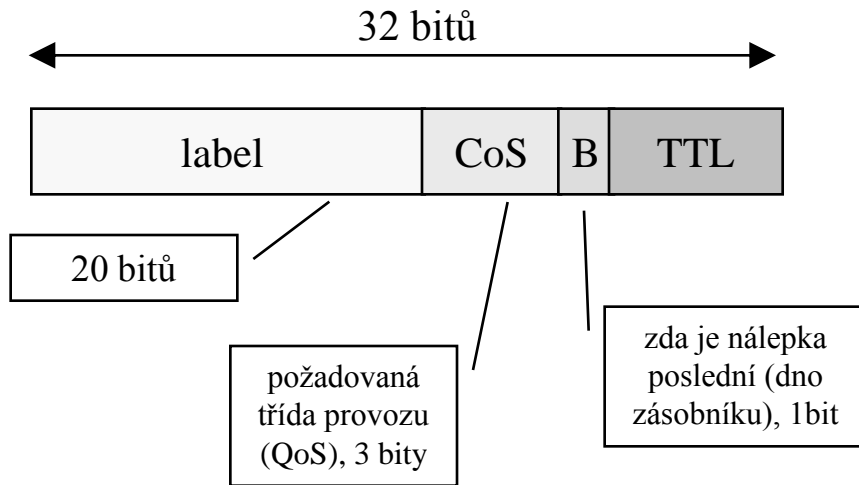
- místo "IP Stream" MPLS definuje FEC (Forward Equivalence Class):
 - třídy datového provozu, které "mají projít skrze MPLS síť" a mají stejné požadavky na svůj přenos
 - nejen pokud jde o výstupní bod, ale také např. požadavky na QoS
- nálepky (labels) se přiřazují podle příslušnosti k jednotlivým třídám FEC
 - rozhoduje o tom (Label) Edge Router
- nálepka (label) se vkládá mezi paket síťové vrstvy a hlavičku rámce linkové vrstvy
 - jako tzv. "shim header"
 - rámeček linkové vrstvy je různý podle toho, jaká technologie je použita pro realizaci MPLS
 - může to být např. ATM, Frame Relay, Gigabitový Ethernet apod.



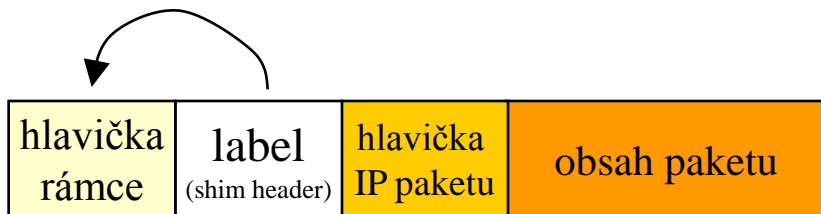
- nálepky (labels) jsou zobecněním cest a okruhů v ATM
- nálepky lze "skládat na sebe"
 - na principu zásobníku
 - lze využít například pro realizaci virtuálních sítí
 - vnější nálepka se vždy týká pouze daného přeskoku mezi dvěma LSR
 - každý LSR ji odstraní a nahradí novou nálepkou
 - odpovídá to přepisování čísel kanálů/okruhů u ATM, které se také při jednotlivých přeskocích liší



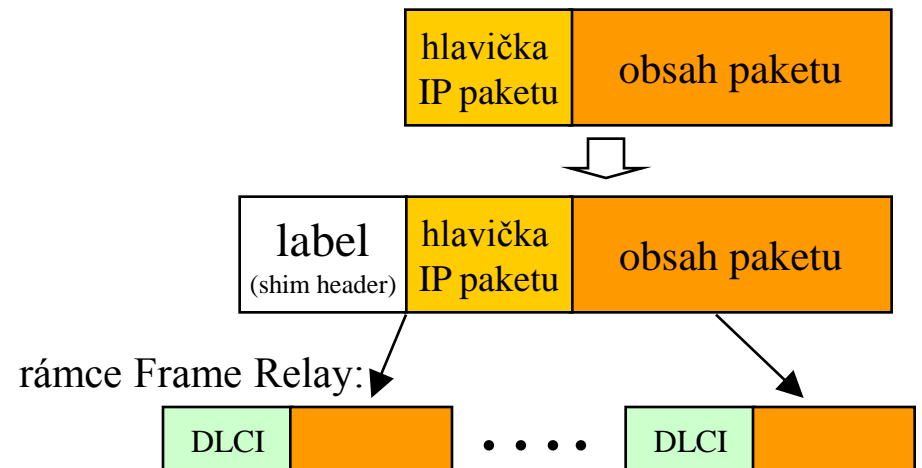
formát labelu



- nálepky (labels) jsou pro všechny technologie stejné
 - ale promítají se do různých hlaviček linkových rámců (buněk)



- MPLS může být realizováno s využitím ATM, nebo Frame Relay, TDM či dalších technologií



vlastnosti a využití MPLS

- rozhodování o příslušnosti k "proudu" (FEC, Forwarding Equivalence Class) může být založeno na:
 - topologii
 - navazuje na klasické směrování
 - žádosti
 - konkrétní přenosy si vyžádají určitou úroveň QoS
 - provozu
 - MPLS síť reaguje na dosavadní průběh provozu
 - kombinaci výše uvedeného
- celkově velmi pružné, lze aplikovat různé strategie
 - hodí se hlavně v páteřních sítích, kde lze rozlišovat různé druhy provozu
- MPLS vytváří "jednotný přenosový substrát"
 - obdobně jako protokol IP
 - ale na nižší úrovni
- "obvyklé" využití:
 - IP over MPLS
 - nebo jiné protokoly síťové vrstvy nad MPLS
- ale v úvahu připadá také
 - provozování protokolů linkové vrstvy nad MPLS
 - např.:
 - ATM over MPLS
 - Frame Relay over MPLS
 - Ethernet over MPLS
 - TDM over MPLS