

Počítačové sítě, v. 3.3



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



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

J. Peterka, 2008

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

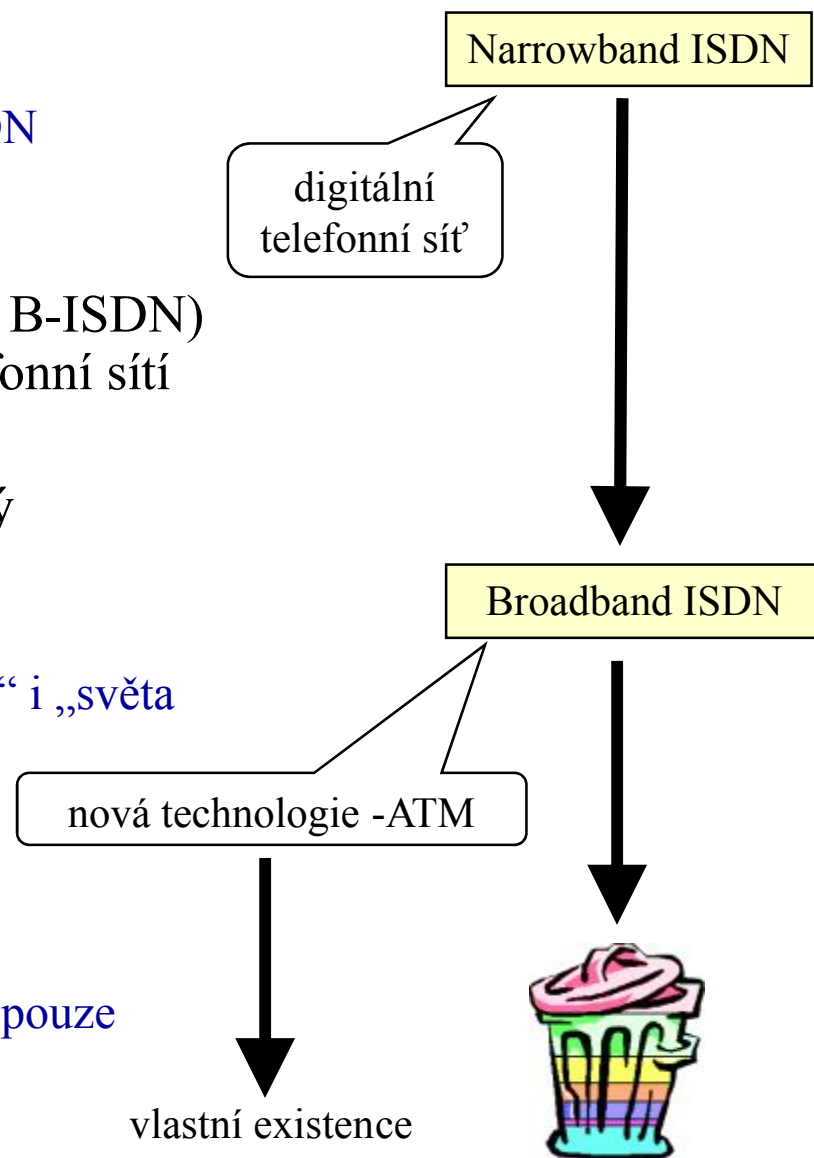
- světy spojů a počítačů si tradičně budovaly oddělené přenosové sítě, šité na míru vlastním požadavkům
 - svět spojů: "chytré" sítě, fungující na principu přepojování okruhů
 - svět počítačů: "hloupé" sítě, fungující na principu přepojování paketů
- důsledek:
 - bylo to (a stále je) neefektivní
- myšlenka:
 - **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



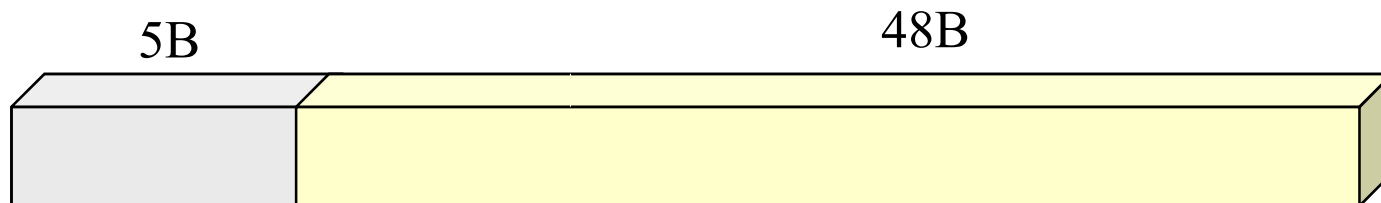
filosofie ATM: způsob přenosu

- **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

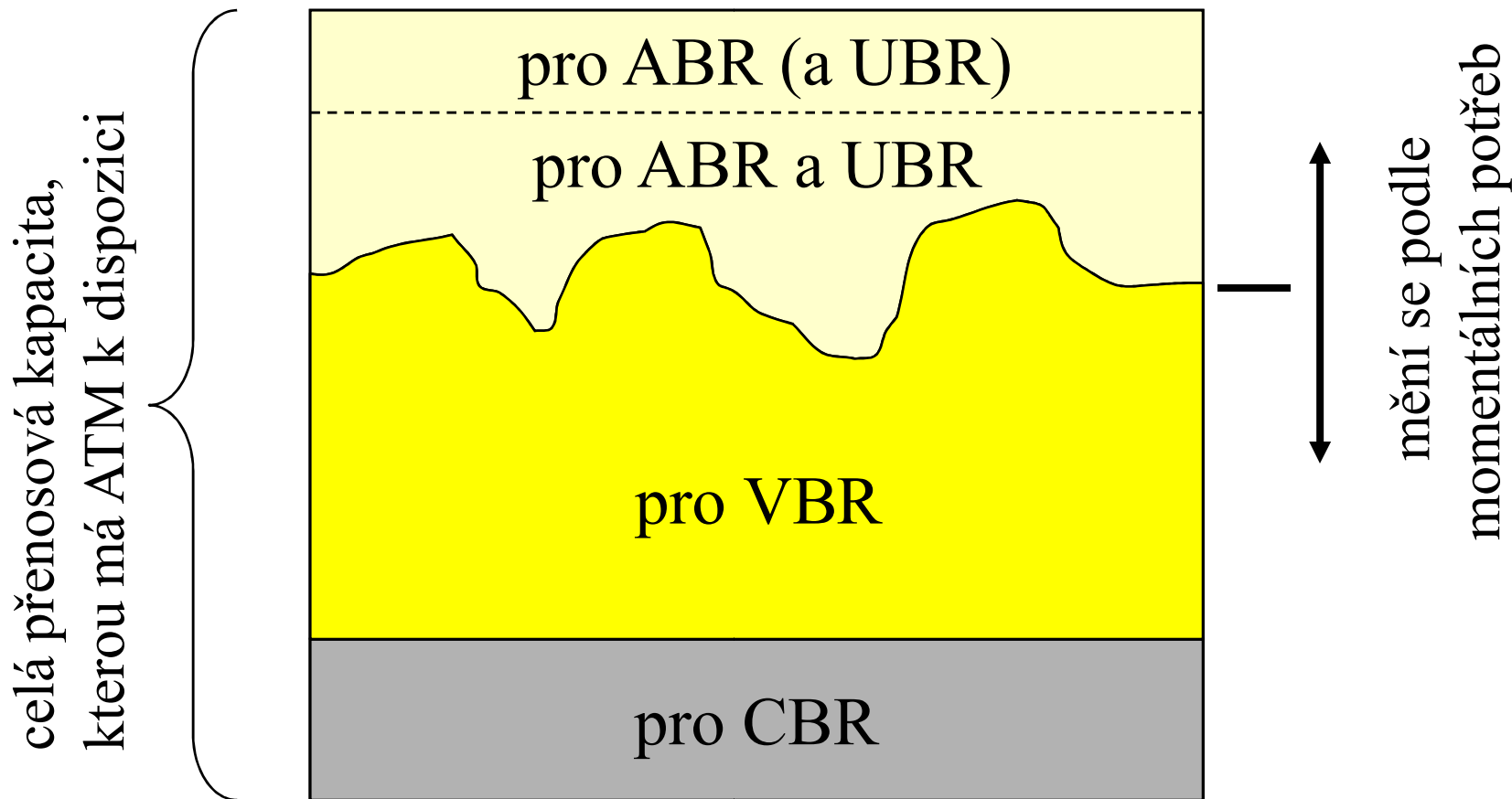
- kategorický požadavek „světa spojů“:
 - bloky velikosti max. 32 bytů
 - aby byl nějaký blok k dispozici, když je třeba něco rychle přenést
 - snižování latence
- kategorický požadavek „světa počítačů“
 - bloky velikost min. 64 bytů
 - aby nebyla tak velká režie
- nakonec zvítězil kompromis:
 $(32+64)/2 = 48$
- 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

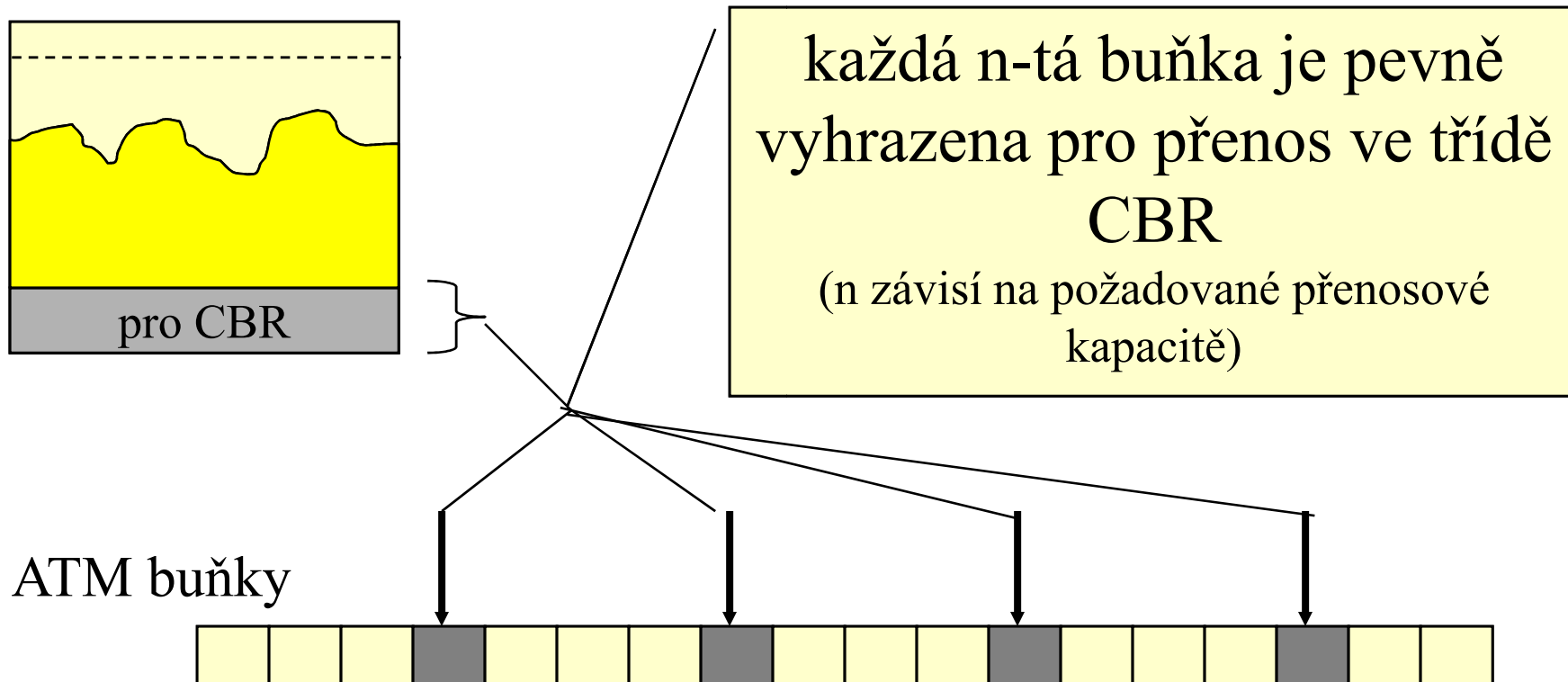


CBR, Constant Bit Rate

- 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

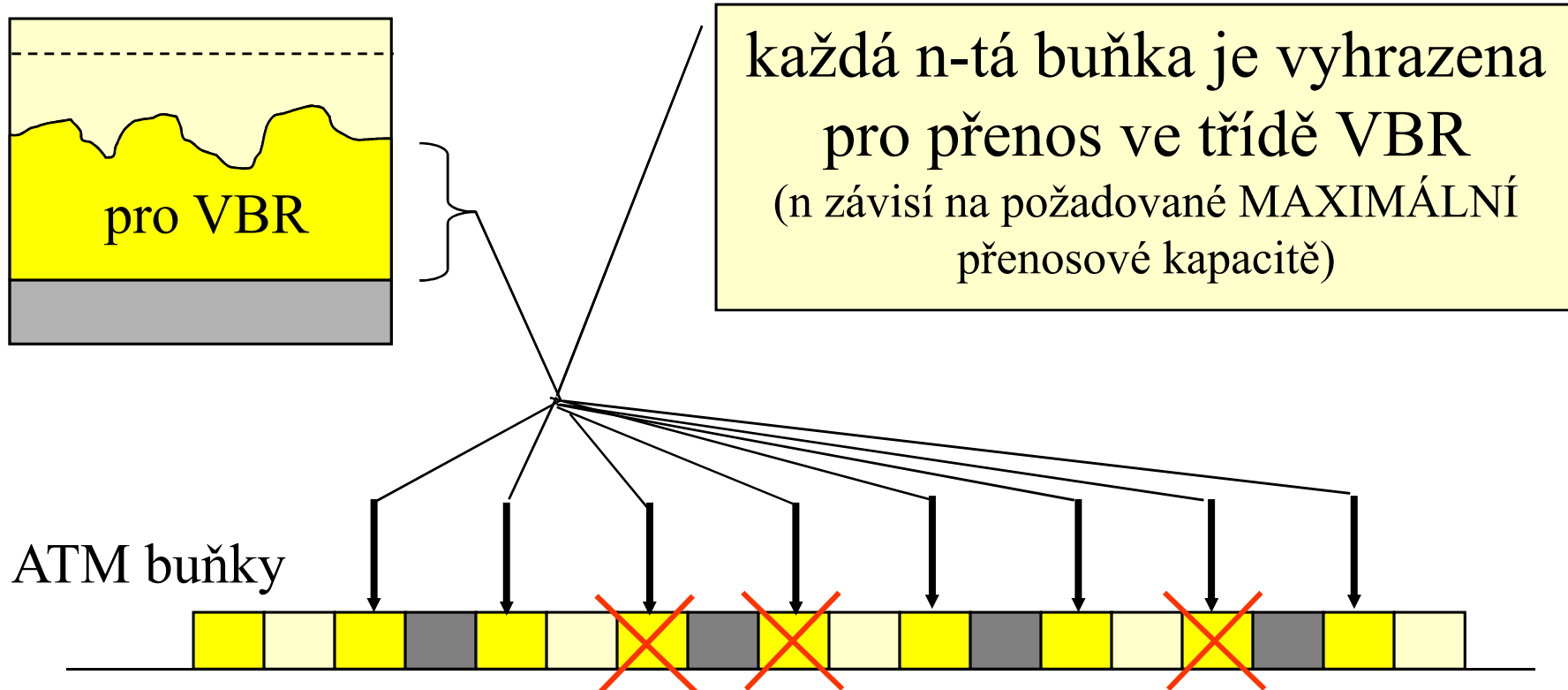


- buňka, přidělená v režimu CBR, již nemůže být „vrácena zpět“ a použita jinak
 - pro potřeby jiného přenosu

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

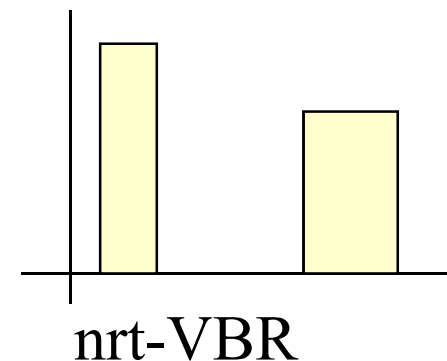
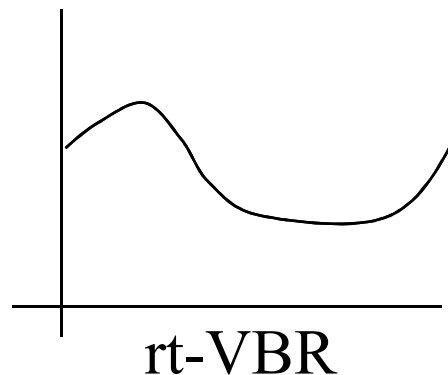


- buňka, přidělená v režimu VBR ale fakticky nevyužitá, může být „vrácena zpět“ a použita jinak
 - pro potřeby jiného přenosu

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

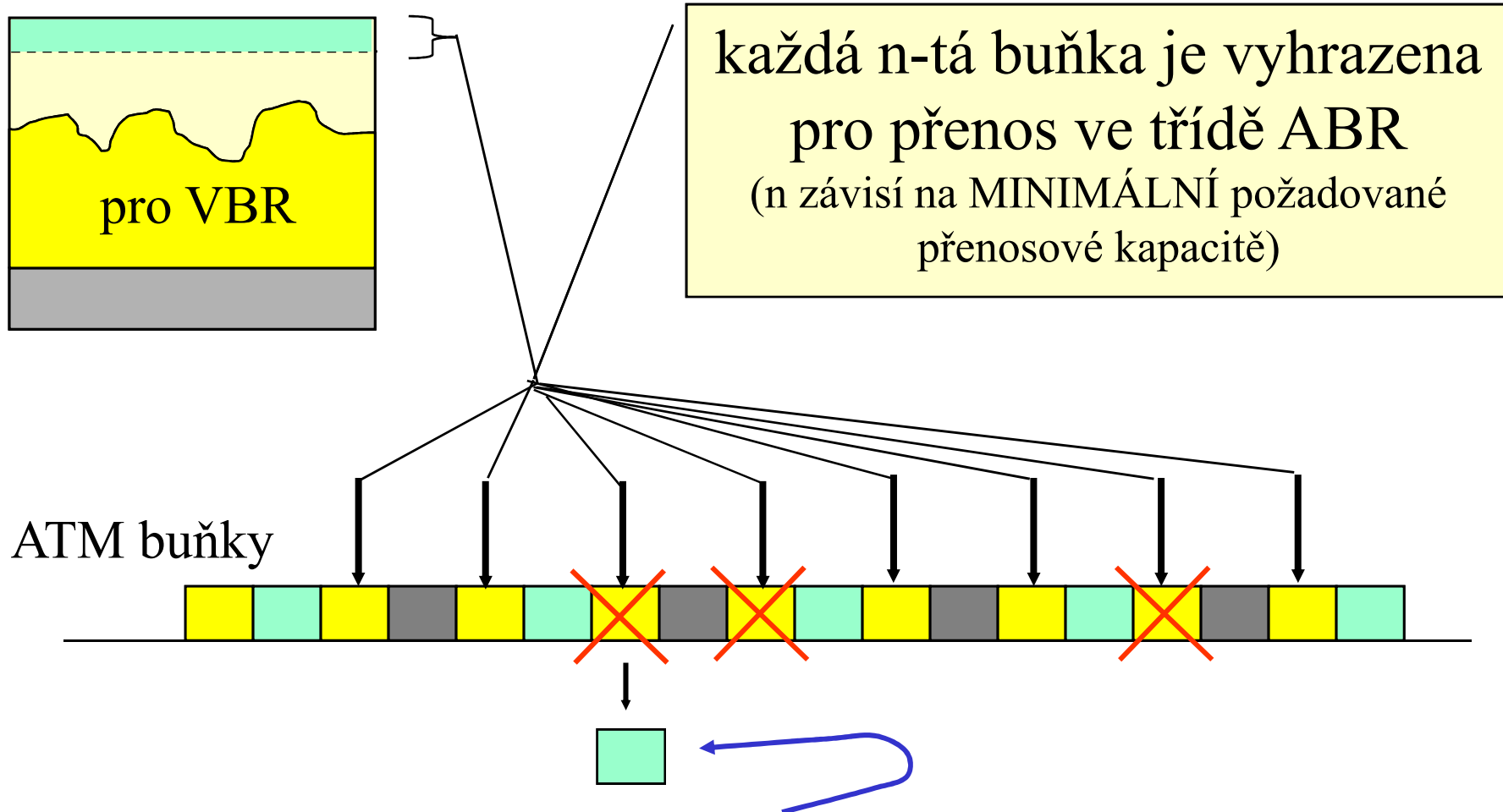
- **nrt-VBR**
 - **non-real-time VBR**
 - pro přenosy vykazující dávkový (bursty) charakter
 - ale stále náročné na přenosové zpoždění a pravidelnost doručování
 - **například:**
 - pro terminálový přístup do rezervačních systémů
 - pro transakční systémy



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

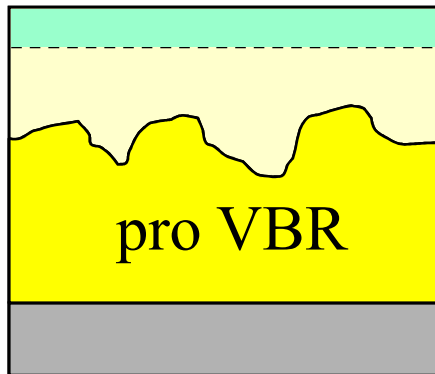
realizace ABR



UBR, Unspecified Bit Rate

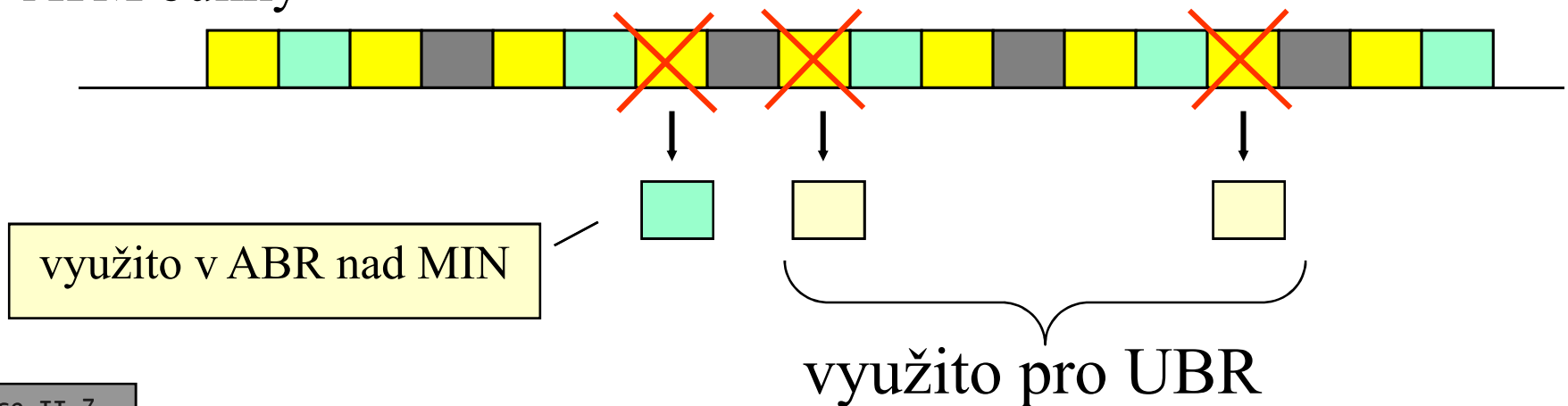
- v tomto režimu nejsou poskytovány žádné garance
 - požadavky jsou uspokojovány podle momentální situace
 - po splnění všech požadavků CBR, VBR a ABR
 - v zásadě jde o princip „best effort“ z klasických paketových přenosů
 - data jsou přenášena na principu FIFO
 - data k odeslání čekají v bufferu až 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

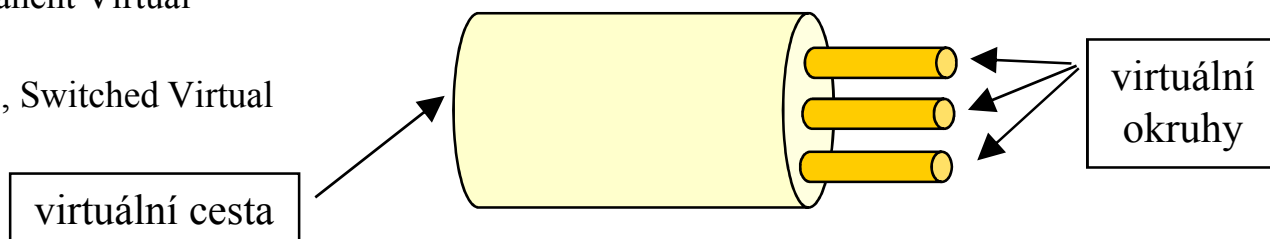


shrnutí

	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

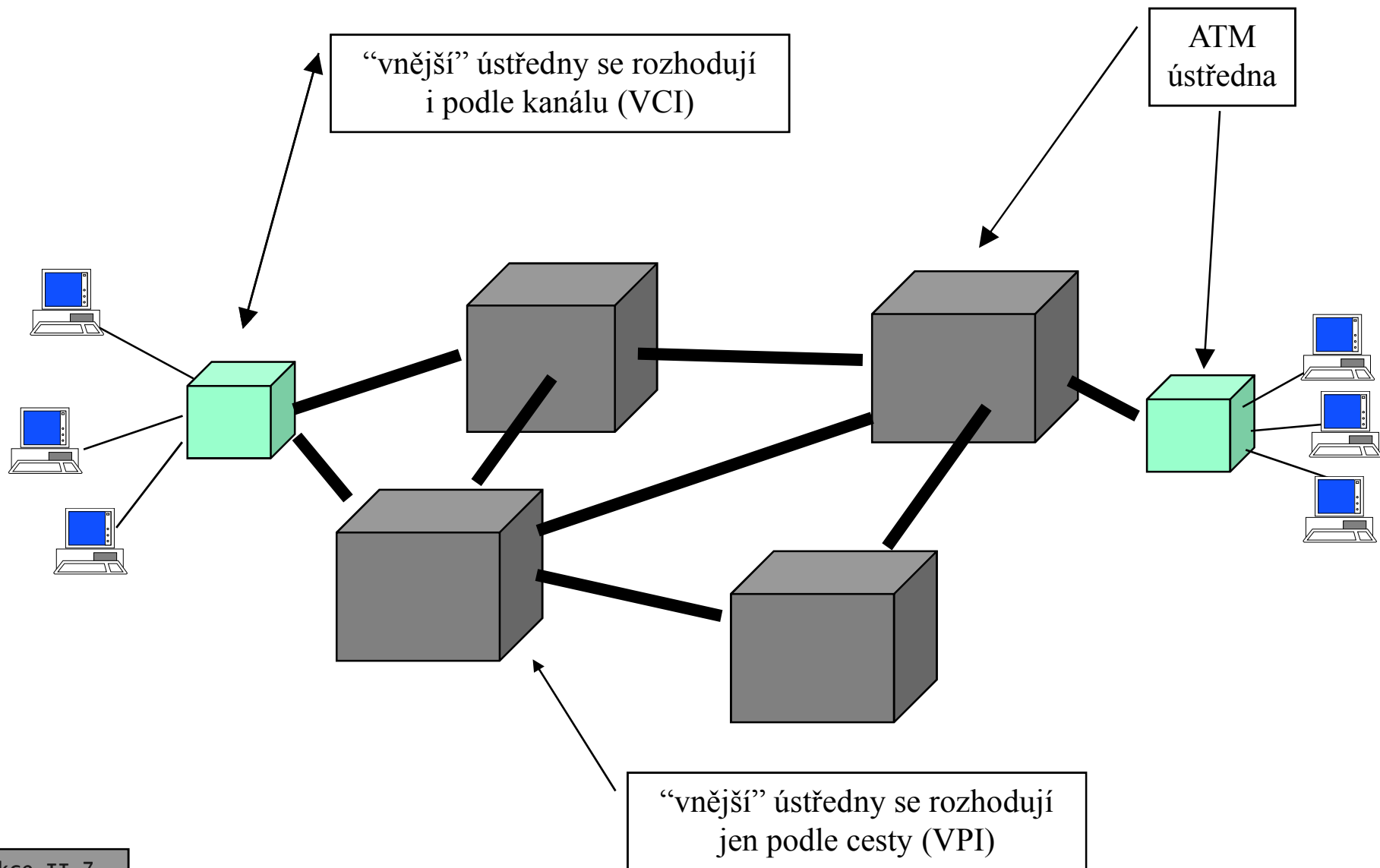
- ATM pracuje na spojovaném principu
 - **hlavičky buněk jsou hodně malé**
 - je v nich prostor na identifikaci spoje (okruhu)
 - **nespojovaný přenos v ATM prakticky nejde**
 - v hlavičkách malých buněk není prostor pro plnou adresu příjemce
 - je to proti filosofii ATM
- ATM nabízí virtuální okruhy (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)



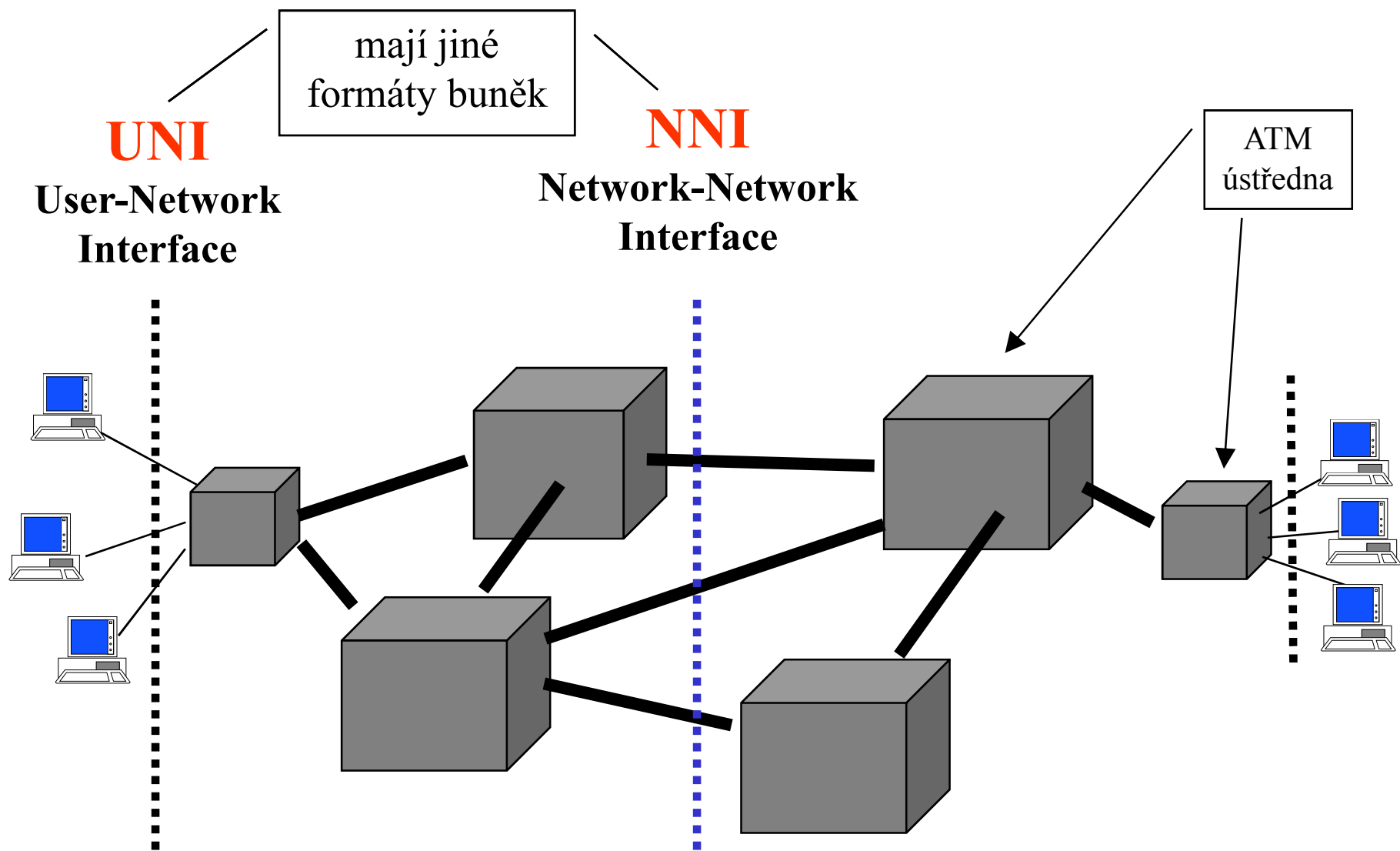
proč „okruhy a cesty“?

- 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 „přesměřovávat“ celé skupiny virtuálních okruhů,
 - například při výpadku celé přenosové cesty
 - snazší tvorba virtuálních podsítí
- nevýhody:
 - nutnost dvojí role ústředen
 - nutnost dvojího rozhraní
 - UNI a NNI

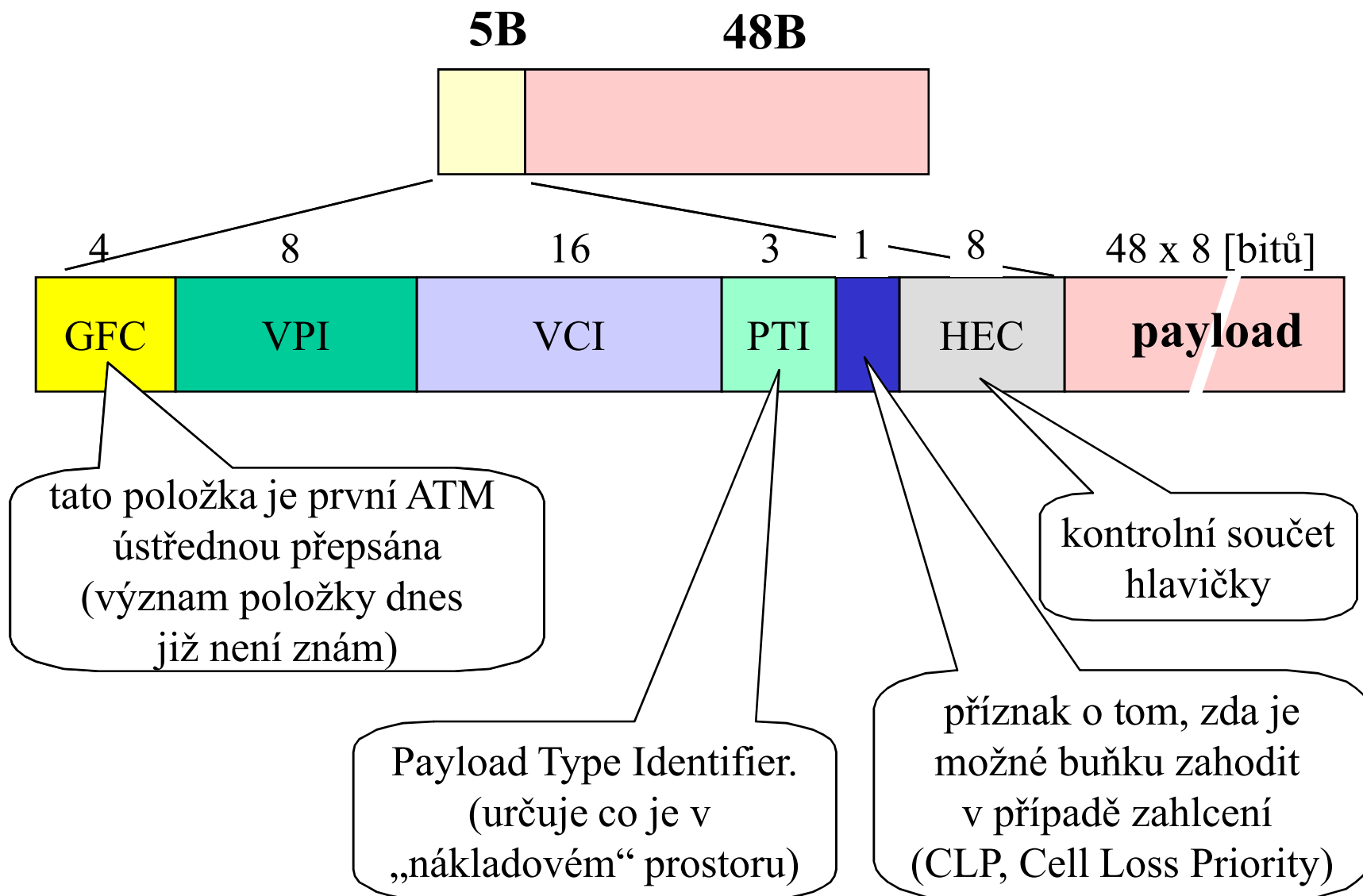
představa okruhů a cest



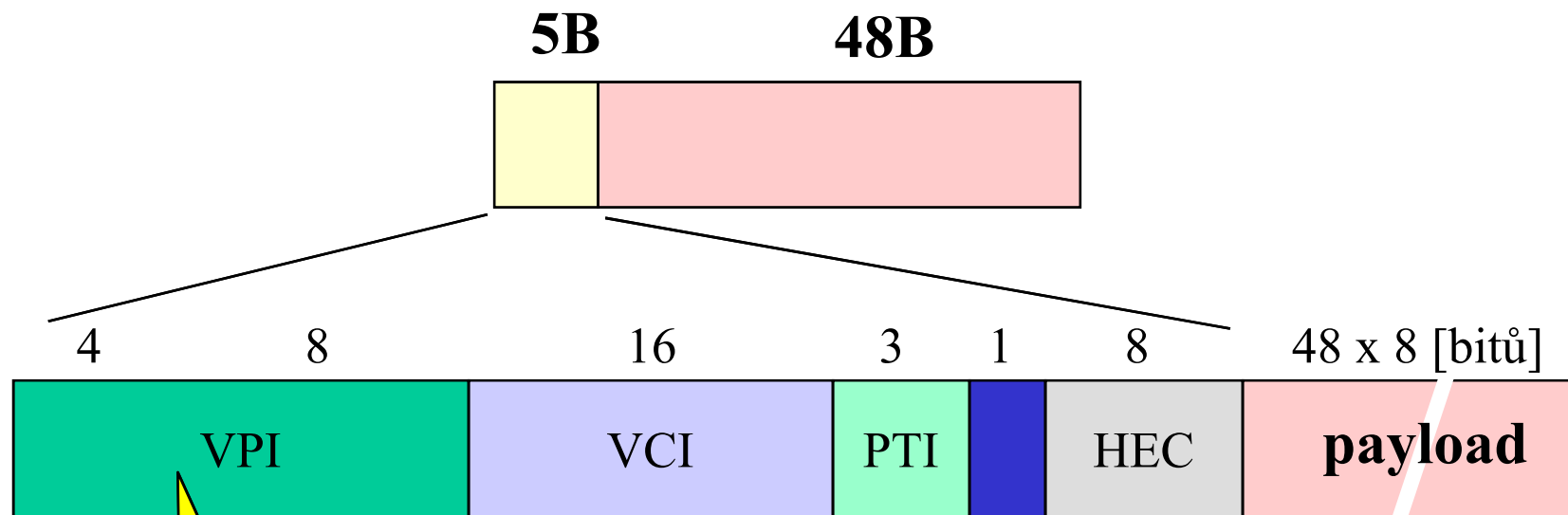
rozhraní UNI a NNI



formát ATM buňky - pro UNI



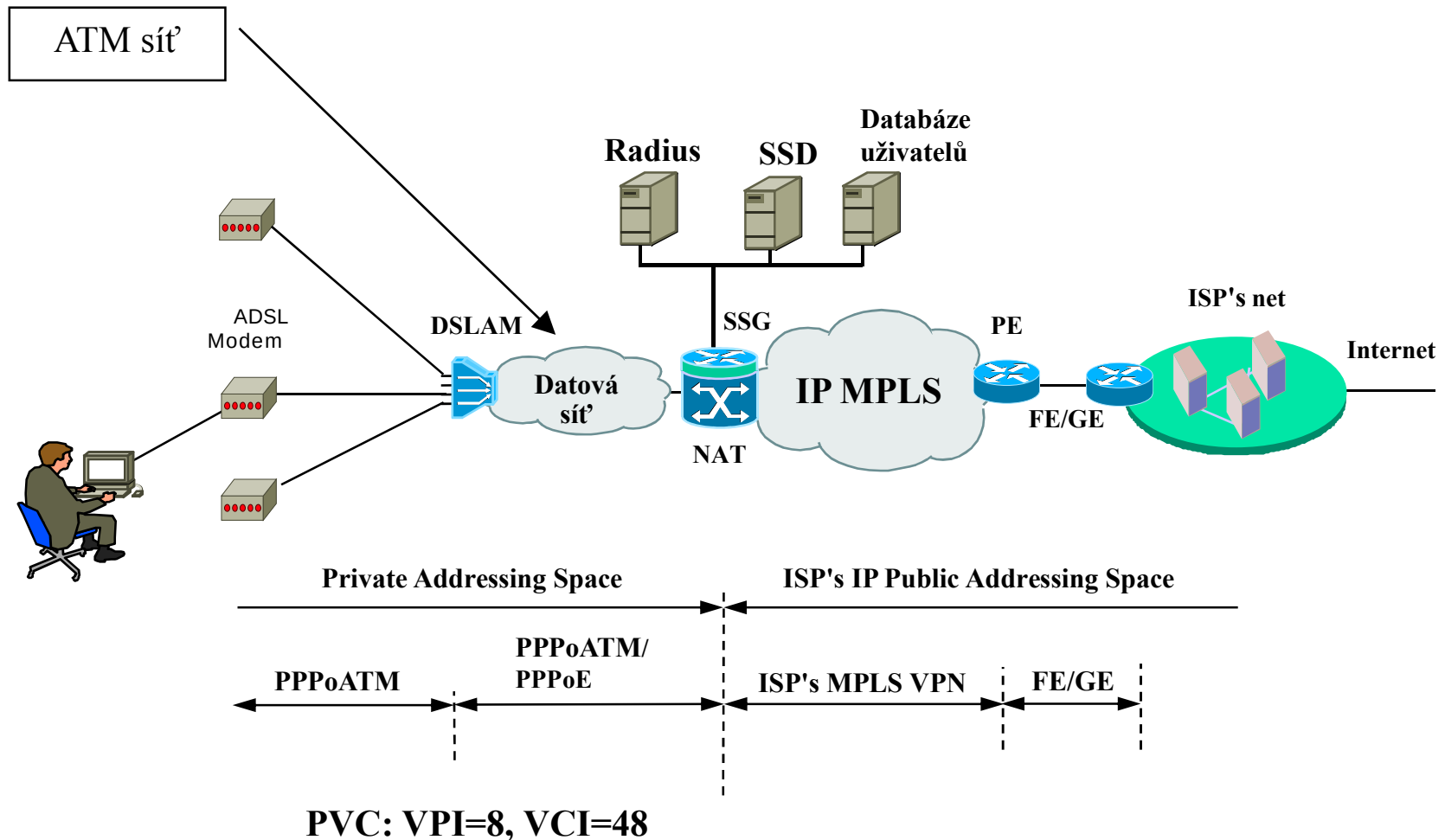
formát ATM buňky - pro NNI



identifikátor cesty je
„roztažen“ na 12 bitů

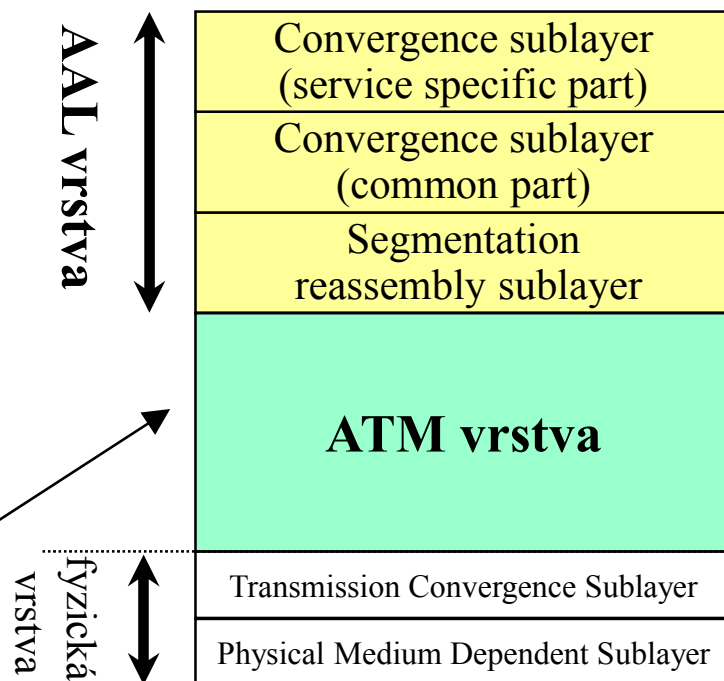
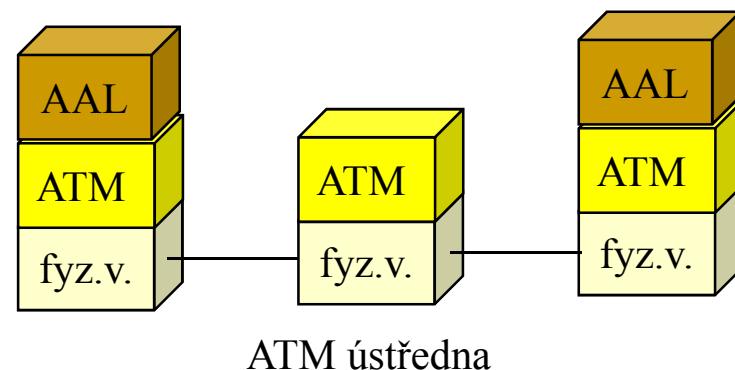
ostatní položky jsou
beze změny

příklad: ATM v rámci ADSL u ČTc

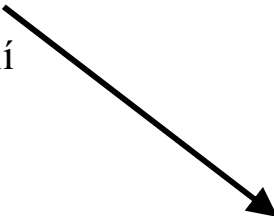


vrstvý model ATM

- 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**



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.

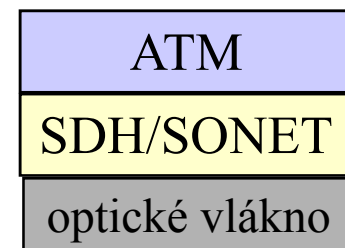
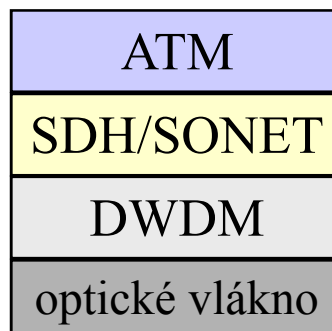
PDH

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

má za úkol rozdělovat data od aplikací na části po 44 až 48 bytech (dle protokolu)

připravuje „nařezaná“ data pro vložení do ATM buněk (přidává k nim další údaje)

Convergence
Sublayer (CS)

Segmentation and
Reassembly (SAR)
Sublayer

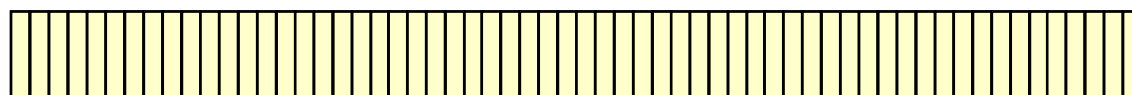
ATM vrstva

fyzická vrstva

AAL

aplikační data

aplikační data



přenos bitů

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

v zásadě
odpovídá CBR

- 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

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

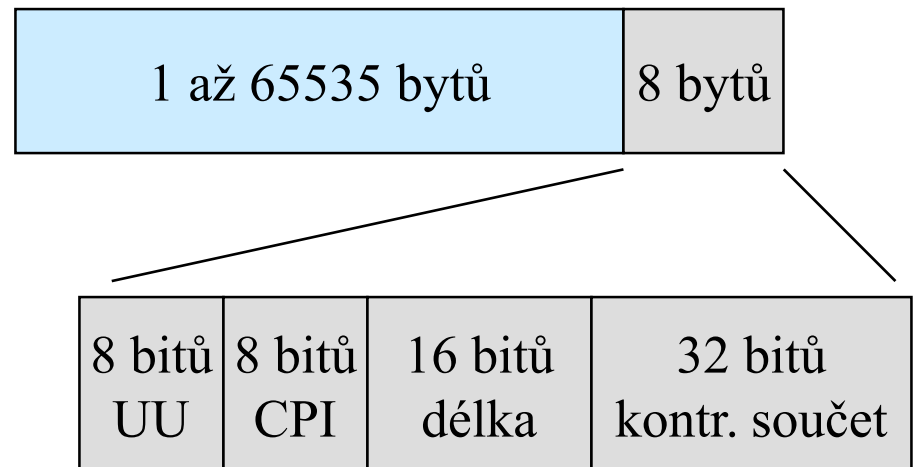
odpovídá nrt-VBR a ABR

	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

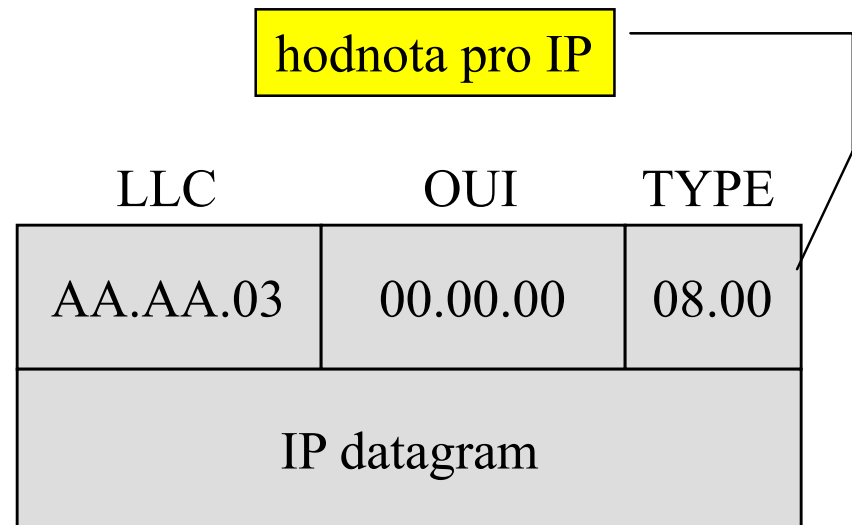
- protokoly AAL1, AAL2 a AAL3/4 vznikly „ve světě spojů“
 - a „ve světě počítačů“ jsou považovány za zbytečně složité a velmi neefektivní
- protokol AAL5 je reakcí „světa počítačů“ na ostatní AAL
- AAL5 nabízí
 - spolehlivý i nespolehlivý přenos
 - stream režim i režim zpráv
 - zprávy mohou být až 64KB (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
 - LLC/SNAP encapsulation
 - AAL5 rámec se zabalí do rámce LLC a SNAP



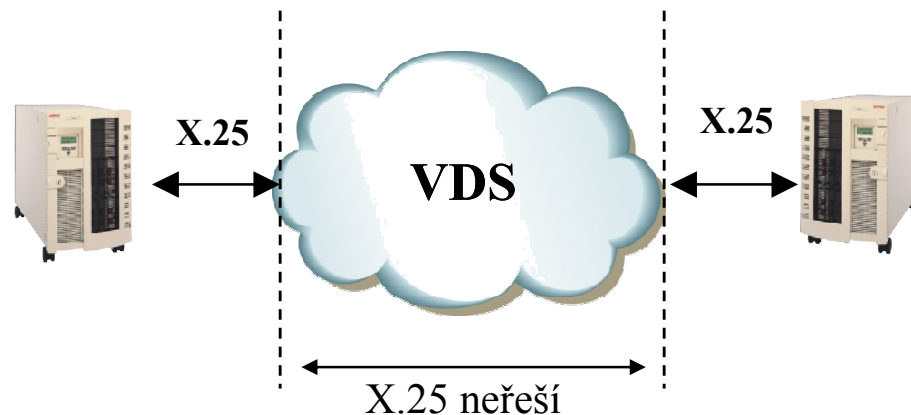
řeší to problém s identifikací obsahu

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
- „koncepce“ 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

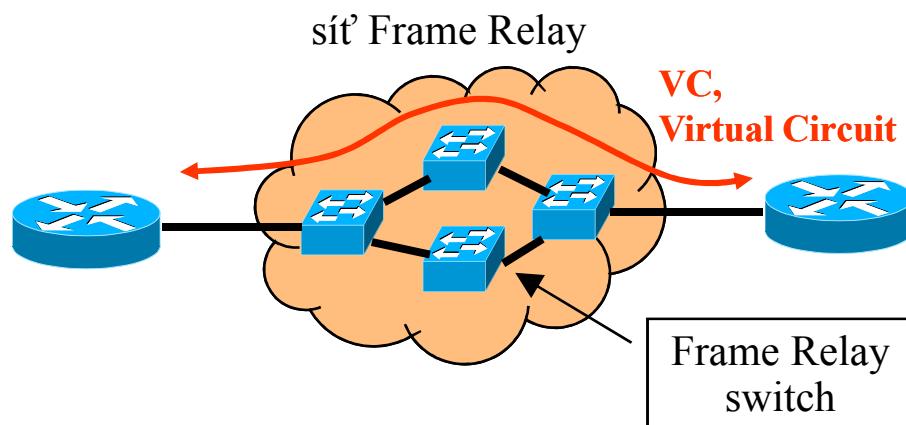
- X.25 je přenosová technologie, vytvořená pro potřeby veřejných datových sítí
 - v polovině 70. let
 - vznikla ve světě spojů
 - v rámci CCITT (International Consultative Committee for Telegraphy and Telephony), od roku 1993 ITU (International Consultative Committee for Telegraphy and Telephony)
 - 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)

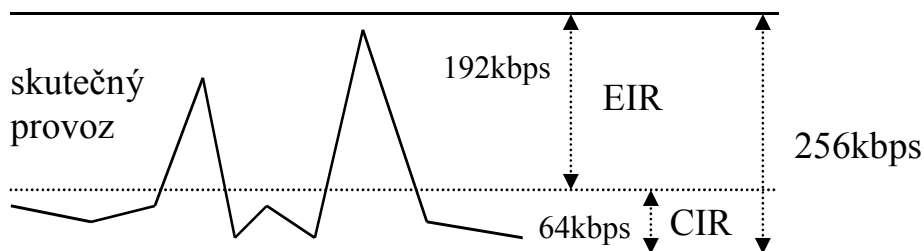
- linková technologie
 - pokrývá linkovou (a fyzickou) vrstvu
- vznikla v polovině 80. let,
 - používá se od 90. let
 - hlavně pro vzájemné propojování sítí
- funguje spojovaně
 - vytváří virtuální okruhy (VC)
- funguje nespolehlivě
 - nezajišťuje spolehlivost
 - předpokládá, že přenosové cesty nebudou 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



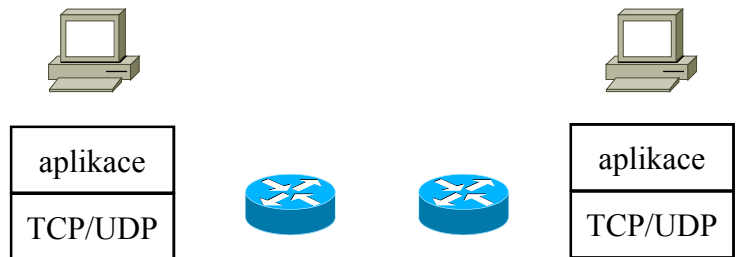
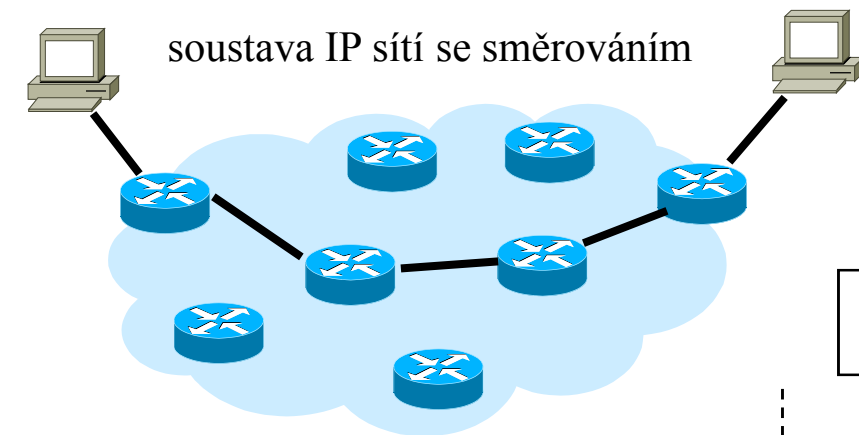
- lze garantovat také
 - B_C : Committed Burst Size
 - a umožnit B_E : Extended Burst Size
 - velikost dávky (burst)
- rámce, které na vstupu do FR sítě překračují dohodnuté CIR (či B_C), jsou označeny příznakem DE
 - Discard Eligibility
 - síť je může zahodit, pokud je nebude schopna přenést

IP streams, tag/label switching

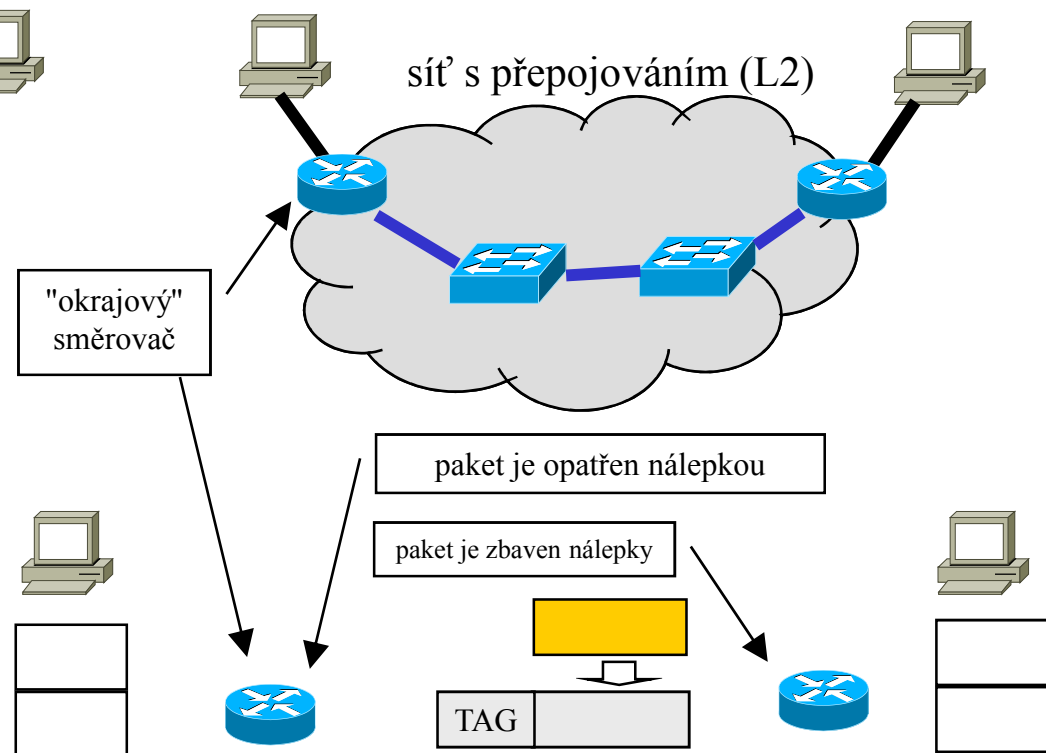
- protokol IP funguje nespojovaně
 - každý IP paket je přenášen nezávisle na ostatních paketech
 - vhodná cesta pro jeho přenos se hledá vždy znovu
 - neefektivní, hlavně pro "rychlé" a spojované technologie nižších vrstev, jako je ATM
- přenosové technologie nižších vrstev fungují spojovaně
 - je velká režie 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



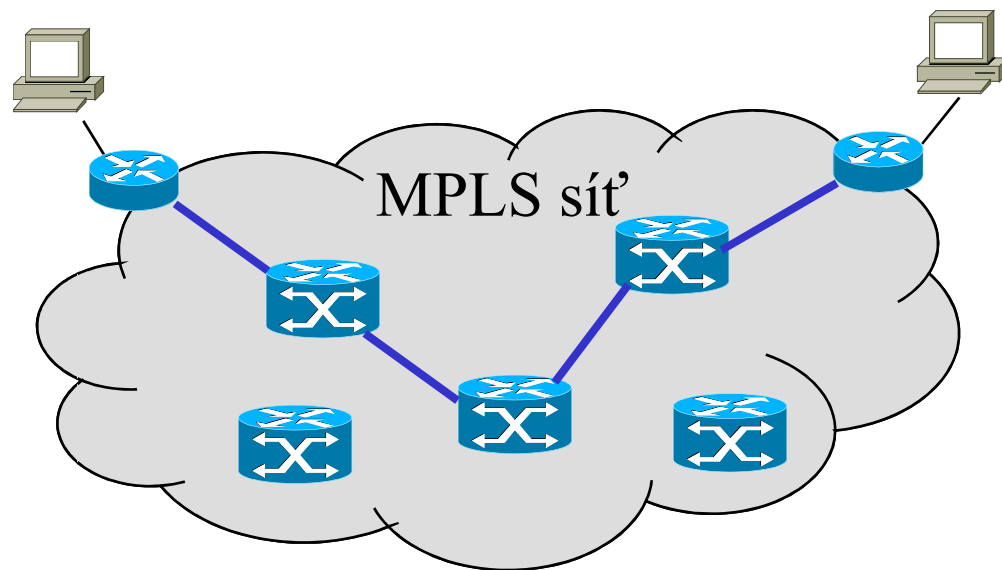
IP	IP	IP	IP
MAC+LLC	MAC+LLC	MAC+LLC	MAC+LLC
PHY	PHY	PHY	PHY



IP	IP	IP			IP	IP	IP
MAC+LLC	MAC+LLC	LS	LS	LS	LS	MAC+LLC	MAC+LLC
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 (labels)

- 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)

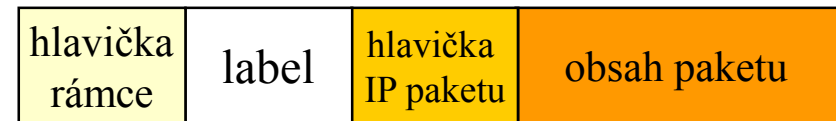
- cesta skrze MPLS síť, vytyčený po detekci streamu. Po této cestě jsou přenášeny pakety označené stejnou nálepkou

- LDP (Label Distribution Protocol)

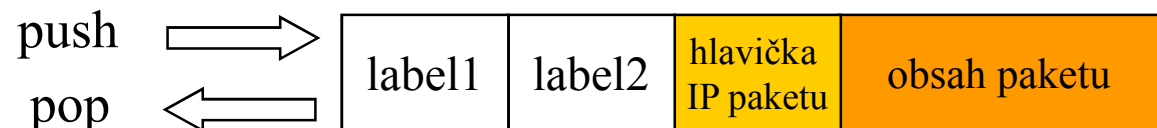
- protokol pro distribuci nálepek v rámci MPLS sítě (součást TCP/IP)

MPLS Label a FEC

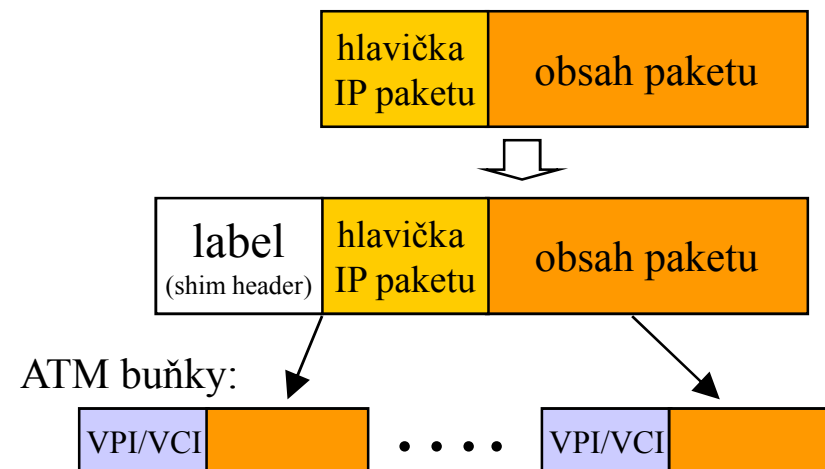
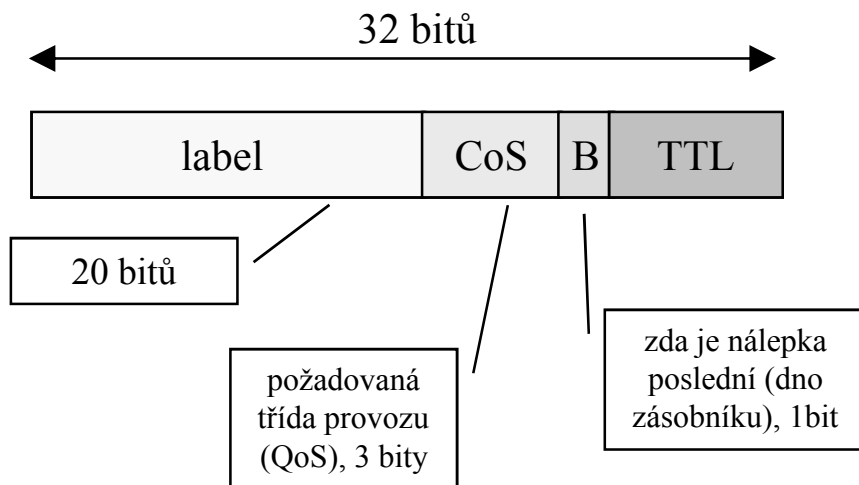
- místo "IP Stream" MPLS definuje FEC (Forward Equivalence Class):
 - třídy datového provozu, které "mají projít skrze MPLS síť" a mají stejné požadavky na svůj přenos
 - nejen pokud jde o výstupní bod, ale také např. požadavky na QoS
- nálepky (labels) se přiřazují podle příslušnosti k jednotlivým třídám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



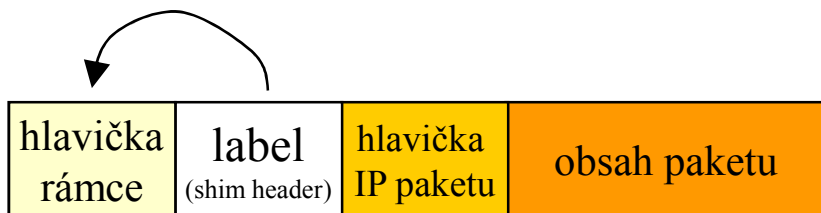
- nálepky (labels) jsou zobecněním cest a okruhů v ATM
- nálepky lze "skládat na sebe"
 - na principu zásobníku
 - lze využít například pro realizaci virtuálních sítí
 - vnější nálepka se vždy týká pouze daného přeskočů mezi dvěma LSR
 - každý LSR ji odstraní a nahradí novou nálepkou
 - odpovídá to přepisování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



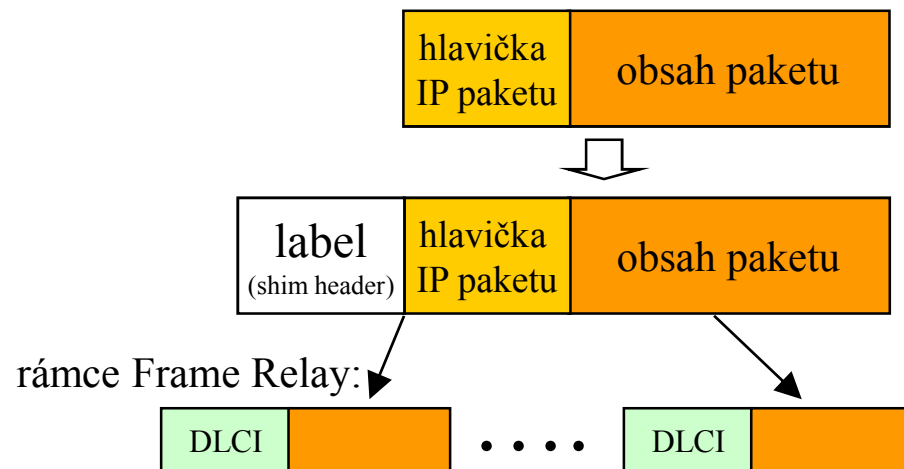
formát labelu



- 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