



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



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

*J. Peterka, 2007*

# 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

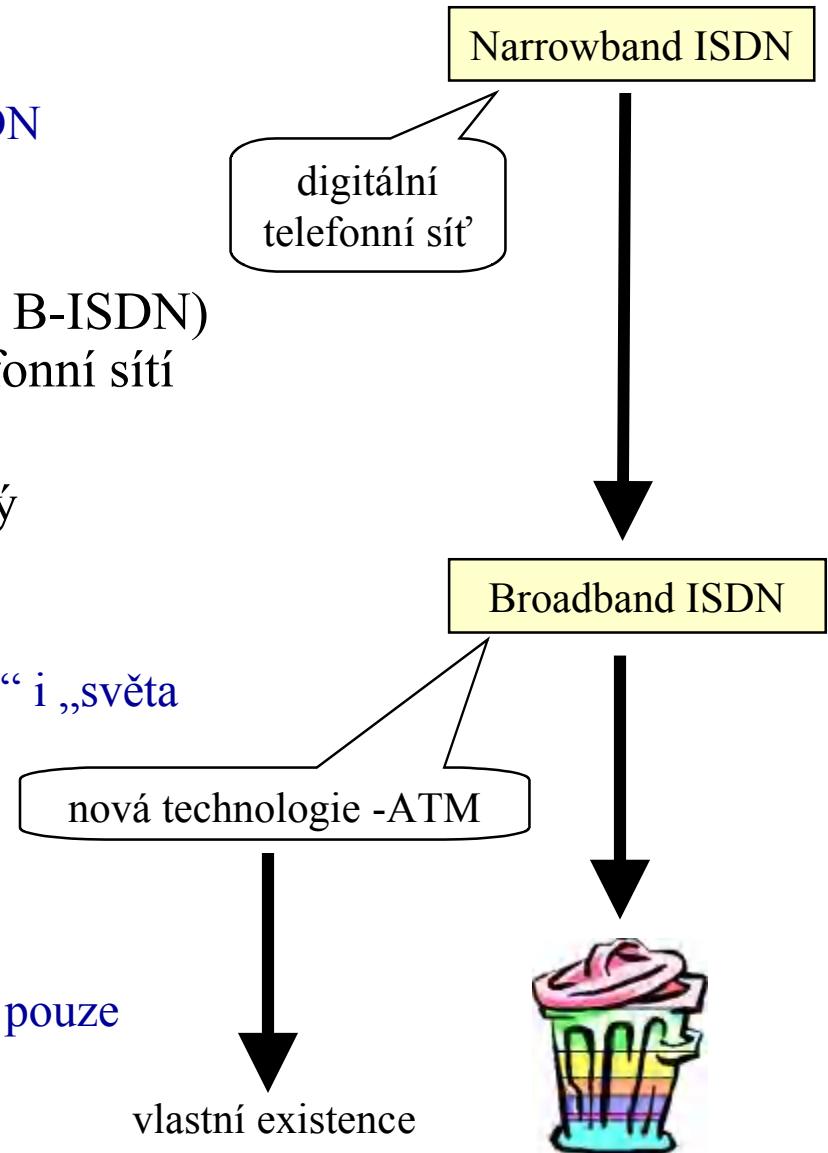
- světy spojů a počítačů si tradičně budovaly oddělené přenosové sítě, šité na míru vlastním požadavkům
  - svět spojů: "chytré" sítě, fungující na principu přepojování okruhů
  - svět počítačů: "hloupé" sítě, fungující na principu přepojování paketů
- důsledek:
  - bylo to (a stále je) neefektivní
-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



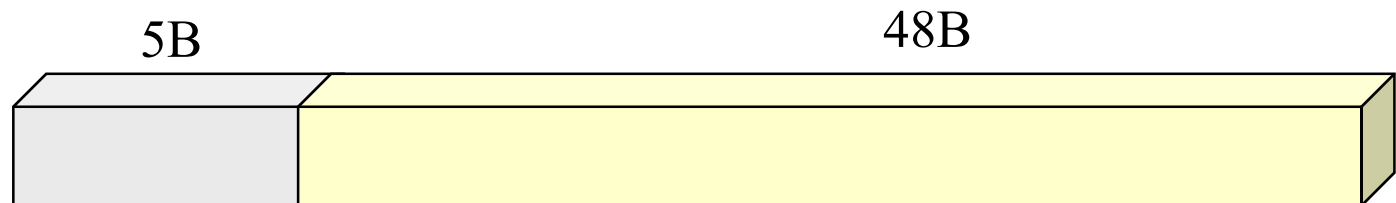
# filosofie ATM: způsob přenosu

- **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

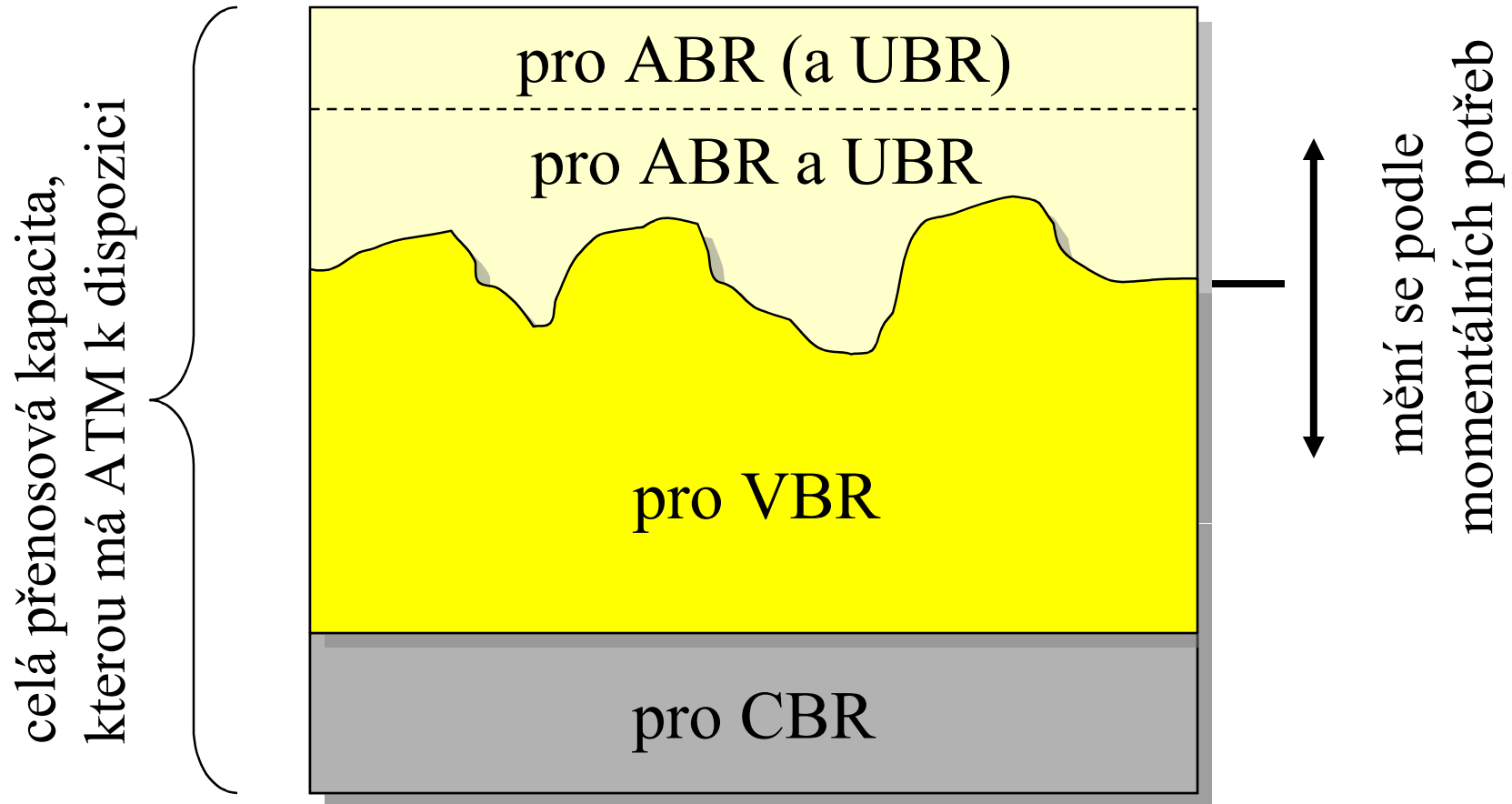
- kategorický požadavek „světa spojů“:
    - bloky velikosti max. 32 bytů
      - aby byl nějaký blok k dispozici, když je třeba něco rychle přenést
        - snižování latence
  - kategorický požadavek „světa počítačů“
    - bloky velikost min. 64 bytů
      - aby nebyla tak velká režie
  - nakonec 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



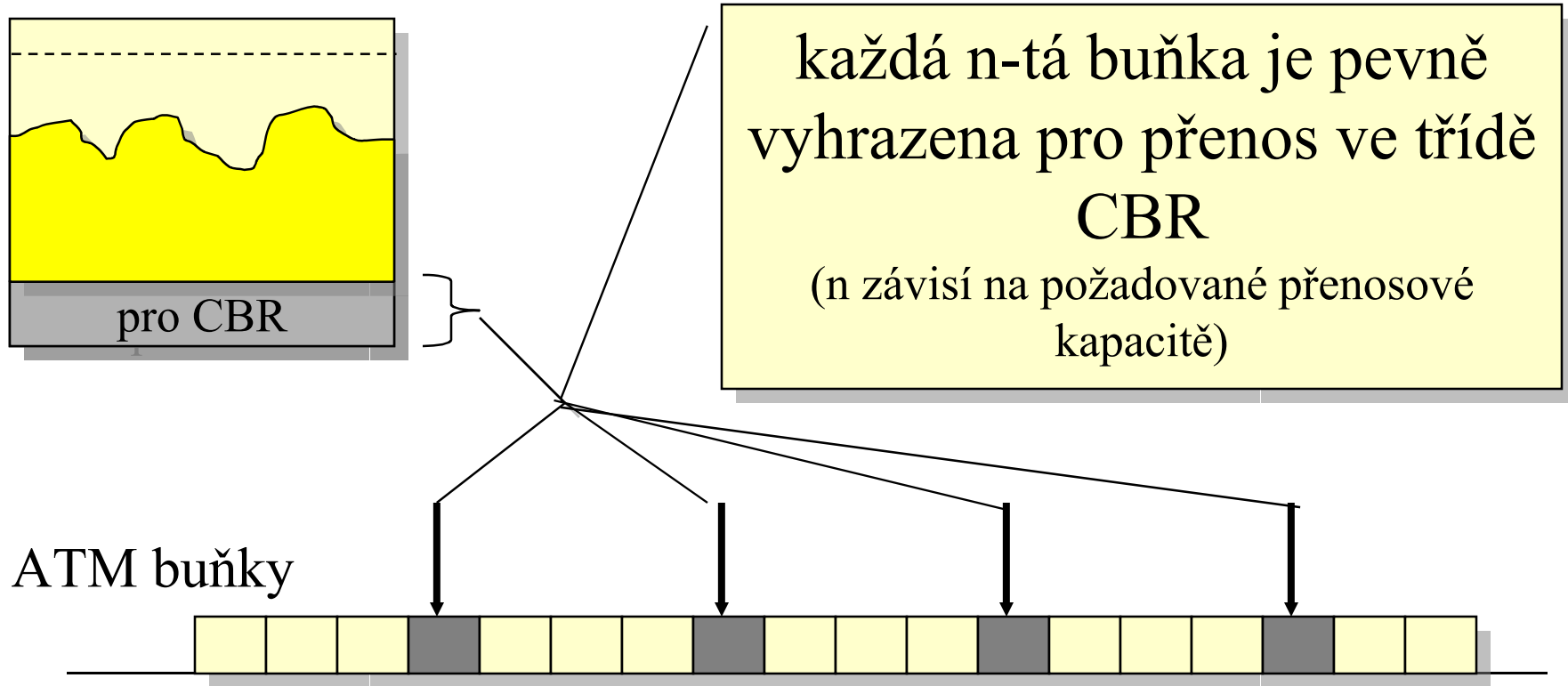


# CBR, Constant Bit Rate

- 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

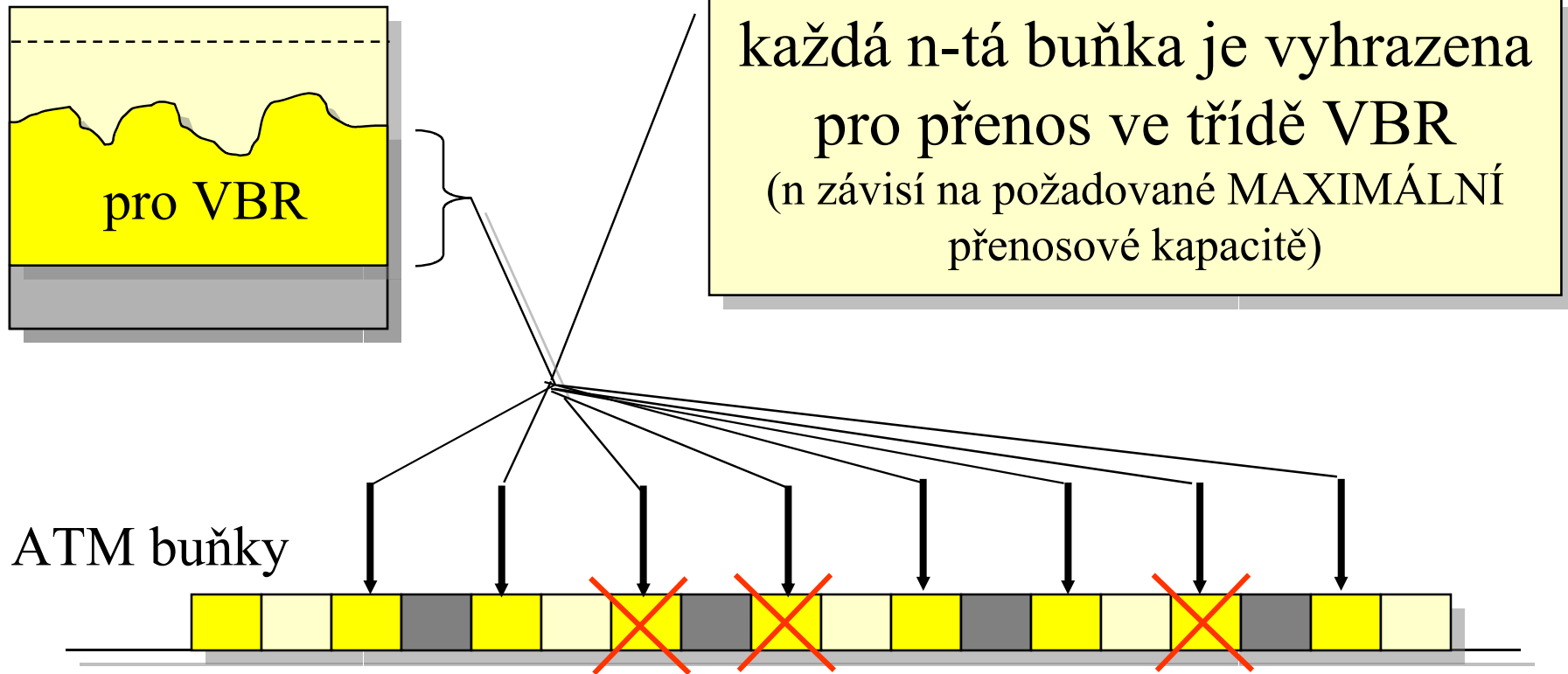


- buňka, přidělená v režimu CBR, již nemůže být „vrácena zpět“ a použita jinak
  - pro potřeby jiného přenosu

# 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

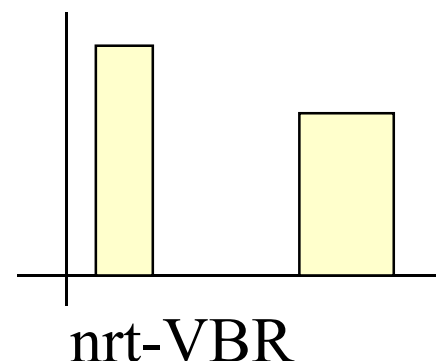
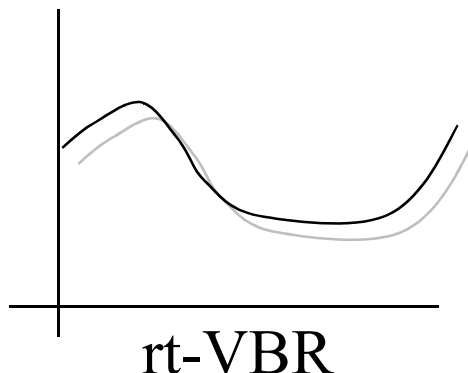
- **nrt-VBR**

- **non-real-time VBR**

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

- **například:**

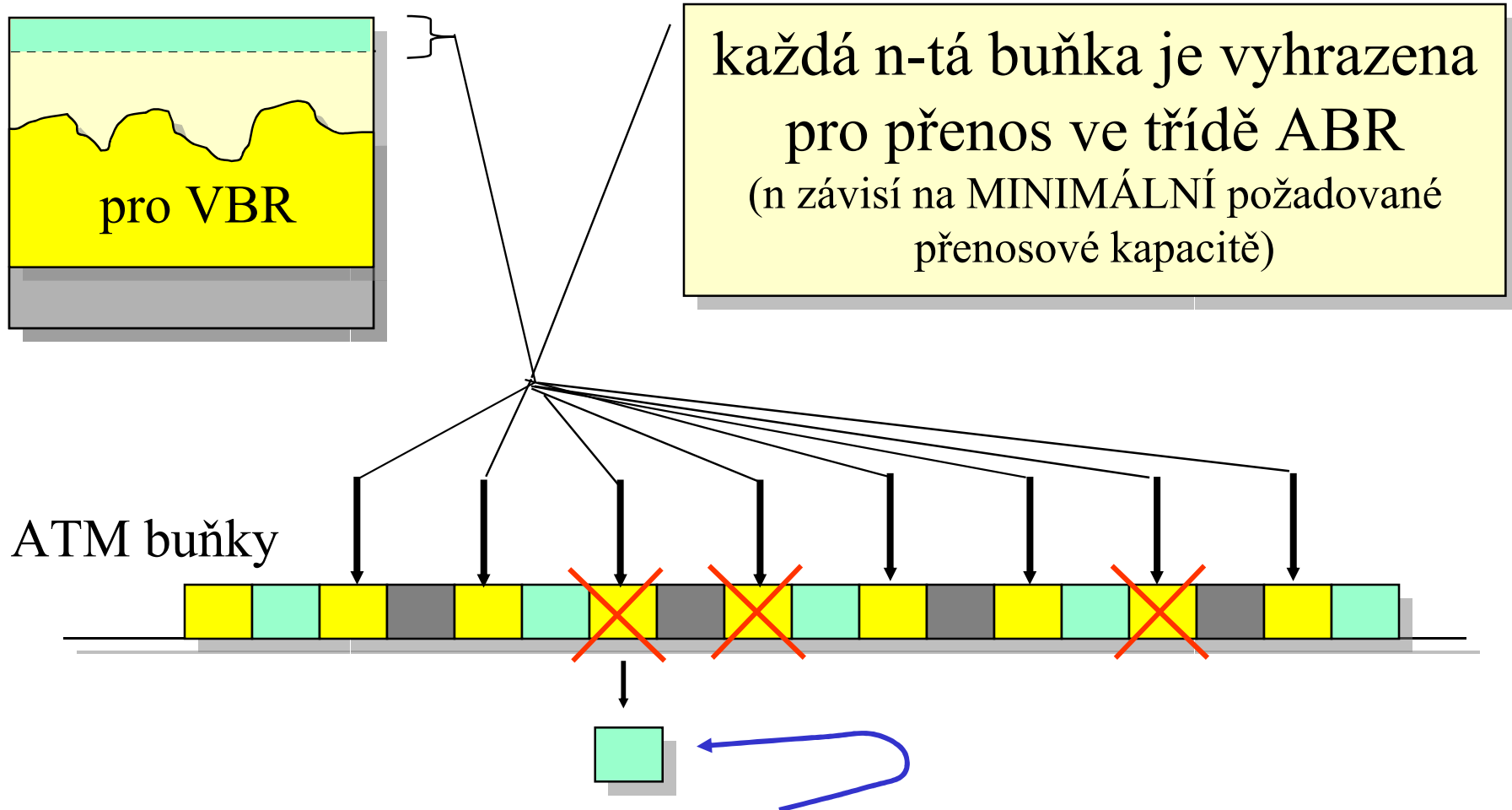
- pro terminálový přístup do rezervačních systémů
    - pro transakční systémy



# 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



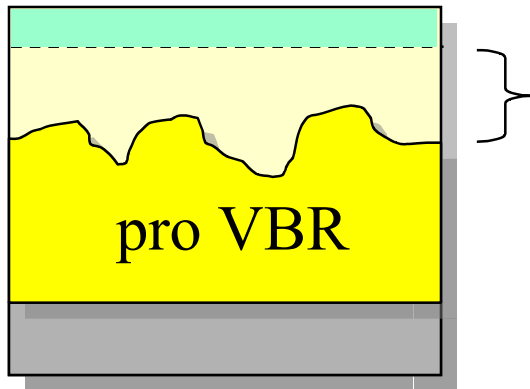
- požadavky „nad minimum“ jsou uspokojovány z momentálně dostupných zdrojů

# 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

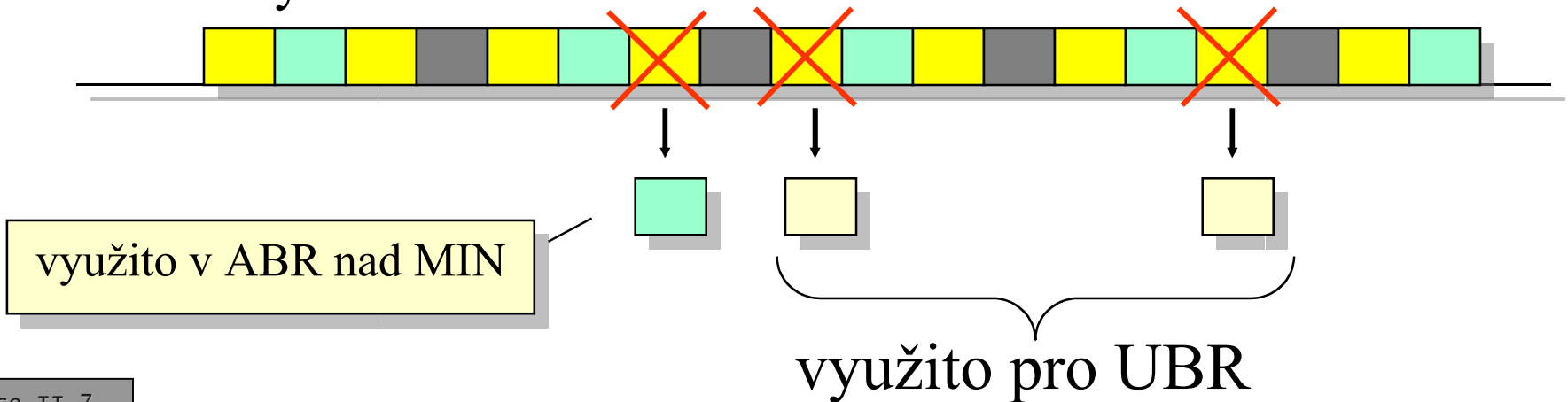


# realizace UBR



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

ATM buňky

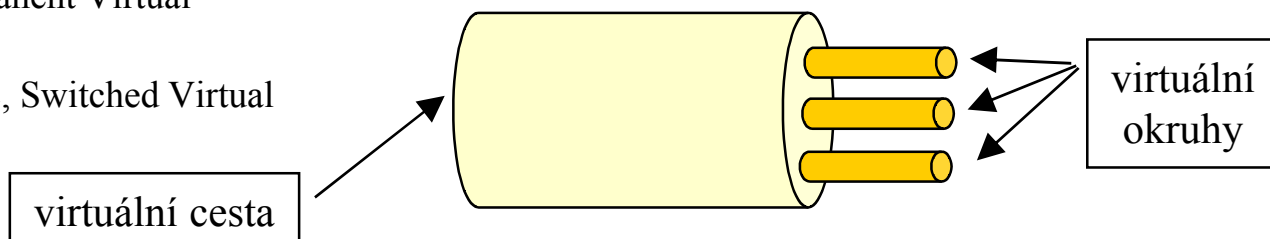


# shrnutí

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

# ATM - vlastnosti

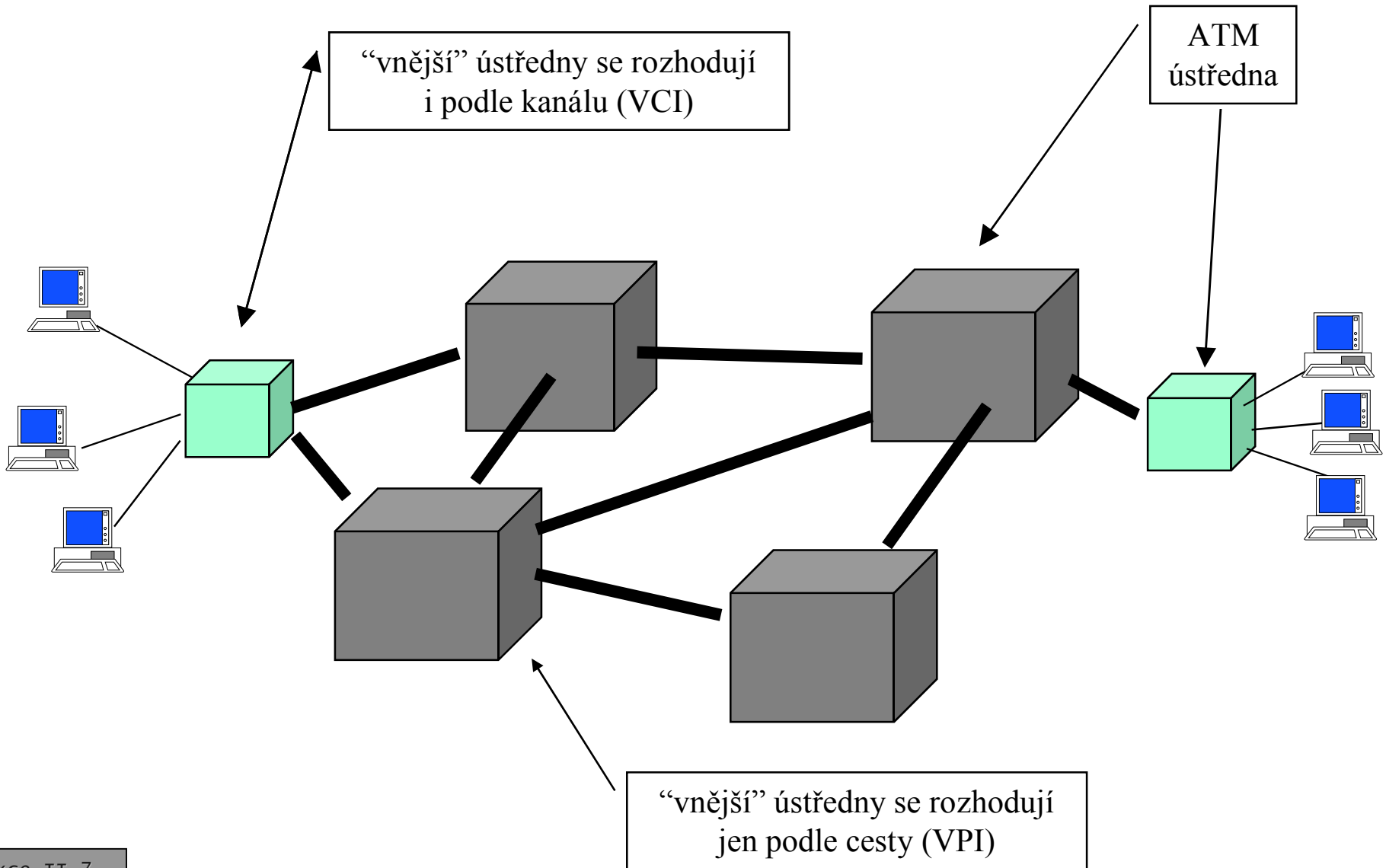
- ATM pracuje na spojovaném principu
  - **hlavičky buněk jsou hodně malé**
    - je v nich prostor na identifikaci spoje (okruhu)
  - **nespojovaný přenos v ATM prakticky nejde**
    - v hlavičkách malých buněk není prostor pro plnou adresu příjemce
    - je to proti filosofii ATM
- ATM nabízí virtuální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



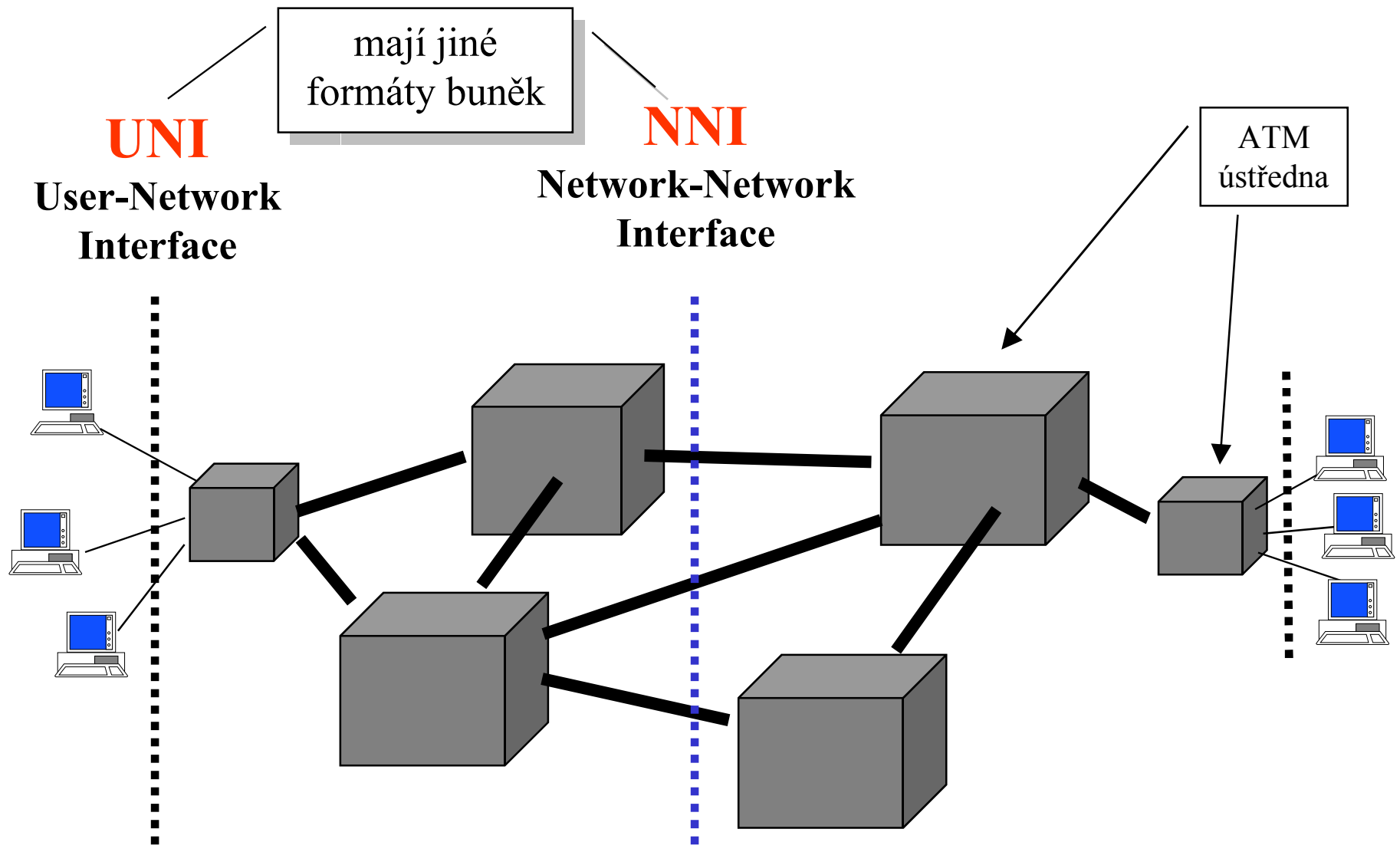
# proč „okruhy a cesty“?

- 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 ústředen
  - nutnost dvojího rozhraní
    - UNI a NNI

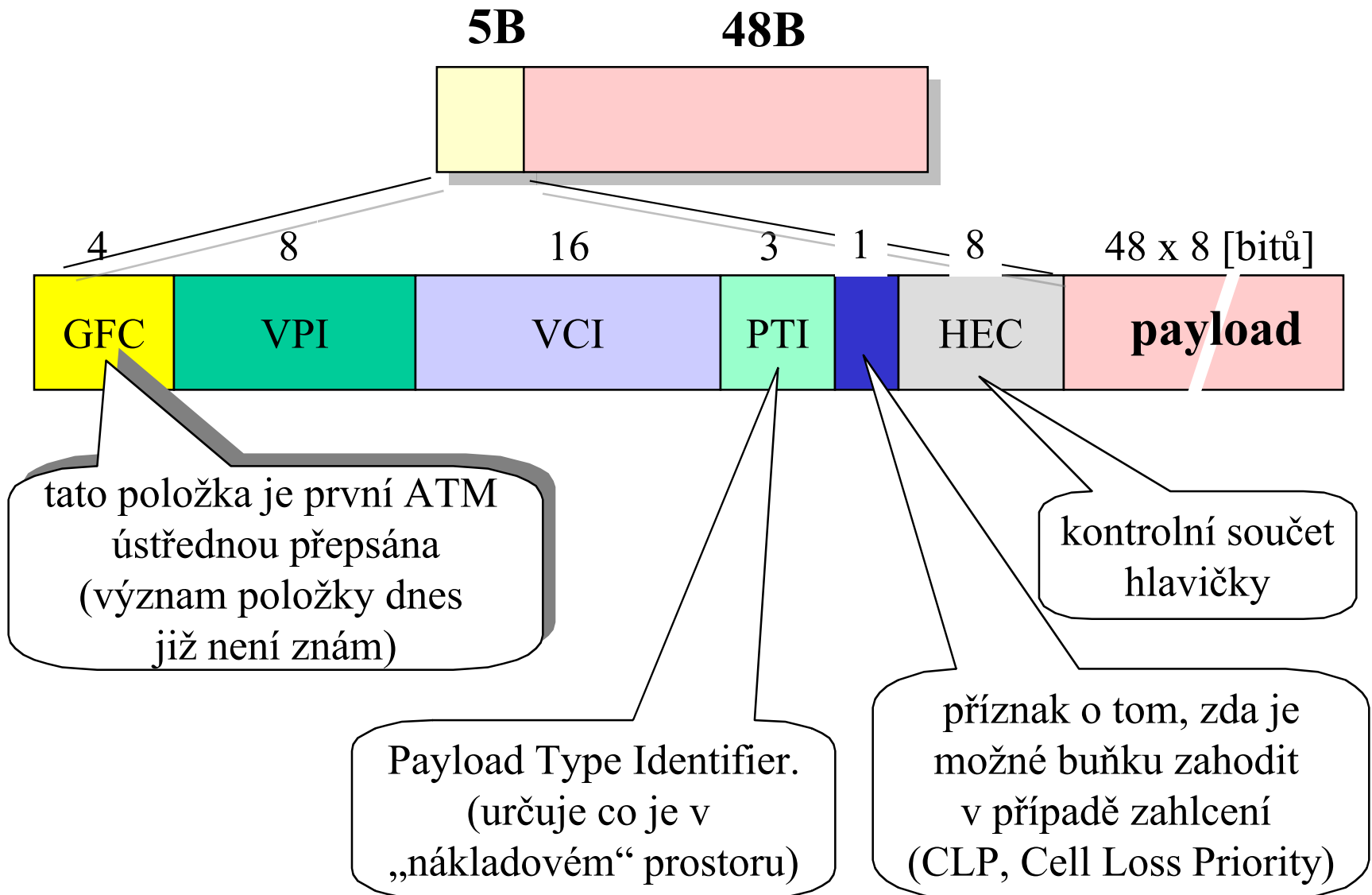
# představa okruhů a cest



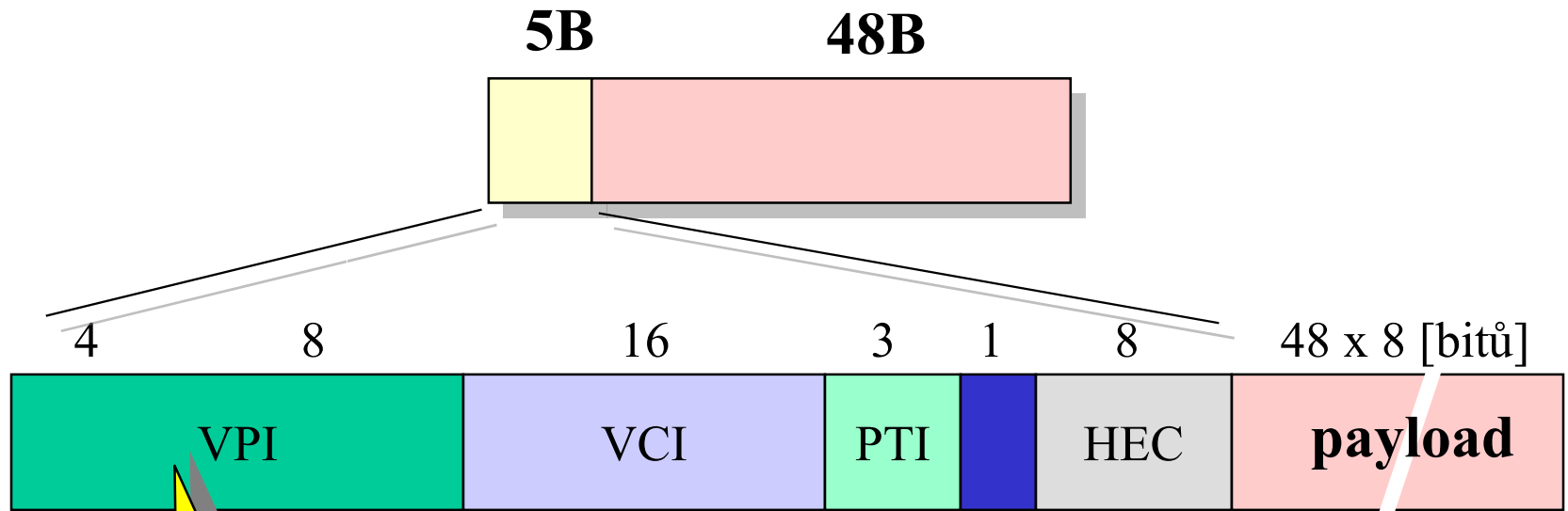
# rozhraní UNI a NNI



# formát ATM buňky - pro UNI



# formát ATM buňky - pro NNI

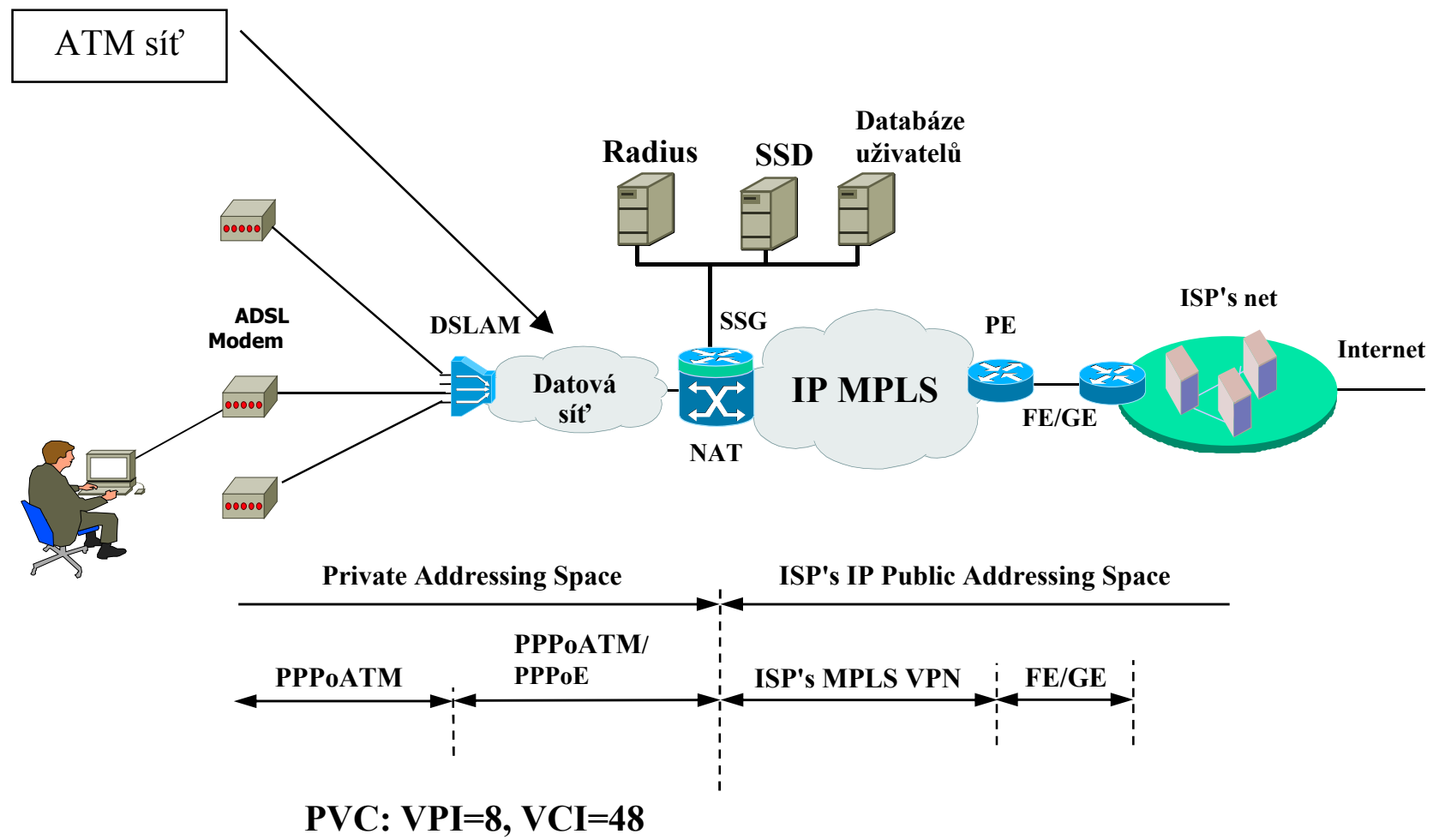


identifikátor cesty je  
„roztažen“ na 12 bitů

ostatní položky jsou  
beze změny

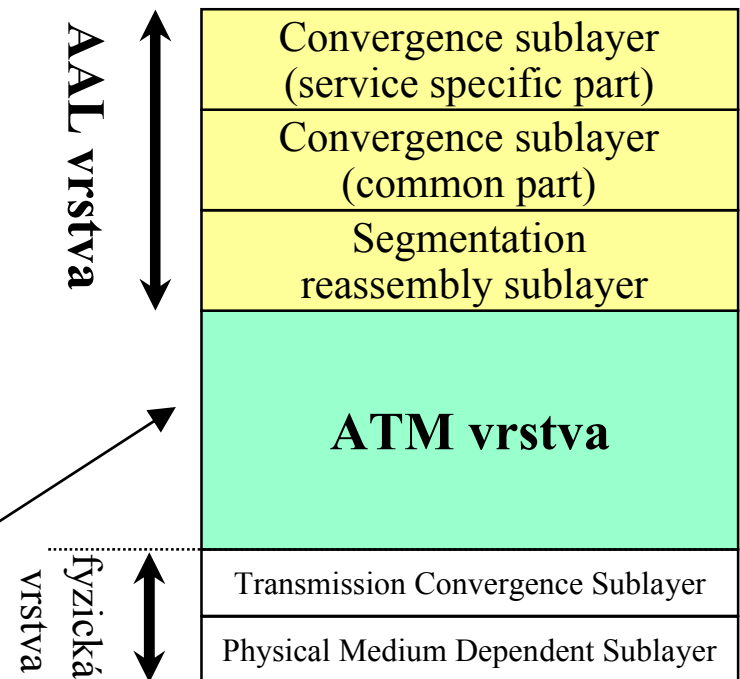
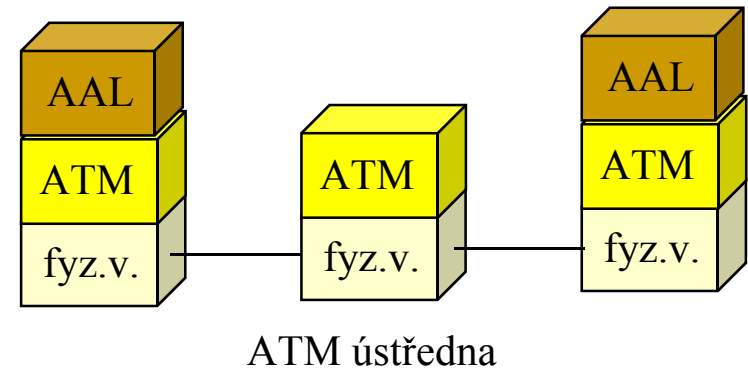


# příklad: ATM v rámci ADSL u ČTc



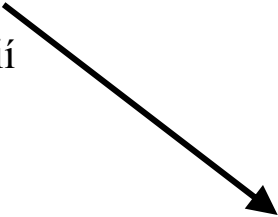
# vrstvý model ATM

- 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 není žádný rychlostní limit**



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

# fyzická vrstva ATM

- 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 ATM má dvě podvrstvy:
    - TCS, Transmission Convergence Sublayer
      - **generuje kontrolní součet (hlaviček) ATM buněk**
      - **zarovnává ATM buňky do proudu, který vytváří nižší vrstva**
      - **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.

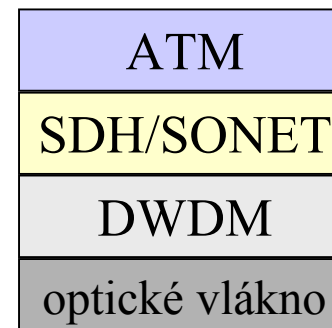
## PDH

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

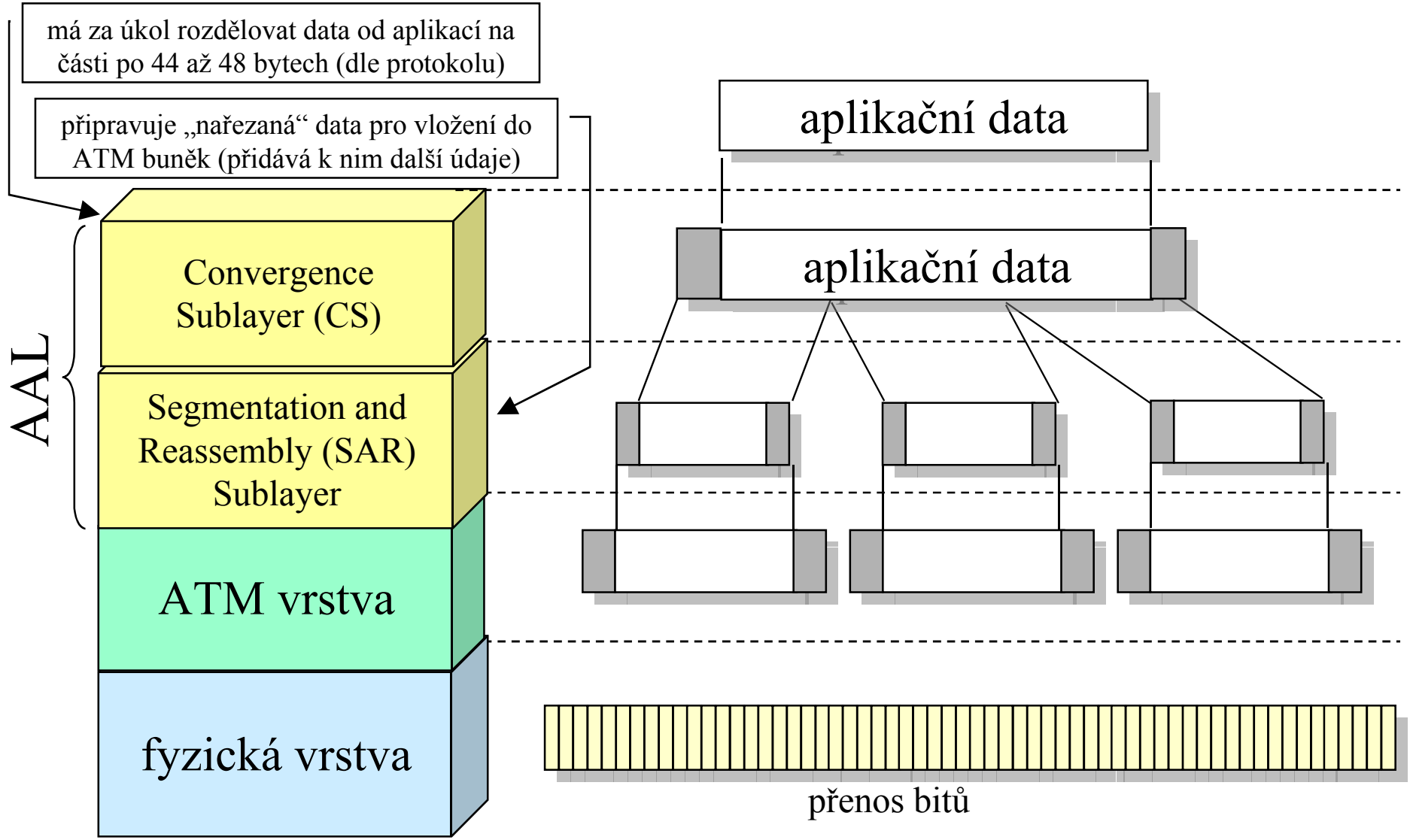
nejčastější rychlosti ATM



# 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

	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>		<b>D</b>	
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 neporušení 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

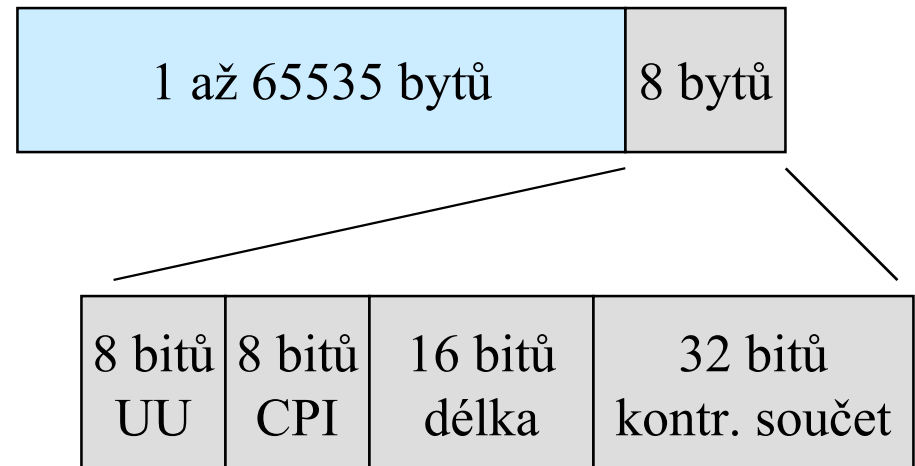
odpovídá nrt-VBR a ABR

	<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>		<b>D</b>	
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

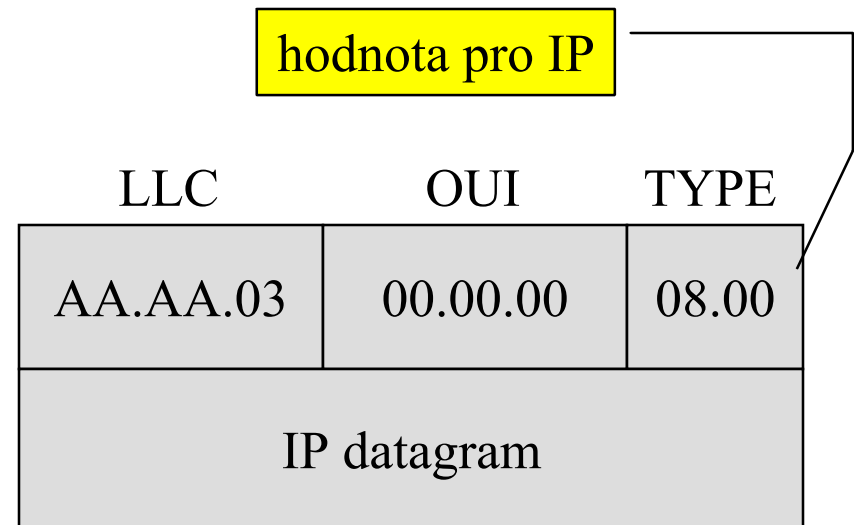
rámec AAL5



# 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



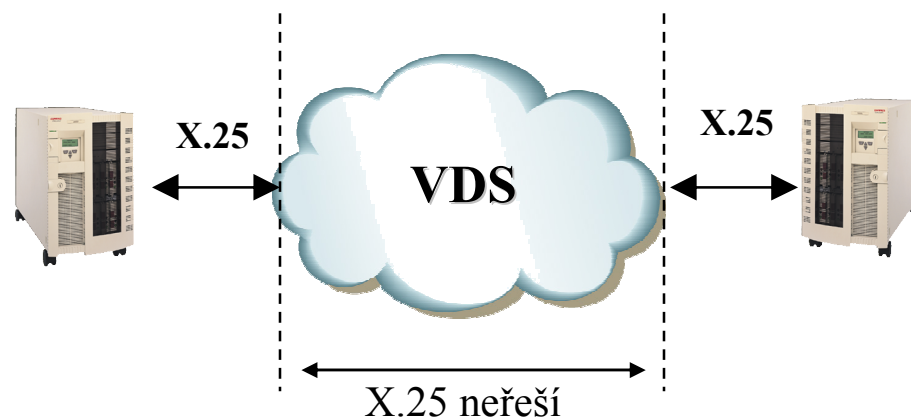
řeší to problém s identifikací obsahu

# 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

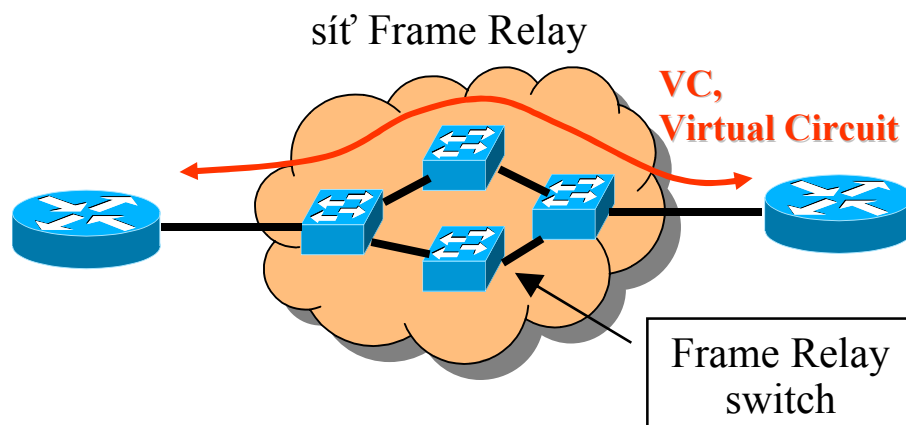
- X.25 je přenosová technologie, vytvořená pro potřeby veřejných datových sítí
  - v polovině 70.let
  - vznikla ve světě spojů
    - v rámci CCITT (International Consultative Committee for Telegraphy and Telephony), od roku 1993 ITU (International Consultative Committee for Telegraphy and Telephony)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

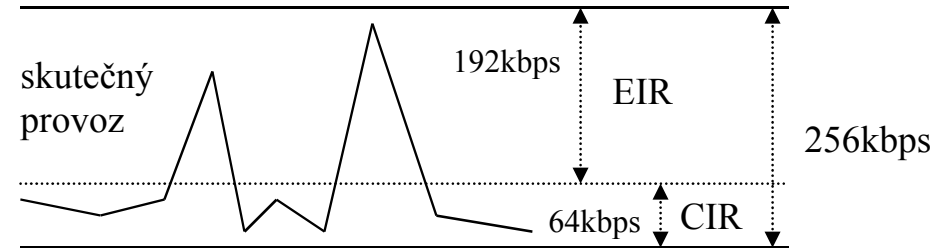
- linková technologie
  - pokrývá linkovou (a fyzickou) vrstvu
- vznikla v polovině 80. let,
  - používá se od 90. let
  - hlavně pro vzájemné propojování sítí
- funguje spojovaně
  - vytváří virtuální okruhy (VC)
- funguje nespolehlivě
  - nezajišťuje spolehlivost
    - předpokládá, že přenosové cesty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

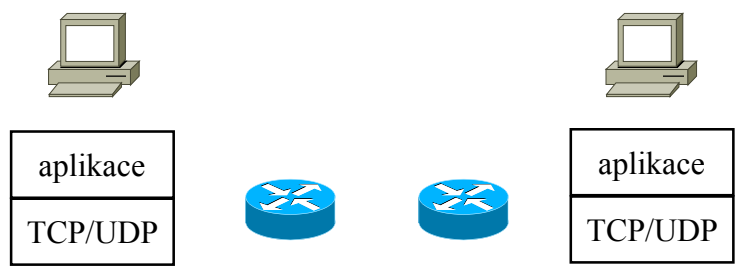
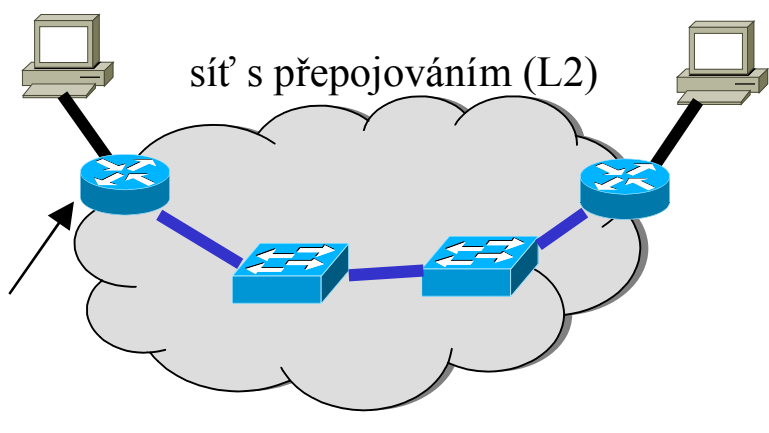


# IP streams, tag/label switching

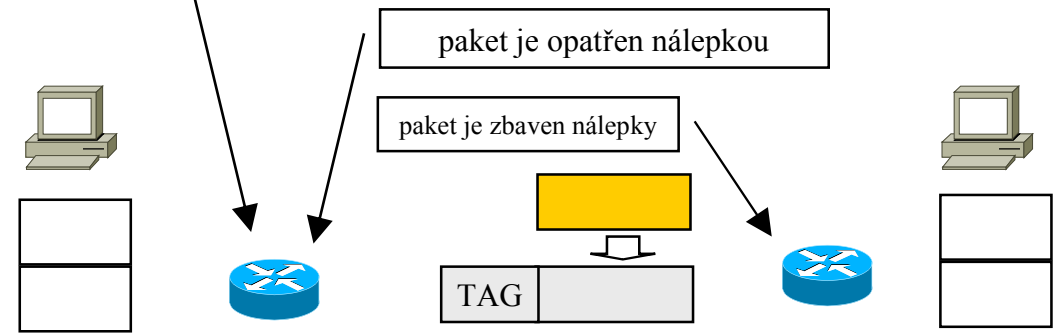
- protokol IP funguje nespojovaně
  - každý IP paket je přenášen nezávisle na ostatních paketech
  - vhodná cesta pro jeho přenos se hledá vždy znovu
    - neefektivní, hlavně pro "rychlé" a spojované technologie nižších vrstev, jako je ATM
- přenosové technologie nižších vrstev fungují spojovaně
  -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



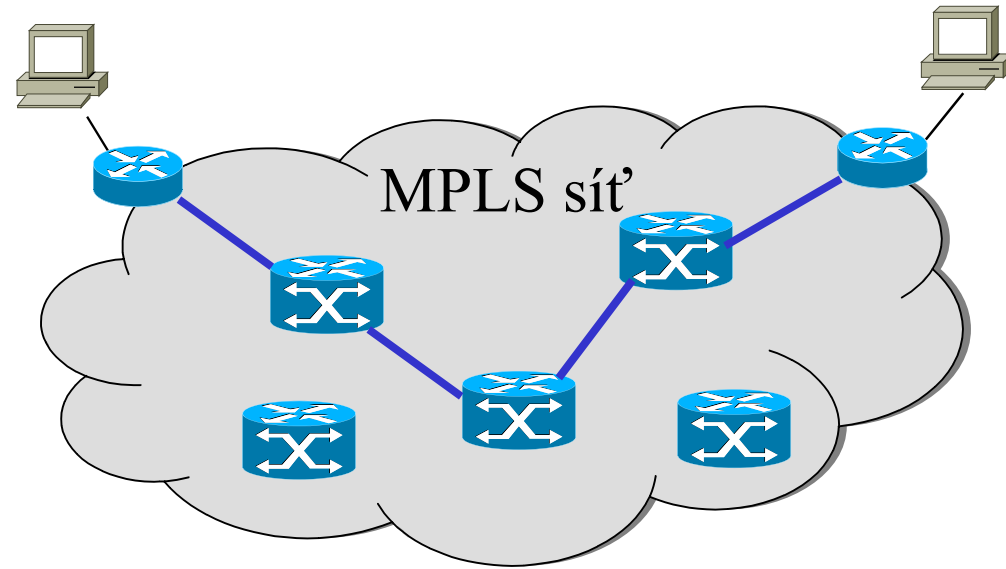
IP	IP	IP	IP
MAC +LLC	MAC +LLC	MAC +LLC	MAC +LLC
PHY	PHY	PHY	PHY



IP	IP	IP	IP	IP	IP	IP
MAC +LLC	MAC +LLC	LS	LS	LS	MAC +LLC	MAC +LLC
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)



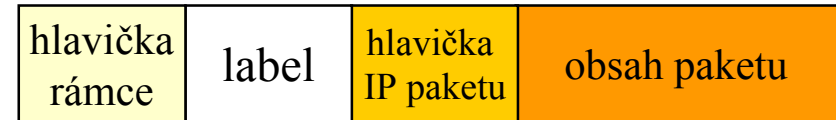
- cesta skrze MPLS síť, vytyčený po detekci streamu. Po této cestě jsou přenášeny pakety označené stejnou nálepkou

- LDP (Label Distribution Protocol)

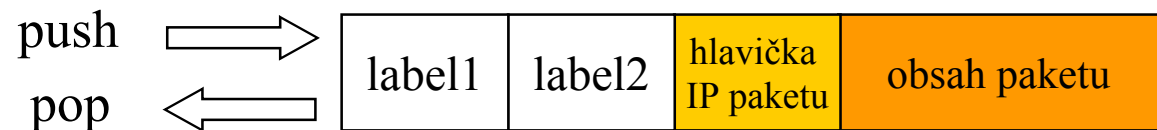
- protokol pro distribuci nálepek v rámci MPLS sítě (součást TCP/IP)

# MPLS Label a FEC

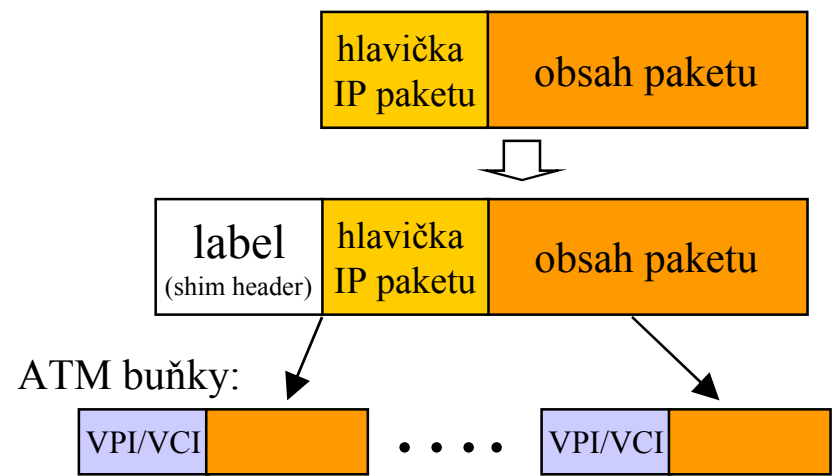
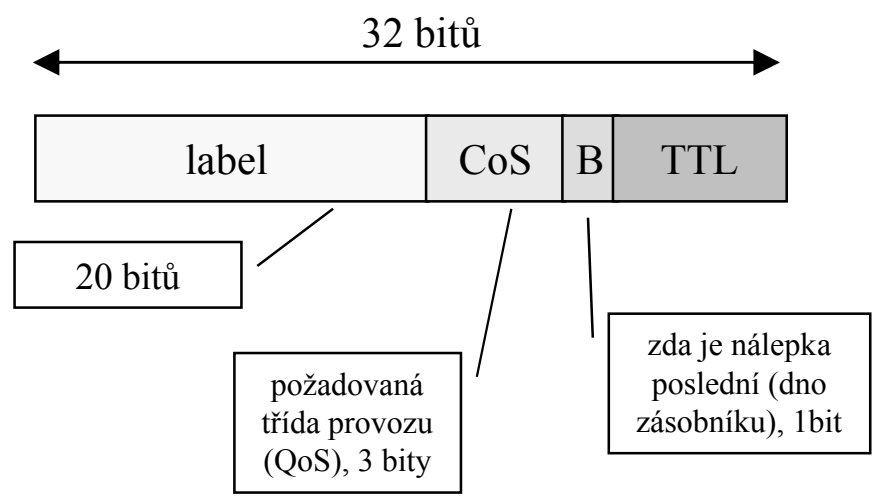
- místo "IP Stream" MPLS definuje FEC (Forward Equivalence Class):
  - třídy datového provozu, které "mají projít skrze MPLS síť" a mají stejné požadavky na svůj přenos
    - nejen pokud jde o výstupní bod, ale také např. požadavky na QoS
- nálepky (labels) se přiřazují podle příslušnosti k jednotlivým 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"
  - rámec linkové vrstvy je různý podle toho, jaká technologie je použita pro realizaci MPLS
    - může to být např. ATM, Frame Relay, Gigabitový Ethernet apod.



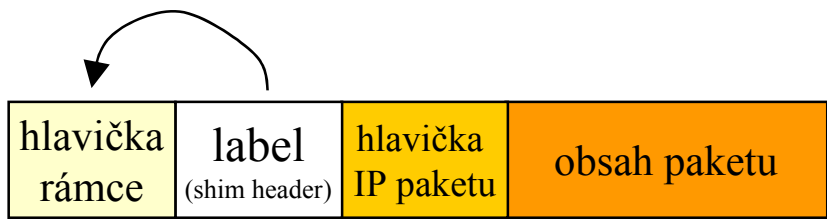
- nálepky (labels) jsou zobecněním cest a okruhů v ATM
- nálepky lze "skládat na sebe"
  - na principu zásobníku
  - lze využít například pro realizaci virtuálních sítí
  - vnější nálepka se vždy týká pouze daného přeskoku mezi dvěma LSR
    - každý LSR ji odstraní a nahradí novou nálepkou
      - odpovídá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



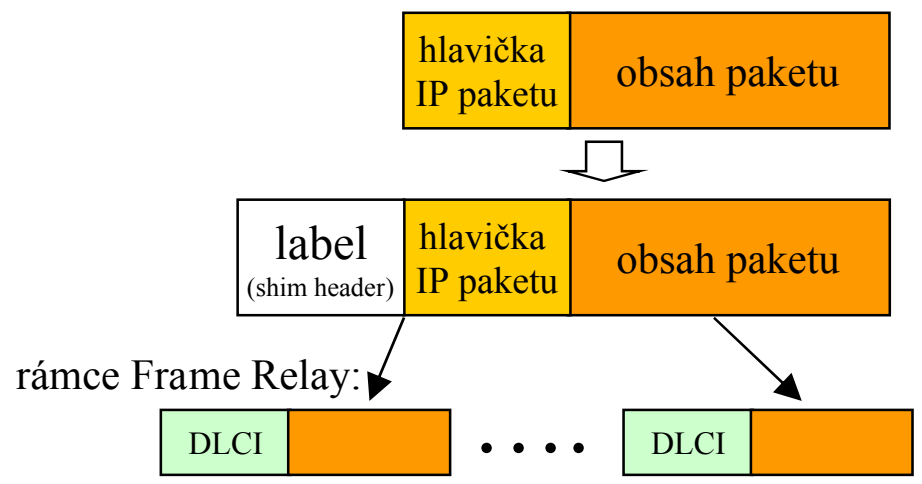
# formát labelu



- 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