

Lekce 7: Telekomunikační přenosové technologie

Jiří Peterka

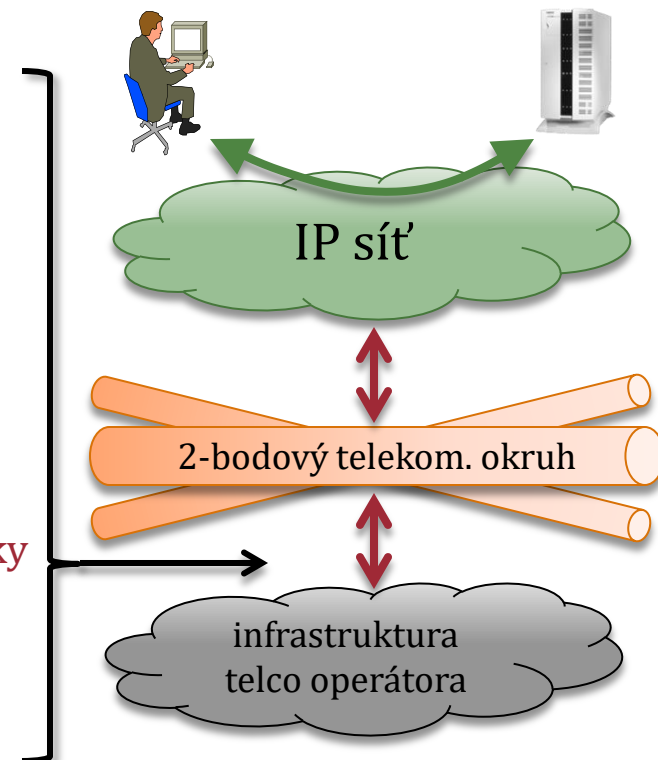
o jaké technologie jde?

o „telekomunikační“ technologie

- neboli: technologie, používané (telco) operátory v telekomunikacích
 - a (nepřímo) také v počítačových sítích, pro implementaci „rozlehlejších“ sítí (MAN a WAN)
 - představa (možný/typický scénář):
 - vlastník/provozovatel datové sítě si pronajme od telekomunikačního operátora datový okruh
 - přenosovou cestu pro přenos dat mezi body X a Y (nebo mezi více body)
 - telekomunikační operátor tento okruh vytvoří pomocí zde popisovaných technologií

základní přehled:

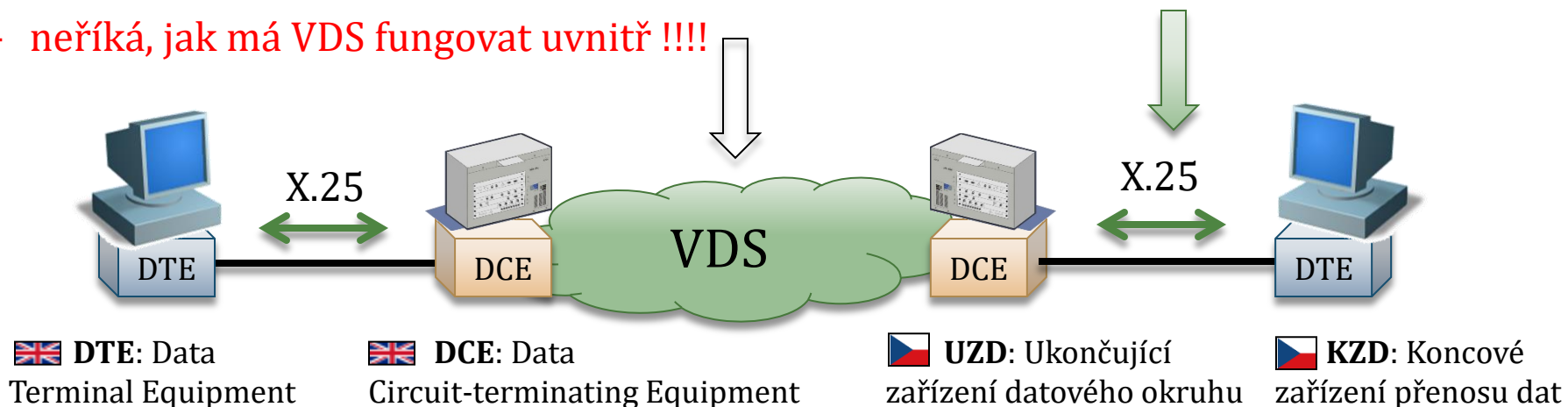
- **X.25**: řešení pro veřejné datové sítě
 - funguje spojovaně a spolehlivě na L1 až L3, přenáší síťové pakety proměnné velikosti (na L3)
- **Frame Relay**: řešení pro vyhrazení kapacity
 - funguje spojovaně a nespolehlivě na L1 až L2, přenáší linkové rámce (na L2), emuluje dvoubodové spoje
- **ATM**: snaha o „univerzální řešení“
 - funguje spojovaně a nespolehlivě (jen na L2), přenáší bloky dat pevné velikosti: **ATM buňky** (48+5 bytů)
 - nabízí různé třídy (varianty kvality služeb)
- **MPLS**: „překryvné řešení“, eliminující směrování
 - snaží se nahradit (pomalé) směrování na L3 pomocí přepojování na L2



technologie X.25

- **přenosová technologie, vytvořená pro potřeby veřejných datových sítí**
 - vznikla v polovině 70. let ve světě spojů, **ještě před RM ISO/OSI**
 - v rámci CCITT (International Consultative Committee for Telegraphy and Telephony)
 - od roku 1993 jde o ITU-T (Mezinárodní telekomunikační unie)
 - je jednou z nejstarších technologií pro přenos dat na principu přepojování paketů
- **veřejná datová síť (VDS)**
 - síť, poskytující službu spočívající v přenosu dat
 - proto: datová síť
 - provozuje ji (typicky) telekomunikační operátor, její služby nabízí/prodává za úplatu
 - využívat může každý, kdo zaplatí, proto: **veřejná** datová síť
- **definuje, jak se připojit k veřejné datové síti a jak skrze ni přenášet data**
 - **neříká, jak má VDS fungovat uvnitř !!!!**

obvykle/dříve: k poskytování služeb VDS byla zapotřebí licence



architektura X.25

- má 3 vrstvy, které odpovídají 3 nejnižším vrstvám RM ISO/OSI
 - v terminologii X.25 se původně hovořilo o úrovních (levels), místo o vrstvách (layers)
 - rozdíl je i v pojmenování třetí vrstvy (L3): v X.25 je „paketová“, v ISO/OSI je „síťová“



– technologie X.25 posloužila jako vzor pro 3 nejnižší vrstvy ISO/OSI

- **X.25 funguje:**

- **spolehlivě:**

- má zabudovány velmi silné mechanismy pro opravu chyb při přenosu
 - předpokládá, že při přenosu dat bude často docházet k chybám
 - které napravuje
- v důsledku toho: je velmi robustní
 - ale platí za to nízkou efektivností přenosu a vyšší složitostí implementace

- **spojovaně**

- pracuje s virtuálními okruhy
 - po vzoru telefonní sítě
- navazuje (a ruší) spojení

dnes už je spíše historickou záležitostí
(zejména kvůli své robustnosti, vyplývající z předpokladu velké chybovosti přenosových cest)

do roku 2012 používala X.25 síť Minitel ve Francii

technologie Frame Relay (FR)

- **představa:**

- **Frame Relay je „ořezaná a odlehčená“ X.25:** zbavená své robustnosti (spolehlivosti)
 - předpokládá nízkou (nulovou) chybovost přenosových cest, nepotřebuje opravu chyb
- **původně vznikla ve světě telekomunikací (vyvíjet ji začala CCITT v roce 1984)**
 - později (1990) ji „dokončila“ skupina firem (Cisco, DEC,), teprve pak se ujala

- **rozdíly:**

funguje:	spolehlivě	spojovaně
X.25	ANO	ANO
Frame Relay	NE	ANO

	pokrývá	přenáší
X.25	L1 až L3	síťové pakety
Frame Relay	L1 až L2	linkové rámce

- **k čemu se FR používá (především):**

- **k vytvoření (virtuálního) přenosového okruhu, který je svými vlastnostmi blízký skutečnému (fyzickému) přenosovému okruhu**
 - i pokud jde o nízké přenosové zpoždění

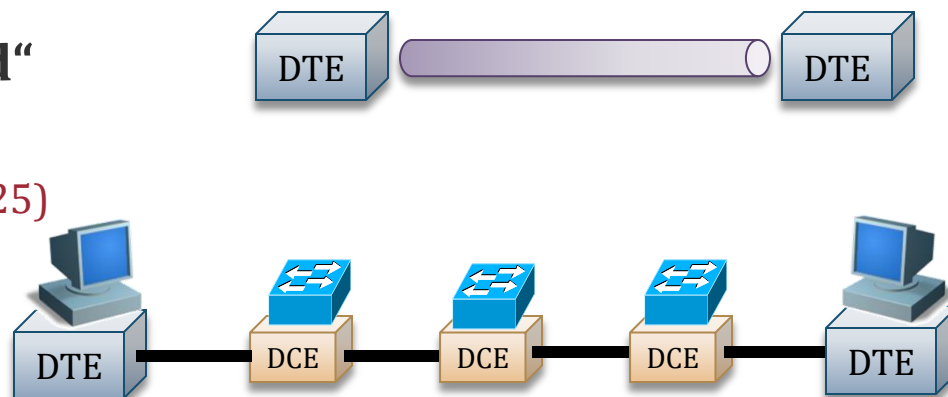


virtuální okruhy Frame Relay

- virtuální okruhy (VC) Frame Relay jsou vytvářeny **na linkové vrstvě (L2) !!!**
 - **přenáší rámce**: odsud i označení celé technologie (Frame Relay = předávání rámců)

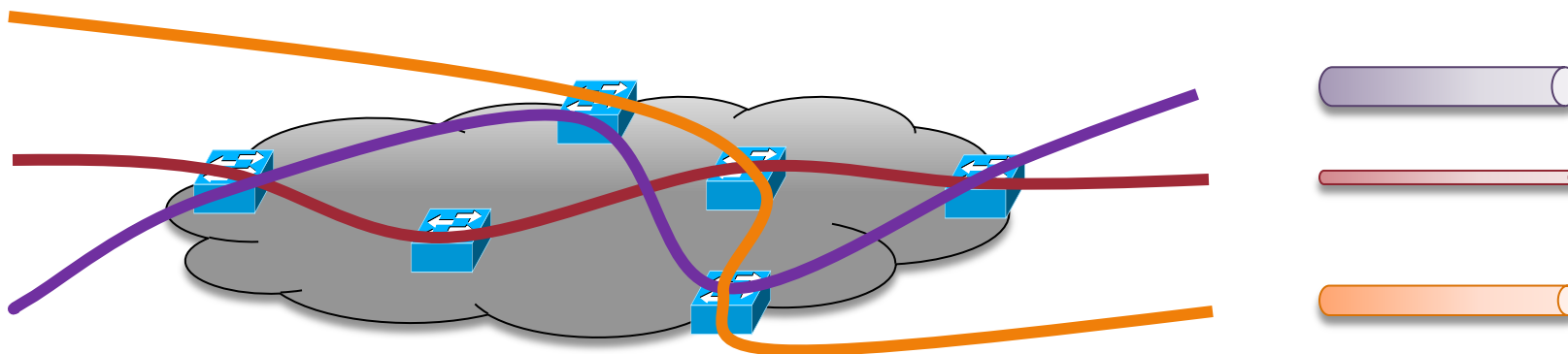
- virtuální okruhy jsou „end-to-end“

- propojují mezi sebou koncové body
 - označované jako DTE (stejně jako u X.25)
- jsou vedeny skrze přepínače
 - označované jako DCE



- směrování (hledání cesty) je řešeno na linkové vrstvě !!

- nezapadá to (dobře) do vrstevnatého modelu ISO/OSI
 - kde má být směrování realizováno až na síťové vrstvě
 - kterou ale Frame Relay nemá !!

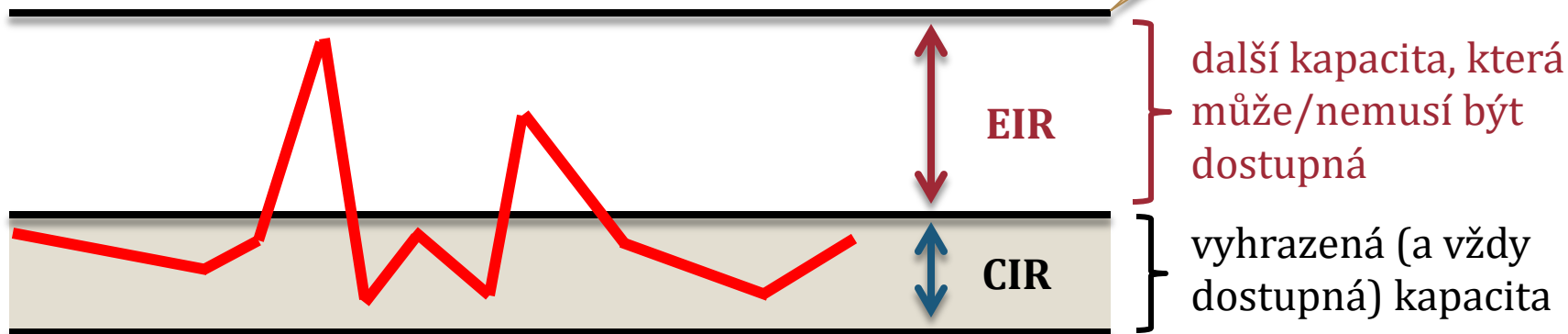


CIR a EIR

- **ústředny FR (DCE) pracují na principu cut-through, nikoli store&forward**
 - tj. nečekají na načtení celého „přicházejícího“ bloku (rámce), ale co nejdříve jej začínají přeposílat dále
 - aby dosáhly co nejnižší latence (zpoždění)
 - výsledkem je chování (virtuálního) okruhu blízké skutečnému (fyzickému) okruhu
- **virtuální okruhy (VC) mají určitou vyhrazenou kapacitu**
 - označovanou jako **CIR: Committed Information Rate**
 - ve smyslu: je (vždy) dostupná - garantovaná
- **ale mohou nabídnout ještě další přenosovou kapacitu**
 - ovšem již bez záruky (jako negarantovanou)
 - je poskytnuta pouze tehdy, pokud je požadována, a pokud je k dispozici
 - je označována jako **EIR: Extended Information Rate**

FR emuluje vyhrazené okruhy (přepojování okruhů)

s existencí EIR souvisí i existence řízení toku, které FR poskytuje



ATM (Asynchronous Transfer Mode)

- **technologie ATM vznikla ve světě spojů**
 - **původně: pro potřeby sítí Broadband ISDN (B-ISDN)**
 - jakési „vysokorychlostní ISDN“, které již nemohlo využívat příliš pomalé (64 kbit/s) kanály, vedoucí skrze digitální telefonní síť
 - místo toho potřebovalo novou a rychlejší přenosovou technologii – tou se stala právě technologie ATM
 - sítě Broadband ISDN nikdy nevznikly – ale technologie ATM vznikla a používala se !!
- **jaká je filosofie technologie ATM?**
 - **snaží se být konvergovanou technologií**
 - (původně) měla ambice stát se hlavní/jedinou přenosovou technologií obou světů
 - světa spojů/telekomunikací a světa počítačů/počítačových sítí
 - její koncepce se snaží vycházet vstříc potřebám obou světů
 - není to naivní pokus „vnutit“ jednomu světu řešení druhého světa (spojů/telekomunikací)
 - **v zásadě se to technologii ATM podařilo**
 - dokáže emulovat (napodobovat) přepojování okruhů, s vyhrazenou přenosovou kapacitou
 - dokáže nabízet i přepojování paketů, stylem best effort
- **ale (problém):**
 - **technologie ATM za to zaplatila příliš vysokou daň**
 - na své složitosti, na velikosti své režie,

to značně omezilo možnosti jejího využití v praxi

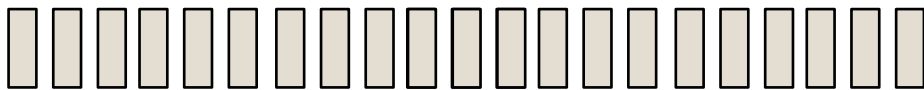
dnes prohrává s jednoduššími a efektivnějšími technologiemi (gigabitový Ethernet, MPLS

ATM buňky

- **technologie ATM se snaží vyjít vstříc potřebám obou světů**

- svět spojů/telekomunikací:

- **preferuje přepojování okruhů**
- preferuje spojovaný a spolehlivý přenos
- preferuje podporu QoS
 - nejlépe vyhrazenou kapacitu
- chce, aby přenášené bloky byly co možná **nejmenší**
 - aby se dalo emulovat přepojování okruhů
 - aby přenosové zpoždění bylo co nejmenší
 - „když je potřeba něco rychle odeslat, aby se co nejrychleji našel nějaký volný slot, do kterého se dají data vložit a nechat přenést“



- svět spojů/telekomunikací požadoval:

- přenášené bloky nesmí být větší než 32 bytů !

- svět počítačů a počítačových sítí

- **preferuje přepojování paketů**
- preferuje nespojovaný a nespolehlivý přenos
- preferuje princip best effort
 - jednoduchost, efektivnost, rychlost
- chce, aby přenášené bloky byly co možná **největší**
 - aby přenos byl co nejefektivnější
 - aby režie, připadající na různé hlavičky a patičky, byla co nejmenší (relativně, k velikosti přenášených dat)



- svět počítačů říkal:

- bloky menší jak 64 bytů nemají smysl !

- **výsledný kompromis: aritmetický průměr mezi 32 a 64 byty = 48 bytů**

- technologie ATM přenáší bloky o pevné velikosti (těla / nákladové části) 48 bytů

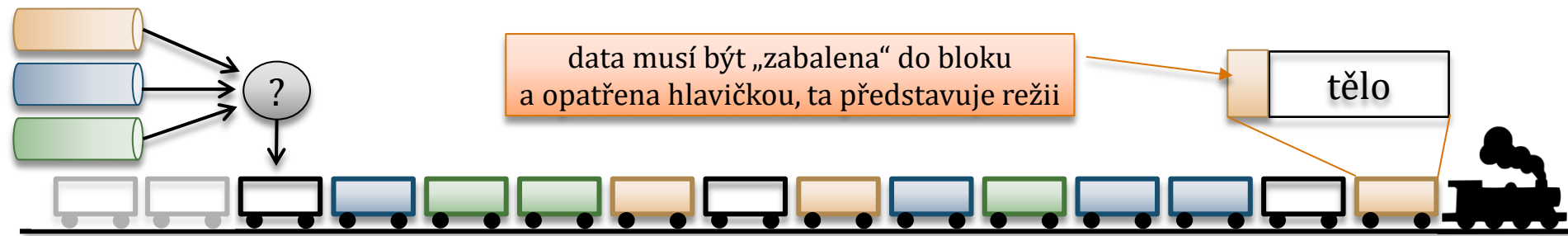
- jde o tzv. ATM buňky

- mají ještě hlavičku o velikosti 5 bytů, celkem tedy 53 bytů (i s hlavičkou)

aby režie na hlavičku nebyla větší než 10%

přepojování buněk

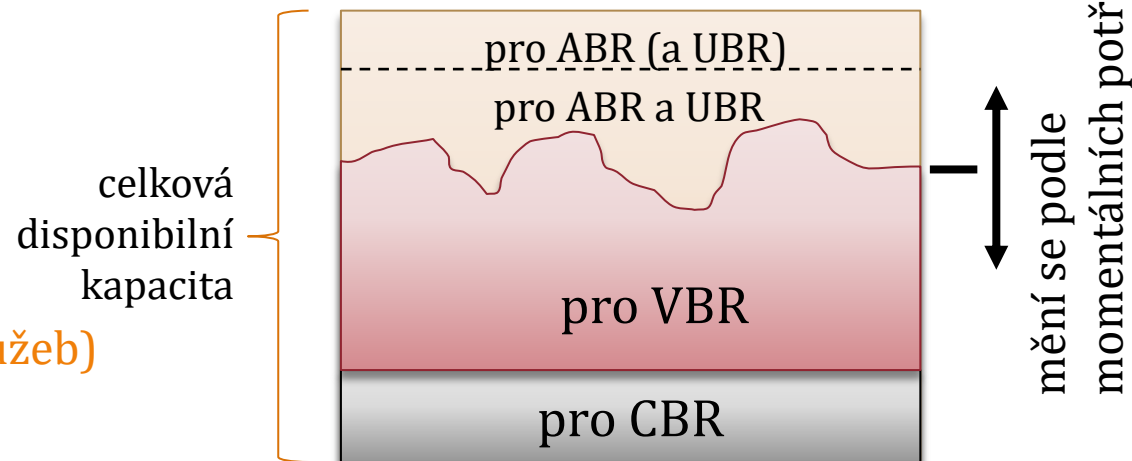
- jde o stejný koncept jako u statistického multiplexu:
 - přenosová kapacita je rozdělena na časové úseky (timeslot-y) stejně velikosti, které se pravidelně střídají/posouvají
 - analogie nekonečně dlouhého vlaku s vagony stejné velikosti, který jede konstantní rychlostí
 - zde vagon = ATM buňka (5 bytů hlavička + 48 bytů nákladu)



- technologie ATM funguje na principu statistického multiplexu
 - proto: každá buňka musí mít hlavičku (identifikující obsah, tím i příjemce)
- neboli: ATM fakticky funguje na principu přepojování paketů
 - protože: statistický multiplex je zvláštní varianta přepojování paketů
 - kdy velikost přenášeného bloku (paketu) je konstantní
 - proto se mluví o (ATM) buňkách a přepojování buněk (cell switching)
- výhoda přepojování buněk
 - lze je snadno implementovat v HW (díky pevné velikosti buněk)

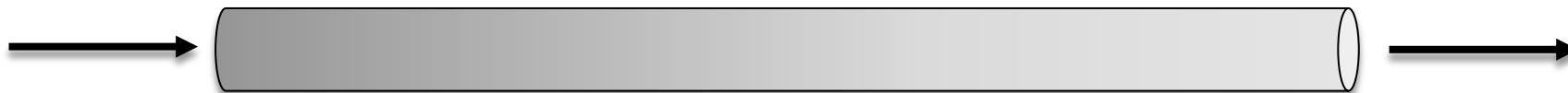
třídy služeb ATM

- ATM se snaží nabízet různé varianty přenosových služeb, s různou QoS
 - prezentované jako **třídy služeb** (Service Class / Category)
- jde o:
 - **CBR: Constant Bit Rate**
 - emulace přepojování okruhů, s vyhrazenou přenosovou kapacitou, která je **konstantní**
 - **VBR: Variable Bit Rate**
 - emulace přepojování okruhů, s vyhrazenou přenosovou kapacitou, která je **proměnná**
 - a je garantovaná do sjednaného maxima
 - **ABR: Available Bit Rate**
 - obdoba Frame Relay, s vyhrazenou přenosovou kapacitou, která je **proměnná**
 - garantováno je pouze určité minimum (obdoba CIR), ale poskytnuto může být více
 - až do sjednaného maxima (obdoba EIR)
 - **UBR: Unspecified Bit Rate**
 - přenos v režimu best effort, garantováno není nic
- **důležité:**
 - všechny tyto varianty (třídy služeb) mohou koexistovat vedle sebe



CBR: Constant Bit Rate

- nabízí (plně) vyhrazenou přenosovou kapacitu: obdobu „kusu drátu“



- s konstantní přenosovou rychlostí (proto: **C**onstant **B**it **R**ate)
 - s pevně danou přenosovou kapacitou, vyhrazenou jen pro daný přenos
 - tato kapacita se nemění - pokud není využita, nelze ji „přenechat jinému přenosu“
- jde v zásadě o (emulaci) přepojování okruhů
 - realizované v prostředí s přepojováním paketů/buněk (na principu statistického multiplexu)

- možné využití **CBR**:

- všude tam, kde je potřeba zřídit nějaký „telekomunikační“ okruh

- například:

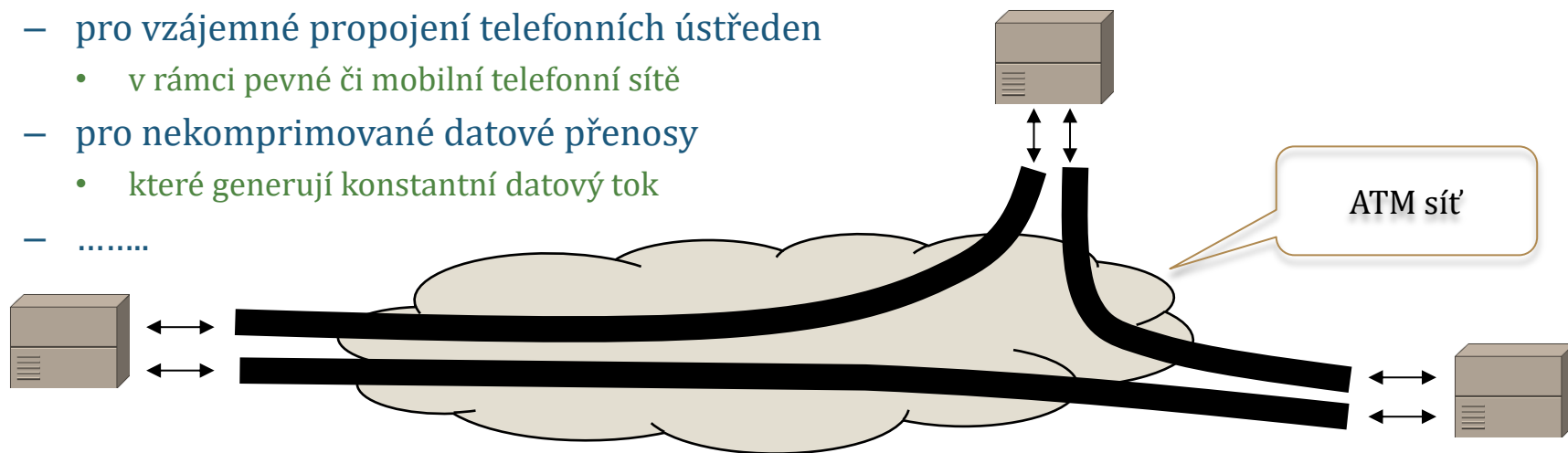
- pro vzájemné propojení telefonních ústředěn

- v rámci pevné či mobilní telefonní sítě

- pro nekomprimované datové přenosy

- které generují konstantní datový tok

-



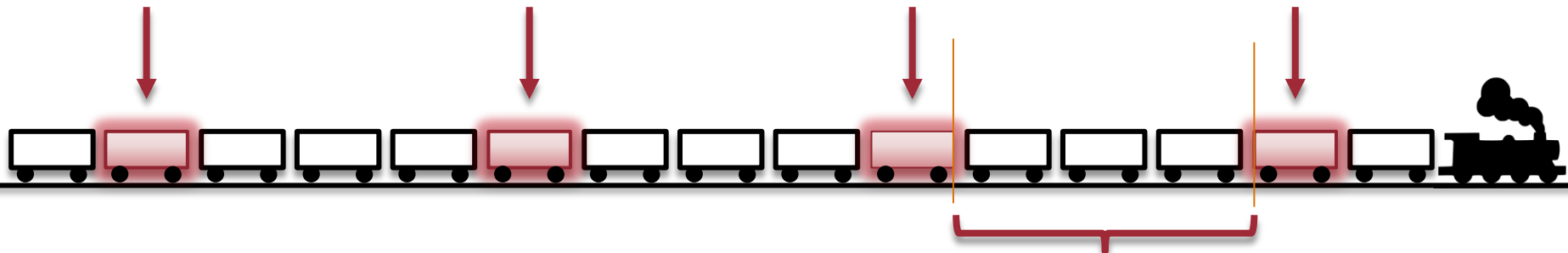
jak je CBR realizováno?

- **připomenutí:**

- jde o emulaci přepojování okruhů v prostředí s přepojováním paketů (buněk)

- **představa řešení:**

- každá n -tá ATM buňka (každý n -tý vagon nekonečného vlaku) se vyhradí pro potřeby této emulace (pro realizaci jednoho okruhu)
 - kde „ n “ se spočítá v závislosti na kapacitě, kterou je třeba vyhradit (pro emulovaný okruh)



- **výsledný efekt**

- je obdobný „kusu drátu“ o vyhrazené přenosové kapacitě
 - (skutečnému, fyzicky vyhrazenému) přenosovému okruhu

- **jediný rozdíl:**

- celkové přenosové zpoždění není úplně konstantní
 - zpoždění signálu i zpoždění přenosu jsou konstantní, ale
 - zpoždění ve frontách kolísá mezi 0 a dobou t

doba t přenosové
zpoždění

vzhledem k malé velikosti ATM buněk je tato doba relativně malá

doba t 

- data čekají na odeslání do doby, než „přijede“ další vagon vyhrazený pro daný přenos

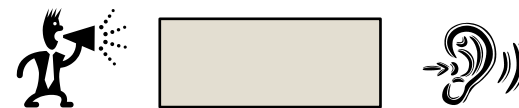
VBR: Variable Bit Rate

- **třída CBR je vhodná pro nekomprimované multimediální přenosy**

- které generují konstantní datový tok

- a dokáží využít trvale vyhrazenou kapacitu konstantní velikosti

- nicméně: takovýchto přenosů je v praxi málo (obvykle se využívá nějaká komprimace)

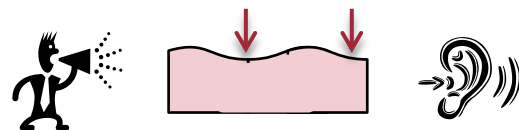


- **pro komprimované přenosy je vhodnější třída VBR**

- komprimace zmenšuje objem dat k přenesení

- ale nepravidelně: efekt nelze dopředu odhadnout, závisí na průběhu hovoru/ dění na scéně

- potřeba přenosové kapacity (rychlosti) se v čase mění – dle efektu komprimace



- **VBR: Variable Bit Rate (doslova: proměnná rychlost)**

- vyhrazuje určitou přenosovou kapacitu (odpovídá hodnotě MAX)

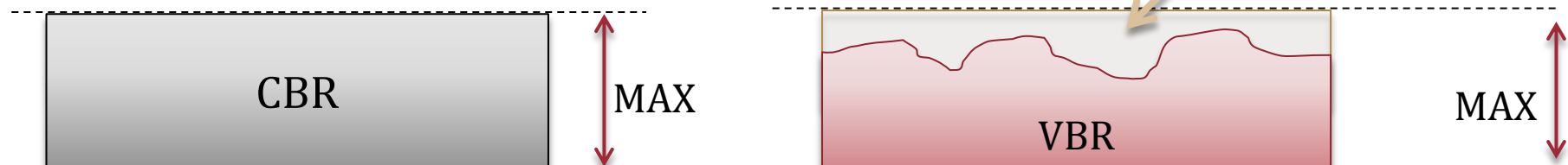
- tato kapacita je vždy k dispozici

- hodnota MAX se obvykle volí podle toho, jak by vypadal nekomprimovaný přenos

- ale:

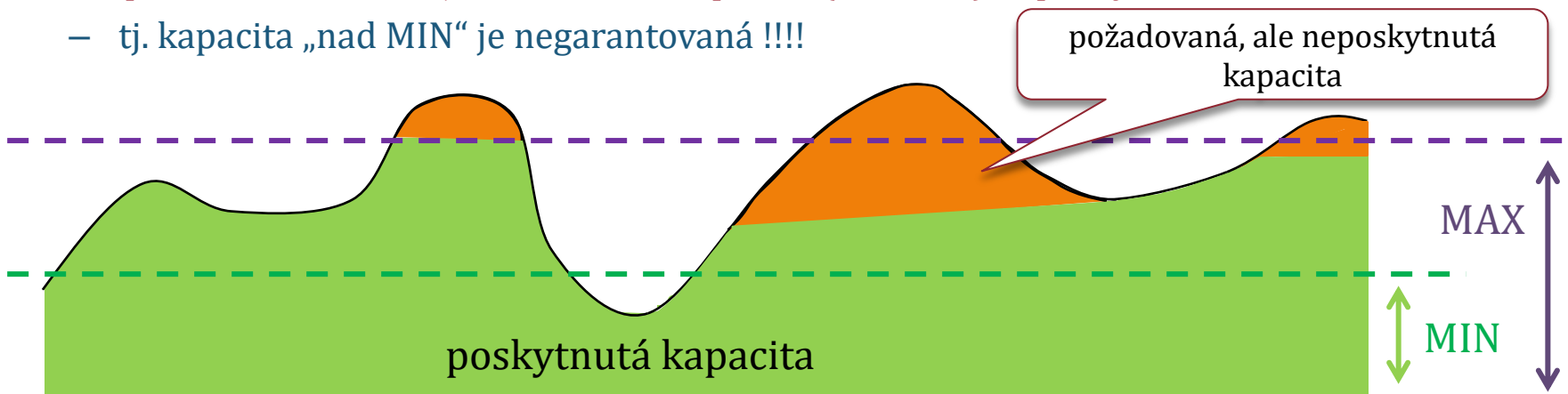
- ta část přenosové kapacity (do hodnoty MAX), která není skutečně využita, může být vrácena

- přenechána jinému přenosu




ABR: Available Bit Rate

- třídy CBR a VBR jsou vhodné pro multimediální přenosy/služby
 - pro přenos videa či audia (bez komprimace / s komprimací)
- **ABR: Available Bit Rate** (doslova: dostupná rychlost)
 - je třída vhodná pro datové přenosy
 - například: pro propojení počítačových sítí
 - garantuje určitou minimální přenosovou kapacitu
 - v hodnotě **MIN**
 - ale pokud má k dispozici dostatek zdrojů, může poskytnout i další kapacitu
 - do hodnoty **MAX**
 - může jít o kapacitu nevyužitou přenosy ve třídě VBR
 - nebo o „další“ volnou kapacitu, která nebyla využita pro přenosy ve třídách CBR a VBR
 - ale pokud ATM síť zdroje nemá, další kapacitu (nad MIN) neposkytne
 - tj. kapacita „nad MIN“ je negarantovaná !!!!




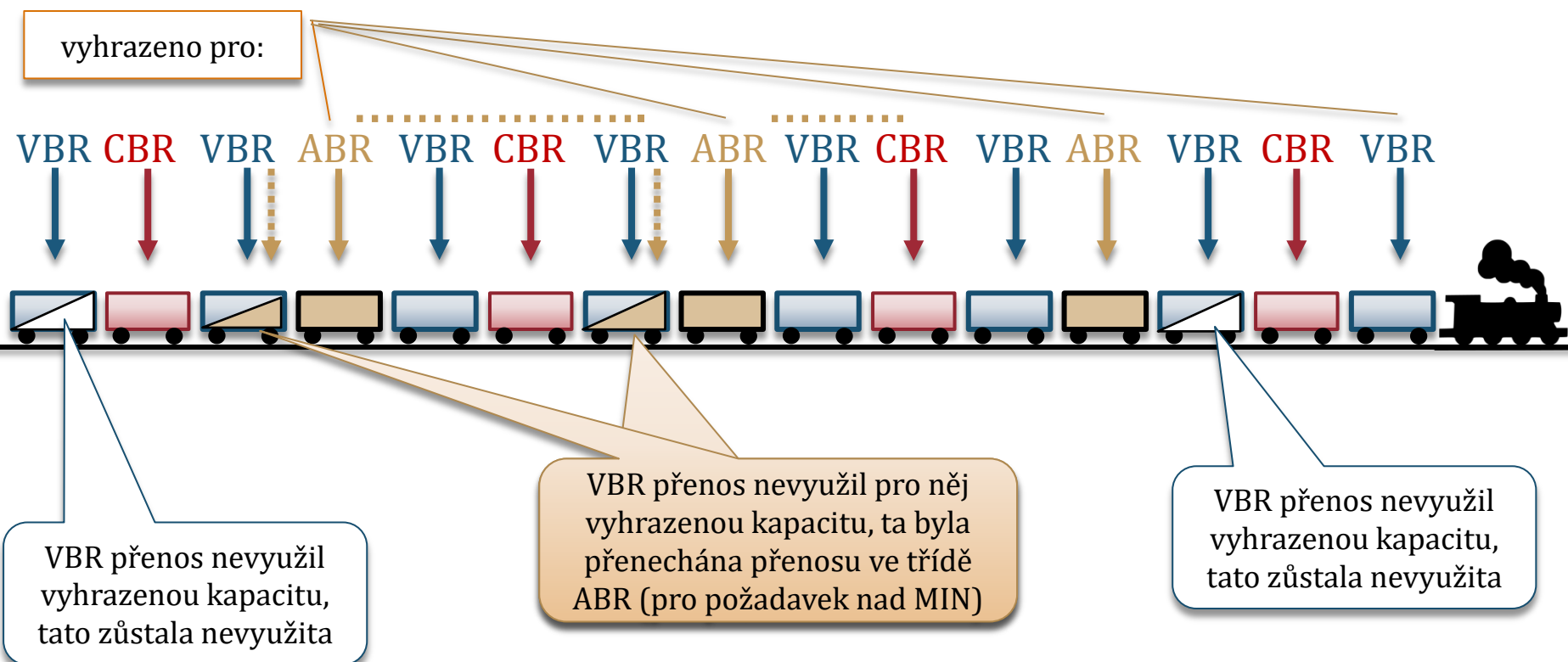
jak je realizováno VBR a ABR?

• VBR (Variable Bit Rate):

- vyhradí se počet vagonů dle hodnoty MAX 
 - stejně jako u třídy CBR
- vyhrazené ale nevyužité vagony se mohou vrátit
 - přenechat jinému přenosu, např. ABR

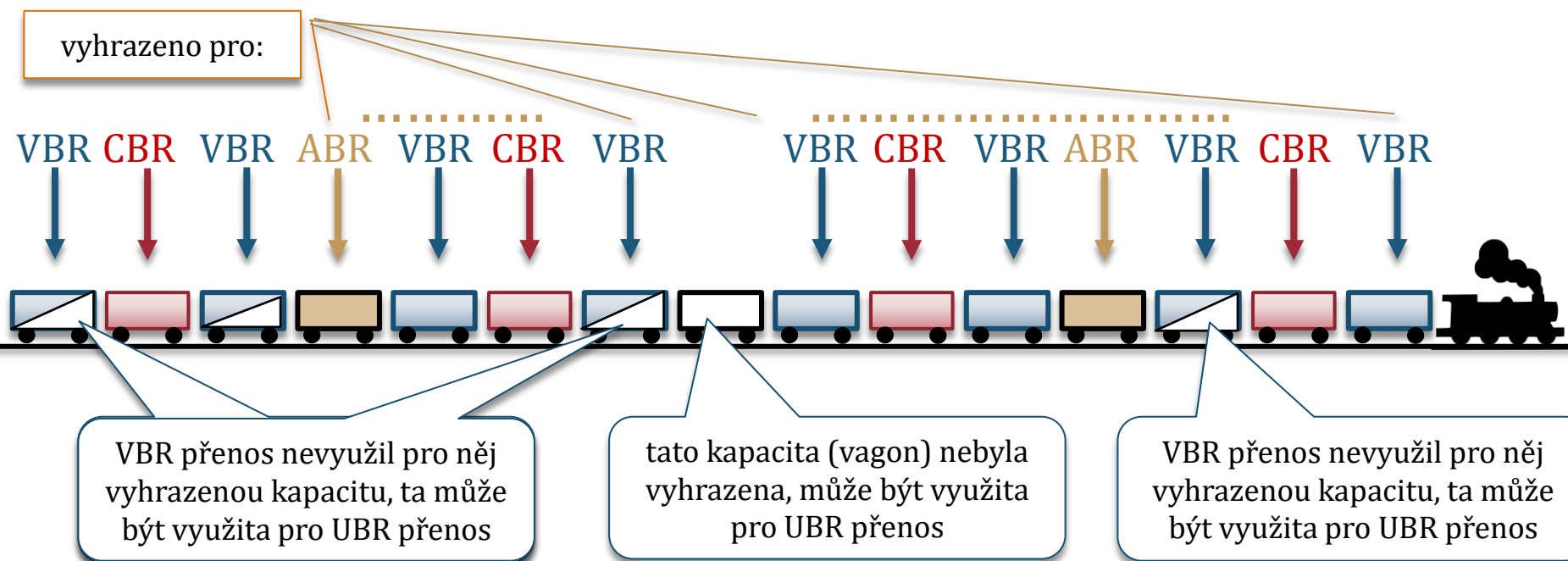
• ABR (Available Bit Rate)

- vyhradí se počet vagonů dle hodnoty MIN 
 - dle garantovaného minima
- v případě potřeby mohou být poskytnuty další vagony
 - ale nemusí – dle jejich dostupnosti



UBR: Unspecified Bit Rate

- třída **UBR** nic negarantuje – funguje stylem best effort
 - nevyhrazuje se pro ni žádná přenosová kapacita
 - může přenést data pouze tehdy, pokud je právě k dispozici nějaká volná přenosová kapacita
 - nějaké momentálně prázdné „vagony“



- třída **UBR** (Unspecified Bit Rate) se využívá například při přenosu IP paketů pomocí technologie ATM
 - pro implementaci IP over ATM

další vlastnosti technologie ATM

- **ATM je technologií linkové vrstvy (L2)**

- zabývá se přenosem celých (ATM) buněk
- nezabývá se přenosem jednotlivých bitů/bytů

- **ATM nemá fyzickou vrstvu (L1) !!!!**

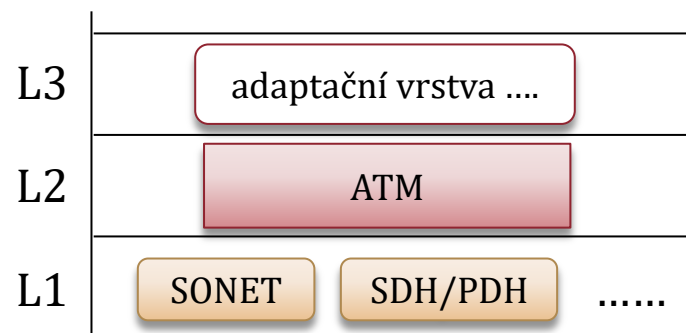
- místo toho využívá takovou technologii fyzické vrstvy (L1), jaká je k dispozici
 - například: SONET (optická vlákna), SDH/PDH,

- **ATM nemá žádnou „vlastní“ přenosovou rychlost**

- ta záleží na tom, jaká fyzická přenosová technologie (L1) je „podstrčena“ pod ATM
 - a zajišťuje pro ni přenos jednotlivých bitů

- **ale:**



- předpokládá se, že na L1 půjde o přenosovou technologii na bázi optiky
 - nebo o něco srovnatelného s optikou, pokud jde o spolehlivost přenosu
- **důsledek:**
 - předpokládá se, že použitá přenosová technologie na L1 je relativně spolehlivá
 - nedochází u ní (příliš často) k chybám v přenášených datech či jejich ztrátě
 - **proto je technologie ATM (na L2) navržena jako nespolehlivá !!!**
 - nemá žádné mechanismy pro opravy chyb (potvrzování, opakování přenosů,)

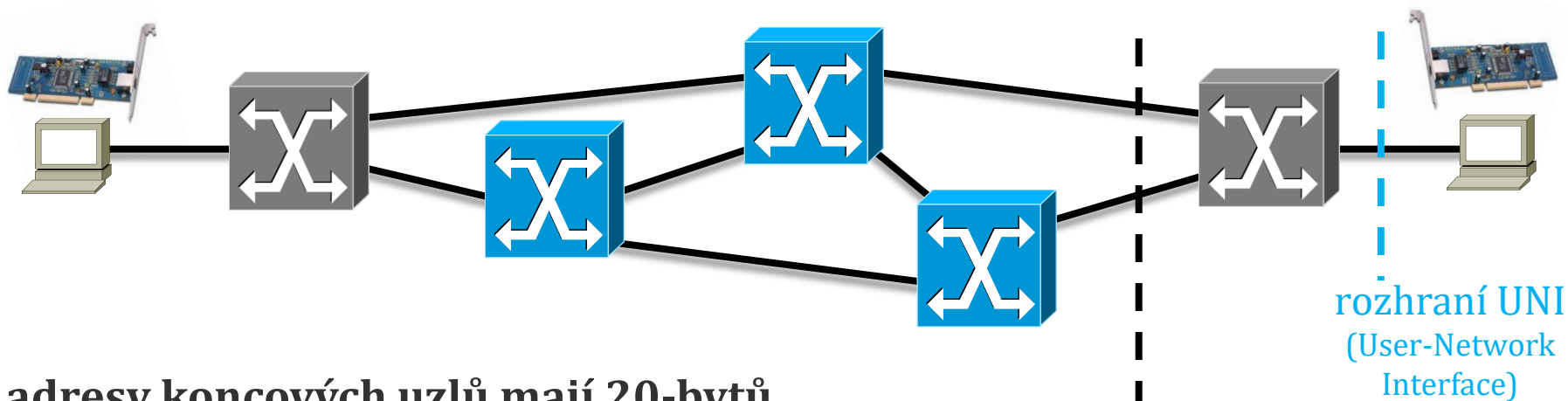


další vlastnosti technologie ATM

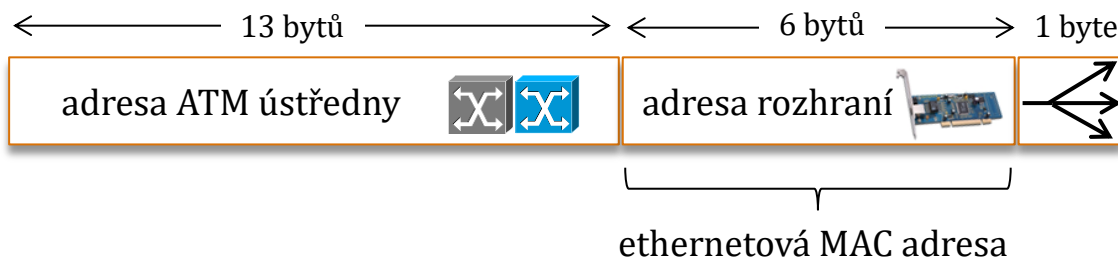
- v ATM sítích jsou 2 druhy uzlů:
 - koncové uzly**
 - ATM ústředny** (obdoba směrovačů v jiných sítích)

- které lze ještě dělit do 2 skupin:

-  – **vnitřní ATM ústředny**: jsou propojeny jen s dalšími ATM ústřednami
-  – **vnější ATM ústředny**: jsou propojeny s dalšími ATM ústřednami i s koncovými zařízeními



- adresy koncových uzlů mají 20-bytů

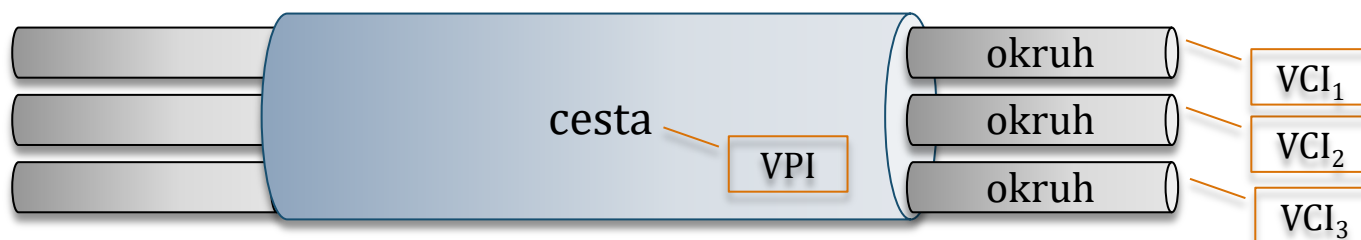


rozhraní NNI
(Network-Network
Interface)

obdoba čísla
portu

ATM funguje (pouze) spojovaně

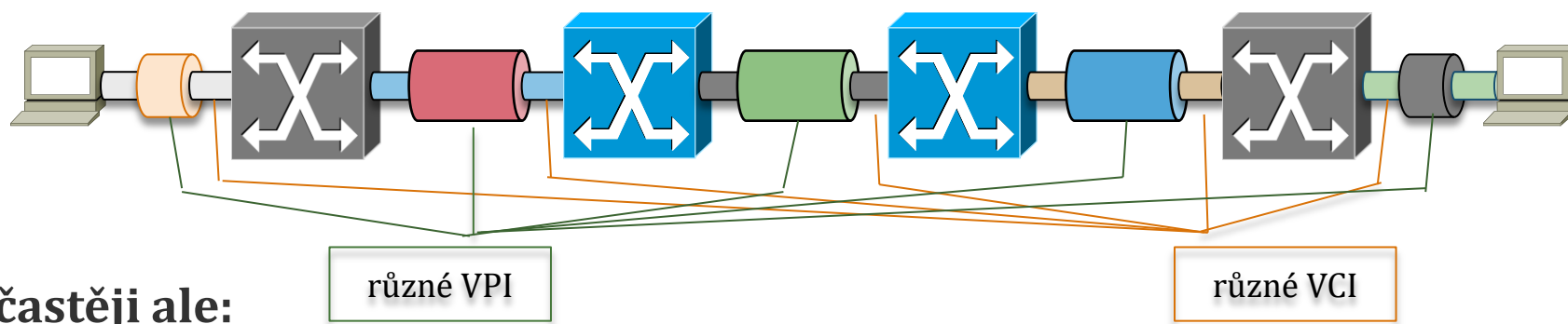
- **prozaický důvod:**
 - 20-bytové ATM adresy se nevejdou do 5-bytových hlaviček ATM buněk
 - pokud by ATM fungovala nespojovaně, musela by každá ATM buňka nést (ve své hlavičce) nejméně jednu takovouto 20-bytovou adresu
- **řešení:**
 - **ATM funguje pouze spojovaně**
 - do hlavičky ATM buněk se vkládají (podstatně menší) identifikátory okruhů
 - „celé“ ATM adresy (v rozsahu 20 bytů) se použijí pouze při navazování spojení
 - kdy se přenáší v těle ATM buňky (kam se již vejdou)
- **kromě toho:**
 - technologie ATM používá další „trik“ pro zmenšení velikosti identifikátorů v hlavičce
 - a současně pro usnadnění samotného směrování (rozhodování o směru)
 - jde o 2-úrovňové adresování:
 - virtuální cesta (vyšší úroveň adresy) – identifikuje ji **VPI** (Virtual Path Identifier)
 - virtuální okruh (nižší úroveň adresy) – identifikuje ji **VCI** (Virtual Circuit Identifier)



cesty a okruhy v ATM

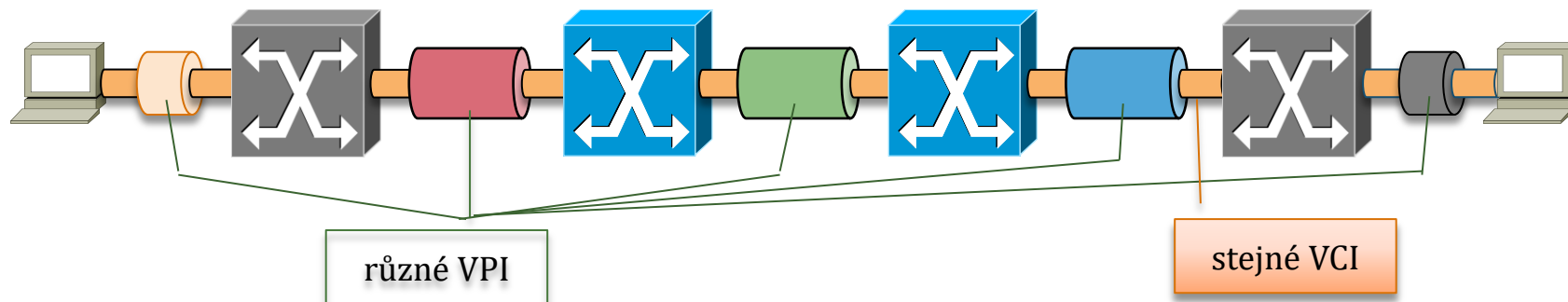
• důsledky 2-úrovňové adresace v ATM

- oba identifikátory (virtuální cesty **VPI** a virtuálního okruhu **VCI**) mají **obecně** pouze lokální význam
 - tj. při průchodu přes ATM ústřednu se může měnit (přepisovat) jak VPI, tak i VCI



• častěji ale:

- mezi ústřednami se mění jen identifikátory virtuální cesty (VPI)
- zatímco identifikátory virtuálních okruhů (VCI) zůstávají stejné
 - výhoda: ATM ústřednám stačí rozhodovat se jen podle VPI
 - tj. podle menšího počtu adresních bitů !!!



formát hlavičky ATM buňky

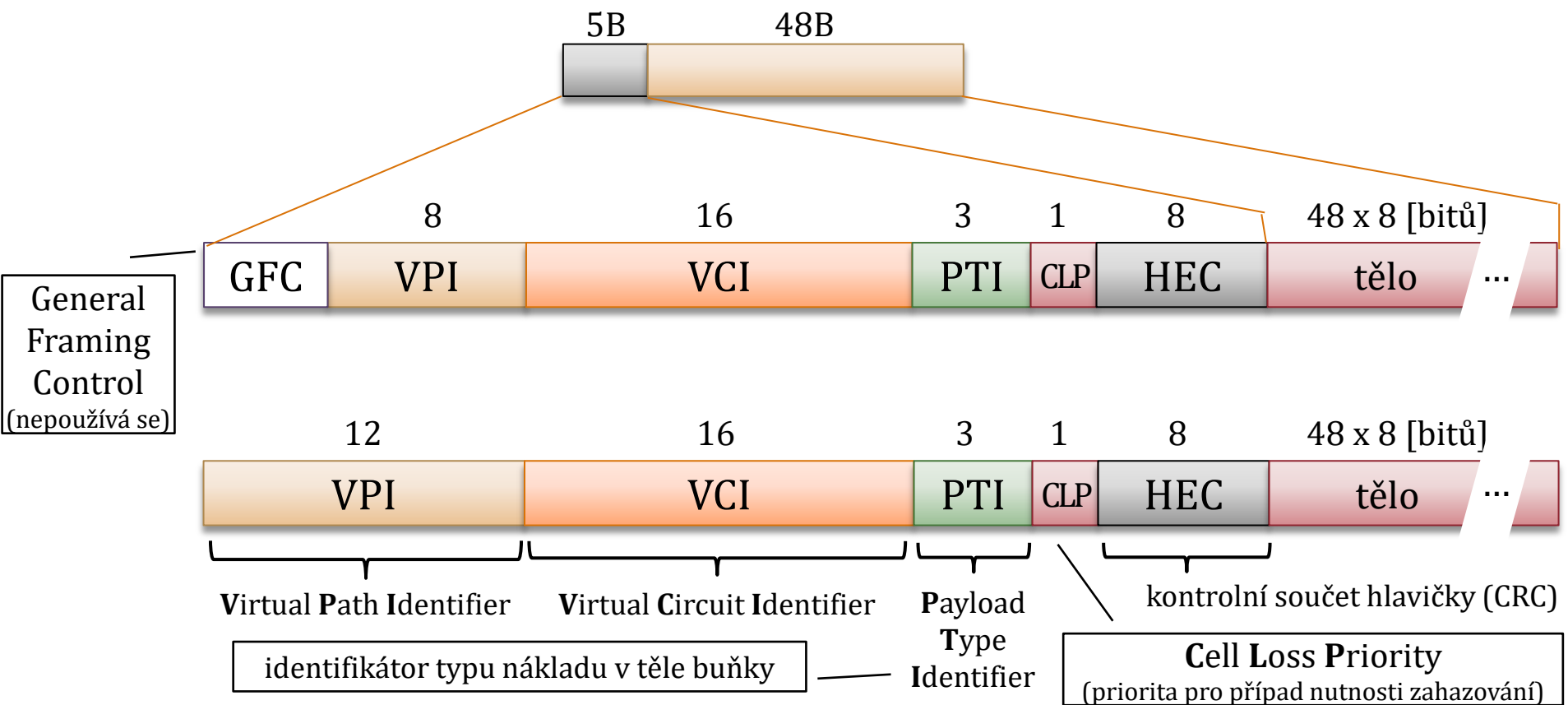
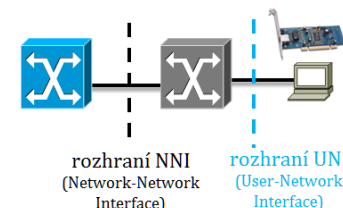
- je různý podle rozhraní (NNI vs. UNI)

- pro identifikátor virtuálního okruhu (VCI) je v obou formátech vyhrazeno stejně:

- 16 bitů (tj. lze rozlišit až 2^{16} okruhů)

- pro identifikátor virtuální cesty (VPI) jsou vyhrazeny různé počty bitů

- na „vnějším“ rozhraní **UNI** (User/Network Interface) je vyhrazeno 8 bitů
- na „vnitřním“ rozhraní **NNI** (Network/Network Interface) je vyhrazeno 12 bitů



- **virtuální okruhy (a cesty) v ATM mohou být**

- **permanentní (statické): PVC (Permanent Virtual Circuit)**
 - existují „apriorně“ – vytváří je správci sítě pomocí svých nástrojů pro správu
 - dostávají přidělené konkrétní hodnoty VCI (VPI)
- **komutované (dynamické): SVC (Switched Virtual Circuits)**
 - vznikají na žádost, na základě jejich aktuální potřeby
 - podobně jako „vytáčené“ telefonní okruhy
 - žádosti o navázání či rušení spojení se posílají skrze „dobře známý“ virtuální okruh a cestu
 - VPI = 0, VPI = 5
 - 20-bytová adresa cílového uzlu se vkládá do těla ATM buňky



- **virtuální spojení (Virtual Connection)**

- je spojení mezi 2 koncovými body
 - je dáno kombinací cesty a okruhu
- každé spojení může mít (jinou) podporu QoS
- spojení může být typu 1:1 (unicast) nebo 1:N (multicast)

ale broadcast není v ATM podporován !!!

- **podpora QoS:**

- při navazování spojení (permanentního i komutovaného) je možné požadovat konkrétní parametry QoS, například:
 - přenosovou rychlost
 - ve významu dle CBR, VBR, ABR a UBR
 - maximální přenosové zpoždění
 - maximální jitter
 - maximální ztrátovost (packet loss)
 -
- pokud ATM síť nemá dostatek zdrojů na zajištění požadované QoS, žádosti o navázání spojení nevyhoví !!!

adaptační vrstvy ATM

- **připomenutí:**

- technologie ATM nezapadá (příliš dobře) do vrstevnatého modelu ISO/OSI

- **ATM je považována za technologii linkové vrstvy (L2)**

- ale s tím nekoresponduje skutečnost, že ATM zajišťuje end-to-end komunikaci

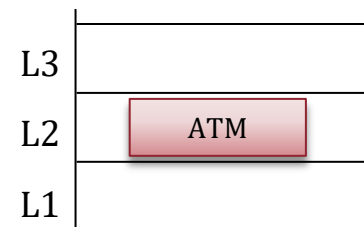
- včetně směrování mezi ATM ústřednami – to odpovídá síťové vrstvě

- **další problém:**

- jak „napojit“ obvyklé protokoly vyšších vrstev na ATM?

- tak, aby:

- dokázaly pracovat s tak malými přenášenými bloky (48 bytů – velikost těla ATM buňky)
- dokázaly využít podporu kvality služeb (QoS) a dostupné třídy služeb (CBR, VBR, ABR, UBR)
- dokázaly fungovat v prostředí, které funguje výhradně spojovaně
 - zatímco například protokol IP funguje nespojovaně !!!!
- dokázaly fungovat v prostředí, které neumožňuje broadcast
 - zatímco například protokol IP s ním počítá a využívá ho
- existovaly mechanismy převodu mezi ATM adresami a adresami protokolů vyšších vrstev
 - například k převodu mezi IP adresami a ATM adresami (resp. VPI/VCI)

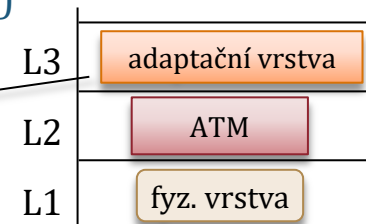


- **řešení:**

- **adaptační vrstva (ATM Adaptation Layer)**

- je definováno více různých adaptačních vrstev: AAL1 až AAL5

má ale spíše charakter
transportní vrstvy



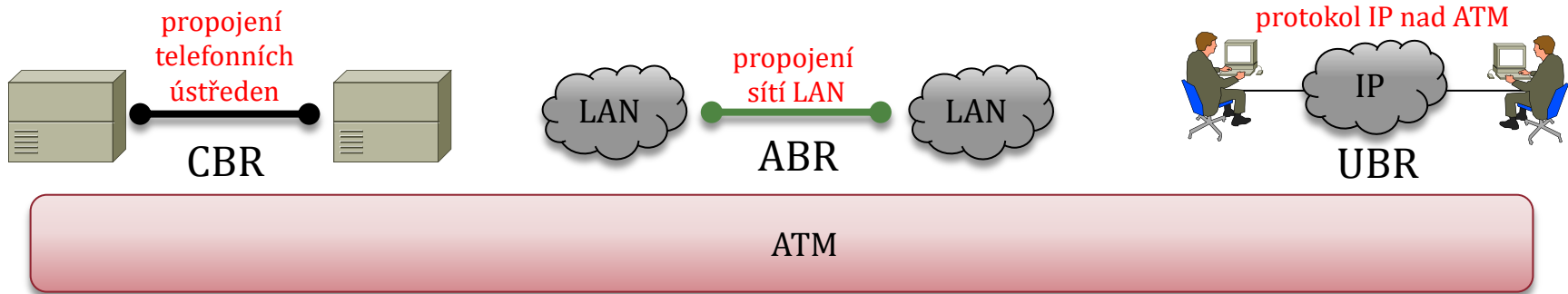
praktické využití ATM

- **připomenutí:**

- ATM je konvergovaná technologie, která se snaží vyjít vstříc potřebám různých druhů přenosů

současně !!!

- v praxi: ATM je jakýsi „substrát“, nad kterým mohou být provozovány různé druhy přenosů
 - i pomocí různých přenosových protokolů vyšších vrstev (včetně protokolu IP)



- **jak provozovat protokol IP nad ATM?**

- existuje na to více (standardizovaných) „postupů“: Classical IP over ATM, MPOA, LANE (LAN Emulation),

- obecně: je to možné, v praxi se to používá - spíše ale pro IP sítě páteřního charakteru
- ale je to komplikované a „drahé“

- **režie na provozování IP nad ATM běžně dosahuje kolem 30% !!!!**

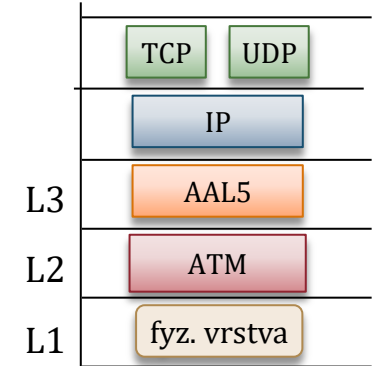
- a to ještě některé vlastnosti IP protokolu nemusí být dostupné (např. broadcast)

jak provozovat IP nad ATM?

- snaha provozovat protokol IP nad technologií ATM přináší řadu nástrah

- například:

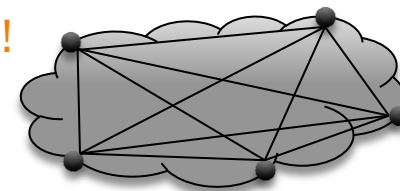
- jak realizovat nespojovaný způsob komunikace (IP) v prostředí, které funguje výhradně spojovaně?
 - princip: u sítí páteřního charakteru, kde je (relativně) málo uzlů, lze navázat (ATM) spojení stylem „každý s každým“
- jak členit hostitelské počítače do konkrétních IP sítí?
 - prostřednictvím řídicího serveru, který jim řekne, do které IP sítě patří
 - a přidělí jim i jejich IP adresu a další konfigurační údaje
- jak emulovat broadcast (který technologie ATM neposkytuje)?
 - princip: pomocí „rozesílacího“ serveru
 - každý koncový uzel (hostitelský počítač) se mu ohlásí
 - server má vytvořeno (ATM) spojení ke každému uzlu, o jehož existenci ví
 - když některý uzel potřebuje něco rozeslat pomocí broadcastu, pošle to tomuto serveru
 - a ten se již postará o rozeslání všem koncovým uzlům (hostitelským počítačům) v dané IP síti
- jak překládat mezi IP adresami a ATM adresami
 - když není k dispozici broadcast, nelze použít protokol ARP
 - princip: pomocí „překladačného“ serveru, který vede převodní tabulku mezi IP a ATM adresami
 - zájemce o překlad pošle dotaz tomuto serveru



proto je režie běžně kolem 30% (celkové dostupné kapacity)

přepínání místo směrování

- **připomenutí: protokol IP funguje nespojovaně**
 - tj. každý jednotlivý paket (datagram) je směrován samostatně a nezávisle na ostatních
 - neboli: pokaždé znovu se hledá optimální cesta
 - přitom: směrování (routing) na L3 je složité, drahé a pomalé !!!!



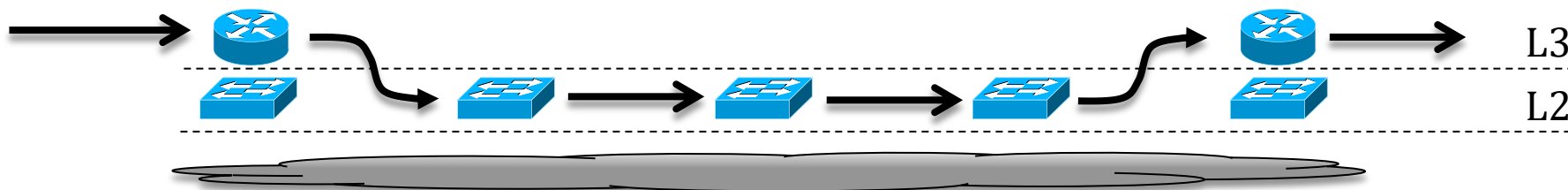
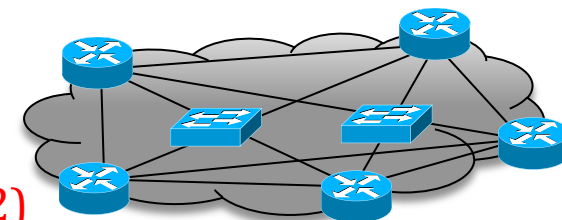
- **důsledek:**
 - v páteřních sítích je to (velmi) neefektivní !!!
 - počet různých „tras“ zde bývá velmi malý (kvůli malému počtu uzlů v páteřních sítích)
 - paketů, které cestují mezi stejnými místy (od stejného odesilatele ke stejnému příjemci) je naopak hodně
 - proto: je zbytečné znovu a znovu (u každého jednotlivého paketu) provádět „úplné“ směrování

- **myšlenka (jak to udělat jinak):**



- místo směrování (na L3) použít přepínání (switching, na L2)

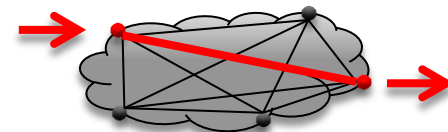
- které může být podstatně jednodušší, rychlejší a levnější
 - a je možné jej i „zadrátovat“ (implementovat v HW)



přepínání místo směrování

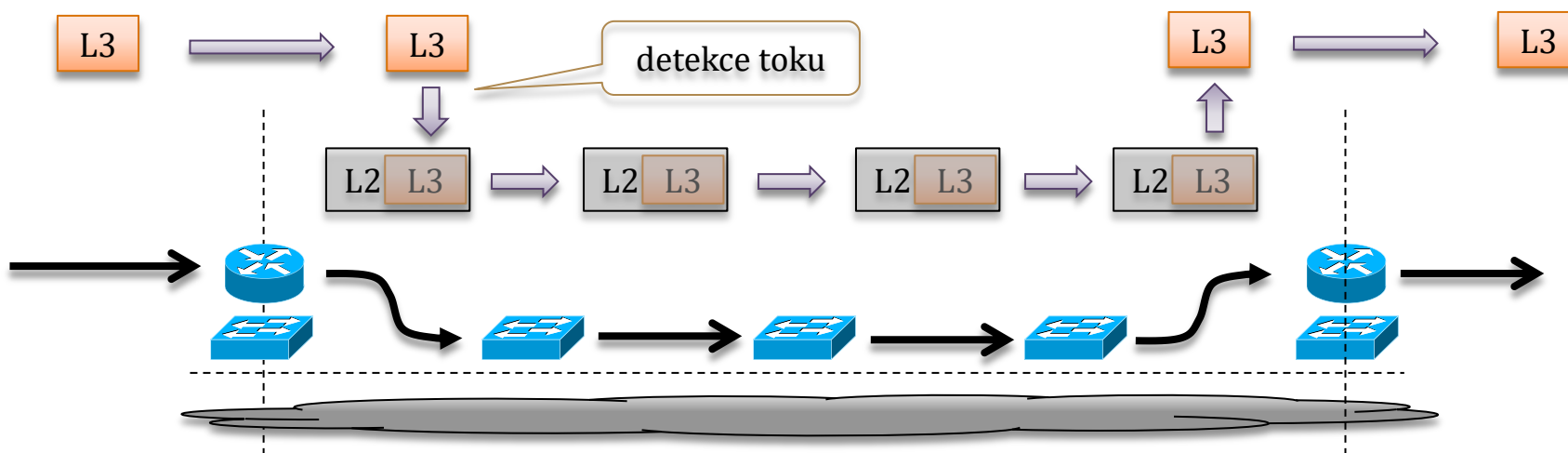
• co je nutné udělat?

- rozpoznat, které IP pakety „patří k sobě“
 - ve smyslu: jdou stejnou cestou (od stejného odesilatele ke stejnému příjemci)
- neboli: rozpoznat stejné **datové toky/proudy** (data flows/streams) na úrovni L3
 - datový tok (proud) = „ty pakety, které jdou stejnou cestou“
 - od stejného vstupního bodu do sítě do stejného výstupního bodu ze sítě
 - u IP paketů lze poznat relativně snadno: mají stejnou cílovou IP adresu



• další postup:

- IP paket, patřící k určitému datovému toku, se ve vstupním bodě vloží do L2 obálky a přenese (po L2) až do výstupního bodu, kde se zase vybalí z L2 obálky (a „vrátí“ na L3)
 - L2 obálka je vlastně linkový rámeček
 - tj. během přenosu L2 obálky jde o přepínání (switching)



label switching

- **(obvyklé) praktické řešení:**

- nejprve se detekují datové proudy

- podle příslušnosti k určitému proudu se síťový paket opatří **nálepkou** (tag, label)

- připojí se zleva

- je to jednodušší než vkládat paket do (celého) linkového rámce !!
 - například zde není patička, struktura nálepky je jednodušší

- nálepky dají se připojit k síťovým paketům různých protokolů

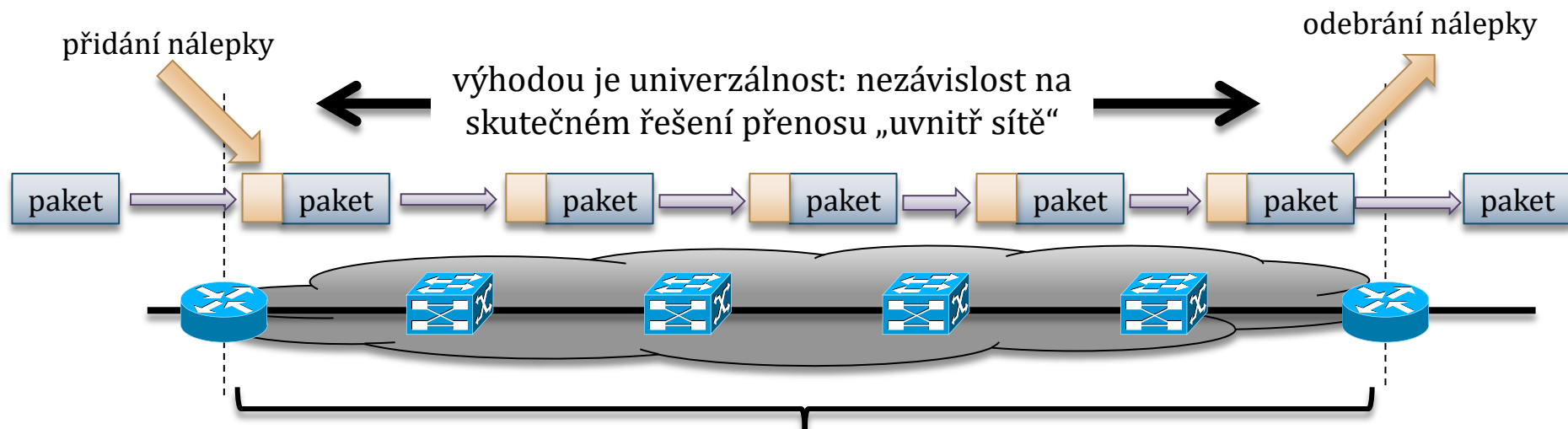
- nemusí se jednat jen o IP pakety

při vstupu do sítě

při výstupu ze sítě se nálepka zase odebere

- následně se jednotlivé bloky přepínají (switch-ují) podle svých nálepek

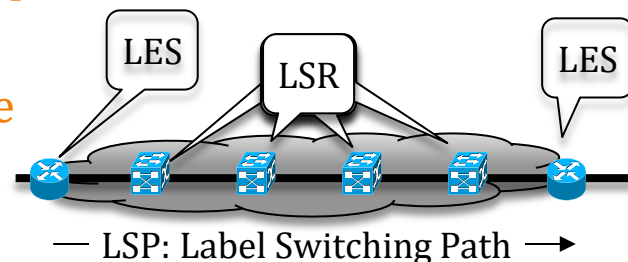
- pomocí zařízení (přepínačů), které se rozhodují podle nálepek



zde mohou být využity různé technologie na L2: ATM, Frame Relay, PPP, Ethernet,

- **MPLS: Multi Protocol Label Switching**

- jedno konkrétní (dnes asi nepoužívanější) řešení, na principu „label switching“
 - pochází „ze světa Internetu“: od IETF (definováno v RFC 3031 – MPLS Architecture a dalších)
- „Multi Protocol“ = může přenášet síťové pakety různých protokolů
 - nemusí se jednat pouze o IP pakety
- pro vlastní transport dat lze použít různé L2 technologie
 - ale jejich volba není „vidět“ na L3 !!!!



- **terminologie:**

- LES (Label Edge Router): směrovač na okraji MPLS sítě
 - přidává nálepky k síťovým paketům (při vstupu), resp. odebírá je (při výstupu)
- LSR (Label Switch Router): zařízení „uvnitř“ MPLS sítě
- LSP (Label Switching Path): (jednosměrná) cesta „skrz“ MPLS síť
- FEC (Forward Equivalence Class): konkrétní proudy/toky síťových paketů
 - různé FEC představují různé hodnoty nálepek, které se připojují k síťovým paketům
 - stejná FEC = stejná hodnota nálepky = data „jdoucí stejnou cestou“ (ke stejnému výstupnímu bodu)

- **příklad:**

- pokud MPLS používá technologii ATM, jednotlivé FEC (hodnoty nálepek) odpovídají virtuálním spojením v ATM

- kombinaci VPI a VCI

