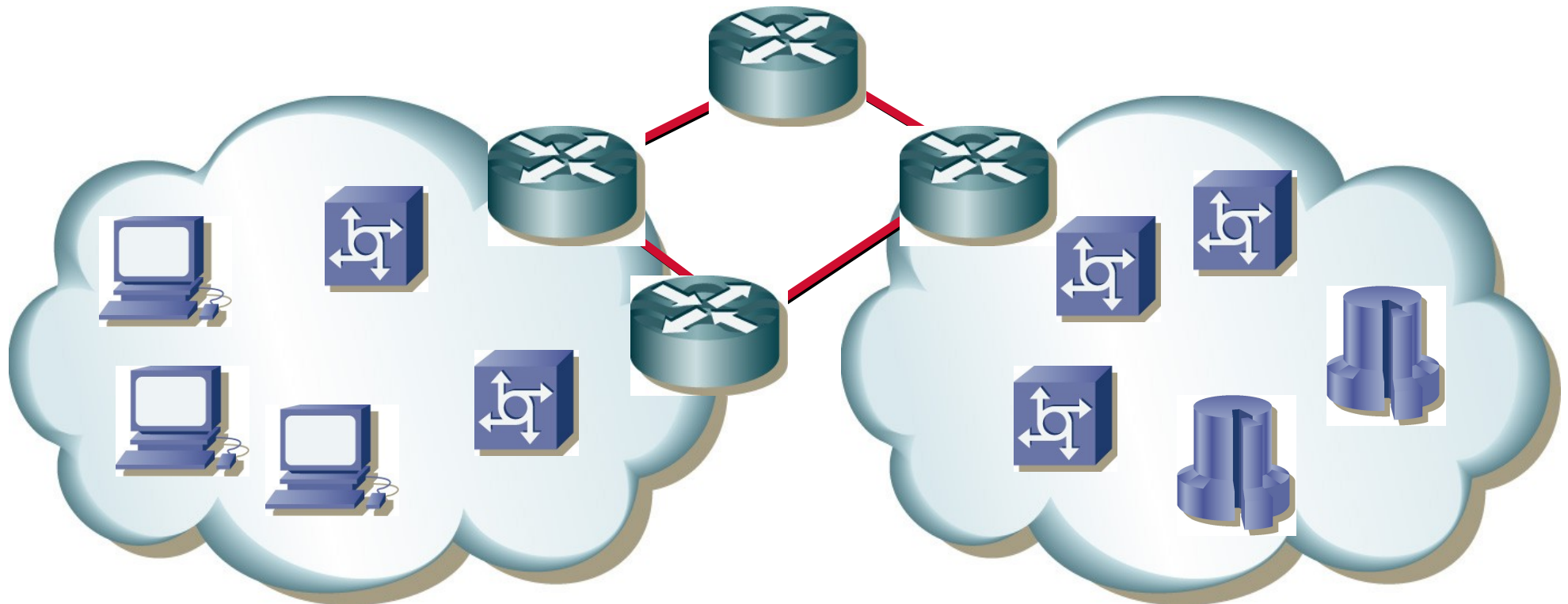


# Počítačové sítě I

## 7. WAN, ATM

*Miroslav Spousta, 2005*

<qiq@ucw.cz>, <http://www.ucw.cz/~qiq/vsfs/>



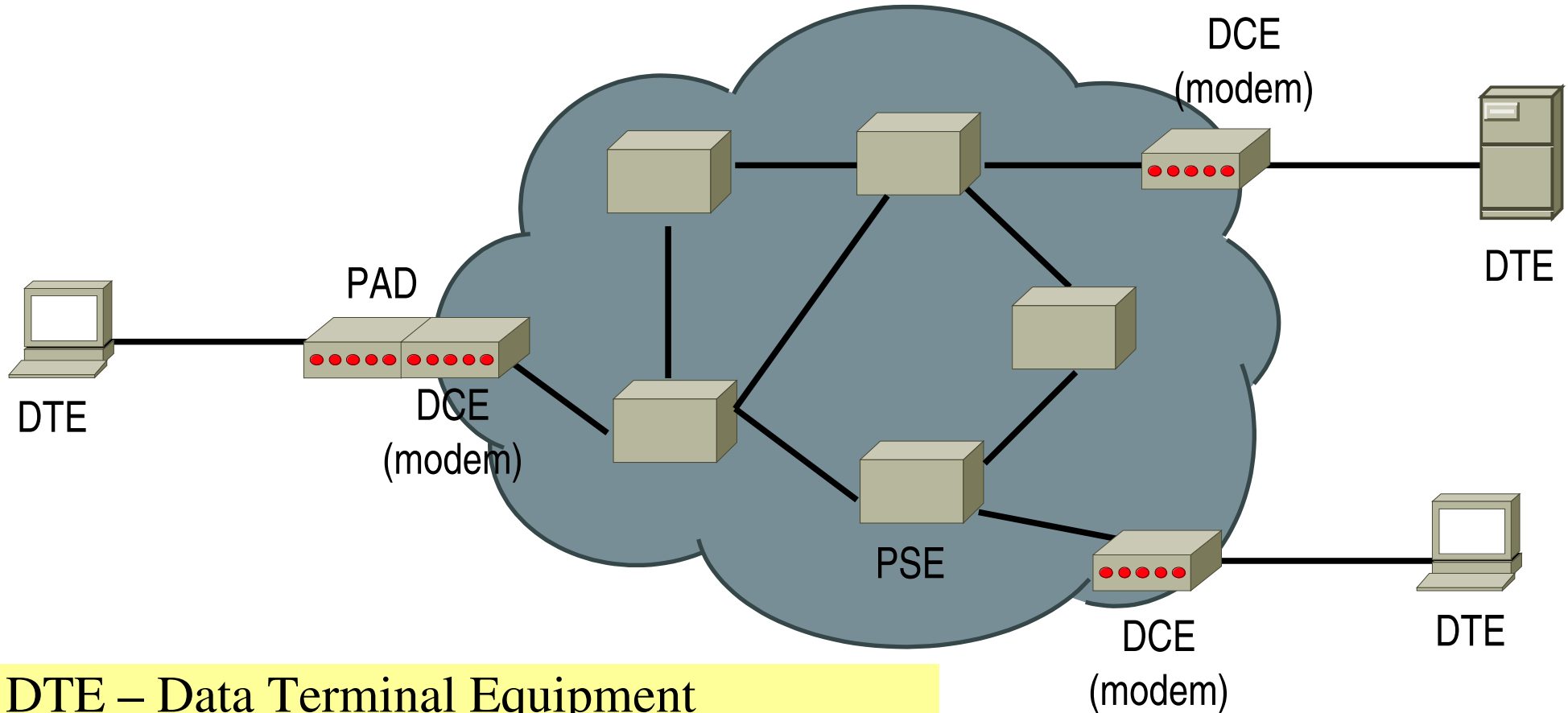
# WAN

- Wide area network, rozlehlé sítě
- sériová linka
- X.25, Frame Relay
- telefonní linka, ISDN
- PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)
- STM (Synchronous Transfer Mode)
  - používané v telekomunikacích
- ATM (Asynchronous Transfer Mode)
  - doplňková služba k STM, snaží se přizpůsobit požadavkům počítačových sítí

# X.25

- WAN, ze 70. let 20. století, rozšířená zejména 80. letech
  - i později, na připojování poboček k ústředí
  - „dědeček“ dnešních WAN (zejména Frame Relay)
- síť na principu přepojování paketů, využívala telefonní linku
- zamýšlena především pro připojování hloupých terminálů
  - místo modem-telefonní linka-modem
  - terminál se připojí k PAD (Packet Assembly/Disassembly), což je zařízení, které má na jedné straně modem/sériový port a na druhé X.25 rozhraní
  - chytřejší zařízení se mohou připojovat přímo k síti pomocí X.25
- používá se spojovaný přenos, spolehlivá služba
  - protože telefonní linka na velké vzdálenosti byla velmi chybová, bylo použito mnoho korekčních mechanismů

# X.25



DTE – Data Terminal Equipment  
DCE – Data Circuit-Terminating Equipment  
PSE – Packet Switching Equipment  
PAD – Packet Assembly/Disassembly

# X.25 (spojení)

- dva možné módy X.25:
  - SVC (Switched Virtual Circuits): dočasná spojení, pouze pro přenos dat
  - PVC (Permanent Virtual Circuits): trvalá spojení
- většinou se používaly jako PVC
  - byly levnější, než pronajatá linka, platil se paušál a přenesená data
- zvenku se síť tváří jako přepojování okruhů, ale přepojují se pakety
- na fyzické vrstvě podporuje point-to-point, max. 64 kbps, synchronní full-duplex komunikaci
- umožňuje multiplexovat několik virtuálních spojení do jednoho fyzického

# X.25

- formát adres: X.121
  - podobné telefonnímu číslu
  - 3 číslice: národní předvolba, 1 číslice: síť, dalších 10 číslic: národní číslo
  - první 4 číslice bylo možné vynechat (při volání v rámci jednoho operátora)
- obsahuje mnoho zabezpečovacích prvků (pro nekvalitní linky)
  - korekce chyb mezi každými dvěma switchi
  - (předpokládalo hloupé koncové prvky)
  - snaha o redukci režie => Frame Relay
- možný předchůdce dnešního Internetu
  - služby: např. pošta X.400, pokus o standardizaci: OSI

# Frame Relay

- nástupnická technologie X.25
  - zjednodušená, vypuštěny některé kontroly
- spojovaná, nespolehlivá služba (oproti X.25)
  - korekce chyb ponechána na aplikacích
- rychlost: 64 kbps – 2 Mbps, velikost rámců až 8 kB
- používá se jako PVC, menší latence (srovnatelná s modemem)
- pracuje na linkové vrstvě (end-to-end komunikace)
- používá statistický multiplex
  - operátoři často způsobili přetěžování (overbooking) => špatná pověst mezi uživateli
- ustoupilo do pozadí pod tlakem ATM a IP
  - často také jako kombinovaná služba

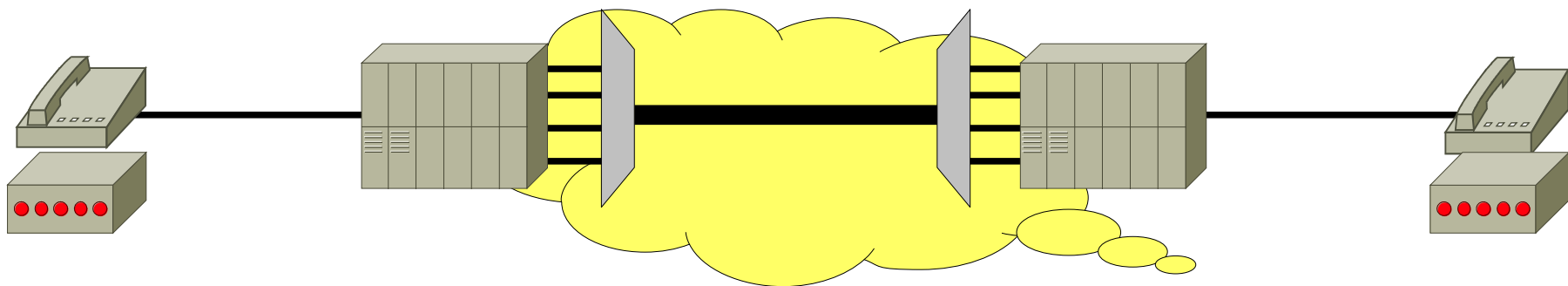
# POTS

- klasická telefonní služba (Plain Old Telephone System)
- původně čistě analogová technika
  - pro přepojování elektromechanické ústředny, pulsní volba
- místní smyčka: drát od telefonní ústředny ke koncovému uživateli
- ústředny tvoří hierarchii
  - pobočková ústředna (PBX) – často vlastní firma
  - místní ústředny, tranzitní ústředny
- propojení ústředen: frekvenční multiplex
  - na vstupu do ústředny je omezeno hovorové pásmo: 3.1 kHz
  - po vodičích je možné přenášet podstatně vyšší rychlostí
- přenos dat jako čistě analogový signál (celou soustavou)
  - je potřeba modem, max. rychlost 33.6 kbps



# Digitální telefonní síť

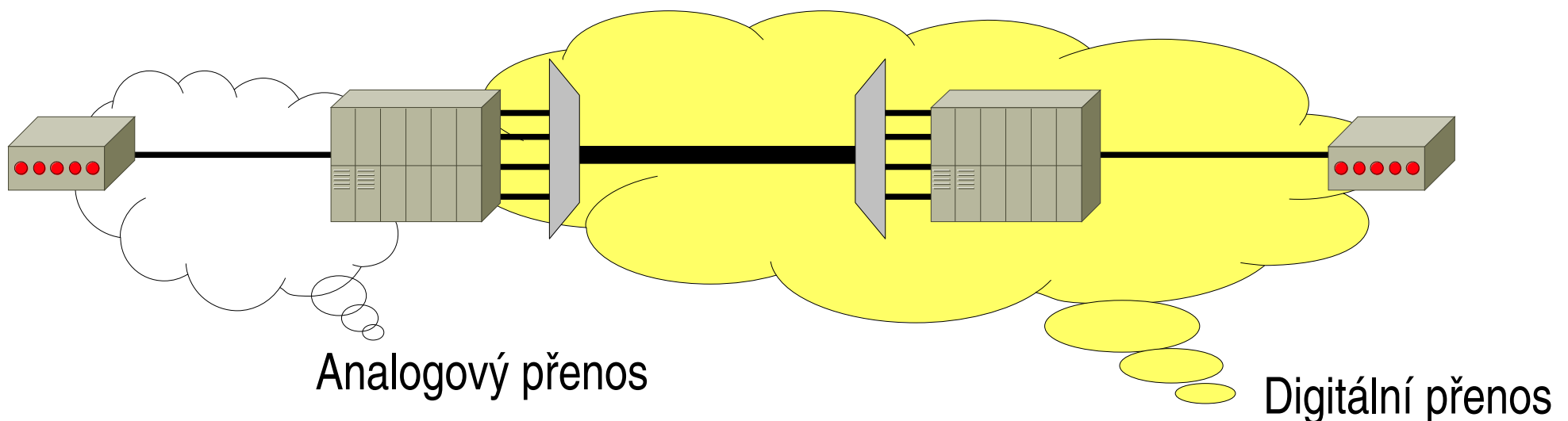
- mezi ústřednami časový multiplex
  - přepojování uvnitř sítě funguje digitálně (64 kbps/hovorový kanál)
  - na rozhraní místní smyčka – ústředna je nutné převést signál
- místní smyčka ale stále funguje analogově
- přenos dat: stejně jako v případě čistě analogové sítě
  - opět je potřeba modem
  - 4x se převádí signál: analog => digital => analog => digital
  - opět je maximální rychlost 33.6 kbps



Digitální přenos

# Digitální přenos dat

- odstraníme jednu sadu konverzí => můžeme dále zvýšit rychlost
- 56 kbps download, až 48 kbps upload (V.92)
  - pro analogovou linku: 28.8/33.6 kbps – V.34
  - často se používá HW komprese (MNP5, V.42bis, V.44 (až 8:1))
  - modemy dokáží přecházet mezi rychlostmi podle kvality linky



# PDH

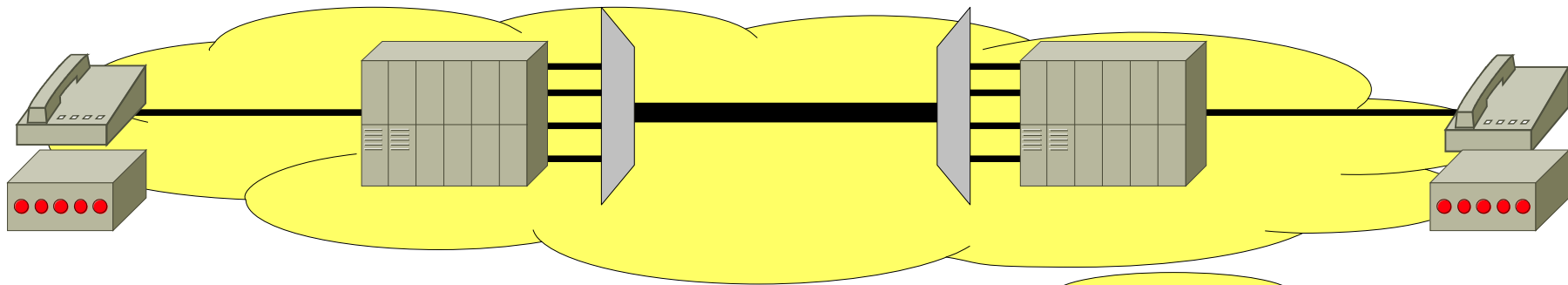
- Plesiochronous Digital Hierarchy (*plesio – blízký, chronos – čas*)
- digitální přenos v telekomunikačních sítích
- funguje synchronně s určitou tolerancí
- základní kanál: 2048 Mbps (30x64 kbps + 2x64 kbps synchronizace)
  - hlas: 8000 vzorků za sekundu (125  $\mu$ s), 8 bitů každý: 64 kbps
- 4 kanály sdružovány multiplexováním po bitech
  - problém: různá rychlost kanálů: chybějící bity kanálu jsou speciálně označeny
- sdružování se může opakovat
- dlouho se používalo pouze uvnitř telekomunikačních systémů

# Sdružování kanálů

Evropa	USA	Počet základních kanálů	Přenosová rychlost (Mbps)
	T1	24	1,544
E1		30	2,048
	T2	96	6,312
E2		128	8,448
E3		512	34,368
	T3	672	44,736
E4		2048	139,27
	T4	4032	274.176
	T5	5760	400.352
E5		8192	565.148

# ISDN

- „digitální“ telefonní přípojka (sít s přepojováním okruhů)
  - protažení digitálního provozu až k zákazníkovi
- telefon, fax, počítačová síť, video: vše po stejném interface
  - přišlo pozdě (koncepte z roku 1984), pomalé, časová tarifkace
  - spíše se používá pro připojení na Internet, ostatní služby v rámci Internetu
  - dnes vytlačeno ADSL

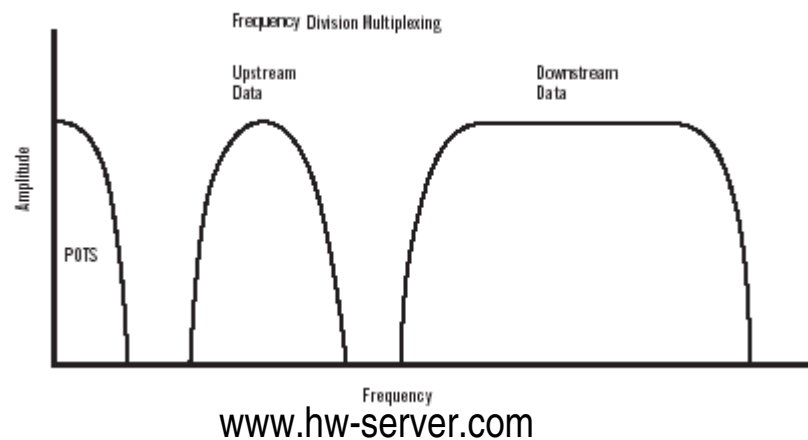


# ISDN

- pro přenos dat: B-kanál (64 kbps)
- pro řízení (sestavování cesty (vytáčení), řízení): D-kanál (16/64 kbps)
- dva základní druhy přístupu
- základní přístup (BRI, Basic Rate Interface):
  - typické využití: připojení koncového uživatele
  - 2xB kanál (2x64 kbps) + 1xD kanál (16 kbps)
  - 2 nezávislé hovory/datové toky
- primární přístup (PRI, Primary Rate Interface)
  - typické využití: připojení telefonní ústředny, LAN
  - 30xB kanál + 1xD kanál (64 kbps), E1 (T1)
- data probíhají v síti ISDN stejně jako hovory

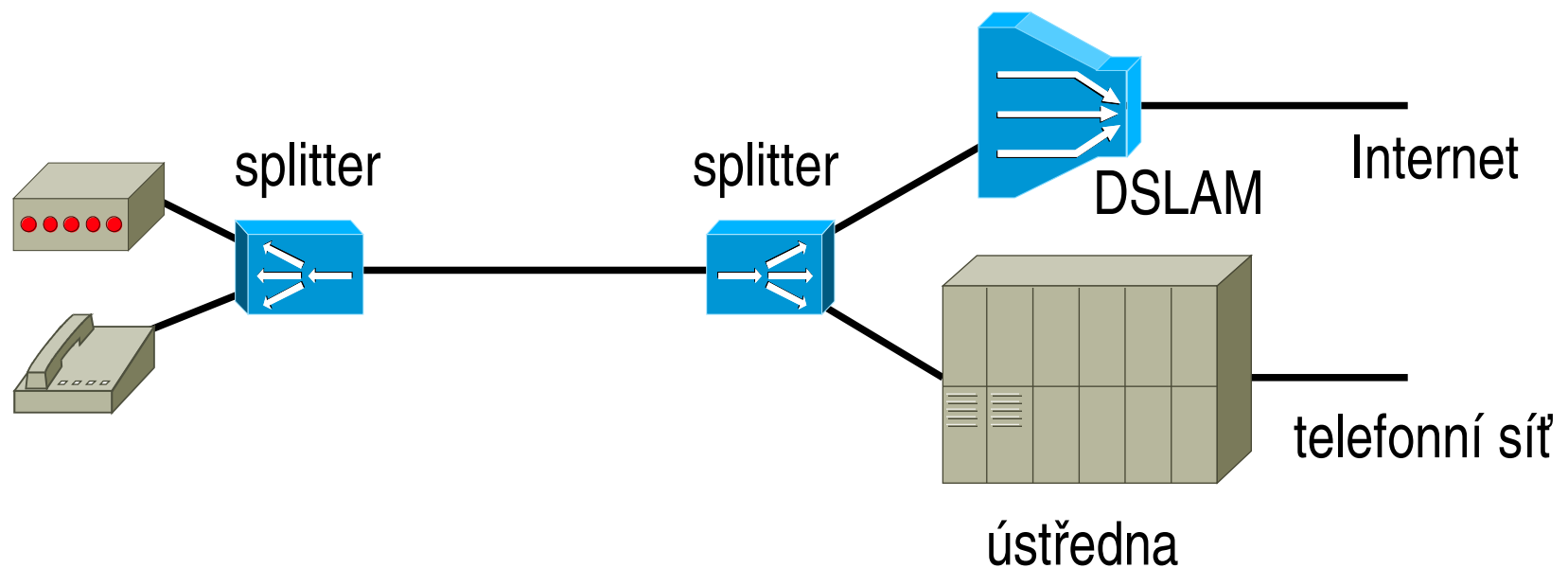
# xDSL

- ani ISDN nevyužívá telefonní přípojku maximálně
- xDSL: Digital Subscriber Line (ADSL: Asymmetric DSL)
  - může být i symetrické
  - na oba konce místní smyčky jsou umístěny speciální modemy, které umožňují využít linku lépe
  - mohou využívat celé pásmo/část pásma (ADSL využívá část:)
  - max. rychlost směrem k uživateli: 6 – 8 Mbps, od uživatele: 600 – 800 kbps



# ADSL

- modulační: DSM (Discrete Multi-Tone)
  - pásmo 25 – 1100 kHz rozděleno do 256ti kanálů o šířce 4.6 kHz
  - modulační v každém kanálu zvlášť, umožňuje nepoužívat zarušené
  - přenosové rychlosti v kanále 6.5 až 50 kbps
  - používá se QAM (kombinace amplitudové a fázové modulační)
  - k oddělení signálu datového a POTS slouží splitter





# Synchronní hierarchie

- SONET (Synchronous Optical Network), hlavně v USA
- SDH (Synchronous Digital Hierarchy), mezinárodní, rozšířené v Evropě
- synchronní přenos přes optické vlákno (nutná velmi přesná synchronizace)
- v oblastech telekomunikací nahrazuje PDH
- základní blok velikosti 810 bajtů (9x90)
  - frekvence 8000 bloků za sekundu (125 ns na vzorek)
  - pevně daná režie
  - základní kanál: 51 Mbps
- sdružování (pomocí multiplexu) do rychlejších kanálů

# Sdružování kanálů

Optical Carrier	Frame Format	SDH-n (STM-n)	Přenosová rychlost (Mbps)
OC-1	STS-1		51,840
OC-3	STS-3	(STM) SDH-1	155,520
OC-9	STS-9		466,560
OC-12	STS-12	(STM) SDH-4	622,080
OC-18	STS-18		933,120
OC-24	STS-24	(STM) SDH-8	1244,160
OC-36	STS-36	(STM) SDH-12	1866,240
OC-48	STS-48	(STM) SDH-16	2488,320
OC-96	STS-96	(STM) SDH-32	4976,640
OC-192	STS-192	(STM) SDH-64	9953,280
OC-256	STS-256		13271,040
OC-384	STS-384	STM-128	19906,560
OC-768	STS-768	STM-256	39813,120

# ATM

- idea: sloučení hlasových, video služeb a počítačových sítí
  - proč budovat dvě různé přenosové sítě?
- telekomunikace:
  - přepojování okruhů, zaručená kvalita služby, pevně dané přenosové pásmo
- počítačové sítě:
  - přepojování paketů, nespojovaný, nespolehlivý přenos, pásmo se dělí mezi přenosy podle potřeby
- nešlo by najít kompromis?
- pokus: ATM (Asynchronous Transfer Mode)
  - vyvinuto jako nástupnická technologie po ISDN

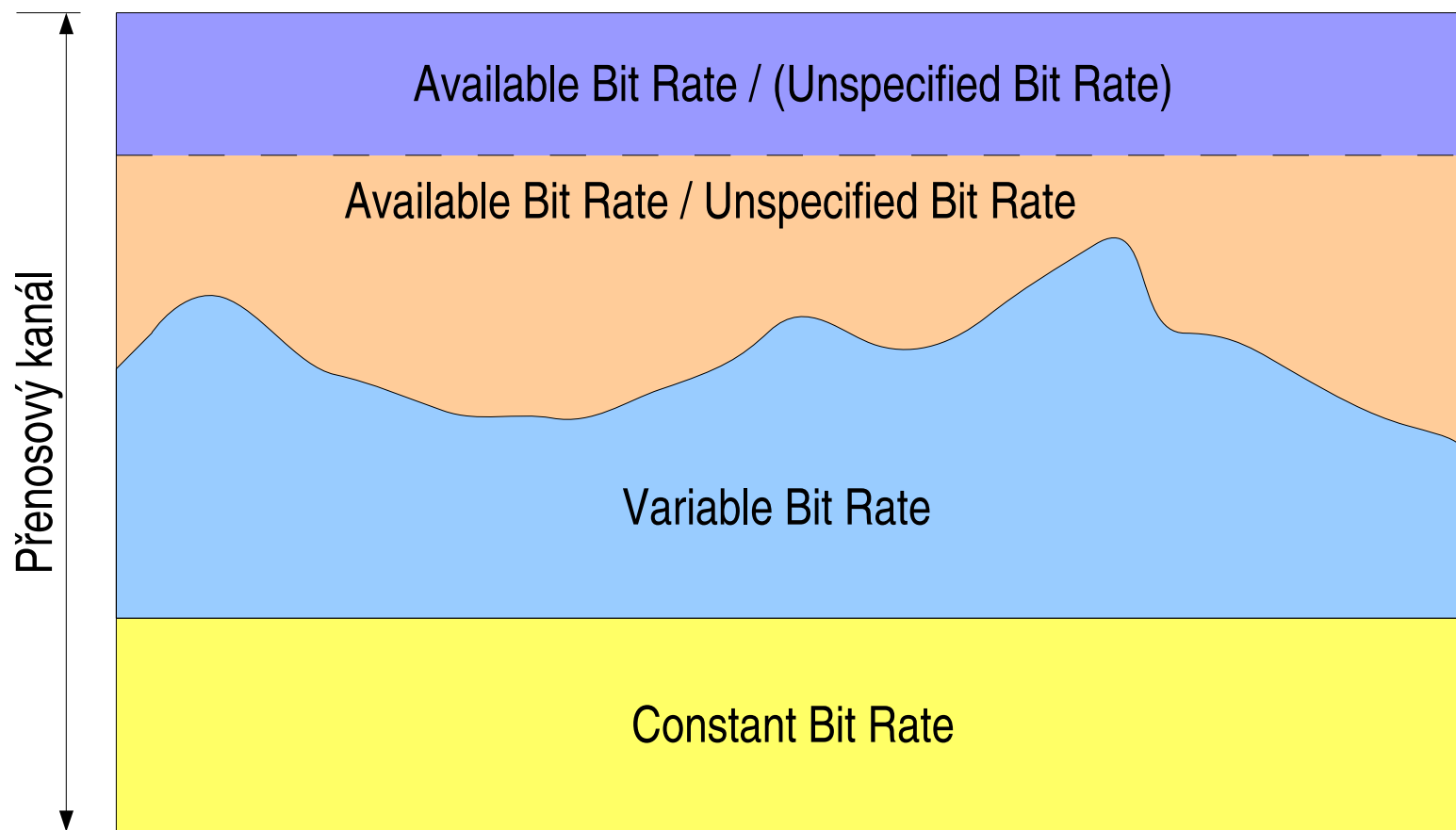
# ATM buňky

- přenášet se budou malé pakety pevně dané velikosti: buňky
- pohled spojů: co nejmenší, pravidelně přenášené
  - max. 32 byte na buňku, buňky stejné velikosti (aby je uměl zpracovat HW)
  - představa: statistický multiplex (časový)
- pohled sítí: co největší (aby byla vysoká efektivita), jsou možné nepravidelnosti v dodávání
  - min. 64 byte na buňku, paketový přenos
- => kompromis: buňky jsou velké 48 byte (data) + 5 byte hlavička
  - tedy 53 byte
  - mělo vyhovovat oběma stranám (umožňuje pravidelný tok i dostatečnou efektivitu)

# Režimy přenosu

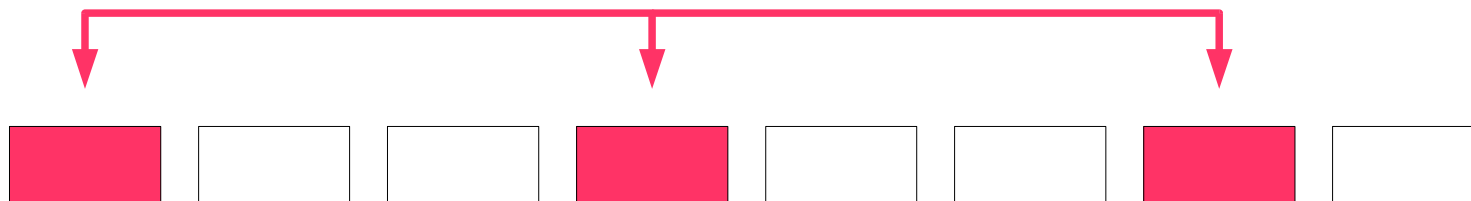
- aplikace mohou mít na přenos různé požadavky
- ATM nabízí několik druhů služeb:
- CBR: Constant Bit Rate
  - garantuje pevnou přenosovou kapacitu (telekomunikace)
- VBR: Variable Bit Rate
  - garantuje přenosovou kapacitu, kterou přenos právě potřebuje
- ABR: Available Bit Rate
  - garantuje určitou minimální přenosovou kapacitu
- UBR: Unspecified Bit Rate
  - negarantuje nic

# Režimy přenosu



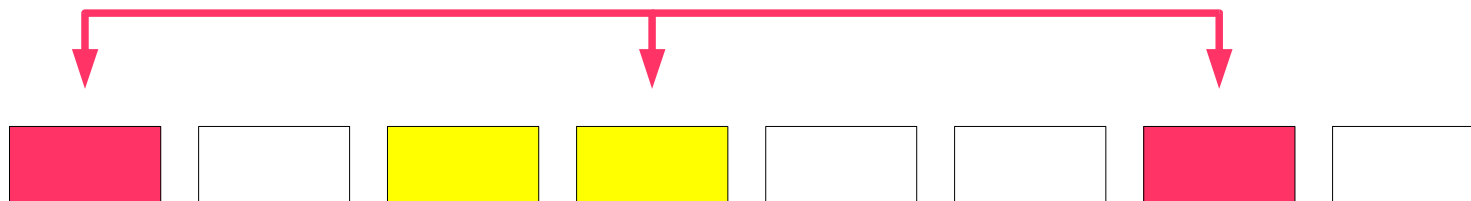
# Constant Bit Rate

- garantuje rychlost přenosu
- chová se jako bitová roura
  - analogie k „drátu“
- žádné potvrzování, řízení toku, garantované zpoždění
- vhodné pro konstantní toky dat



# Variable Bit Rate

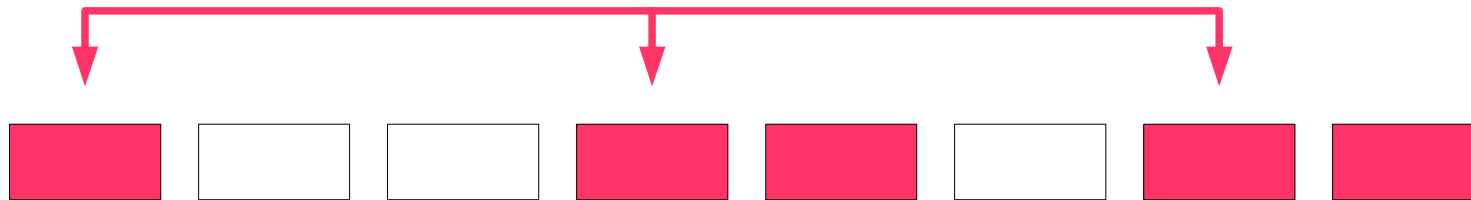
- stanice si dohodne se sítí maximální požadovanou rychlost
- síť vždy vyhoví, ale nevyužitou kapacitu může přidělit jinému přenosu
  - na rozdíl od CBR, kde se kapacita nevrací
- pro přenosy vyžadující malé zpoždění
  - komprimované video, hlas





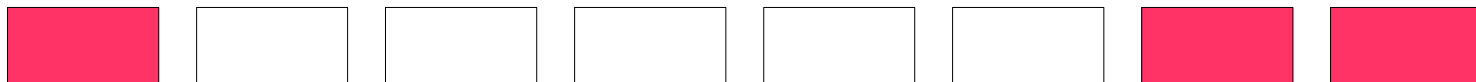
# Available Bit Rate

- stanice si se sítí domluví parametry MIN a MAX
  - MIN je minimum, co síť garantuje
  - pokud je k dispozici větší kapacita a stanice o ni požádá, dostane ji
- používá se řízení toku
  - stanice se dozví, kolik kapacity je právě k dispozici
- předpokládané využití: LAN



# Unspecified Bit Rate

- síť negarantuje nic, nejnižší priorita
- k přenosu dojde až pokud CBR, VBR a ABR jsou uspokojeny
- data se na vysílající straně bufferují, odešlou se při volné síti
- může být značné zpoždění
- obdoba „best effort“ strategie z LAN
- použití: IP protokol



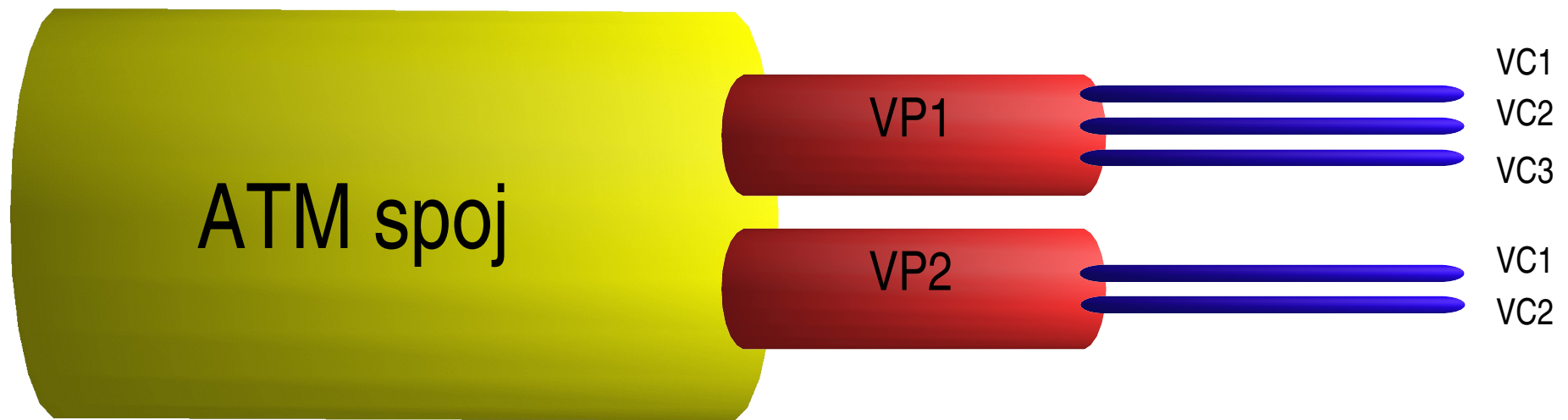
# Spojovaný přenos

- ATM nabízí pouze spojovaný přenos
  - na nespojovaný je malá hlavička (nevešla by se do ní plná adresa příjemce)
- před přenášením dat je nutné navázat spojení
  - statická (pevná) spojení nastavená manuálně (PVC, Permanent Virtual Circuits)
  - dynamická, která se sestavují před přenosem dat (SVC, Switched Virtual Circuits)
  - stanice sdělí přepínači cílovou stanici, se kterou chce komunikovat, síť naváže spojení a přidělí identifikátor

# Přepínání

- přenosové cesty (okruhy) nepoužívají potvrzování
  - předpoklad: optické médium, které je spolehlivé
  - při zahlcení může dojít ke ztrátě (zahození) buněk, ale ne k prohození pořadí
- identifikátor přenosu je dvojúrovňový: VCI (Virtual Channel Identifier) a VPI (Virtual Path Identifier)
  - důsledek snahy o maximální jednoduchost a rychlost přepínání
- dva druhy přepínání
  - přepínání pouze VPI – jednodušší, rychlejší
- přepínání VCI
  - také přepínání mezi virtuálními okruhy

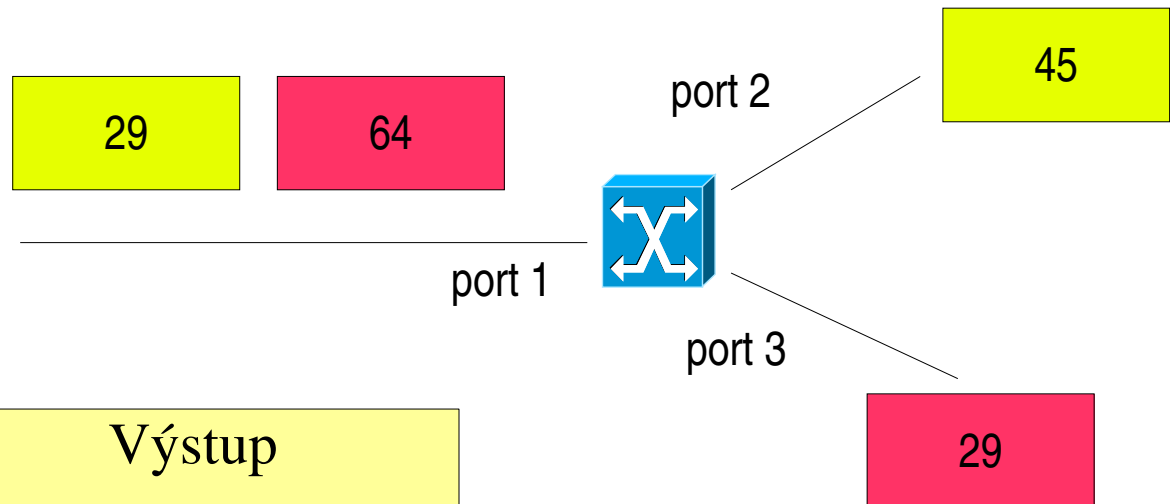
# ATM: cesty a kanály



# Přepínání

- představa: mezi ústřednami ATM se bude směřovat pouze pomocí virtuálních cest (VPI)
  - pro každý spoj na cestě se může číslo VPI změnit
- VCI se použije pro adresaci koncových uzlů
- výhody: snazší a rychlejší přepínání
  - menší přepínací tabulky
  - snáze lze přesměrovat celou třídu okruhů (při výpadku spoje)
- nevýhody: nutnost dvojího rozhraní
  - UNI (User Network Interface) – připojení koncových bodů
  - NNI (Network Node Interface) – propojení síťových prvků

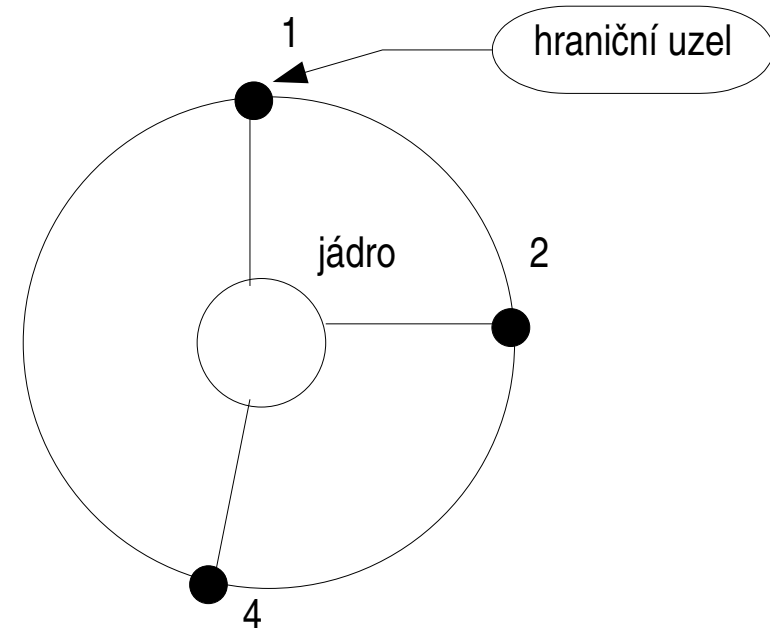
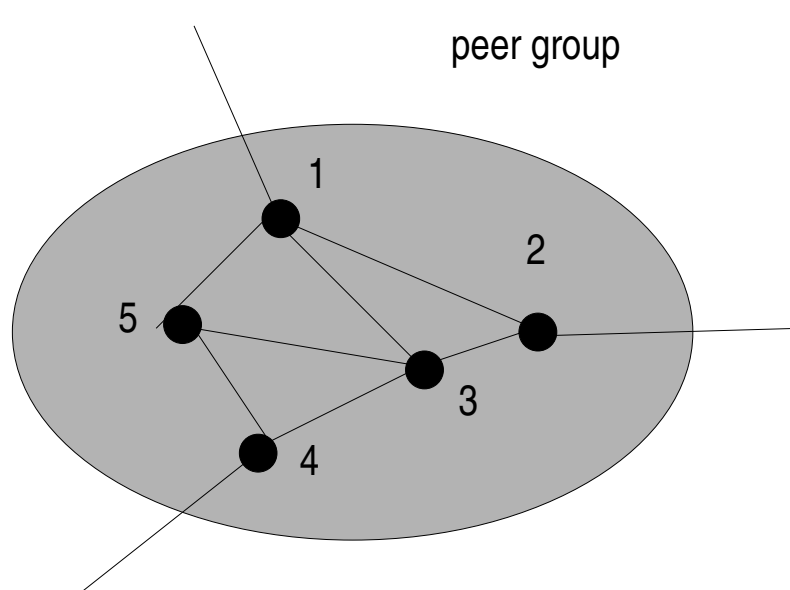
# Přepínání



Vstup		Výstup	
Port	VPI/VCI	Port	VPI/VCI
1	29	2	45
2	45	1	29
1	64	3	29
3	29	1	64

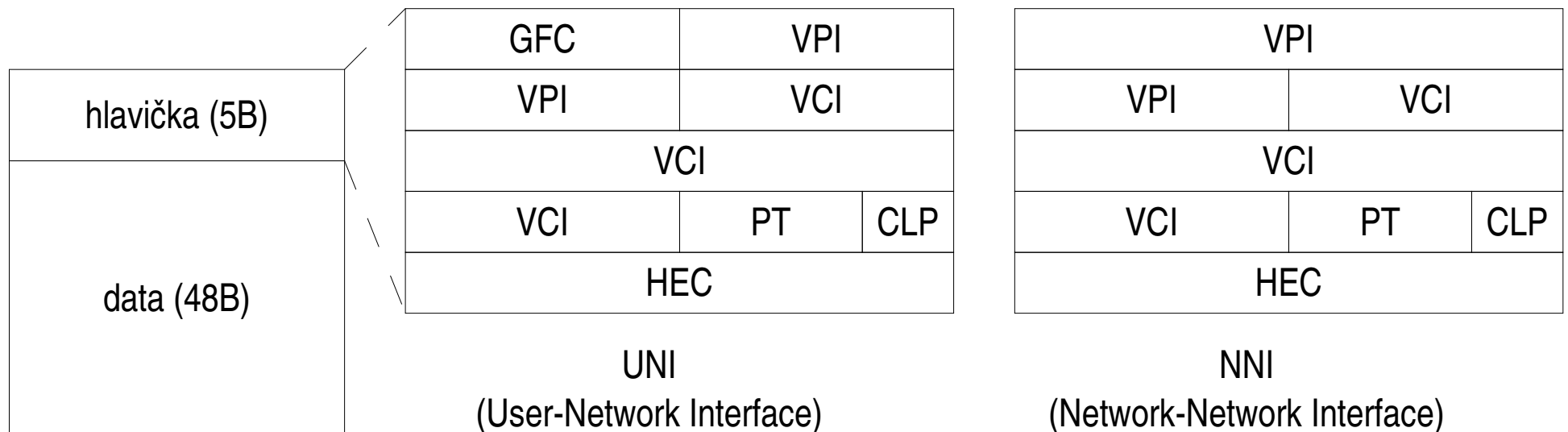
# ATM směrování

- škálovatelný protokol
- každý směrovač musí znát topologii celé sítě
- skupiny rovnocenných uzlů (peer group) se berou jako jeden logický uzel





# Formát buňky

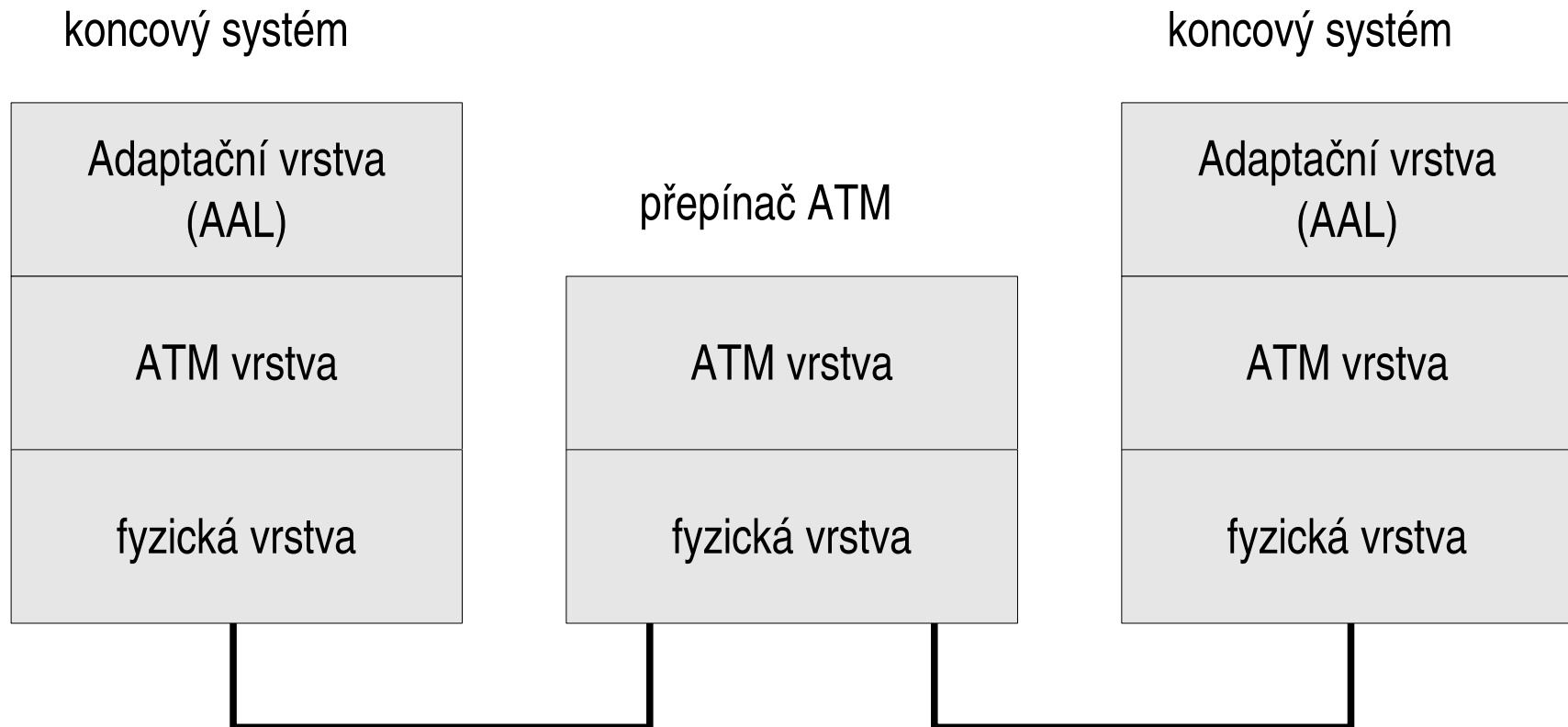


- HEC (Header Error Control) – zabezpečení hlavičky (8 bitů)
- PT (Payload Type) – odlišuje řídicí buňky od datových
- CLP (Cell Loss Priority) – zda se může buňka zahodit při zahlcení (priorita)
- GFC (Generic Flow Control) – řízení toku, nepoužívá se

# Vrstvy ATM

- fyzická vrstva
  - velmi různorodá, od 1,5 Mbps přes 155 Mbps po 2,4 Gbps (T1, T3, OC-3, OC-12)
  - předpoklad: spolehlivé médium
- vrstva ATM
  - nezávislá na přenosovém médiu (např. nespecifikuje rychlost, ta je dána médiem)
  - virtuální kanály, virtuální cesty, multiplex/demultiplex, formátování buněk, zachování pořadí
- adaptační vrstva ATM
  - pravidla pro segmentaci paketů na buňky. napojení na vyšší síťové protokoly (např. IP)
  - jen v koncových systémech (nikoliv v přepínačích)

# Vrstvy ATM



# Vrstva ATM

- zhruba odpovídá vrstvě linkové ISO/OSI
  - ale zajišťuje přenos od koncového uzlu ke koncovému uzlu
  - (ne jen mezi sousedy)
- přenos spojovaný, nespolehlivý
- nevšímá si obsahu buněk
  - nekontroluje integritu dat
- optimalizovaná na výkon a rychlost

# Adaptační vrstva

- něco jako transportní vrstva ISO/OSI
  - zakrývá vyšším vrstvám vlastnosti ATM vrstvy
  - nabízí vyšším vrstvám to, co potřebují
  - většinou je nad ní ještě další transportní vrstva (TCP)
- rozkládá data do buňek
- přidává režijní data pro rozložení a složení
- umožňuje detekci chyb a řízení toku
- podpora QoS (Quality of Service) – kvalita služeb

# Adaptační vrstva

- požadované vlastnosti služby mohou být různé
  - real-time/ne real-time
  - constant bit rate/variable bit rate
  - spojovaný/nespojovaný přenos
- 8 možností, 4 smysluplné
  - AAL1 – AAL4 (později AAL3 a AAL4 jedno jsou)
  - vzniká AAL5 (pro potřebu počítačových sítí)

# Adaptační vrstva

A                      B      C                      D  
AAL1                      AAL2      AAL3                      AAL4

real-time	ne	real-time	ne	real-time	ne	real-time	ne
konstantní		variabilní		konstantní		variabilní	
	spojovaný přenos			nespojovaný přenos			

# Adaptační vrstva

- AAL1

- spojovaný přenos, reálný čas, konstantní rychlost
- odpovídá CBR (constant bit rate)
- bitová roura: konstantní propustnost, malý rozptyl
- vhodná pro nekomprimovaný hlas, video

- AAL2

- spojovaný přenos, v reálném čase, proměnná rychlost
- odpovídá VBR
- isochronní přenos (komprimované video)



# Adaptační vrstva

- AAL3/4
  - spojovaný (3) a nespojovaný (4) režim
  - proměnná propustnost, tolerance zpoždění, detekce chyb
  - původně pro přenos dat
  - odpovídá přibližně ABR
- AAL5 (SEAL, Simple and Efficient Adaptation Layer)
  - AAL3/4: příliš složitý, velká režie
  - libovolné zpoždění, může být spolehlivý i nespolehlivý
  - použitelné pro počítačové sítě (LAN)

# Kritika ATM

- AAL1 pro počítačové sítě není potřeba
  - data je vhodné komprimovat
- AAL3/4 je velmi neefektivní. použitelné je pouze AAL5
- ATM nezapadá do modelu ISO/OSI – role vrstev je odlišná
- je těžké navázat stávající standardy na ATM
  - IP, IPX, ...
- složité, těžkopádné, drahé, málo flexibilní, neefektivní
- v oblasti LAN vyhrál Ethernet (Gb), je levnější, pružnější
- používá se v oblasti telekomunikací

# Využití ATM v LAN

- rozdíly ATM oproti LAN:
  - ATM: služba se spojením, LAN: bez spojení
  - LAN: podporuje broadcast, multicast: ATM: nepodporuje
  - MAC adresy v LAN nejsou závislé na topologii sítě
- řešení: emulace sítí – LANE (LAN Emulation)
  - cíl: používat ATM stejně jako ostatní sítě
  - analogie VLAN (virtuálních sítí), na jedné ATM síti je možné emulovat více virtuálních sítí
  - používá se AAL5, poskytuje výkonnou páteřní síť
  - mapování adres ATM <-> LAN
  - skládá se z klientů a tří serverů

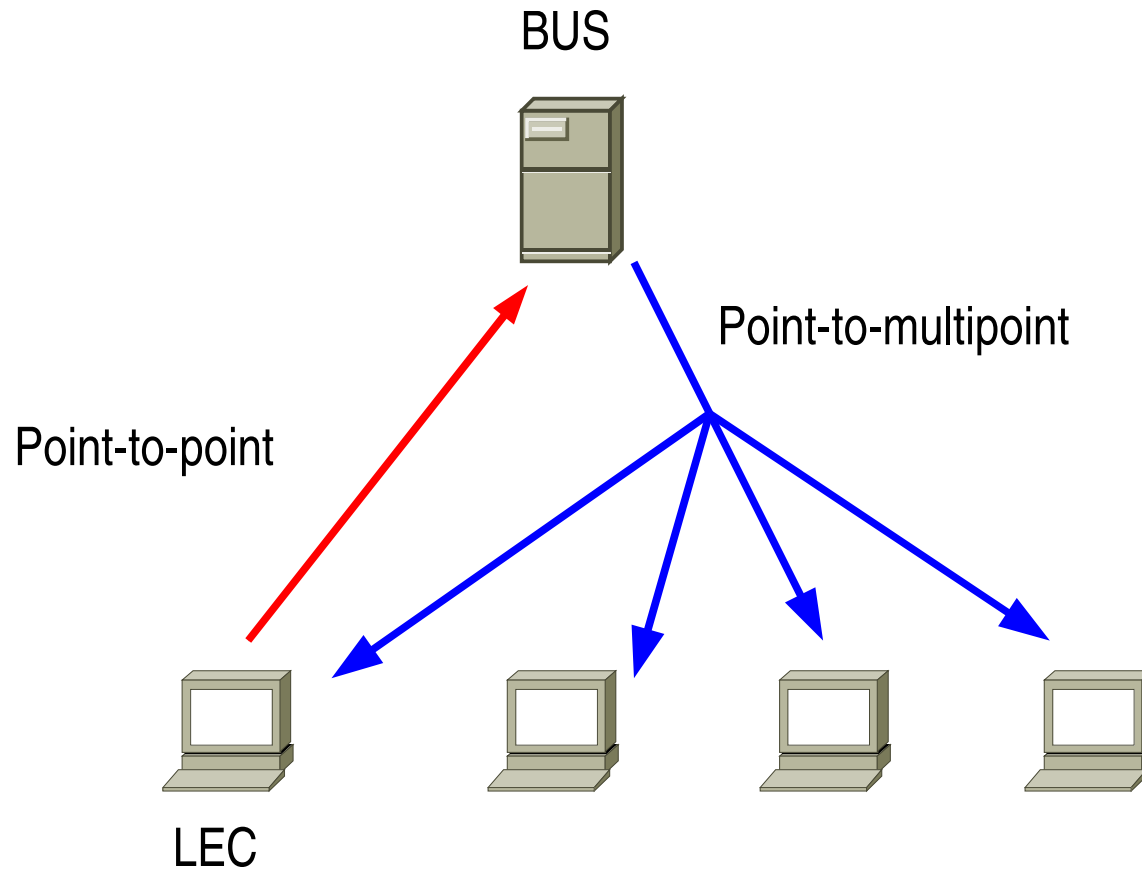
# LANE

- klient LANE (LEC – LAN Emulation Client)
  - sídlí v koncovém systému emulované sítě
  - má vždy jedinou ATM adresu, ale může mít více MAC adres
  - provádí: mapování adres, komunikaci se servery LANE
- LES (LAN Emulation Server) – server pro emulaci sítě
  - sídlí v přepínači nebo okrajovém směrovači
  - základní složka LANE, dodává klientovi (LEC) informace pro navázání spojení s jinými klienty
  - každá emulovaná síť má jeden LES
  - provádí registraci a mapování adres

# LANE

- BUS (Broadcast and Unknown Server) – server pro všesměrové vysílání
  - podporuje broadcast a multicast komunikaci
  - každý klient má oboustranné spojení na právě jeden BUS
  - BUS komunikuje s klienty pomocí point-to-multipoint spojení
  - má jednu adresu, mapována na 0xFF FF FF FF FF FF
- LECS (LAN Emulation Configuration Server) – konfigurační server
  - poskytuje adresy klientům
  - klient z ní získá základní konfiguraci
  - umožňuje pohyb stanice (stačí, aby se přeregistrovala)

# Broadcast and Unknown Server



# Přihlášení LEC k LANE

- po připojení stanice do sítě si klient zřídí spojení s LECS
  - získá údaje o „své“ LAN
  - adresu serveru LES a BUS
  - maximální velikost rámce v síti, ...
- klient se spojí se svým LES
  - zaregistruje si u něj svoji ATM adresu a MAC adresu
  - switche mohou i více MAC adres
  - LES přidá klienta do vícebodového spojení k ostatním LEC (kvůli překladu adres)

# ARP LANE

- pokud klient nezná adresu cílového uzlu, obrátí se s dotazem na LES
- ten odpoví, pokud ji zná, jinak se zeptá po distribučním spojení
- ale ani žádný LEC nemusí znát adresu cílového uzlu
  - pak LEC rozešle první část dat přes BUS, pokud se cílový klient ozve, zjistí jeho adresu, jinak cíl neexistuje
- naváže přímé spojení s cílovým uzlem
- LEC si cachuje výsledky ARP dotazů



# Shrnutí: LANE

- komplikované, málo efektivní
- skrývá ATM, ale nedokáže využít některé vlastnosti (QoS)
- ale umožňuje využít stávající protokoly a služby přes ATM síť
- snadné vytváření VLAN
- Classical IP over ATM
  - IP protokol bez všesměrového vysílání (broadcast)
  - může být výrazné omezení
- MPOA (Multi-Protocol Over ATM)
  - provoz se směřuje přes router, ten poučí odesílatele o tom, jak navázat s příjemcem přímé spojení (něco jako ICMP Router Redirect)