

Optické vlákno, optické přenosové systémy

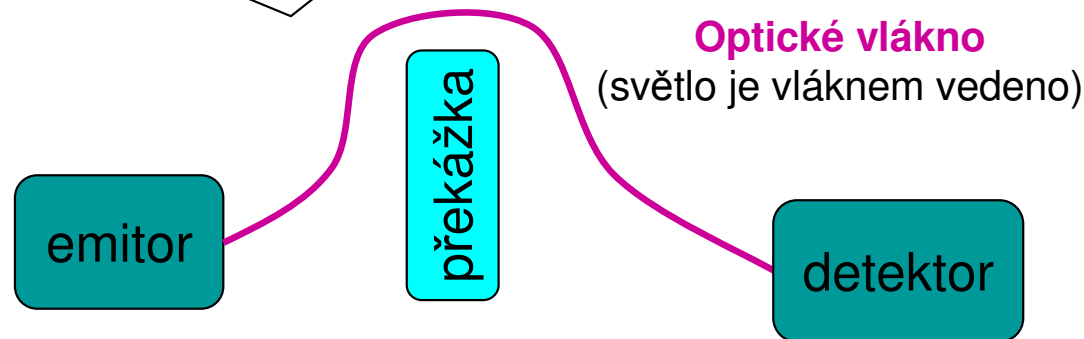
Robert Bešťák

Optické přenosové prostředky (1/2)

- Frekvenční oblast využitelná pro přenos dat okolo 10^2 THz
 - Elektromag. vlny o tak vysoké f se též nazývají **světelné vlny (světlo)**
- Přenášená data lze vyjádřit ve formě světelných impulsů
 - Logická 1 - přítomnost světelného impulsu
 - Logická 0 - nepřítomnost světelného impulsu
- Optický přenosový systém se skládá
 - Emitor (zdroj) záření
 - Elektroluminiscenční dioda (LED, Light Emitting Diode)
 - Laserová dioda (LD, Laser Diode)
 - Detektor (přijímač) záření
 - Fotodioda (Photodiode) ...převod světelných impulsů na elekt.signál
 - **Přenosové médium = optické vlákno (optický vlnovod)**

Optické přenosové prostředky (2/2)

- Optické vlákno je možné ohýbat aniž by to mělo vliv na přenos světla uvnitř
- Mezi vysílačem a přijímačem není třeba přímá viditelnost

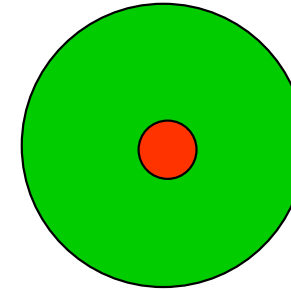


Optické vlákno = simplexní (jednosměrný) spoj

...Duplexního spoj → je třeba dvojice vláken (pro každý směr jedno)

Optické vlákno

- Optické vlákno (Optical Fibre)
 - **Jádro** (Core)
 - **Plášť** (Cladding)
- Vlastnosti jádra
 - Průměr = jednoty ÷ desítky mikrometrů (8 až 10, 50, 62,5, 100 μm)
 - Použité materiály - různé druhy skla (SiO_2), eventuálně plast



Pro pochopení způsobu, jakým je světelný paprsek optickým vláknem veden, je nutné si uvědomit jeden základní poznatek

„Dopadá-li světelný paprsek na rozhraní dvou prostředí s různými optickými vlastnostmi (např. na rozhraní mezi jádrem a pláštěm), pak v obecném případě se část tohoto paprsku odráží zpět do původního prostředí, a část prostupuje do druhého prostředí. Záleží však na úhlu, pod kterým paprsek dopadá na rozhraní (které je dáno též optickými vlastnostmi obou prostředí). Je-li tento úhel větší než určitý mezní úhel, dochází k úplnému odrazu paprsku zpět do původního prostředí.“

Navázání paprsku do jádra

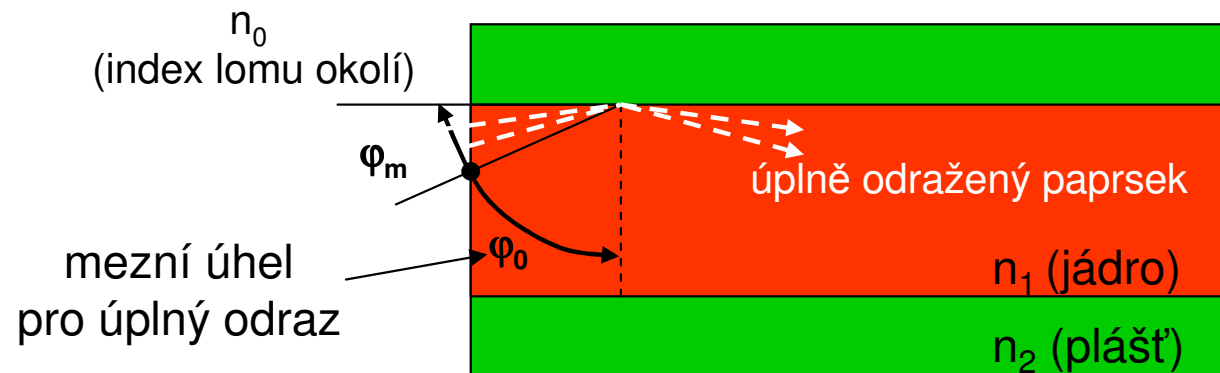
Opakováním úplných odrazů, které probíhají beze ztrát, světelný paprsek sleduje dráhu jádra optického vlákna \Rightarrow světelný paprsek je jádrem veden

- **Numerická apertura NA**

- Rozmezí úhlů, pod kterými může světelný paprsek dopadat na vlákno tak, aby byl následně veden
- ...charakterizuje schopnost vlákna navázat z okolního prostředí do svého jádra určitý optický výkon (čím je NA větší tím je tato schopnost větší)

$$NA = n_0 \cdot \sin \varphi_m = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

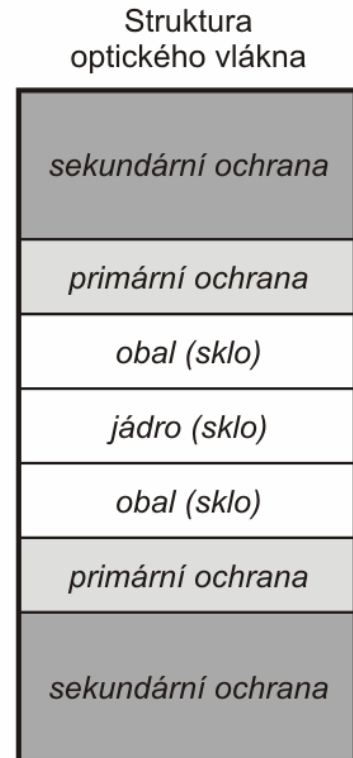
$$NA < 1$$



Podmínka pro optické vlákno: $n_1 > n_2$

Ochrana optických vláken

- Vlákno - citlivé na mechanické namáhání a ohyby
- Ochrana vláken
 - **Primární** (zajišťuje pružnost optického vlákna)
 - **Sekundární** (zvyšuje odolnost optického vlákna)
- Optické propojovací kabely – bez sekund. ochrany
- Optické vlákno s těsnou sekundární ochranou → integruje primární a sekundární ochranu
- Optický kabel - obsahuje vhodnou výplň, zajišťující mechanickou odolnost



Výhody vs. nevýhody optického vlákna

- **Výhody**

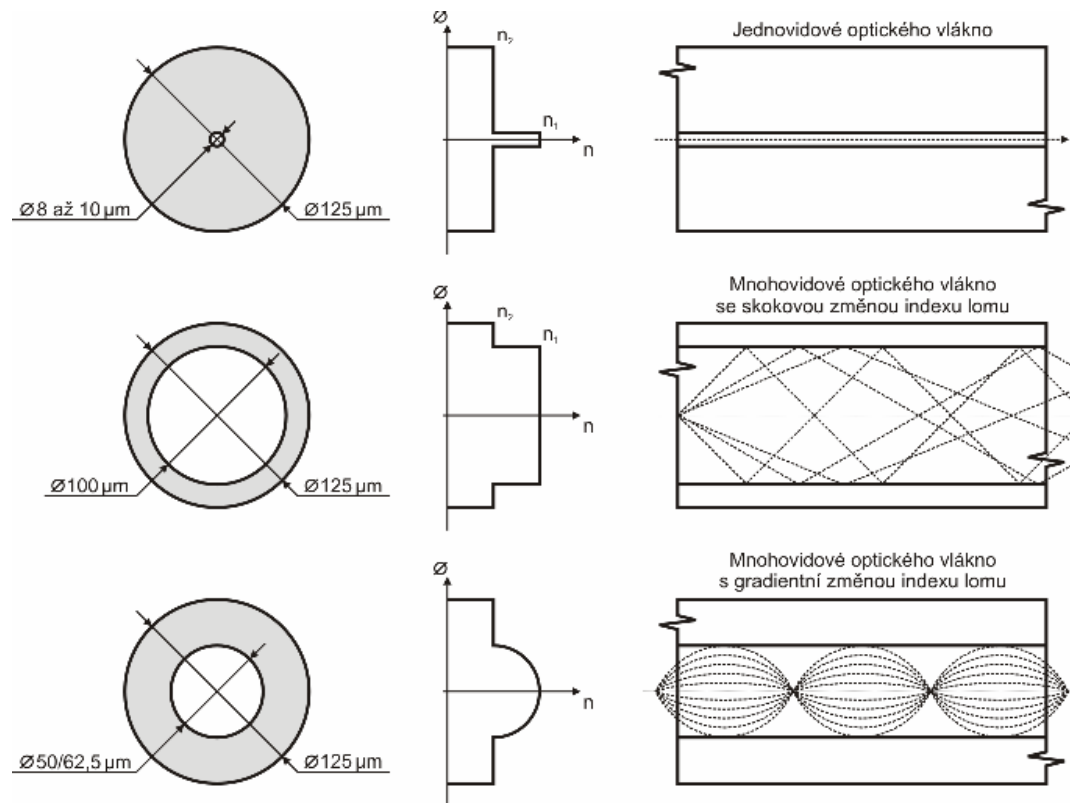
- Vysoká šířka pásma (...THz) – velká přenosová rychlost
- Necitlivost vůči elektromagnetickému rušení (průmyslové aplikace)
- Vysoká bezpečnost proti odposlechu
- Malý průměr kabelů a nízká hmotnost
- Nízké ztráty (...1550 nm – 0,2 dB/km)

- **Nevýhody**

- Vysoké nároky na výrobní proces (požadovaná čistota skleněného materiálu je řádu 10^9 až 10^{10})

Typy optických vláken

- **Jednovídná** vlákna (Single Mode Fiber)
- **Mnovídná** vlákna
 - Se skokovou změnou indexu lomu (Multi Mode Fiber)
 - S gradientní změnou indexem lomu (Graded Index Fiber)



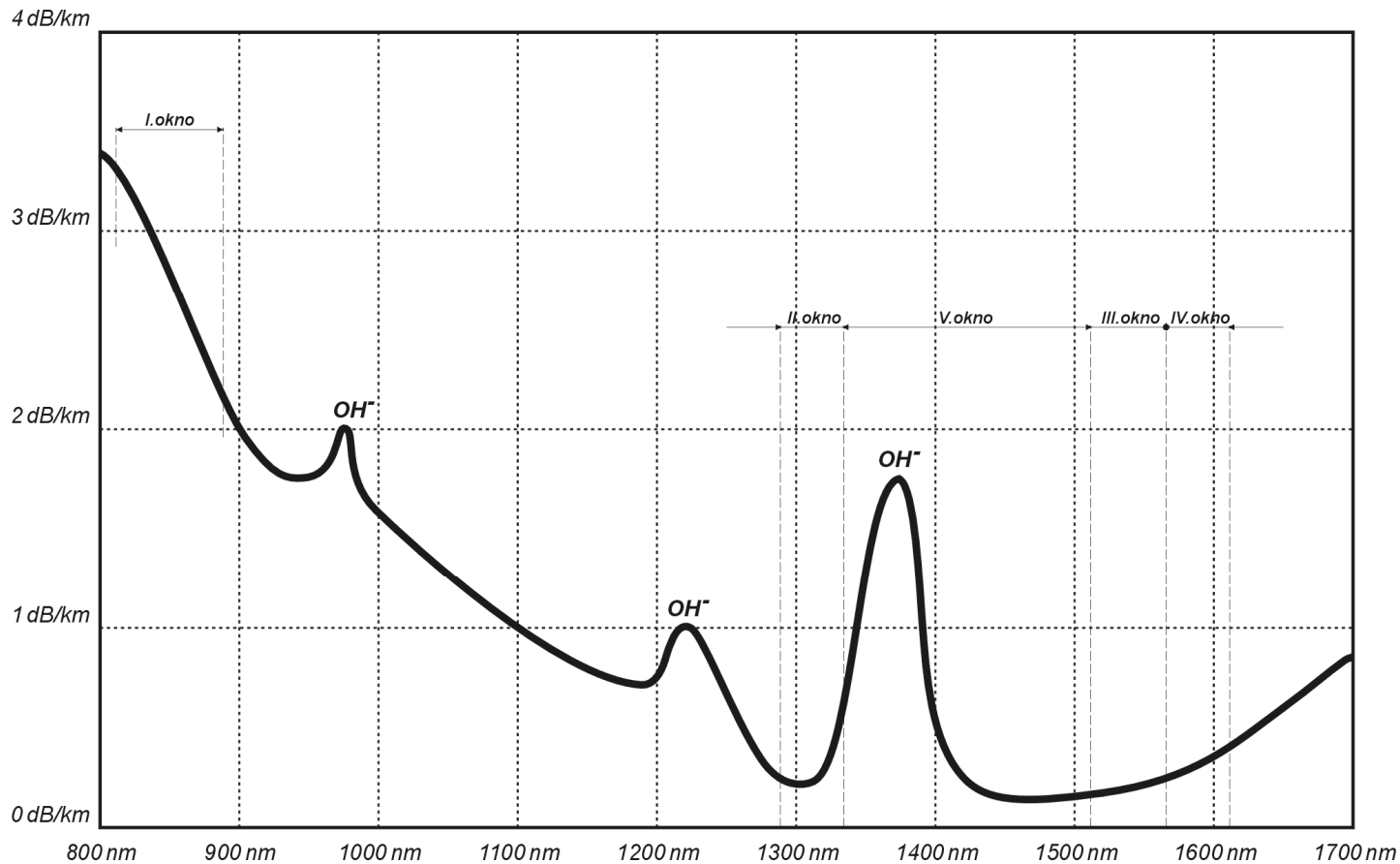
Jednovidová vlákna - vlastnosti

- **Přenosová rychlost**
 - Nejvyšší ze všech typů vláken (...až Gbit/s na 1 km)
- **Počet vidů**
 - 1 vid (...dosaženo velmi malým průměrem jádra nebo velmi malým poměrným rozdílem indexů lomu jádra a pláště)
- **Cena**
 - Dražší než vlákna mnohovidová
- **Použití**
 - Přenosy na velké vzdálenosti (...až 100 km bez opakovače)
- **Buzení vlákna (emitor)**
 - Vyžadují laserové diody (LD)

Mnohavidová vlákna - vlastnosti

- Počet vidů
 - Více
 - ...větší průměry jádra (snazší mechanismus spojování vláken)
- Cena
 - Relativně nízká výrobní cena
- Buzení vlákna (emitor)
 - Možnost použít luminiscenční diodou (LED)
 - ...velká hodnota NA → snazší navázání paprsku do vlákna

Měrný útlum optického vlákna (1/2)



Provoz optických vláken: 850 nm, 1310 nm, 1550 nm

Měrný útlum optického vlákna (2/2)

- **Vlastní absorpce**
 - Ztráty na vlastních molekulách optického materiálu (provoz na 3 vlnových délkách)
- **Nevlastní absorpce**
 - Ztráty optického výkonu na nečistotách (molekuly kovů, ionty OH^-)
- **Lineární rozptyl**
 - Materiál jádra a pláště není ideálně homogenní (hlavní složka útlumu vláken, jeho velikost roste se čtvrtou mocninou vlnové délky)
- **Nelineární rozptyl**
 - U části optického záření dochází ke změně jeho vlnové délky (z hlediska pracovní vlnové délky je tato část energie ztracena)
- **Ztráty mikroohyby (řádově mm a menší)**
 - Kritické pro jednojádřevá optická vlákna (eliminace - vhodná konstrukce optického kabelu)
- **Ztráty makroohyby (řádově desítky mm)**
 - Nesmí být překročena doporučená hodnota ohybu optického kabelu při montáži

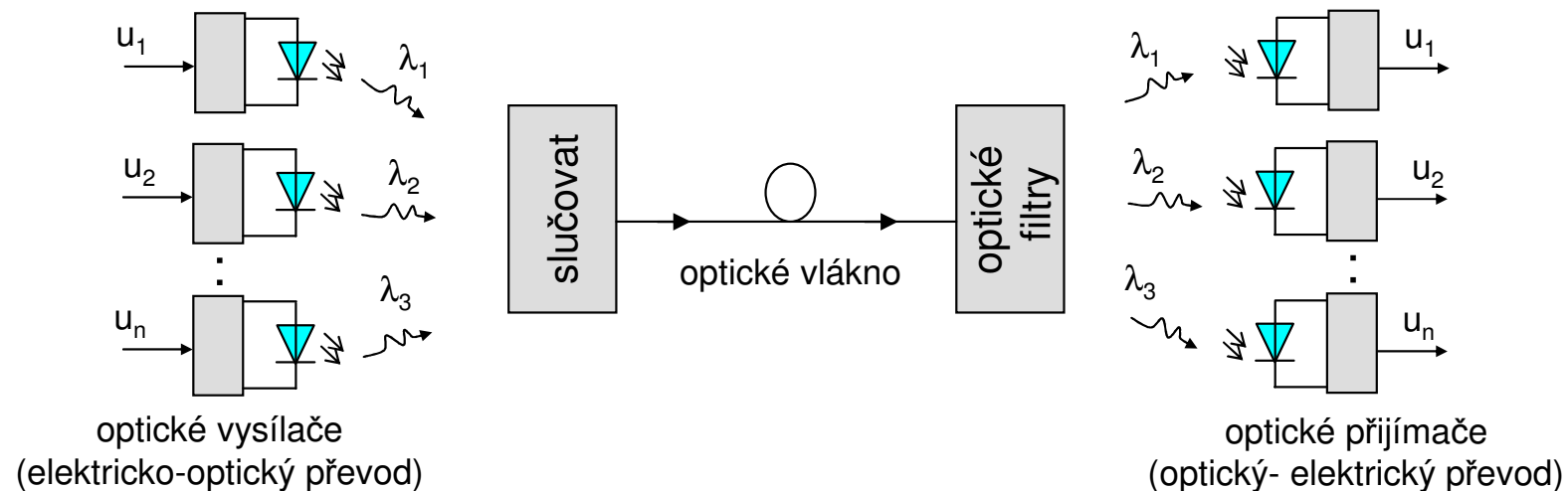
Přehled vlastností vláken

	Jednovidová optická vlákna	Mnohovidová optická vlákna	
		se skokovou změnou indexu lomu	s gradientní změnou indexu lomu
Měrný útlum	$\lambda=1310 \text{ nm} \rightarrow 0,35 \text{ dB/km}$ $\lambda=1550 \text{ nm} \rightarrow 0,2 \text{ dB/km}$	$\lambda=850 \text{ nm} \rightarrow 3 \div 50 \text{ dB/km}$	$\lambda=850 \text{ nm} \rightarrow 2 \div 10 \text{ dB/km}$ $\lambda=1310 \text{ nm} \rightarrow 0,5 \text{ dB/km}$ $\lambda=1550 \text{ nm} \rightarrow 0,25 \text{ dB/km}$
Šířka pásma	$\lambda=1310 \text{ nm}$ \rightarrow větší než $100 \text{ GHz}\cdot\text{km}$	$6 \div 50 \text{ MHz}\cdot\text{km}$	$0,3 \div 1,5 \text{ GHz}\cdot\text{km}$
Průměr jádro/plášť	$5 \div 10 \mu\text{m} / 125 \mu\text{m}$	$100 \div 400 \mu\text{m}$	$50 \mu\text{m} / 125 \mu\text{m}$ $60,5 \mu\text{m} / 125 \mu\text{m}$
NA	$0,08 \div 0,15$	$0,3 \div 0,6$	
Použití	Dlouhé trasy a velké přenosové rychlosti	Krátké trasy (místnosti, budovami, ...) s malým nárokem na šířku pásma	LAN

* (1km=100GHz , 10 km=10GHz)

Vlnový multiplex (WDM)

- WDM = Wavelength Division Multiplex
 - Sdružení několika optických kanálů do jednoho vlákna pomocí vlnového dělení (čili v podstatě FDM)

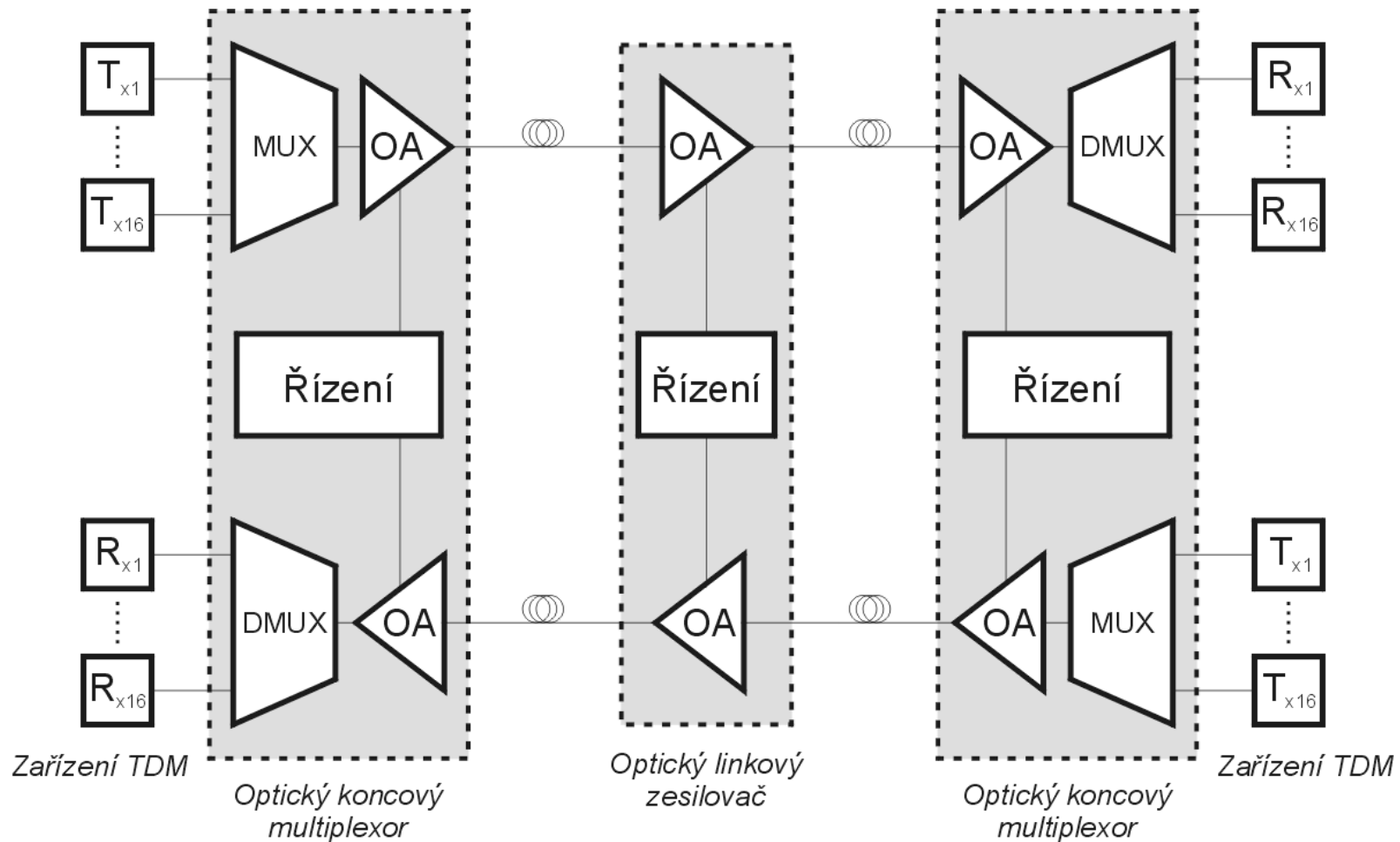


- Typy WDM
 - **DWDM** (Dense WDM)hustý vlnový multiplex
 - **CWDM** (Coarse Wavelength) ...řídský vlnový multiplex

DWDM, CWDM

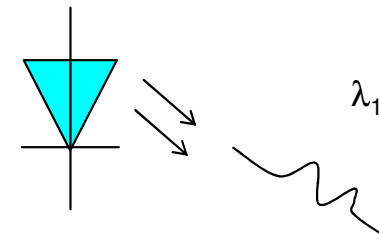
- **DWDM** (...hustý WDM)
 - Pásmo = 1528,77 nm ÷ 1560,61 nm (192,1 THz ÷ 196,1 THz)
 - Počet nosných/ kanálů = 80 (40)
 - Vzdálenost nosných od sebe \approx 0,4 (0,8) nm
 - Přenosová rychlost = 40 ÷ 80 Gbit/s
 - ...přenos až na vzdálenost 500 km bez opakovače (u SM vláken)
- **CWDM** (...řídký WDM)
 - Pásmo = 1270 nm ÷ 1610 nm
 - Počet nosných/kanálů = 18
 - Vzdálenost nosných od sebe \approx 20 nm
 - Přenosová rychlost do 2,5 Gbit/s

Optické přenosové systémy WDM



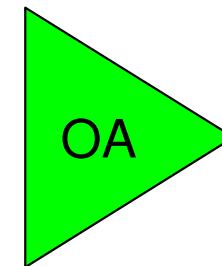
WDM - zdroje záření

- Požadavky
 - Výkon
 - Důraz na schopnost jednoznačné detekce (rozpoznání) signálu s požadovanou přesností
 - Přenosová rychlost
 - Optický zdroj musí umožnit odpovídající modulaci
 - Nominální poloha středu spektrální čáry
 - Vysoké nároky na stabilitu jednotlivých nosných frekvencí
 - Šum
 - Zdroj nesmí vykazovat náhodné fluktuace → stabilita
 - Jiné...
 - Mechanická odolnost, necitlivost na změny okolního prostředí (teplotní stabilita), spolehlivost, nízká cena a dlouhá životnost
- Zdroje
 - Luminiscenční diody (LED)
 - Laserové diody (LD)



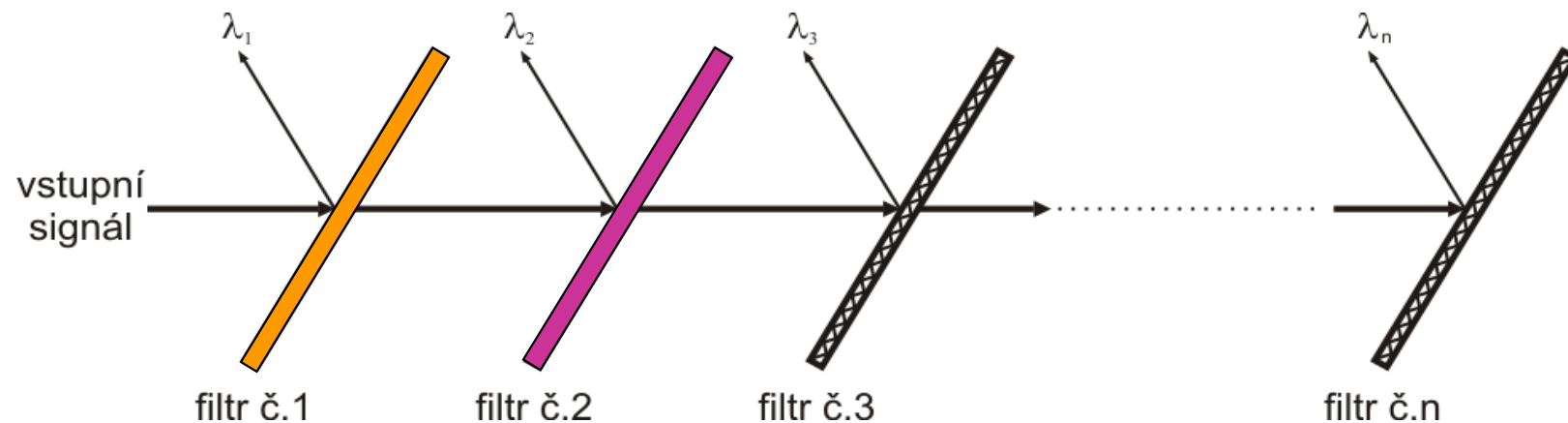
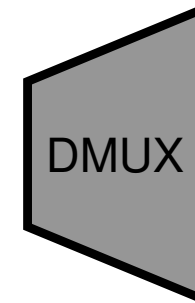
WDM – optické zesilovače

- Není třeba převod *optický sig.* – *elektrický sig.* – *optický sig.*
- Zesílení všech příspěvkových kanálů ve WDM signálu najednou
- Požadavky
 - Přibližně konstantní zisk na v celém frekvenčním pásmu signálu WDM
 - Dostatečný zisk při nízkém šumu
 - Teplotní stabilita
 - Spolehlivost
 - Nízká cena
- Typy
 - Vláknový zesilovač EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier)
 - Nejvhodnějším (a nejužívanější)
 - ... založen na principu laseru, tzn. zesílení světla stimulovanou emisí záření

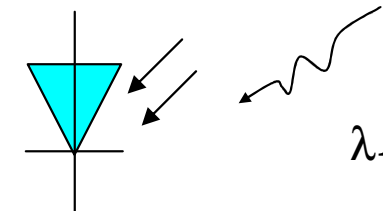


WDM - demultiplexory, detektory

- **Demultiplexor** - soustava dielektrických filtrů
 - **První filtr** odrazí kanál λ_1 a zbytek kanálů propustí
 - **Druhý filtr** odrazí kanál λ_2 a zbytek kanálů propustí, atd.

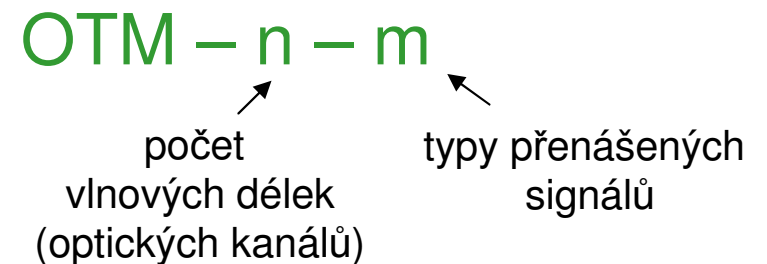


- **Detektory**
 - Fotodiody PIN
 - Lavinová fotodioda APD (Avalanche Photo Diode)



Optická přenosová hierarchie (OTH)

- Cíl OTH
 - Vytvořit společnou platformu pro různé typy sítí (SDH, ATM, IP) s vyspělou podporou služební části sítě (monitoring, management)
- OTM
 - ...Optical Transport Modul
 - Základní signály optické hierarchie



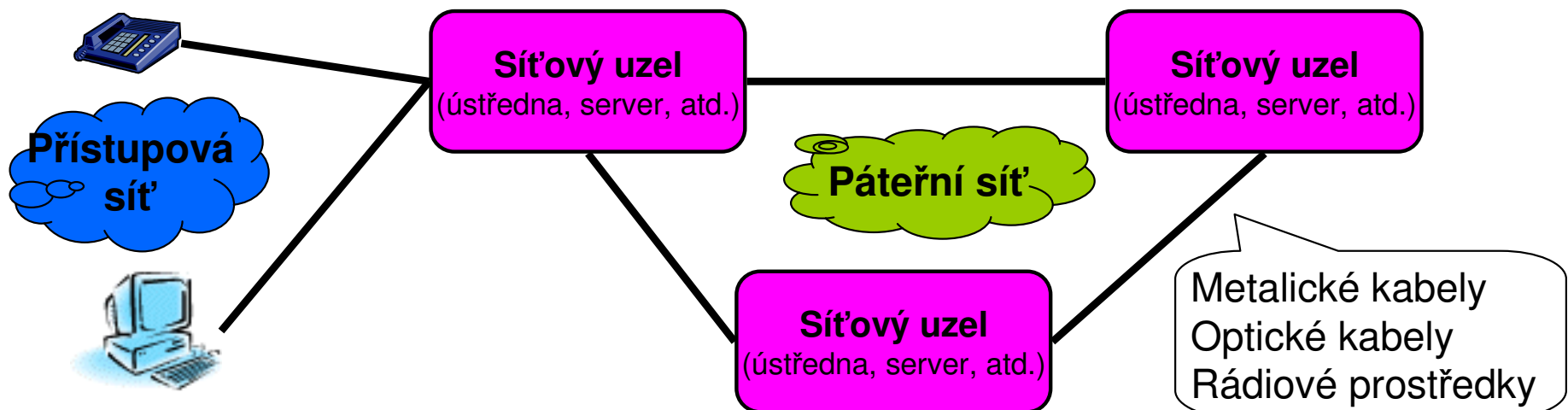
Hierarchický stupeň	v_p [Mbit/s]	Přenos signálu	Užitečná v_p [Mbit/s]	Možnost přenosu signálu
OTM-n.1	$n \times 2666,057$	$n \times \text{CBR 2G5}$	$n \times 2488,32$	$n \times \text{STM-16}$
OTM-n.2	$n \times 10709,225$	$n \times \text{CBR 10G}$	$n \times 9953,28$	$n \times \text{STM-64}$
OTM-n.3	$n \times 43018,414$	$n \times \text{CBR 40G}$	$n \times 39813,12$	$n \times \text{STM-256}$

CBR (Constant Bit Rate) – signál s konstantní přenosovou rychlost

Pátevní a přístupové sítě, datové spoje

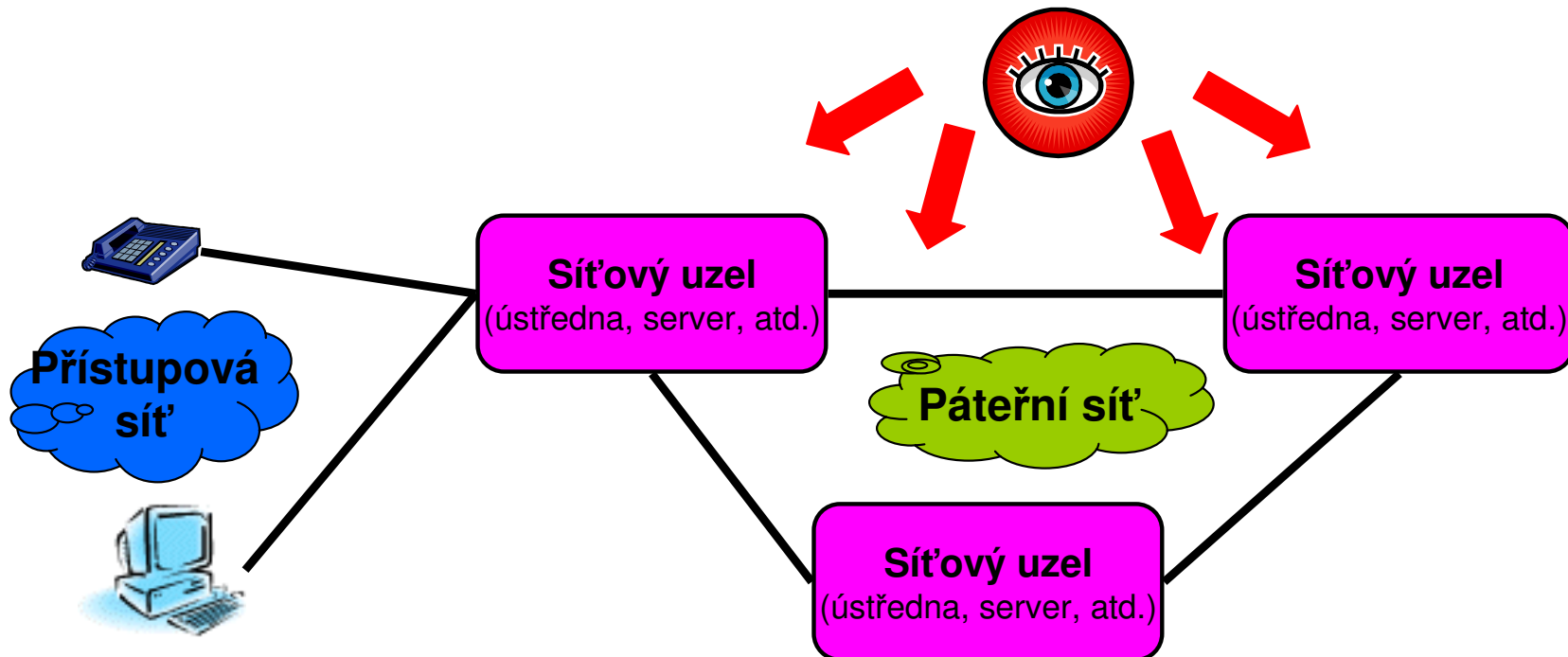
Struktura telekomunikační sítě (1/2)

- Struktura sítě (...poskytující různé typy služeb)
 - Zařízení síťových uzlů**
 - Spojovací zařízení (ústředny, směrovače, atd.)
 - Informační zdroje (servery, databanky, atd.)
 - Páteřní síť**
 - Přenosu signálů mezi uzly telekomunikační sítě
 - Přístupová síť**
 - Přenosu signálu mezi účastníky a síťovými uzly



Struktura telekomunikační sítě (2/2)

- Struktura sítě (...poskytující různé typy služeb)
 - iv. Řídicí síť
 - TMN (*Telecommunication Management Network*)
 - Dohled a řízení všech technických prostředků, pro pružné zřizování, monitorování a rušení požadovaných služeb (zahrnuje i účtování služeb a řízení vnitřní organizace provozovatele)

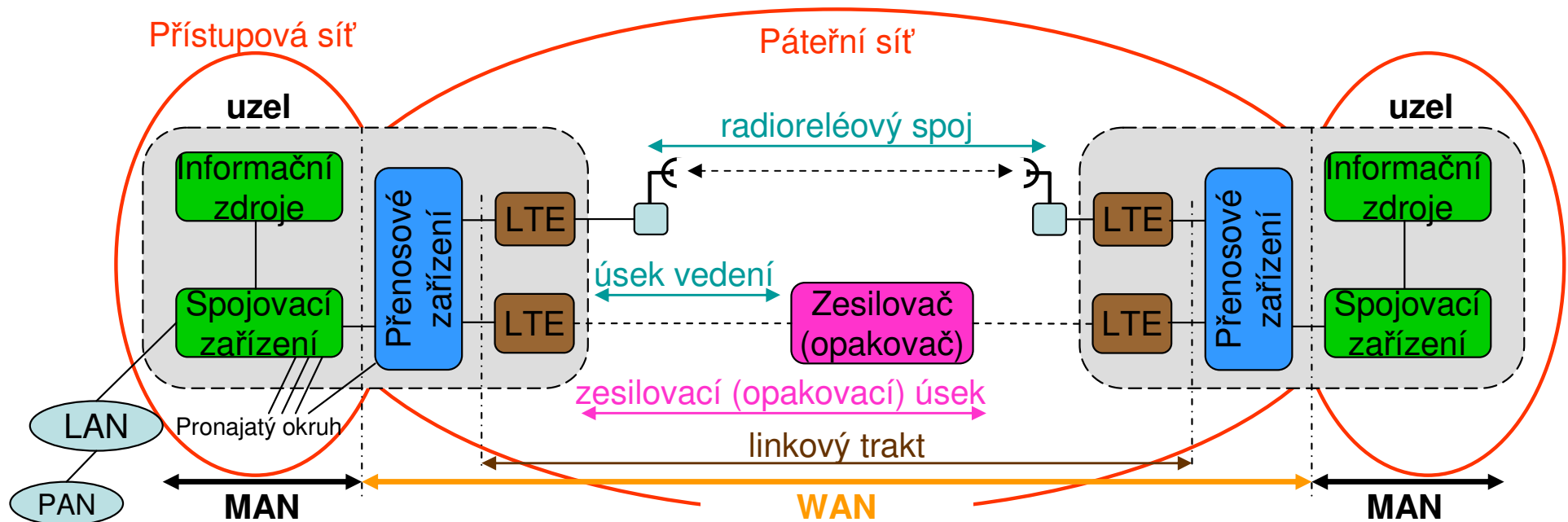


Typy sítí

- Telekomunikační síť zajišťuje přenos na značné vzdálenosti a lze ji ztotožnit s pojmem **WAN** (Wide Area Network)
- **MAN** (Metropolitan Area Network)
 - ...Metropolitní síť
 - Součást přístupové sítě
- **LAN** (Local Area Network)
 - ...Lokální síť
 - Místní komunikační struktura v objektu účastníka telekomunikační sítě
- **PAN** (Personal Area Network)
 - Komunikačními prostředky v rámci místností s přenosem pomocí infračerveného záření nebo radiových vln (např. Bluetooth)

Struktura telekomunikační sítě - schéma

- **Zesilovač**
 - Zesiluje (regeneruje) signál
- **LTE** (Line Terminal Equipment) ...**Linkové zakončení**
 - Přizpůsobuje vysílaný signál přenosové cestě (např. optické LTE - mění Ele/Opt signál), a v opačném směru obnovuje přijímaný signál z přenosové cesty do původního tvaru
- **Přenosové zařízení**
 - Sdružuje signály ze spojovacích zařízení (ústředna, směrovače), i z pevných pronajatých okruhů, a jejich následný transport do požadovaného cílového uzlu telekomunikační sítě

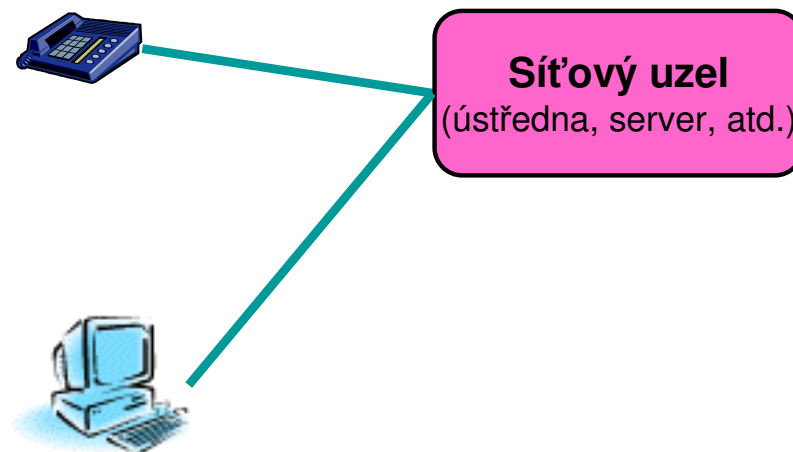


Páteřní sítě

- Přepravují
 - Data mezi jednotlivými uzly sítě
 - Data přenosovými rychlostmi řádově **stovky Mbit/s až stovky Gbit/s**
 - Data na **značné vzdálenosti**
 - **Velké objemy dat** ⇒ vysoké nároky na spolehlivost přenosu
- Přenosová zařízení - umístěna přímo v objektech provozovatelů
- Přenosové cesty
 - **Optické spoje**
 - ... v případě potřeby **radioreléové spoje (případně družicové)**
→ s metalickými kabely se perspektivně nepočítá
- Realizace
 - **Systémy SDH** (+ optické vlákno) ...2,5 Gbit/s (STM-16) až 40 Gbit/s (STM-256)
 - **Systémy WDM** (8, 16, 32 optických kanálů) ...80 Gbit/s (STM-16)

Přístupové sítě (1/2)

- Přepravují
 - Data k uzlům sítě (...soustřeďují provoz z dané oblasti k uzlu sítě)
 - Data přenosovými rychlostmi od desítek kbit/s do stovek Mbit/s
 - Data na **krátké a střední vzdálenosti**
- Přenosová zařízení - umístěna u uživatelů
 - ... problémy s napájením, ochranou proti neoprávněnému zásahu, atd.
- Přenosové cesty
 - Optické
 - Rádiové (radioreléové)
 - Metalické



Přístupové sítě (2/2)

Přístupová síť musí plnit

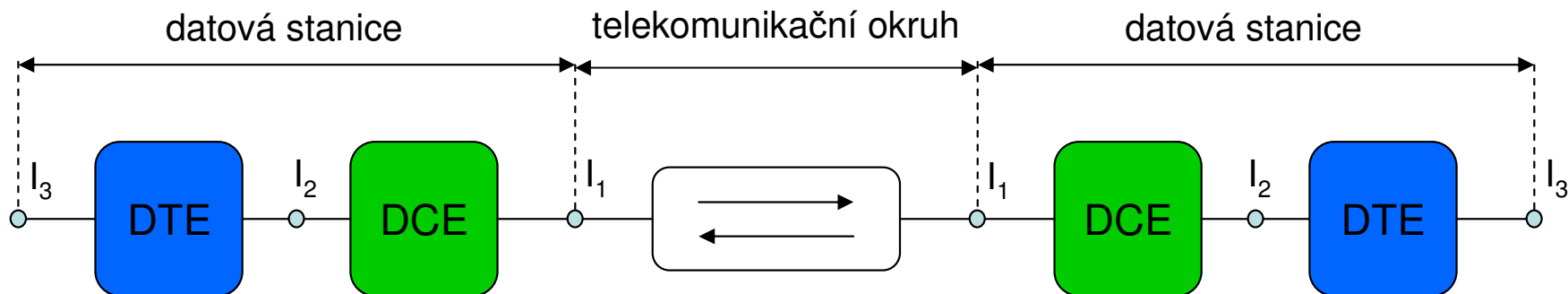
- **Přenos** (transport)
 - Signálu mezi velkým počtem účast. zařízení a uzlem poskytovatele služeb
- **Sdružování** (multiplexování)
 - Signálů k efektivnímu využívání přenosových médií a prostředků a pružnému přizpůsobování potřebné provozní kapacity dle proměnných požadavků účast. i služeb
- **Třídění**
 - Provozní zátěže (tzv. grooming) umožňující směřovat sdružené signály v přístupové síti na příslušná rozhraní poskytovatelů dostupných služeb
- **Přizpůsobení** (adaptaci)
 - Účastnického rozhraní a rozhraní poskytovatele služeb

Přenos dat

- Předpokladem pro uskutečnění přenosu datových signálů je vytvoření tzv. datového spoje
- Z důvodu značné různorodosti
 - koncových datových zařízení
 - používaných přenosových sítí a médiíje nutné přesně definovat vlastnosti jejich jednotlivých částí i parametry rozhraní na jejich styku
⇒ spolupráce datových zařízení různých výrobců

Přenos dat

- DTE (Data Terminal Equipment)
 - Koncové datové zařízení
- DCE (Data Circuit terminating Equipment)
 - Ukončující datové zařízení

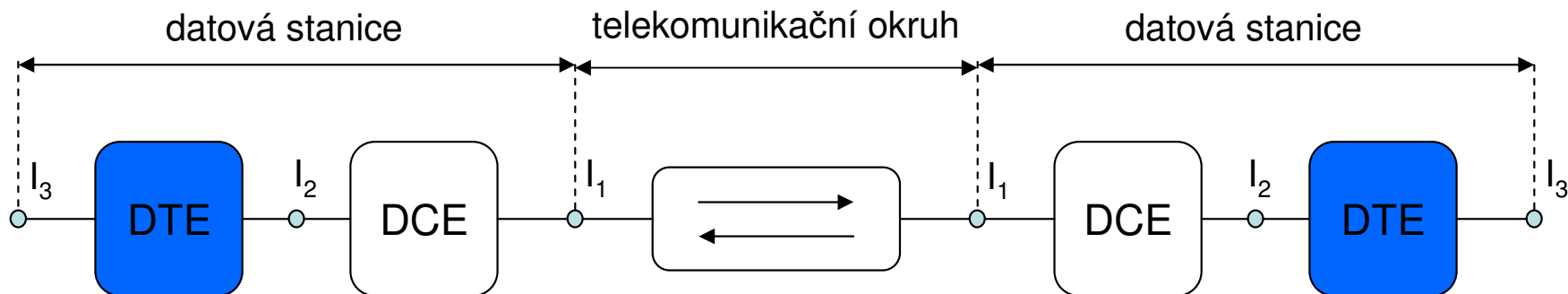


Přenos dat - DTE (...Koncové datové zařízení)

Obecně datový terminál

(PC s příslušným telekomunikačním programovým vybavením)

- PC ve funkci DTE musí mít k dispozici komunikační program, který umožňuje
 - Nastavení a ovládání různých funkcí u ukončovacího zařízení datového okruhu (DCE)
 - Základní funkce datové komunikace (vysílání a příjem datových souborů prostřednictvím vhodného komunikačního protokolu)
- Komunikační protokol
 - Soubor pravidel, podle kterých se přenáší mezi koncovými zařízeními přenosu dat soubory
 - Rozděluje soubor na menší části, definuje záhlaví souboru a způsob detekce/korekce chyb

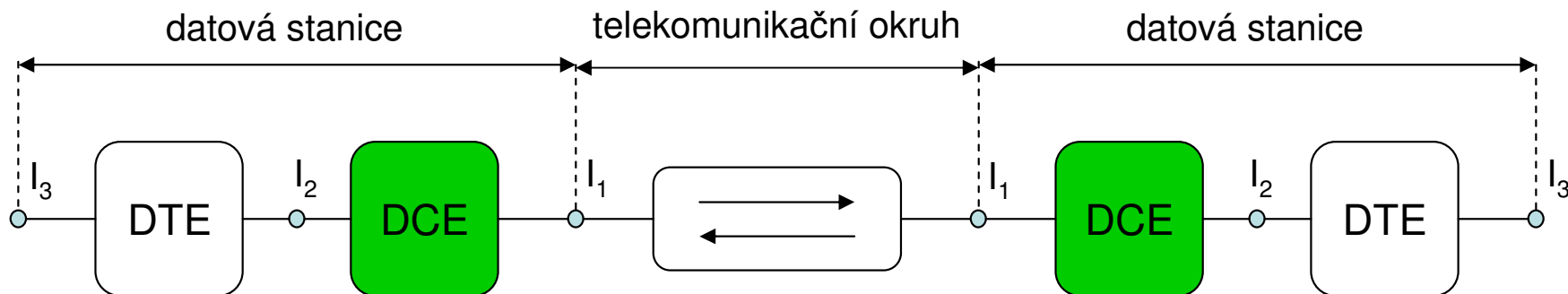


Přenos dat - DCE (...Ukončující datové zařízení)

Obecně název pro různá zařízení

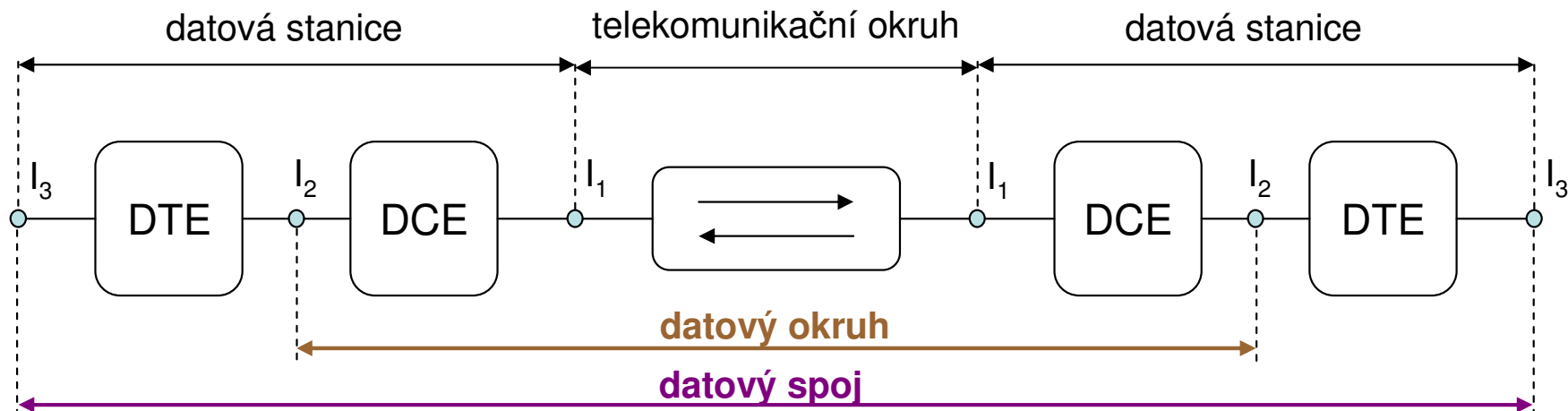
(měniče datových signálů, modemy a ukončující jednotky datových sítí)

- Úkolem DCE
 - Přeměna datového signálu (rozhraní I2) na jiný datový signál (rozhraní I1), který je technicky/ekonomicky výhodnější pro přenos po daném telek. okruhu
 - Vytváření interaktivních vazeb mezi DTE a vzdáleným DCE+DTE, které umožňují
 - Automatizované zahájení
 - Kontrolu a ukončení datového přenosu...V některých případech přebírá DCE i určité synchronizační a zabezpečovací funkce



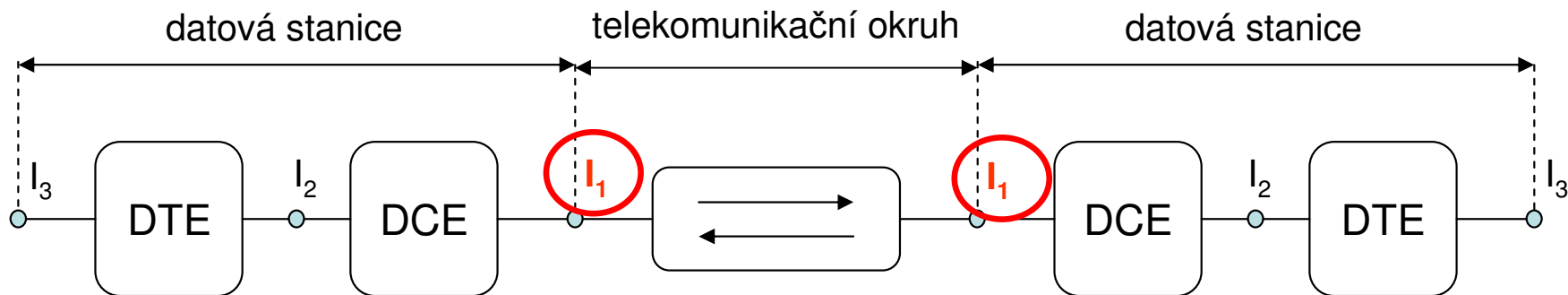
Datový spoj, Datový okruh

- **Datový spoj**
 - Začíná uvnitř koncového zařízení v místě, kde vzniká prvotní elekt. datový signál
- **Datový okruh**
 - Začíná a končí na rozhraní mezi DTE a DCE (rozhraní I_2)
 - Soubor prostředků, které umožňují dálkový přenos datového signálu pomocí dvou protisměrných datových kanálů



Datová rozhraní - rozhraní I_1

- Datový signál je vyjádřen v takové formě, která je vhodná pro přenos příslušným úsekem sítě
- Úseky sítě mohou mít různé přenosové vlastnosti
→ odlišné parametry rozhraní I_1
⇒ vlastnosti rozhraní I_1 jsou stanoveny doporučeními ITU-T (řada V)



Datová rozhraní - rozhraní I₂

Definovány čtyři skupiny charakteristik

➤ **Mechanické**

- Definují typ konektoru (geometrické uspořádání, značení jeho vývodů)

➤ **Elektrické**

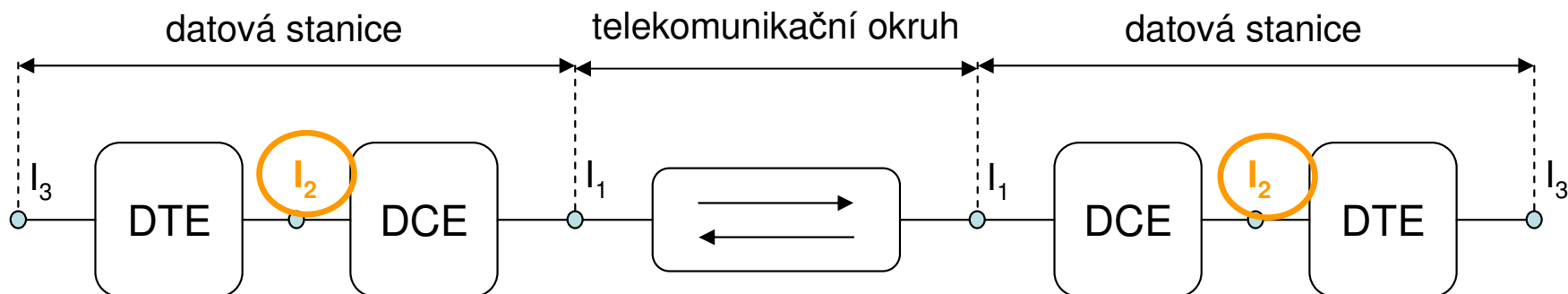
- Přiřazují log. binárním stavům ele. vyjádření (polarita, rozmezí amplitudy)
- Definují rozsah přenosových rychlostí
- Popisují náhradní elektrická schémata obvodů rozhraní, atd.

➤ **Funkční**

- Definují jednotlivé obvody rozhraní a jejich účel

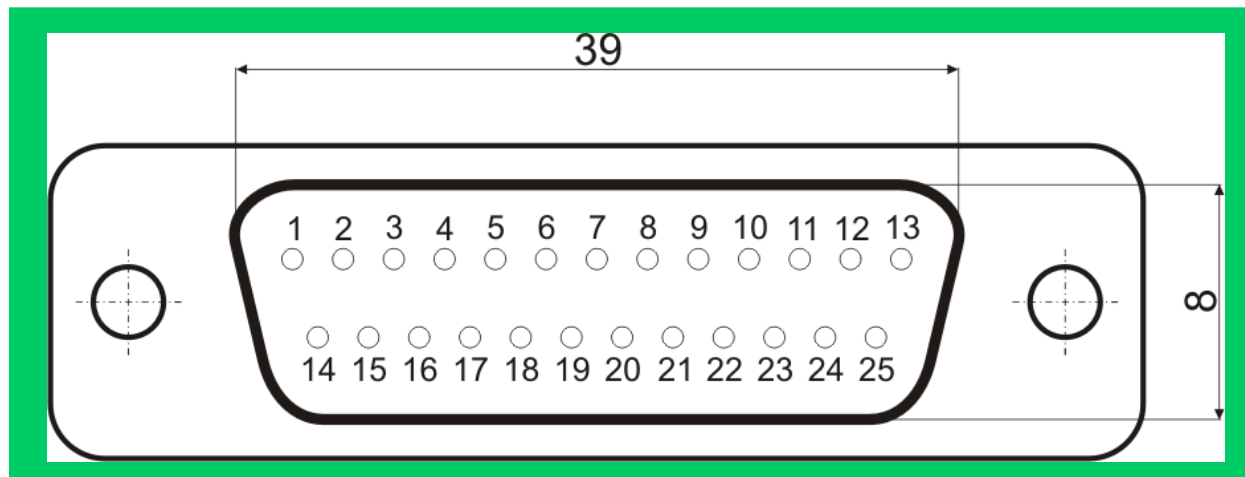
➤ **Protokolové**

- Definují pravidla výměny signálů na obvodech a jejich interpretace



Rozhraní I₂ (Mechanické charakteristiky)

- I₂ definovaná doporučeními ITU-T řady V
 - Nejčastěji → 25-pólový konektor DB-25 (typ Canon)
 - Redukovaný 9-pólový konektor (typ Canon)
- I₂ definovaná doporučeními ITU-T řady X (paketová datová síť)
 - Nejčastěji → 15-pólový konektor DB-15 (typ Canon)



Rozhraní I₂ (Elektrické charakteristiky)

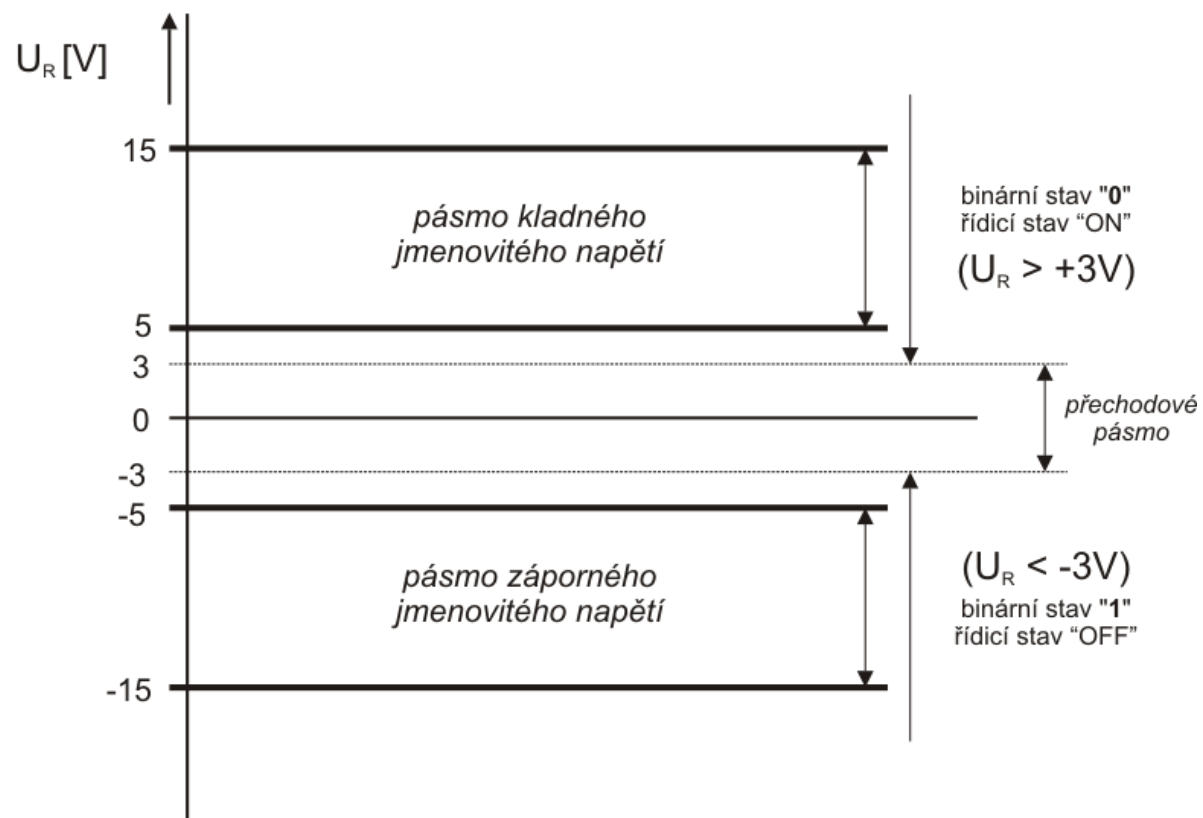
doporučení ITU-T	druh obvodu	vyjádření datových stavů	užití
V.28	nesymetrický dvouproudový	0: $U > +3V$ 1: $U < -3V$	do 64 kbit/s do 10 m
V.10	nesymetrický dvouproudový	0: $U > +0,3V$ 1: $U < -0,3V$	do 100 kbit/s do 10 m do 1 kbit/s do 1000 m
V.11	symetrický dvouproudový	0: $U_A > U_B$ 1: $U_A < U_B$ $U > +0,3V$	do 10 Mbit/s do 10 m do 100 kbit/s do 1000 m
X.26	nesymetrický	0: $U_A > U_B$ (0,3 až 6 V) 1: $U_A < U_B$ (0,3 až 6 V)	do 100 kbit/s do 10 m
X.27	symetrický	0: $U_A > U_B$ (0,3 až 6 V) 1: $U_A < U_B$ (0,3 až 6 V)	do 10 Mbit/s do 10 m

Nejčastěji doporučení **V.28**

- Komunikační rozhraní počítačů PC (COM port)
- ...Často slouží k připojení tel. modemu pro komunikaci přes hostitelskou telefonní síť

Rozhraní I₂ (Elektrické charakteristiky...v.28)

Definováno jednoznačné vyjádření stavů pro obvody přenášející data (0, 1) a pro řídicí obvody (ON – zapnuto, OFF – vypnuto) polaritou a velikostí amplitudy elektrického signálu



Rozhraní I_2 (Funkční charakteristiky)

- Doporučení **V.24** \Rightarrow funkční charak. rozhraní I_2 v telefonní síti
- V.24 definuje
 - Obvody řady 100 - 42 vazebních obvodů všeobecného použití
 - Každý z obvodů je připojen k definovanému kontaktu konektoru a plní určitou funkci, která je řízena buď ze strany DTE nebo DCE
 - Konkrétní DCE a DTE vyžadují pro svou činnost jen některé obvody
 - Obvody řady 200
 - Používány pro automatické navazování spojení prostřednictvím modemu ...v současnosti se již nepoužívají (existují vhodnější prostředky)
- Norma **EIA RS232C**
 - Parametry téměř shodné s dvojicí dop. V.24/V.28 – **sériové rozhraní PC**

Rozhraní I₂ (Funkční charakteristiky)

funkce	ITU-T V.24	americké označení	EIA RS 232 C	číslo špičky	směr od	název
zemní společné	102	GND	AB	7	-	signálová zem
data hlavní kanál	103 104	TXD RXD	BA BB	2 3	DTE DCE	vysílaná data přijímaná data
data vedlejší kanál	118 119	SXMT SRCV	SBA SBB	14 16	DTE DCE	vysílaná data přijímaná data
řízení hlavní kanál	108/1	CDL		20	DTE	přepni na data
	108/2	DTR	CD	20	DTE	pohotovost DTE
	107	DSR	CC	6	DCE	DCE v režimu data
	105	RTS	CA	4	DTE	výzva k vysílání
	106	CTS	CB	5	DCE	DCE v režimu vysílání
109	DCD	CF	8	DCE	detektor linkového signálu	
řízení vedlejší kanál	120	SRTS	SCA	19	DTE	výzva k vysílání
	121	SCTS	SCB	13	DCE	DCE v režimu vysílání
	122	SDCD	SCF	12	DCE	detektor linkového signálu
volby parametrů	111	SEL	CH	23	DTE	zvol vyšší rychlost
	112		CI	23	DCE	zvol vyšší rychlost
	126		CK	11	DTE	zvol vyšší vysílací pásmo
	127				DTE	zvol vyšší přijímací pásmo
časové základny	113	TCK	DA	24	DTE	vysílání taktu z DTE
	114	XCK	DB	15	DCE	vysílání taktu z DCE
	115	RCK	DC	17	DCE	příjem taktu z DCE
ostatní	110	SQD	CG	21	DCE	detektor kvality signálu
	125	RNG	CE	22	DCE	indikace vyzváněcího signálu

Rozhraní I_2 (Protokolové charakteristiky)

- Popis výměny řídicí informace na obvodech datového rozhraní
- Pro rozhraní I_2 užívané na datových okruzích v telefonní síti nejsou protokolové charak. většinou začleněny do zvláštních doporučení → jsou zakotveny v doporučeních pro příslušné DTE a DCE

Rozhraní

- Význam výše uvedených doporučení klesá díky integraci komunikačních funkcí do koncových zařízení
 - Např.: integrací tel. modemů do PC, se snižuje význam V.24/V.28
- **Vysokorychlostní ukončující zařízení** se připojují pomocí
 - **USB** (verze 1.1, resp. 2.0)
 - **Ethernet** (konektor RJ-45)
 - Rozhraní se sítě LAN si našlo cestu do sítích rozlehlých a v současnosti se používá v řadě modifikací pro metalické, optické i bezdrátové prostředí jako univerzální datové rozhraní

Přepojování: okruhů, paketů

Okruhy

- Komutované
 - Spojení dle požadavku uživatele/stanice
 - Spojení na dobu komunikace
- Pevné
 - Spojení mezi stanicemi existuje (přenos dat kdykoliv)
 - Spojení: Trvalé, Pronajaté

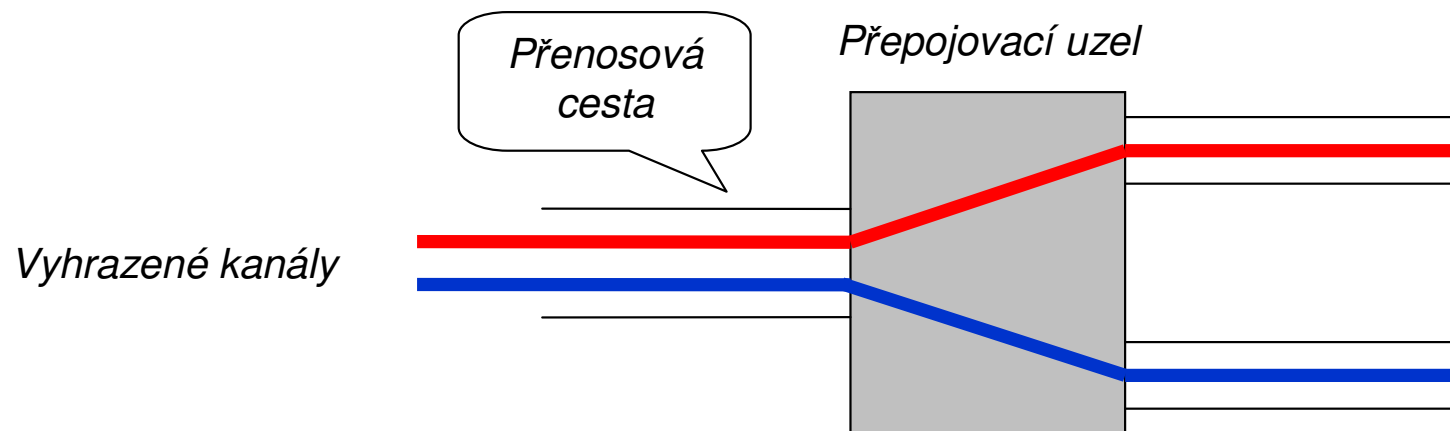
Komutace

Komutace (přepojování, přepínání)

- Přepojování okruhu (*Circuit switching*)
- Přepojování paketů (*Packet switching*)
- Přepojování zpráv

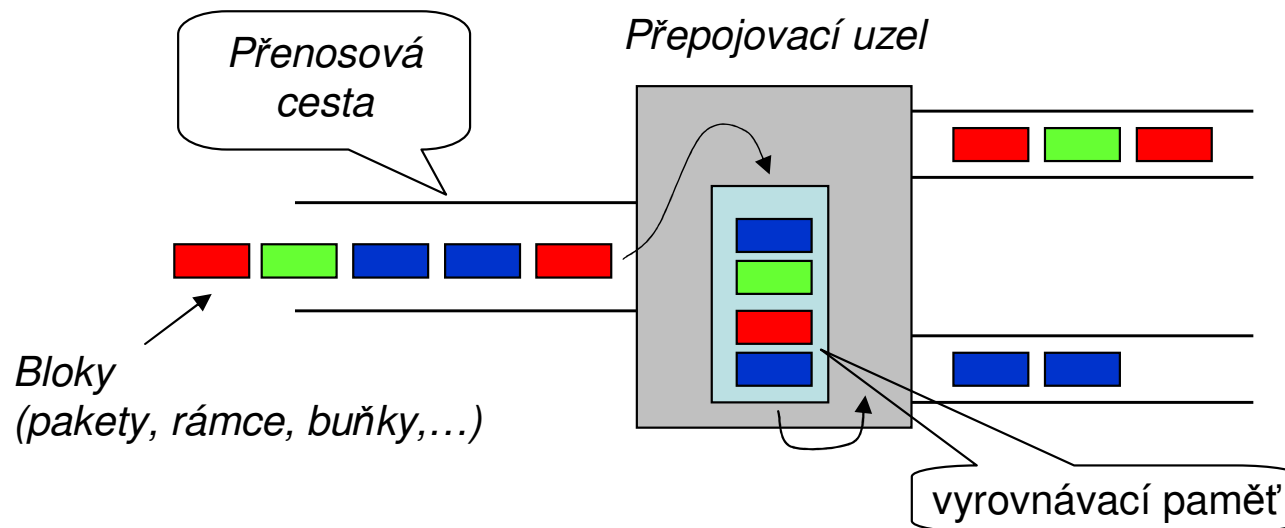
Přepojování okruhů

- Pro potřeby komunikujících stran se vyhradí přenosový kanál (okruh) o určitých vlastnostech, který tyto strany mají vyhrazen pouze pro sebe
 - Určité vlastnosti - kapacita, zpoždění, atd.
- Komunikující strany samy rozhodují o tom, jak budou komunikovat
 - Souvislý přenos dat, přenos po blocích (a jak velikých)
- Tarifkace: dle času



Přepojování paketů (1/2)

- Přenášená data – bloky
- Přenos bloků (různí odesilatele a příjemci) společným kanálem
- Komunikující strany musí dodržovat konvence formátu bloků



Store and Forward (...ulož a předej dál, střadačové spojování)

➤ Zpracování bloků v uzlu: uložení do paměti / zpracování / vyslání ⇒ zpoždění, jitter

Přepojování paketů (2/2)

- Datagramová služba

- Cílová adresa - každý paket (datagram)
- Směrování - každý datagram, v každém uzlu
- Přenos - různé cesty \Rightarrow různé pořadí datagramů na přijímací straně
- Reakce na stav sítě - ano
- Ukončení spojení v uzlech - ne

- Služba virtuálních okruhů

- Cílová adresa - první paket (...ostatní pakety – id. virtuálního okruhu)
- Směrování – jednou, při navazování spojení
- Přenos - stejná cesta \Rightarrow stejné pořadí datagramů na přijímací straně
- Reakce na stav sítě - ne
- Ukončení spojení v uzlech - ano

Poznámka: *Přepojování zpráv*

- *Společný přenosový kanál*
- *Přenášená zpráva = 1 blok*