

Prednáška 09/12

Ing. Rastislav RÓKA, PhD.

Katedra telekomunikácií

FEI STU Bratislava

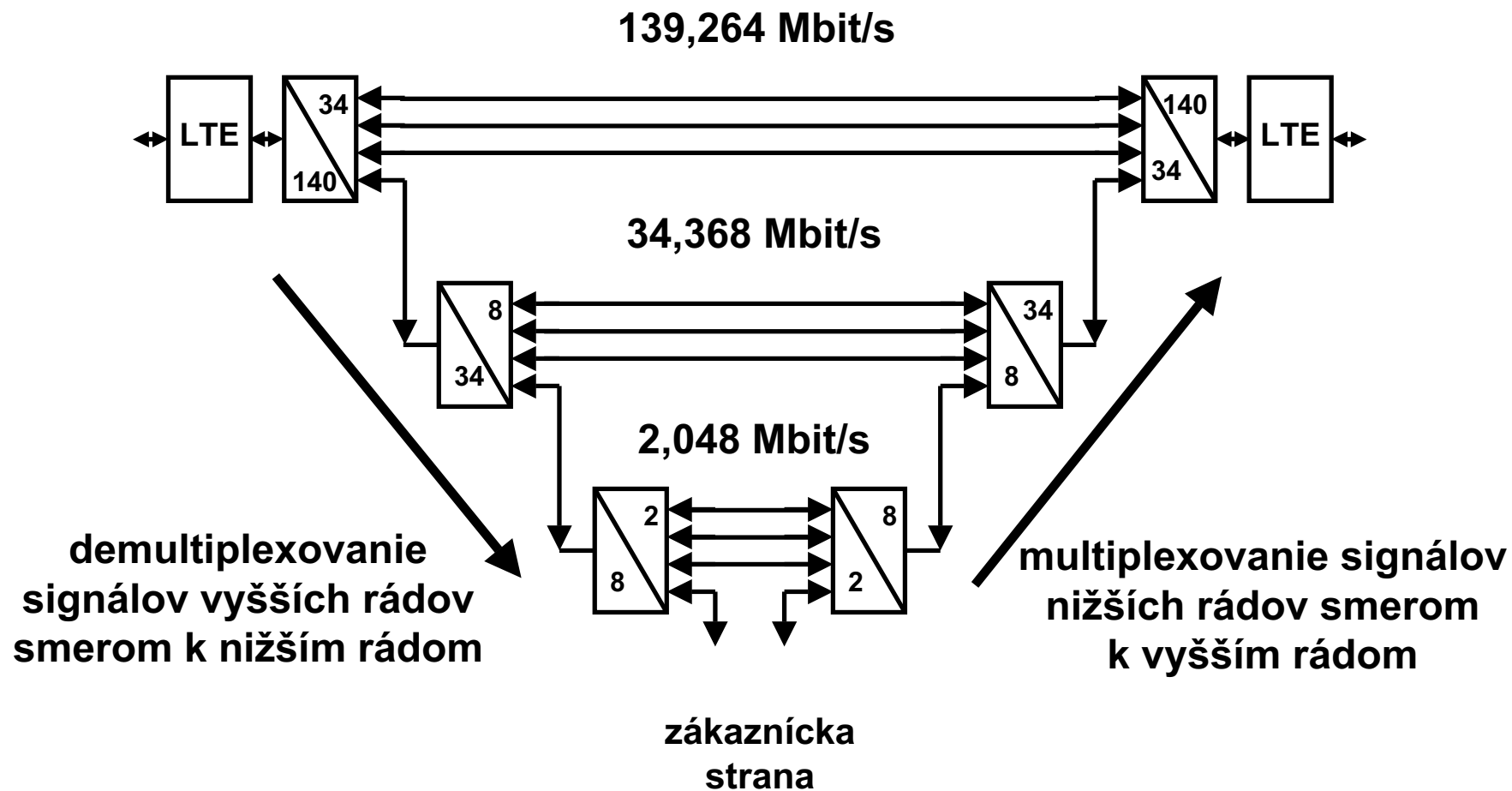
Evolúcia digitálnych prenosových systémov 1/7

- hierarchia PDH – problémy :
 - nejednoznačná identifikácia a špecifikácia jednotlivých prítokov v združenom signále,
 - asynchrónne multiplexovanie a demultiplexovanie po jednotlivých krokoch,
 - prekladanie prítokových signálov po bitoch,
 - rozdielne štruktúry rámcov pre rozdielne bitové rýchlosti prítokových signálov,
 - obmedzené schopnosti sieťového manažmentu,
 - nejednotný štandard pre štruktúru základného rámca PCM signálu 1. rádu,
 - nemožnosť spolupráce medzi zariadeniami pracujúcich podľa rôznych štandardov.

Evolúcia digitálnych prenosových systémov 2/7

Úroveň	USA	Európa	Japonsko
0	64 kbit/s	64 kbit/s	64 kbit/s
1	1,544 Mbit/s	2,048 Mbit/s	1,544 Mbit/s
2	6,312 Mbit/s	8,448 Mbit/s	6,312 Mbit/s
3	44,736 Mbit/s	34,368 Mbit/s	32,064 Mbit/s
4	139,264 Mbit/s	139,264 Mbit/s	97,728 Mbit/s

Evolúcia digitálnych prenosových systémov 3/7



Evolúcia digitálnych prenosových systémov 4/7

- hierarchia SDH – základné významy :
 - jednotný celosvetový štandard,
 - synchrónne multiplexovanie a demultiplexovanie,
 - rozšírené sieťové funkcie operácie, administratívy a údržby OA&M,
 - prekrytie existujúcich prenosových sietí a flexibilná podpora rozvinutia nových služieb,
 - vrstvový koncept transportnej siete.

Evolúcia digitálnych prenosových systémov 5/7

- porovnanie hierarchií PDH a SDH
 - štruktúra rámcov : v SDH je rovnaká pre všetky úrovne, kým v PDH je špecifická pre každú úroveň,
 - multiplexovanie : v PDH je asynchrónne, v SDH synchrónne (využitie smerníkov),
 - prekladanie prítokov : v PDH je bit po bite, zatiaľ čo v SDH oktet po oktete,
 - identifikácia rámca nižšieho rádu vo vnútri rámca vyššieho rádu : v PDH je to nemožné, vďaka synchrónnemu multiplexovaniu je možné v SDH dostať sa k takejto informácii softvérovým vyhodnotením smerníkov,

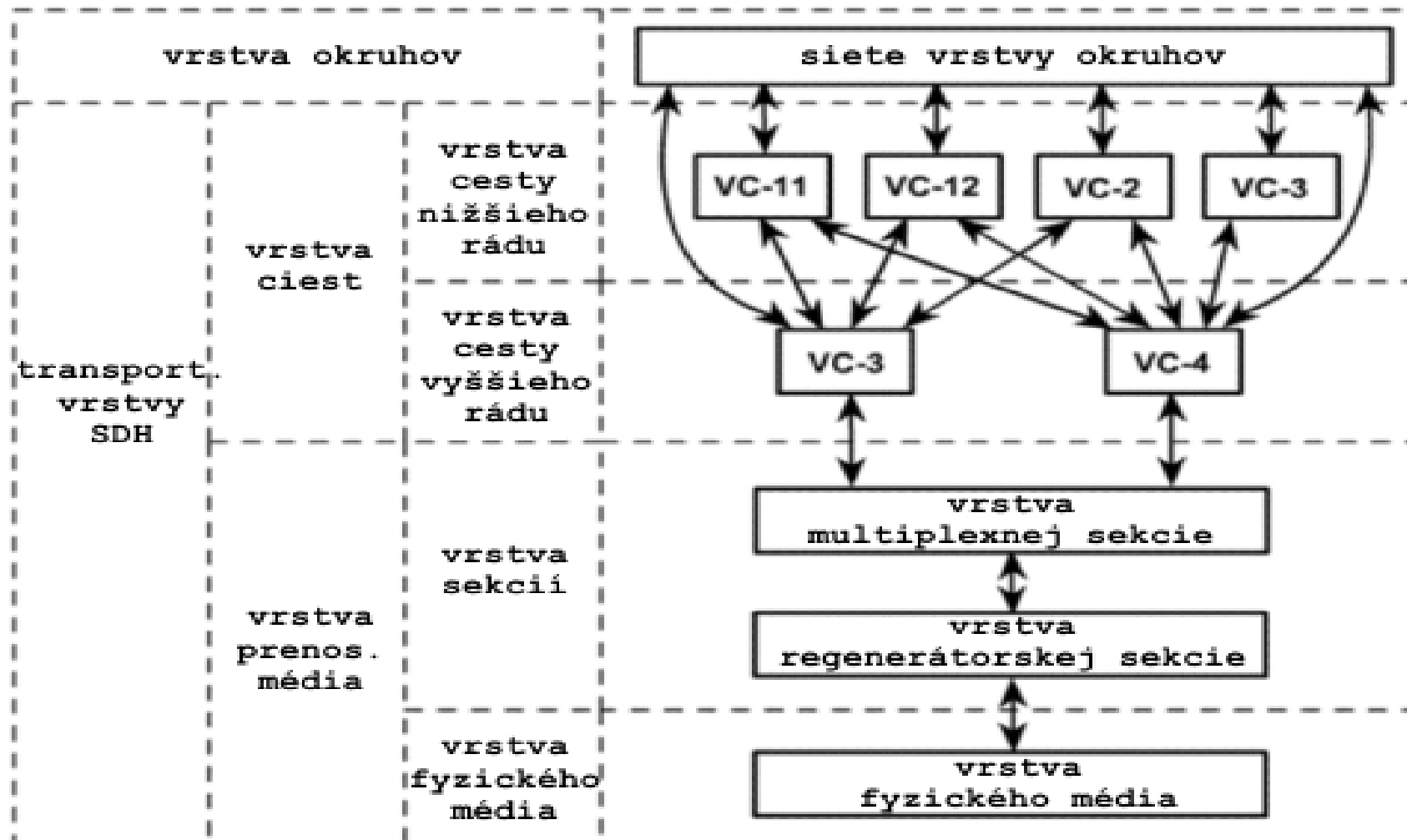
Evolúcia digitálnych prenosových systémov 6/7

- porovnanie hierarchií PDH a SDH
 - štandardizované úrovne : v SDH sú všetky úrovne hierarchie, v PDH len do úrovne 4. rádu 140 Mbit/s,
 - monitorovanie výkonnosti kanála, manažment siete : v PDH neexistuje,
 - špecifikované rozhranie na strane linky : na rozdiel od SDH v PDH nie je,
 - ochrana prevádzky : zabezpečená v sieťach SDH pri väčších fázových posunoch ako v sieťach PDH,
 - centrálny zdroj taktovacej frekvencie pre synchronizáciu : prítomný v sieťach SDH na rozdiel od sietí PDH.

Evolúcia digitálnych prenosových systémov 7/7

- systémy SDH a SONET
 - = bitové rýchlosti a rámcové formáty signálov,
 - = schémy rámcovej synchronizácie,
 - = pravidlá multiplexovania a demultiplexovania,
 - = zabezpečenie voči chybám,
 - ≈ definície oktetov hlavičky : prispôsobenie rozdielov medzi komunikačnými uzlami a sieťami,
 - ≈ parametre optického rozhrania : SDH ich špecifikuje viac ako SONET,
 - ≈ množstvo malých rozdielov (technické, pojmové, ...) : prispievajú k zložitosti ich návrhu (HW & SW).

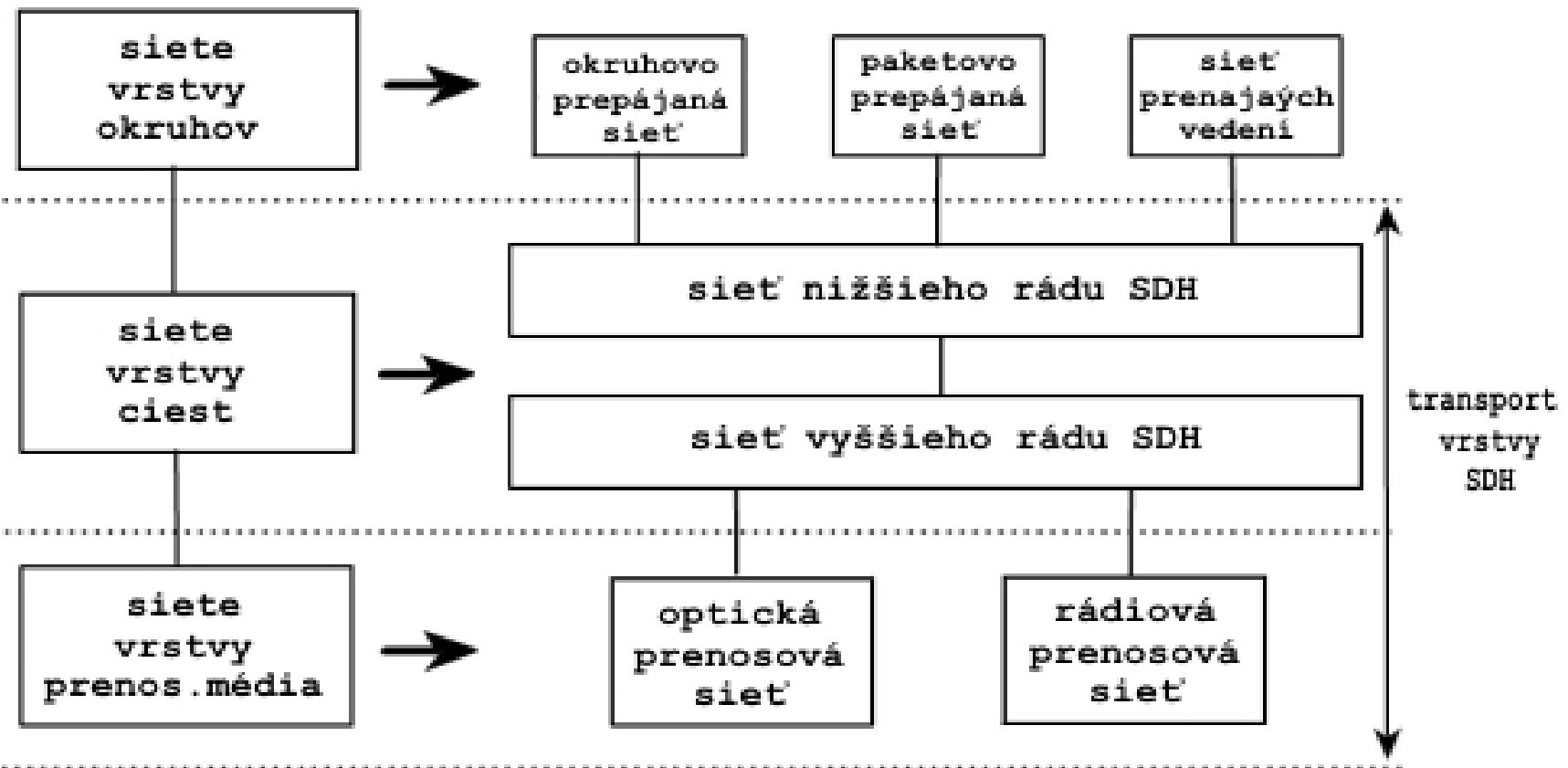
Technológia SDH 1/12



Technológia SDH 2/12

transportná sieť

priklad



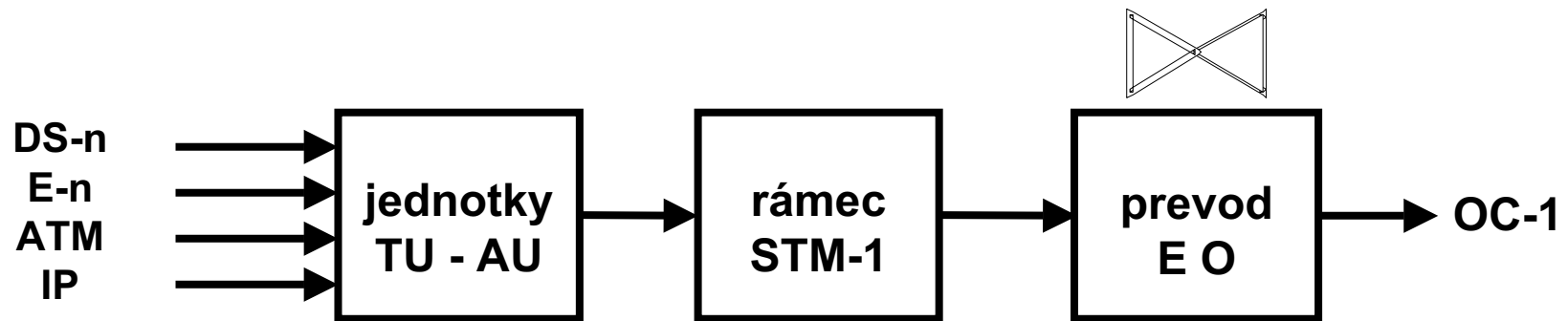
Technológia SDH 3/12

- hierarchický proces v systéme SDH

zariadenia

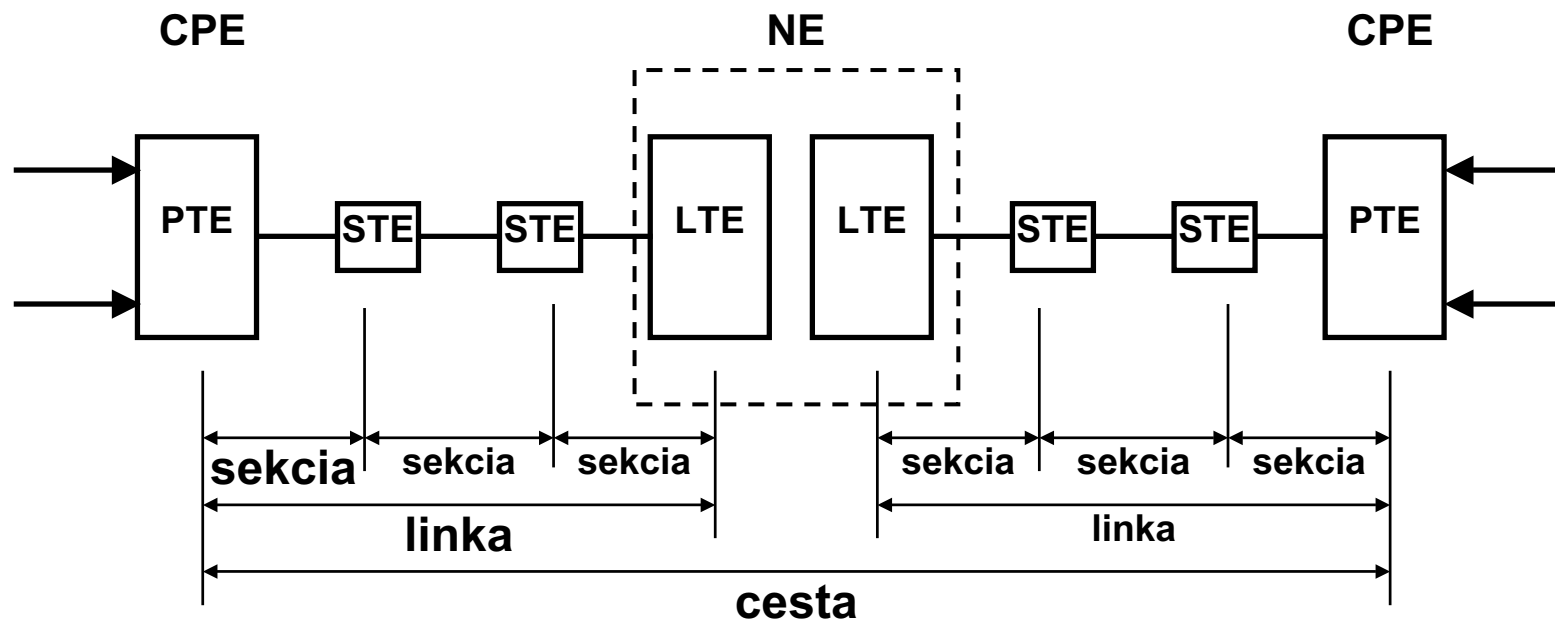
prispôsobenie SDH

prenos



Technológia SDH 4/12

- cesta, linka a sekcia v systéme SDH



Technológia SDH 5/12

Pojem **cesta** je spojený s riadiacou informáciou pridanou do hlavičky vo vysielacom zariadení PTE a čítanou v prijímacom zariadení PTE. Informácia cesty nie je kontrolovaná alebo menená medzilahými zariadeniami.

Pojem **linka** je spojený s riadiacou informáciou pridanou do hlavičky vo vysielacom zariadení LTE a čítanou v prijímacom zariadení LTE.

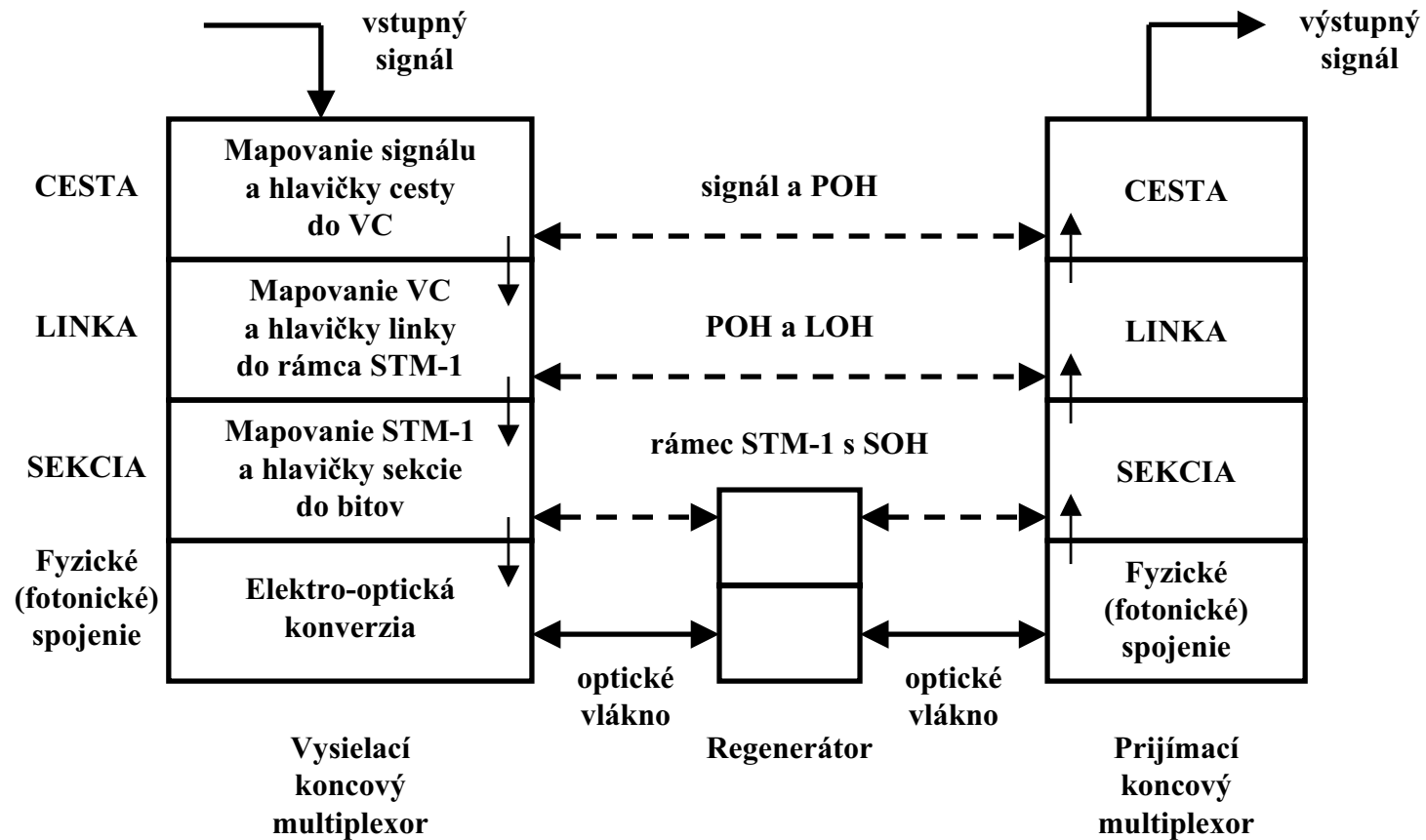
Pojem **sekcia** je spojený s riadiacou informáciou pridanou do hlavičky v zariadení STE zakončujúcom fyzický segment prenosového vybavenia.

Topológie siete SDH 11/12

- vrstvy siete
 - riadiaca informácia je hierarchicky členená do vrstiev, aby sa tým rozdelila zodpovednosť za prenos užitočnej informácie cez sieť,
 - každý sieťový prvok zabezpečuje:
 - interpretáciu a generovanie hlavičky svojej vrstvy,
 - kontrolu komunikácie a stavu iných elementov v tej istej vrstve
 - zakončenie príslušnej vrstvy,
 - možnosť rýchlo lokalizovať poruchy v rámci špecifických úsekov namiesto ich hľadania na celej prenosovej ceste.

Topológie siete SDH 12/12

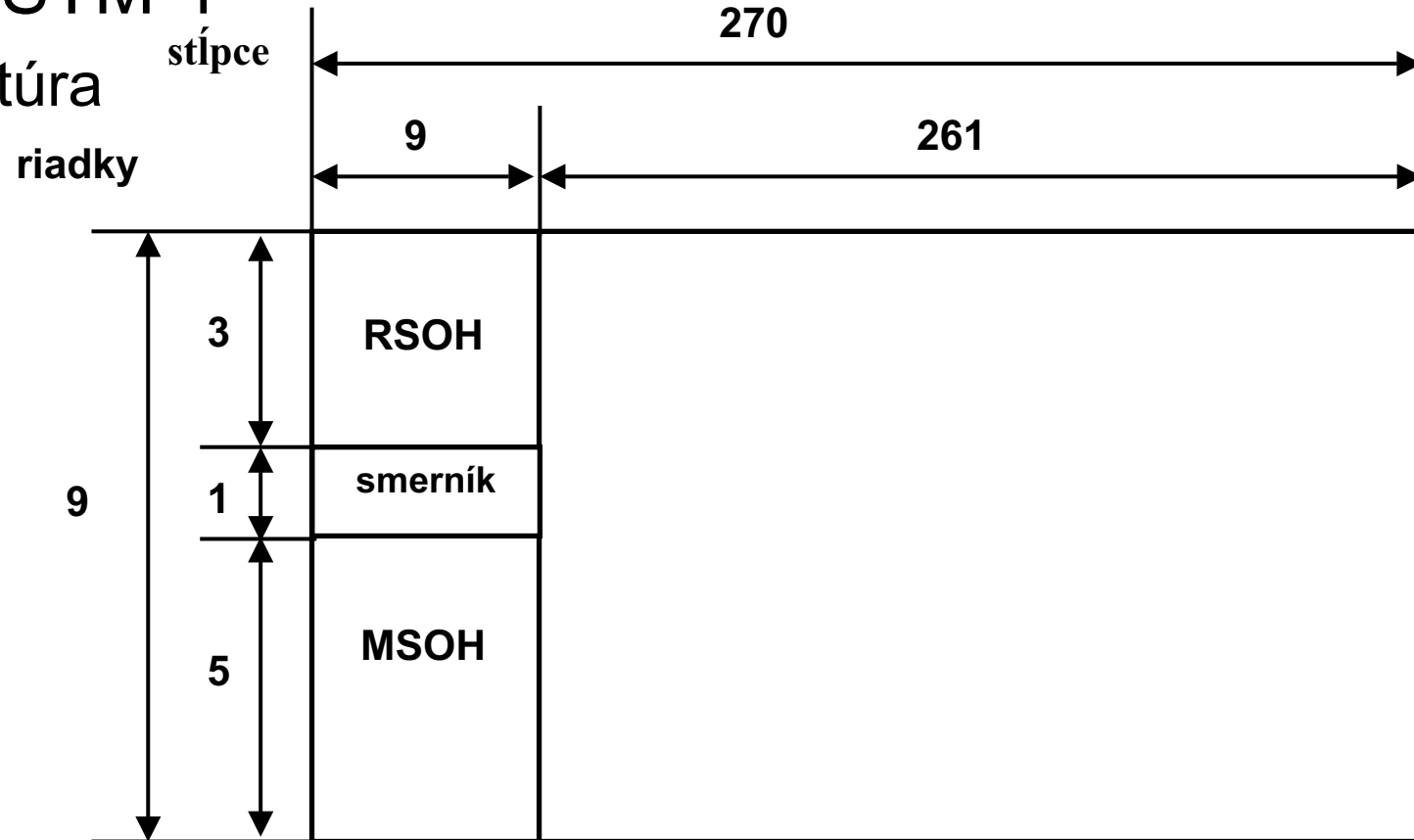
- vrstvy siete



Technológia SDH 6/12

- ráamec STM-1

– štruktúra



– pohyblivé rámce

Technológia SDH 7/12

- rámec STM-1
 - prenosová rýchlosť

$$v_{STM-1} = 270 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 8000 \text{ s}^{-1} = 155\,520\,000 \text{ bit/s}$$

**počet stĺpcov . počet riadkov . počet bitov v oktete .
počet opakovaní rámca za sekundu**

Technológia SDH 8/12

- technika pohyblivých rámcov

začiatok rámca prijatého VC nie je presne synchrónny zo začiatkom rámca VC, ktorý generuje prijímací uzol;

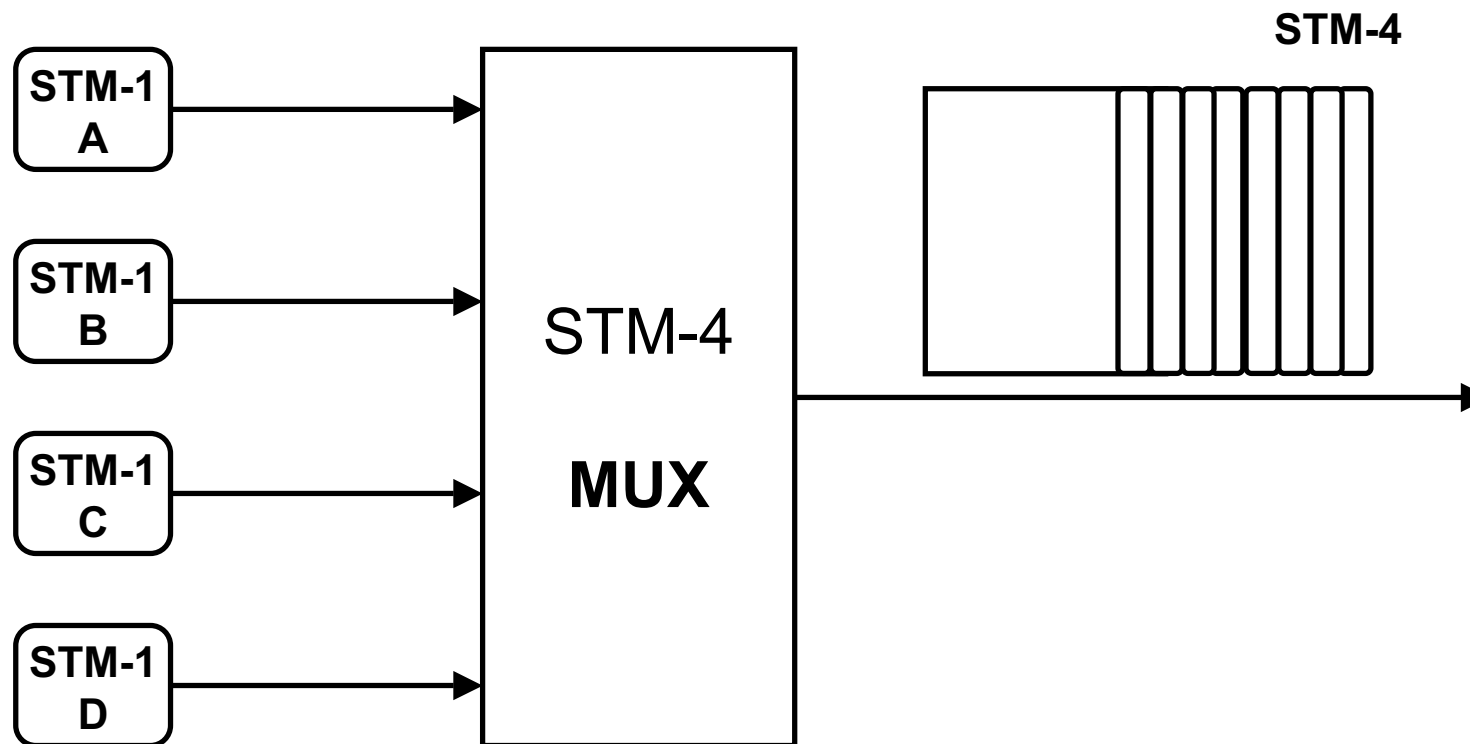
naviac, je potrebný určitý čas na spracovanie riadiacej informácie, pri ktorom sa s používateľskými informáciami nevykonáva žiadna činnosť;

vzniká posun v aktuálnom rámci STM-1 v zmysle riadkov a stĺpcov, následne môže dôjsť k eventuálnemu prekročeniu príslušného rámca VC;

proces mapovania sa nezastavuje, ale pokračuje v nasledujúcom rámci STM-1, nevytvára sa žiadny časový konflikt, pretože štruktúry rámcov VC aj STM-1 sú synchronizované do časového intervalu 125 μ s.

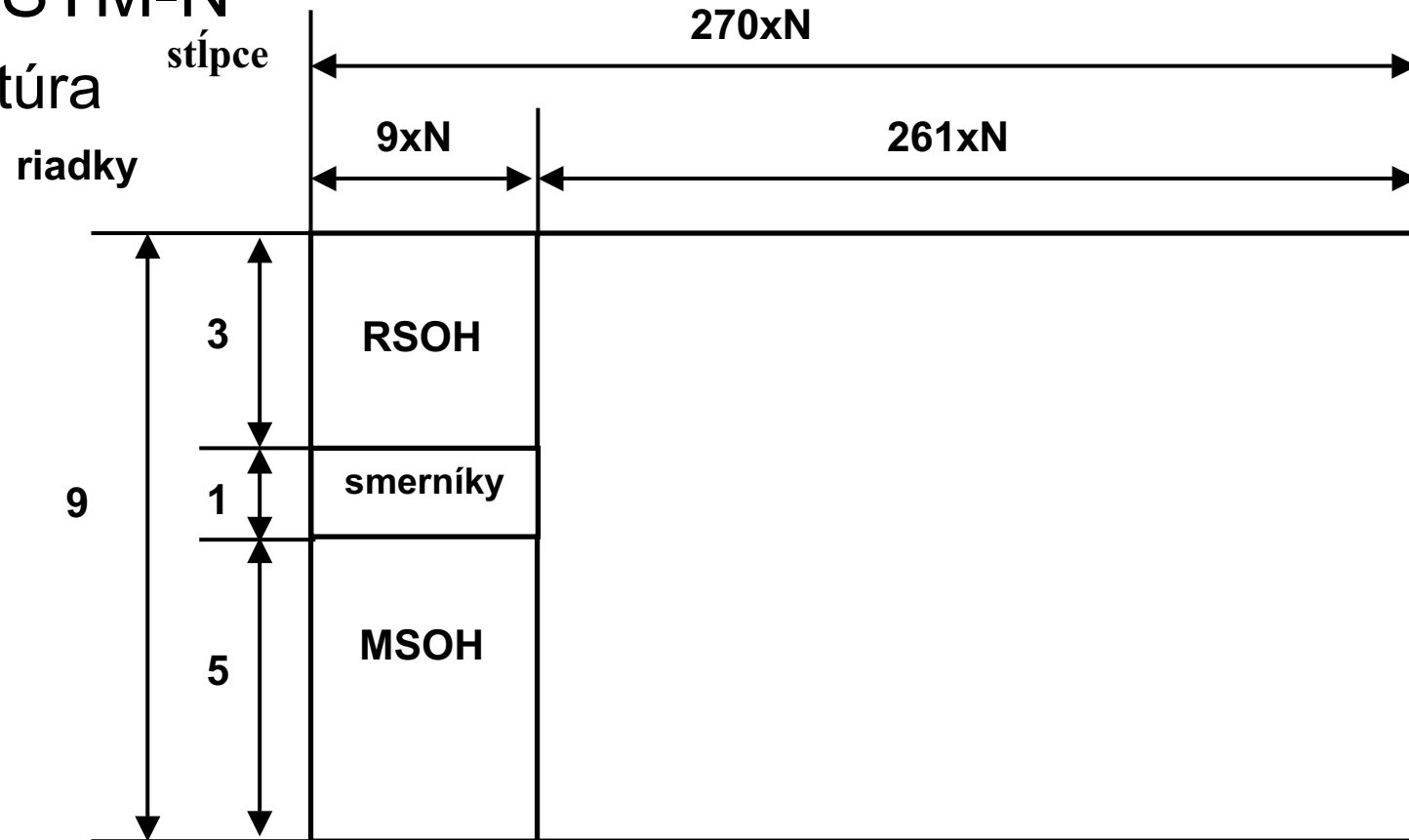
Technológia SDH 9/12

- rámce STM-N
 - multiplexovanie



Technológia SDH 10/12

- rámce STM-N
– štruktúra



Technológia SDH 11/12

- rámce STM-N
 - prenosové rýchlosti

Úroveň	Rámec	SDH
0	STM-0	51,84 Mbit/s (len SONET)
1	STM-1	155,52 Mbit/s
2	STM-4	622,08 Mbit/s
3	STM-16	2 488,32 Mbit/s
4	STM-64	9 953,28 Mbit/s
5	STM-256	39 813,12 Mbit/s

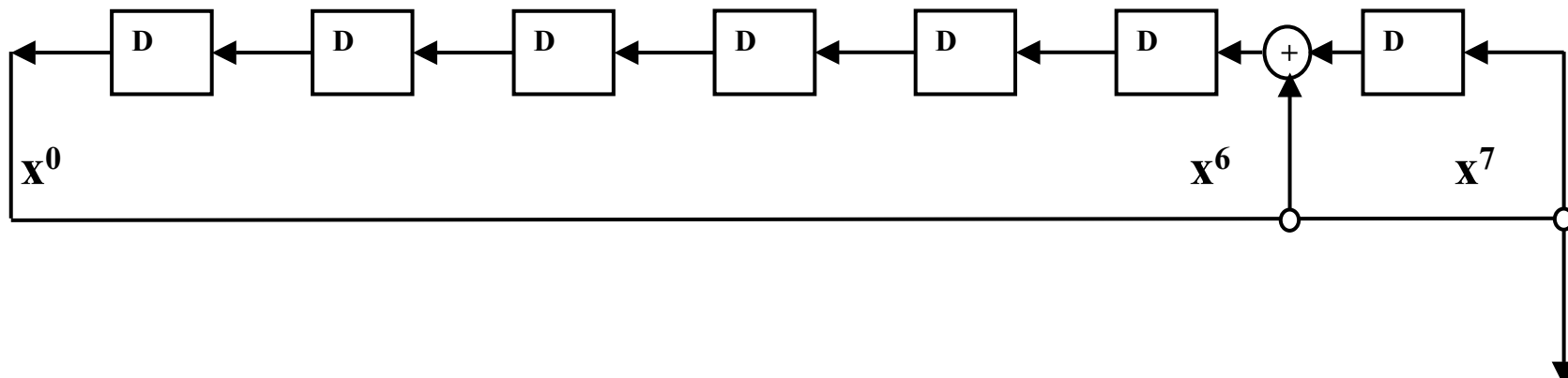
Technológia SDH 12/12

- šifrovanie rámcov

po vytvorení kompletného rámca STM-N sa oktety v ňom šifrujú, t.j. prebieha proces rozptyľovania (scrambling);

takto sa v prijímači zaistí dostatočná hustota logických jednotiek v dlhom slede dátových symbolov na zabezpečenie synchronizácie;

šifrovací kód sa generuje pomocou polynómu $1+x^6+x^7$.



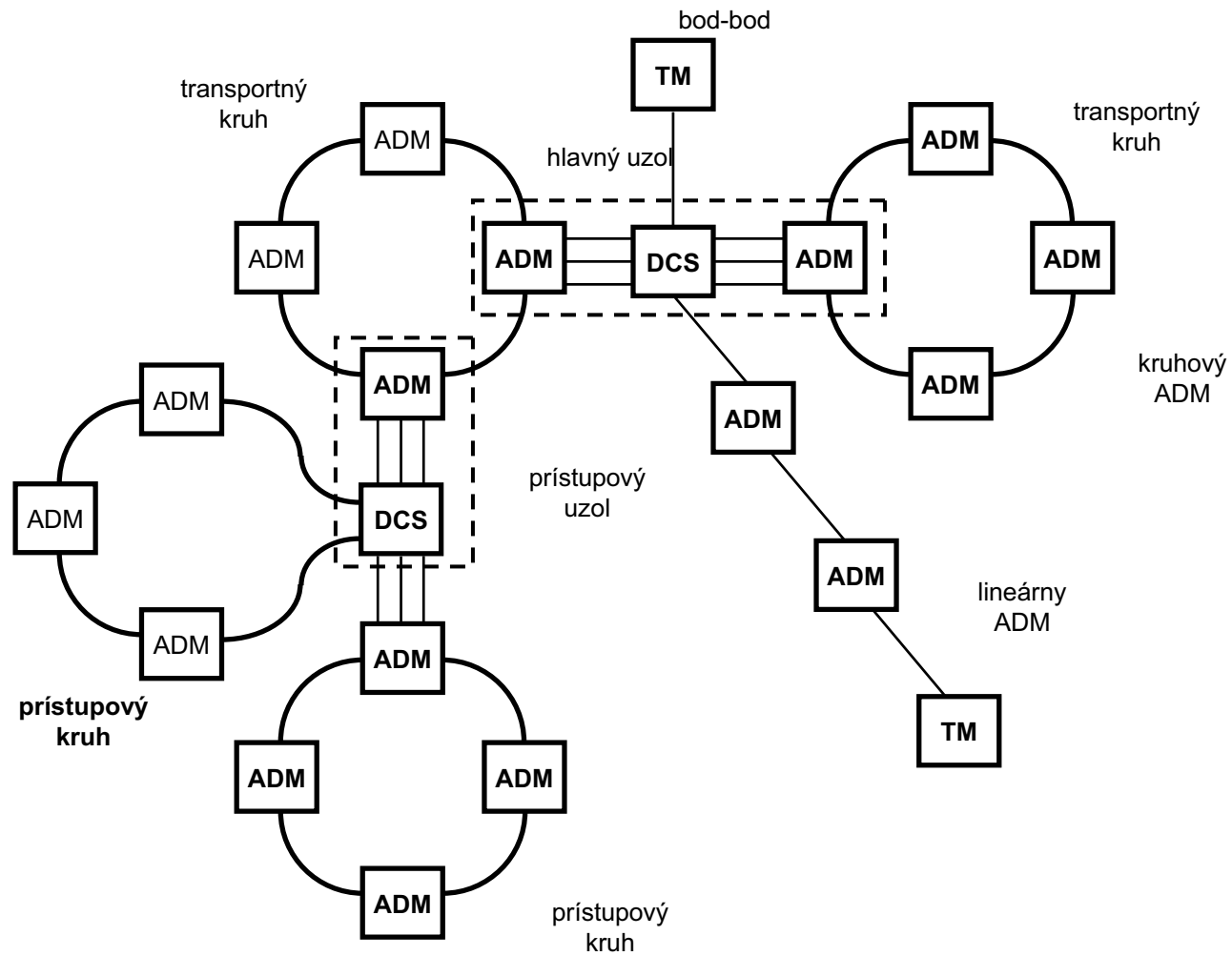
Prednáška 10/12

Ing. Rastislav RÓKA, PhD.

Katedra telekomunikácií

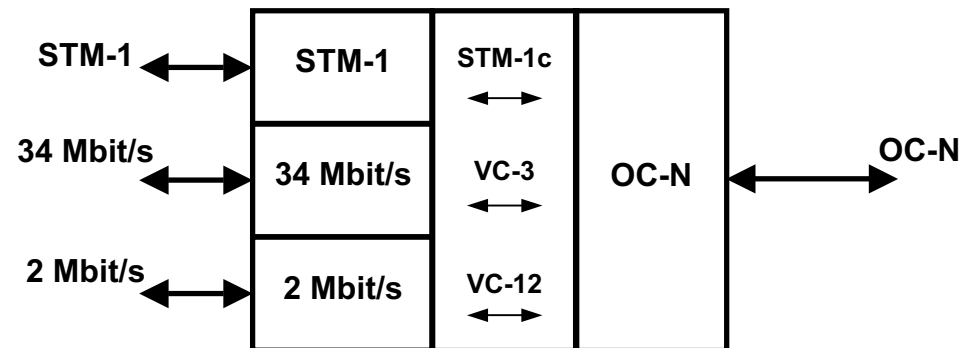
FEI STU Bratislava

Prvky siete SDH 1/8



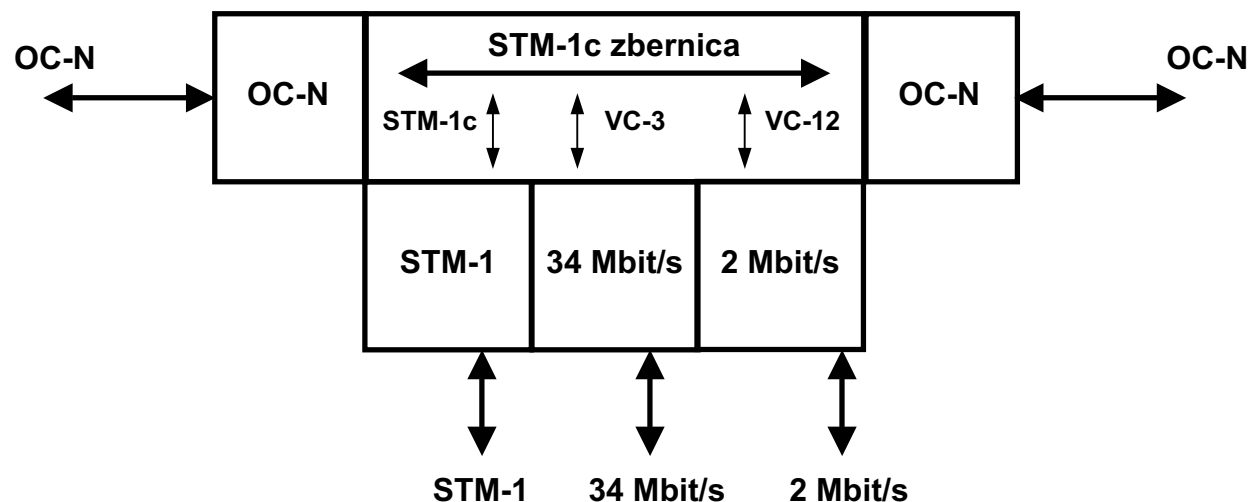
Prvky siete SDH 2/8

- koncový (terminálový) multiplexor TM
 - v koncových bodoch siete SDH,
 - zariadenie PTE, LTE, STE,
 - hlavná úloha: zbierať a mapovať prítokové signály hierarchie PDH alebo iných dátových sietí do signálu hierarchie SDH,
 - buď v elektrickej (STM-N) alebo v optickej (OC-N) forme.



Prvky siete SDH 3/8

- add/drop multiplexor ADM
 - úloha: ako TM, navyše vložiť alebo vybrať prítokové signály z výsledného signálu hierarchie SDH (zvyšný tok prechádza bez zmeny),
 - varianty: vyber a vlož, resp. vyber a opakuj,
 - typy: koncový ADM, lineárny ADM, kruhový ADM.

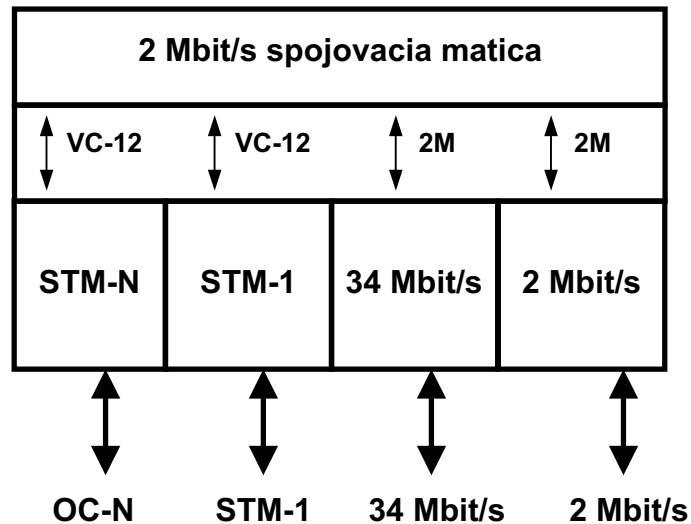


Prvky siete SDH 4/8

- digitálny prepínač DCS
 - používaný na manažment všetkých prenosových prostriedkov v centrálnom sieťovom uzle,
 - úloha: prepojiť individuálne prítokové signály, vykonať funkcie monitorovania výkonnosti a multiplexovania/ /demultiplexovania, resp. vyberania a vkladania signálov,
 - hlavný rozdiel medzi sieťovými prvkami DCS a ADM: prvok DCS vie zaobchádzať s oveľa väčším počtom signálov (rádovo tisícky prítokov) ako prvok ADM.

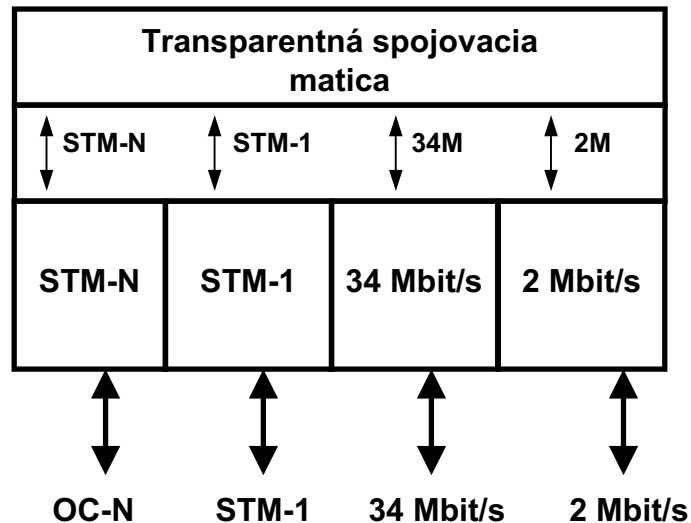
Prvky siete SDH 5/8

- digitálny prepínač DCS
 - ak sa funkcia prepojovania dátových signálov vykonáva na úrovni signálu 2,048 Mbit/s, prepínač sa nazýva **wideband DCS**.



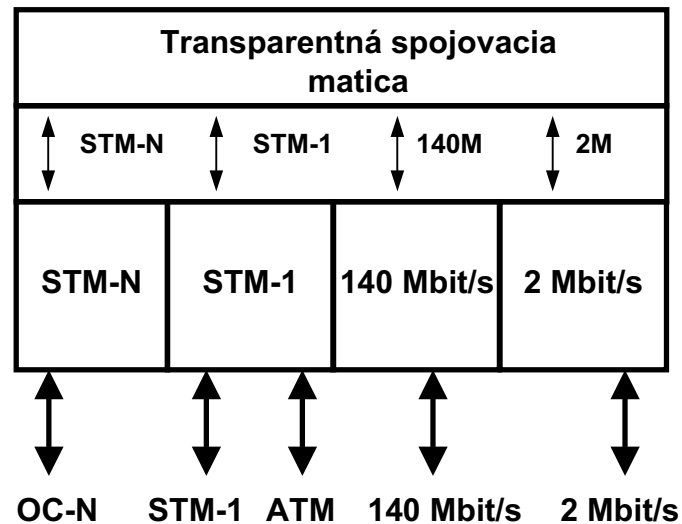
Prvky siete SDH 6/8

- digitálny prepínač DCS
 - ak sa funkcia prepojovania dátových signálov vykonáva na vyššej úrovni, prepínač sa nazýva ***broadband DCS***.



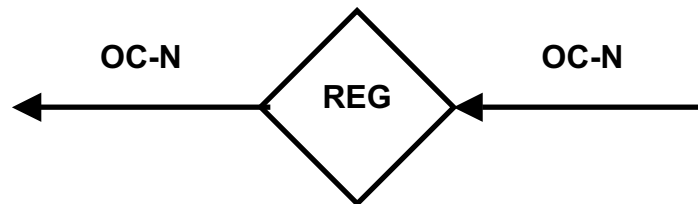
Prvky siete SDH 7/8

- synchrónny digitálny prepojovací systém SDCS
 - najvyšší stupeň vývoja DCS, dokáže prepojiť hocijakú úroveň signálov medzi svojimi portami od 64 kbit/s až po STM-4.



Prvky siete SDH 8/8

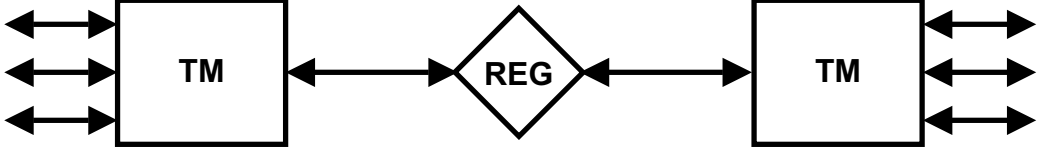
- regenerátor REG
 - zariadenie STE,
 - úloha: obnoviť časovanie prijatého signálu, aktualizovať hlavičku RSOH,
 - očakáva príslušný vstupný signál v rámcovej štruktúre, ak sa táto rámcová štruktúra správne neprijme, je vygenerovaná korešpondujúca rámcová štruktúra STM-N s aktuálnou hlavičkou RSOH modifikovanou s ohľadom na vzniknuté problémy.



Topológie siete SDH 1/12

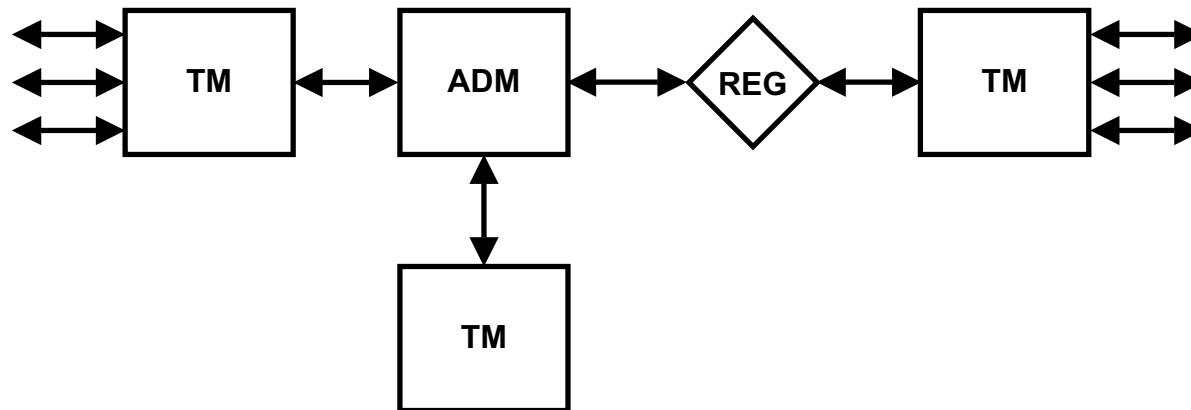
- atribúty
 - počet optických vlákien, smer prenosu signálov, funkcia optických vlákien, typ ochrany prevádzky
- rozdelenie
 - pevné
 - bod-bod, bod-mnohobod, linkový systém
 - flexibilné
 - kruh, strom (hviezda), mriežka (polygón)

Topológie siete SDH 2/12

- pevné: bod-bod 
 - jednoduchá infraštruktúra, jednoduché riešenie smerovania, bez zabezpečenia úplnej schopnosti obnovenia prevádzky pri poruchách optického vlákna alebo rozhraní v uzloch,
 - systém, v ktorom spája dva optické prístupové uzly iba jedno optické vlákno, ale v tomto usporiadaní samostatné vlákno neposkytuje žiadne prostriedky na obnovu prevádzky,
 - dva optické prístupové uzly sú spojené dvoma optickými vláknami – systém známy pod pojmom ***duálne vlákno***.

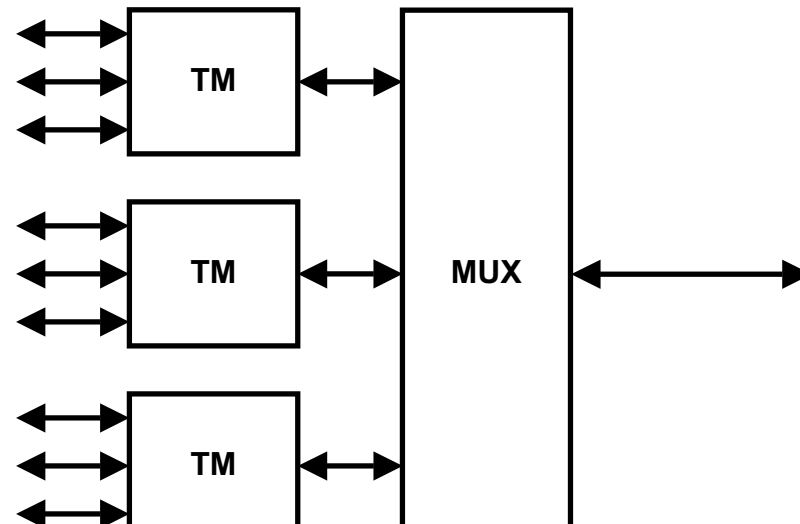
Topológie siete SDH 3/12

- pevné: bod-mnohobod
 - variant topológie bod-bod, keď sa do pôvodného usporiadania včlení 1 alebo viac prvkov ADM,
 - využitím funkcií vyberania/vkladania signálov je možné systém rozšíriť o ďalšie koncové multiplexory TM.



Topológie siete SDH 4/12

- pevné: linkový systém
 - variant topológie bod-bod, keď sa do pôvodného usporiadania včlení prvok MUX (WDM),
 - využitím funkcií združovania/ rozkladania signálov viacerých koncových multiplexorov TM je možné použiť na prenos združeného signálu len 1 optické vlákno.

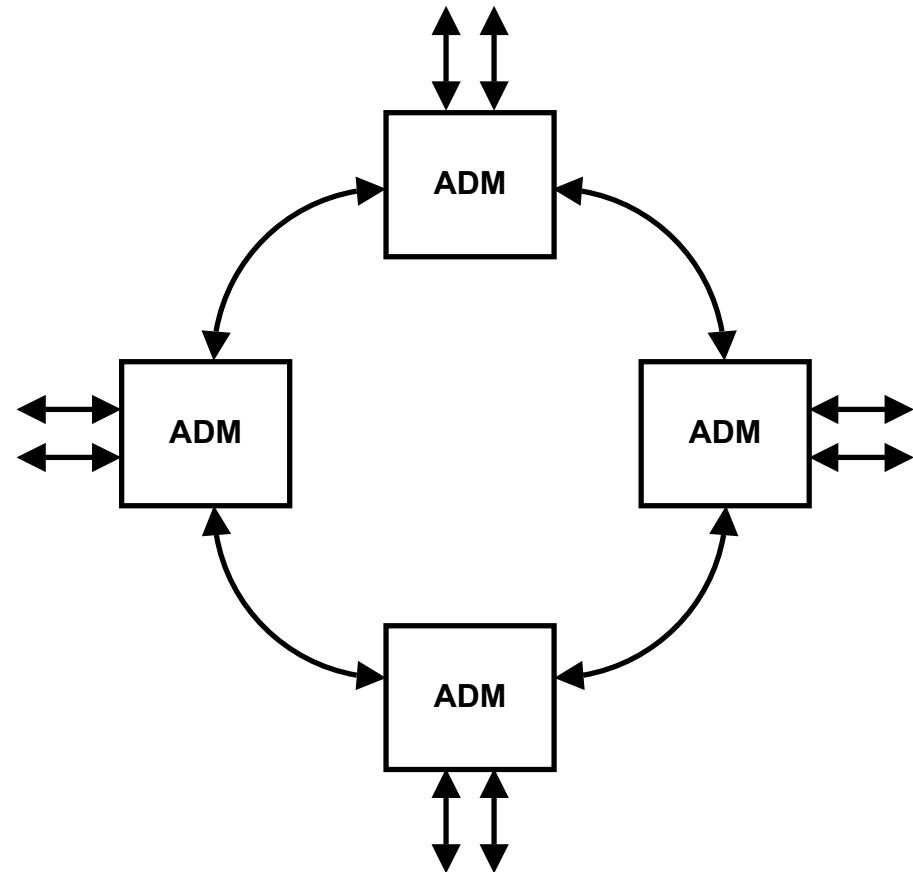


Topológie siete SDH 5/12

- flexibilné: kruh
 - sieťové elementy NE prepojené duálnym optickým vláknom (primárnym a sekundárnym),
 - 1 alebo viac NE môže mať pridelenú funkciu zabezpečenia komunikácie s ostatnými sieťami,
 - mechanizmus pre ochranu prenosu a schopnosti obnovenia prevádzky,
 - kruhová topológia ponúka rýchlu ochranu cesty a je široko používaná v sieťach LAN alebo v aplikáciách, ktoré sú nasadené v rámci (relatívne) obmedzeného dosahu.

Topológie siete SDH 6/12

- flexibilné: kruh
 - podľa smeru prenosu:
 - a) jednosmerné,
 - b) obojsmerné;
 - podľa počtu optických vlákien:
 - a) jednovláknové,
 - b) dvojvláknové,
 - c) štvorvláknové.

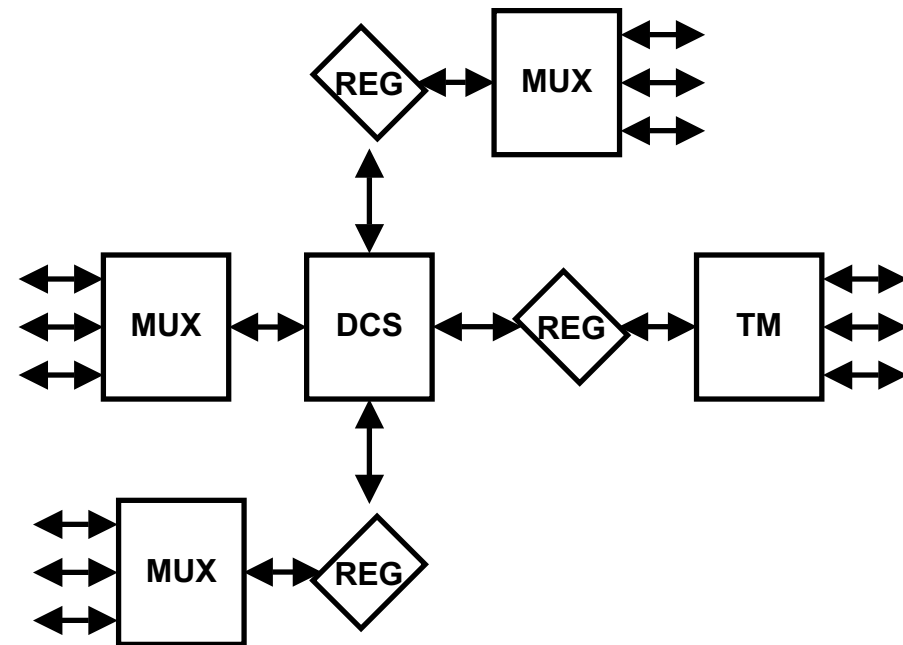


Topológie siete SDH 7/12

- flexibilné: strom
 - hierarchické rozloženie sieťových elementov NE,
 - uzol s distribučnou funkciou (známy ako HUB) zabezpečuje smerovanie zdrojového paketu do jeho cieľového uzla,
 - úspešnosť prepojenia závisí od toho, či je distribučný uzol HUB obsadený alebo nie,
 - vznik poruchy centrálného uzla HUB,
 - stromová topológia je veľmi efektívna pre asynchrónny dátový prenos, ale nie pre dátový a hlasový prenos v reálnom čase, väčšinou sa používa v sieťach typu LAN, ako je napr. Ethernet.

Topológie siete SDH 8/12

- flexibilné: strom
 - podľa implementácie:
 - a) jeden alebo viac prvkov ADM + prepínač Wideband DCS,
 - b) prepínač Broadband DCS.

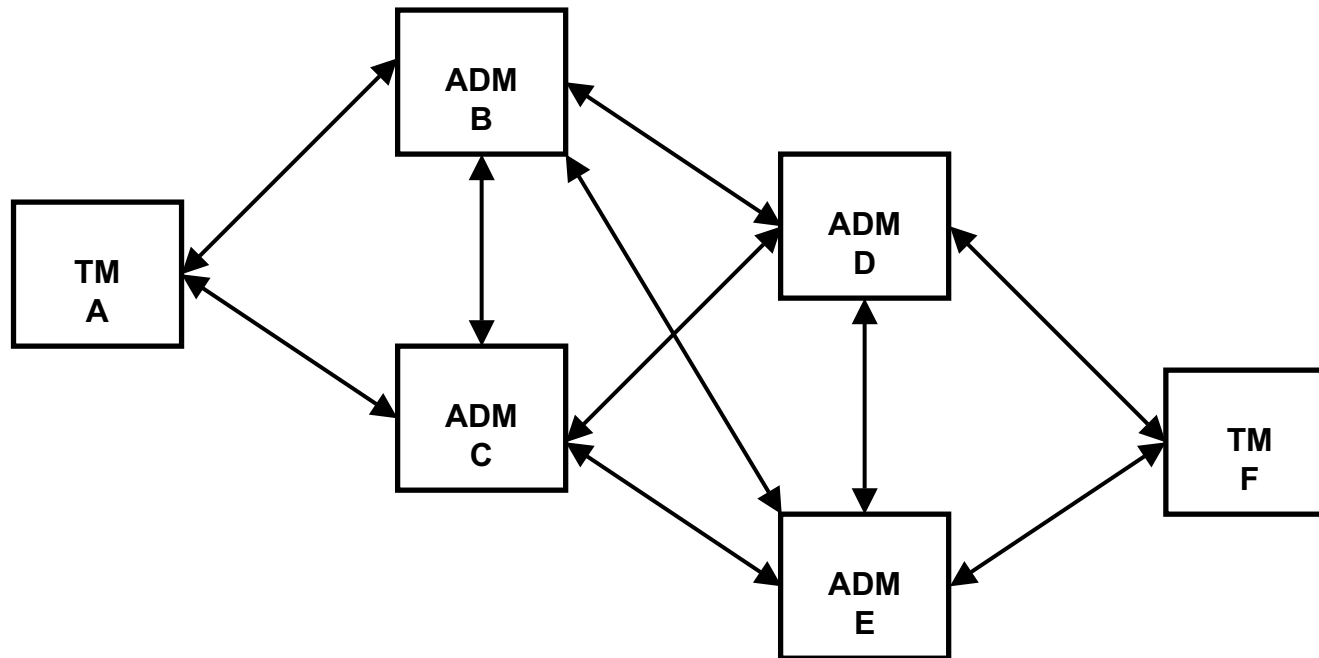


Topológie siete SDH 9/12

- flexibilné: mriežka
 - plne prepojené sieťové elementy NE,
 - ochrana prenosu a schopnosť obnovenia sieťovej prevádzky, resp. minimalizovania vplyvu prevádzkového kolapsu,
 - mriežková topológia je lepšie aplikovateľná v husto osídlených oblastiach,
 - sieťové uzly sa nazývajú **signalizačné prenosové body STP** - sú to uzly v princípe zodpovedné za funkčnosť prenosovej siete.

Topológie siete SDH 10/12

- flexibilné: mriežka

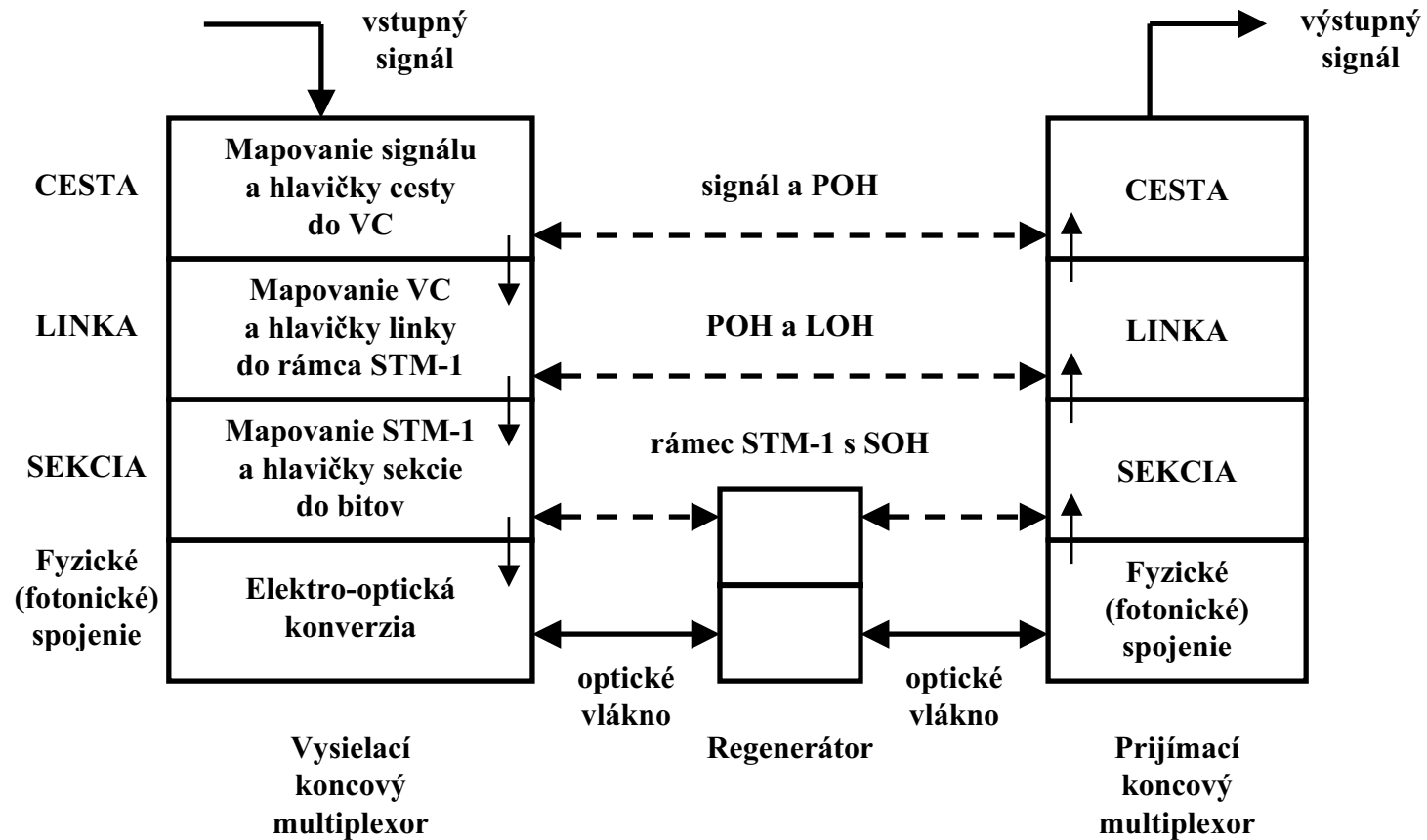


Topológie siete SDH 11/12

- vrstvy siete
 - riadiaca informácia je hierarchicky členená do vrstiev, aby sa tým rozdelila zodpovednosť za prenos užitočnej informácie cez sieť,
 - každý sieťový prvok zabezpečuje:
 - interpretáciu a generovanie hlavičky príslušnej vrstvy,
 - kontrolu komunikácie a stavu iných elementov v tej istej vrstve
 - zakončenie príslušnej vrstvy,
 - možnosť rýchlo lokalizovať poruchy v rámci špecifických úsekov namiesto ich hľadania na celej prenosovej ceste.

Topológie siete SDH 12/12

- vrstvy siete



Stratégie obnovy sietí SDH 1/16

Jednosmerný prenos - smerovanie signálov na danej linke len v jednom smere,

Obojsmerný prenos - smerovanie signálov na danej linke aj v opačnom smere.

Prepínanie linky - obnovenie prevádzky na celej optickej linke, ktorá obsahuje množstvo prítokových signálov.

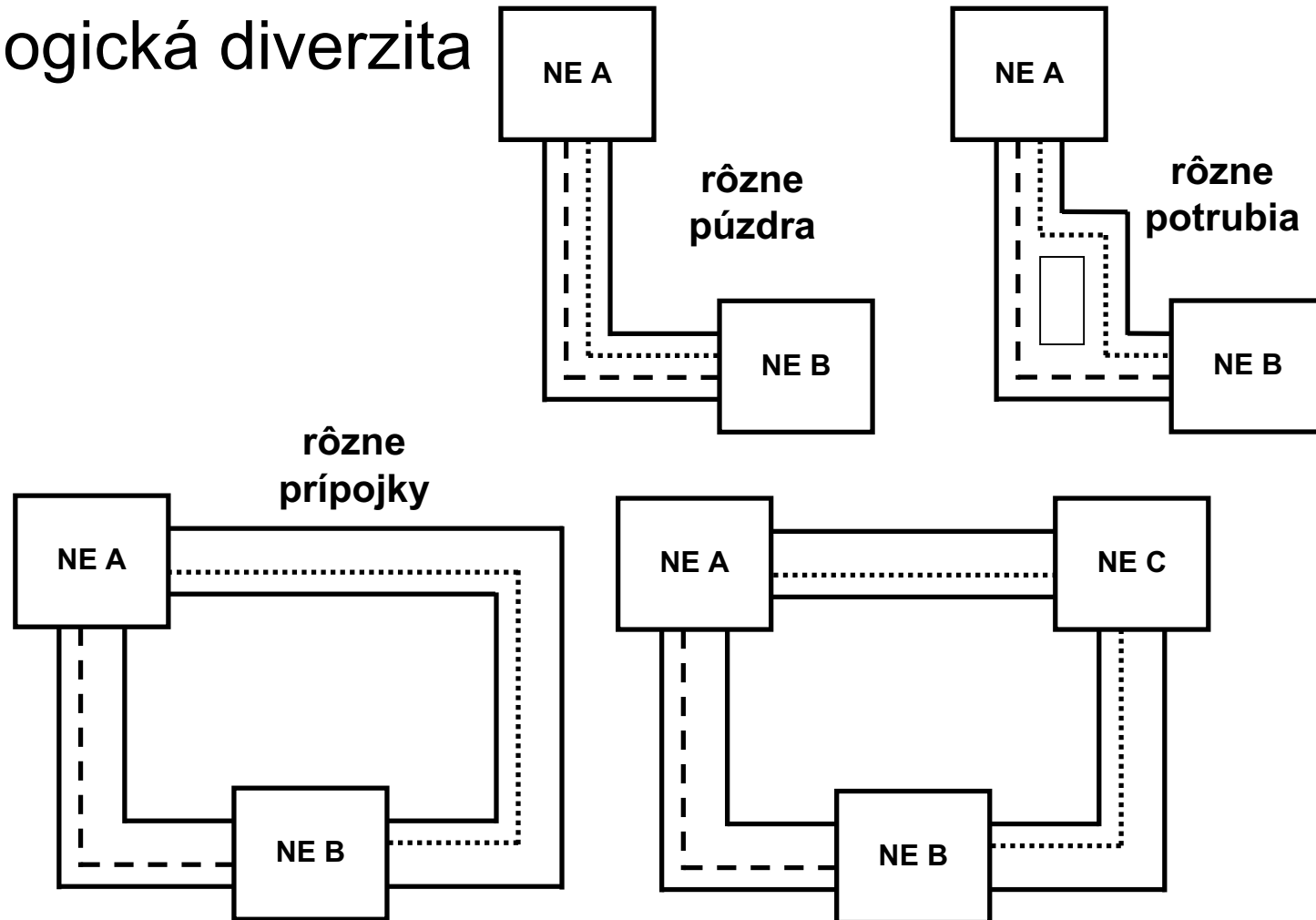
Prepínanie cesty - ochrana prevádzky na vybraných individuálnych prítokoch. Prepínanie cesty poskytuje väčšiu diskretnosť riadenia ako prepínanie linky.

Pracovné vlákno (alebo pracovná kópia) vyjadruje optické vlákno (alebo vlnovú dĺžku), ktoré prenáša užitočné informácie od používateľa.

Ochranné vlákno (alebo ochranná kópia) vyjadruje optické vlákno (alebo vlnovú dĺžku), ktoré sa používa ako záloha pracovného vlákna.

Stratégie obnovy sietí SDH 2/16

- topologická diverzita



Stratégie obnovy sietí SDH 3/16

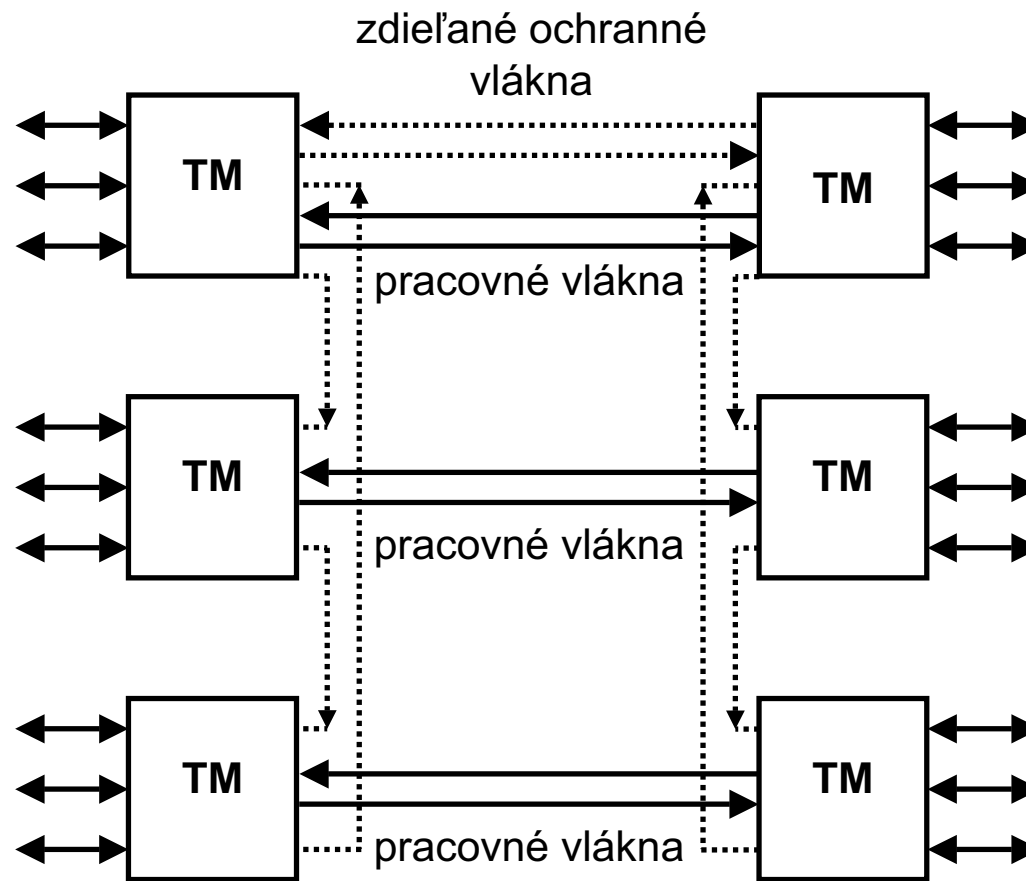
- Ochrana typu 1+1 - vyhradená
 - Optický signál sa prenáša zároveň na dvoch optických vláknach (pracovné a ochranné) medzi vysielacím a prijímacím koncom prenosovej trasy, pričom optický prijímač má možnosť výberu, z ktorého optického vlákna bude prijímať informačný signál.
 - V prípade vzniku poruchy na prenosovej trase sa optický prijímač automaticky prepne na ochranné vlákno.
 - Strata 3 dB optického výkonu !

Stratégie obnovy sietí SDH 4/16

- Ochrana typu 1:1 a 1:N - zdieľaná
 - Medzi vysielačím a prijímacím koncom prenosovej trasy sú tiež dve optické vlákna (pracovné a ochranné), avšak optický signál sa prenáša len po jednom z nich (pracovné vlákno).
 - Možnosť extra prevádzky (ochranné vlákno).
 - Pomalšia ako ochrana 1+1 !
 - Ochrana 1:N je založená na zdieľaní ochranného vlákna medzi viacerými pracovnými vláknami.

Stratégie obnovy sietí SDH 5/16

- Ochrana 1:N



Stratégie obnovy sietí SDH 6/16

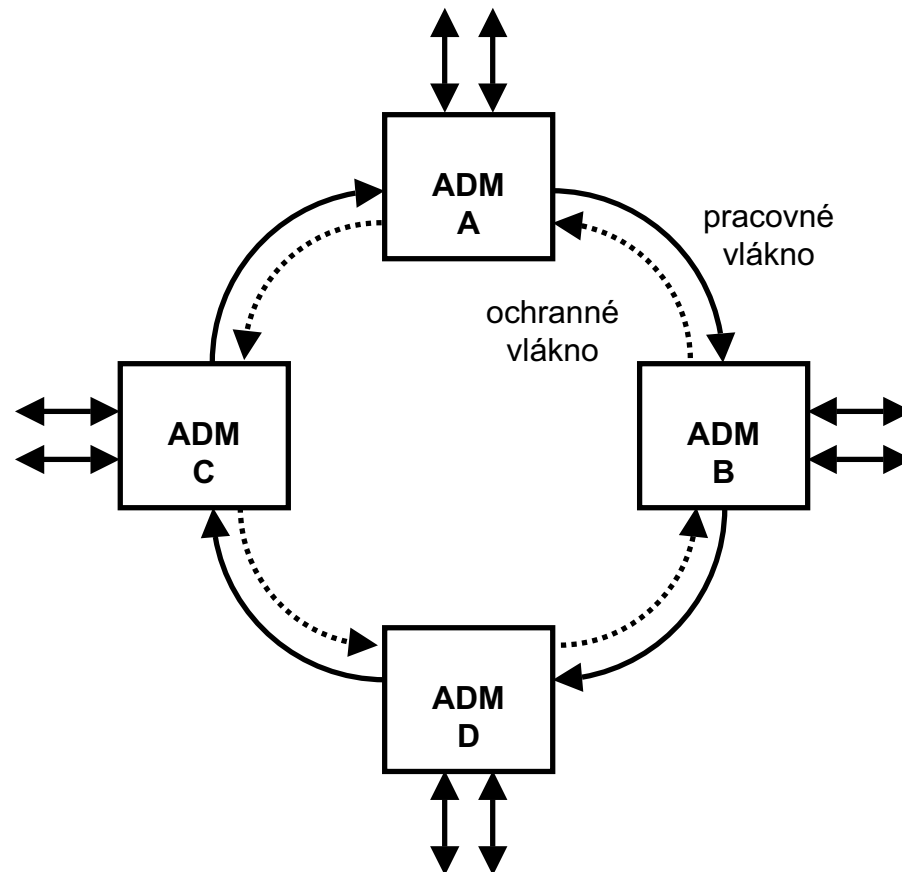
- Jednosmerný kruh s prepínaním cesty UPSR
 - používajú sa dve optické vlákna (pracovné a ochranné) a základné smerovanie je **jednosmerné**, t.j. pracovné aj ochranné vlákno cesty prenášajú signály na danej linke len v jednom smere (navzájom opačnom),
 - každý uzol vysiela optický signál do oboch vlákien, takže vzniká duplikovaný signál, ktorý prechádza ochranným vláknom,
 - každý uzol zároveň prijíma dva identické informačné signály s rozdielnym oneskorením,
 - prevádzka je počas celej činnosti prenášaná redundantne.

Stratégie obnovy sietí SDH 7/16

- Obojsmerný kruh s prepínaním linky BLSR
 - používajú sa dve optické vlákna (pracovné a ochranné) a základné smerovanie je **obojsmerné**, t.j. na danej optickej linke môže byť signál prenášaný v oboch smeroch,
 - v prípade vzniku poruchy sa vyberie ochranné vlákno použitím slučkovej väzby,
 - môže poskytovať prepínanie cesty v prípade poruchy sieťového uzla a prepínanie linky v prípade poruchy optického vlákna.

Stratégie obnovy sietí SDH 8/16

- Ochrana UPSR vs. 2F-BLSR



Prednáška 11/12

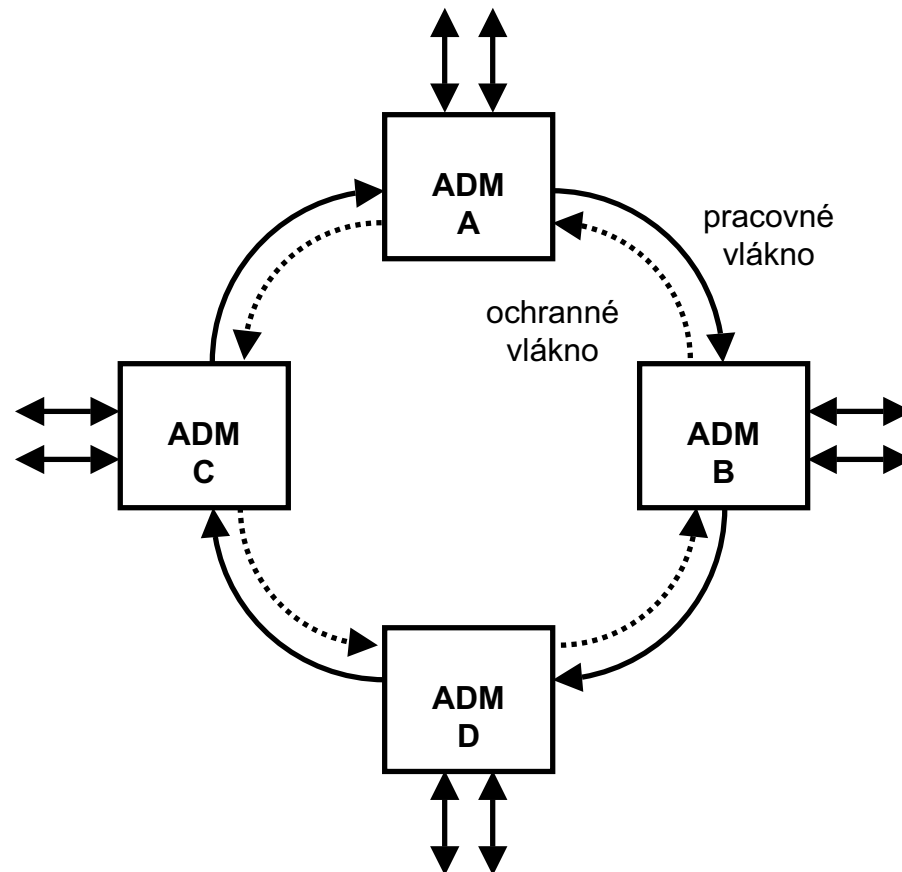
Ing. Rastislav RÓKA, PhD.

Katedra telekomunikácií

FEI STU Bratislava

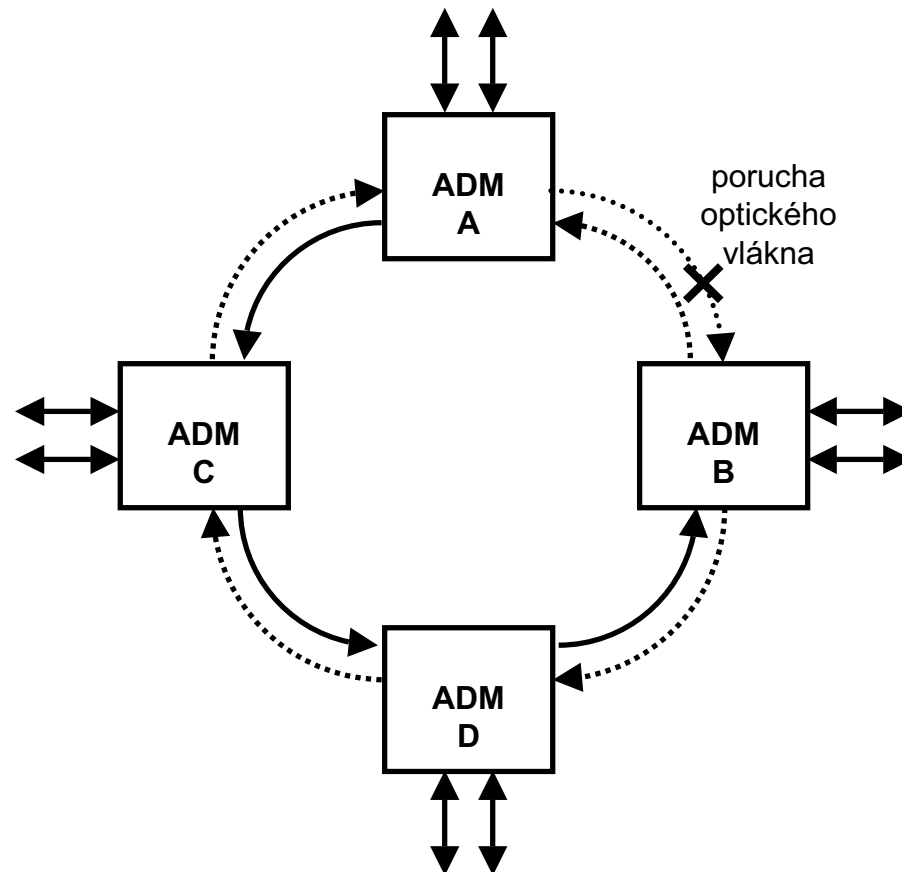
Stratégie obnovy sietí SDH 8/16

- Ochrana 2F-BLSR vs. UPSR



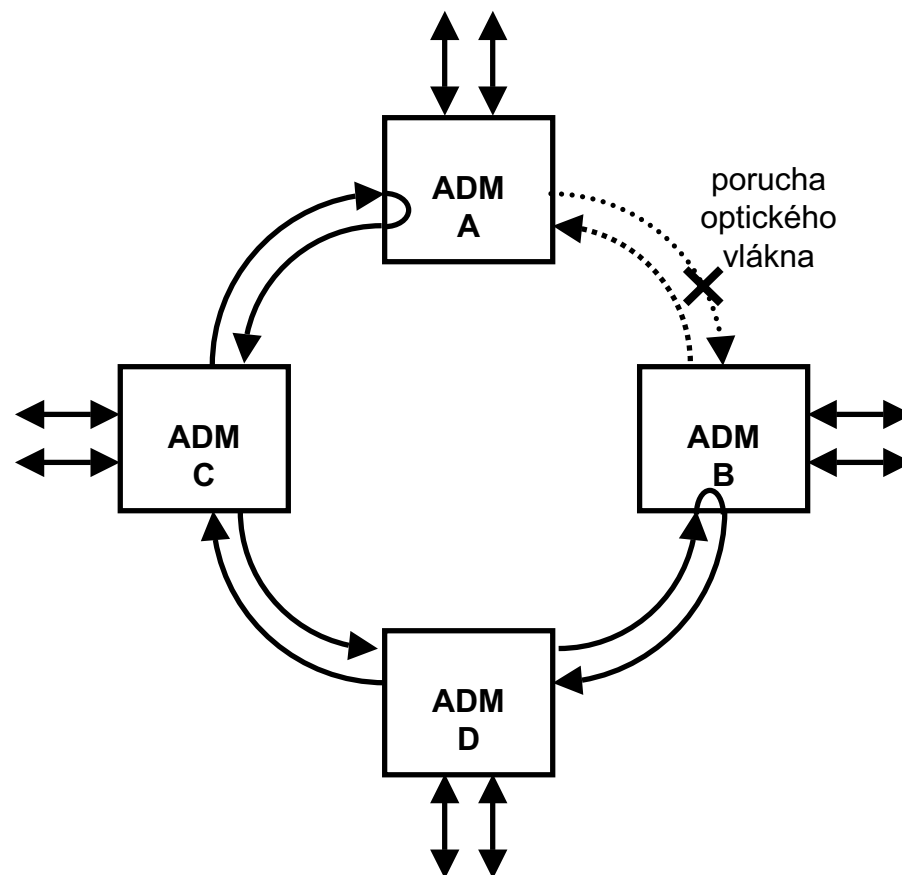
Stratégie obnovy sietí SDH 9/16

- Ochrana UPSR – porucha vlákna



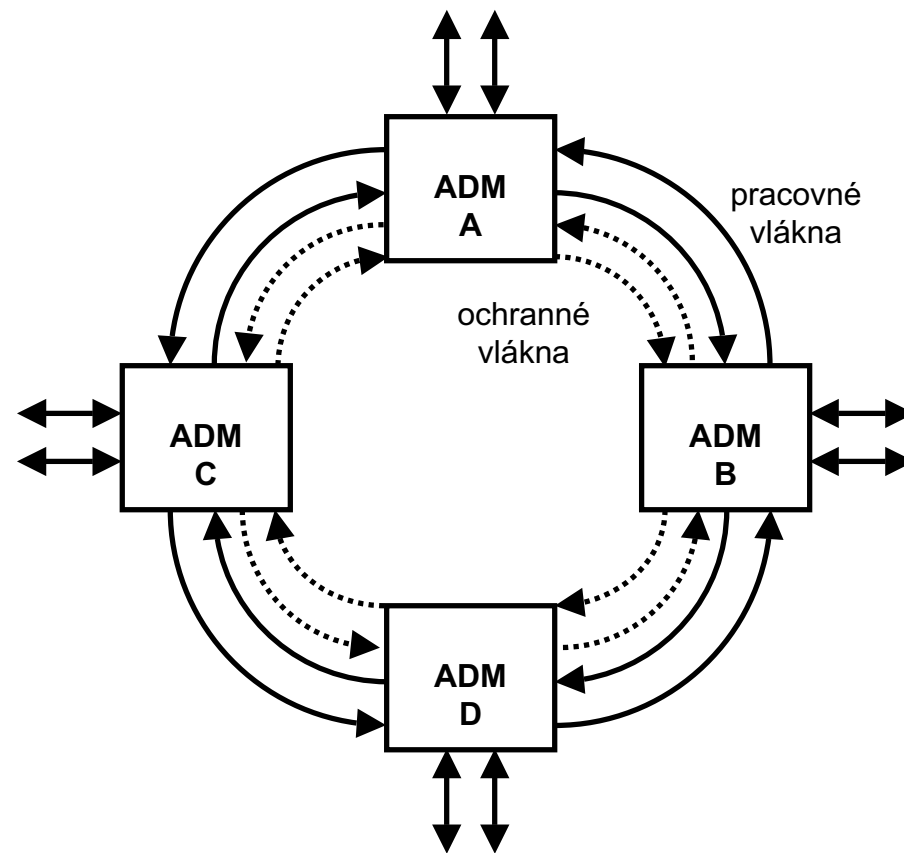
Stratégie obnovy sietí SDH 10/16

- Ochrana 2F-BLSR – porucha vlákna



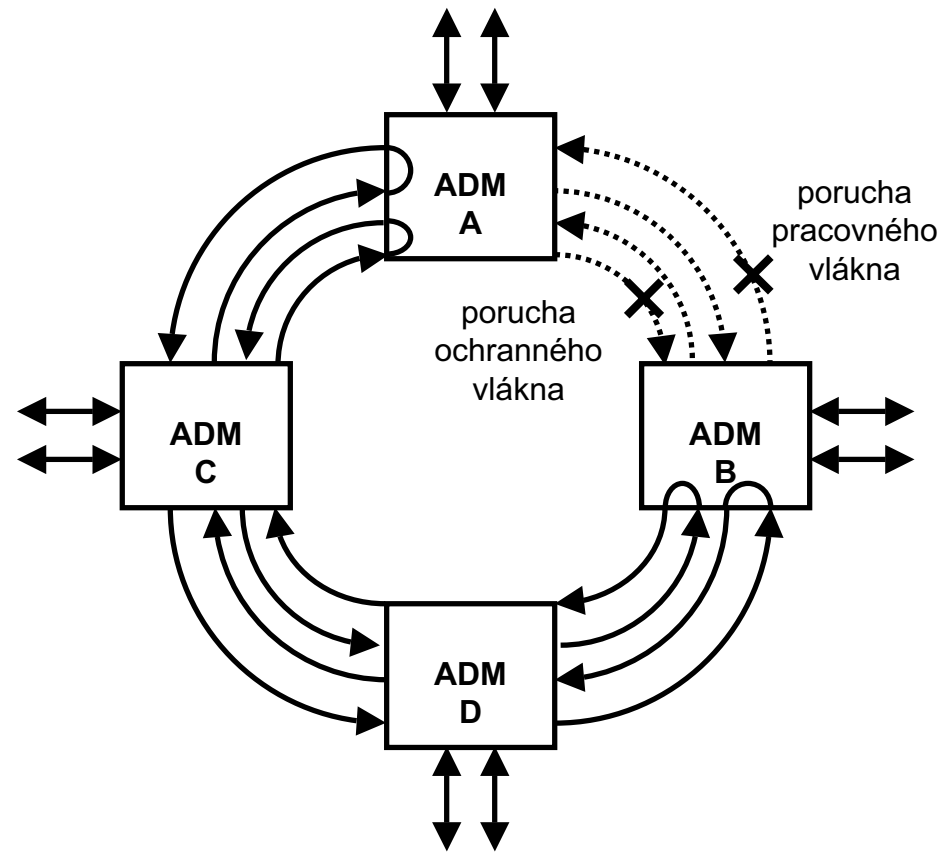
Stratégie obnovy sietí SDH 11/16

- Ochrana 4F-BLSR



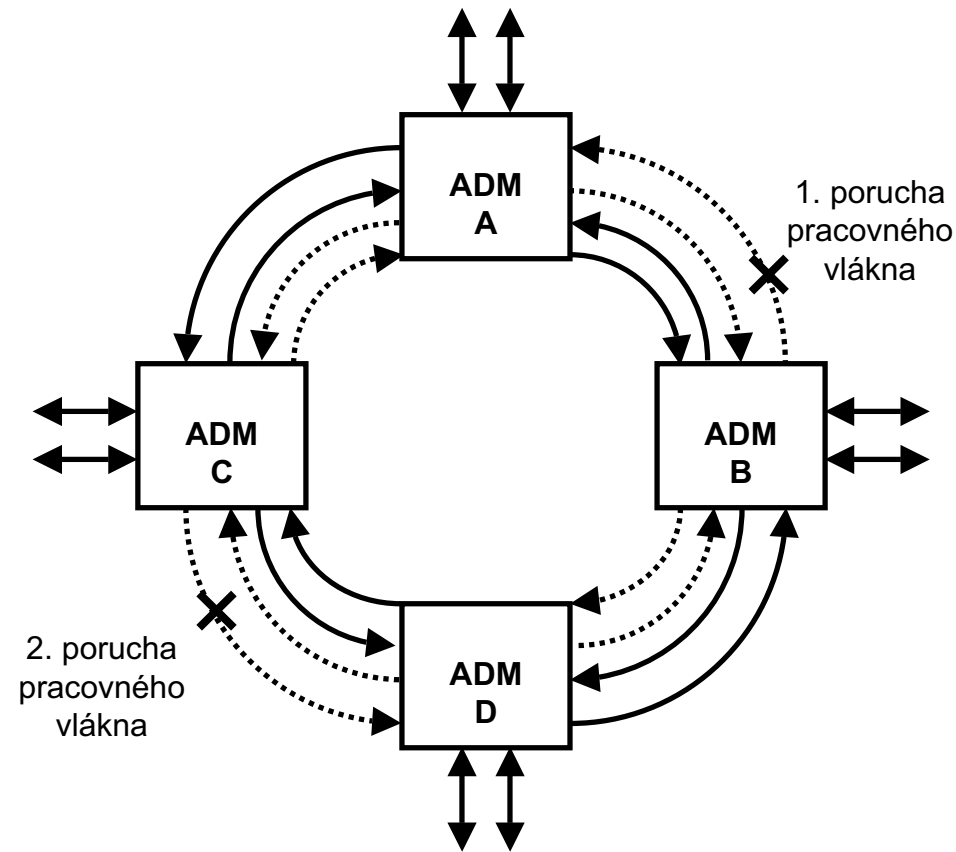
Stratégie obnovy sietí SDH 12/16

- Ochrana 4F-BLSR – porucha vlákien



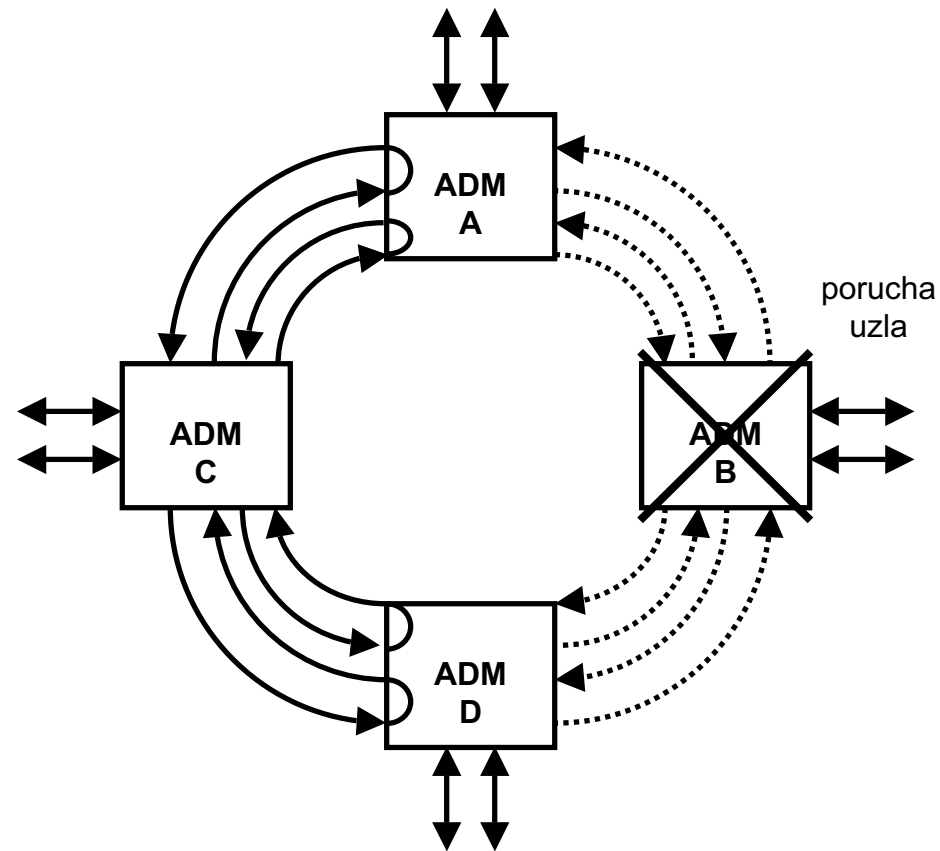
Stratégie obnovy sietí SDH 13/16

- Ochrana 4F-BLSR – dvojitá porucha vlákien



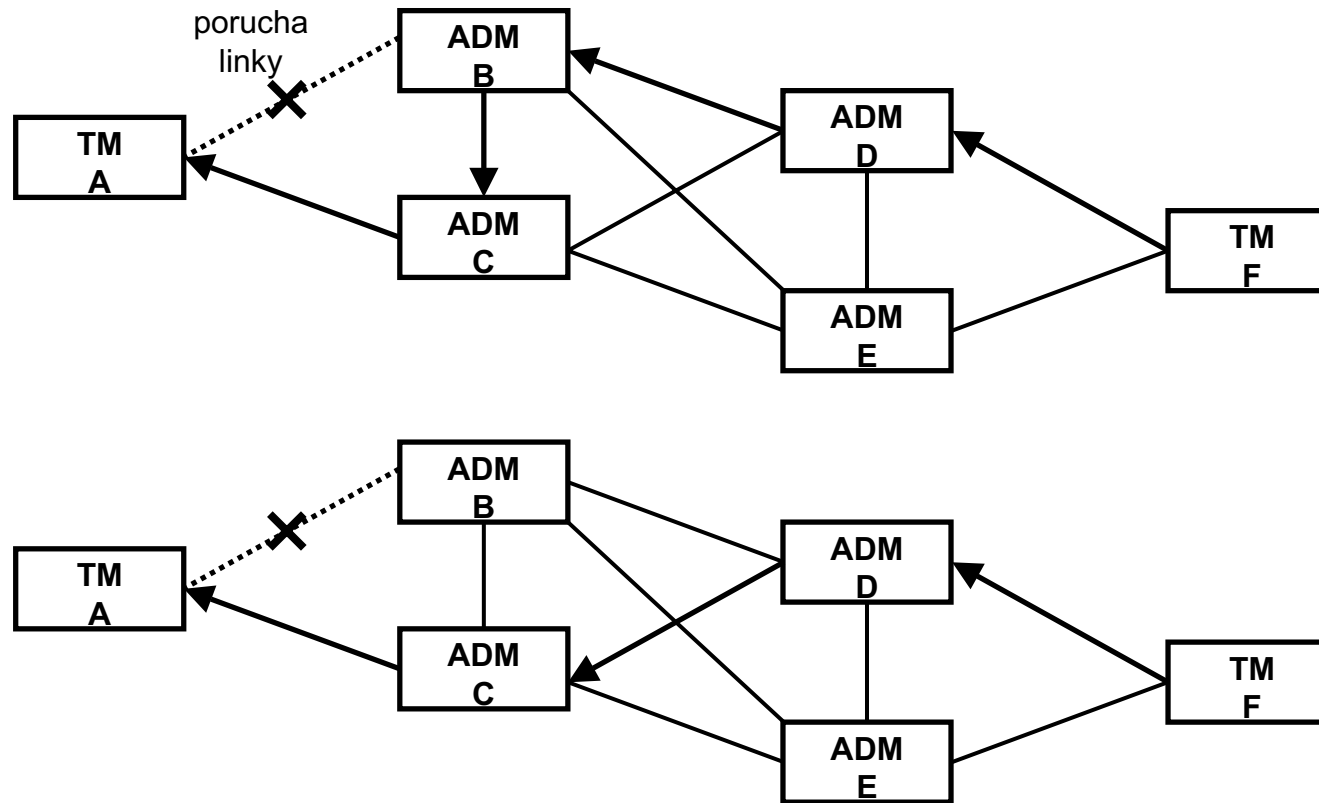
Stratégie obnovy sietí SDH 14/16

- Ochrana 4F-BLSR – porucha uzla



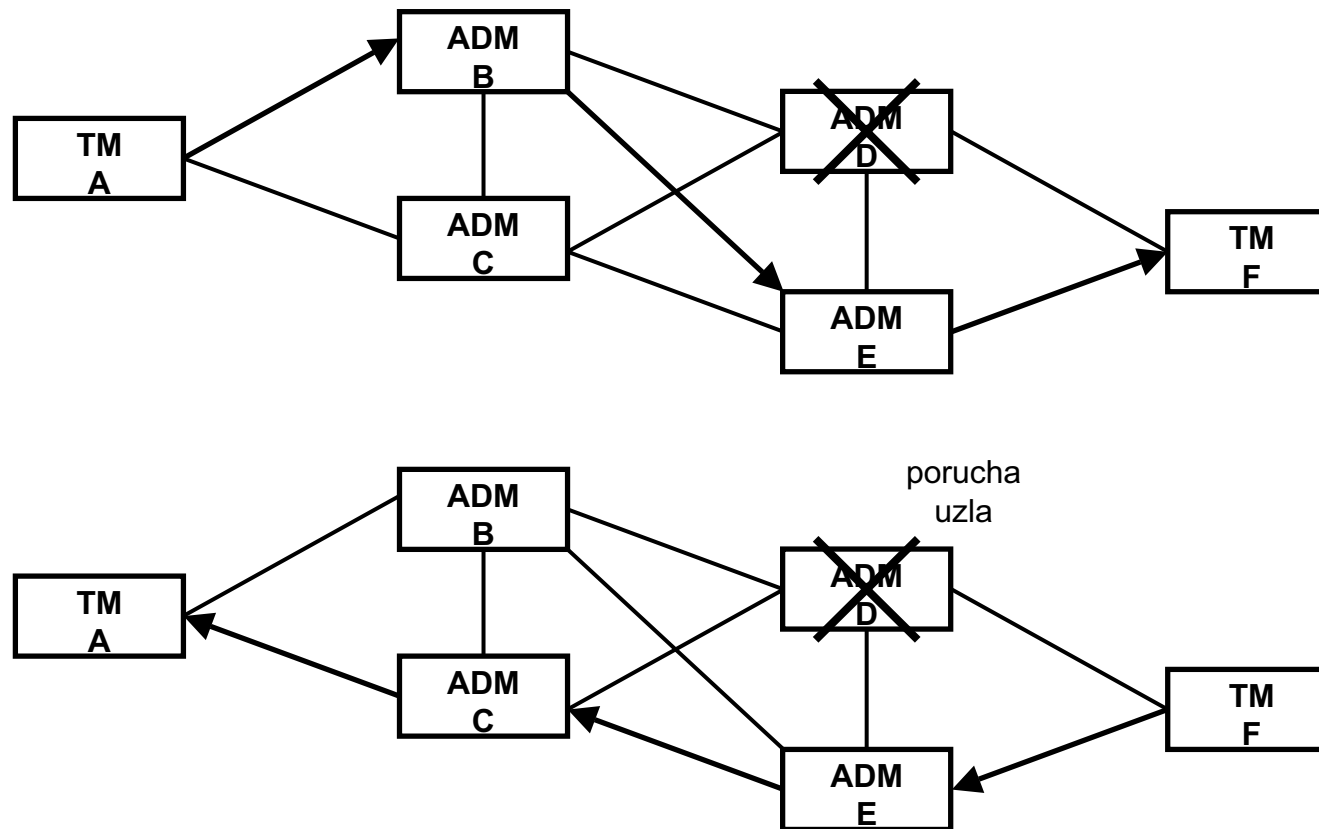
Stratégie obnovy sietí SDH 15/16

- Ochrana v polygonálnej topológii – porucha linky



Stratégie obnovy sietí SDH 16/16

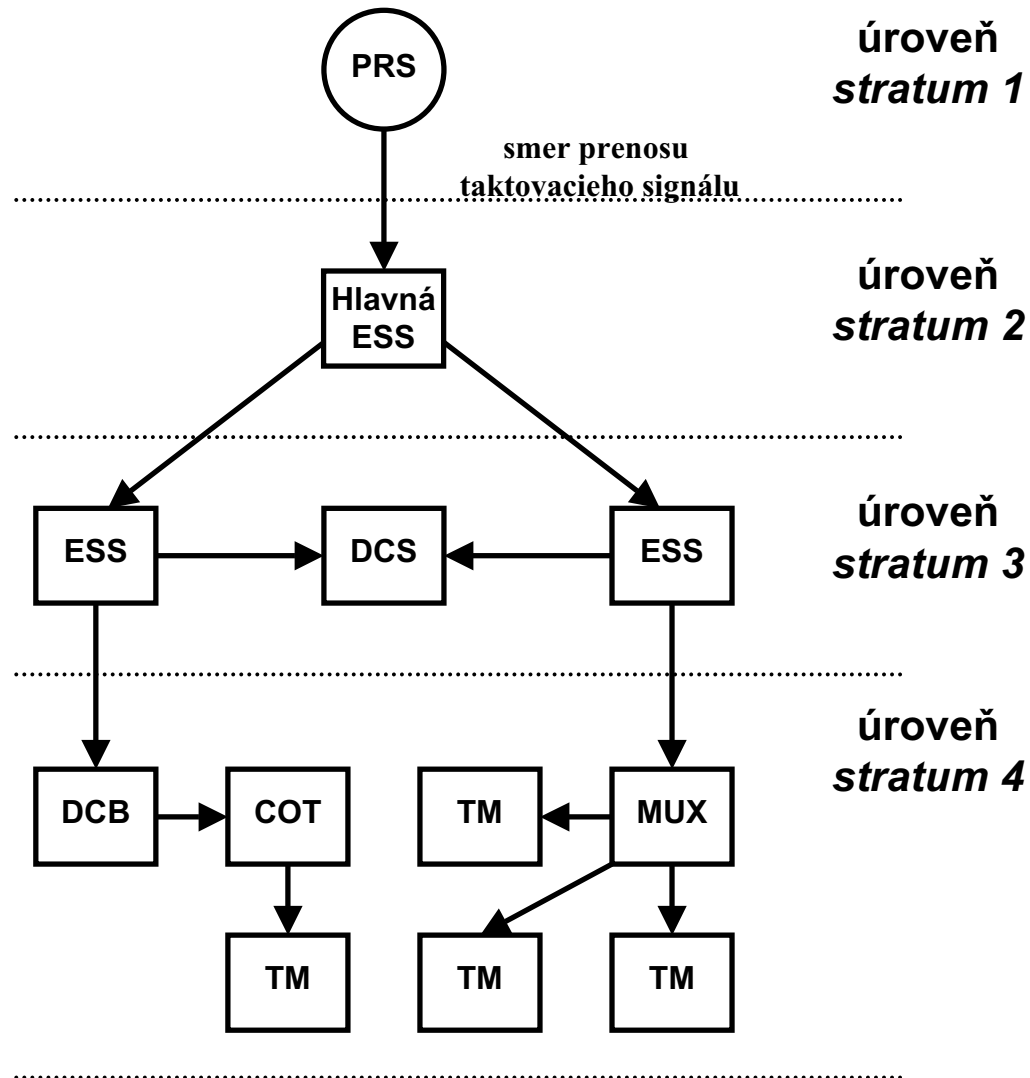
- Ochrana v polygonálnej topológii – porucha uzla



Časovanie v digitálnych sieťach

- Typy časovania v digitálnych sieťach
 - a) *asynchrónne siete*** - každé zariadenie pracuje so svojim vlastným taktovacím signálom,
 - b) *synchrónne siete*** - spoločné časovanie zariadení je pevne riadené,
 - 1. *pleziokrónna sieť*** - každá jej časť synchronizovaná pomocou vysokopresného taktovacieho signálu z vlastného primárneho referenčného zdroja,
 - 2. *plne synchrónna sieť*** - používa iba jeden hlavný referenčný zdroj taktovacieho signálu.

Synchrónna časovacia hierarchia SDH



Synchrónna časovacia hierarchia SDH

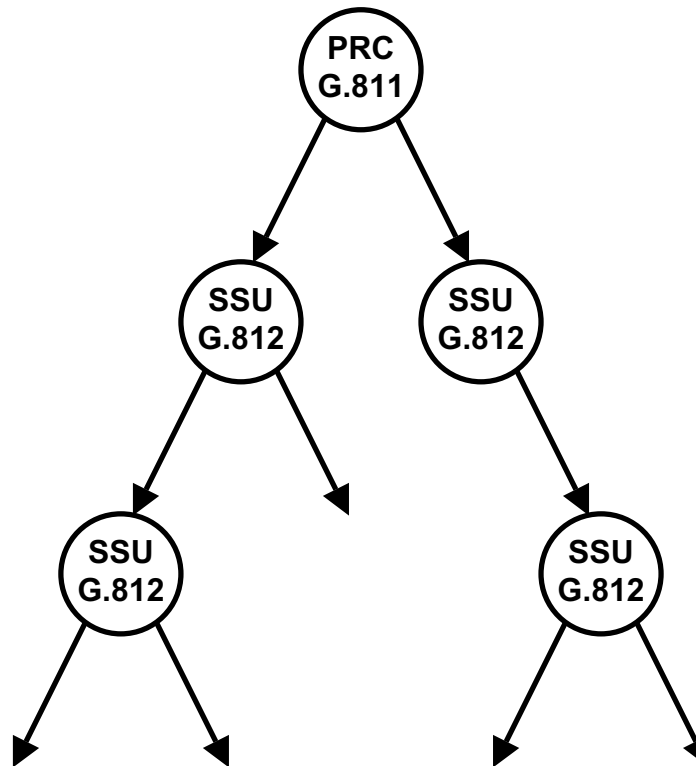
Úroveň STRATUM	Minimálna presnosť	Sieťové zariadenie	Výskyt preskokov
1	$\pm 1,0 \times 10^{-11*}$	PRS	2,523/rok
2	$\pm 1,6 \times 10^{-8}$	Hlavný ESS	11,06/deň
3	$\pm 4,6 \times 10^{-6}$	ESS, DCS	132,48/hod
4	$\pm 3,2 \times 10^{-5}$	MUX, PBX, DCB, COT	15,36/min

Synchronizácia sieťových elementov

- Zdroje taktovacieho signálu
 - a) primárne referenčné hodiny PRC (ITU-T G.811)** - najvyššia možná presnosť taktovacieho signálu dosiahnutá s vysokopresnými atómovými hodinami, napr. GPS, „master“
 - b) synchronizačná napájacia jednotka SSU (G.812)** - schopná zabezpečiť veľmi kvalitnú synchronizáciu sieťových zariadení aspoň na dobu 24 hodín, „slave“
 - c) synchrónne taktovacie zariadenie SEC (G.813)** - schopné udržať vzájomnú synchronizáciu sieťových zariadení na dobu asi len 15 sekúnd.

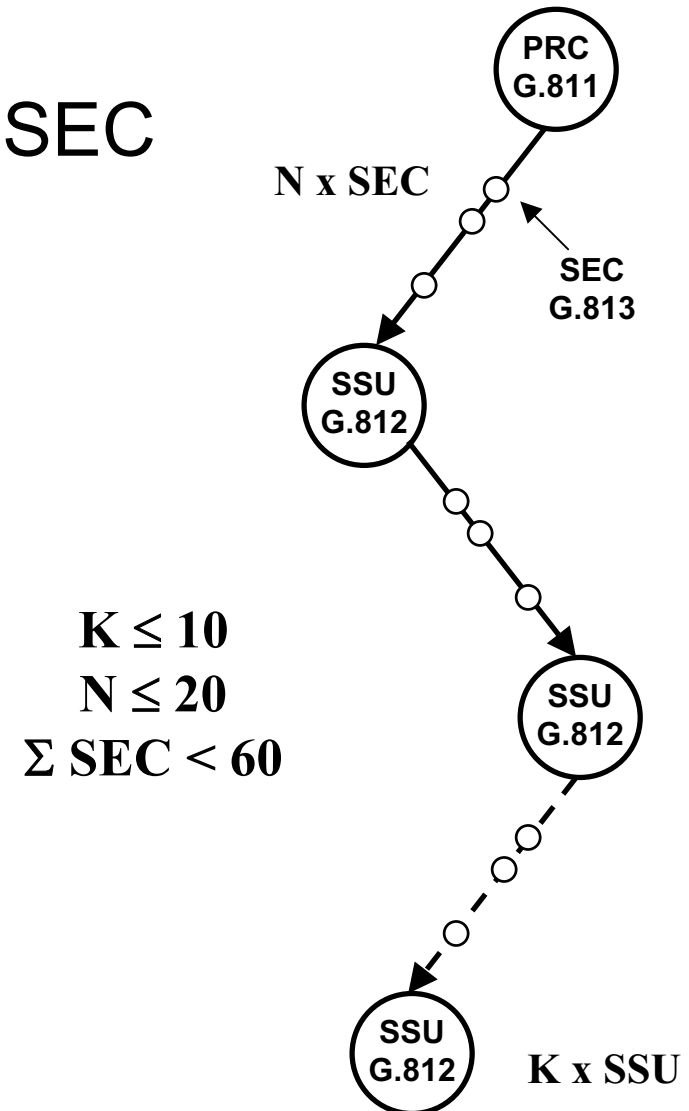
Synchronizácia sieťových elementov

- Synchronizácia master-slave



Synchronizácia sieťových elementov

- Sieťové časovanie SSU a SEC



Synchronizácia sieťových elementov

- Regenerácia taktovacieho signálu v SSU a SEC
obvody fázového závesu PLL - uskutočňuje sa korekcia taktovacieho signálu podľa teploty oscilátora a korekčných hodnôt,
- Metódy distribúcie taktovacieho signálu
 - a) externý štandardný primárny referenčný zdroj,
 - b) časovanie zo signálu STM-1,
 - c) časovanie z prítokového signálu 2,048 Mbit/s prenášaného v sieti SDH,
 - d) obnovenie taktovacieho signálu pomocou vnútorných hodín sieťového prvku SEC.

Jitter a wander

- ***Jitter*** - krátkodobá odchýlka fázy číslicového signálu od jeho optimálnej pozície v čase, ktorá zahŕňa všetky odchýlky s frekvenciou nad 10 Hz od centrálnej frekvencie.
- zdroje jittera :
 - a) biely šum, presluchy signálov, komponenty,*
 - b) medzisympolová interferencia, regenerácia impulzov,*
 - c) vkladanie a vyberanie bitov (stuffing).*
- tri základné typy jittera:
 - a) nesystematický,*
 - b) systematický,*
 - c) stuffingový.*

Jitter a wander

- ***Wander*** - dlhodobá odchýlka fázy číslicového signálu od jeho optimálnej pozície v čase, ktorá zahŕňa všetky odchýlky s frekvenciou pod 10 Hz od centrálnej frekvencie.
- zdroje wandera :
 - a) *pri hranici medzi dvomi sieťami, ktoré majú samostatné zdroje taktovacieho signálu PRC,*
 - b) *medzi master a slave hodinami ako zdrojmi taktovacieho signálu v rámci jednej siete.*

Prednáška 12/12

Ing. Rastislav RÓKA, PhD.

Katedra telekomunikácií

FEI STU Bratislava

Technológie xDSL

- požiadavka na vysokorýchlostnú komunikáciu - potreba vhodnej infraštruktúry v miestnej prístupovej sieti,
- nová skupina technológií xDSL - zvýšenie priepustnosti existujúcich metalických káblových vedení rádovo na Mbit/s,
- princíp xDSL zavedený v rokoch 1989-1990,
- čím vyššia je maximálna prenosová rýchlosť signálov, tým kratšia je maximálna prístupová vzdialenosť pri určitej, vopred stanovenej bitovej chybovosti.

Fyzikálne prostredie xDSL 1/9

- Charakteristika káblov
 - zreťazenie niekoľkých častí vedenia, ktoré sú prepojené v spojkách,
 - páry vodičov vo vnútri káblového zväzku majú rozdielne dĺžky skrutu, čím sú zároveň určené rozdielne stratové a presluchové charakteristiky,
 - mostíkové vetvy,
 - minimálne požiadavky DLL pre HDSL a kritériá CSA pre ADSL:
 - použité vedenie nesmie byť pupinované,
 - použité vedenie nesmie mať dodatočnú ochranu,
 - použité sekcie káblov môžu mať maximálne 2 rôzne priemery jadier vodičov.

Fyzikálne prostredie xDSL 2/9

- Nepriaznivé vplyvy na prenos signálu
 - zapríčinené buď samotnými fyzikálnymi charakteristikami metalických vedení alebo vonkajším prostredím,
 - medzi najhoršie možno zaradiť straty šírenia, lineárne skreslenia, presluchy, pôsobenie mostíkových vetiev a impulzový šum,
 - k menej škodlivým patria napr. zmeny priemeru jadier vodičov, impedančné nezhody medzi nadväzujúcimi vodičmi, zmeny teplôt v okolitom prostredí a niektoré druhy šumov,
 - pre dostatočne vysoké frekvenčné oblasti existuje potenciálny interferenčný problém RFI.

Fyzikálne prostredie xDSL 3/9

- Lineárne nepriaznivé vplyvy
 - straty šírenia

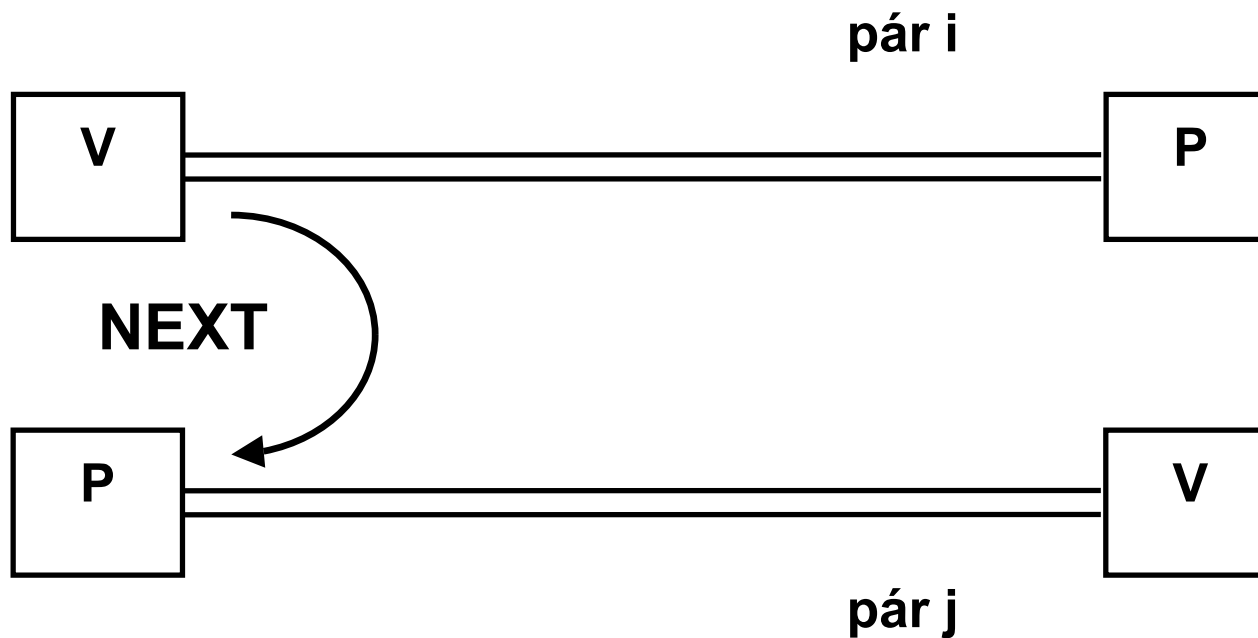
$$L_{dB}(l, f) = -20 \cdot \log_{10} \left| \mathcal{H}_{line}(l, f) \right| = \alpha_{ved} = 8,686 \cdot \alpha \cdot l$$

- amplitúdové a fázové skreslenie – vznik ISI
- spektrálna disperzia – adaptívne vyrovnávanie LF a HF zložiek
- fázové a skupinové oneskorenie - najvyššie hodnoty pre hlasovú službu, pri vyšších frekvenciách sú ich hodnoty približne konštantné a rovnaké ($\tau_e \approx \tau_\phi = 5.22 \mu\text{s}/\text{km}$).

Fyzikálne prostredie xDSL 4/9

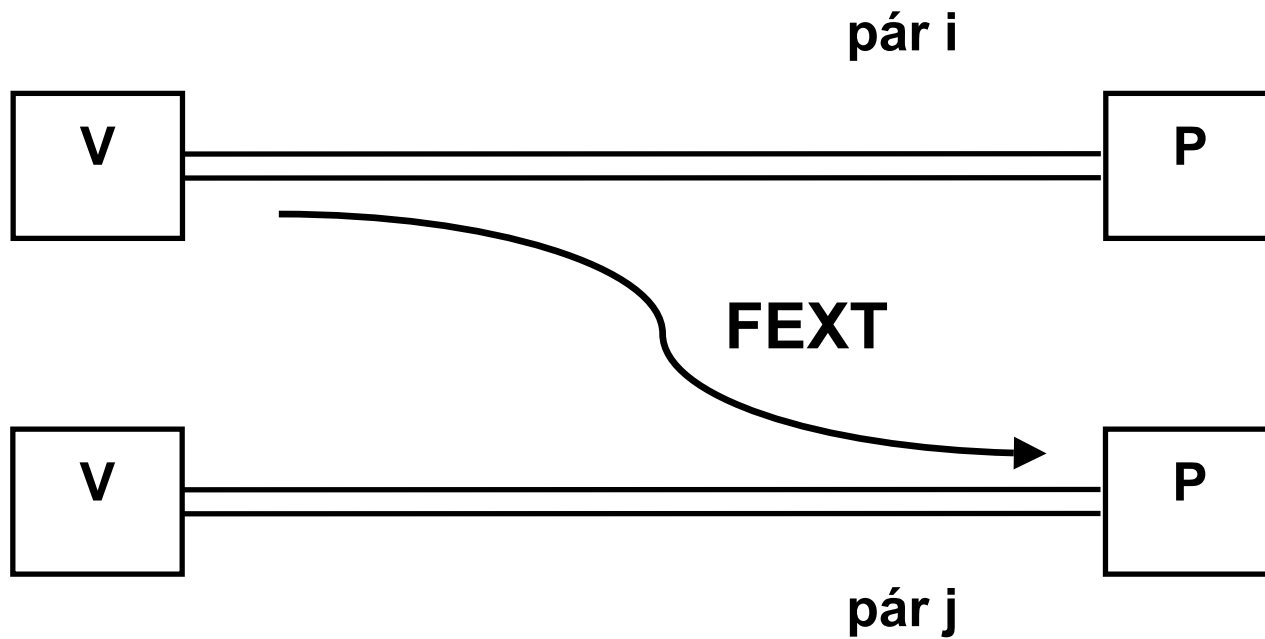
- Presluchy
 - príčinou vzniku sú kapacitné nerovnováhy medzi susednými vodičmi a porušenie izolácie,
 - **presluch blízkeho konca NEXT** - definovaný ako presluchový efekt medzi vysielačiami a prijímačiami párami pri rovnakom konci káblového úseku,
 - **presluch vzdialeného konca FEXT** - definovaný ako presluchový efekt medzi vysielačiami a prijímačiami párami na opačnom konci káblového zväzku,
 - presluch NEXT sa na rozdiel od presluchu FEXT nešíri cez celú dĺžku účastníckeho vedenia a teda netrpí stratami šírenia signálu.

Fyzikálne prostredie xDSL 5/9



$$|\mathcal{H}_{NEXT}(f)|^2 = K_{NEXT} \cdot f^{3/2}$$

Fyzikálne prostredie xDSL 6/9



$$\left| \mathcal{H}_{FEXT}(f) \right|^2 = K_{FEXT} \cdot l \cdot f^2 \cdot \left| \mathcal{H}_{line}(f) \right|^2$$

Fyzikálne prostredie xDSL 7/9

- Druhy presluchov NEXT a FEXT
 - ak sú prenášané signály rovnakých služieb xDSL - samopresluch NEXT a FEXT (self-NEXT, self-FEXT),
 - ak sú prenášané signály rozdielnych služieb xDSL - inopresluch NEXT a FEXT (foreign-NEXT, foreign-FEXT),
 - väzba medzi metalickým káblom a inými zdrojmi EM žiarenia - cudzopresluch NEXT a FEXT (alien-NEXT, alien-FEXT) resp. vo všeobecnosti ako RFI.

Fyzikálne prostredie xDSL 8/9

- Šumy

- najnepriaznivejšie účinky má impulzový šum - 1-5/min, 5-20 mV, 30-150 μ s, pričom väčšina jeho energie je sústredená vo frekvenčnej oblasti pod 40 kHz.

- tepelný šum,

- indukčný šum,

- elektronický šum,

- šum pozadia (biely).

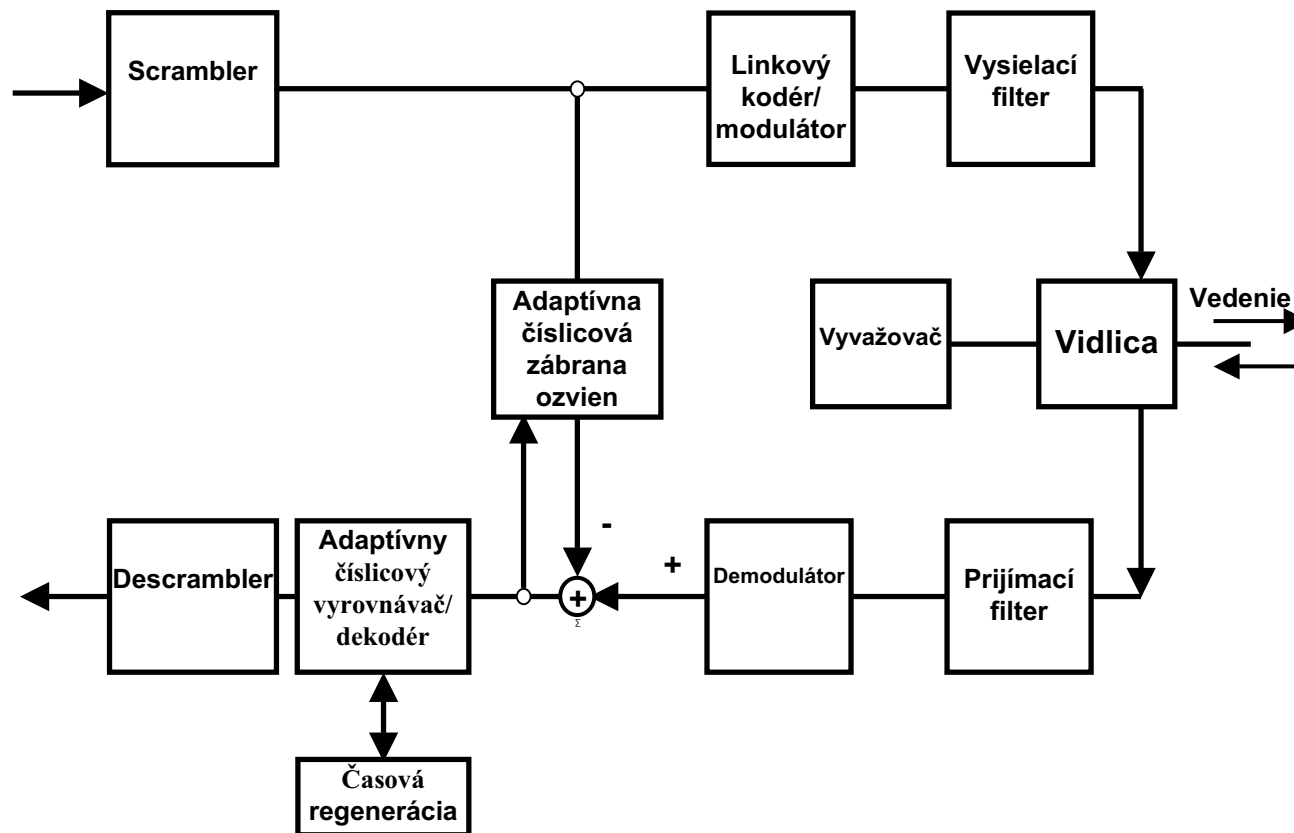
Úroveň tepelného, elektronického a bieleho šumu je približne -140 dBm/Hz, o niečo vyššia je úroveň šumu zbytkovej ozveny -110 dBm/Hz.

Fyzikálne prostredie xDSL 9/9

- Mikroprerušená
 - dočasné prerušenie účastníckeho vedenia spôsobené vonkajšou mechanickou činnosťou na metalických vodičoch tvoriacich prenosovú cestu (možné zlyhanie číslicovej prenosovej linky spolu so zlyhaním výkonového napájania),
 - počas mikroprerušená so špecifikovanými časovými hodnotami (časové trvanie $t = 10 \text{ ms}$, perióda $T = 5 \text{ s}$) prenosový systém nemusí znovu použiť štartovaciu procedúru, resp. automaticky sa reaktivuje s kompletnou štartovacou procedúrou.

Princípy spracovania signálov 1/14

- Adaptívne číslicové spracovanie signálov

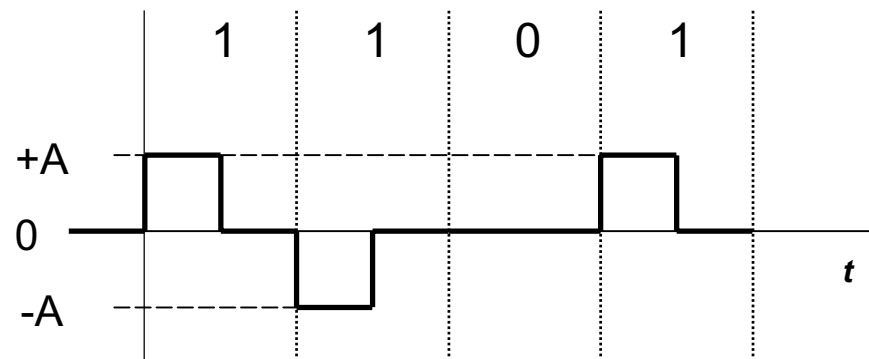


Princípy spracovania signálov 2/14

- Adaptívne číslicové spracovanie signálov
 - **adaptívny číslicový vyrovnávač** - má vo všeobecnosti za úlohu upravovať koeficienty číslicových filtrov pomocou algoritmu LMS, minimalizovať chybový signál a optimalizovať konvergenciu prenosovej rýchlosti a zvyškovej chyby,
 - **adaptívna číslicová zábrana ozvien** - má za hlavnú úlohu zabráňovať šíreniu presluchovej a vzniku ozvien. Činnosť zábrany ozvien EC možno vo všeobecnosti popísať tak, že zábrana ozvien vytvára repliku ozveny vysielaného signálu, ktorá je odčítaná z celkového prijímaného signálu.

Princípy spracovania signálov 3/14

- Linkové kódy
 - **linkový kód AMI** - striedanie polarity impulzov vyskytujúcich sa v signálovom priebehu,

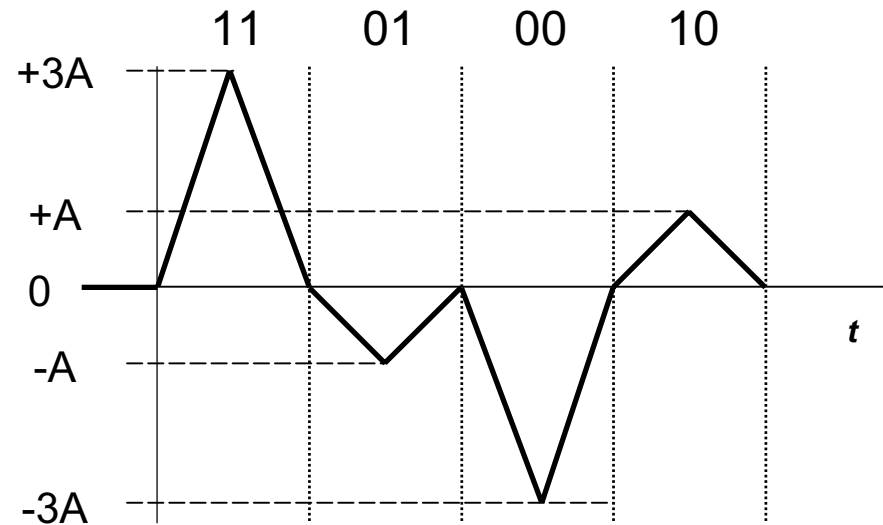


- **linkový kód HDB3** - obmedzuje maximálny počet intervalov v signále, ktoré môžu ísť za sebou bez prechodu medzi úrovňami. Typ náhrady sa volí tak, aby počet impulzov typu B medzi impulzmi typu V bol nepárny.

Princípy spracovania signálov 4/14

- Linkové kódy
 - *linkový kód 2B1Q*

Vstup	Výstup
11	+3A
10	+A
01	-A
00	-3A



Princípy spracovania signálov 5/14

- Linkové kódy
 - **linkový kód MMS43 (4B3T)** - existujú 3 módy priradenia, ktoré sa striedajú z dôvodu udržania rovnováhy medzi počtom kladných a záporných impulzov. Striedanie módov sa vykonáva na základe parametra RDS, ktorý predstavuje súčet disparít, kde disparita D je rozdiel medzi počtom jednotiek a núl v kódovom slove.

Princípy spracovania signálov 6/14

- Stručné charakteristiky linkových kódov
 1. Synchronizácia je podporovaná BPRZ-AMI a 4B3T.
 2. Detekcia chýb je možná pri BPRZ-AMI.
 3. Kolísaniu js. zložky signálu je zabránené pri 4B3T.
 4. Najmenšia energia šumu na vznik chyby je pri 2B1Q.
 5. Frekvenčné spektrum
 - pri kóde BPRZ-AMI je šírka pásma signálu určená prenosovou rýchlosťou dvojstavových symbolov,
 - pri kóde 2B1Q je potrebná šírka pásma signálu rovná len $1/2$ pôvodnej prenosovej rýchlosti vstupnej bitovej postupnosti,
 - pri kóde 4B3T je šírka pásma signálu rovná len $3/4$ pôvodnej prenosovej rýchlosti vstupných binárnych dát.

Princípy spracovania signálov 7/14

- Modulačné techniky
 - naplnenie troch hlavných kritérií - efektívne využitie prípustnej šírky pásma, optimálna kombinácia prenosovej rýchlosti a vzdialenosti, odolnosť voči šumom a negatívnym vplyvom vonkajšieho prostredia,
 - existujú dve triedy modulácií pre technológie xDSL – jednonositel'ské a mnohonositel'ské, obe môžu meniť dátovú rýchlosť signálov v závislosti na podmienkach vedenia.

Princípy spracovania signálov 8/14

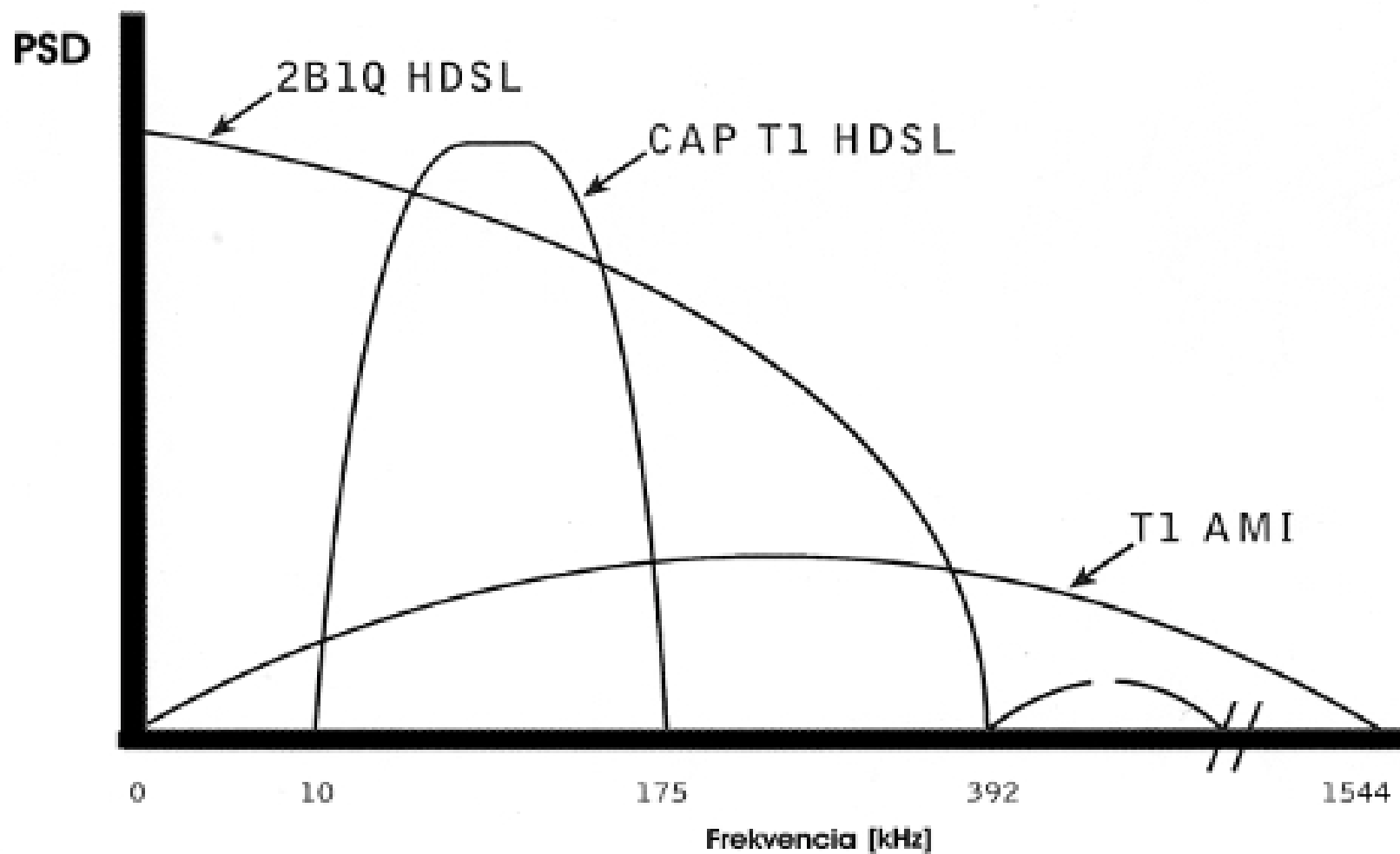
- Modulačné techniky
 - **modulácia QAM** - v porovnaní s linkovými kódmi zníženie nárokov na šírku frekvenčného pásma signálov, čo sa dá využiť v dvoch základných smeroch :
 - zvýšenie rýchlosti prenosu údajov pri zachovaní toho istého frekvenčného pásma,
 - zmenšenie šírky frekvenčného pásma pri zachovaní tej istej prenosovej rýchlosti.

Princípy spracovania signálov 9/14

- Modulačné techniky
 - **modulácia CAP** – variant QAM, kde je nosný signál pred prenosom potlačený, pretože neobsahuje žiadnu užitočnú informáciu, a je znovu zložený v prijímacom modeme.

Modemy využívajúce moduláciu CAP testujú kvalitu prístupového vedenia počas štartovacej procedúry a implementujú najefektívnejšiu verziu modulácie QAM.

Princípy spracovania signálov 10/14

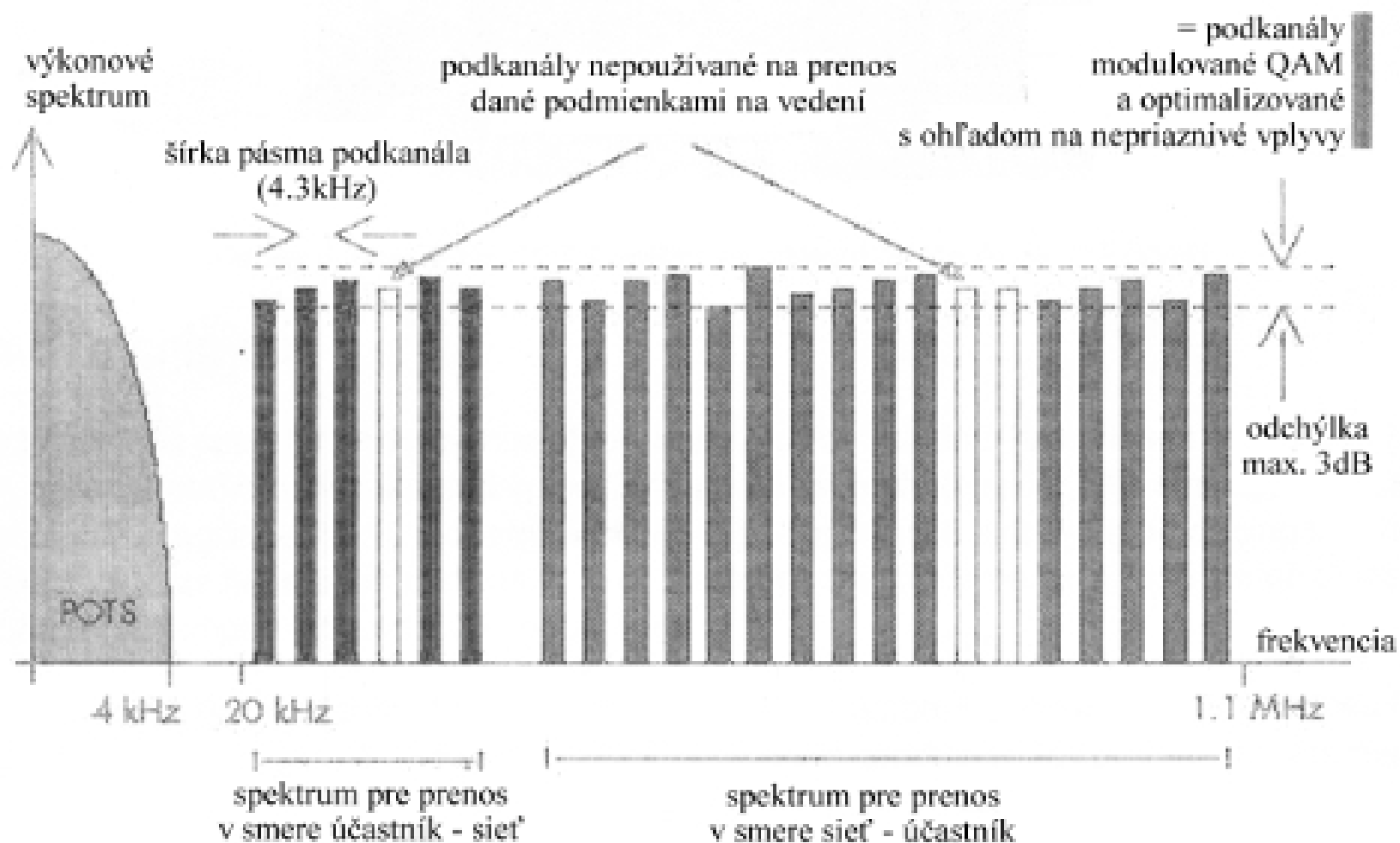


Princípy spracovania signálov 11/14

- Modulačné techniky
 - **modulácia DMT** – variant QAM, ktorý diskkrétne rozdeľuje prístupné frekvenčné pásmo do N podkanálov a podľa aktuálnych prenosových charakteristík každého podkanála sú prichádzajúce bitové postupnosti pridelené do jednotlivých podkanálov použitím „akoby modulácie QAM“.

Modulačné a demodulačné spracovanie je implementované pomocou algoritmov rýchlej Fourierovej transformácie (IFFT a FFT).

Princípy spracovania signálov 12/14



Princípy spracovania signálov 13/14

- Stručné charakteristiky modulačných techník
 1. Systémy v základnom pásme (linkové kódy) s frekvenciami pod 20 kHz majú značné amplitúdové a fázové skreslenie .
 2. Systémy v preloženom pásme (modulačné techniky) majú väčšie straty signálu a nižšie straty presluchov.
 3. Vysokofrekvenčné signály na metalických vedeniach trpia oveľa menšími stratami v prítomnosti šumu.

Princípy spracovania signálov 14/14

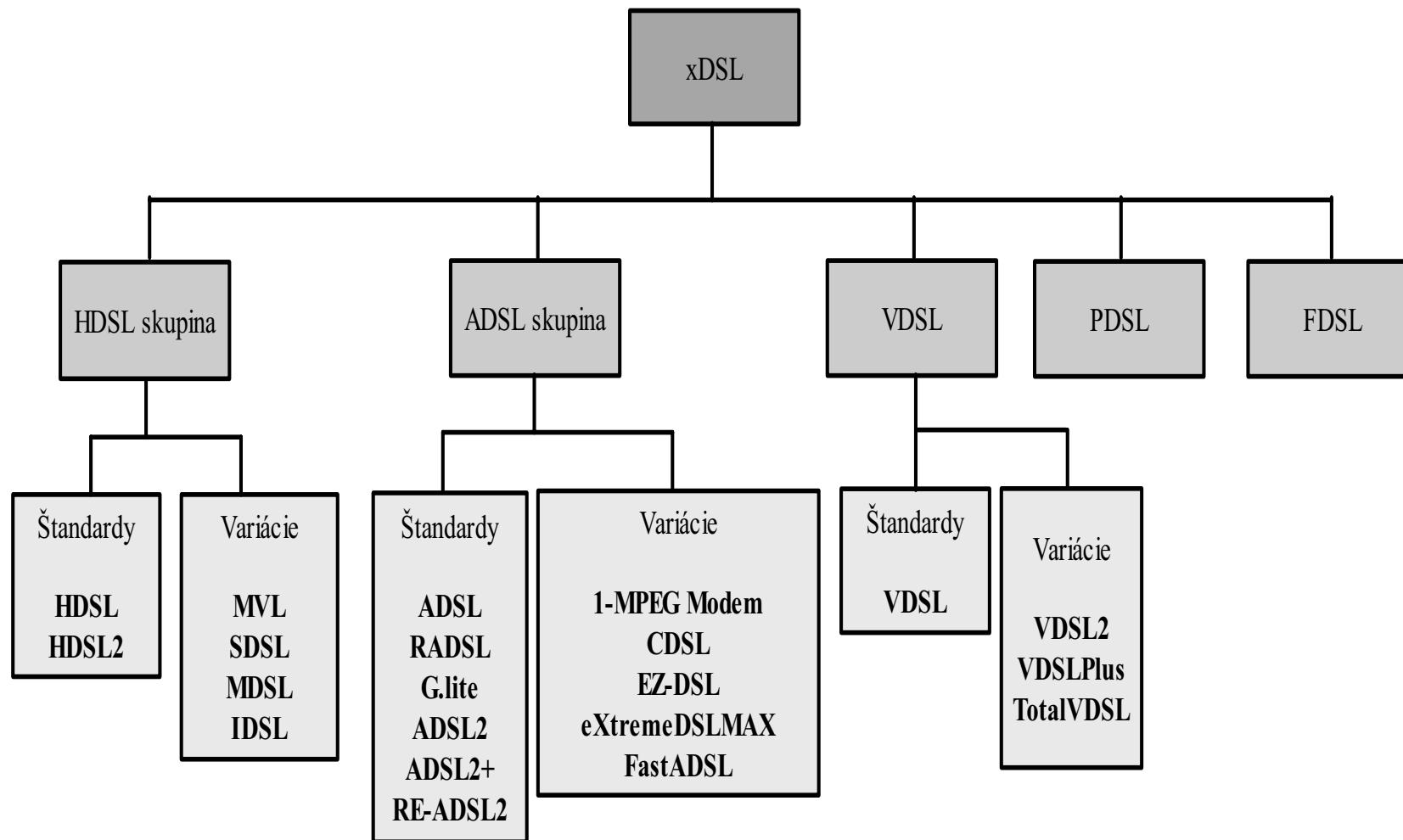
- Kódovacie techniky
 - **kódovacia technika FEC** – výrazne znižuje počet chýb spôsobených impulzovým šumom a tým aj ich negatívny vplyv. Na medzisymbolovej báze tiež znižuje počet chýb spôsobených kontinuálnym šumom vnoreným do vedenia.

Technika FEC používa formu kódovania RS (n, k) a umožňuje prekladanie dátových symbolov (vytvorených zo s bitov) pre opravu zhlukov chýb.

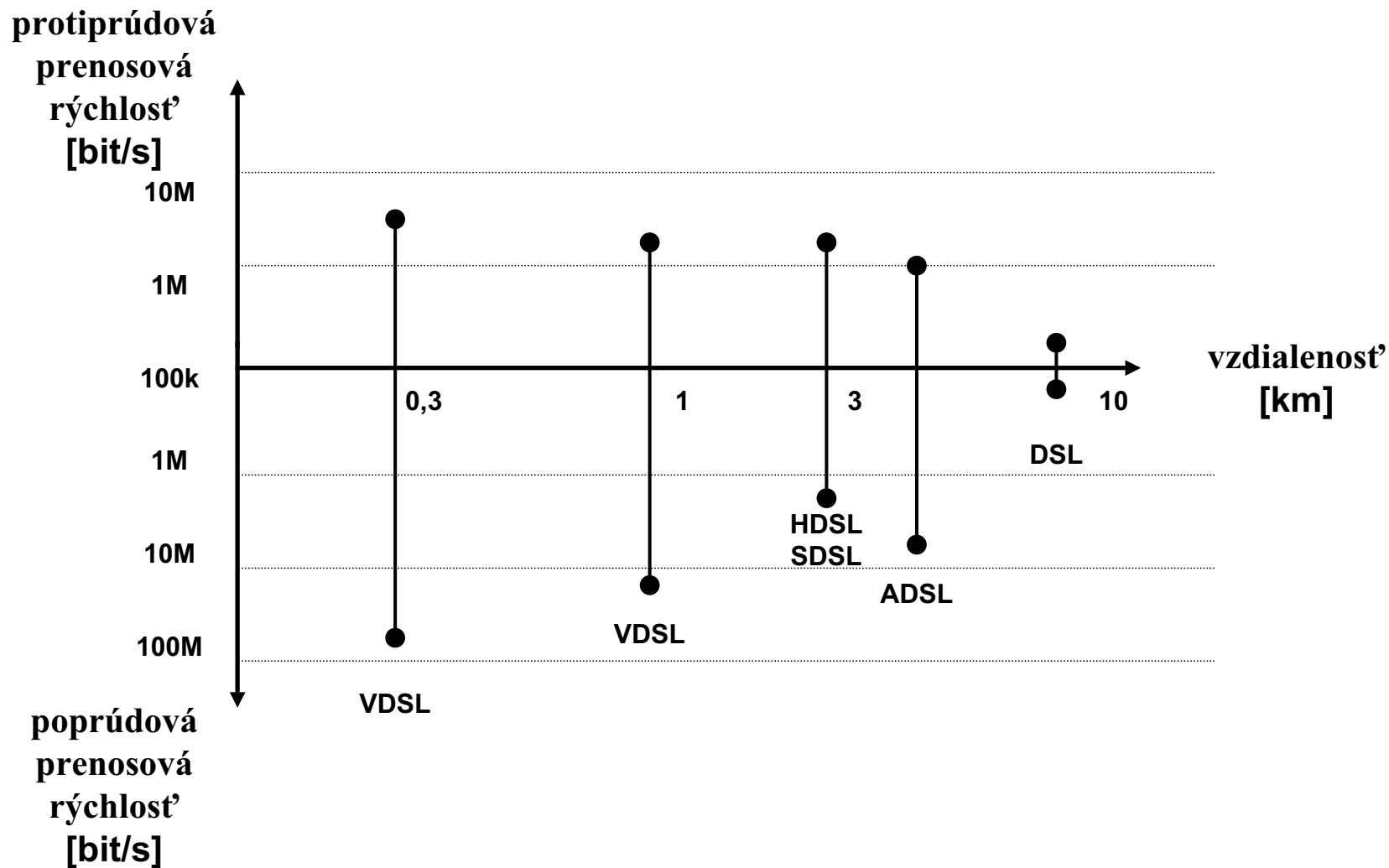
Typy technológií xDSL 1/20

- Triedy xDSL môžu byť charakterizované 5 kľúčovými parametrami:
 - protiprúdová dátová rýchlosť (upstream data rate),
 - poprúdová dátová rýchlosť (downstream data rate),
 - maximálna prístupová vzdialenosť alebo prístupový rozsah,
 - schopnosť pracovať v kombinácii s klasickou hlasovou telefónnou službou,
 - počet požadovaných párov symetrického vedenia (jeden alebo dva).

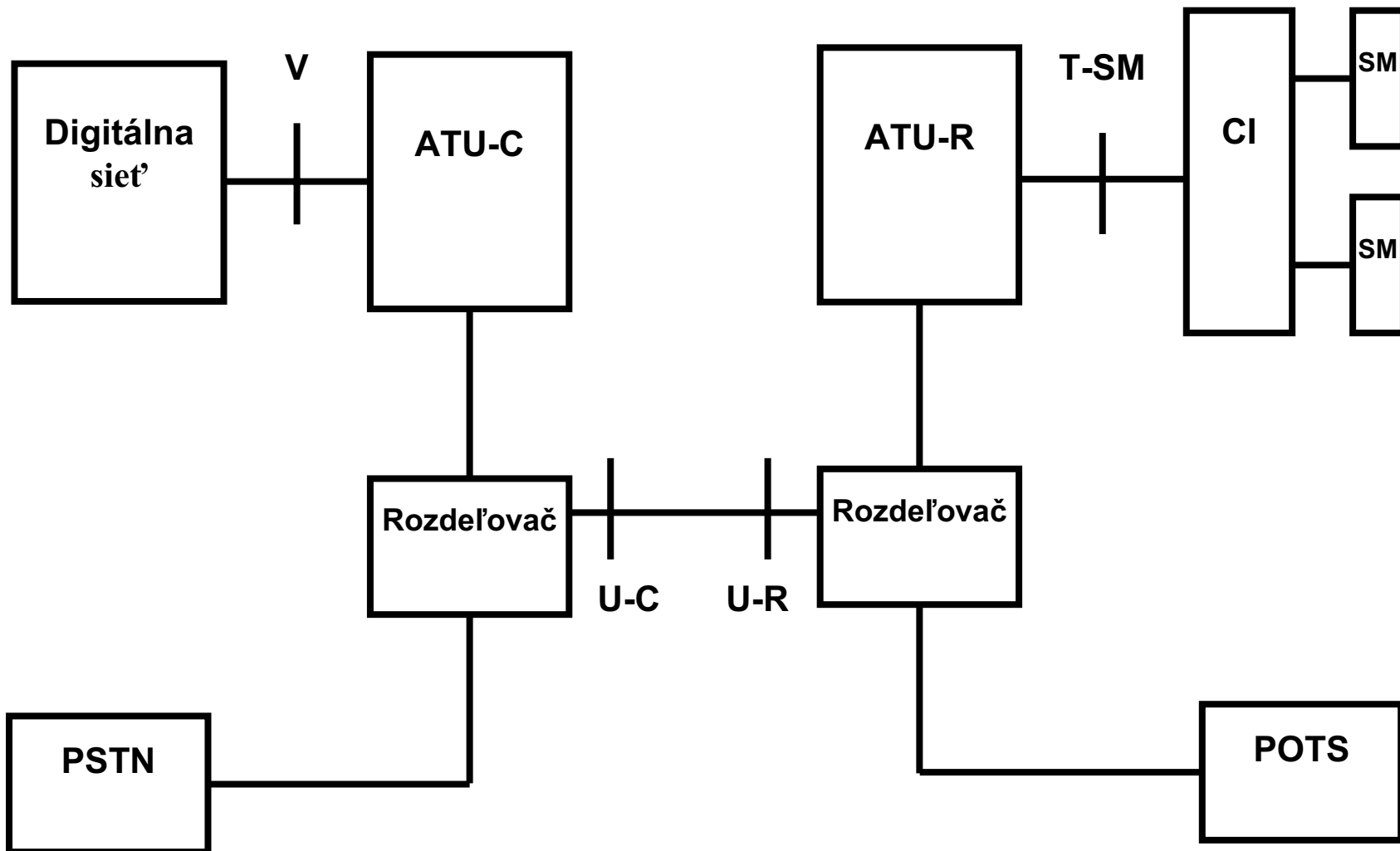
Typy technológií xDSL 2/20



Typy technológií xDSL 3/20



Typy technológií xDSL 4/20



Typy technológií xDSL 5/20

- **DSL – Digital Subscriber Line**

- Štandardová implementácia: ANSI T1.601, ITU G.961
- Prenosové prostredie: 1 metalický pár
- Spôsob prenosu informácie: plneduplexný symetrický
- Prenosová rýchlosť: celková 160 kbit/s
- Linkový kód:
 - AMI - frekvenčné spektrum 0-160 kHz, veľké tlmenie signálu, výrazné skrátenie prístupovej vzdialenosti,
 - 2B1Q - frekvenčné spektrum 0-80 kHz, menšie tlmenie signálu, dosiahnutie prístupovej vzdialenosti,
 - MMS43 - frekvenčné spektrum 0-120 kHz.
- Iné techniky: zábrana ozvien

Typy technológií xDSL 6/20

- **IDSL – ISDN DSL**
 - predstavuje prispôsobenie pôvodnej služby DSL skutočným princípom technológií xDSL, t.j. možnosti súčasného prenosu signálov služieb POTS a xDSL

Typy technológií xDSL 7/20

- **HDSL – High-bit-rate DSL**

- ANSI T1.TR.28, ETSI ETR 152, ITU G.991.1
- Prenosové prostredie: 2 alebo 3 metalické páry
- Spôsob prenosu informácie: plneduplexný symetrický
- Prenosová rýchlosť: užitočná 2,048 Mbit/s
celková 2,3 Mbit/s
- Linkový kód: 2B1Q
- Modulácia: CAP
- Iné techniky: zábrana ozvien

- **HDSL2**

Typy technológií xDSL 8/20

- **SDSL – Single-pair DSL**
 - ETSI TS 101 524
 - Prenosové prostredie: len 1 metalický pár
 - Spôsob prenosu informácie: plneduplexný symetrický
 - Prenosová rýchlosť: celková 2,048 Mbit/s
 - zníženie počtu potrebných párov káblov,
 - zvýšenie množstva potenciálnych zákazníkov na tom istom kábli,
 - potreba polovice počtu komponentov v modemoch, t.j. zjednodušenie inštalácie, manažmentu a údržby prenosových zariadení.

Typy technológií xDSL 9/20

- **MDSL – Multi-rate DSL**
 - bez oficiálneho štandardu
 - Prenosové prostredie: 1 metalický pár
 - Spôsob prenosu informácie: symetrický
 - Prenosová rýchlosť: maximálna 2,048 Mbit/s
rôzne N x M x 64 kbit/s
 - Modulácia: CAP

Typy technológií xDSL 10/20

- **ADSL – Asymmetric DSL**

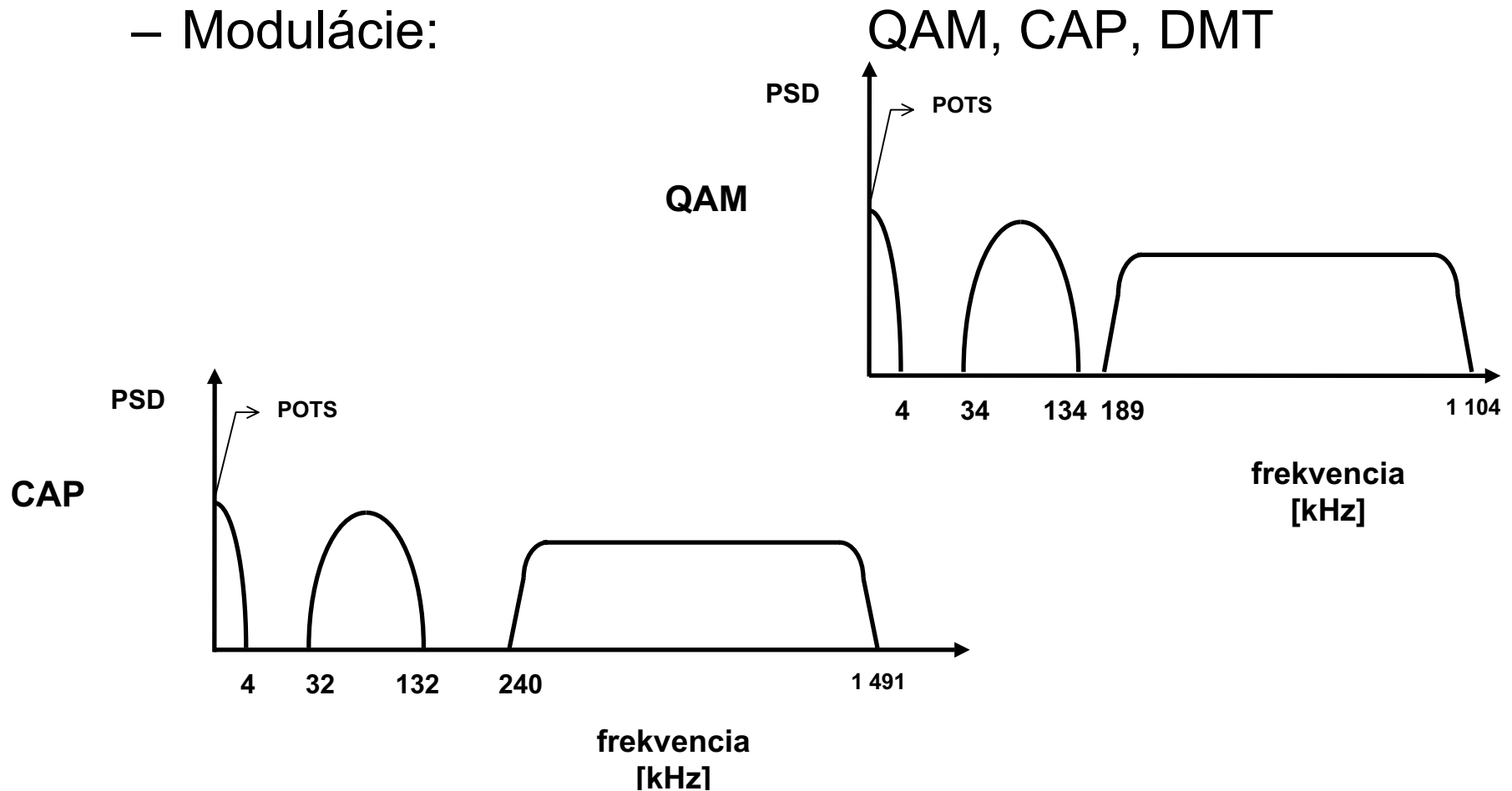
- ANSI T1.413, ETSI ETR 328, ITU G.992.1
- Prenosové prostredie: 1 metalický pár
- Spôsob prenosu informácie: asymetrický
- Prenosová rýchlosť:

Jednosmerné prenosové kanály od ústredne k účastníkovi		Duplexné prenosové kanály	
N x 1,536 Mbit/s	1,536 Mbit/s	kanál C	16 kbit/s
	3,072 Mbit/s		64 kbit/s
	4,608 Mbit/s	voliteľný kanál	160 kbit/s
	6,144 Mbit/s		384 kbit/s
N x 2,048 Mbit/s	2,048 Mbit/s		544 kbit/s
	4,096 Mbit/s		576 kbit/s
	6 144 Mbit/s		

Typy technológií xDSL 11/20

- **ADSL – Asymmetric DSL**

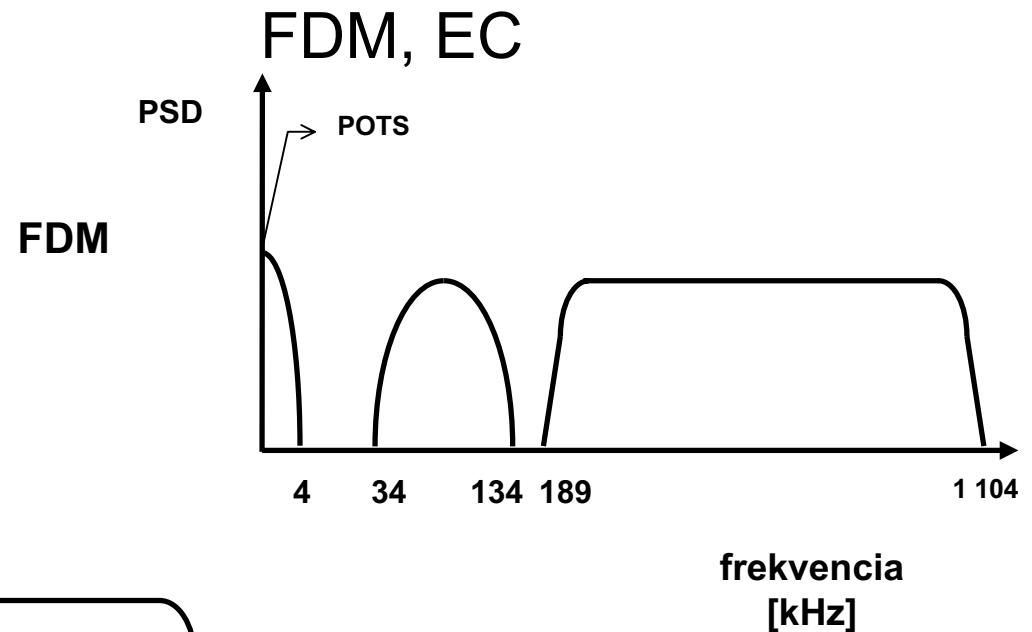
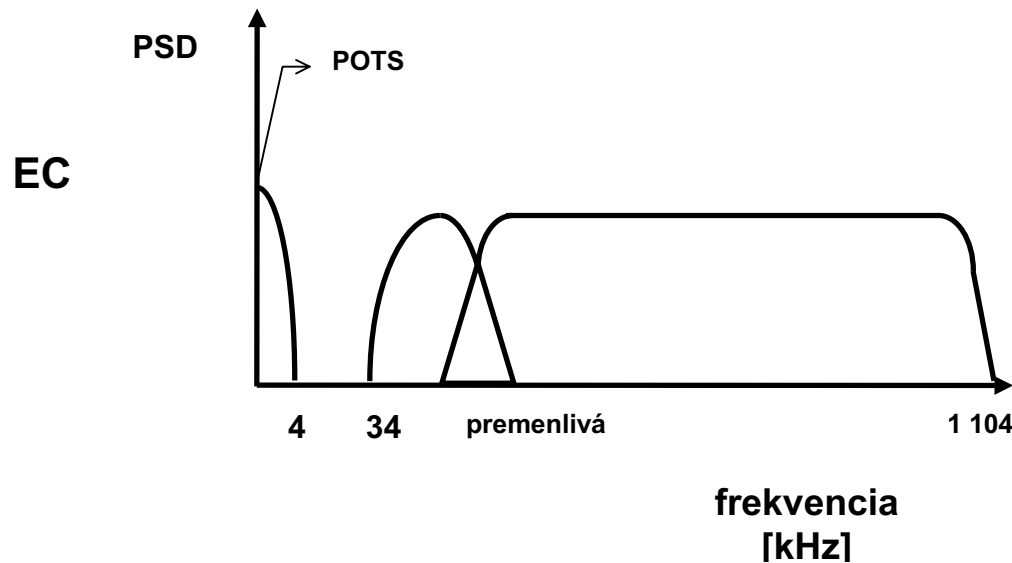
- Modulácie:



Typy technológií xDSL 12/20

- **ADSL – Asymmetric DSL**

- Iné techniky:



Typy technológií xDSL 13/20

- **RADSL – Rate Adaptive DSL**

- ANSI T1.TR.59

- Prenosové prostredie: 1 metalický pár

- Spôsob prenosu informácie: symetrický, asymetrický

- Prenosová rýchlosť: adaptívna

- poprúdové kanály 1 – 8 Mbit/s

- protiprúdové kanály 0,128 – 1 Mbit/s

- Modulácia: kombinácia QAM a CAP
DMT

Typy technológií xDSL 14/20

- **G.Lite**
 - nepredpokladá sa použitie rozdeľovačov, výrazné zníženie prenosovej rýchlosti na úroveň 1,5 Mbit/s v smere k a 384 kbit/s od účastníka
- **ADSL2 / ADSL2+**
 - posun hornej hranice prenosovej rýchlosti - ADSL2 na 12 Mbit/s a ADSL2+ až 24 Mbit/s, rozšírenie prenosového pásma na 2,2 MHz, skrátenie maximálneho dosahu na 1,5 až 2 km, CVoDSL
- **Reach-extended ADSL2**
 - úpravy PSD vysielaného signálu pre zvýšenie dosahu na 5,5 km pri dodržaní prenosových rýchlostí ADSL2

Typy technológií xDSL 15/20

- **VDSL – Very high-bit-rate DSL**

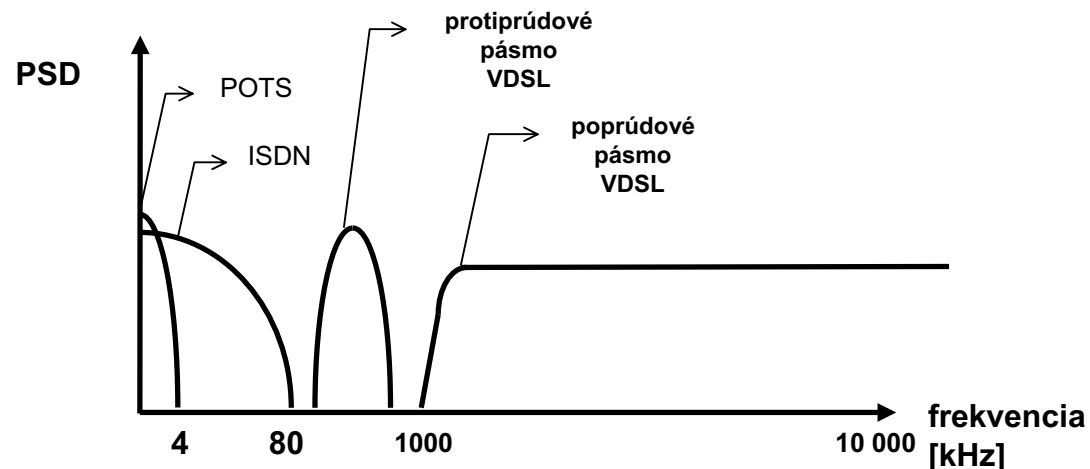
- ANSI T1.424, ETSI TS 101 270, ITU G.993.1

- Prenosové prostredie: 1 metalický pár

- Spôsob prenosu informácie: asymetrický

- Modulácia: DWMT, SDMT, ZDMT

- Iné techniky: zábrana ozvien



Typy technológií xDSL 16/20

- **VDSL – Very high-bit-rate DSL**

– Prenosová rýchlosť: podľa ETSI

Trieda (kód) operácie	Poprúďový smer prenosu [kbit/s]	Protiprúďový smer prenosu [kbit/s]
Trieda I (A4)	23 168	4 096
Trieda I (A3)	14 464	3 072
Trieda I (A2)	8 576	2 048
Trieda I (A1)	6 400	2 048
Trieda II (S5)	28 288	28 288
Trieda II (S4)	23 168	23 168
Trieda II (S3)	14 464	14 464
Trieda II (S2)	8 576	8 576
Trieda II (S1)	6 400	6 400

Typy technológií xDSL 17/20

- **VDSL – Very high-bit-rate DSL**

– Prenosová rýchlosť: podľa ANSI

Typ služby	Poprúďový smer prenosu [Mbit/s]	Protiprúďový smer prenosu [Mbit/s]	Dosah [m]
Asymetrická Krátka	52	6,4	300
Asymetrická Stredná	26	3,2	1000
Asymetrická Dlhá	13	1,6	1500
Symetrická Krátka	34	34	300
Symetrická Stredná	13	13	1000
Symetrická Dlhá	6,5	6,5	1500

Typy technológií xDSL 18/20

- **PDSL – Power DSL**

- nesporne veľký potenciál, nakoľko rozvody elektrickej energie predstavujú celosvetovo najhustejšiu a najrozšírenejšiu sieť,
- podmienky, za ktorých by sa dal realizovať prenos dátových signálov po takejto sieti, sú viac než nevhodné,
- uvažuje sa využiť postupy a techniky z bezdrôtových komunikácií.

- **FDSL – Fiber DSL**

Typy technológií xDSL 19/20

- Voľba správnej technológie xDSL môže byť určená hlavnými kritériami:
 - typ služby v transportnej sieti,
 - typ služby v prístupovej sieti (symetrická, asymetrická, obe),
 - prístupová vzdialenosť služby,
 - implementácia 2D alebo 4D,
 - samostatná služba založená na xDSL alebo súbežné služby POTS + xDSL.

Typy technológií xDSL 20/20

