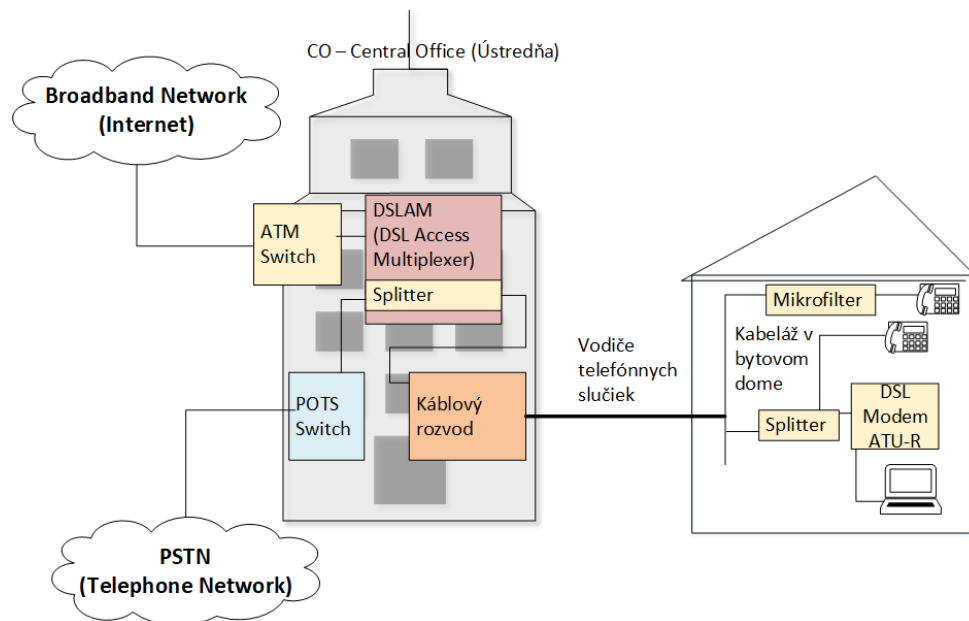


# Prednáška 9

Technológie xDSL

## Technológia ADSL

Architektúra ADSL prípojky je znázornená na Obr. 0.



Obr. 0 Architektúra prípojok ADSL

Technológia ADSL - *Asymmetric* digital subscriber line patrí k prístupovým systémom pracujúcim v preloženom pásme. Názov DSL znamená, že na prenos digitálneho signálu využíva pôvodné *krútené metalické (Cu) páry*, slúžiace v minulosti na prenos hlasu v starých telefónnych sieťach. V tomto prípade, ako už z názvu vyplýva, ide o prístup k službám s výrazne *nerovnomerne rozdelenou prenosovou kapacitou* (asymmetric – nesymetrický) – down do desiatok Mbps / up rádovo do jednotiek až desiatok kbps.

ADSL je štandardom pre bitovo synchrónne aplikácie, ktoré sú *asymetrické* (VoD, prístup na Internet, vzdialený prístup LAN, multimediálny prístup).

Vďaka frekvenčnému oddeleniu sa môže vysokorýchlostný digitálny prenos uskutočňovať na tom istom vedení *súčasne s pôvodnou analógovou telefónnou prípojkou* zabezpečujúcou službu POTS alebo s prípojkou ISDN-BRA. Základný systém ADSL má maximálnu rýchlosť v smere down 1,5 až 8 Mbps (premenlivú), a v smere up 16 kbps až 832 kbps, a to v závislosti od vzdialenosti, rušenia a nastavenia od poskytovateľa.

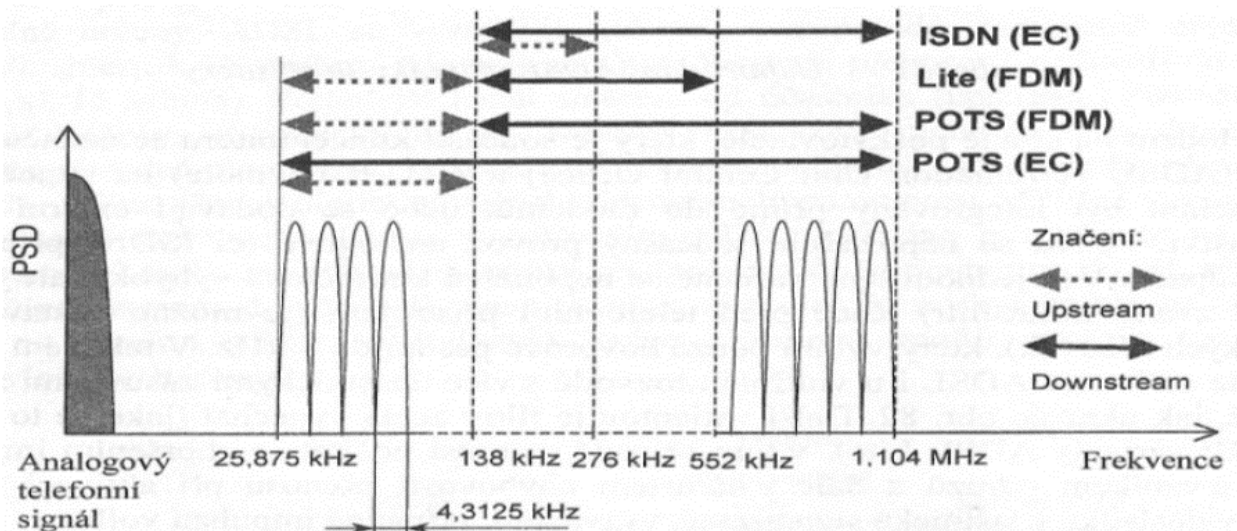
Asociácie a štandardy:

- ANSI – skupina T1E1.4 – štandard DMT/ANSI Standard T1.413 (pre rýchlosti do 6,4 Mbps)
- ETSI – európske požiadavky pridané ku T1.413

- ITU - T G.992.1, 992.2, 992.3, .4, .5 (medzi nimi sú aj posledné vydania obsahujúce opis moder-  
ných generácií ADSL)

Ďalšie špecifikácie základnej ADSL:

- ADSL bola pôvodne navrhnutá pre dátovú komunikáciu, preto nemá funkciu signalizácie pri spracovaní hovorov.
- Prenáša na Cu-vedeniach pásmo do 1,1 MHz, ktoré je rozdelené na mnoho kanálov s využitím modulácie DMT (Discrete Multitone Transmission); *každý kanál je široký približne 4 kHz* (presne 4,3125 kHz), z čoho vyplýva že v pásme ADSL sa môže prenášať max. 256 DMT-kanálov. V každom z týchto kanálov je na jeho subnosnej vlne namodulovaný QAM-signál. Na Obr. 1 je znázornené spektrum DMT-signálu rôznych variantov ADSL.
- Nižšie frekvenčné pásmo je určené pre prenos hlasu v rámci služby POTS (analogový signál) alebo ISDN (digitálny signál), pričom pre ISDN musí byť vyhradená väčšia šírka pásma (až do 80 kHz; potom menej spektra zostane pre ADSL dáta).
- Typická vzdialenosť je 5,5 km, čo tiež závisí od situácie (od priemeru vodičov, ich inštalácie, prítomnosti odbočiek a pod., a od interferencií).
- Digitálne signály ADSL sú formátované do *rámcov*, ktoré umožňujú rýchly prenos niektorých dát, napr. digitálneho hlasu (*fast bytes, fast data*) a tiež pomalší prenos časti dát, ktoré sú s chybovou korekciou, resp. ochranou (*error protected*), napr. prenos dátových súborov. Veľkosť rámcov sa môže meniť.



Obr. 1 Obsadenie spektra jednotlivými variantmi ADSL [2]

- ADSL-prípojka sa vyskytuje v niekoľkých rôznych variantoch s rôznymi parametrami podľa vlastností vedenia, ako už bolo naznačené skôr. Základné sú ADSL Full a ADSL Lite. *Zásadný rozdiel medzi plným a redukovaným variantom (full / lite) je v celkovej šírke využívaného frekvenčného pásma: Full obsadzuje pásmo do 1104 kHz; Lite len do polovice tejto šírky, čiže do 552 kHz a neprenáša ISDN, iba ak POTS. Tomu, samozrejme, zodpovedajú aj nižšie dosahované prenosové rýchlosti downstreamu. Pozn.: ADSL Lite (G.Lite) bola vyvinutá ITU; nevyžaduje filter u účastníka, iba tzv. mikrofilter a štandardný linkový telefón, max. down je 1,5 Mbps a up 640 kbps.*

Ďalšia poznámka: Vzťah medzi šírkou pásma a dátovou prenosovou rýchlosťou opisuje Shannonova-Hartleyova teoréma:

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad [bps],$$

kde

C je informačná kapacita kanála

B ... šírka pásma [Hz]

S ... výkon signálu v danom pásme [V<sup>2</sup>]

N...výkon šumu v danom pásme [V<sup>2</sup>]

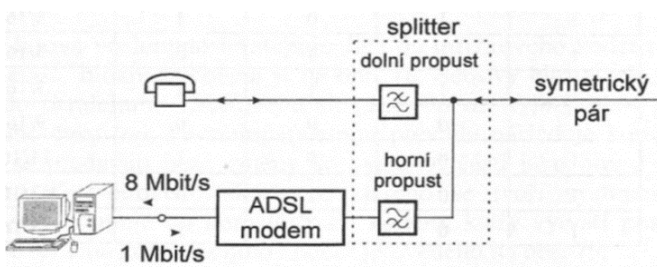
S/N ... pomer signál/šum [bezrozmerné!].

Na Obr. 1 je zároveň naznačený smer down/up, z čoho vidno riešenie prenosu týchto dát, totiž princíp FDM (alebo FDD); nosné č. 0 až 31 up/ č. 32 až 255 down, č.16 - pre pilotný signál. Metóda potlačenia ozveny EC (Echo Cancelling) umožňuje pritom prekryvanie pásiem down/up, čím sa dosiahne rozšírenie frekvenčného pásma pre rýchly kanál smerom k účastníkovi (down). Zároveň však môže spôsobiť vznik NEXT (Near End CrossTalk – presluch na blízkom konci; vysvetlené na cvičeniach), čo obmedzuje počet ADSL prípojek v jednom kábli. Prehľad špecifikácií najčastejších variantov systému ADSL je zhrnutý v Tab. 1.

Tab. 1 Porovnanie variantov ADSL

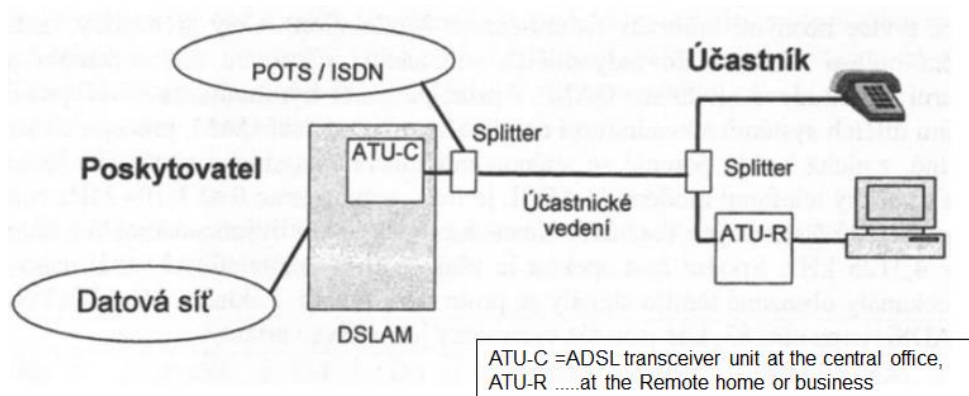
směr	Upstream				Downstream			
	Počet subkanálů	Od kHz	Do kHz	Rychlost kbit/s	Počet subkanálů	Od kHz	Do kHz	Rychlost kbit/s
POTS (FDM)	26	25	138	32-1500	224	138	1104	32-13380
POTS (EC)	26	25	138	32-1500	250	25	1104	32-14940
Lite (FDM)	26	25	138	32-1500	96	138	552	32-5700
ISDN (EC)	32	138	276	32-1860	198	276	1104	32-11820
Jen data	32	0	138	32-1860	256	0	1104	32-15300

Koncové zariadenia ADSL (ADSL modem) je nutné (okrem ADSL Lite) inštalovať na oboch stranách účastníckeho medeneho vedenia cez rozbočovače (*splitter*), ktoré fungujú ako trojbrany (Obr. 2). Splitter vstupnú cestu zo strany symetrického páru pomocou pasívneho dolného priepustu (DP filter) a horného priepustu (HP filter) rozdelí na brány smerom k telefónu, resp. ISDN-telefónu (3,4 / 80 kHz), resp. smerom k ADSL modemu, a za ním zaradeným zariadeniam.



Obr.2 Typické ukončenie ADSL prípojky na strane účastníka [2]

Na ďalšom obrázku (Obr. 3) je znázornené usporiadanie ADSL prípojky *na strane poskytovateľa* v účastníckom koncentrátore *DSLAM* (DSL Access Multiplexor). DSLAM sústreďuje digitálne toky od všetkých prípojok v danej lokalite.

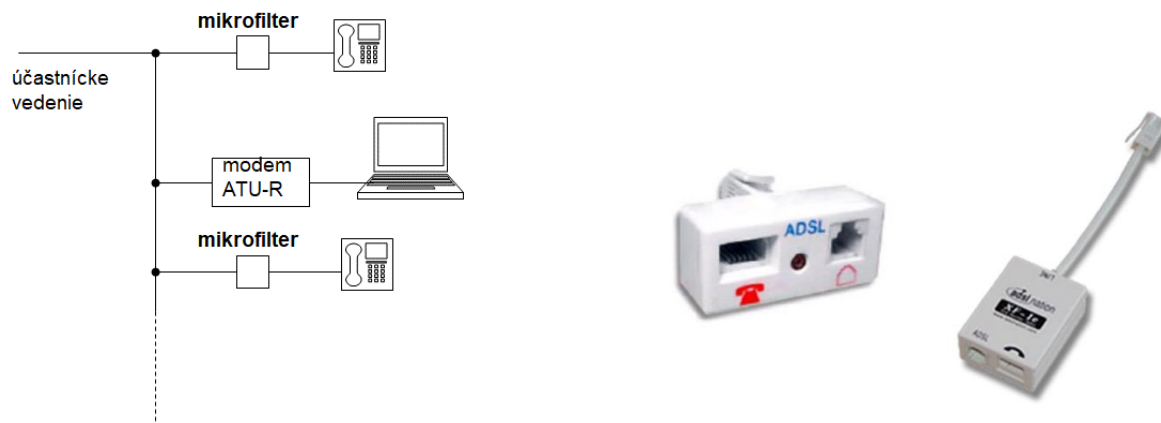


Obr.3 Usporiadanie ADSL prípojky so splittermi

Označenie modemu ADSL na strane účastníka je ATU-R (ADSL Termination Unit – Remote, vid' Obr. 3a) a na strane poskytovateľa, čiže DSLAM je ATU-C (ADSL Termination Unit – Central office).

Filtre môžu a nemusia byť integrované v modemoch, a vôbec (pri ADSL Lite) nemusia byť, ak sa analógová alebo ISDN-telefónna prípojka neprevádzkuje.

*Mikrofilter* (Obr.4) je zjednodušený variant filtra, ako súčasť účastníckej zásuvky. Používa sa len pred telefónom, čiže obsahuje len DP.



Obr. 4 Usporiadanie ADSL prípojiek s mikrofiltrami; ukážky komerčných prevedení mikrofiltrov.

Vyberá len 4 kHz-hovorové pásmo, vyššie frekvencie potláča. Je to zjednodušené riešenie pre paralelného účastníka, ktorý nechce širokopásmové dáta, alebo jednoducho – pre pripojenie telefónneho zariadenia k linke ADSL. Niektorí výrobcovia označujú svoje výrobky ako mikrofiltre, aj keď ide v podstate o splitter, pretože rozbočujú signál na telefónne a dátové pásmo.

## Modulácie

Pri technológii ADSL od začiatku súperia dve modulačné prenosové metódy, CAP a DMT.

Modulácia CAP (Carrierless Amplitude Phase modulation) bola presadzovaná americkou spoločnosťou AT&T, no nie je štandardizovaná v medzinárodnom štandarde. Umožňuje prenos 1,544 Mbps-rýchlosťou, má nízke náklady z dôvodu konštrukčnej jednoduchosti, no je náchylnejšia na rušenie a má kratší dosah v porovnaní s DMT.

Modulácia DMT (Discrete Multitone Transmission) je štandardizovaná ADSL Fórom, ANSI, ITU aj ETSI. Predstavuje rozdelenie prenosového frekvenčného pásma na subpásma (subkanály) široké 4,3125 kHz, v rámci ktorých je subnosná vlna modulovaná moduláciou M-QAM (M-stavová QAM). Takto je možné celým pásmom ADSL prenášať dáta pomerne vysokou rýchlosťou.

#### *Porovnanie CAP a DMT*

CAP je technika s jednou nosnou, ktorá zaberá široké pásmo. DMT je technika s mnohopočetnými nosnými, ktorá používa veľa úzkopásmových kanálov.

Pri CAP je nutná *adaptívna ekvalizácia* (kompenzovanie charakteristiky zosilňovača s cieľom kompenzovať útlm a fázovú chybu), pretože šumová charakteristika sa v rámci pásma výrazne mení. Pri DMT nie je nutná, pretože v rámci každého úzkeho 4-kHz-subpásma nedochádza k takejto zmene šumových charakteristík naprieč pásmom. Pri porovnaní DMT a CAP je rozhodujúci bod, kedy zložitost' adaptívnej ekvalizácie pri CAP prekročí zložitost' výpočtov Fourierovej transformácie pri DMT.

Výkonová spotreba: Hoci DMT nevyžaduje adaptívnu ekvalizáciu, potrebuje 256 (prípadne viac) kanálov, čo je energeticky náročné. Má vyššie výpočtové nároky, čo vedie k vyššej zložitosti procesorových jednotiek, vývinu tepla pri operáciách a nutnosti chladiť. DMT má tiež vysoký pomer špičkového a priemerneho výkonu (PAPR – Peak-to-Average Power Ratio).

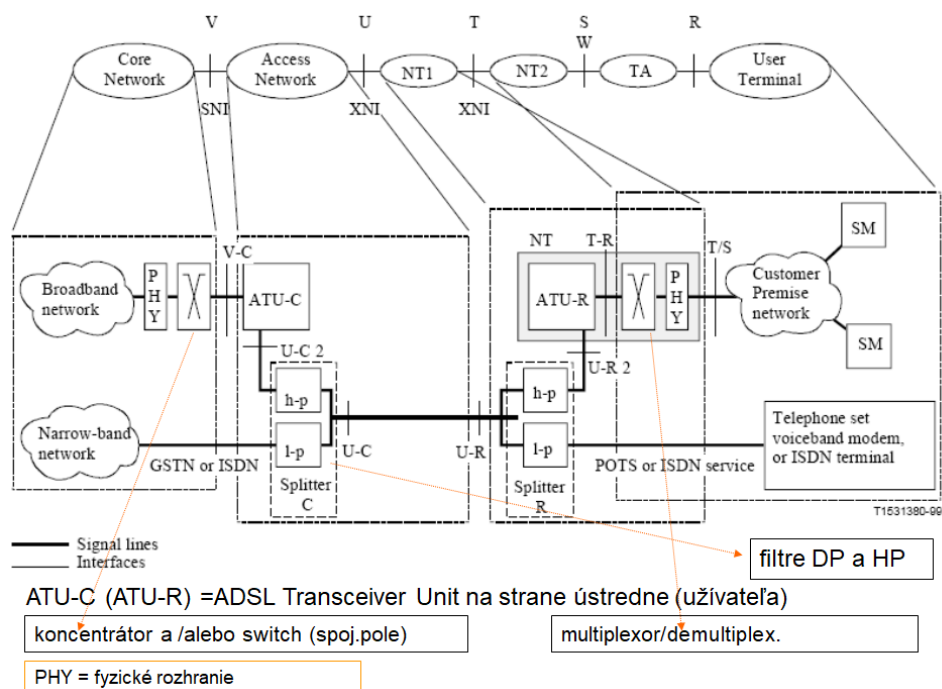
*Oneskorenie (latency – doba odozvy)* – pri DMT je o niečo väčšie než pri CAP. Keďže každé subpásma používa len 4 kHz, žiadny bit nemôže „putovať“ rýchlejšie, než to dovoľuje napr. 64-QAM v tomto pásme. Kompromis medzi *priepustnosťou* a *oneskorením* je už z tohto pohľadu historickým.

*Rýchlosť (speed)*: DMT má v tomto výhodu oproti CAP. Pretože úzke subnosné kanály majú relatívne malé ekvalizačné problémy, v každom kanáli môžu byť použité agresívnejšie modulačné techniky. Aby sa pri CAP dosiahla porovnateľná rýchlosť, je potrebná ešte väčšia šírka pásma, omnoho väčšia než 1 MHz. To by spôsobilo nové problémy spojené s vysokými frekvenciami na vodičoch a mohlo by znížiť výhodu CAP vo výkonovej spotrebe.

Obe techniky majú veľa technických odlišností, no obe môžu ponúknuť podobné služby v sieťových vrstvách.

#### Referenčný model ADSL (architektúra)

Na Obr. 5 [5] je znázornený *referenčný model ADSL*, definovaný odporúčaním ITU-T G.995.1. Podobný obrázok (veď musí byť podobný) je v odporúčaní TR001 vydanom fórom ADSL. Popis je na obrázku, pričom na strane užívateľa funkcie ukončenia NT1 (Network Termination 1) môžu byť čiastočne alebo úplne zdieľané ukončením NT2, terminálovým adaptérom TA a účastníckym terminálom UT (čiže KZ).



Obr. 5 Referenčný model ADSL vo vzťahu ku všeobecnému modelu xDSL [6]

Rozhrania U-C, U-R sú plne definované v ITU-T G. 992.1 (ADSL). V nich sú jednoznačne definované prenášané signály (asymetrické).

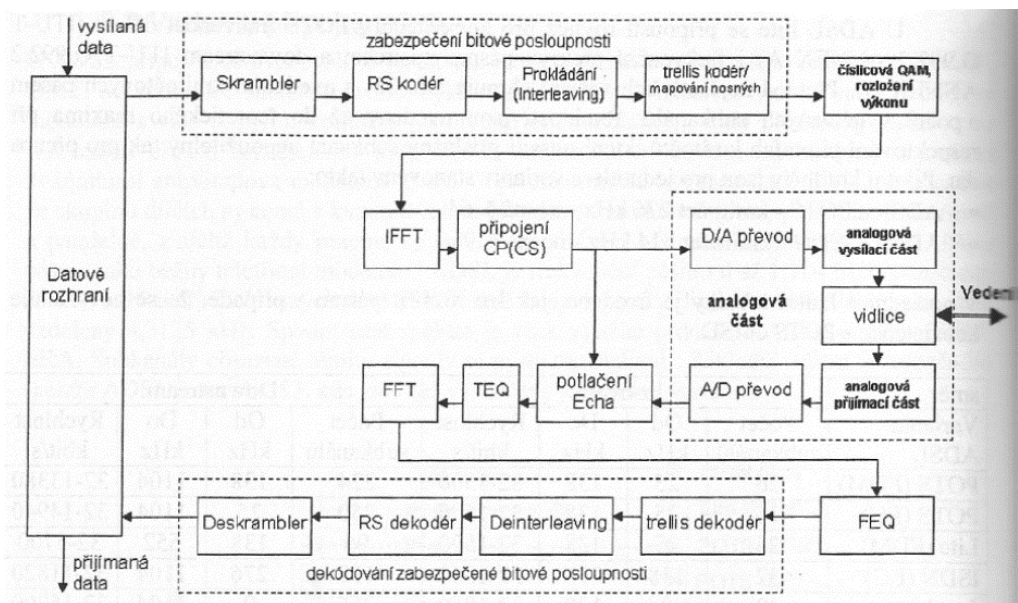
Rozhrania V-C, T-R sú definované len v zmysle logických funkcií. V-C môže byť zložené z rozhraní k jednému alebo viacerým (STM alebo ATM) spojovacím systémom, a môže tam byť vsunutá aj funkcia pre SONET/SDH.

Rozhranie T/S môže byť rôzne, podľa typu pripojenej zákazníckej siete (Bus, Star) alebo podľa typu média.

Aj rozhranie T/R môže byť rôzne z podobných dôvodov.

### ADSL-modem

Bloková schéma ADSL-modemu (Obr. 6) je zároveň vhodná pre vysvetlenie postupnosti operácií, ktorým signál pri tejto technológii podlieha.



Obr. 6 Bloková schéma modemu ADSL, a zároveň postupnosť procesov vzniku signálu ADSL, resp. jeho demodulácie /dekódovania [6]

Modem okrem modulácie DMT uskutočňuje viacero ďalších operácií so signálom, čo je možné len vďaka digitálnym integrovaným obvodom, t.j. signálovým procesorom:

Prichádzajúce dáta sú najprv zostavené do rámca ADSL, ďalej *skramblované* („zašifrované“ – v analógovej oblasti; ide tiež o zrovnomenenie výkonového spektra) a zabezpečené Reed-Solomonovým kódom RS (samoopravný kód; korekcia typu FEC – Forward Error Correction). Dáta medzi rámcami môžu byť vzájomne preložené (*interleaving*) v záujme redukcie zhlučkov chýb pri impulzovom rušení. Nasleduje *trellisové kódovanie* (rámce sú rozdelené do subblokov a mapované na jednotlivé nosné, čiže do jednotlivých subkanálov DMT), a po ňom *QAM* (kvadráturňa amplitúdová modulácia). Signály modulovaných subnosných sa sčítajú (máme signál digitálny, vo frekvenčnej oblasti, a pomocou *IFFT* - Inverse Fast Fourier Transformation - sa prevedie do časovej oblasti na postupnosť vzoriek). Pridáva sa *cyklická predpona* (*CP* – *Cyclic Prefix*) ako ďalší typ protichybového zabezpečenia. Jeho podstatou je skopírovanie posledných vzoriek bloku na jeho začiatok. Tento postup *potláča medzysymbolovú interferenciu* (*ISI*) aj *medzikanálovú interferenciu*, a využíva sa tiež na *synchronizáciu*. *CP* môže pozostávať z 8, 32 alebo 40 vzoriek, a v prijímači je odstránená.

Na *prijímačej strane* sú najprv potlačené ozveny (*EC*), a potom prebehnú inverzné operácie vzhľadom k tým vo vysílači. Sú tam navyše adaptívne korektory pre frekvenčnú oblasť (*FEQ* – Frequency Domain Equalizer) aj pre časovú oblasť (*TEQ* – Time Domain Equalizer).

Popísané činnosti sa realizujú v zariadeniach ATY-C a ATU-R referenčnej schémy ADSL, pričom tieto zariadenia môžu byť konfigurované na synchronný prenos alebo asynchronný (*ATM*) prenos buniek, alebo aj na oba typy prenosu (každý však pomocou iného dátového kanála).

Na zvýšenie flexibility systému ADSL sa celková prenosová kapacita (definovaná *transportnou triedou*) delí na čiastkové jednosmerné kanály AS a duplexné kanály LS (AS0 / 6144 kbps, AS1 / 6408 kbps, AS2, AS3; LS0 / 640 kbps, LS1, LS2 všetko 640kbps). Kanály sú usporiadané do rámcov, ktorých štruktúra závisí od smeru prenosu a od prenosového režimu.



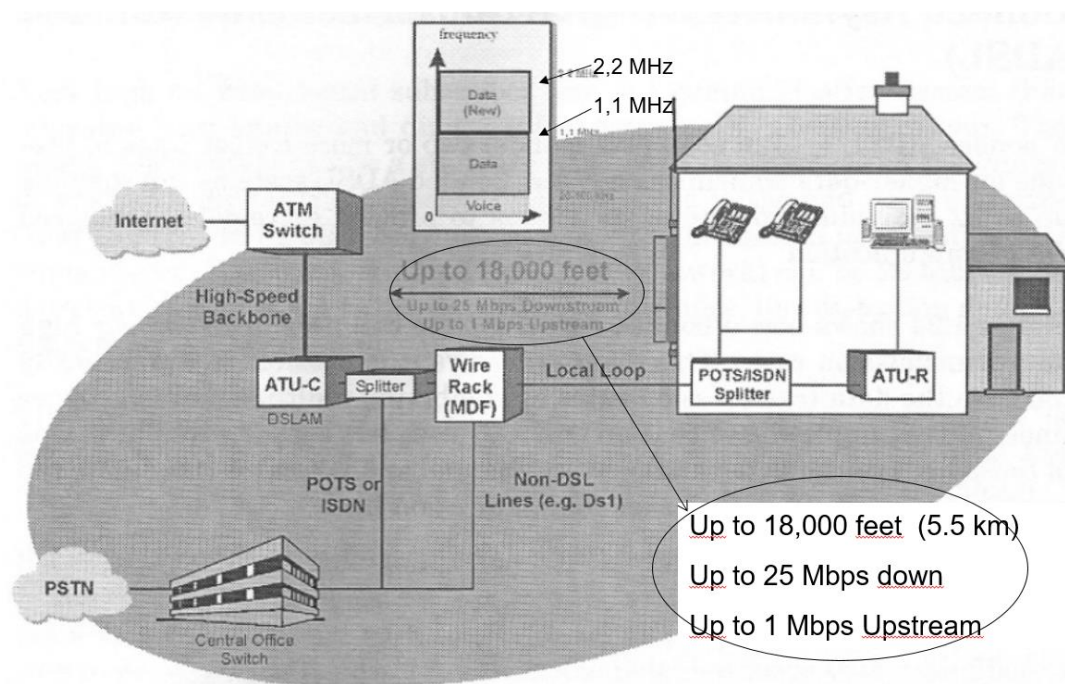
Príkladom riešenia účastníckej prípojky ADSL pre verejné spojovacie systémy bol napr. ALCATEL A 1000 AN.

## ĎALŠÍ ČLENOVIA SKUPINY ADSL

### ADSL 2 a ADSL 2+

ADSL2 (štandardy G.992.3, 992.4) a ADSL2+ (992.5) sú novšie štandardy ADSL druhej generácie; ich spoločnou črtou je posun hornej hranice prenosovej rýchlosti (12 Mbps, resp. 24 Mbps), modulácia DMT, rozšírenie prenosového pásma (do 2,2 MHz), ale zároveň skrátenie maximálneho dosahu na 1,5 až 2 km, definovanie troch režimov činnosti L0, L1, L2 (líšiacich sa energetickou náročnosťou) a možnosť prenášať hlas prostredníctvom CVoDSL (Channelized Voice over DSL).

### ADSL 2+



Obr. 7 Systém ADSL 2+ - architektúra [4]

Architektúra systému ADSL 2+ je na Obr. 7, a jeho špecifikácie sú nasledovné:

- DMT modulácia, každý subkanál má 4 kHz a je ich 512 (v pásme do 2,2 MHz)
- menší dosah je spôsobený vyšším útlmom vyšších frekvencií na krútených pároch
- plná kapacita downstreamu (24 Mbps) je možná hlavne v blízkosti DSLAM-u (t.j. do 1,5 km).

### RE-ADSL

Reach Extended ADSL (ITU-T G.992.3, Annex L)

- Je to zlepšený ADSL systém, dodatok ku ADSL2



- optimalizované DMT prenosové kanály s cieľom dosiahnuť väčšiu vzdialenosť (mení sa PSD – Power Spectral Density – niektorých DMT kanálov, a tým sa zlepší ich priepustnosť) - sú určené pre dlhé linky (nie pre krátke) do 5,5 km, pri zachovaní rýchlostí platných pre ADSL2

### RADSL (Rate Adaptive DSL)

Táto technológia predchádzala štandardu ADSL. Bola predstavená v r. 1996 (AT&T Paradyne), no nebola štandardizovaná a zrejme upadla do zabudnutia. Predpokladala symetrický aj asymetrický prenos a prenosovú rýchlosť adaptívnu v závislosti od prenosových podmienok a vzdialenosti do 8 Mbps down /do 1 Mbps up pri QAM alebo CAP modulácii. DSL modem mal upravovať šírku pásma pre upstream kvôli rošíreniu pásma pre down. Pomocou RADSL mali byť poskytované služby nevyžadujúce bitovú synchrónnosť (služby IP, Frame Relay, ATM).

Adaptívna zmena poskytovanej rýchlosti počas prevádzky je dnes vlastnosťou ADSL2, ADSL2+, VDSL2.

### Bonded ADSL

S technológiou uvedenou v názve podkapitoly sa možno stretnúť pri hľadaní spôsobu, ako navýšiť prenosovú rýchlosť už zavedeného pripojenia typu ADSL bez optiky, a to aj na vyššie rýchlosti než pri ADSL 2+.

Tento systém kombinuje (bonded – „zlepený“, spojený) dve alebo viac medených liniek s cieľom poskytnúť vyššie dátové rýchlosti. Môže kombinovať až 32 individuálnych komunikačných liniek ADSL, alebo ADSL2+ pre poskytnutie extrémnych rýchlostí.

### Literatúra

[1] Vaculík: Prístupové siete. ŽU v Žiline, 2000.

[2] J. Vodrážka: Přenosové systémy v přístupové síti. ČVUT, 2003.

[3] T. Anttalainen: Introduction to Telecom. Network Engineering, Norwood (USA - MA), 2003.

[4] L. Harte: Introduction to Digital Subscriber Line (DSL): Technologies, Operation and Systems. ALTHOS, 2005.

[5] ITU\_T G.995.1 Recommendation, Geneva, 2001

[6] B. Šimák, J. Vodrážka, J. Svoboda: Dig. účastnícke přípojky xDSL, díl.1

a ďalšie ITU-T štandardy