



TECH pedia

An abstract graphic on the left side of the cover, composed of numerous overlapping, curved lines in shades of red and blue. The lines are dense and create a sense of motion and depth, resembling a stylized wing or a signal wave.

VYSOKORÝCHLOSTNÝ PRÍSTUP DO INTERNETU

IVAN PRAVDA

Názov: Vysokorýchlostný prístup do Internetu
Autor: Ivan Pravda
Preložil: Peter Trúchly
Vydalo: České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Kontaktná adresa: Technická 2, Praha 6, Česká republika
Tel.: +420 224352084
Tlač: (iba elektronická)
Počet strán: 43
Edícia (vydanie): 1. vydanie, 2017
ISBN 978-80-01-06285-2

TechPedia

European Virtual Learning Platform for
Electrical and Information Engineering

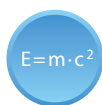
<http://www.techpedia.eu>



Tento projekt bol financovaný s podporou Európskej Komisie.

Táto publikácia (dokument) reprezentuje výlučne názor autora a Komisia nezodpovedá za akékoľvek použitie informácií obsiahnutých v tejto publikácii (dokumente).

VYSVETLIVKY



Definícia



Zaujímavosť



Poznámka



Príklad



Zhrnutie



Výhody



Nevýhody

ANOTÁCIA

Prípojky VDSL2 a G.fast sú koncipované na poskytovanie nových služieb prostredníctvom metalických symetrických párov a optických vlákien v prístupovej telekomunikačnej sieti. Prípojky VDSL2 nadväzujú na staršie typy prípojok ADSL a prinášajú koncovému účastníkovi vyššie prenosové rýchlosti. Navyše dovoľujú optimalizovať aj symetriu prenosových rýchlostí pre zostupný a vzostupný smer. V dnešnej dobe sú prípojky VDSL2 a G.fast posledným vývojovým stupňom v technológii xDSL a s ich implementáciou do prístupovej telekomunikačnej siete sa počíta aj v koncepciách sietí FTTx.

CIELE

Materiál oboznamuje s princípom prípojky VDSL2 a G.fast, možnými variantmi, použitou moduláciou a kódovaním. Ukávané sú dosiahnuteľné prenosové rýchlosti a možnosti prípojok tejto druhej generácie. Pri štúdiu tohto modulu sa predpokladajú základné znalosti vlastností telekomunikačných vedení a základných metód digitálneho prenosu a spracovania signálu.

LITERATÚRA

- [1] Šimák, B. – Vodrážka, J. – Svoboda, J.: Digitální účastnické přípojky xDSL. Díl 1. – Metody přenosu, popis přípojek HDSL, SHDSL, ADSL a VDSL. Nakladatelství Sdělovací technika. Praha 2005. ISBN 80-86645-07-X
- [2] Vodrážka, J. – Šimák, B.: Digitální účastnické přípojky xDSL. Díl 2. – Přenosové prostředí, druhá generace ADSL a VDSL, měření na přípojkách. Nakladatelství Sdělovací technika. Praha 2007. ISBN 80-86645-07-X.
- [3] Vodrážka, J.: Spektrální profil přípojek VDSL2 vybraný pro síť v ČR. Access server. <http://access.fel.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2011040001>
- [4] Vodrážka, J.: Varianty přípojek VDSL2. Access server <http://access.fel.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2006052401>
- [5] Vodrážka, J.: Teoreticky dosažitelné přenosové rychlosti u přípojky VDSL2 s potlačováním přeslechů. Access server. <http://access.fel.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2008080002>

Obsah

1	Telekomunikačná sieť a digitálne účastnícke prípojky	6
1.1	Oznamovacia technika a telekomunikácie	6
1.2	Telekomunikačná sieť	7
1.3	Metalická prístupová sieť	8
1.4	Hybridná prístupová sieť	9
1.5	Digitálne účastnícke prípojky	11
2	Digitálna účastnícka prípojka VDSL2	12
2.1	Základné vlastnosti prípojky VDSL2	12
2.2	Usporiadanie prípojky VDSL2	13
2.3	Vrstvový model koncového zariadenia prípojky VDSL2	15
2.4	Režimy prenosu dát koncového účastníka	16
2.5	Možnosti prenosu dát	17
2.6	Zabezpečenie prenosu proti chybám	19
2.7	Variety prípojky VDSL2	20
2.8	Profily prípojky VDSL2	21
2.9	Delenie frekvenčného pásma	23
2.10	Frekvenčné plány pre symetrické dátové prenosy	24
2.11	Frekvenčné plány pre asymetrické dátové prenosy	26
2.12	Masky spektrálnej výkonovej hustoty pre plány 997	28
2.13	Masky spektrálnej výkonovej hustoty pre plány 998	30
2.14	Prenosový reťazec prípojky VDSL2	32
2.15	Protokolová štruktúra prípojky VDSL2	33
3	Vysokorýchlostné prípojky podľa štandardu G.fast	34
3.1	Štandard G.fast - základné vlastnosti	34
3.2	Využitie fantómových okruhov	36
3.3	Napájanie optického uzla z používateľského modemu	38
3.4	Vektorová modulácia – VDMT	39
3.5	Výhody a nevýhody VDMT	41

1 Telekomunikačná sieť a digitálne účastnícke prípojky

1.1 Oznamovacia technika a telekomunikácie

Telekomunikácie je vedná disciplína zaoberajúca sa dorozumievaním človeka (prenosom správ) v podmienkach, ktoré nie je schopný prekonať svojimi prirodzenými zmyslami. Telekomunikácie preto patria do vedného odboru oznamovacia technika alebo tiež komunikačná technika a ich moderný vývoj v podstate začal v devätnástom storočí vynálezom telegrafu a neskôr aj telefónu. V súčasnosti tvorí neoddeliteľnú súčasť odboru IKT – Informačné a komunikačné technológie (**ICT**, *Information and Communication Technology*).



Slovo telekomunikácie vzniklo spojením dvoch slov. Gréckeho slova „tele“ (vzdialený) a slova komunikácie (dorozumievanie).

Zariadenie na dorozumievanie na diaľku označujeme ako telekomunikačné zariadenie. Telekomunikačná sieť je potom tvorená vzájomne prepojenými telekomunikačnými zariadeniami alebo uzlami siete.

Je zřejmé, že nie je možné vzájomne prepojiť priamymi spojmi všetky telekomunikačné zariadenia, respektíve všetkých účastníkov komunikácie. Z tohto dôvodu musí byť telekomunikačná sieť určitým spôsobom logicky štruktúrovaná tak, aby bola schopná plniť požiadavky veľkého počtu koncových účastníkov v geograficky rozdielnych územiach. Telekomunikačnú sieť delíme na dve základné časti. Na časť jadrovú (chrbticovú) a prístupovú.



Ak by sme chceli vytvoriť telekomunikačnú sieť tak, že by sme vzájomne prepojili všetkých účastníkov medzi sebou, znamenalo by to v prípade iba 10 účastníkov realizovať celkom 45 vedení.

1.2 Telekomunikačná sieť

Už bolo spomenuté, že telekomunikačná sieť musí byť určitým spôsobom štruktúrovaná. Obyčajne sa delí na dve hlavné časti. Na časť jadrovú (chrbticovú) a časť prístupovú. Obidve majú svoje úlohy a charakteristické vlastnosti.

Jadrová (chrbticová) telekomunikačná sieť má za úlohu vzájomne prepojiť jednotlivé sieťové uzly telekomunikačného operátora. V týchto uzloch sa koncentrujú dátové prenosy od koncových účastníkov tak, aby sa dali efektívne preniesť spoločnými telekomunikačnými cestami cez rozľahlé geografické územia. Typické pre túto sieť je:

- prenosové médium je jednovidové optické vlákno,
- prenosové rýchlosti sa pohybujú v desiatkach Gbit/s,
- prekonávané vzdialenosti sú od desiatok až po tisíce kilometrov,
- 23obyčajne sa vyskytujúcou topológiou siete je kruhová topológia.

Pod pojmom prístupová telekomunikačná sieť rozumieme časť telekomunikačnej siete, ktorá je medzi posledným bodom poskytovateľa pripojení (telekomunikačného operátora) a koncovým účastníkom. Za posledný bod poskytovateľa pripojení sa obyčajne považuje miestna ústredňa **HOST** alebo vzdialená účastnícka jednotka **RSU** (*Remote Subscriber Unit*). Káblový zväzok vychádzajúci z hlavného rozvodu ústredne (respektíve z **RSU**) sa v sieťových a pouličných rozvádzačoch postupne vetví do jednotlivých smerov ku koncovým účastníkom. Typické pre túto sieť je:

- prenosové médium je symetrický metalický pár prípadne jednovidové optické vlákno,
- prenosové rýchlosti sa pohybujú v jednotkách až desiatkach Mbit/s,
- prekonávané vzdialenosti sú stovky metrov až jednotky kilometrov,
- obyčajne sa vyskytujúcou topológiou siete je topológia stromu.

1.3 Metalická prístupová sieť

Vo väčšine európskych štátov je prístupová telekomunikačná sieť tvorená symetrickými metalickými párami. Konceptia návrhu tejto siete počítala predovšetkým s poskytovaním telefónnych služieb prostredníctvom analógovej telefónnej prípojky **POTS** (*Plain Old Telephone Service*) vo frekvenčnom pásme 300 Hz až 3400 Hz (tzv. telefónny kanál) alebo základnej prípojky **ISDN-BRA** (*Integrated Services Digital Network - Basic Rate Access*) v pásme do 80 kHz.

Napr. v Českej republike je prístupová sieť najväčšieho telekomunikačného operátora tvorená metalickými káblami, ktorých základným prvkom je krížová štvorka a symetrický pár.

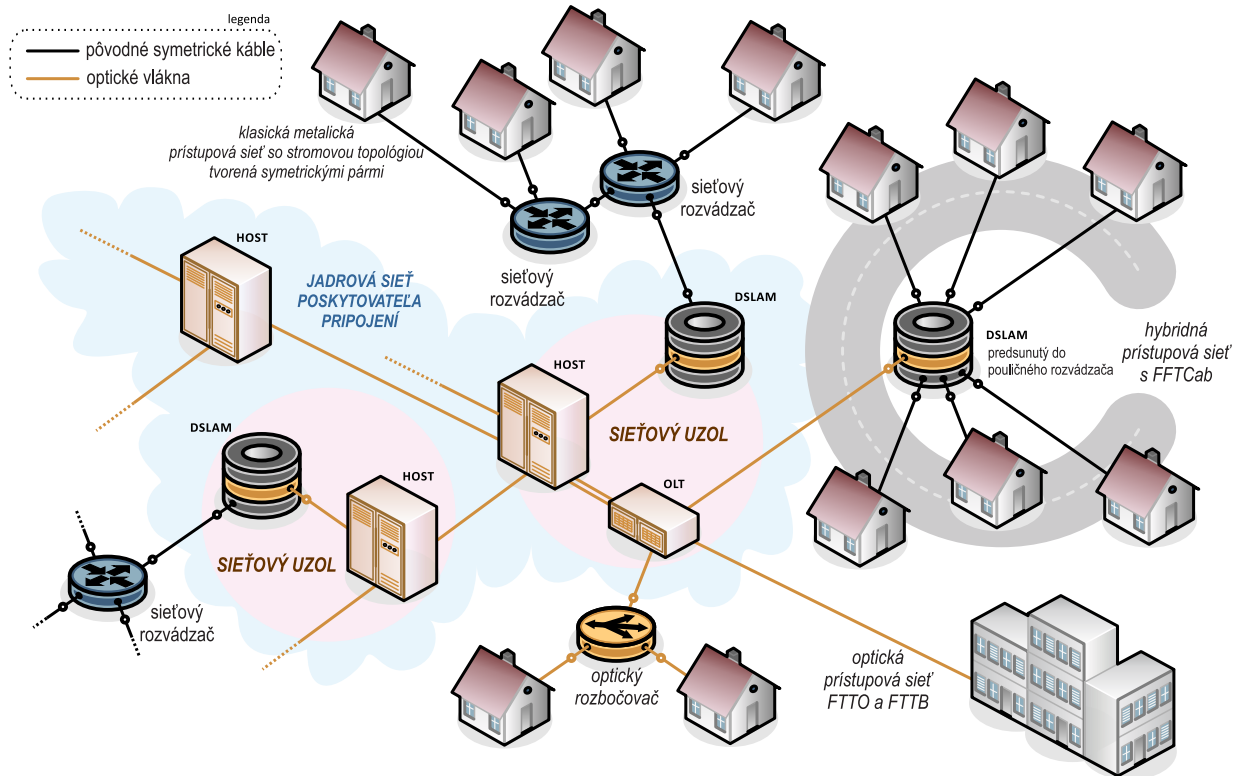
Káble používajú vodiče s medenými jadrami s priermi 0,4, 0,6 a 0,8 mm s priemerom izolácie max. 1,7 mm a majú vonkajší plášť prevažne z polyetylénu. Káble v úložnom prevedení sú plnené vhodnou plniacou hmotou (gélom), ktorá vytvára ochranu proti vode. Vodiče majú polyetylénovú penovú izoláciu. Káble v samonosnom prevedení (závesné káble) nie sú plnené a používajú plnú polyetylénovú izoláciu. Časť prístupovej siete v ČR však využíva aj historické metalické káble s medenými jadrami s priermi 0,4, 0,6 a 0,8 mm s izoláciou vzduch-papier.

Prístupové siete ostatných telekomunikačných operátorov sú, v porovnaní so sieťou najväčšieho operátora, relatívne malé a pokrývajú malé geografické územia. Z tohto dôvodu sa v celom tomto module budeme zaoberať parametrami a podmienkami pre prevádzku sieťových prvkov iba v prístupovej sieti najväčšieho operátora.

1.4 Hybridná prístupová sieť

V dnešnej dobe je nutné poskytovať koncovým účastníkom aj nové služby nie iba telefónnu službu. Predovšetkým sa jedná o vysokorýchlostný prenos dát a prístup do celosvetovej siete Internet, prenos televízneho a video signálu. Možnosti využitia metalickej prístupovej siete sa však v dnešnej dobe blížia svojim limitom. Fyzikálne parametre symetrického páru (útlm, skupinová rýchlosť šírenia, presluchové väzby a pod.) výrazne obmedzujú prenosové parametre ako je prenosová rýchlosť a bránia jej ďalšiemu zvyšovaniu. Riešenie tejto situácie spočíva v nahradení symetrických párov v prístupovej sieti optickými vláknami. S ohľadom na zvyčajnú topológiu prístupovej siete je toto riešenie príliš finančne náročné. Preto sa výmena metalických párov za optické vlákna uskutočňuje postupne od sieťového uzla poskytovateľa pripojení smerom ku koncovému účastníkovi. Takéto prístupové siete sa označujú skratkou **FTTx (Fiber to the x)**, kde písmeno *x* je zástupným znakom, ktorý označuje miesto ukončenia optického vlákna. Hlavné typy sietí **FTTx** sú:

- **FTTH** – Home (vlákno až do domu),
- **FTTO** – Office (do kancelárie, firemné priestory),
- **FTTB** – Building (do budovy),
- **FTTC, FTTCab** – Curb, Cabinet (do miestneho rozvádzača – chodník, stĺp) s dĺžkou metalického vedenia do 300 m,
- **FTTN** – Node (do lokálneho prípojného bodu – pouličný rozvádzač, stĺp) s dĺžkou metalického vedenia nad 300 m,
- **FTTEx** – Exchange (do miestnej digitálnej ústredne),
- **FTTdb** – Distribution Point (do distribučného uzla).



Príklad metalickej prístupovej siete, hybridnej prístupovej siete FTTCab a plne optickej prístupovej siete.

1.5 Digitálne účastnícke prípojky

Koncové zariadenia digitálnych účastníckych prípojok (**xDSL**, *Digital Subscriber Line*) sú špeciálne skonštruované tak, aby umožnili lepšie využiť potenciál metallickej infraštruktúry v prístupovej sieti. Spoločným znakom týchto systémov je relatívne vysoká prenosová rýchlosť v rádoch jednotiek až desiatok Mbit/s. Digitálne účastnícke prípojky je možné deliť na základe rôznych hľadísk. Jedným z hlavných hľadísk je delenie podľa spôsobu prenosu na digitálne prípojky s prenosom:

- v základnom pásme (**HDSL**, **SHDSL**),
- vo frekvenčne preloženom pásme (**ADSL2+**, **VDSL2**), ktoré je možné prevádzkovať na účastníckom vedení s už inštalovanou inou službou v základnom frekvenčnom pásme, napr. **POTS** alebo **ISDN-BRA**.

V prípade čisto metalického riešenia prístupovej siete, kde sú prípojky na strane poskytovateľa ukončené v blízkosti hlavného rozvodu ústredne, je možné využiť prípojky **ADSL** (*Asymmetric DSL*), **SHDSL** (*Single pair High speed DSL*) a na obmedzenú vzdialenosť tiež druhé vylepšené generácie **ADSL2+** a **VDSL** (*Very High Speed DSL*). V prípade hybridného opticko-metalického riešenia prístupovej siete, kde sú zariadenia na strane poskytovateľa vysunuté bližšie k účastníkom, je možné úplne využiť výhody prípojok **ADSL2+** a **VDSL2**.

2 Digitálna účastnícka prípojka VDSL2

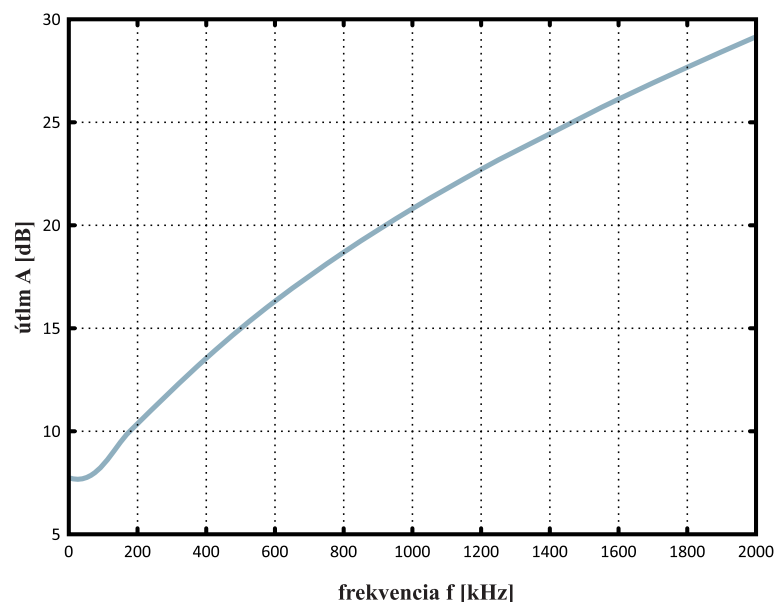
2.1 Základné vlastnosti prípojky VDSL2

Digitálna účastnícka prípojka **VDSL2** je druhou generáciou prípojky **VDSL**. Významné a osvedčené inovácie oproti pôvodnej špecifikácii **VDSL** preberá druhá generácia **VDSL2** z druhej generácie prípojky **ADSL2**. Ide najmä o mriežkové kódovanie (tzv. *Trellis Code*) pre schopnosť opravovať v prijímači jednotlivé bitové chyby a tiež o schopnosť opravovať zhluky chýb spôsobené impulzným rušením pomocou Reed-Solomonových kódov a prekladania dát. Podobne ako pri **ADSL2** je možné meniť prenosovú rýchlosť počas prevádzky **SRA** (*Seamless Rate Adaptation*), riadiť vysielací výkon na obmedzenie presluchoch do okolitých párov a aktivovať režimy úspory elektrickej energie (tzv. *Sleep Mode*).

$E=m \cdot c^2$

Základným odporúčaním, ktoré štandardizuje prípojku **VDSL2**, je odporúčanie ITU-T G.993.2.

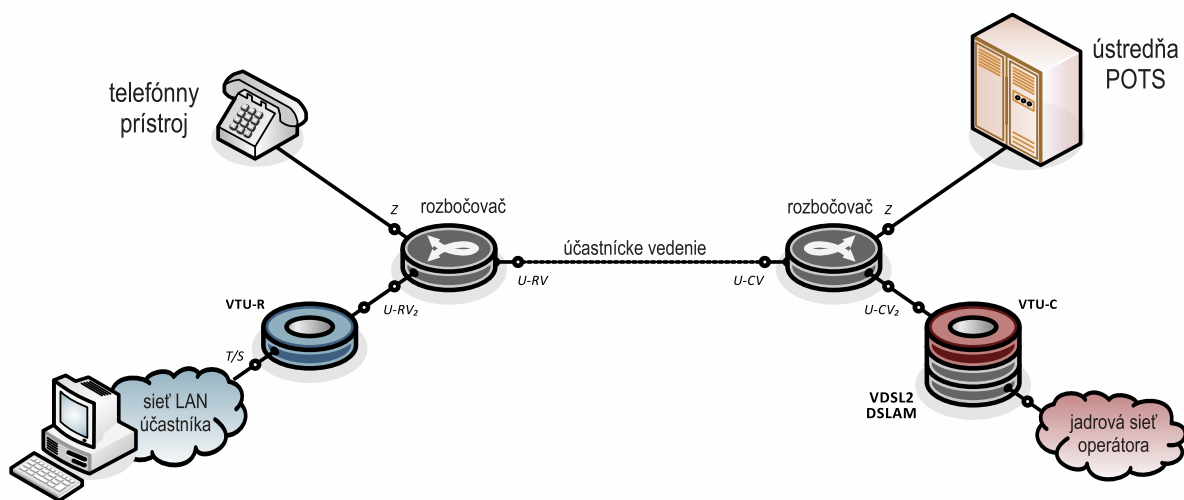
Navýšenie prenosovej rýchlosti sa docielilo rozšírením využívaného frekvenčného pásma až do 30 MHz. Prípojka **ADSL2+** využíva frekvenčné pásmo iba do 2,208 MHz. Maximálne prenosové rýchlosti sa pohybujú rádovo v desiatkach až stovkách Mbit/s. V smere downstream je maximálna hodnota okolo 200 Mbit/s. Rozšírenie využívaného frekvenčného pásma však prináša aj nevýhodu. Skracuje sa maximálna dĺžka účastníckeho vedenia, na ktorom je možné prípojku **VDSL2** prevádzkovať. S rastúcou šírkou frekvenčného pásma rastie totiž útlm vedenia v tomto pásme.



Obrázok ukazuje priebeh útlmu symetrického páru v závislosti od frekvencie. Dĺžka vedení 1 km, priemer žíl vodičov 0,4 mm, materiál med'. Symetrický pár je umiestnený v klasickom miestnom kábli štvorkovej konštrukcie TCEPKPFLE.

2.2 Usporiadanie prípojky VDSL2

Ako už bolo uvedené, prípojky **xDSL** umožňujú efektívnejšie využiť existujúce účastnícke vedenie (metalický symetrický pár) pre poskytovanie nových služieb než na aké bolo vedenie pôvodne koncipované. Preto je nutné predpokladať, že služba **POTS** alebo **ISDN-BRA** je už na vedení prevádzkovaná a prípojka **VDSL2** nesmie túto koexistujúcu službu akokoľvek ovplyvňovať (platí to samozrejme aj naopak). Z tohto dôvodu sa prípojka **VDSL2** prevádzkuje v preloženom frekvenčnom pásme a obidve služby na účastníckom vedení sa navyše oddeľujú pomocou frekvenčných filtrov (splitterov). Telefónne aj dátové signály tak môžu byť prenášané v oboch smeroch po rovnakom vedení.



Základná schéma zapojenia prenosového reťazca prípojky VDSL2 je obdobná ako u starších prípojok ADSL.

Vysokorýchlostný prenos digitálnych signálov prípojky **VDSL2** zabezpečujú modemy **VTU-R** (*VDSL2 Termination Unit – Remote*) na strane účastníka a **VTU-C** (*VDSL2 Termination Unit – Central*) na strane poskytovateľa pripojenia. Modem na strane poskytovateľa pripojení je najčastejšie súčasťou účastníckeho multiplexora **DSLAM** (*DSL Access Multiplexor*), ktorý sústreďuje digitálne toky od všetkých prípojok v danej lokalite.

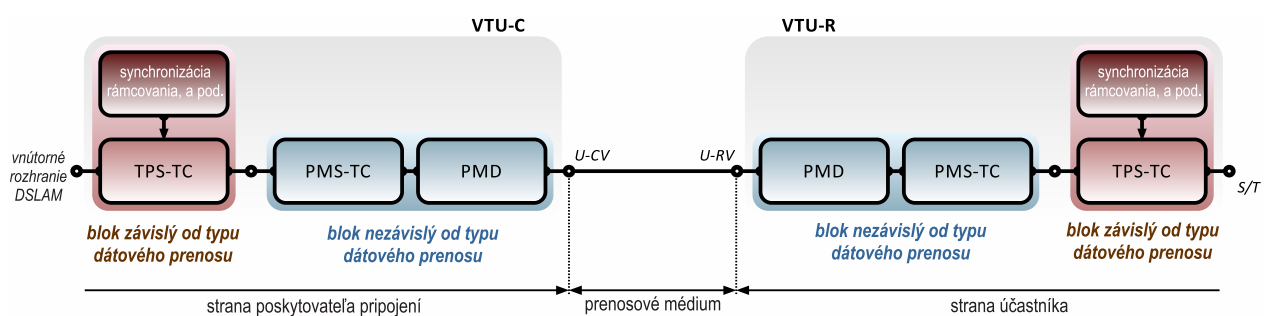
Základná schéma zapojenia obsahuje nasledujúce funkčné bloky a rozhrania:

- **DSLAM** – účastnícky multiplexor **DSL**,
- *Splitter-R* – frekvenčný filter (rozbočovač, výhybka) na strane účastníka – v prípade variantu služby bez súbehu s aktívnou službou **POTS** alebo **ISDN-BRA** nie je tento splitter nutný,
- *Splitter-C* – frekvenčný filter na strane poskytovateľa pripojenia,
- **VTU-C** – transceiver (modem) **VDSL2** na strane poskytovateľa pripojenia,

- **VTU-R** – transceiver (modem) **VDSL2** na strane koncového účastníka,
- *U-RV* – fyzické rozhranie ukončujúce vedenie na strane účastníka,
- *U-CV* – fyzické rozhranie ukončujúce vedenie na strane ústredne,
- *U-RV2* – fyzické rozhranie medzi splitterom a modemom na strane účastníka,
- *U-CV2* – fyzické rozhranie medzi splitterom a modemom na strane ústredne,
- *T/S* – fyzické rozhranie medzi **VTU-R** a následnou sieťovou infraštruktúrou na strane účastníka (**LAN**),
- *Z/U0* – fyzické rozhranie symetrického páru so službou **POTS/ISDN-BRA** s frekvenčným pásmom obmedzeným rozbočovačom.

2.3 Vrstvový model koncového zariadenia prípojky VDSL2

Funkciu a vlastnosti koncového zariadenia prípojky **VDSL2** je možné opísať, rovnako ako aj pri ostatných prípojkách **xDSL**, prostredníctvom vrstvového modelu. Model zariadenia obsahuje dve základné časti. Prvá časť je nezávislá na type dátových prenosoch, pretože obsahuje funkcie a bloky, ktoré majú všetky koncové zariadenia rovnaké a súvisia s prispôbením dát fyzickému prenosovému médiu. Ide o bloky **PMD** (*Physical Media Dependent*) a **PMS-TC** (*Physical Media Specific – Transmission Convergence*). Druhá časť, blok **TPS-TC** (*Transport Protocol Specific – Transmission Convergence*), potom rešpektuje typ dátového prenosu a štruktúru účastníckych dát.



Vrstvový model koncového zariadenia prípojky VDSL2.

Základné funkcie bloku **PMD** sú spojené s vlastným prenosom signálu prenosovým prostredím. Ide predovšetkým o generovanie a obnovu taktu, moduláciu a demoduláciu, funkciu potlačenia ozvien, kompenzáciu negatívnych parametrov vedenia a inicializáciu spojenia.

Blok **PMS-TC** je špecifický podľa konkrétneho prenosového prostredia a plní funkcie spojené s vytváraním rámcov, rámcovou synchronizáciou, zabezpečením dát dopredným zabezpečením proti chybám **FEC** (*Forward Error Correction*), prekladáním, skramblováním a deskramblováním. V tomto bloku sa tiež k dátovému toku koncového účastníka pridávajú služobné informácie (záhlavie dátových rámcov) a realizuje sa služobná komunikácia medzi zariadeniami.

Parametre bloku **TPS-TC** závisia od požadovanej funkcionality koncového zariadenia, respektíve typu dátových prenosov (typu požadovaných služieb). **TPS-TC** slúži ako adaptačný blok medzi transportným protokolom (formátom používateľských dát) a ďalšími nižšími blokmi **VDSL2** prípojky. Má za úlohu multiplexovanie, demultiplexovanie a synchronizáciu dát jednotlivých účastníckych dátových tokov podľa požadovaných parametrov kvality služby (priorita toku určitých služieb).

Referenčné body označené ako *S/T* sú rozhraním k používateľským terminálom. V opise parametrov prípojky **VDSL2** budeme postupovať práve od bloku **TPS-TC** smerom k bloku **PMD** a rozhraniu *U*.

2.4 Režimy prenosu dát koncového účastníka

Bloky **TPS-TC** sú vo vrstvovom modeli najbližšie k účastníkovi a zodpovedajú svojou funkcionalitou požiadavkám typu dátových prenosov koncového účastníka. V súčasných prípojkách **VDSL2** podporuje blok **TPS-TC** tri režimy prenosu dát:

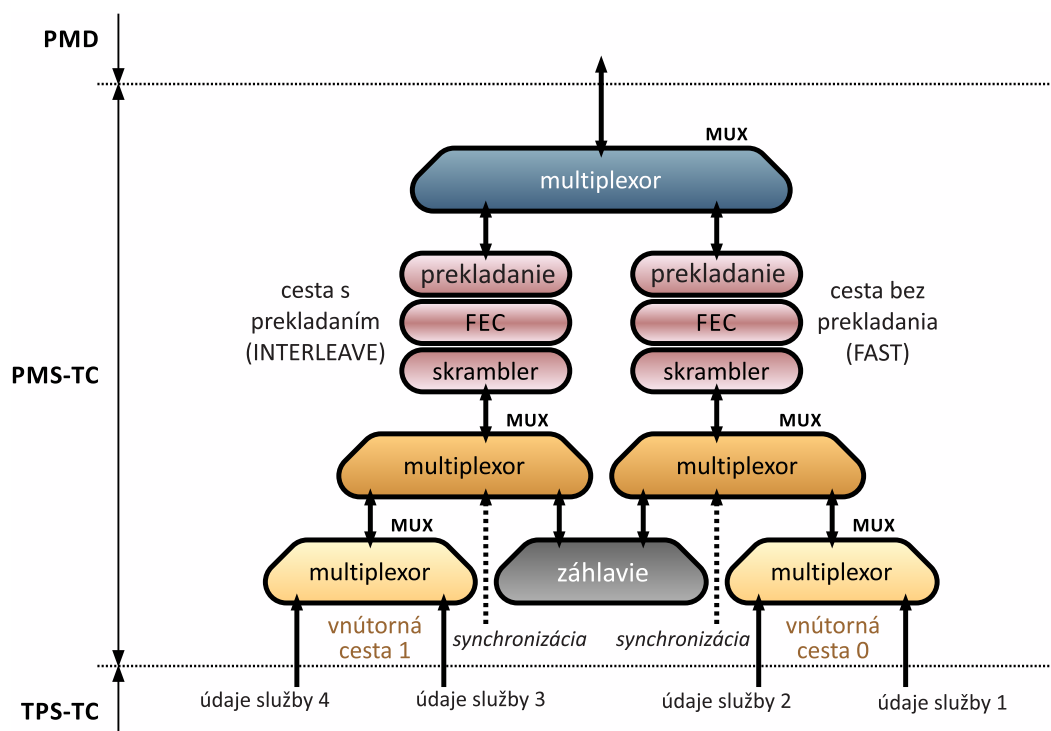
- Synchronný režim **STM** (*Synchronous Transfer Mode*). V tomto režime pracujú všetky koncové zariadenia v časti prístupovej siete synchronne v závislosti na **DSLAM**. Synchronnosť znamená, že dátové prenosy v smere upstream a downstream sa uskutočňujú vo všetkých koncových zariadeniach v rovnakom čase. Výhodou tohto spôsobu prenosu je výrazné obmedzenie rušenia presluhom na blízkom konci.
- Asynchronný režim **ATM** (*Asynchronous Transfer Mode*). Tento spôsob prenosu zabezpečuje spätnú kompatibilitu s existujúcimi prípojkami **ADSL** (tzv. duálne **VTU-R** môže pracovať proti **ADSL DSLAM**). Pre prenos dát sa využívajú bunky s konštantnou veľkosťou 53 bajtov, ktoré sa podľa druhu prenášaného obsahu vkladajú do virtuálnej cesty a kanálu s príslušnými identifikátormi **VPI** (*Virtual Path Identifier*) a **VCI** (*Virtual Channel Identifier*).
- Paketový režim **PTM** (*Packet Transfer Mode*) je určený pre efektívnejší prenos tokov, v ktorých sú dáta účastníka zapuzdrované do paketov alebo rámcov. Typicky sa jedná o Ethernetové rámce, rámce protokolu **PPP** (*Point-to-Point Protocol*) či pakety **MPLS** (*MultiProtocol Label Switching*). Režim **PTM** je založený na štandardoch známych ako Ethernet in the First-Mile podľa IEEE 802.3ah. Konkrétne na riešení pre metalické prístupové siete vychádzajúce z **10-PASS-TS**.

Prípojka **VDSL2** môže nad fyzickou vrstvou podporovať viac nezávislých dátových kanálov a aj viac služieb, ktoré majú odlišné nároky na kvalitu služby. Typicky sa to môže týkať video prenosov, ktoré musia mať prioritu pred prenosmi s bežnými dátami. Dáta týchto služieb sú prenášané dvomi nezávislými cestami (*Latency Path*) s nezávisle nastaviteľnými parametrami ako je hĺbka prekladania a tým aj veľkosť oneskorenia (*Dual Latency*) a pod.

Kvalita služby je meradlo ako hodnotiť spokojnosť účastníka so službou, za ktorú platí a ktorú mu operátor poskytuje. Hodnotenie služby je pomerne komplikovaný proces. Na hodnotenie sa využívajú rôzne kritériá. Počínajúc napríklad úplne objektívnymi technickými kritériami ako je dosiahnutá prenosová rýchlosť alebo oneskorenie dát pri prenose. Končiac úplne subjektívnymi kritériami ako je prehľadnosť vyúčtovania alebo spokojnosť so zákazníckou podporou.

2.5 Možnosti prenosu dát

Blok **PMS-TC** má za úlohu zabezpečiť a prispôbiť dáta koncového účastníka do formátu vhodného na prenos prostredníctvom symetrického páru. Jednotlivé dátové toky účastníka prijíma od bloku **TPS-TC**. K týmto dátovým tokom blok **PMS-TC** pridáva záhlavie, formátuje ich do **VDSL2** rámcov, zabezpečuje znáhodnenie periodických postupností metódou skramblovania, pridanie bitov zabezpečenia a prekladanie. Uvedené postupy sú aplikované na každý dátový tok v ceste oddelene.



Základný postup spracovania dát v bloku PMS-TC.

Prenosové cesty prípojky **VDSL2** môžu byť všeobecne:

- bez prekladania dát – čiže s nízkym oneskorením pri prenose, čo je nutné pre prenosy v reálnom čase ale taktiež s nízkou odolnosťou proti impulznému rušeniu.
- s prekladaním dát – čiže s vyšším oneskorením pri prenose, ktoré nie je škodlivé napríklad pri prenose dát do siete Internet (zvyčajne prenos súborov protokolom **FTP** (*File Transfer Protocol*) ale tiež s vyššou odolnosťou proti impulznému rušeniu.



Prekladanie je postup, ktorý zvyšuje možnosť detekcie a korekcie chýb, ktoré vznikli impulzným rušením počas prenosu. Poškodené dáta je teda možné v koncovom zariadení opraviť a nie je nutné ich znovu zo zdroja dát prenášať. To zvyšuje efektivitu prenosu.



Nevýhodou prekladania je ale nárast oneskorenia pri prenose.

Prekladanie postupne vytvorený dátový rámec s dátami koncového účastníka rozdelí na určitý počet častí. Poradie jednotlivých častí sa definovaným spôsobom zamení (preloží). Takto upravený rámec sa vyšle do prenosovej cesty. Impulzné rušenie pri prenose môže spôsobiť zhuk chýb v prenášanom dátovom rámci. Na prijímacej strane sa časti poškodeného rámca znovu preusporiadajú do pôvodného poradia. Je veľmi pravdepodobné, že zhuk chýb sa pri znovu preusporiadaní rozdelí do rôznych častí rámca. Takto rozprestrené chyby je možné lepšie detekovať a opravovať pomocou Reed-Solomonovho kódovania (vid' nižšie). Nevýhoda spočíva v náraste oneskorenia (desiatky až stovky milisekúnd), pretože dátový rámec sa na vysielacej strane ihneď po zostavení nevysielala do vedenia, ale je nutné ho pozdržať pre preusporiadanie. Obdobne dôjde k zdržaniu aj na prijímacej strane. Výhodou prekladania je získanie vyššej odolnosti voči impulznému rušeniu, ktoré vadí predovšetkým pri video prenosoch kódovaných štandardmi **MPEG** (*Moving Picture Experts Group*). Pri video prenosoch s **MPEG** kódovaním sa vplyv impulzného rušenia prejavuje ako tzv. „štvorčekovanie obrazu“. Pre obnovenie obrazovej informácie je nutné čakať na prenos kľúčovej snímky.

2.6 Zabezpečenie prenosu proti chybám

V bloku **PMS-TC** sa prenášaná postupnosť dát skrambluje. Skramblovanie na vysielacej strane (deskramblovanie na prijímacej) má za úlohu odstrániť periodické postupnosti z prenášaného dátového toku. Obvykle sa skramblovanie/deskramblovanie realizuje ako posuvný register so zavedenými spätnými väzbami. Operácie skramblovania a deskramblovania musia byť úplne inverzné, aby vždy došlo k obnoveniu pôvodnej postupnosti dát.

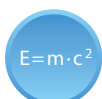


Znáhodnenie vysielanej postupnosti dát prináša nižšie nároky na potrebnú šírku frekvenčného pásma prenosovej cesty.

Prípojka **VDSL2** vykonáva, rovnako ako aj iné prípojky **xDSL**, zabezpečenie dátovej postupnosti proti chybám pri prenose. Na detekciu chýb sa používa zabezpečenie pomocou 8 bitového slova, ktoré vznikne klasickým výpočtom cyklického kódu **CRC** (*Cyclic Redundancy Check*).

Dopredné zabezpečenie proti chybám **FEC** je založené na *Reed-Solomonovom* (**RS**) kóde. Korekcia chýb v spojení s prekladaním poskytuje ochranu proti jednotlivým chybám a krátkym zhlukom chýb.

Pri kódovaní pomocou Reed-Solomonovho kódu vznikajú bloky vytvorené z pevného množstva dátových bajtov a pevného množstva zabezpečovacích bajtov. Počet zabezpečovacích bajtov môže byť celé číslo z intervalu 0 až 16. Celková postupnosť dát (vrátane zabezpečenia) môže mať 32 až 255 bajtov. Zjednodušene je možné povedať, že počet bajtov opraviteľných pomocou Reed-Solomonovho kódu je polovičný ako je počet použitých zabezpečovacích bajtov. Tento spôsob opravy chýb je veľmi účinný pre svoju nízku nadbytočnosť (zvyčajne sedempercentnú).



Pri konkrétnom stanovení parametrov na korekciu **FEC** a prekladanie je nutný kompromis medzi stupňom ochrany proti chybám a výsledným prenosovým oneskorením.

2.7 Varianty prípojky VDSL2

Nasledujúce kapitoly sa zaoberajú parametrami bloku **PMD**, prostredníctvom ktorého je koncové zariadenie pripojené k fyzickému prenosovému médiu – symetrickému páru.

VDSL2 prípojka sa vyskytuje v niekoľkých rôznych variantoch tak, aby bola schopná plniť úlohy pri rôznych prenosových podmienkach. V prílohách základného odporúčania ITU-T G.993.2 sú medzinárodnou štandardizačnou organizáciou určené tri základné typy prípojok **VDSL2**. V odporúčaní je špecifikované:

- Príloha A – **VDSL2** prípojka pre prístupovú sieť pre oblasť Severnej Ameriky,
- Príloha B – **VDSL2** prípojka pre prístupovú sieť pre oblasť Európy,
- Príloha C – **VDSL2** prípojka pre prístupovú sieť pre oblasť Japonska.

Spoločné pre všetky tri typy prípojky je blokové usporiadanie vnútorných obvodov a princípy týchto obvodov. Napríklad spôsob zabezpečenia dátového toku koncového účastníka pred jeho prenosom v prístupovej sieti (obvody pre synchronizáciu, skrambler, konvolučný kodér, modulátor, a pod.).

Všetky tri typy prípojok tiež na realizáciu dátových prenosov používajú výhradne moduláciu s viacerými nosnými **DMT** (*Discrete Multi-tone*).

Princípom tejto modulácie je rozdelenie celého využívaného frekvenčného pásma do radu vzájomne nezávislých subkanálov (niekedy tiež označovaných ako tónov alebo nosných). Šírka subkanála môže byť buď rovnaká ako pri staršej prípojke **ADSL** čiže 4,3125 kHz alebo dvojnásobná 8,625 kHz (iba pre pásmo 30 MHz). V každom jednom subkanáli sú dáta účastníka modulované kvadratúrnou amplitúdovou moduláciou **QAM**. Počet stavov modulácie prípojok **VDSL2** sa pohybuje medzi 4 až 32768, čo zodpovedá prenosu 2 alebo až 15 bitov jedným stavom modulácie. Modulačná rýchlosť je pre šírku subkanála 4,3125 kHz stanovená na 4 kBd a pre šírku subkanála 8,625 kHz je stanovená na 8 kBd. Na vytvorenie obojsmerného prenosu sa môže používať iba metóda frekvenčného delenia **FDD** (*Frequency Division Duplex*).

Pre prípojku **VDSL2** sú v jednotlivých prílohách odporúčania ITU-T G993.2, podľa typických parametrov prístupových telekomunikačných sietí daného regiónu, stanovené odlišné profily, frekvenčné plány a vysielačie masky spektrálnej výkonovej hustoty **PSD** (*Power Spectral Density*).

2.8 Profily prípojky VDSL2

Bolo už spomenuté, že navýšenie prenosových rýchlostí sa docielilo rozšírením využívaného frekvenčného pásma. Rozšírenie pásma ale znižuje maximálnu dĺžku účastníckeho vedenia, pretože dochádza k nárastu útlmu metalickej prenosovej cesty na vyšších frekvenciách. Preto sa s ohľadom na rozdielnosti v prístupových sieťach jednotlivých regiónov (Severná Amerika, Európa, Japonsko), na nutnosť realizovať dátové prenosy rôznych služieb a na ďalšie podmienky pre prípojky **VDSL2** stanovila rôzna šírka využívaného frekvenčného pásma tzv. profily VDSL2. Jednotlivé profily sa odlišujú hornou medznou frekvenciou, šírkou subkanála a maximálnym celkovým výkonom vysielaného signálu.

Spoločné parametre profilov prípojky VDSL2 pre Európu.

Profil	Max. výkon v smere downstream [dBm]	Max. výkon v smere upstream [dBm]	Šírka subkanála [kHz]	MBDC [Mbit/s]
8a	+17,5	+14,5	4,3125	50
8b	+20,5	+14,5	4,3125	50
8c	+11,5	+14,5	4,3125	50
8d	+14,5	+14,5	4,3125	50
12a	+14,5	+14,5	4,3125	68
12b	+14,5	+14,5	4,3125	68
17a	+14,5	+14,5	4,3125	100
30a	+14,5	+14,5	8,625	200

Frekvenčné pásmo ale nie je možné využívať ako jeden celok. Koncový účastník chce prostredníctvom svojho jediného metalického vedenia dáta odosielať aj prijímať. Preto je nutné frekvenčné pásmo rozdeliť aspoň na dve subpásma pre dva smery prenosu. Pre oddelenie smerov prenosu sa využívajú dve základné metódy. Prvou metódou je potlačenie ozvien **EC** (*Echo Cancellation*) a druhou frekvenčné delenie **FDD**.

i

Prípojka **VDSL2** môže využívať iba metódu frekvenčného delenia **FDD** (*Frequency Division Duplex*) s vyhradenými pásmami pre obidva smery prenosu a s deliacou frekvenciou medzi pásmami. Vďaka frekvenčnému deleniu je redukovaný vplyv presluchoch na blízkom konci **NEXT** (*Near End Cross Talk*). Pre túto vlastnosť je preto pre prípojky preferované **FDD**.

i

Parameter **MBDC** (*Minimum Bidirectional Net Data Rate*) predstavuje minimálnu hodnotu prenosovej rýchlosti, ktorá je definovaná ako súčet prenosových rýchlostí v obidvoch smeroch. Túto hodnotu **MBDC** musí koncové zariadenie dosiahnuť, aby mohlo byť klasifikované pre použitie v danom frekvenčnom profile. Rýchlosť

NDR (*Net Data Rate*) ponúkaná koncovému účastníkovi nezahŕňa nároky na prenos služobných informácií a bitov záhlavia medzi modemami **VDSL2**. Užitočná rýchlosť pri prenose používateľských dát však bude ešte nižšia než je hodnota **NDR**. Časť **NDR** musí byť využitá napríklad na prenos záhlaví rámcov Ethernet alebo paketov **IP**.

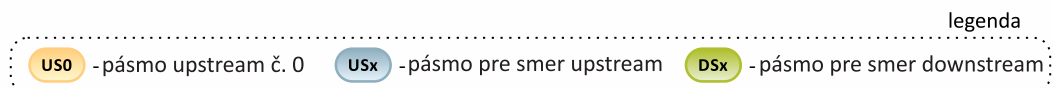
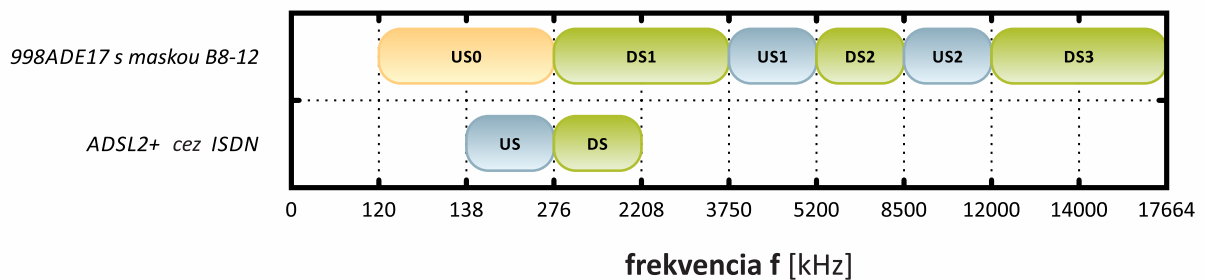
2.9 Delenie frekvenčného pásma

Pri **VDSL2** je situácia ešte o trochu zložitejšia. Prípojka **VDSL2** musí umožniť poskytovať služby, ktoré vyžadujú nielen asymetrické ale aj symetrické dátové prenosy. Z tohto dôvodu je nutné frekvenčné subpásma ešte ďalej rozdeliť na menšie časti a tieto časti vzájomne postupne striedať tak, aby sa docielili požadované rýchlosti dátových prenosov v oboch smeroch pri zohľadnení rastúceho útlmu prenosovej cesty. Spôsob striedania a šírku jednotlivých frekvenčných subpásiem určuje takzvaný frekvenčný plán. Subpásma pre zostupný smer prenosu (downstream) sa označujú a číslujú ako: D1, D2, D3, D4. Subpásma pre vzostupný smer prenosu (upstream) sa označujú a číslujú ako: US0, US1, US2, US3, US4.



Pre prípojku **VDSL2** existujú dva hlavné frekvenčné plány, ktoré vychádzajú z plánov pre prípojku **VDSL**. Plán označovaný ako 998 je vhodný pre asymetrické dátové prenosy. Plán označovaný ako 997 je vhodný pre služby, ktoré vyžadujú symetrické dátové prenosy.

frekvenčný plán



Obrázok ilustruje spôsob využívania frekvenčného pásma prípojky ADSL2+over ISDN a prípojky VDSL2 pracujúcej v pásme do 17 MHz s frekvenčným plánom 998ADE17.

2.10 Frekvenčné plány pre symetrické dátové prenosy

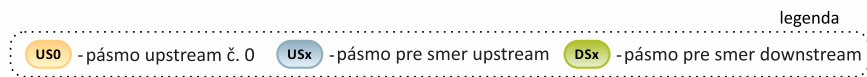
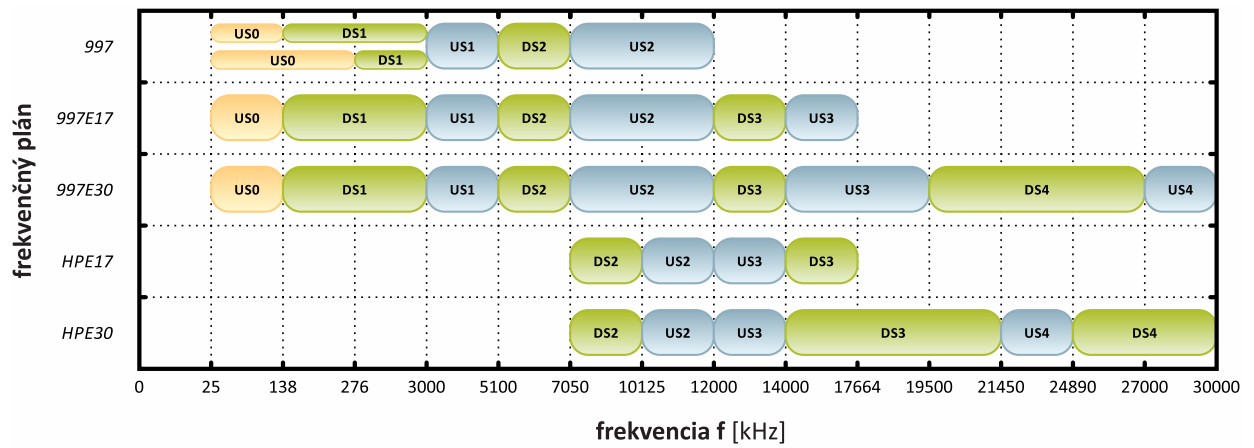
S využitím symetrických dátových prenosov sa počíta predovšetkým pre malé a stredné firmy, ktorých zamestnanci potrebujú dáta zo siete Internet nielen sťahovať ale aj rýchlo odosielať. Príkladom služby so symetrickými prenosovými rýchlosťami môže byť stále populárnejšia videokonferencia, ktorá sa realizuje namiesto klasických pracovných schôdzok.

V predchádzajúcej kapitole bolo skonštatované, že práve pre symetrické dátové prenosy je určený základný frekvenčný plán 997. Tento plán je ďalej podrobnejšie delený na:

- 997 – základný frekvenčný plán s obvyklým striedaním pásiem pre zostupný a vzostupný smer prevzatý od prípojky **VDSL**,
- 997E – frekvenčný plán s obvyklým striedaním pásiem pre zostupný a vzostupný smer predĺžený do 17 MHz respektíve do 30 MHz,
- HPE – špeciálny frekvenčný plán pre prípojky pracujúce medzi 7,05 MHz a 30 MHz (profily 17a, 30a).

Príklad parametrov frekvenčného plánu 997E pre jednotlivé profily prípojky VDSL2 v Európe.

Profily VDSL2	Najvyšší využívaný subkanál	Horná medzná frekvencia pre downstream [MHz]	Horná medzná frekvencia pre upstream [MHz]
8a	2047	7,05	8,832
8b	2047	7,05	8,832
8c	1182	7,05	5,1
8d	2047	7,05	8,832
12a	2782	7,06	12
12b	2782	7,05	12
17a	4095	14	17,664
30a	3478	27	30



Striedanie jednotlivých pásiem frekvenčných plánov pre symetrické dátové prenosy.

2.11 Frekvenčné plány pre asymetrické dátové prenosy

Asymetrické dátové prenosy sa predpokladajú skôr pri domácich účastníkoch, kedy je prenosová rýchlosť v smere downstream podstatne vyššia ako prenosová rýchlosť v opačnom smere.



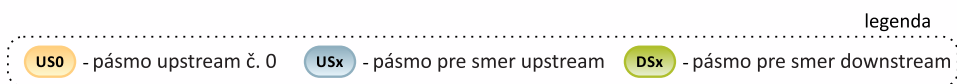
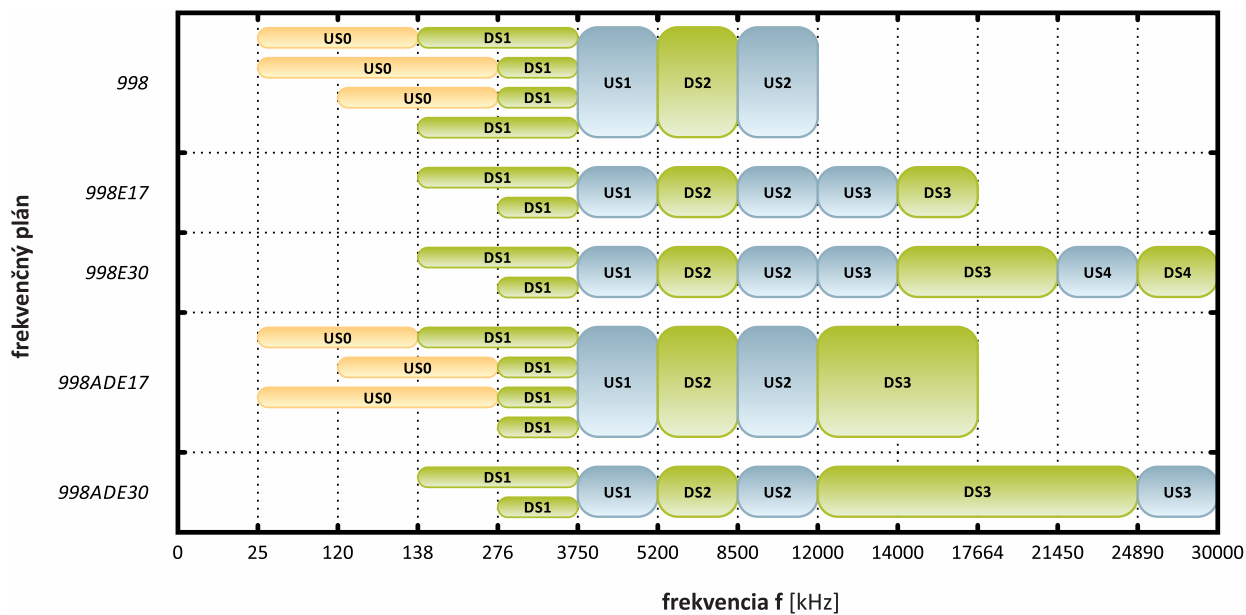
S ohľadom na počet subpásiem pre smer upstream, by však mala prípojka **VDSL2** aj v asymetrickom režime dosahovať vyššie prenosové rýchlosti ako je tomu u staršej prípojky **ADSL**.

Základný frekvenčný plán 998 sa ďalej delí na:

- 998 – základný frekvenčný plán s obvyklým striedaním pásiem pre zostupný a vzostupný smer prevzatý od prvej generácie prípojky **VDSL**,
- 998E – frekvenčný plán s obvyklým striedaním pásiem pre zostupný a vzostupný smer predĺžený do 17 MHz respektíve do 30 MHz,
- 998ADE – frekvenčný plán určený pre dátové prenosy s výrazne asymetrickými rýchlosťami.

Príklad parametrov frekvenčného plánu 998ADE pre jednotlivé profily prípojky VDSL2 v Európe.

Profil VDSL2	Najvyšší využívaný subkanál	Horná medzná frekvencia pre downstream [MHz]	Horná medzná frekvencia pre upstream [MHz]
8a	1971	8,5	5,2
8b	1971	8,5	5,2
8c	1971	8,5	5,2
8d	1971	8,5	5,2
12a	1971	8,5	12
12b	1971	8,5	12
17a	4095	17,664	12
30a	2479	24890	30



Striedanie jednotlivých pásiem frekvenčných plánov pre asymetrické dátové prenosy.

2.12 Masky spektrálnej výkonovej hustoty pre plány 997

Doteraz sme sa zoznámili s definovanými profilmi prípojky **VDSL2** a s definovanými frekvenčnými plánmi. Frekvenčné plány určujú aké frekvencie sa môžu využívať pre downstream alebo upstream. Na úplnú definíciu vysielacích parametrov je ale ešte nutné určiť maximálne úrovne výkonu vysielaného signálu. Definovanie výkonovej úrovne sa deje prostredníctvom masiek spektrálnej výkonovej hustoty **PSD**. Maska predstavuje najvyššie hodnoty výkonu vysielaného signálu na konkrétnej frekvencii.

Masky PSD korešpondujú s konkrétnym frekvenčným plánom. V tabuľke sú uvedené ich základné parametre. Okrem úrovni vysielaného signálu sa jednotlivé masky odlišujú aj napríklad využívaním alebo nevyužívaním upstream pásma US0. Na obrázku je uvedený priebeh masky *997E17-M2x-A*. Parametre ostatných masiek pre Európu sú uvedené v príslušnej prílohe odporúčania ITU-T G.993.2.

Základné parametre masiek PSD pre frekvenčné plány 997.

Krátke meno	Dlhé meno	Využitie pásma US0	Horná medzná frekvencia pre upstream alebo downstream [kHz]
B7-1	997-M1c-A-7	A	7050
B7-3	997-M1x-M	M	12000
B7-7	HPE17-M1-NUS0	N/A	17664
B7-8	HPE30-M1-MUS0	N/A	30000
B7-9	997E17-M2x-A	A	17664
B7-10	997E30-M2x-MUS0	N/A	30000

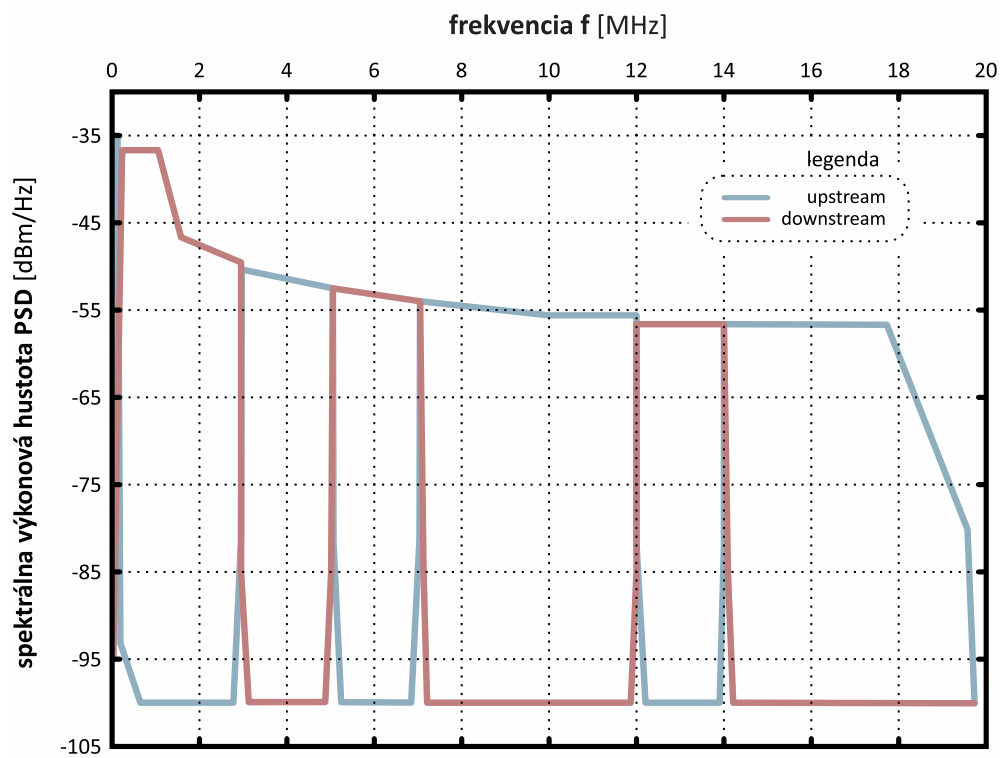


Pre upstream pásmo US0 platia u jednotlivých masiek nasledujúce podmienky:

A – korešponduje s prílohou A v odporúčaní ITU-T G.992.5,

M – korešponduje s prílohou M v odporúčaní ITU-T G.993.2 alebo G.992.5,

N/A – pásmo US0 nie je využívané pre prenos dát.



Maska PSD 997E17-M2x-A s vyznačenými smermi prenosu.

2.13 Masky spektrálnej výkonovej hustoty pre plány 998

Pre plán 998 je v odporúčaní pre prípojku **VDSL2** definovaných celkovo 17 masiek. Preto si ako príklad uvedieme iba parametre pre dve masky **PSD**, ktoré sú používané v prístupovej sieti najväčšieho telekomunikačného operátora v ČR.

Základné parametre masiek PSD, ktoré sú používané v prístupovej sieti v ČR.

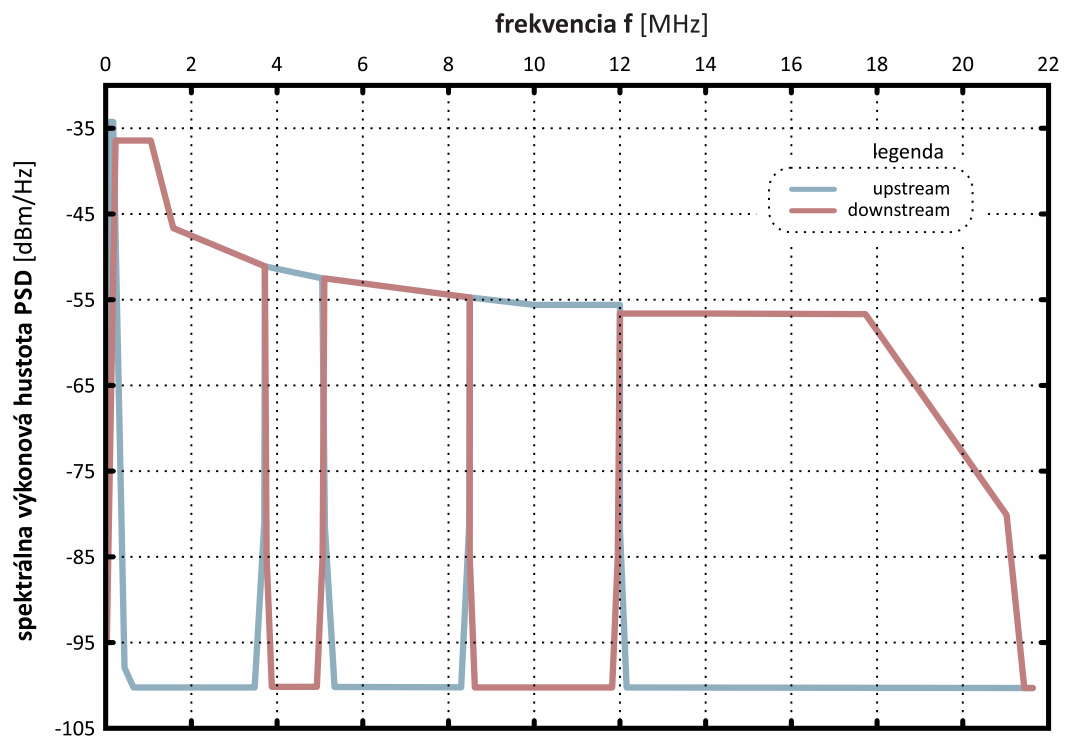
Krátke meno	Dlhé meno	Využitie pásma US0	Horná medzná frekvencia pre upstream alebo downstream [kHz]
B8-6	997-M2x-B	B	12000
B8-12	998ADE17-M2x-B	B	17664



Pre upstream pásmo US0 platí v jednotlivých maskách nasledujúca podmienka:

B – korešponduje s prílohou B v odporúčaní ITU-T G.992.5.

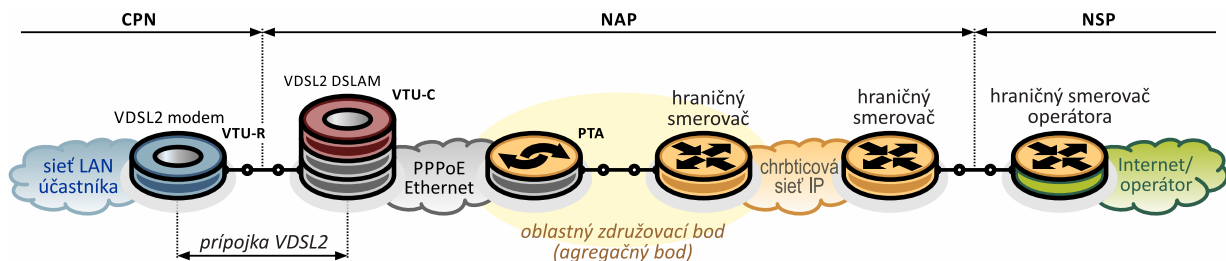
Obidve masky **PSD** využívajú pre prenos používateľských dát aj upstream pásmo označené ako US0. Voľba týchto masiek zabezpečuje vhodné vlastnosti v oblasti spektrálnej kompatibility s už inštalovanými prípojkami **ADSL/ADSL2+**. Prípojky totiž využívajú rovnaké frekvenčné pásma pre rovnaké smery prenosu, čím dochádza k eliminácii presluchoch typu **NEXT**.



Maska PSD 998ADE17-M2x-B s vyznačenými smermi prenosu.

2.14 Prenosový reťazec prípojky VDSL2

Kompletná architektúra siete pre vysokorychlostné dátové prenosy a prístup k sieti Internet prostredníctvom prípojok **xDSL** je zobrazená na obrázku.



Prenosový reťazec prípojky VDSL2.

Architektúru siete je možné všeobecne rozdeliť na tri časti:

- účastnícka sieť **CPN** (*Customer Premises Network*),
- poskytovateľ pripojení **NAP** (*Network Access Provider*),
- poskytovateľ služieb **NSP** (*Network Service Provider*).

Výrazným rysom uvedenej koncepcie je rozdelenie na poskytovateľa pripojení a poskytovateľa služieb. Obidve úlohy môže plniť jediný subjekt, ale v súvislosti s rôznorodosťou služieb a konkurenčným prostredím v telekomunikáciách je účelné úlohy oddeľovať.

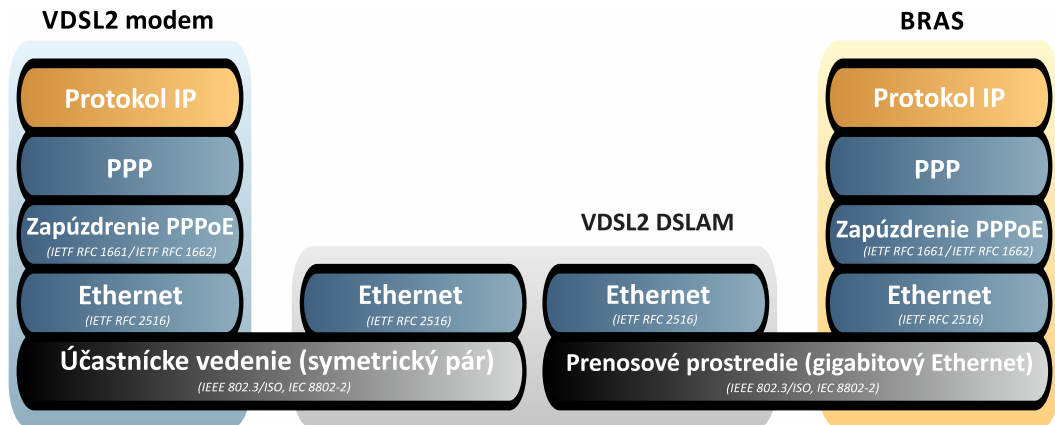
Do pojmu účastnícka sieť je možné zahrnúť všetko, čo nadväzuje na ukončujúci bod siete poskytovateľa pripojení (obvykle telekomunikačnú zásuvku), t.j. koncové zariadenia, terminály, miestne dátové rozvody a lokálne siete **LAN**.

Poskytovateľ pripojení **NAP** prevádzkuje technológiu pre fyzický prenos signálov od účastníkov k telekomunikačným uzlom. V prípade prípojok **VDSL2** je **NAP** tvorený metalickými symetrickými párami (kovovým vedením), ktoré vedú od **CPN** a sú ukončené v prístupových multiplexoroch **DSLAM**. Multiplexory pripája poskytovateľ pripojení na svoju vlastnú chrbticovú sieť, z ktorej existuje nadväznosť na poskytovateľa služieb.

Zdroje dát, ktoré sa prenášajú cez **NAP** sa nachádzajú v sieti poskytovateľa služieb **NSP**. Môže sa napríklad jednať iba o jednu spoločnosť, typicky spoločnosť prevádzkujúcu archív TV relácií alebo môže byť **NSP** tvorené de facto celosvetovou sieťou Internet.

2.15 Protokolová štruktúra prípojky VDSL2

Vzájomné spojenie medzi účastníkom, poskytovateľom pripojení a poskytovateľom služieb môže byť všeobecne postavené na rôznych protokolových architektúrach. V dnešnej dobe sa využíva predovšetkým štandard Ethernet, protokol **PPP** (*Point-to-Point Protocol*) a rodina protokolov **TCP/IP**.



Protokolová štruktúra prípojky VDSL2 pre prenos dát v režime PTM.

Pre prípojky **VDSL2** v režime **PTM** je prenos paketov protokolu **IP** riešený pomocou protokolu **PPP**, ktorý je vkladáný do rámcov Ethernetu (*PPP over Ethernet*). V mieste ukončenia spojení **PPP** sa vykonáva autentifikácia, autorizácia, účtovanie, pridelovanie IP adries v rámci **PPP** spojení, agregovanie dátových tokov a ďalšie služby. Uvedené služby plní širokopásmový prístupový server **BRAS** (*Broadband Access Server*) poskytovateľa pripojení v agregáčnom bode. Od servera **BRAS** sú dáta koncového účastníka ďalej transportované do siete Internet alebo k jednotlivým poskytovateľom služieb prostredníctvom **VPN** (*Virtual Private Network*). Celé toto riešenie sa označuje ako variant **PTA** (*PPP Terminated Aggregation*).

3 Vysokorychlostné prípojky podľa štandardu G.fast

3.1 Štandard G.fast - základné vlastnosti

O štandarde G.fast sa v literatúre hovorí ako o 4. generácii systémov **xDSL**. Počiatky vývoja tohto štandardu sa datujú na začiatok februára 2012. Štandardizácia potom prebehla v roku 2014. Cieľom nového štandardu prípojok **xDSL** je hneď niekoľko:

- dosiahnutie vyšších prenosových rýchlostí ako pri existujúcich prípojkách typu **xDSL** – až 500 Mbit/s na cca 100 m, resp. 150 Mbit/s na cca 250 m (uvažuje sa aj o rýchlostiach do 1 Gbit/s)
- využitie krátkych dĺžok účastníckych vedení, tzv. **FTTdb** (*Fiber To The distribution point*) – umiestnenie distribučných uzlov veľmi blízko koncových účastníkov (do 250 m) – obdoba konceptu **FTTB** (*Fiber To The Building*)
- inverzné napájanie
- možnosť samoinštalácie služby s parametrami optickej prípojky a jednoduchosťou prípojky **xDSL**

Všetky vyššie uvedené ciele súvisia veľmi úzko s dvomi kľúčovými oblasťami. Prvou oblasťou je problematika spôsobu zvyšovania priepustnosti. Druhou oblasťou je oblasť zvyšovania spoľahlivosti. Priepustnosť prípojky je možné navýšiť dvomi spôsobmi:

- rozšírením frekvenčného pásma – túto možnosť využívali aj predchádzajúce generácie systémov **xDSL** s požiadavkou na spektrálnu kompatibilitu so systémami **VDSL2**

Maska **PSD** (*Power Spectral Density*):

- začiatok na 138 kHz; 2,5 MHz; 18 MHz a 30 MHz
- koniec na 106 MHz; 212 MHz a 300 MHz

Rešpektovanie ďalších frekvenčných pásiem ako je vysielanie **VKV** (obvykle tzv. „západná norma“ v Európe), vysielanie **DAB** (*Digital Audio Broadcast*) – tzv. III. TV pásmo 174 až 240 MHz.

- potlačením presluchov – proces eliminácie presluchov typu **FEXT** (*Far End Cross Talk*) pomocou vhodnej modulácie typu **VDMT** (*Vectored Discrete Multi Tone*)

Zvýšenie spoľahlivosti celého systému umožňujú nasledujúce dva mechanizmy:

- inverzné multiplexovanie,
- fantómové okruhy.



Na rozdiel od prípojok **ADSL** a **VDSL**, ktoré používajú frekvenčný duplex **FDD** sa pri prípojkách s extrémnou šírkou pásma používa časový duplex **TDD**. To umožňuje ďaleko efektívnejšie a flexibilnejšie pridelovanie prenosovej kapacity. Eliminuje tiež rozhodovanie s pridelovaním pásiem pre jednotlivé smery prenosu. Časová synchronizácia nie je problém, pretože musí byť riešená už s ohľadom na moduláciu **VDMT**.

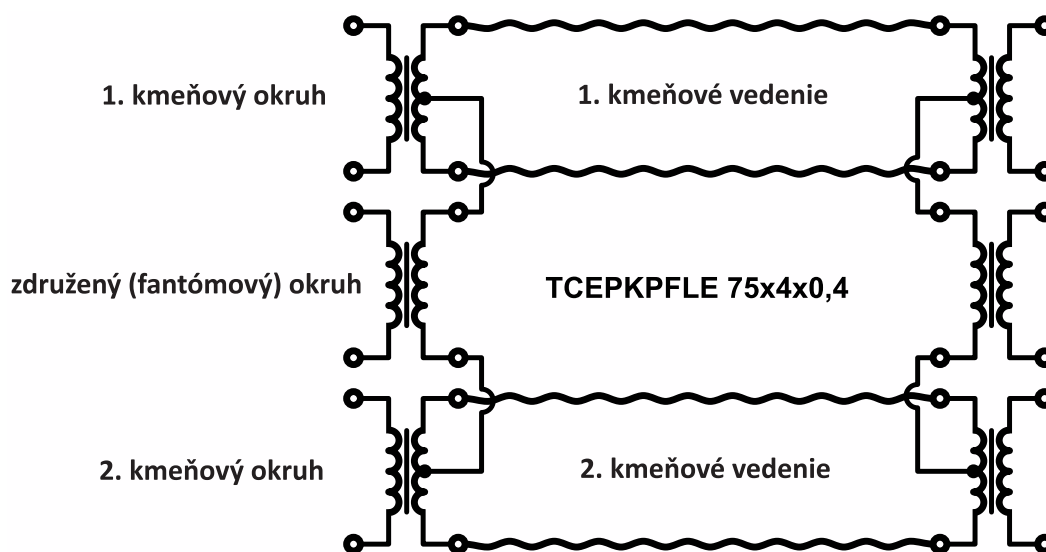
Zavedenie časového duplexu **TDD** umožňuje jednoduchú podporu úsporných režimov. V kontexte s režimom časového duplexu **TDD** sú zavedené povinné deliace pomery 90/10 a 50/50, nepovinné deliace pomery sú potom od 50/50 do 10/90.

Medzi posledné zmienené, avšak kľúčové vlastnosti štandardu G.fast, patrí implementácia adaptívnej modulácie **DMT** s povinnou podporou **VDMT**.

3.2 Využitie fantómových okruhov



Fantómové okruhy sa v minulosti používali pri diaľkových telefónnych vedeniach na zvýšenie prenosovej kapacity. Princípom je naviazanie signálu do stredu transformátora dvoch vedení a tým vytvorenie ďalšieho okruhu. Využitie tohto princípu je obmedzené smerom k narastajúcej frekvencii nemožnosťou precízneho vyváženia symetrizačných transformátorov a narastajúcimi presluhmi medzi základnými okruhmi a fantómovým okruhom. Uvedené javy je možné eliminovať potlačovaním presluchoch pomocou modulácie **VDMT** a tým dosiahnuť napr. sumárnu rýchlosť až takmer 500 Mbit/s v každom zo smerov na dĺžke kábla 400 m.



Princíp fantómového okruhu

Prenosové rýchlosti pre vysokorýchlostné systémy xDSL modelované na kábli s dĺžkou 400 m

Modelovanie pri dĺžke kábla 400 m	Frekvenčný plán VDSL2 do 17 MHz		Frekvenčný plán VDSL2 do 30 MHz	
	downstream [Mbit/s]	upstream [Mbit/s]	downstream [Mbit/s]	upstream [Mbit/s]
2 vedenia plus fantóm	150	67	176	80
2 vedenia	166	92	226	118
2 vedenia plus fantóm s potlačovaním presluchoch	382	243	493	449



Okrem fantómových okruhov je možné realizovať ešte tzv. superfantóm pomocou 4 vedení. Tak je možné získať celkovo 7 okruhov: 4 základné, 2 fantómové a medzi nimi jeden superfantóm.



Okrem fantómových okruhov sa realizovali pokusy s prenosom v tzv. súhlasnom móde, kedy sú jednotlivé vodiče párov brány ako samostatné prenosové cesty. Vznikajúce silné presluchy je možné kompenzovať použitím **VDMT** modulácie. Týmto riešením sa ale pripravíme o výhodu symetrických vedení, t.j. značnej odolnosti proti okolitému rušeniu. Z dôvodu značného vzájomného rušenia medzi vedeniami a okolím sa preto tento spôsob prakticky neujal.

3.3 Napájanie optického uzla z používateľského modemu

Pri klasických analógových a základných prípojkách **ISDN** sa realizuje napájanie koncového zariadenia z ústredne (typicky napätie zdroja 60 V a napájací prúd v desiatkach mA). Pri prípojkách s extrémnou rýchlosťou podľa špecifikácie s pracovným označením G.fast sa počíta s opačným tokom napájania.

Z účastníckeho modemu bude napájaný uzol (mini **DSLAM**) v tzv. distribučnom bode. Dôvodom prístupu k takémuto riešeniu sú už mnoho rokov riešené problémy s napájaním zariadení umiestnených v prístupovej sieti medzi ústredňou telekomunikačného operátora a účastníkom.



Zariadenie v distribučnom bode je pripojené k sieti operátora optickým vláknom, takže nie je možné vzdialené napájanie po signálovom vedení.



Vyriešiť miestne napájanie z rozvodnej siete je väčšinou problematické. Logickým vyústením je teda napájanie z účastníckej strany, kde je ale nutná sumarizácia napájacieho výkonu od niekoľkých účastníkov naraz.

3.4 Vektorová modulácia – VDMT

Modulácia **DMT** je využívaná prípojkami **xDSL** pre maximálne efektívne využitie potenciálu metalických symetrických párov a umožňuje vhodne reagovať na existenciu úzkopásmového rušenia vo využívanom frekvenčnom kanáli. Pri prípojkách **xDSL** s moduláciou **DMT** sa vďaka charakteru prenosového prostredia zdieľaného metalického kábla môžu ďalej navýšiť dosiahnuteľné prenosové rýchlosti použitím tzv. vektorovej modulácie **DMT (VDMT, Vectored DMT)**.

Dominantnou zložkou rušenia, ktorá limituje prenosové rýchlosti prípojok **xDSL**, je rušenie presluchmi.

Presluch je prenos signálu kapacitnými a induktívnymi väzbami medzi jednotlivými párami. Takto prenesený signál, napríklad z prvého páru do druhého páru, pôsobí v druhom páre ako negatívne rušenie a znižuje **SNR** a tým aj výslednú prenosovú rýchlosť. Vzhľadom k tomu, že zabrániť presluchom nie je možné z dôvodu konštrukcie metalického kábla a vlastností elektromagnetického vlnenia, je nutné eliminovať účinky presluchov na prenášaný užitočný signál. Eliminácia presluchov zabezpečí zlepšenie **SNR** a vyššiu dosiahnuteľnú prenosovú rýchlosť. Podľa miesta merania presluchov rozlišujeme presluch na blízkom konci **NEXT (Near End Cross Talk)** a vzdialenom konci **FEXT (Far End Cross Talk)**. Presluch **NEXT** je možné eliminovať pomocou frekvenčného delenia smerov prenosu. Veľkosť presluchov **FEXT** je preto pre prípojky **xDSL** kľúčová.

Modulačný princíp **VDMT** využíva prepracovanosť matematického aparátu popisujúceho parametre symetrických párov a vzájomné presluchové väzby medzi párami. Pri eliminácii je nutné rozlišovať smer prenosu.

V smere downstream **VDMT** využíva skutočnosť, že zariadenie **DSLAM** je spoločným prvkom pre všetky prípojky **xDSL** prevádzkované vo zväzku metalického kábla. V **DSLAM** teda máme k dispozícii na jednom mieste informáciu o **DMT** symboloch, ktoré budú v nasledujúcom okamihu vyslané do úseku metalického vedenia (máme teda vektor hodnôt **DMT** symbolov – preto vektorová modulácia **DMT**). V **DSLAM** poznáme tiež parametre jednotlivých symetrických párov a presluchové väzby medzi nimi (známe sú z procesu naviazovania spojenia). Vzhľadom na to je možné upraviť vysielané **DMT** symboly s ohľadom na prenosové prostredie, ktorým budú prenášané. Na prijímacej strane v modeme koncového účastníka potom budú mať symboly teoreticky ideálny priebeh a parametre vhodné pre bezchybnú detekciu. Problematika synchronizácie vysielania je tiež jednoduchšie riešiteľná pretože **DSLAM** je centrálnym prvkom. Synchronizácia vysielania všetkých **DMT** symbolov je nutná. Vysielané symboly na seba musia prostredníctvom presluchových väzieb definovane pôsobiť tak ako bolo vypočítané pri ich úprave.

V smere upstream nie je možné upravovať vysielaný symbol v koncovom zariadení účastníka. To by kládlo zvýšené nároky na vybavenie a výpočtovú výkonnosť koncového zariadenia. Navyac koncové zariadenie nikdy nemôže mať informácie o symboloch, ktoré sú vysielané ostatnými prípojkami v metalickom kábli. Preto je nutné upravovať prijímaný signál opäť v **DSLAM** (centrálnom prvku) pomocou špeciálneho bloku potlačovača presluchov. Dôležitou otázkou je nutná

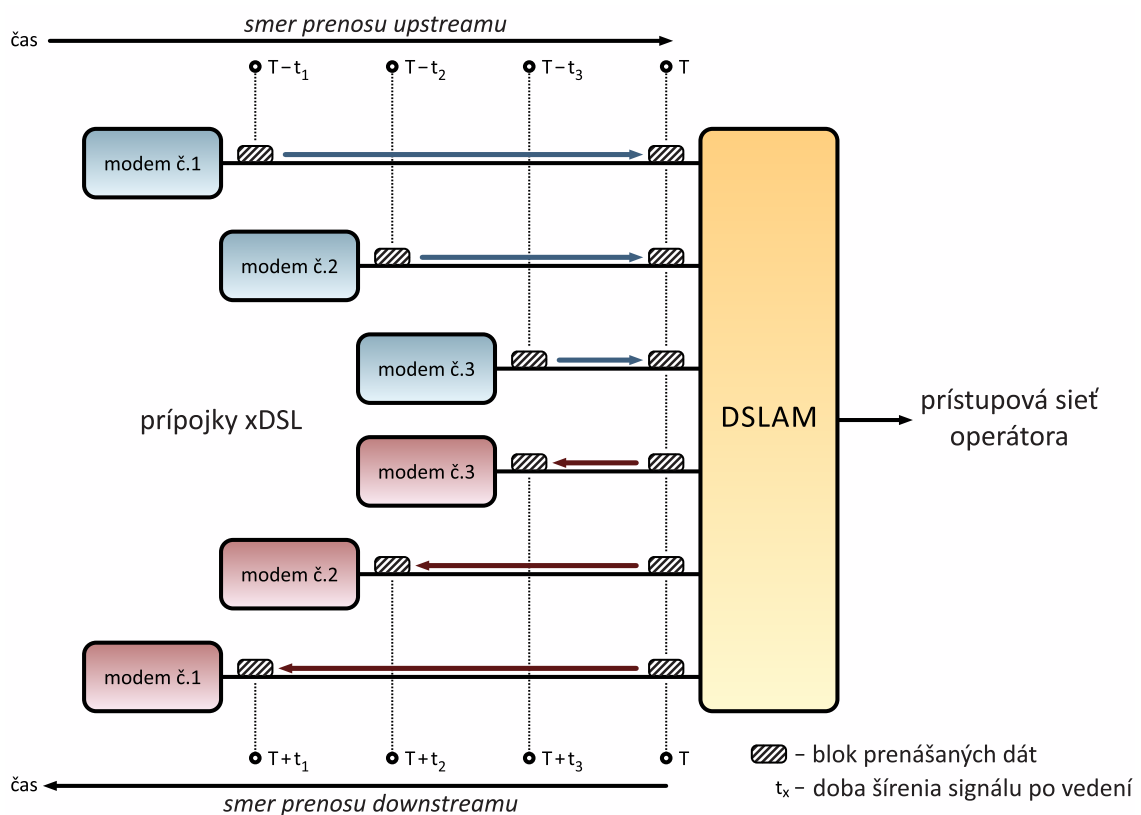
synchronizácia vysielania od koncových účastníkov smerom k **DSLAM** s ohľadom na rôzne dĺžky účastníckych vedení.

VDMT je rozšírením modulácie **DMT** pre viacpoužívateľské prostredie. Rieši problém systému typu **MIMO** a eliminuje presluch typu **FEXT**. Presluch typu **NEXT** je eliminovaný vďaka frekvenčnému deleniu smeru prenosu.

S ohľadom na spoločné umiestnenie modemov v **DSLAM** je možné zabezpečiť synchronónne vysielanie **DMT** symbolov v smere downstream. Zabezpečiť synchronónny prenos symbolov od používateľov k prístupovému multiplexoru **DSLAM** je vzhľadom k rôznym dĺžkam jednotlivých prípojek zložitejšia, ale je možné napríklad využiť metódu Zipper FDD.

Synchronizácia v smere upstream má paralelu v postupoch pre riadenie prístupu k médiu v zdieľanom prostredí bod – mnoho bodov ako sú pasívne optické siete a rádiové siete **LDMS** (*Local Multipoint Distribution System*). Vysielanie v účastníckych modemoch musí byť časované s rešpektovaním rôznych dôb šírenia signálov po vedení od rôzne vzdialených účastníkov.

Metóda Zipper FDD využíva cyklickú príponu (**CS**). Tá je na rozdiel od cyklickej predpony (**CP**) vkladaná za **DMT** symbol. Dĺžka **CS** musí byť rovná alebo väčšia ako je maximálny rozdiel oneskorení v šírení signálov kanálmi. Metóda Zipper FDD eliminuje aj zvyškový presluch **NEXT**. Nevýhodou však je opätovné zníženie prenosovej rýchlosti.



Princíp synchronizácie symbolov prípojek xDSL v smere upstream.

3.5 Výhody a nevýhody VDMT

Hlavná výhoda modulačného princípu **VDMT** už bola spomenutá.

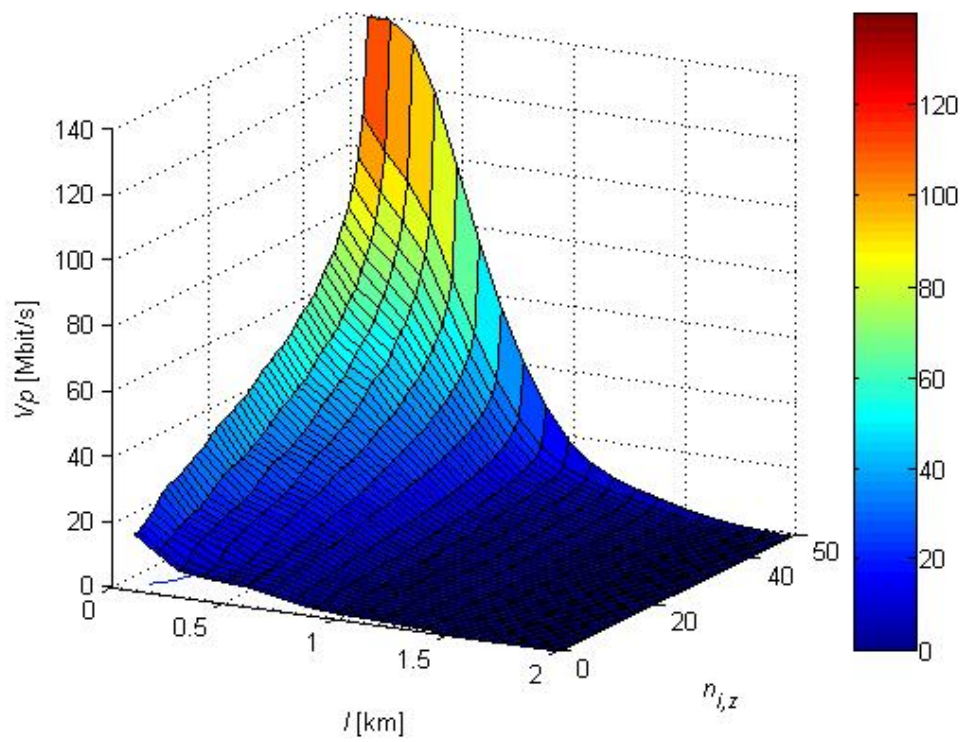


Zmyslom modulačného princípu **VDMT** je eliminovať rušenie presluchmi a tým docieľiť vyššie dosiahnuteľné prenosové rýchlosti prípojok **xDSL**.

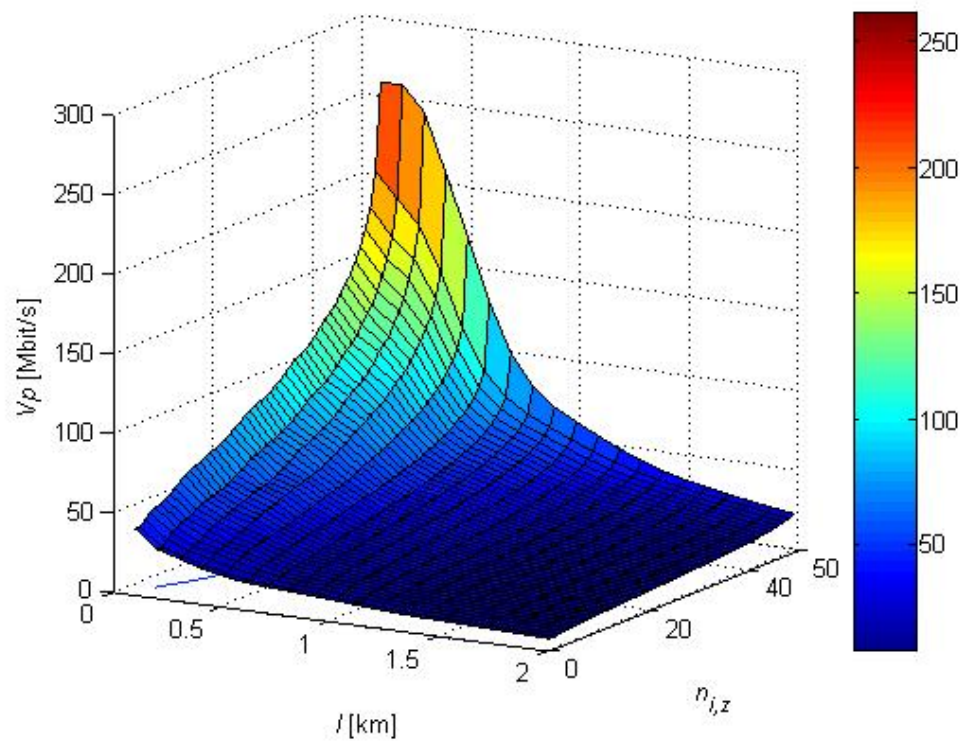
Proces potlačovania presluchov sa nazýva termínom koordinácia. Pri modulácii **VDMT** tak hovoríme o koordinácii vysielaní jednotlivých prípojok vo zväzku metalického kábla.

Vzhľadom na to, že je možné princípy a parametre prípojok opísať analytickými modelmi, je možné relatívne jednoducho zrátať prínosy modulácie **VDMT**. V závislosti na počte koordinovaných prípojok sa zvyšuje dosiahnuteľná prenosová rýchlosť sledovanej prípojky. Nasledujúca simulácia bola vykonaná pre prípojku **VDSL2** s frekvenčným plánom B8-13, ktorý má šírku pásma až do 30 MHz. Tento frekvenčný plán dovoľuje bežne dosiahnuť prenosové rýchlosti nad 100 Mbit/s. Grafická interpretácia navýšenia prenosovej rýchlosti pre smer upstream a downstream je zobrazená na nasledujúcich obrázkoch.

Pre potreby simulácie bol uvažovaný zväzok metalického kábla s 50 symetrickými párami s priemerom žíl 0,4 mm (kábel TCEPKPFLE 50×4×0,4 mm). Prínosy koordinácie boli modelované aj v závislosti od dĺžky účastníckej prípojky. Tá sa pohybovala od 0,1 km do 2 km s krokom po 0,1 km. Počet koordinovaných prípojok sa postupne zvyšoval od 0 do 49. Pričom pri päťdesiatej prípojke sledujeme výkonnosť prenosu (dosiahnuteľnú prenosovú rýchlosť). Zväzok metalického kábla je teda prípojkami **VDSL2** plne obsadený.



Prínosy koordinácie pre smer upstream a prípojku VDSL2 B8-13.



Prínosy koordinácie pre smer downstream a prípojku VDSL2 B8-13.

Pri analýze prínosov **VDMT** je možné pre tento modelový prípad vyčítať, že pre dĺžku účastníckeho vedenia 0,5 km je možné bez akejkoľvek koordinácie (plné obsadenie všetkých párov prípojkami **xDSL**) dosiahnuť v smere downstream prenosové rýchlosti 16,676 Mbit/s. Pokiaľ budeme koordinovať vysielanie našej prípojky a jednej ďalšej prípojky, ktorá spôsobuje najväčší presluch do našej sledovanej prípojky, budeme schopní dosiahnuť prenosové rýchlosti v smere downstream 19,84 Mbit/s. Pokiaľ budeme koordinovať vysielania od piatich okolitých prípojok, dosiahneme 27,960 Mbit/s. Pri koordinácii dvadsiatich siedmich dosiahneme rýchlosť 50,868 Mbit/s. Pokiaľ budeme vykonávať tzv. plnú koordináciu prípojok, dosiahne naša sledovaná prípojka v smere downstream rýchlosť 170,720 Mbit/s. Prínosy **VDMT** sú tak zrejmé.

Modulácia **VDMT** má ale aj podstatné nevýhody.



Nevýhodou modulácie **VDMT** je vysoká výpočtová náročnosť pri koordinácii vysielaní.

Princípom **VDMT** je upraviť každý aktuálne vysielaný **DMT** symbol na každom symetrickom páre s ohľadom na aktuálne parametre prenosového prostredia. Je teda zrejmé, že pre plnú koordináciu všetkých prípojok s **DMT** moduláciou je nutné poznať funkcie popisujúce presluchové väzby medzi všetkými párami vedení, prenosové funkcie jednotlivých vedení a aktuálne vysielané **DMT** symboly všetkých koordinovaných prípojok. Pre metalické káble so stovkami symetrických párov bude vykonávanie úplnej koordinácie prevádzky veľmi náročné na výpočty súvisiace s úpravou **DMT** symbolov a na výpočty súvisiace so získavaním parametrov prenosového prostredia. Je možné vypočítať, že napríklad iba pre 50 prípojok **VDSL2** s počtom subkanálov 4096 a modulačnú rýchlosť 4 kBd sa bude musieť každú sekundu vykonať v príslušnom **DSLAM** (len pri úpravách vysielaných **DMT** symbolov) $40,960 \cdot 10^9$ matematických operácií. Ďalší výpočtový výkon je potrebný pri nadväzovaní spojení, kontrole a riadení aktuálnych spojení, atď.



Modulácia **VDMT** má prínosy iba v situácii, kedy v prenosovom prostredí využívajú všetky systémy **DMT** moduláciu. Táto podmienka vyplýva zo samotného princípu **VDMT**.