

**Tihomir Fabeta****Tihomir Fabeta**

Ericsson Nikola Tesla d.d., Zagreb, Hrvatska  
Ericsson Nikola Tesla d.d., Zagreb, Croatia

**Ključne riječi:****Širokopojasne pristupne mreže****ADSL****VDSL2****Ethernet****Topologija pristupnih mreža****Key words:****Broadband Access Networks****ADSL****VDSL2****Ethernet****Access Network Topology****Sažetak**

Današnje informacijsko društvo nezamislivo je bez komunikacije bazirane na širokopojasnim (*broadband*) pristupnim tehnologijama. Širokopojasno tržište trenutačno broji preko 290 milijuna korisnika, a najveći segment širokopojasnog tržišta, 200 milijuna korisnika, otpada na pristup putem digitalnih pretplatničkih linija (DSL - *Digital Subscriber Line*) koje omogućuju korištenje postojeće bakrene infrastrukture za pružanje novih usluga krajnjim korisnicima.

Pristup putem asimetričnih digitalnih pretplatničkih linija druge generacije (ADSL2+ - *Asymmetric Digital Subscriber Line*) i pristup putem veoma brzih digitalnih pretplatničkih linija (VDSL2 - *Very high speed DSL 2*) su tehnologije koje će imati važnu ulogu u dalnjem razvoju pristupnih mreža. Ovaj članak opisuje te dvije tehnologije kao i njihovu primjenu u razvoju širokopojasnih pristupnih mreža.

**Abstract**

*Today's information society is characterized by communication based on broadband access technology. There are currently over 290 million users of the broadband access in the world, and the largest segment of the broadband market constitute 200 million users of Digital Subscriber Line (DSL) that enable the use of the existing copper infrastructure for offering new services.*

*Access via Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL2+) and Very high speed DSL 2 (VDSL2) will have a very important role in further development of access technologies. This article describes these two technologies and their application in development of broadband access technologies.*

## 1. Uvod

Uvođenje širokopojasnih tehnologija na telekomunikacijsko tržište predstavlja značajan korak i za operatore telekomunikacijskih sustava i za krajnje korisnike. Nove tehnologije donose nove usluge za krajnjeg korisnika, ali i nove poslovne modele za operatora. Korištenje širokopojasnih tehnologija omogućuje učinkovitu distribuciju medija u telekomunikacijskim mrežama, tj. prijenos velikih

Analogna telefonska usluga koristi frekvencijski pojas od 0Hz do 4kHz za prijenos govora. Asimetrične širokopojasne pristupne tehnologije koriste slobodni frekvencijski pojas iznad 4 kHz te primjenom određenih modulacijskih tehnika omogućuju prijenos podatka po istoj bakrenoj parici koja se koristi za analognu govornu uslugu. U Tablici 1. dan je prikaz korištenja frekvencijskog pojasa za pojedine DSL Aneks A tehnologije.

Tehnologija	25-138 kHz	138-1104 kHz	1104-2208 kHz
ADSL	upstream	downstream	ne koristi
ADSL2	upstream	downstream	ne koristi
ADSL2+	upstream	downstream	downstream

**Tablica 1. Korišteni frekvencijski pojas za ADSL Annex A tehnologije**

količina podataka u jedinici vremena. Istovremeno, mediji postaju sve više digitalizirani, što ih čini prikladnim za distribuciju preko širokopojasnih mreža. Dakle, primjenom novih tehnologija, ove dvije velike industrije, telekomunikacije i mediji, sve se više zbližavaju i stvaraju novo zajedničko tržište, koje za obje industrije donosi nove izazove i prilike. Glavna prednost tehnologije prijenosa putem digitalnih pretplatničkih linija (DSL - *Digital Subscriber Line*) u usporedbi s ostalim širokopojasnim tehnologijama u fiksnim pristupnim mrežama je mogućnost korištenja postojeće bakrene infrastrukture koja se koristi za pružanje govorne usluge (POTS ili ISDN).

## 2. Razvoj širokopojasnih DSL pristupnih tehnologija

Prijenos digitalnim pretplatničkim linijama je inicijalno zamišljen kao tehnologija koja će omogućiti uslugu prijenosa podataka koristeći postojeću bakrenu paricu za pružanje klasične telefonske usluge. Budući da su danas širokopojasne pristupne mreže najčešće izgrađene na asimetričnim tehnologijama, u ovom članku ćemo se fokusirati upravo na te tehnologije. Simetrične širokopojasne tehnologije, kao što je npr. digitalna pretplatnička linija velike brzine prijenosa (HDSL - *High-bitrate DSL*) ili (SHDSL - *Symmetric High-bitrate DSL*), nećemo uzeti u razmatranje budući da one, zbog svojih tehnoloških ograničenja (brzina prijenosa i negativni efekt na susjedne parice), ne omogućavaju pružanje naprednih interaktivnih usluga, kao što je npr. IP televizija ili video na zahtjev.

Korišteni DSL frekvencijski pojas podijeljen je na dva dijela:

- *uzlazna linija (upstream)* - dio spektra koji se koristi za prijenos podataka u smjeru od krajnjeg korisnika prema mreži;
- *silazna linija (downstream)* - dio spektra koji se koristi za prijenos podataka u smjeru prema krajnjem korisniku.

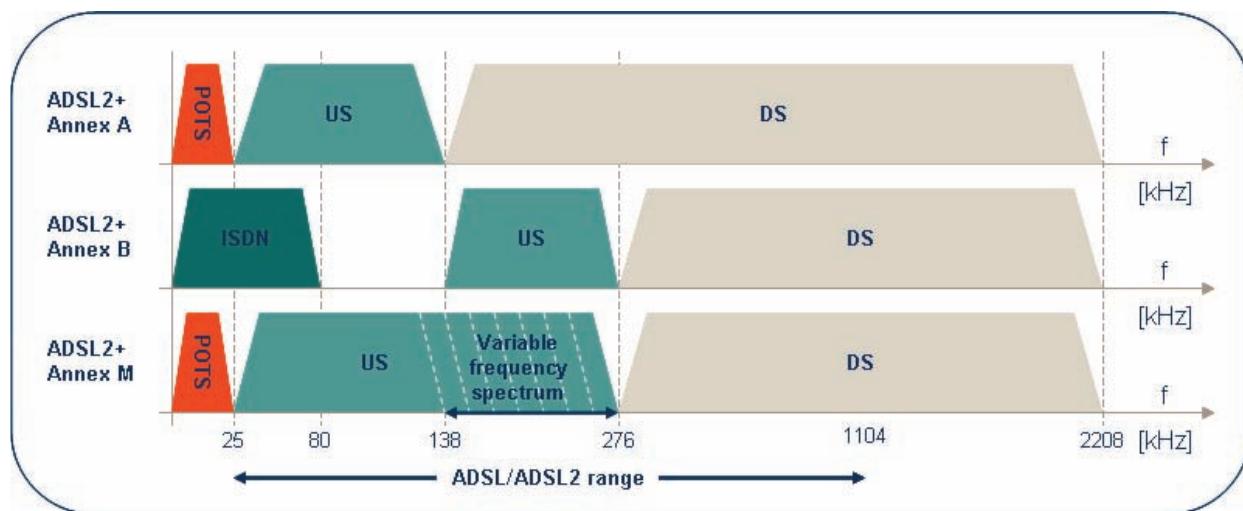
Svaki od ovih dijelova pojasa podijeljen je na tzv. tonove (*tone*) ili nositelje (*subcarrier*) pri čemu je svaki ton širine 4.3125 kHz te služi za prijenos određenog broj bitova.

### 2.1 Tehnologija ADSL

Tehnologija temeljena na asimetričnoj digitalnoj pretplatničkoj liniji (ADSL - *Asymmetric Digital Subscriber Line*) definirana je ITU-T preporukom G.992.1 (1999.) i predstavlja asimetričnu širokopojasnu pristupnu tehnologiju namijenjenu pružanju usluga rezidencijalnom segmentu tržišta. Zbog svojih nasljednika ADSL tehnologija često se označava kao i ADSL1.

Povijest ADSL-a počela je na Stanford University i AT&T Bell Labs organizacijama koje su 1992. razvile ADSL iz koncepta u prototip. Nakon toga - 1995., ANSI organizacija je izdala prvi standard za ADSL pod oznakom T1 413 issue I. Prvu ADSL preporuku (G.992.1), ITU-T je donio na bazi ANSI standarda iz 1999.

ADSL je izvorno bio namijenjen prijenosu video-na-zahtjev sadržaja brzinama od 8Mbit/s u silaznoj vezi



**Slika 1. ADSL frekvenčijski pojaz**

(downstream) i 640 kbit/s u uzlaznoj vezi (upstream). Međutim, ADSL tehnologija duguje svoj uspjeh velikoj popularnosti i širenju Interneta te je na telekomunikacijskom tržištu zauzela dominantno mjesto kao tehnologija za pružanje usluga brzoga pristupa Internetu.

Upravo zbog činjenice da ADSL ne koristi frekvencije 0,3-25 kHz za osnovnu telefonsku uslugu (POTS – Plain Ordinary Telephone Service), tj. 1-120 kHz za digitalnu mrežu integriranih usluga (ISDN – Integrated Services Digital Network), moguće je na istoj bakrenoj parici istovremeno implementirati i klasičnu govornu i ADSL uslugu, što je predstavljalo prilično jednostavan način da se krajnjim korisnicima ponudi novi tip podatkovne usluge (brzi pristup Internetu).

*Slika 1.* prikazuje raspodjelu frekvenčijskog pojasa za ADSL/2/2+ preko POTS-a. Maksimalne brzine prijenosa koje omogućava ADSL tehnologija su 13,2 Mbit/s na silaznoj vezi te 1,5 Mbit/s na uzlaznoj vezi.

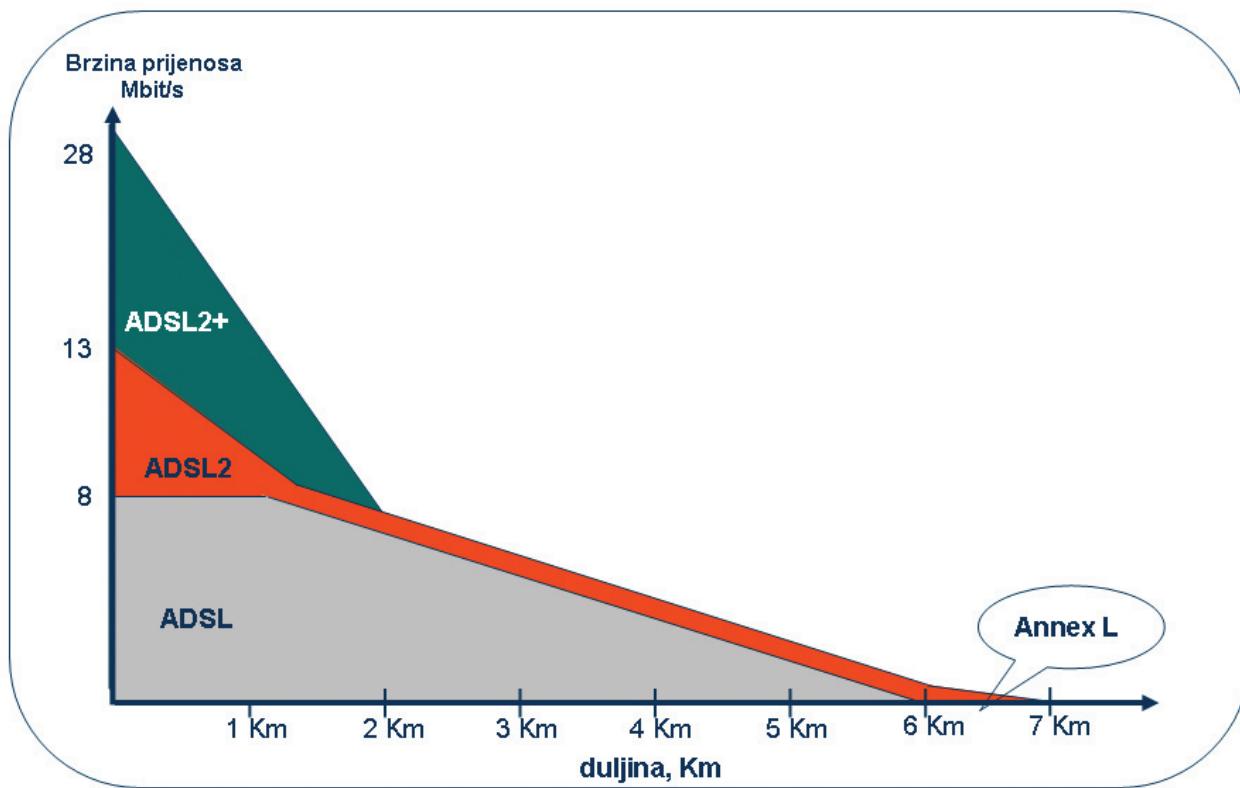
## 2.2 Tehnologija ADSL2

ADSL2 tehnologija predstavlja drugu generaciju širokopojasnih asimetričnih pristupnih tehnologija, a definirana je ITU-T preporukom G.992.3 (iz 2002.). U usporedbi s ADSL tehnologijom, ADSL2 donosi poboljšanja u segmentu brzine prijenosa i dometa. U okviru ADSL2 tehnologije definiran je:

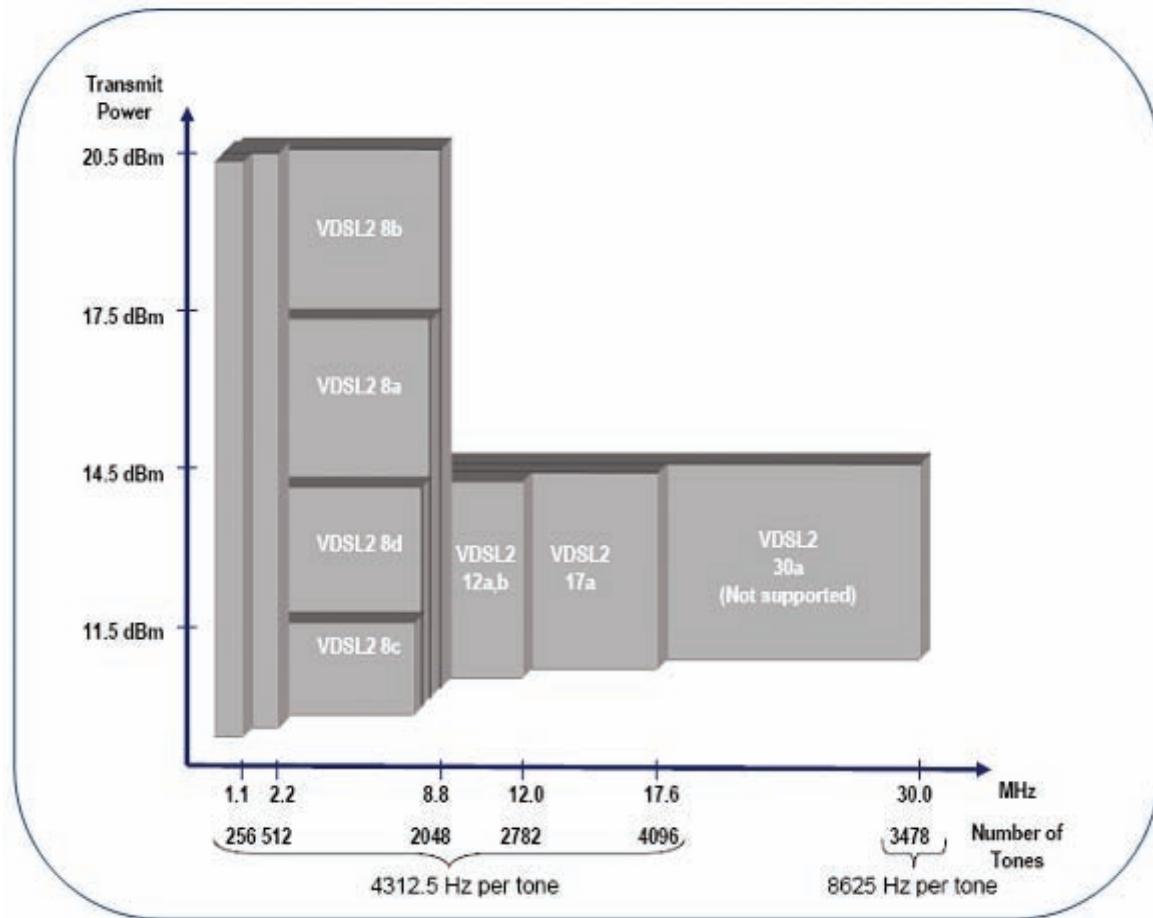
- aneks preporuke koji definira proširenu uzlaznu vezu (*extended upstream*), koji omogućuje brzine i do 3 Mbit/s;
- aneks koji definira povećani domet (*extended reach*) za određenu vrijednost brzine prijenosa.

## 2.3 Tehnologija ADSL2+

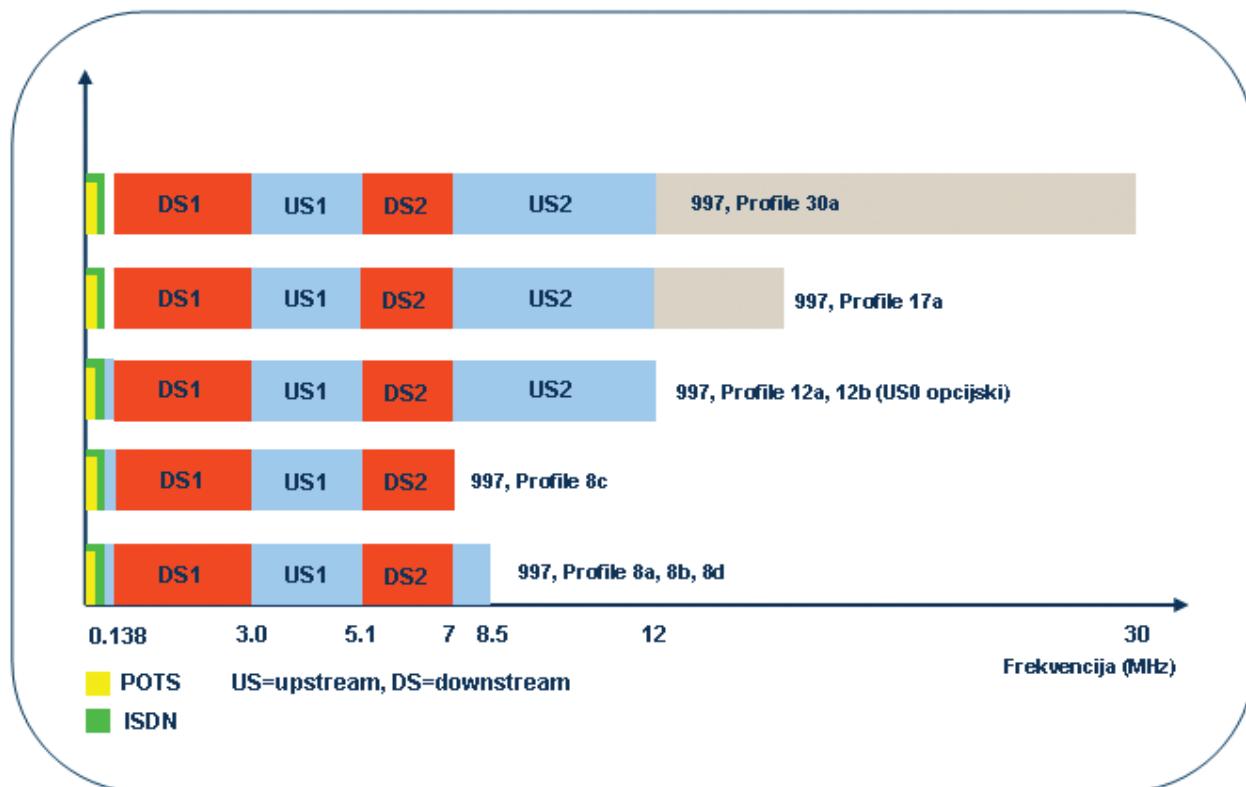
ADSL2plus tehnologija ratificirana je 2003. godine i definirana ITU-T preporukom G.992.5. ADSL2plus koristi frekvenčijski spektar do 2,2 MHz na bakrenoj parici, što je dvostruko više u usporedbi s ADSL i ADSL2 tehnologijama koje koriste spektar do 1,1 MHz. Korištenjem proširenog frekvenčijskog spektra, ADSL2+ tehnologija omogućava postizanje većih brzina prijenosa na kraćim duljinama parica. Maksimalne brzine prijenosa koje omogućava ADSL2+ tehnologija su 28,7 Mbit/s na silaznoj liniji te 1,5 Mbit/s na uzlaznoj liniji.



Slika 2. ADSL/2/2+ brzine prijenosa



Slika 3. VDSL2 profili



**Slika 4. Profil pojasnih širina kod primjene tehnologije VDSL2 prema planu pojasnih širina 997**

Slika 2. prikazuje općenitu usporedbu brzina prijenosa u ovisnosti o duljini bakrene parice za sve tri ADSL tehnologije. Osnovna karakteristika ADSL tehnologija je da brzina prijenosa pada s duljinom bakrene parice. Iz dijagrama je vidljivo da ADSL2+ tehnologija daje bolje rezultate (veće brzine prijenosa) za duljinu parice manje od 2 km, dok je na duljinama parice većim od 2 km ADSL2 tehnologija prikladnija.

U realnim uvjetima maksimalna moguća brzina prijenosa ovisit će, osim o duljini parice, i o kvaliteti parice, kvaliteti spojeva, utjecajima okoline, kao što su npr. preslušavanje i šumovi.

Tehnologija VDSL2 (*Very high speed DSL 2*) definirana je ITU-T preporukom G.992.3 te je bazirana na ANSI i ETSI standardima. U ITU-T preporuci G.993.2, prijenosna svojstva VDSL2 tehnologije definirana su različitim profilima. Pojedini profil, primjerice, definira koji se frekvencijski spektri koriste za prijenos podataka, snagu emitiranja i sl. Slika 3. prikazuje definirane VDSL2 profile te korišteni frekvencijski spektar, transmisijske snage te broj tonova po pojedinom profilu.

Tehnologija ADSL može se opisati kao sustav s dvije pojasne širine u kojemu se jedan dio frekvencijskoga

spektra koristi za prijenos uzlaznom vezom, a drugi dio se koristi za prijenos silaznom vezom. Tehnologija VDSL2, s druge strane, koristi više pojasnih širina i za prijenos uzlaznom i za prijenos silaznom linijom, čime se povećava fleksibilnost sustava kada je riječ o brzinama prijenosa i simetriji podataka na uzlaznoj i silaznoj vezi.

S planiranjem prijenosa uz dvije pojasne širine počelo se 2000. godine kako bi se zadovoljio zahtjev operadora za postizanjem simetričnoga, odnosno, asimetričnoga prijenosa. Prvi od tih planova (*Band Plan 998*) bolje podržava asimetrični prijenos, dok je idući plan (*Band Plan 997*) učinkovitiji kod simetričnoga prijenosa.

Tehnologija VDSL1 podržava pojasnu širinu do 12 MHz, a primjenom tehnologije VDSL2 pojasna širina se može povećati do 30 MHz, Slika 4. Kako bi u okvirima spektra ove dvije tehnologije bile kompatibilne, za tehnologiju VDSL2 uzimaju se iste pojasne širine ispod 12 MHz. Sustav utemeljen na tehnologiji VDSL2 može koristiti do 4096 frekvencijska nositelja. Ovisno o planu pojasnih širina, nositelj se pridjeljuje ili prijenosu silaznom vezom, ili prijenosu uzlaznom vezom. Kao i kod ADSL-a, niži sloj spektra pridjeljuje se uslugama POTS i ISDN.

## 2.5 Aneksi koji definiraju ADSL standarde

ITU-T organizacija je uz ADSL preporuke definirala i određene anekse koji definiraju standarde za specifikaciju primjene ADSL tehnologije za određene regije i aplikacije. Ti dokumenti definiraju raspodjelu broja tonova / nositelja i razinu transmisijske snage prijenosa uzlaznom i silaznom vezom. Nekoliko sljedećih odlomaka daje kratki pregled pojedinih aneksa.

### Aneks A i B

Aneks A definira implementaciju ADSL tehnologije na parici koja se koristi za pružanje POTS usluge. Zbog toga se često označava i kao ADSL/POTS, odnosno, ADSL2+/POTS. Ukoliko je ADSL linija definirana kao Aneks A, za prijenos podataka se koristi frekvencijski spektar od 25 kHz do 1.1 MHz. Aneks A se najviše koristi u Europi, Aziji te Sjevernoj Americi.

Aneks B definira ADSL tehnologiju na parici koja koristi ISDN tehnologiju umjesto POTS-a za govornu uslugu. Najčešće se koristi u Europi.

Aneks A i Aneks B definiraju VDSL2 preporuku. Pri tomu, kod VDSL2 preporuke Aneks A definira implementaciju za sjevernoameričko područje dok Aneks B označava implementaciju za područje Europe.

### Aneks C i I

Aneks C definira implementaciju ADSL-a u Japanu, i to tako da što manje utječe na japansku verziju ISDN-a, TCM-ISDN. Nova verzija Aneksa C, nazvana je Aneks I

te omogućava dvostruko brži prijenos podataka silaznom vezom u usporedbi s Aneksom C.

### Aneks L

Aneks L je definiran samo za ADSL2 preporuku, a često se naziva i RE-ADSL2 (*Reach Extended ADSL2*) jer omogućava pružanje ADSL2 tehnologije pristupa na većim duljinama parica nego što to omogućava ADSL2 Aneks A.

### Aneks M

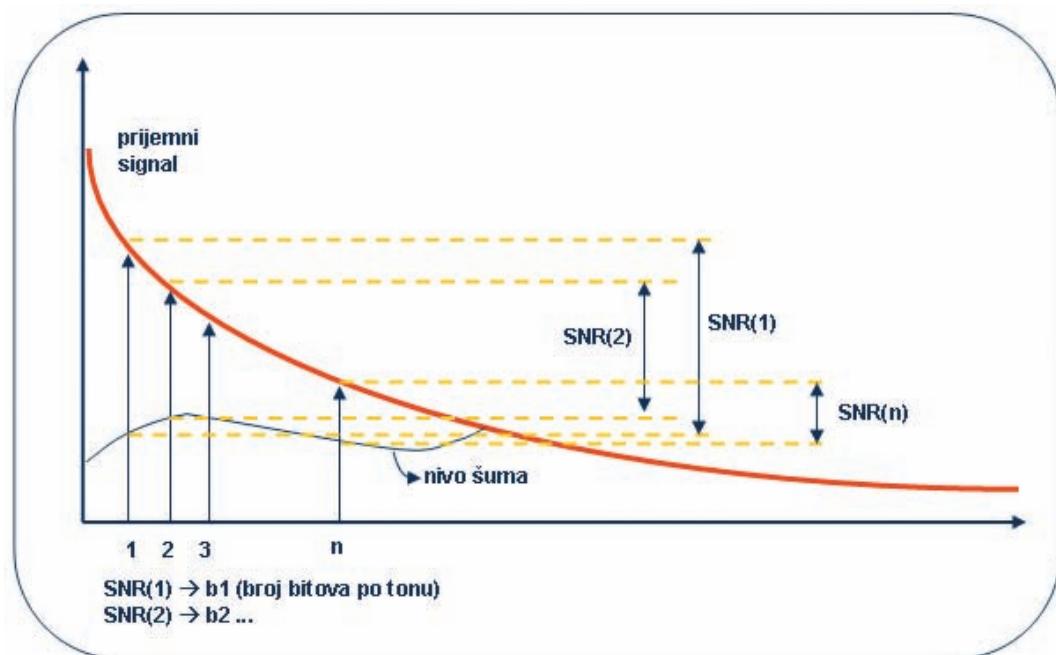
Aneks M definira novu spektralnu masku za ADSL2 i ADSL2+ tehnologije, čime je udvostručen broj tonova koji se koriste za prijenos uzlaznom vezom, što rezultira dvostruko većim prijenosnim brzinama. Implementacijom tog aneksa u praksi, moguće je ponuditi krajnjim korisnicima usluge simetričnog prijenosa podataka s brzinama znatno većim od onih koje se postižu korištenjem SHDSL tehnologije.

## 3. Osnovne karakteristike DSL tehnologije

### 3.1 DMT modulacija

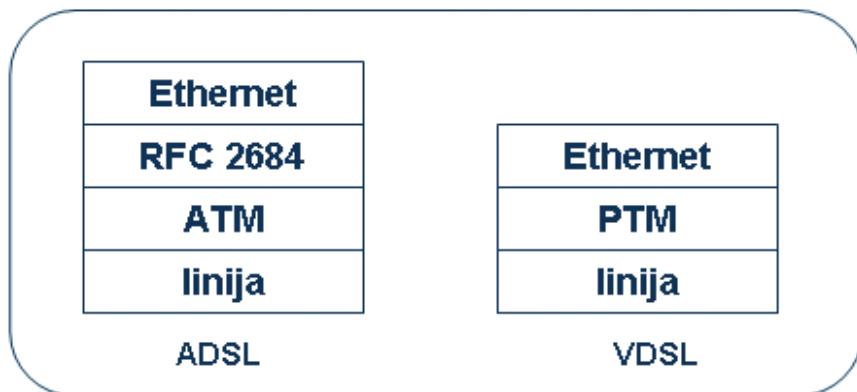
ADSL, ADSL2, ADSL2+ i VDSL2 tehnologije prijenosa bazirane su na diskretnoj multitonskoj modulaciji (DMT - *Discrete Multitone*).

DMT modulacija (*Slika 5.*) koristi isti princip kao i ortogonalno multipleksiranje frekvencijskim odvajanjem (OFDM - *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), što znači da se raspoloživi frekvencijski spektar na



**Slika 5. DMT modulacija – odnos signal-šum definira broj bitova po tonu**

**Slika 6. ADSL i VDSL2 protokolni složaj**



parici dijeli na paralelne kanale. Centar svakog kanala predstavljen je QAM moduliranim nositeljem.

Razlika u odnosu na OFDM je da se kod DMT modulacije može prenositi različit broj bitova po pojedinim podnosiocima, što ovisi o odnosu signal-šum (SNR – *Signal Noise Ratio*) na određenoj frekvenciji. Budući da su nositelji međusobno ortogonalni, između njih ne može doći do interferencije. Broj bitova koji se može prenijeti po nositelju varira od 1 do 15.

Razmak između nositelja je 4.3125 kHz, dok se u VDSL2 može koristiti i 8.6125 kHz.

Za modulaciju u DMT sustavu koristi se postupak nazvan *2N-point IFFT (Inverse Fast Fourier)*. Inverzna transformacija se koristi kod DSL transmitera budući da su u tom slučaju podaci pridijeljeni simbolima koji predstavljaju konstelacijske točke u paralelnim nezavisnim kanalima unutar određene frekvencije. Kod DMT sustava transmisiji signal kreira se u vremenskom intervalu kako se ne bi morao filtrirati ili modulirati. To je razlog zbog kojega se koristi inverzna Fourierova transformacija, postupak kojim se signal iz frekvencijske domene transformira u vremensku domenu. Kao ulazni podaci za

2N-point transformaciju se koriste konstelacijske točke N kanala. U DMT sustavu Fourierova transformacija i njena inverzna inačica obično se koriste u skladu s poznatim Fourierovim transformacijskim algoritmom (FFT).

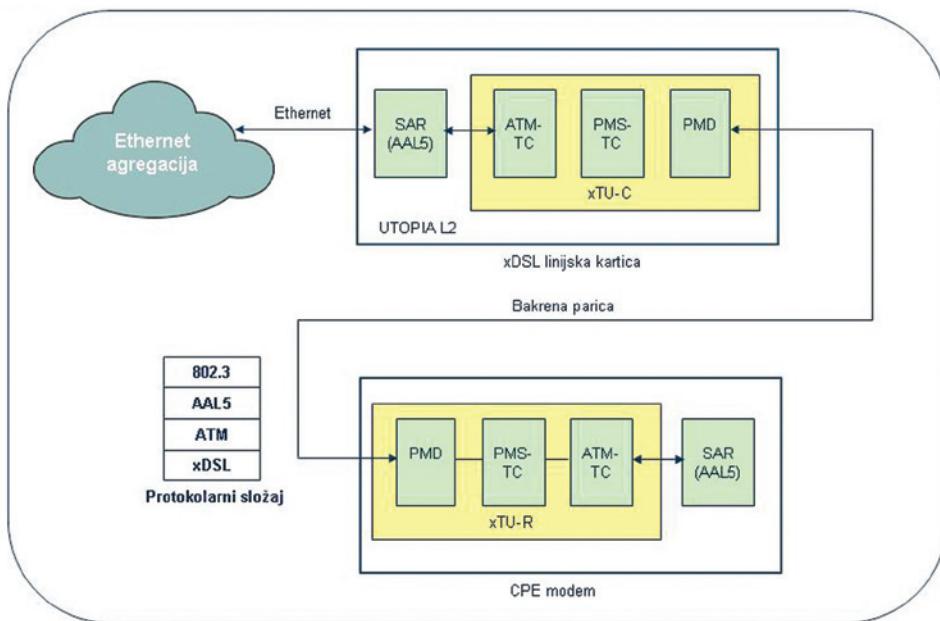
### 3.2 ATM ili PTM prijenos

Osnovni principi na kojima se temelje načini ADSL, ADSL2 i ADSL2+ prijenosa su isti, dok je prijenos tehnologijom VDSL2 bitno drugačiji. Ta razlika je u svojoj srži odraz široke primjene Etherneta: dok ADSL počiva na asinkronom prijenosu (ATM - *Asynchronous Transfer Mode*) kojim se osigurava zadovoljavajuća razina kvalitete usluge (QoS - *Quality of Service*), VDSL2 počiva na paketnom prijenosu (PTM - *Packet Transfer Mode*), *Slika 6*. Paketni prijenos zamjenjuje i ATM i RFC 2684 u protokolnom složaju (koji, između ostaloga sadrže AAL5).

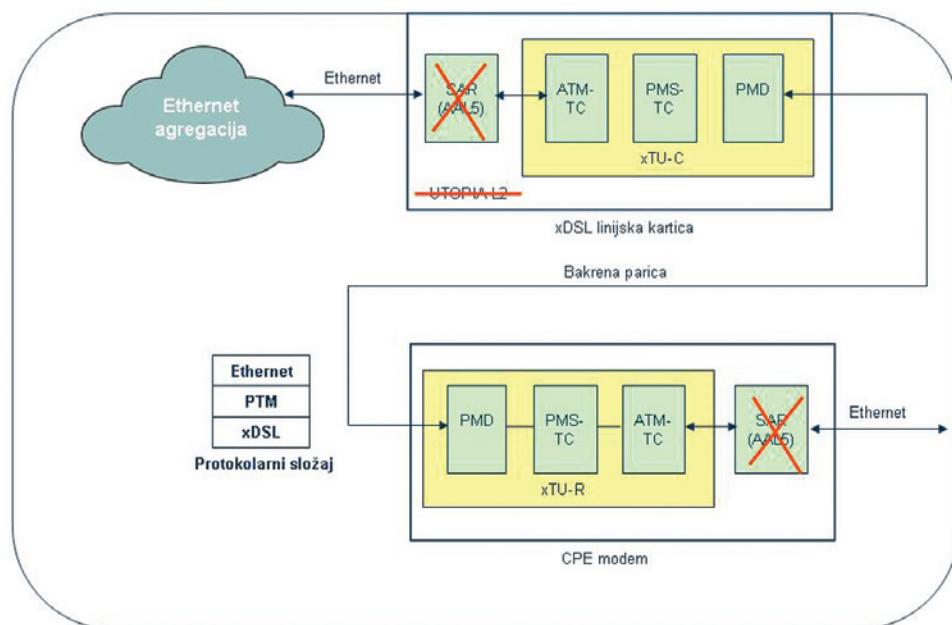
Osim toga, jedinica za segmentaciju je u slučaju tehnologije VDSL (kodna riječ) veća nego kod primjene tehnologije ADSL (ćelija), što povećava i kapacitativnu učinkovitost. *Tablica 2.* prikazuje usporedbu u postotku korisnog prometa za ADSL i VDSL2 tehnologije.

	ADSL	VDSL
Veličina segmentacijske jedinice	53 bytes (ćelija)	65 bytes (kodna riječ)
Zaglavljive segmentacije	5 bytes	1 Byte
Postotak korisnog prometa u segmentacijskoj jedinici	<b>90.6 %</b>	<b>98.5 %</b>

**Tablica 2. ADSL i VDSL2 segmentacija**



**Slika 7. Logički blokovi za xDSL prijenos prema Ethernet agregacijskoj mreži kod korištenja ATM tehnologije**



**Slika 8. Logički blokovi za xDSL prijenos prema Ethernet agregacijskoj mreži kada je ATM kao protokol drugoga sloja zamijenjen PTM-om**

Trenutačno, najčeće rješenje za prijenos Ethernet okvira putem tehnologije ADSL/2/2+ je IP DSLAM u bridge modu rada (IP Digital Subscriber Line Access Multiplexor), kod kojega su Ethernet okviri mapirani u ATM adaptacijski sloj 5 (AAL5) i enkapsulirani u ATM ćelije prije nego što su poslani fizičkom DSL vezom. Slika 7. prikazuje logičke blokove za ADSL/2/2+ prijenos između korisničkog uređaja (CPE modem) i linjske kartice u pristupnom DSL čvoru. Blok za segmentaciju i ponovno povezivanje (SAR - Segmentation and Reassembly) obrađuje Ethernet okvire. ATM ćelije se transportiraju preko sučelja UTOPIA (Universal Test and Operations PHY Interface

for ATM) prema aplikacijskom sučelju nazvanom ATM TPS-TC (Transport Protocol-Specific – Transmission Convergence). TSP-TC se katkada označava i kao ATM-TC, u kontekstu jedinice xTU-C (xDSL transceiver unit – central office). Nedostatak enkapsuliranja Ethernet okvira u ATM ćelije (Ethernet-to-AAL5-to-ATM cells) sastoji se u tomu da Ethernet okvir od 64-okteta moraju zauzeti dvije ćelije. Naime, ATM ćelije mogu ponijeti maksimalno 48 okteta, pa se Ethernet okvir razbija na dvije cjeline, od kojih je jedna 48 okteta, a druga 16 okteta. Uz maksimalnu veličinu Ethernet okvira koja iznosi 1518 okteta, ATM zaglavljje dosiže 160 okteta, što je gotovo 10% transmisijiskoga kapaciteta. IEEE

802.3ah je definirao posebno sučelje - Ethernet TPS-TC, koje funkcioniра на temelju 64/65-oktetne enkapsulacije za Ethernet aplikacije, uz veću iskoristivost nego kod ATM sustava. Kada je riječ o tehnologiji VDSL1, ITU-T je specificirao generički drugačiji način paketnoga prijenosa (PTM – *Packet Transfer Mode*). U specifikaciji organizacije ITU-T, sučelje TPS-TC se označava s PTM-TC. Standardi na kojima se temelji tehnologija VDSL2 u potpunosti podržava PTM temeljenu 64/65-oktetnu enkapsulaciju. Radna grupa IEEE 802.3ah uspostavila je kao pravilo da PTM enkapsulira Ethernet okvire prije modulacije u DSL transceiveru. Radna grupa ITU-T SG15/Q4 definira PTM za VDSL2 kao i za ADSL2/plus i simetrični veoma brzi DSL (SHDSL). Nadalje, unaprjeđena je 64/65-oktetna enkapsulacija te je dodana podrška ne-Ethernet paketa koji su kraći od 64 bita. Stoga je uz korištenje PTM-a moguće eliminirati ATM kao nositelja u drugom sloju (*Slika 8.*).

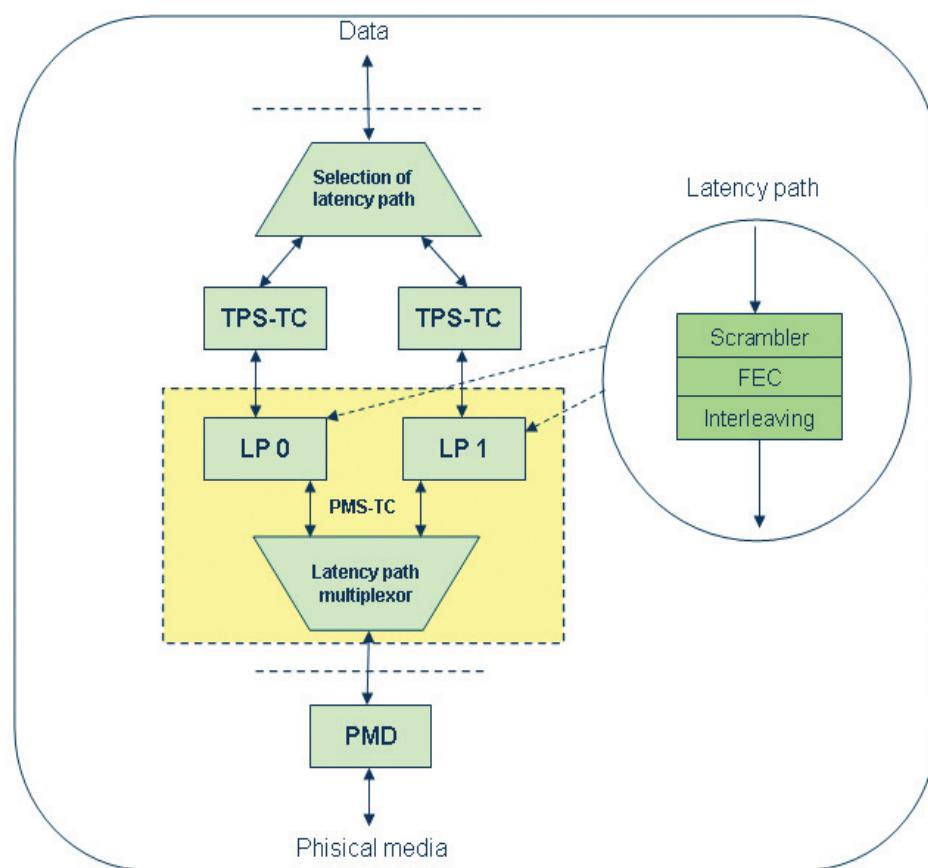
### 3.3 Dualna latencija kod tehnologije VDSL2

*Slika 9.* prikazuje referentni model VDSL2 primopredajnika. TPS-TC sloj djeluje kao adaptacijski

sloj između transportnih protokola i digitalne preplatničke linije. Ethernet okviri ili ATM ćelije su ulazni podaci za TPS-TC. Između ostaloga TPS-TC sloj osigurava i transportne mehanizme, enkapsulaciju okvira ili ćelija te definira ulazne i izlazne brzine.

U idućem koraku u fokusu je sloj PMS-TC (*Physical Media-Specific – Transmission Convergence*), koji podržava funkciju inicijalnoga kašnjenja (*latency path functions*). Tom funkcijom (zajedno s Trellis kodiranjem) poduzeće se stupanj zaštite od grešaka. Smještanje podataka u okvire se također odvija u sloju PMS-TC.

Kod sustava ADSL2/plus uobičajena je implementacija samo jedne veze s funkcijom inicijalnoga kašnjenja (*one latency path*). Međutim, nije riječ o ograničavanju standarda. Izmjenično nizanje (*interleaver*) koristi se zajedno s Reed-Solomonovim kodom djelujući kao snažni filter grešaka. Međutim, izmjenično nizanje uvodi kašnjenje, a budući da postoji samo jedna veza s funkcijom inicijalnoga kašnjenja, a koristi se izmjenično nizanje, tada svaka usluga podliježe jednakom vremenu kašnjenja. Kod usluga kao što je, primjerice, video koje moraju biti zaštićene od mogućih povremenih nizova pogrešnih podataka, važno je osigurati veliku dubinu izmjeničnoga nizanja (*interleaver depth*). Posljedica toga načina rada je značajno kašnjenje. Video usluga



*Slika 9.* Referentni model VDSL2 primopredajnika

nije osjetljiva na kašnjenje, međutim, mora se izbjegći podrhtavanje signala (*jitter*). Govorne usluge i igre, s druge strane, ne zahtijevaju značajnu zaštitu od grešaka, ali su veoma osjetljive na kašnjenje. Rješenje za dvostruko inicijalno kašnjenje (*dual-latency*) osigurava i dodatnu vezu u sloju PMS-TC koja podržava ovu funkciju. Za prijenos podataka koji moraju biti zaštićeni od grešaka koristi se veza s izmjeničnim nizanjem, a za podatke koji su osjetljivi na kašnjenje koristi se veza bez izmjeničnoga nizanja ili s minimumom izmjeničnoga nizanja. U konačnici, nizovi podataka koji se prenose vezama s inicijalnim kašnjenjem se multipleksiraju u jednostruki tok bitova koji se potom prenosi prema fizičkom sloju koji ovisi o mediju (PMD - *Physical Media Dependent*), gdje se modulira. Broj bitova koji se preuzimaju iz veze s inicijalnim kašnjenjem i stavljuju u jedan DMT okvir određuje se tijekom faze inicijalizacije DSL linije. Sa sloja PMD odlazi signal prema analognom dijelu sustava. Operatori su pokazali potrebu za funkcijom dvostrukoga inicijalnoga kašnjenja u sustavima VDSL2 kako bi i kod naprednih usluga osigurali visoku kvalitetu usluge.

### 3.4 Snaga

Tehnologija VDSL2 se uglavnom primjenjuje kod kratkih preplatničkih petlji, pomicući DSLAM čvorove bliže prema korisniku. Zbog toga se predviđa sve značajnije korištenje FTTCab topologije u mrežama operatora. Međutim, kod usluga kao što je ADSL/2/2plus, koje dijele istu kablesku skupinu kao i VDSL2 može doći do smanjenja kvalitete prijenosa u silaznoj vezi zbog preslušavanja (*crosstalk*) između parica u VDSL2 sustavima. U tom slučaju može se koristiti kontrola snage za postizanje dovoljne kvalitete silaznoga VDSL2 signala. To smanjuje utjecaj preslušavanja s VDSL2 sustava na ADSL2/plus, a da se ne smanjuje kvaliteta silaznoga VDSL2 signala.

Kada se različiti VDSL2 korisnički modemi (CPE

- *Customer Premises Equipment*) nalaze na različitim udaljenostima od pristupnog čvora (DSLAM), transmisijski signal korisnika smještenog bliže pristupnom čvoru generira smetnje u prijenosu uzlaznom vezom ostalih udaljenih korisnika (*near-far phenomenon*), Slika 10.

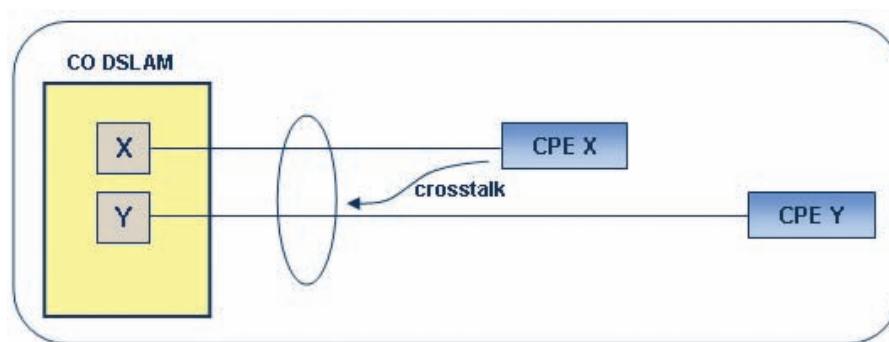
Rješenje ovoga problema nalazi se u smanjenju snage uzlaznoga signala korisnika bližih pristupnom čvoru. Za postizanje jednakoga kapaciteta uzlazne veze za sve korisnike na istoj udaljenosti koristi se određeni algoritam.

### 3.5 Ericssonovo DSL rješenje – EDA

Ericssonovo rješenje za ADSL/2/2+ i VDSL2 pristup naziva se EDA. Rješenje EDA IP DSLAM isporučuje se kao cijeloviti sustav jedinstvene skalabilnosti koji je baziran na 12-linijskim modulima. Rješenje IP DSLAM se temelji na Ethernet tehnologiji (TR-101). U osnovi, IP DSLAM terminira DSL linije i agregira promet u pristupnu mrežu koristeći Ethernet sučelje prema agregacijskoj mreži.

Rješenje IP DSLAM usklađeno je sa svim relevantnim DSL standardima, a sposobnost zajedničkoga rada se stalno provjerava i usklađuje s potrebama operatora. Pri tomu se DSL kodiranje linija uključuje u jedan od softverskih paketa. EDA podržava tehnologiju VDSL2, ali i asimetrični ADSL, ADSL2 te ADSL2+ uključujući:

- VDSL2 Aneks A za Sjevernu Ameriku (POTS i ISDN)
- VDSL2 Aneks B za Europu (POTS i ISDN)
- ADSL/2/2+ Aneks A za POTS podršku
- ADSL/2/2+ Aneks B za ISDN podršku
- ADSL2+ Aneks M
- ADSL2 Aneks L.



Slika 10. Utjecaj preslušavanja



**Slika 11. EDN312 i EDN612 – Ericssonovo rješenje za ADSL2+ i VDSL2**

Rješenje IP DSLAM EDN612 (Slika 11.) koje podržava 12 linija temelj je novoga EDA 1200 sustava koji je specijaliziran za VDSL2 promet uz mogućnost podrške i za ADSL/ADSL2/ADSL2+. EDN612 modul agregira promet s 12 DSL linija prema gigabitnom Ethernet sučelju.

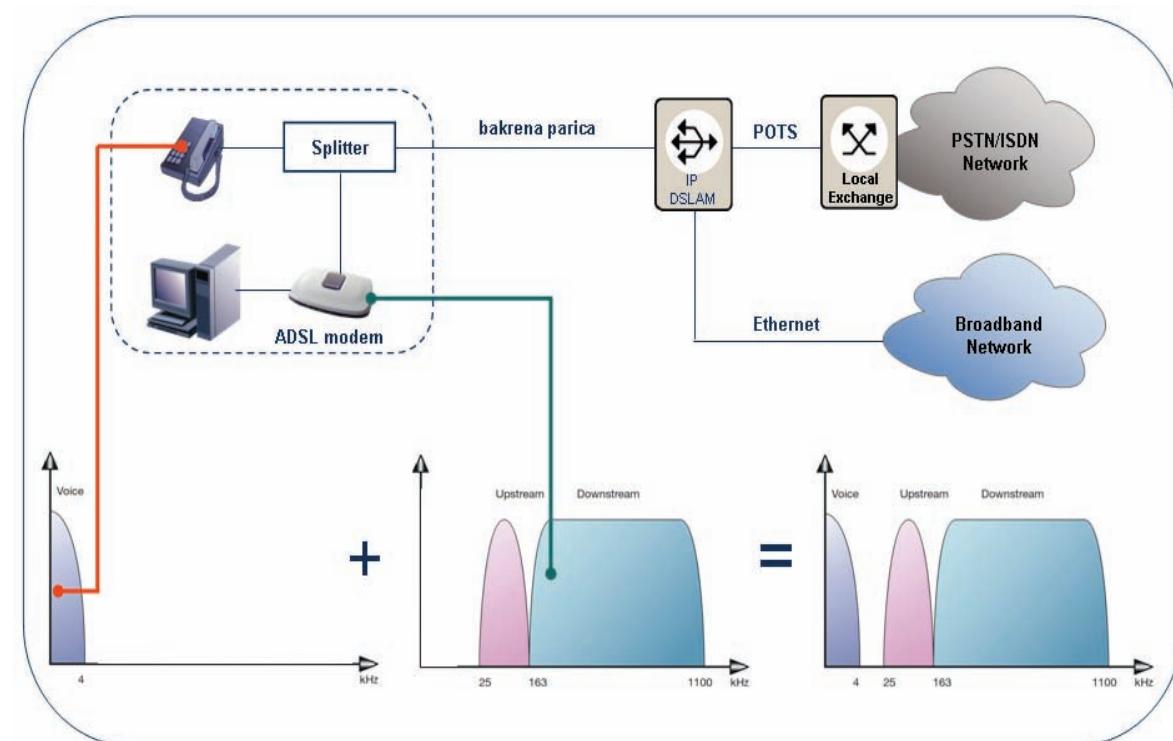
Sustav EDA 1200 osigurava mogućnost kontroliranja snage po liniji, što može donijeti i do 25% ušteda na razini cijelog sustava IP DSLAM. Najznačajnije uštude postižu se uz maksimalne brzine prijenosa. Sustav

EDA 1200 podržava PSD optimizaciju snage signala. Ta mogućnost se koristi kada operator posjeduje i centraliziranu i udaljenu opremu. Rješenje nudi šest mogućnosti: dva za standardnu opremu, dva za centralnu opremu i dva za opremu smještenu na udaljenoj lokaciji.

## 4. Arhitektura širokopojasnih pristupnih mreža

U posljednjih nekoliko godina dogodio se snažan razvoj DSL tržišta i usluga koje koriste DSL kao prijenosnu tehnologiju. Glavno obilježje tog razvoja je želja da se krajnjim korisnicima istovremeno ponudi nekoliko usluga (pristup Internetu, prijenos govora internetskim protokolom (VoIP – Voice over IP), IP televizija, video na zahtjev...) preko jedne DSL linije. Takve potrebe tržišta nameću nove zahtjeve na DSL mrežne čvorove u pogledu linijske brzine prijenosa te osiguranja kvalitete usluge. Pojednostavljena arhitektura širokopojasnih ADSL mreža prikazana je na Slici 12.

Najveći dio današnjih širokopojasnih pristupnih čvorova, tzv. čvorova DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexor*), smješten je na lokacijama s postojećom telefonskom infrastrukturom operatora (telefonske centrale, pretplatnički čvorovi za POTS i ISDN), a takva



**Slika 12. DSL arhitektura**

lokacija često se naziva centralni ured (CO – *Central Office*).

*Slika 12.* prikazuje arhitekturu pristupne mreže koja omogućuje krajnjim korisnicima pružanje usluge brzog pristupa Internetu koristeći ADSL tehnologiju. Korisnički uređaj (osobno računalo) je preko Ethernet sučelja spojen s ADSL modemom. Osim ADSL modema kod krajnjeg korisnika je potreban uređaj koji će spojiti, tj. razdvojiti ADSL i analogni telefonski signal. Takav uređaj naziva se spliter/filter. U odlaznom smjeru spliter će spojiti 4 kHz analogni POTS signal s ADSL signalom (25 kHz do 1.1 MHz) te će takav signal odaslati na paricu prema operatoru.

Na strani operatora takav složeni signal će prvo stići na filter u centralnom uredu koji će razdvojiti analognu (POTS) komponentu signala te ju transparentno propustiti prema PSTN mreži. Filter u centralnom uredu je najčešće dio DSLAM čvora. ADSL komponentu signala, filter u centralnom uredu će propustiti prema DSLAM čvoru gdje se ADSL konekcija terminira, a podatkovni promet agregira na Ethernet (ili u starijim varijantama ATM) sučelje prema servisnoj širokopojasnoj mreži. Maksimalna moguća brzina prijenosa podataka ovisit će, između ostalog, i o duljini parice od korisničkog ADSL modema do DSLAM čvora.

## 4.1 Arhitektura širokopojasnih mreža prema DSL forumu

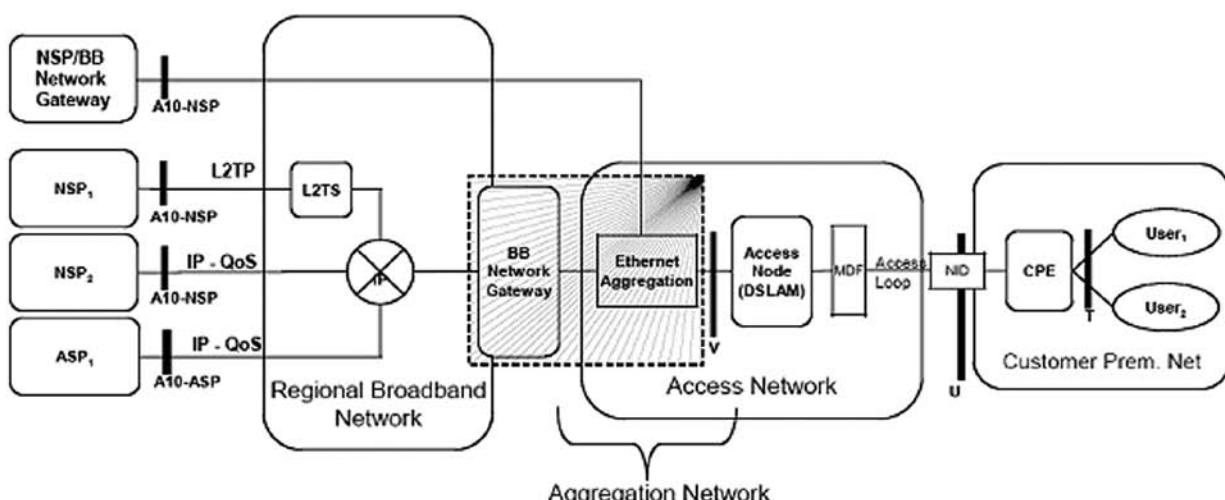
Tradicionalne širokopojasne pristupne mreže bazirane su uglavnom na ADSL i ATM tehnologijama. Topologija

takve mreže definirana je tehničkim izvještajima TR-025 i TR-059 DSL foruma. Međutim, TR-025/TR-059 arhitekture ne mogu osigurati okolinu za pružanje naprednih interaktivnih usluga, kao npr. IP televizija ili video na zahtjev koje zahtijevaju mehanizme odašiljanja signala na više korisnika (*multicast*) te velike brzine prijenosa podatka. Zbog toga je DSL forum definirao novi tehnički izvještaj TR-101. TR-101 definira scenarije migracije ATM bazirane arhitekture prema Ethernet baziranoj arhitekturi. U okviru TR-101 definirani su zahtjevi za translaciju protokola, kvalitetu usluge, *multicast* sesije, sigurnost te sustav opravljanja mrežom (OAM – *Operations Administration and Maintenance*), bazirani na Ethernet i IP tehnologijama.

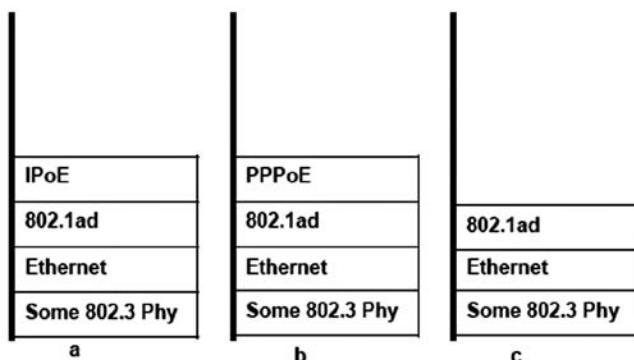
Isporučitelji DSL usluga nastoje u svoj portfelj uvesti i napredne usluge u kombinaciji s osnovnim pristupom Internetu, uključujući i video usluge, zabavne sadržaje, (video i video konferencije, VoIP, igre i sl.) te usluge za poslovne korisnike (npr. Layer 2 VPN i IP VPN). Mnoge od tih usluga zahtijevaju značajno veću razinu DSL prijenosnih brzina no što se obično može postići u okviru ADSL sustava. Najpouzdaniji način da se poveća razina DSL prijenosne brzine je smanjivanje udaljenosti između jedinica ATU-C (DSLAM) i ATU-R (CPE modem), što podrazumijeva veću gustoću pristupnih čvorova. Broj pristupnih čvorova u mreži isporučitelja usluga povećat će se i s pomicanjem pristupnih čvorova bliže udaljenim korisnicima.

Arhitektura širokopojasnih DSL mreža definirana tehničkim izvještajem TR-101 DSL foruma prikazana je na *Slici 13.*

Uloga i funkcionalnost DSLAM pristupnog čvora prema ovoj arhitekturi definirana je sučeljima prema agregacijskoj mreži (V sučelje) i sučeljem prema krajnjem korisniku (U sučelje).



*Slika 13. Arhitektura širokopojasnih pristupnih mreža prema TR-101*

**V-interface****Slika 14. Protokolarni složaj V-sučelje**

## 4.2 V-sučelje

V-sučelje definira protokolarni složaj prema agregacijskoj meži. Osnovni zahtjevi na V-sučelje definiraju se kroz tri segmenta (Slika 14.):

- agregacija prometa (*Traffic Aggregation*);
- razlikovanje klase servisa (*Class of Service Distinction*);
- izolacija i mogućnost otkrivanja krajnjeg korisnika (*User Isolation and Traceability*).

Osnovna uloga V-sučelja je agregacija prometa krajnjih korisnika prema servisnoj mreži. Budući da je ciljana TR-101 arhitektura bazirana na Ethernet tehnologiji, agregacijsko (V) sučelje na DSLAM pristupnom čvoru bazirano je također na Ethernet tehnologiji. Standardni mehanizam separacije/izolacije prometa u Ethernet mrežama je korištenje VLAN (virtualni LAN) etiketa (*tag*) koji je definiran u IEEE 802.1Q, a unaprijeđen u IEEE802.1ad. VLAN etiketiranje omogućuje grupiranje nekoliko prometnih tokova (koje generiraju krajnji korisnici) na agregacijsko sučelje koje dobiva jedinstveni

VLAN identifikator u mrežnoj domeni (npr., VLAN ID=100). Neku drugu grupu prometnih tokova, moguće je agregirati na isto fizičko sučelje, pri čemu se toj grupi dodjeljuje novi VLAN ID (npr. VLAN ID=200) prema kojem je moguće u agregacijskoj mreži razlikovati promet ovih dviju grupa.

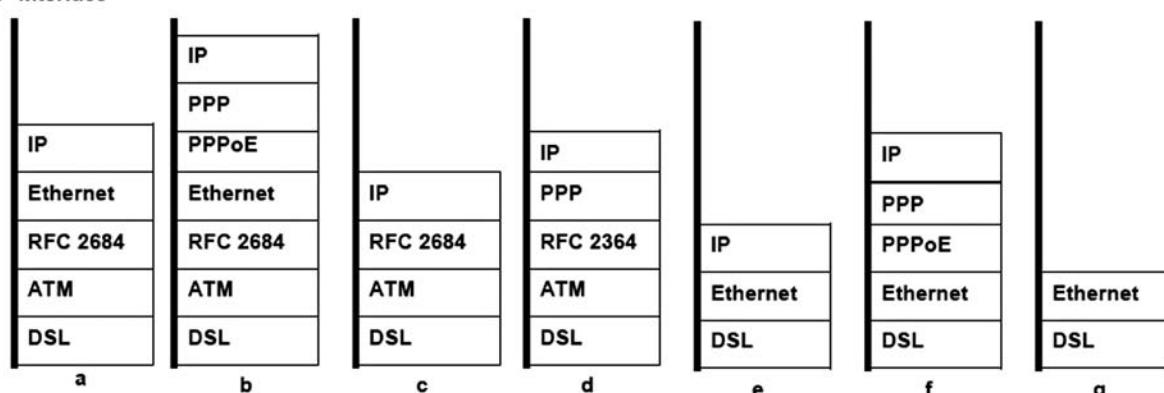
Razlikovanje klase usluga realizirano je korištenjem tri bita unutar Ethernet okvira, a definirano je prema IEEE802.1p standardu. Ovim mehanizmom je omogućeno da se svakoj VLAN grupi dodijeli određeni prioritet unutar mrežne domene te osigura odgovarajuća kvaliteta usluge.

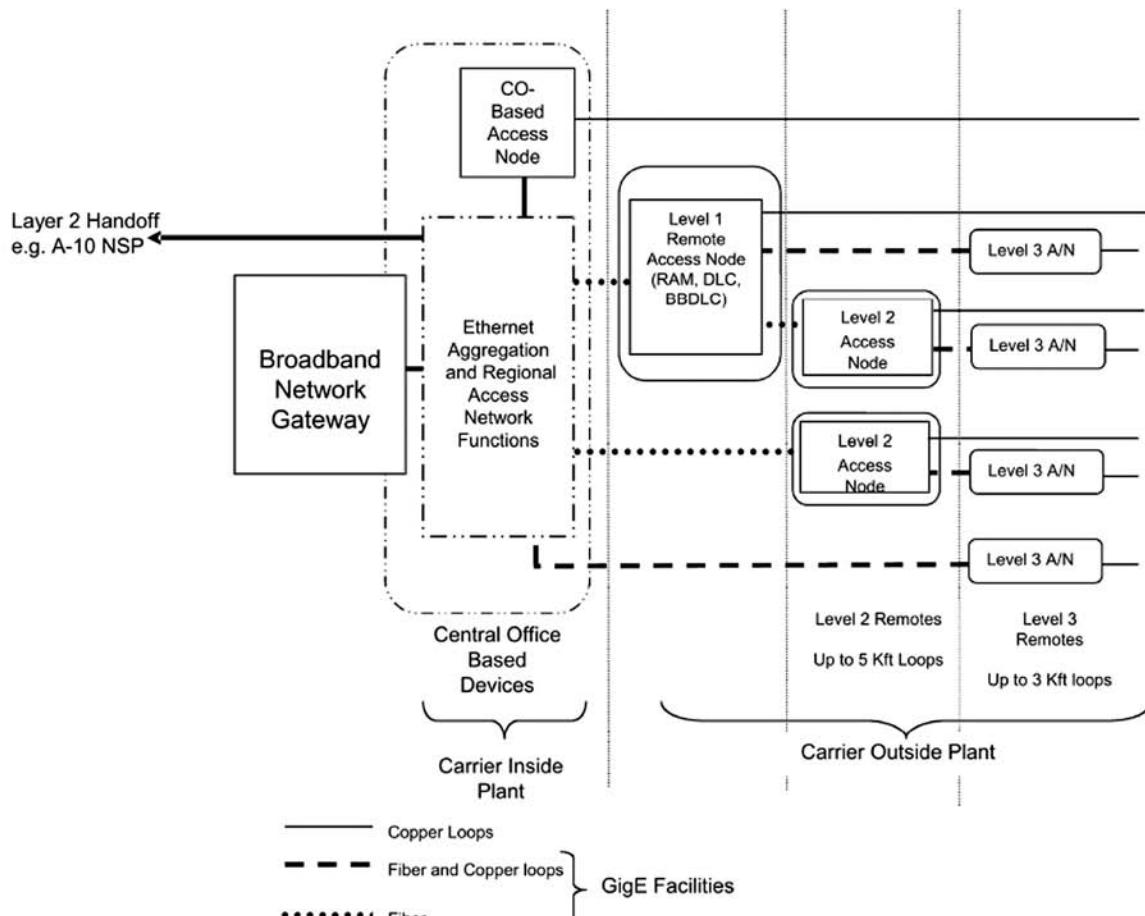
## 4.3 U-sučelje

U-sučelje definira protokolarni složaj prema krajnjem korisniku. Na fizičkom sloju, U-sučelje podržava sljedeće tehnologije:

- ADSL1 – ITU-T G.992.1
- ADSL2 - ITU-T G.992.3
- ADSL2plus - ITU-T G.992.5
- VDSL2 - ITU-T G.993.2
- uparene DSL linije (*Bonding of multiple DSL pairs*) – ITU-T G.Bond  
(*ATM transport* (G.998.1), *Ethernet transport* (G.998.2))

Definirano je sedam tipova protokolarnih složajeva koji se odnose na U-sučelje, a prikazani su na Slici 15. Složajevi označeni s a) – d) definirani su već tehničkim izvještajem TR-43 te koriste ATM kao transportnu tehnologiju. Složajevi označeni s e) – g) predstavljaju scenarije u kojima je podržana izravna Ethernet enkapsulacija na pristupnoj petlji, kao npr. za VDSL2 korištenjem PTM tehnologije.

**U-interface****Slika 15. Protokolarni složaj U-sučelje**



**Slika 16. Scenariji razvoja pristupne mreže prema TR-101**

Uloga DSLAM pristupnog čvora je da omogući translaciju složaja na U-sučelju na protokolarne složajeve na V-sučelju.

#### 4.4 Topologije DSL pristupnih mreža

Kako smo već napomenuli u uvodu, uvođenjem novih usluga (npr. IPTV, VoD) povećavaju se zahtjevi na brzinu prijenosa podataka u pristupnoj mreži i do nekoliko desetaka Mbit/s po krajnjem korisniku. Međutim,

kako smo prikazali u ranijim poglavljima, jedan od ograničavajućih faktora na brzinu prijenosa podataka DSL tehnologija je duljina parice pa će potreba za većim prijenosnim brzinama izravno utjecati na topologiju mreže. Slika 16. prikazuje četiri moguća scenarija razvoja pristupne mreže definirana u TR-101:

- CO razina (CO level)
- Razina N1 (Level 1)
- Razina N2 (Level 2)
- Razina N3 (Level 3).

Razina čvora prema TR-101	CO	N1	N2	N3
maksimlna duljina petlje	do 5,5 km	do 3,8km	do 1,5km	do 900m
broj pretplatnika	do nekoliko tisuća	nekoliko stotina do nekoliko tisuća	nekoliko desetaka do nekoliko stotina	nekoliko desetaka
zahtjevi na propusnost za <i>multicast</i> promet	vrlo veliki	vrlo veliki	srednji	srednji
Redundancija	velika	velika	srednja	mala
učinkovitost potrošnje	mala	srednja	velika	velika (mogućnost udaljenog napajanje)

**Tablica 3. Prikaz scenarija razvoja pristupne mreže po pojedinim kriterijima**

Ova četiri scenarija razlikuju se po nekoliko kriterija:

- duljini pretplatničke petlje (udaljenost krajnjeg korisnika od pristupnog čvora);
- broj krajnjih korisnika kojima se može pružiti usluga;
- *multicast* mogućnosti;
- redundancija;
- potrošnja (napajanje).

Tablica 3. daje sumarni prikaz scenarija po pojedinim kriterijima.

Pristupni čvorovi ADSL/2/2+ najčešće se koriste u razvoju mreže na CO razini, dok se pristupni čvorovi VDSL2 koriste na preostale tri razine. Međutim, ovdje nije isključeno da se zbog gustoće pretplatnika i pristupni čvor ADSL2+ koristi za preostale tri razine.

## 4.5 Arhitektura širokopojasnih mreža temeljenih na tehnologiji VDSL2

U prethodnom poglavlju prikazani su scenariji razvoja mreže prema TR-101. U ovom poglavlju donosimo kratak pregled scenarija pogodnih za razvoj pristupnih mreža baziranih na VDSL2 tehnologiji.

VDSL2 tehnologija donosi dvije značajne prednosti u razvoju širokopojasnih pristupnih mreža:

- u tehnološkom smislu: pomak prema arhitekturi baziranoj u potpunosti na Ethernet tehnologiji (ADSL tehnologije koriste ATM na relaciji DSLAM - CPE modem);
- u topološkom smislu: lokacija DSLAM čvora bliže krajnjem korisniku.

Standard VDSL2 definira nekoliko različitih profila, koji su opisani u poglavlju 2., pri čemu je svaki profil pogodan za određeni scenarij razvoja usluga baziranih na tehnologiji VDSL2. Sa stanovišta topologije mreže možemo definirati sljedeće VDSL2 topološke scenarije:

- optika do udaljenog čvora (FTTrn - *Fiber to the remote node*): čvor VDSL2 DSLAM je lociran u udaljenom čvoru najčešće uz postojeću telekomunikaciju opremu za pružanje POTS ili ISDN usluge;
- optika do kabineta (FTTCab - *Fiber to the cabinet*): čvor VDSL2 DSLAM je lociran u uličnom kabinetu te optikom povezan na Ethernet/IP agregaciju mrežu;
- optika do zgrade (FTTB - *Fiber to the building*): čvor VDSL2 DSLAM se nalazi na lokaciji krajnjeg korisnika, npr. u podrumu zgrade.

VDSL2 profili 8a-8b i 12a-12b koriste se u FTTrn topologiji. Profil 17a se najčešće koristi u FTTCab topologiji dok se profil 30a primjenjuje u FTTB topologiji. Pri tomu je važno spomenuti da svaki od profila omogućava pružanje POTS i ISDN usluga, tj. ne koristi frekvencijski spektar klasične POTS ili ISDN

VDSL2 profil	8b	17a	30a
Maximum aggregate downstream transmit power (dBm)	+20.5	+14.5	+14.5
Maximum aggregate upstream transmit power (dBm)	+14.5	+14.5	+14.5
Sub carrier spacing (kHz)	4.3125	4.3125	8.625
Minimum net aggregate data rate (Mbit/s)	50	100	200
TR-101 level	2	3	3
Typical use case	Remote Node	FTTN	FTTB

**Tablica 4. VDSL2 profili**

usluge. Tablica 4. daje prikaz osnovnih karakteristika profila 8b, 17a te 30a.

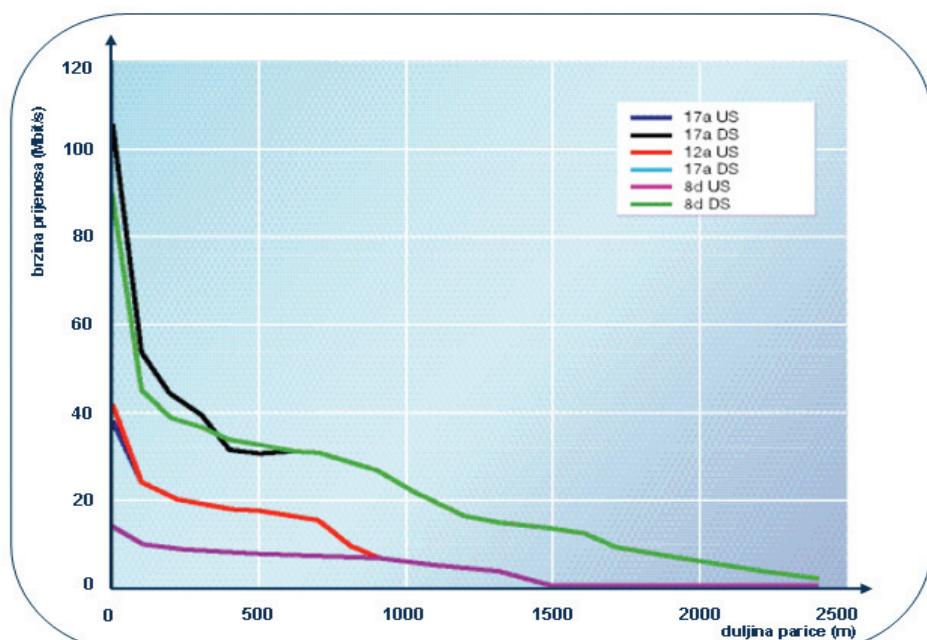
Na Slici 17. prikazana je izmjerena brzina prijenosa za Ericssonov EDA1200 VDSL2 sustav za profile 8a, 12a i 17a pri čemu je tijekom mjerjenja na promatranoj parici simuliran tipični šum preslušavanja 20 VDSL2 sustava. Očito je da je za postizanje većih brzina prijenosa potrebna kraća preplatnička petlja na nekoliko stotina metara. To podrazumijeva smještaj DSLAM čvorova bliže krajnjim korisnicima te korištenje optičke infrastrukture za prijenos podataka prema agregacijskoj mreži.

## 5. Zaključak

Tehnologija ADSL2plus se razvija kao nova širokopojasna okosnica za rezidencijalne i poslovne korisnike. No, industrija se istovremeno priprema i za sljedeći korak u razvoju tehnologije DSL - VDSL2. Veća pojasna širina koju osigurava standard VDSL2

omogućuje operatorima telekomunikacijskih sustava da ponude napredne usluge (kao što je nekoliko IPTV kanala), i to preko postojeće bakrene infrastrukture.

VDSL2 standard može postići veoma široku primjenu, naročito postignu li se bolje performanse prijenosa preko duljih petlji (duljih od korištenih za VDSL1 tehnologiju), kao rezultat razvoja tehnologije ADSL2plus te preko kratkih petlji, kao rezultat razvoja tehnologije VDSL1. Možda najvažniji aspekt standarda VDSL2 je korištenje Etherneta kao tehnologije za multipleksiranje (64/65 encapsulacija) na korisničkoj liniji. Eliminacija ATM-a u toj fazi znači da je pristupna arhitektura pojednostavljena te se uspostavlja cijelovita Ethernet infrastruktura s kraja na kraj mreže koja koristi tehnologiju VLAN kao mehanizam za isporuku usluga u cijeloj mreži. Izravna pogodnost koja se time postiže su manji troškovi održavanja mreže i upravljanja mrežom. Budući da se standard VDSL2 temelji na preporukama koje vrijede i za tehnologiju VDSL1-DMT i za tehnologiju ADSL

**Slika 17. VDSL2 brzine prijenosa u ovisnosti o profilu**

on je spektralno kompatibilan s postojećim uslugama, ali i s uslugama temeljenim na tehnologiji ADSL/2/plus. Tijekom nekoliko proteklih godina Ericsson je veliki značaj pridavao razvoju produkata i rješenja u segmentu širokopojasnih mreža s ciljem izgradnje čvrste pozicije na tržištu. Implementacijom novih tehnologija u svojim proizvodima, kao što su ADSL2+ i VDSL2, te primjenom novih arhitektura u rješenjima, kao što su IMS ili FTTx, Ericssonov portfelj proširen je u segmentu koji omogućuje uvođenje širokopojasnih tehnologija u postojeće telekomunikacije mreže te pružanje novih multimedijskih usluga krajnjim korisnicima, ali i pristup uslugama bilo kada i bilo gdje te s bilo kojeg terminala.

## 6. Kratice

**ADSL** Asymmetric Digital Subscriber Line

**ATM** Asynchronous Transfer Mode

**BRAS** Broadband Remote Access Server

**CO** Central Office

**DSL** Digital Subscriber Line

**DSLAM** DSL Access Multiplexer

**IEEE** Institute of Electrical and Electronics Engineers

**IP** Internet Protocol

**IPTV** IP TeleVision

**ISDN** Integrated Services Digital Network

**POTS** Plain Ordinary Telephone Service

**PPPoE** Point to Point Protocol over Ethernet

**PTM** Packet Transfer Mode

**PVC** Permanent Virtual Circuit

**QoS** Quality of Service

**TCP** Transmission Control Protocol

**UDP** User Datagram Protocol

**VLAN** Virtual Local Area Network

**VDSL2** Very high speed DSL 2

**VoD** Video on Demand

**VoIP** Voice over IP

## 7. Literatura

1. Interna Ericsson-ova dokumentacija
2. William Stallings : „Data and computer communications“, 6. izdanje, Pertince-Hall Inc., New Jersey
3. Alen Bažant i drugi: „Osnovne Arhitektur Mreža“, 1. izdanje, Element, Zagreb, Hrvatska
4. Technical Report TR-101 DSL forum
5. DSL Forum

### Adresa autora:

**Tihomir Fabeta**

e-mail: [tihomir.fabeta@ericsson.com](mailto:tihomir.fabeta@ericsson.com)

Ericsson Nikola Tesla d.d.  
Krapinska 45  
p.p. 93

HR-10002 Zagreb  
Hrvatska

*Uredništvo je primilo rukopis  
20. srpnja 2007.*