

UNIVERZA V MARIBORU
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO,
RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Branko Godec

**PREDNOSTI ADSL TEHNOLOGIJE PRI PRENOSU
INFORMACIJ**

Diplomsko delo

Maribor, junij 2001



UNIVERZA V MARIBORU



FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO,
RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO
2000 Maribor, Smetanova ulica 17

Diplomsko delo visokošolskega strokovnega študijskega programa

PREDNOSTI ADSL TEHNOLOGIJE PRI PRENOSU INFORMACIJ

Študent: Branko GODEC

Študijski program: visokošolski strokovni, Elektrotehnika

Smer: Elektronika

Mentor: mag. Gerhard ANGLEITNER, višji predavatelj

Mentor s strani

delodajalca: mag. Danijel GALUN

Maribor, junij 2001

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju mag. Gerharhu Angleitnerju za pomoč in vodenje pri opravljanju diplomske naloge. Prav tako se zahvaljujem svojemu delodajalcu Telekom Slovenije d.d., ki mi je finančno omogočil študij.

Posebna zahvala velja ženi, ki me je moralno podpirala pri študiju in opravljanju diplome.

PREDNOSTI ADSL TEHNOLOGIJE PRI PRENOSU INFORMACIJ

Ključne besede: telefonija, prenos informacij, širokopasovni dostopi, Internet

UDK: 621.395 + 621.391 (043.2)

Povzetek

Ta diplomska naloga opisuje tehnične lastnosti ter prednosti ADSL tehnologije pri dostopu do širokopasovnih storitev. Prenosni medij ADSL linije je sukani bakreni par obstoječega telefonskega kabelskega omrežja, kar zelo poceni izgradnjo linije. Odvisno od smeri prenosa podatkov ima ADSL tehnologija asimetrično porazdeljene prenosne hitrosti, ki dosegajo do 8 Mbit/s v smeri naročnika in do 800 kbit/s v smeri ponudnika storitve. Takšen način je posebej ugoden, ko se naročniku pošilja mnogo več informacij, kot jih le ta pošilja ponudniku. Takšna aplikacija je tudi Internet, ki je trenutno edina širšemu krogu uporabnikov dostopna širokopasovna storitev, zato je začetek uporabe ADSL tehnologije usmerjen predvsem v dostop do Interneta. S primerjavo ADSL dostopa in ostalih dostopov do Interneta je predstavljenih večina tehničnih in ekonomskih prednosti ADSL linije.

1. UVOD	1
2. TELEKOMUNIKACIJSKO OMREŽJE IN PRIKLJUČKI	3
2.1 Sukani bakreni par	3
2.2 Ostali prenosni mediji	4
2.3 PSTN priključek	4
2.4 Modem za PSTN priključek	7
2.5 ISDN-BA priključek	14
3. DSL TEHNOLOGIJE	18
3.1 HDSL	19
3.2 SDSL	23
3.3 ADSL	25
3.4 UDSL	27
3.5 VDSL	28
3.6 IDSL	30
4. ADSL TEHNOLOGIJA	31
4.1 Vloga Interneta pri razvoju ADSL tehnologije	31
4.2 Referenčni model (ADSL Forum)	32
4.3 Izenačevanje odboja in frekvenčni multipleks	34
4.4 Izbira linijske kode	36
4.5 CAP	37
4.6 DMT	38
4.7 Delovanje DMT	40

5. ADSL OKVIR IN SUPEROKVIR	43
5.1 Enosmerni ADSL navzdolnji promet	43
5.2 Dvosmerni ADSL promet	45
5.3 Združevanje prenosnih kanalov na ADSL liniji	46
5.4 ADSL režijski biti	47
5.5 ADSL superokvir	47
5.6 ADSL okvir	53
6. ADSL OMREŽJE	55
6.1 ADSL distribucijski načini	55
6.2 Vrste ADSL omrežij	58
6.3 DSL dostopovni multipleksor – DSLAM	61
6.4 ADSL za prenos IP paketov od konca do konca	62
6.5 ADSL za prenos ATM celic	64
6.6 ADSL na strani uporabnika	69
7. PRIMERJAVA ADSL DOSTOPA Z OSTALIMI DOSTOPI	72
7.1 Primerjava ADSL in klicnega dostopa – za fizične osebe	73
7.2 Primerjava ADSL in kablskega dostopa – za fizične osebe	77
7.3 Primerjava ADSL in klicnega dostopa – za pravne osebe	79
7.4 Primerjava ADSL in kablskega dostopa – za pravne osebe	82
7.5 Primerjava ADSL dostopa in dostopa z zakupljenim vodom	84
8. ZAKLJUČEK	86

UPORABLJENE KRATICE

2B1Q	2 binarna 1 kvartarno 'koda' (2 Binary 1 Quaternary)
ADSL	asimetrični DSL (Asymmetrical DSL)
AM	amplitudna modulacija
ANSI	Ameriški narodni inštitut za standardizacijo (American National Standard Institute)
ASCII	Ameriški standard kod za informacijsko izmenjavo (American Standard Code for Information Interchange)
ATM	asinhroni prenosni način (Asynchronous Transfer mode)
ATU-C	ADSL enota za prenos podatkov na strani centrale (ADSL Transmission Unit, Central office side)
ATU-R	ADSL enota za prenos podatkov na strani uporabnika (ADSL Transmission Unit, Remote side)
BA	osnovni dostop (Basic Access)
B-ISDN	širokopasovne integrirane storitve digitalnega omrežja (Broadband Integrated Services Digital Network)
CAP	amplitudno/fazna modulacija brez nosilca (Carrierless Amplitude/Phase modulation)
CEBus	uporabniško elektronsko vodilo (Consumer Electronics Bus)
CRC	ciklično preverjanje redundance (Cyclic Redundancy Check)
DHCP	protokol za dinamično konfiguriranje gostiteljskih računalnikov (Dynamic Host Configuration Protocol)
DMT	deljeno več-tonska modulacija (Discrete Multi Tone modulation)
DSL	digitalna naročniška linija (Digital Subscriber Line)
DSLAM	dostopovni multipleksor DSL (DSL Access Multiplexer)
EC	izenačevanja odboja (Echo Cancelling)
<i>eoc</i>	vgrajeni obratovalni kanal (embedded operations channel)
ETSI	Evropski inštitut za telekomunikacije (European Telecommunications Standards Institute)
FCS	sekvenca preverjanja okvirja (Frame Check Sequence)
FDM	frekvenčni multipleks (Frequency Division Multiplex)
FEC	vnaprejšnja odprava napak (Forward Error Correction)
FM	frekvenčna modulacija
HDLC	visokonivojski povezovalni podatkovni protokol (High-level Data Link Protocol)
HDSL	DSL visoke bitne hitrosti (High bit rate DSL)
HOH	HDSL režijski biti (HDSL overhead)
<i>ib</i>	indikacijski biti (indication bits)
IDSL	ISDN DSL
IEEE	ustanova elektro-inženirjev in inženirjev elektronike (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
IP	Internet protokol (Internet Protocol)
ISDN	integrirane storitve digitalnega omrežja (Integrated Services Digital Network)

ISP	ponudnik Internetnih storitev (Internet Service Provider)
ITU	mednarodna telekomunikacijska zveza (International Telecommunication Union)
LAN	lokalno omrežje (Local Area Network)
LEPA	centralni primarni dostop (Local Exchange Primary Access)
lsb	najmanj utežni bit (least significant bit)
MAC	krmiljenje dostopa do prenosnega medija (Media Access Control)
MPEG	ekspertna skupina za gibljive slike (Motion Picture Experts Group)
msb	najbolj utežni bit (most significant bit)
NEXT	bližnji presluh - (Near-end Crosstalk)
NIC	omrežna vmesniška kartica (Network Interface Card)
NT	omrežni zaključek (Network Terminator)
NTPA	omrežna zaključitev primarnega dostopa (Network Termination Primary Access)
occ	obratovalni nadzorni kanal (operations control channel)
PA	primarni dostop (Primary Access)
PAM	impulzno amplitudna modulacija (Pulse Amplitude Modulation)
PBX	zasebna naročniška centrala (Private Branch Exchange)
PCM	impulzno kodna modulacija (Pulse Code Modulation)
PDH	plesiohrona digitalna hierarhija (Plesiosynchronous Digital Hierarchy)
PM	fazna modulacija (Phase Modulation)
POTS	osnovna telefonska storitev (Plain Telephone Old Service)
PPP	protokol od točke do točke (Point-toPoint Protocol)
PSTN	javno komutirano telefonsko omrežje (Public Switched Telephone Network)
PVC	trajno navidezna zveza (Permanent Virtual Connection)
QAM	kvadratura amplitudna modulacija (Quadrature Amplitude Modulation)
sc	nadzor sinhronizacije (synchronization control)
SDH	sinhrona digitalna hierarhija (Synchronous Digital Hierarchy)
SDSL	eno parni DSL (Single pair DSL)
SDV	komutirani digitalni video (Switched Digital Video)
STM	sinhroni prenosni način (Synchronous Transfer Mode)
SVC	komutirana navidezna zveza (Switched Virtual Connection)
TCP/IP	protokol za krmiljenje prenosa/IP (Transmission Control Protocol/IP)
TDM	časovni multipleks (Time Division Multiplex)
UDSL	univerzalni DSL (Universal DSL)
UNI	vmesnik med uporabnikom in omrežjem (User to Network Interface)
USB	univerzalno serijsko vodilo (Universal Serial Bus)
UTP	neoklopljena sukana parica (Unshielded Twisted Pair)
VC	navidezni kanal (Virtual Chanel)
VCI	identifikator navideznega kanala (Virtual Channel Identifier)
VDSL	DSL zelo velike bitne hitrosti (Very High Bitrate DSL)
VoD	video na zahtevo (Video on Demand)
VP	navidezna pot (Virtual Path)
VPI	identifikator navidezne poti (Virtual Path Identifier)

1. UVOD

V današnjem času so informacije izrednega pomena, še pomembneje pa je, da so le te čimprej in čimbolj dostopne. Omrežje, ki ponuja neomejeno količino pomembnih, koristnih pa tudi nekoristnih informacij, je svetovni splet (www - world wide web) oziroma Internet. Na začetku so ga uporabljali le v raziskovalnih ustanovah, danes pa je dostopen tako poslovnim, kot tudi rezidenčnim uporabnikom. Uporablja se več različnih načinov dostopa do Interneta. Izbira dostopa je odvisna od uporabnikovih potreb. Manj zahtevni a daleč najštevilnejši uporabniki, do Interneta dostopajo s klicnim dostopom preko telefonskega priključka. Zahtevnejši uporabniki uporabljajo omrežje kableske televizije, če je le to prisotno in omogoča takšen dostop. Najzahtevnejši uporabniki pa za te namene uporabljajo zakupljene vode. Cena uporabe posameznega dostopa pa se z zahtevnostjo zvišuje. Dandanes Internet omogoča razne večpredstavnostne aplikacije, ki pa na žalost zahtevajo tudi vedno višje prenosne hitrosti, ki jih klicni dostop ne more več kvalitetno zagotavljati, ostale alternative pa so za manjše uporabnike cenovno nedostopne. Potrebno je bilo poiskati rešitev, ki bi omogočala prenos podatkov višjih hitrosti in bi bila cenovno dostopna širšemu krogu uporabnikov. Omrežje bakrenih sukanih parov, ki se uporablja za telefonske priključke, je dostopno praktično vsakemu uporabniku. Po drugi strani pa ti priključki izkoriščajo le manjši del razpoložljive pasovne širine posameznega bakrenega para. Dostopnost in neizkoriščenost pasovne širine bakrenega para je bil glavni povod za razvoj novih tehnologij, ki te dane možnosti v veliki meri izkoriščajo. Rezultat so razne DSL linije (Digital Subscriber Line - digitalna naročniška linija), ki zagotavljajo prenos podatkov velikih hitrosti preko obstoječega omrežja bakrenih sukanih parov. Uporabniku cenovno najdostopnejša in zato tudi najbolj zanimiva je ADSL linija (Asymmetrical DSL – asimetrični DSL), zato jo to diplomsko delo tudi najbolj podrobno opisuje. Asimetrični prenos podatkov je namenjen aplikacijam, kjer je promet podatkov v določeni smeri večji kot v nasprotni smeri. Trenutno daleč najbolj razširjen predstavnik takšnih aplikacij je Internet, vendar ADSL odpira možnost nekaterim novim storitvam, kot so video in audio na zahtevo, telemedicina, delo na domu, itn..

Namen tega diplomskega dela je predstavitev ADSL linije, tako iz tehničnega kot iz cenovnega vidika. Iz tehničnega vidika ni nobenih dvomov glede same uporabnosti ADSL linije, saj le ta omogoča velike hitrosti prenosa podatkov in to kar preko obstoječega omrežja bakrenih sukanih parov, kar zelo poceni samo vzpostavitev linije. Poraja pa se vprašanje, ali je ADSL za uporabnika tudi cenovno ugoden. Za natančno predstavitev cenovne ugodnosti, sem opravil cenovno primerjavo ADSL dostopa z ostalimi komercialnimi dostopi do Interneta, ki daje natančen odgovor na to vprašanje. Primerjava upošteva tako stroške vzpostavitve posameznega dostopa, kot tudi ceno mesečne naročnine, za klicne dostope pa še ceno potrošenih telefonskih impulzov in časovne uporabe Interneta.

Vsebina diplomskega dela se začne z opisom obstoječega telekomunikacijskega omrežja in uporabljenih prenosnih medijev. Sledi opis obstoječih priključkov in različnih tehnik za prenos podatkov preko teh priključkov ter za to uporabljenih modulacij, od katerih je najbolj natančno opisana kvadratična modulacija, saj se uporablja tudi za prenos po ADSL liniji. Naslednje poglavje v grobem opisuje različne DSL tehnologije ter njihov namen uporabe. Sledi opis ADSL tehnologije, ki opisuje sam razvoj, referenčni model, izbiro linijske kode, frekvenčno razporeditev signala, delitev pasovne širine na kanale, vpliv linijskih razmer na hitrost prenosa in se zaključuje s praktičnim »posnetkom« vseh kanalov določene ADSL linije. Sledi poglavje, ki predstavi ADSL okvir in superovir ter opisuje dogajanje na fizičnem nivoju ADSL linije. Naslednje poglavje opisuje ADSL omrežje in njegove elemente pri naročniku in ponudniku ter različne načine prenosa podatkov skozi omrežje, ki predstavljajo dogajanje na višjih nivojih. Sledi poglavje, kjer je narejena primerjava ADSL dostopa do Interneta z ostalimi komercialnimi dostopi. Cilj primerjave je ugotoviti ekonomsko upravičenost namestitve ADSL linije za posamezen krog uporabnikov.

2. TELEKOMUNIKACIJSKO OMREŽJE IN PRIKLJUČKI

Telekomunikacijsko omrežje je namenjeno prenosu informacij med dvema lokacijama. Informacija je lahko govor, telefaks sporočilo, računalniški podatek, video, audio, Informacija je torej nek signal, katerega za potrebe prenosa pretvorimo v električni, radijski ali optični signal in ga tako prenašamo preko ustreznega medija.

V telekomunikacijskem omrežju se kot medij za električne signale uporablja sukani bakreni par, medij radijskih signalov je zrak, optičnih pa optično vlakno. DSL tehnologije so bile razvite z namenom, da za prenos informacij uporabljajo obstoječe omrežje sukanih bakrenih parov, po katerih se razširjajo električni signali, zato bosta v nadaljnjih poglavjih opisani predvsem ti dve temi.

2.1 Sukani bakreni par

Najbolj razširjeno omrežje je omrežje sukanih bakrenih parov. Preko njih so na centralo priključeni komutirani priključki kot so: analogni oziroma PSTN telefonski priključki (Public Switched Telephone Network – javno komutirano telefonsko omrežje); digitalni oziroma ISDN priključki (Integrated Services Digital Network – integrirane storitve digitalnega omrežja) in sicer vsi ISDN-BA priključki (Basic Access – osnovni dostop) ter ISDN-PA dostop (Primary Access – primarni dostop) na krajših razdaljah.

Prav tako se sukani bakreni pari uporabljajo za prenos podatkov preko zakupljenih vodov do hitrosti 2 Mbit/s, kjer po njih poteka prenos podatkov od naročniškega modema do delilnika, ki se nahaja v prostorih ponudnika telekomunikacijskih storitev.

Dolžina sukanega bakrenega para, po katerem se prenašajo električni signali, ki prenašajo informacijo, je zaradi slabljenja in popačitve električnih signalov omejena. Glavni električni parametri, ki vplivajo na omejitev dolžine so upornost R , induktivnost L , kapacitivnost C in prevodnost G . Vpliv kapacitivnosti in induktivnosti lahko s pravilno izvedenim sukanjem parov precej zmanjšamo, saj se na ta način medsebojno izničujeta.

Upornost in prevodnost pa vplivata na slabljenje, zato je dolžina para, po katerem se prenaša ustrezni električni signal, omejena. Rešitev je mogoča z namestitvijo vmesnih ojačevalnikov, kar pa močno podraži linijo, saj ojačevalniki potrebujejo tudi ustrezno napajanje, zato se ta rešitev v lokalnem omrežju praviloma ne izvaja. K popačitvam prenašanega signala pa prispevajo tudi presluhi signalov, ki se prenašajo po sosednjem paru ter medsebojni spoji parov na spojkah oziroma delilnikih.

2.2 Ostali prenosni mediji

Za prenos električnih signalov se uporabljajo tudi koaksialni kabli. Odkar je TDM tehnologija (Time Division Multiplex – časovni multipleks) popolnoma nadomestila FDM tehnologijo (Frequency Division Multiplex – frekvenčni multipleks), se koaksialni kabel v omrežju Telekoma Slovenije ne uporablja več. Uporablja pa se v omrežju kabelske televizije ter v nekaterih lokalnih računalniških omrežjih LAN (Local Area Network).

Optična vlakna omogočajo prenos podatkov večjih hitrosti zato se uporabljajo za povezovanje central, za zakupljene vode hitrosti od 2 Mbit/s naprej, ISDN-PA dostope na daljših razdaljah od centrale ter nekaterih izvedbah LAN računalniških omrežij. Kljub temu, da se optična vlakna uporabljajo za prenos digitalnega tipa informacij, je signal, ki se po tem mediju razširja, zaradi same narave svetlobe analogne oblike.

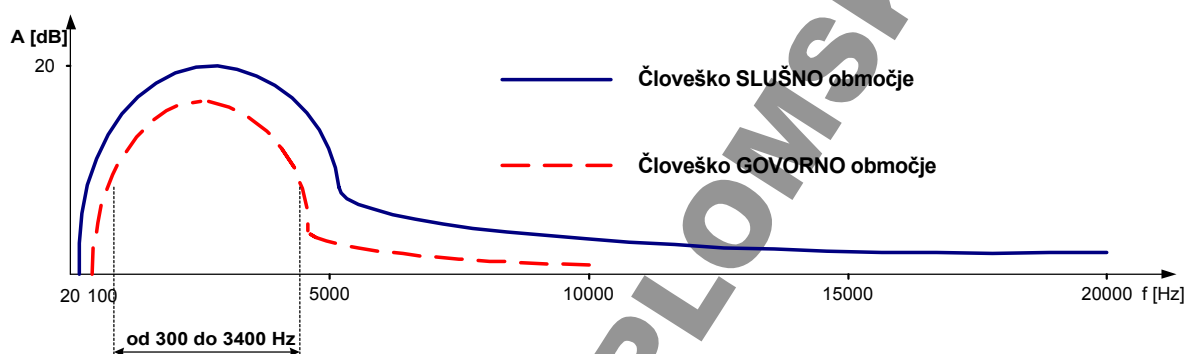
Zrak je medij, ki omogoča prenos informacije s pomočjo razširjanja elektromagnetnih valov. Poznamo razpršeno in usmerjeno razširjanje elektromagnetnih valov. Primer razpršenega razširjanja je mobilna telefonija, usmerjeno razširjanje pa uporabljamo za povezovanje dveh komunikacijskih točk, kot sta na primer dve centrali ali dve LAN računalniški omrežji. Pogoji za takšno povezovanje dveh komunikacijskih točk je optična vidljivost med točkama.

2.3 PSTN priključek

Analogni ali PSTN telefonski priključek je bil razvit za potrebe prenosa govora. Govor je analogna oblika signala, ki ga s pomočjo komponent telefonskega aparata pretvorimo v

analogni električni signal in ga po sukanem bakrenem paru prenašamo do centrale. Ker je digitalne signale mnogo lažje krmiliti od analognih, današnje centrale in povezave med njimi operirajo z digitalnimi signali. Iz tega razloga je potrebno vhodni analogni signal ustrezno pretvoriti v digitalno obliko.

Človeško slušno območje ima pasovno širino nekje od 20 Hz do 20 kHz, kar pa se od človeka do človeka razlikuje. Večina ljudi pa s svojimi glasilkami ne more ustvariti višjih frekvenc od 3,7 kHz. Največja energija govora in sluha je zajeta v frekvenčnem pasu do 5 kHz, potrebno področje razumljivosti govora pa ima pasovno širino od 300 do 3400 Hz.



Slika 2.1: Človeško slušno in govorno območje v odvisnosti od frekvence in jakosti signala

V preteklosti so za potrebe prenosa po FDM prenosnih sistemih zaradi dodatnih varovalnih pasov razvili komunikacijski kanal pasovne širine od 0 do 4 kHz, ki se je ohranil tudi v TDM prenosnih sistemih.

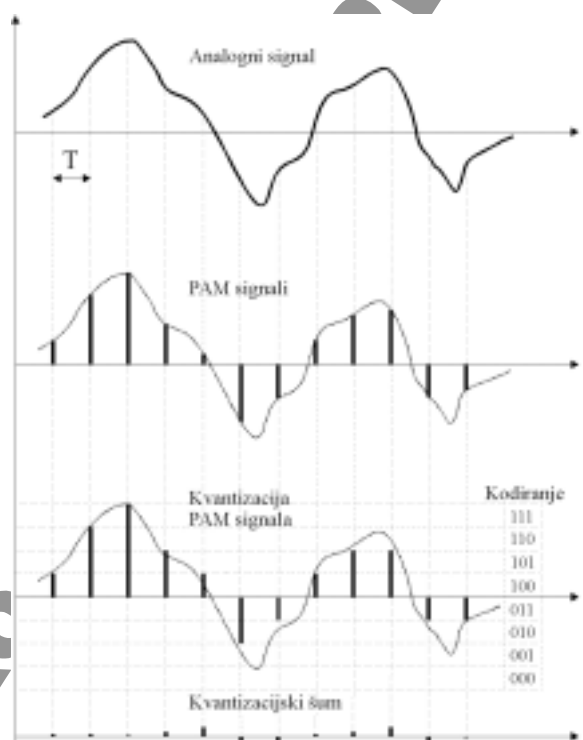
Na točki kjer je bakreni sukani par priključen na centralo se nahaja pasovni filter, ki iz prispelega signala izloči vse višje frekvence od 4 kHz.

Pretvorbo analognih signalov v digitalne izvedemo s PCM modulacijo (Pulse Code Modulation - impulzno kodna modulacija). To je postopek, s katerim analogni signal pretvorimo v digitalnega. Na analognem signalu se pri tem opravijo tri osnovne operacije:

- **vzorčenje:** v točno določenih časovnih intervalih odvezamo trenutne vrednosti oziroma vzorce amplitud analognega signala. Krajši je interval, bolj se približamo dejanski obliki analognega signala. Frekvenca vzorčenja mora biti po Nyquistovem kriteriju najmanj dvakrat večja od najvišje frekvence signala komunikacijskega kanala, ki je navzgor omejen s frekvenco 4 kHz. Zato je frekvenca vzorčenja 8 kHz, torej se vzorec odjema vsakih 125 μ s. Na ta način dobimo PAM signal (Pulse Amplitude Modulation - impulzno amplitudna modulacija).

- **kvantiziranje:** celotno amplitudno območje je razdeljeno na določeno število razdelkov, ki jih imenujemo kvanti. S kvantiziranjem se posameznemu vzorcu določi nivo oziroma število kvantov, ki jih v nadaljnjem postopku kodiranja spremenimo v digitalno kodo. Ker se vzorci zaokrožijo, pride do napake, ki jo imenujemo kvantizacijski šum. Čim večje je število kvantizacijskih nivojev, tem manjši je kvantizacijski šum. Za komunikacijski kanal je teh nivojev 256.
- **kodiranje:** s kodiranjem se kvantiziran vzorec pretvori v digitalno kodo. Takšen vzorec lahko zasede enega od 256 nivojev in je v nadaljnjem postopku kodiran z 8 bitno binarno kodo ($2^8=256$). Amplitudni vrednosti vsakega vzorca pripada točno določena kombinacija osmih bitov.

Če upoštevamo, da po enem komunikacijskem kanalu prenesemo 8 bitov vsakih $125\mu s$, potem prenesemo v eni sekundi 64000 bitov. Hitrost prenosa podatkov po enem kanalu je zato enaka 64 kbit/s.

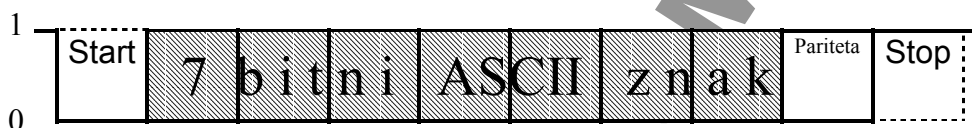


Slika 2.2: Vzorčenje, kvantiziranje, kodiranje in kvantizacijski šum

Iz zgornje slike je razviden postopek vzorčenja, kvantiziranja in kodiranja. Zaradi lažjega razumevanja, je opisano 8 nivojsko kvantiziranje, kar posledično določa kodiranje s tremi bitmi ($2^3=8$).

2.4 Modem za PSTN priključek

Prenos podatkov med oddajnim in sprejemnim računalnikom, zaradi vmesnega linijskega dela, poteka serijsko. Prenašajo se ASCII znaki (American Standard Code for Information Interchange – Ameriški standard kod za informacijsko izmenjavo), ki so zakodirani s 7 biti. Ker oddajnik na eni strani povezave in sprejemnik na drugi strani nista sinhronizirana, je prenos asinhron. Da sprejemnik ve, kdaj se prispeli znak začne in kdaj konča, je na začetku znaka dodan start bit in na koncu stop bit. Za preverjanje pravilnosti prenosa je pred stop bitom dodan še paritetni bit. Naslednja slika prikazuje ASCII znak z dodanim start, stop in paritetnim bitom.

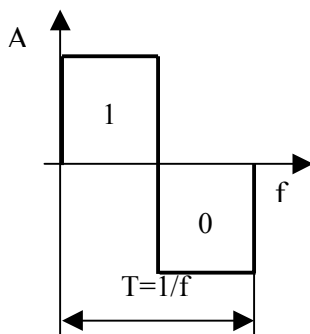


Slika 2.3: Potrebni podatkovni biti za asinhron prenos podatkov ASCII znaka

Izbrati je možno sodo ali liho pariteto. Pri sodi pariteti oddajnik postavi paritetni bit na "1", kadar je število enic v oddanem ASCII znaku liho, pri lihi pariteti pa, kadar je število enic, v oddanem znaku sodo. Da se prenese 7 bitov koristne informacije, mora oddajnik oddati skupaj 10 bitov, kar pomeni kar 30% balastnih podatkov. Izkoriščenost takšnega načina prenosa je komaj 70%, pa še to ob predpostavki, da na liniji ni napak in ni potrebna poodaja znakov. Obstaja tudi možnost oddaje 8 bitnega znaka brez paritetnega bita, kar izkoriščenost prenosa podatkov dvigne na 80%, če se podatki prenesejo brez napak.

Kadar se povezava med dvema PSTN priključkoma uporabi za prenos podatkov med dvema računalnikoma, je na obeh koncih povezave potreben **modem**. Modem je vmesnik med računalnikom in linijo. Je naprava, ki ustrezno pretvarja računalniške signale v linijske in obratno. Postopek, s katerim modem pretvarja iz računalnika sprejete digitalne signale v analogne signale primerne za prenos po liniji, se imenuje modulacija. Obratni postopek, kjer modem iz linije sprejete analogne signale pretvori v računalniku primerne digitalne signale, pa se imenuje demodulacija. Iz začetnic teh dveh postopkov je modem tudi dobil svoje ime. Ker delujejo v področju govornega pasu od 300 do 3400 Hz, jim pravimo tudi glasovni oziroma po angleško *voice* modemi.

Iz računalnika prispejo na modem podatki v obliki zaporedja bitov. Če bi le te direktno prenašali po liniji, bi bila njihova podatkovna hitrost enaka dvakratni pasovni širini linije. V eni periodi frekvence bi lahko prenesli 2 bita, kar prikazuje tudi naslednja slika.



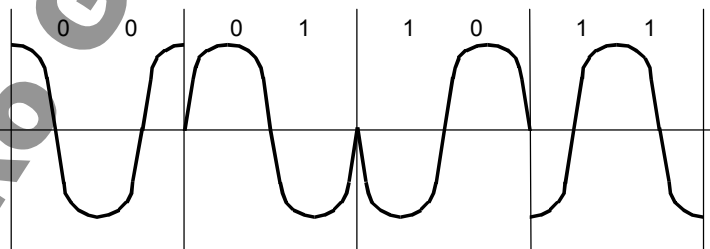
Slika 2.4: V eni periodi frekvence se lahko preneseta dva bita

Iz tega sledi enačba:

$$C = 2 \cdot B = 2 \cdot 3100 \text{ Hz} = 6200 \text{ bit/s}, \quad (1.1)$$

Kjer je: C - prenosna hitrost v bit/s
 B - pasovna širina linije v Hz

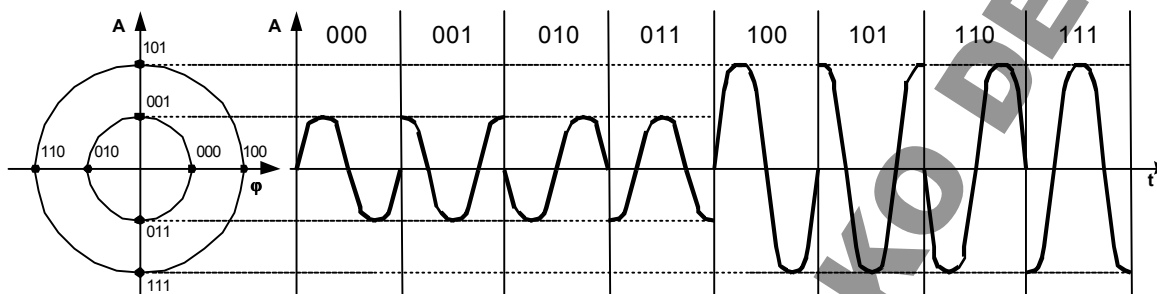
Ker je takšna prenosna hitrost za današnje aplikacije premajhna, so bile razvite tehnike, kjer se namesto bitov po liniji prenašajo simboli (Boud). Vsak simbol predstavlja točno določeno zaporedje bitov. Simbole dobimo, če nad ustreznim zaporedjem bitov opravimo amplitudno modulacijo (AM), frekvenčno modulacijo (FM) ali fazno modulacijo (PM).



Slika 2.5: Primer 2-bitnih simbolov, pridobljenih s fazno modulacijo

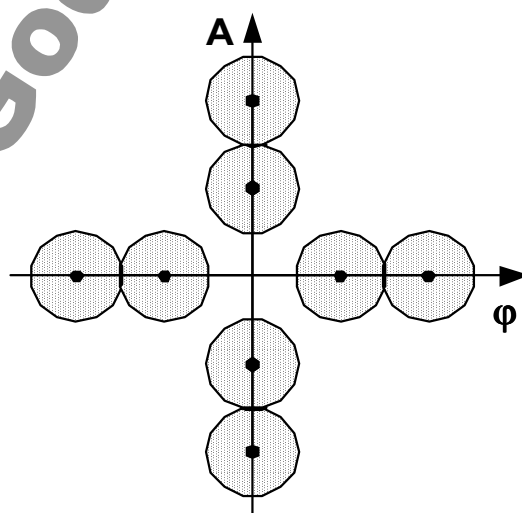
Za doseganje večjih prenosnih hitrosti, je potrebno uporabiti kombinacijo AM in PM. Za lažje razumevanje je na naslednji sliki predstavljena kombinacija modulacije z dvema

amplitudama in štirimi fazami. Vsako amplitudo predstavlja po ena krožnica, fazni koti 0° , 90° , 180° in 270° pa so predstavljeni s pozitivnimi in negativnimi poltraki koordinatnega sistema. Na desni strani so vsi na ta način pridobljeni simboli.



Slika 2.6: S kombinacijo AM in PM dobljeni simboli

Koliko bitov lahko zakodiramo v posamezen simbol, pa je odvisno od šuma, ki je prisoten na liniji. Posamezen simbol lahko predstavimo kot točko v ravnini $A-\phi$. Šum spreminja originalen signal na njegovi signalni poti, tako da spreminja njegovo amplitudo in fazo. Zaradi tega le ta na sprejemni strani ni popolnoma enak oddanemu signalu. Koliko sprejeti signal odstopa od predpisane lege, je odvisno od količine šuma na liniji. To odstopanje imenujemo tudi razsipanje okoli predpisane lege. Sprejeti signal se nahaja v območju okoli predpisane lege. Če je šum prevelik, se ta območja lahko prekrivajo. Posamezen sprejeti signal lahko predstavlja več različnih simbolov, zato ga sprejemnik lahko razpozna kot napačnega. Naslednja slika prikazuje primer prekrivanja območij razsipanja okoli predpisane lege za primer na prejšnji sliki.



Slika 2.7: Odstopanje sprejetega signala od predpisane lege zaradi prisotnosti šuma

Iz slike je razvidno, da bi se s pravilno razporeditvijo predpisanih leg dalo doseči manjšo možnost prekrivanja območij. Zelo dobro razporeditev in s tem tudi manjšo možnost prekrivanja območij, se da doseči z razporeditvijo predpisanih leg v obliki kvadratne mreže. Na podlagi tega je bila razvita QAM modulacija (Quadrature Amplitude Modulation – kvadratura amplitudna modulacija).

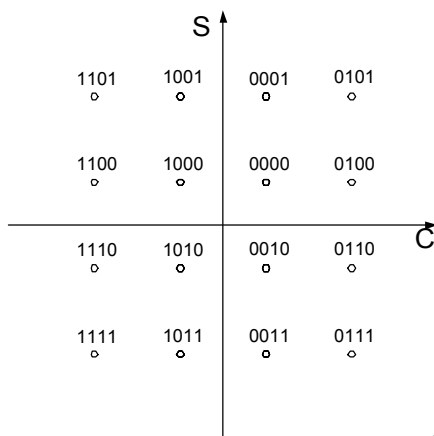
QAM modulacija se uporablja pri vseh PSTN modemih, ki na frekvenčnem pasu 3100 Hz omogočajo prenos podatkov višjih hitrosti. Deluje na podlagi sočasne modulacije amplitude in faze. Tako pridobljeni signal se prenaša na nosilcu, ki je v tem primeru frekvenca. Da se pri QAM modulaciji dobijo določeni simboli, se z enim diskretnim signalom modulira sinusni signal, z drugim diskretnim signalom pa kosinusni signal nosilne frekvence. Izhodni signal oziroma simbol se dobi s kombinacijo obeh, kar matematično opisuje naslednja funkcija:

$$U(t) = S(t) \cdot \sin(\omega t) + C(t) \cdot \cos(\omega t) \quad (1.2)$$

Kjer je : $U(t)$ - izhodni simbol v odvisnosti od časa
 $S(t)$ - prvi diskretni signal v odvisnosti od časa
 $C(t)$ - drugi diskretni signal v odvisnosti od časa
 t - čas
 ω - krožna frekvenca

Sinusni in kosinusni signal iste frekvence sta med seboj skoraj enaka. Edina razlika je v tem, da sta med seboj zmeraj fazno zamaknjena za kot 90° oziroma za pravi kot, zato pravimo, da sta sinusni in kosinusni signal iste frekvence vedno v kvadraturi. Iz tega izvira tudi ime kvadratura amplitudna modulacija.

Za razlago QAM modulacije je dober primer modema, ki ustreza V.32 standardu. Le ta uporablja QAM16 modulacijo (večkrat navedeno tudi QAM4x4), ki zakodira en simbol s štirimi biti. Na ta način se dobi 16 različnih simbolov, kar omogoča prenos podatkov hitrosti 9600 bit/s. Prikaz vseh šestnajstih simbolov v časovnem diagramu bi bila zelo nepregledna, zato jih predstavimo s pomočjo S-C ravnine, kjer predstavlja eno dimenzijo amplituda, drugo pa faza. Ta ravnina se imenuje tudi konstelacijska shema QAM modulacije in jo prikazuje naslednja slika.



Slika 2.8: Konstelacijska shema QAM16 modulacije

Če bi z enim simbolom prenašali informacijo o vrednosti enega samega bita, bi modem na pasovni širini 3100 Hz lahko prenašal podatke nekje s hitrostjo 2400 bit/s in bi s tem v eni sekundi prenesel tudi 2400 simbolov. Ta hitrost se imenuje simbolna hitrost oziroma Baudna hitrost in je osnova za vse PSTN modeme. Vse višje hitrosti standardiziranih modemov dobimo, če število bitov s katerimi zakodiramo simbol, pomnožimo z osnovno Baudno hitrostjo. Naslednja tabela prikazuje nekaj standardiziranih modemov.

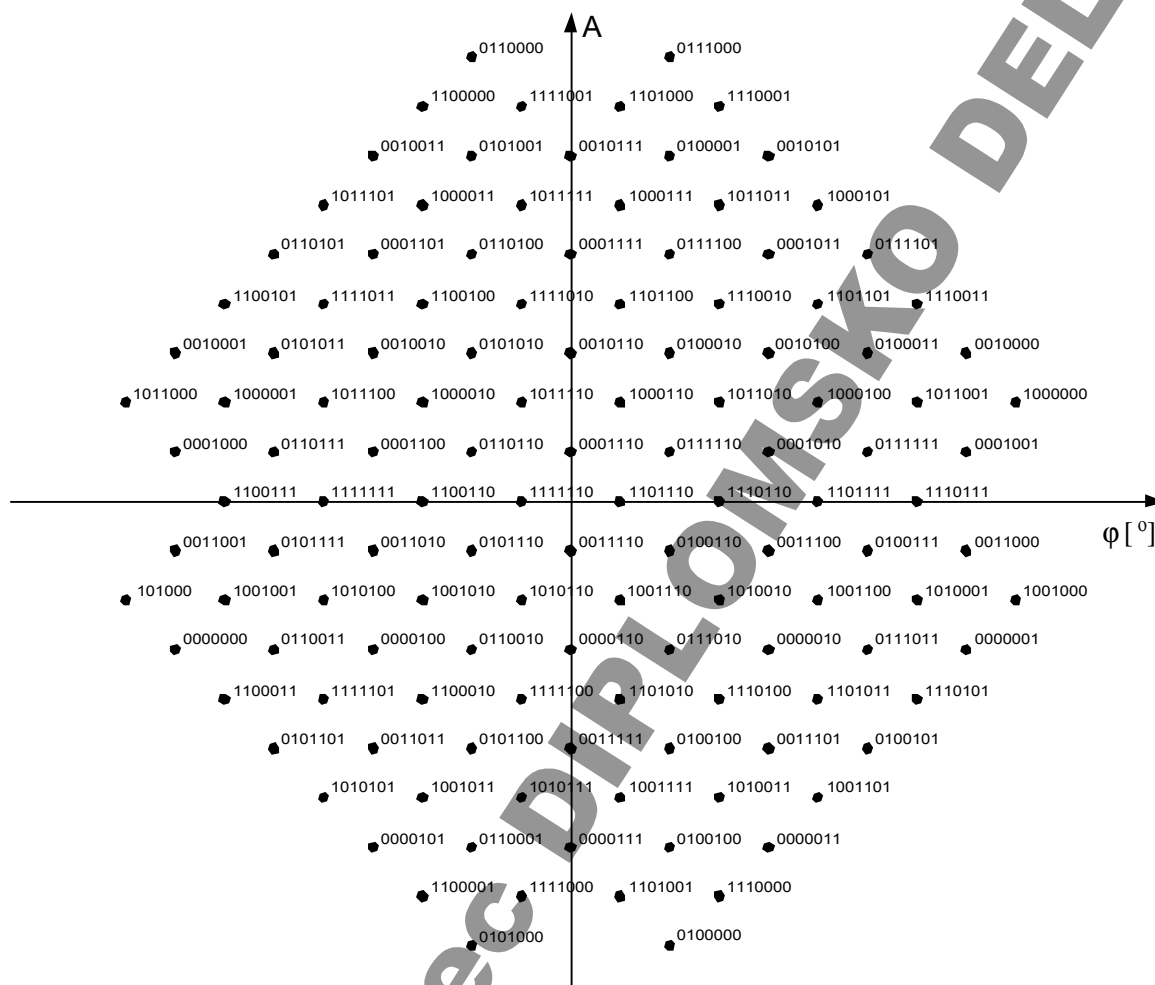
Tabela 2.1: Primerjava PSTN modemov

ITU-T standard	Bitov na simbol	Število simbolov	Podatkovna hitrost
V.32	4	16	9.600 kbit/s
V.32 – bis	6	64	14.400 kbit/s
V.34	12	4.096	28.800 kbit/s
V.34 –bis	14	16.384	33.600 kbit/s

Iz tabele je razvidno, da se z večanjem števila bitov na posamezni simbol eksponentno povečuje število posameznih simbolov, kar posledično pomeni tudi povečanje števila potrebnih faznih kotov in amplitudnih nivojev, to pa zelo povečuje kompleksnost delovanja modema. Rezultat vsega pa je le majhno povečanje hitrosti.

Primer za boljše razumevanje kompleksnosti QAM modulacije z večjim številom simbolov prikazuje konstelacijska shema QAM128 modulacije, kjer je posamezen od 128-ih simbolov zakodiran z 7-imi biti. Sliko posameznega simbola, ki ga prenašamo z nosilno frekvenco dobimo, če iz predpisane lege simbola v nasprotni smeri urinega kazalca naredimo krožnico okoli središča slike in opazujemo dogajanje v časovni odvisnosti.

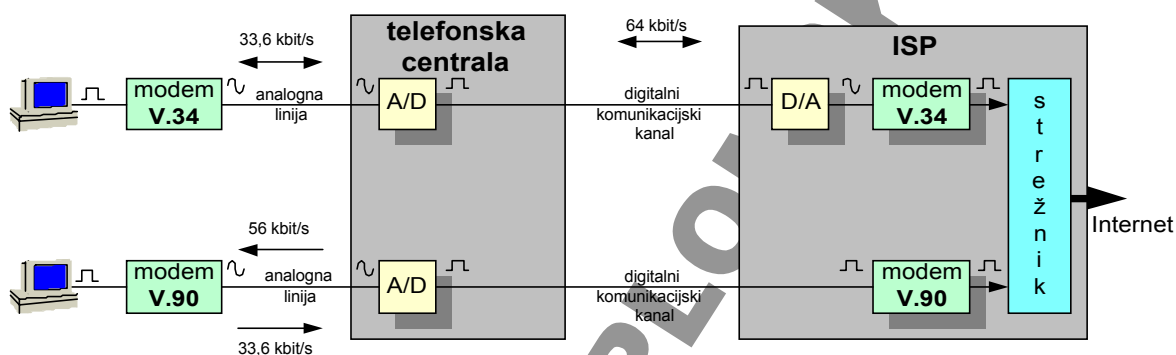
Zamislimo si konstelacijsko shemo V.34-bis modema, ki ima 16384 simbolov, od katerih je vsak zakodiran s 14-imi biti.



Slika 2.9: Konstelacijska shema QAM128 modulacije

Modem, ki zadostuje standardu V.90, pa deluje nekoliko drugače. Digitalni komunikacijski kanal ima pasovno širino 4000 Hz, zato je vzorčen 8000 krat na sekundo in kvantiziran z 256 nivoji, od katerih je vsak zakodiran z 8 bitno PCM besedo. V.90 modemi delujejo na podoben način, vendar od vseh 256 PCM besed uporabljajo le 128, ki so zato lahko zakodirane s 7-imi biti. Signal je enako vzorčen 8000 krat na sekundo, zato 7 bitna beseda omogoča hitrost prenosa podatkov 56 kbit/s. Nadgradnja z V.90 modemom na strani uporabnika pa zahteva direktno priključitev digitalnega komunikacijskega kanala na strežnik ponudnika internetne storitve. Na ta način se izloči D/A (digitalno/analogna) konverzija na strani ISP. Zaradi tega D/A konverzija v smeri uporabnika ni občutljiva na kvantizacijski šum in omogoča prenos podatkov hitrosti 56 kbit/s. V.90 modem deluje v

smeri uporabnika enako, kot pri PCM kanalu za govor, tako da za vsako od 128 PCM besed generira različen ton, ki ga nato modem rekonstruira v ustrezno 7 bitno besedo. Pri prenosu podatkov v smeri centrale pa je zaradi A/D konverzije še zmeraj prisoten kvantizacijski šum, zato modem v tej smeri še zmeraj deluje s hitrostjo 33,6 kbit/s. V.90 modem pa po potrebi lahko v smeri centrale deluje tudi po starem, s hitrostjo 33,6 kbit/s, kar mu omogoča tudi povezavo z ostalimi modemi, ki so na svoji strani deležni D/A konverzije. Naslednja slika prikazuje priključitev V.34 in starejših modemov na strežnik ISP, ter priključitev V.90 modema na ISP strežnik.



Slika 2.10: Priključitev modemov V.34 in V.90 na ISP strežnik

S pojavom Interneta se je močno povečala potreba po prenosu podatkov med različnimi lokacijami. Ker je bilo omrežje PSTN priključkov dostopno praktično vsem uporabnikom, je bilo smotrno, da se izkoristi tudi za prenos podatkov. Vendar pa je bil PSTN priključek razvit za prenos govornih signalov, za kar pa je potreben in tudi uporabljen le ozek frekvenčni pas. Frekvenčna omejitev predstavljala največjo oviro za doseganje višjih podatkovnih hitrosti. Z uporabo določenih prenosnih tehnik standarda V.90, lahko PSTN modem na pasovni širini 3100 Hz v smeri uporabnika dosega maksimalno hitrost prenosa podatkov 56 kbit/s, v smeri centrale pa 33,6 kbit/s. Podatki se prenašajo hkrati v obeh smereh, kar se doseže s posebno tehniko EC (Echo Cancelling - izenačevanja odboja), ki bo podrobneje opisana v enem izmed naslednjih poglavij. Poleti leta 2000 pa je bil sprejet še novejši standard V.92, ki omogoča hitrost prenosa podatkov v smeri centrale 48 kbit/s, hitrost prenosa podatkov v smeri uporabnika pa je ostala enakih 56 kbit/s. Modemi V.92 šele letos prihajajo v prodajo. Ker so takšne hitrosti prenosa podatkov na pasovni širini 3400 Hz tudi na meji tehnoloških zmožnosti, v bodoče ni mogoče pričakovati nekih revolucionarnih izboljšav v tej smeri.

Pa vendar bodo PSTN modemi še kar nekaj časa prisotni, saj zagotavljajo poceni in zadovoljiv dostop do Interneta predvsem tistim uporabnikom, ki širokopasovnih storitev ne potrebujejo in do Interneta ne dostopajo zelo pogosto, občasno pa ga le potrebujejo - na primer za elektronsko pošto.

2.5 ISDN-BA priključek

Potrebe so narekivale razvoj takšnega priključka, ki bi po isti liniji zagotavljal kvaliteten prenos podatkov in bi hkrati omogočal tudi prenos govora. Kot nadgradnja PSTN priključka je bil razvit ISDN-BA priključek, ki tudi uporablja obstoječe omrežje sukanih parov za prenos signalov med priključkom in centralo. Sukani par omogoča prenos signalov mnogo večje pasovne širine, kot jo izkorišča PSTN priključek, ki je frekvenčno omejen na 3100 Hz. Tako se v primeru ISDN-BA priključka po sukanem paru prenašajo električni signali v frekvenčnem pasu od 0 do 80 kHz.

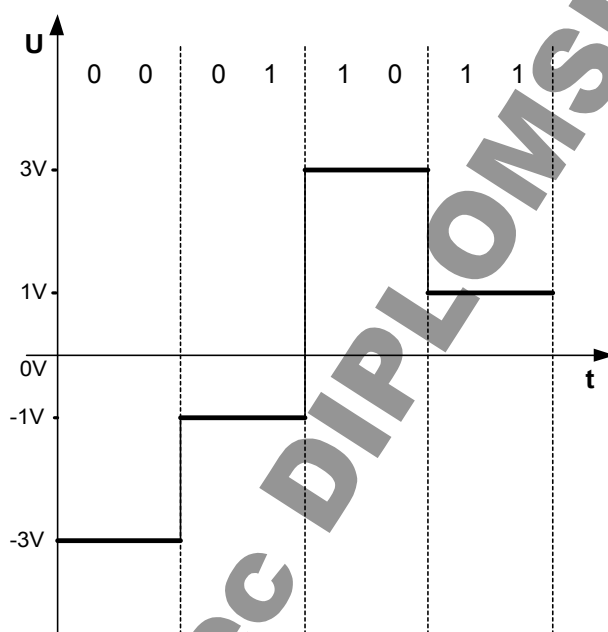
Signali, ki se prenašajo preko ISDN priključka, so digitalne oblike. Analogne signale, kot so govor in signali, ki jih oddajajo in sprejemajo za PSTN priključek razvite naprave (fax G3, POS terminal, PSTN modem...), je potrebno z naročniško terminalno opremo ustrezno pretvoriti v digitalne signale, da jih lahko prenašamo preko ISDN priključka.

ISDN priključek se pri uporabniku zaključi z NT napravo (Network Terminator – omrežni zaključek), ki je vmesnik med ISDN naročniško terminalno opremo in linijo. NT pretvarja iz strani naročniške terminalne opreme prejete digitalne signale v digitalne signale primerne za prenos po liniji ter obratno. Med NT-jem in centralo sta vzpostavljena dva uporabniška oziroma B kanala s podatkovno hitrostjo posameznega kanala 64 kbit/s ter eden signalizacijski oziroma D kanal s podatkovno hitrostjo 16 kbit/s, tako da je skupna hitrost prenosa koristnih in signalizacijskih podatkov v eni smeri enega ISDN priključka enaka 144 kbit/s.

Kot je že bilo omenjeno, se preko ISDN-BA prenašajo digitalni signali, katere je za prenos po liniji potrebno ustrezno preoblikovati oziroma zakodirati. Podobno, kot pri prenosu podatkov preko PSTN priključka, se tudi pri ISDN-BA priključku namesto določenega zaporedja bitov po liniji prenašajo neke vrste simboli oziroma amplitudna stanja, ki podobno, kot pri PSTN modemu, predstavljajo točno določeno zaporedje bitov.

Razlika je v tem, da se pri ISDN-BA priključku digitalni podatki zakodirajo z digitalnim signalom, pri PSTN modemu pa se digitalni podatki zakodirajo z analognim signalom.

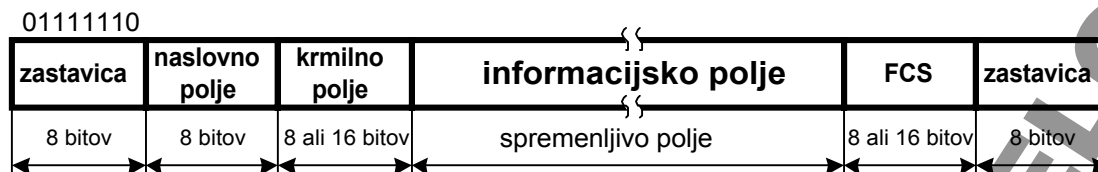
ISDN-BA priključek uporablja za preoblikovanje digitalnih podatkov, ki jih želimo prenašati po sukanem bakrenem paru, štirinivojsko linijsko kodo 2B1Q (2 Binary 1 Quaternary – 2 binarna 1 kvartarno), ki pretvori dva binarna bita v en kvartarni simbol. Vsak simbol, ki predstavlja ustrezno kombinacijo dveh bitov, lahko zasede le enega od štirih možnih nivojev napetosti: -3 V, -1 V, 1V in 3V. 2B1Q kodiranje je razvidno iz naslednje slike.



Slika 2.11: Kodiranje digitalnih podatkov z 2B1Q kodiranjem

Ta način kodiranja omogoča, da se v eni periodi frekvence prenesejo 4 biti, kar bi pri pasovni širini 80 kHz pomenilo, da je možna hitrost prenosa podatkov v eni smeri enaka 320 kbit/s. Ker pa je prenos podatkov ISDN priključka dvosmeren, je hitrost prenosa podatkov v eni smeri enaka 160 kbit/s. Od tega 128 kbit/s prispevata oba B kanala, 16 kbit/s prispeva D kanal, ostalih 16 kbit/s pa so režijski biti, ki so potrebni za oblikovanje okvirjev in vzdrževanje.

Med NT napravo in centralo se podatki prenašajo sinhrono v obliki okvirjev. Povezovalni protokol med ISDN priključkom in centralo temelji na HDLC protokolu (High-level Data Link Protokol – visokonivojski povezovalni podatkovni protokol), katerega osnovno strukturo okvirja prikazuje naslednja slika.

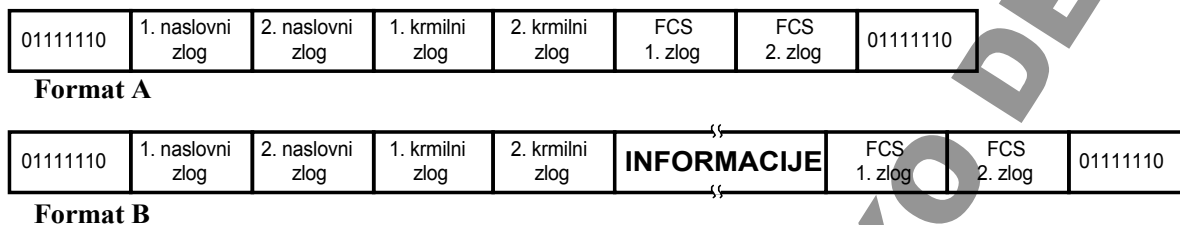


Slika 2.12: Osnovna struktura okvirja HDLC protokola

K podatkom, ki jih želimo prenašati, moramo dodati določene režijske bite v obliki 8 oziroma 16 bitnih polj. 8 bitov tvori en zlog oziroma angleško "byte". Ti režijski zlogi služijo za sinhronizacijo, za zaznavo začetka in konca bloka ter za zaznavo napak in nosijo informacijo o zaporedni številki bloka ter o tipu prenašane informacije. Režijski zlogi potrebni za sinhroni prenos podatkov so naslednji:

- **Zastavica** označuje začetek in konec bloka podatkov. Sestavljena je iz zaporedja osmih bitov 01111110. Če se v bloku podatkov pojavi enako zaporedje bitov, kot ga ima zastavica, oddajni mehanizem vrine bit z vrednostjo "0" med peti in šesti zaporedni bit z vrednostjo "1". Na sprejemni strani sprejemni mehanizem vrinjene bite z vrednostjo "0" izloči.
- **Naslovno polje** vsebuje informacijo o logični zaporedni vrednosti prenašanega okvirja.
- **Krmilno polje** vsebuje informacijo o tipu okvirja (signalizacijski, podatkovni). Pri določenih krmilnih tipih, ki so dolžine enega zloga tudi pove, da za prvim krmilnim zlogom sledi informacijsko polje.
- **Informacijsko polje** služi za prenos koristne informacije, ki se prenašajo v obliki 8 bitnih zlogov. Ponavadi je informacijskih zlogov precej več kot ostalih režijskih, zato je to polje precej večje.
- **FCS polje** (Frame Check Sequence – sekvenca preverjanja okvirja) služi za preverjanje pravilnosti prenosa informacije. Oddajni mehanizem na podlagi oddanega zaporedja bitov po določenem matematičnem algoritmu izračuna FCS kodo veličine enega ali dveh zlogov, kar je odvisno od količine informacij v okvirju. FCS koda se vpiše v ustrezno polje okvirja. Na drugi strani tudi sprejemni mehanizem na podlagi sprejetega zaporedja bitov po enakem algoritmu izračuna FCS kodo in jo primerja s sprejeto FCS kodo. Če kodi nista enaki, je med prenosom prišlo do napake. Če je možno, se napačno sprejet blok s pomočjo FCS kode ustrezno popravi, v nasprotnem primeru je potrebno blok podatkov ponovno oddati.

Povezovalni protokol ISDN-BA priključka uporablja okvir formata A za prenos ne-informacijskih okvirjev in okvir formata B za prenos informacijskih okvirjev. Oba prikazuje naslednja slika.



Slika 2.13: ISDN okvir formata A in B

Največja hitrost prenosa podatkov preko PSTN priključka v smeri uporabnika je 56 kbit/s, v obratni smeri pa se podatki prenašajo s hitrostjo 33,6 kbit/s z modemi V.90 in 48 kbit/s z najnovejšimi modemi V.92. Maksimalna hitrost prenosa podatkov v smeri uporabnika je le teoretična in bi se jo dalo doseči le v idealnih pogojih, katerih pa v telekomunikacijskem omrežju ni možno zagotoviti (prehod signala preko spojev na omrežju, elektromagnetne motnje, atmosferski vplivi, vlaga, temperaturne razlike, ...). V praksi je ta hitrost nekje do 48 kbit/s. Upoštevati je potrebno tudi to, da ta hitrost zajema tudi bite, ki so potrebni za vzdrževanje sinhronizacije oddajnika in sprejemnika (start in stop bit), ter po potrebi tudi paritetne bite, zato je dejanska hitrost prenosa koristne informacije v eni smeri nekje do 40 kbit/s.

ISDN priključek omogoča prenos informacij preko enega B kanala s hitrostjo 64 kbit/s hkrati v obeh smereh. To je tudi dejanska hitrost prenosa podatkov, ki zajema le koristne informacije, saj se vsi, za sinhronizacijo in krmiljenje potrebni režijski biti, logično prenašajo izven obeh B kanalov, za signalizacijo potrebni podatki pa se tako prenašajo po ločenem D kanalu. ISDN omogoča tudi spojitev obeh B kanalov in s tem povezavo hitrosti 128 kbit/s hkrati v obeh smereh. Res je, da je v tem primeru tarifa dvojna, vendar se ista količina podatkov prenese v polovičnem času, zato je poraba tarifnih impulzov na koncu enaka, za prenos potreben čas pa se razpolovi, kar je velika pridobitev.

Ne glede na to, da je bil ISDN priključek deležen določenih kritik, predvsem kar se tiče višine naročnine, pa ima pred PSTN priključkom toliko prednosti že samo glede hitrosti prenosa podatkov, hkrati pa ponuja tudi mnogo dodatnih storitev, tako da je razlika med višinami naročnin kar upravičena.

3. DSL TEHNOLOGIJE

Zaradi hitrega razvoja različnih multimedijskih in ostalih aplikacij realnega časa, do katerih je možno dostopati preko Internetnega omrežja, se je pojavila potreba po vedno večjih prenosnih hitrostih. Obstaja več tehnologij, ki potrebne prenosne hitrosti tudi omogočajo, vendar zaradi uporabljenih prenosnih medijev (optični kabel, satelitska povezava...) niso cenovno ugodne za manjše uporabnike. Potrebno je bilo razviti takšno tehnologijo, ki bi za prenos podatkov izkoriščala obstoječe omrežje sukanih bakrenih parov, ki ga uporablja telefonsko omrežje. Ta pristop močno zmanjša potrebne zagonske stroške, saj ni potrebno graditi novega omrežja.

PSTN priključek izkorišča le majhen del pasovne širine, ki jo prepušča sukani bakreni par, ostali del pa je neizkoriščen. Razvoj DSL tehnologij pa stremlji po čim večjem izkoriščanju razpoložljive pasovne širine.

Začetek razvoja DSL tehnologij se je začel z ISDN priključkom, ki je kot prvi digitalni priključek omogočal popolnoma digitalno povezavo med dvema ISDN uporabnikoma. Izkoriščenost razpoložljive pasovne širine bakrenega para je pri ISDN priključku še vedno relativno majhna, vendar gre tukaj za tokokrogovno komutiran priključek, ki ima točno določene prenosne hitrosti posameznih kanalov. ISDN priključek koristi oba kanala tako za podatkovne kot za govorne storitve. Delovanje ISDN priključka je bilo opisano v prejšnjem poglavju.

Nekatere DSL tehnologije imajo hitrost prenosa podatkov v obeh smereh enak, zato jih imenujemo simetrične. Med njih spadajo HDSL (High bit rate DSL – DSL visoke bitne hitrosti), HDSL izpeljanka za prenos po enem paru SDSL (Single pair DSL – eno parni DSL), ki sta namenjena za prenos digitaliziranih govornih kanalov ali podatkovnih storitev do hitrosti 2 Mbit/s ter novejša različica SDSL, ki je namenjena za zagotavljanje simetričnih podatkovnih storitev, kot na primer za prenos IP (Internet Protocol - Internet protokol) prometa med LAN omrežji ali dostop LAN omrežja do Interneta. Tudi ISDN in njegova izpeljanka IDSL uporabljata simetričen prenos podatkov.

Vendar obstaja tudi veliko asimetričnih širokopasovnih storitev, kot na primer dostop do Internetnih spletnih strani in video na zahtevo. V tem primeru strežnik (npr. spletne strani) uporabniku posreduje mnogo večjo količino podatkov, kot jih ta posreduje nazaj, zato je smiselno omogočiti višje podatkovne hitrosti v smeri uporabnika kot v smeri centrale. Za te namene je bila razvita asimetrična DSL tehnologija katere predstavnika sta ADSL in še razvijajoča se VDSL tehnologija, katera pa ima tudi možnost simetričnega delovanja. Ker so te tehnologije namenjene širšemu krogu uporabnikov, kot so na primer rezidenčni uporabniki in manjša podjetja, ponavadi zraven širokopasovnega dostopa omogočajo tudi govorno storitev preko PSTN ali ISDN priključka. ADSL in VDSL sta namenjena za hkraten prenos govornih, video in podatkovnih signalov, kar v bistvu pomeni prilagoditev na ATM celični prenos (Asynchronous Transfer mode – asinhroni prenosni način), ki omogoča združevanje govornih, video in podatkovnih storitev na istem fizičnem omrežju, zato sta preko DSLAM (DSL Access Multiplexer – DSL dostopovni multipleksor) povezana na ATM omrežje. DSLAM bo podrobneje opisan v enem od naslednjih poglavij.

3.1 HDSL

HDSL simetrična DSL tehnologija, ki omogoča hitrost prenosa podatkov do 2 Mbit/s v obeh smereh. Uporablja 2B1Q linijsko kodo in za prenos podatkov potrebuje dve ali tri bakrene pare in ima doseg do 4,5 km, kar pa je odvisno tudi od premera uporabljenega para. V začetku je bila razvita za dvosmerni oziroma duplexni prenos E1 standarda, hitrosti 2,048 Mbit/s preko bakrenih parov kot cenovno ugodnejša rešitev od PDH prenosnih sistemov (Plesiochronous Digital Hierarchy – plesiohrona digitalna hierarhija). PDH prenosni sistemi so po vsakem paru prenašali podatke le v eni smeri, zato so potrebovali po en par za oddajo in en za sprejem. HDSL tehnologija pa prenaša podatke po vsakem paru dvosmerno in ima zaradi nižje podatkovne hitrosti na posameznem paru večji doseg. HDSL tehnologija, za razliko od PDH prenosnih sistemov, ne potrebuje vmesnih ojačevalnikov na vsaki 1 km linije.

E1 standard je bil razvit že pred DSL tehnologijo in sicer kot digitalni sistem za združevanje digitaliziranih govornih kanalov in prenos le teh med telefonskimi centralami. Posamezni govorni kanal ima bitno hitrost 64 kbit/s, kar pomeni, da dvosmerno prenašamo

32 kanalov, od katerih je 30 govornih in 2 signalizacijska. Moderna telekomunikacijska tehnologija ne prilagaja razmer na liniji svojim napravam, pač pa svoje naprave razmeram na liniji. Možnih je več tehnik prilagajanja, kot na primer samo-izenačevanje frekvenčnega obsega, na katerem principu delujejo tudi analogni modemi ali tehnika izenačevanja odboja bližnjega presluha NEXT (Near-end Crosstalk). Obe tehniki uporablja HDSL tehnologija, ki zaradi tega za delovanje ne potrebuje vmesnih linijskih ojačevalnikov in idealnih razmer na liniji.

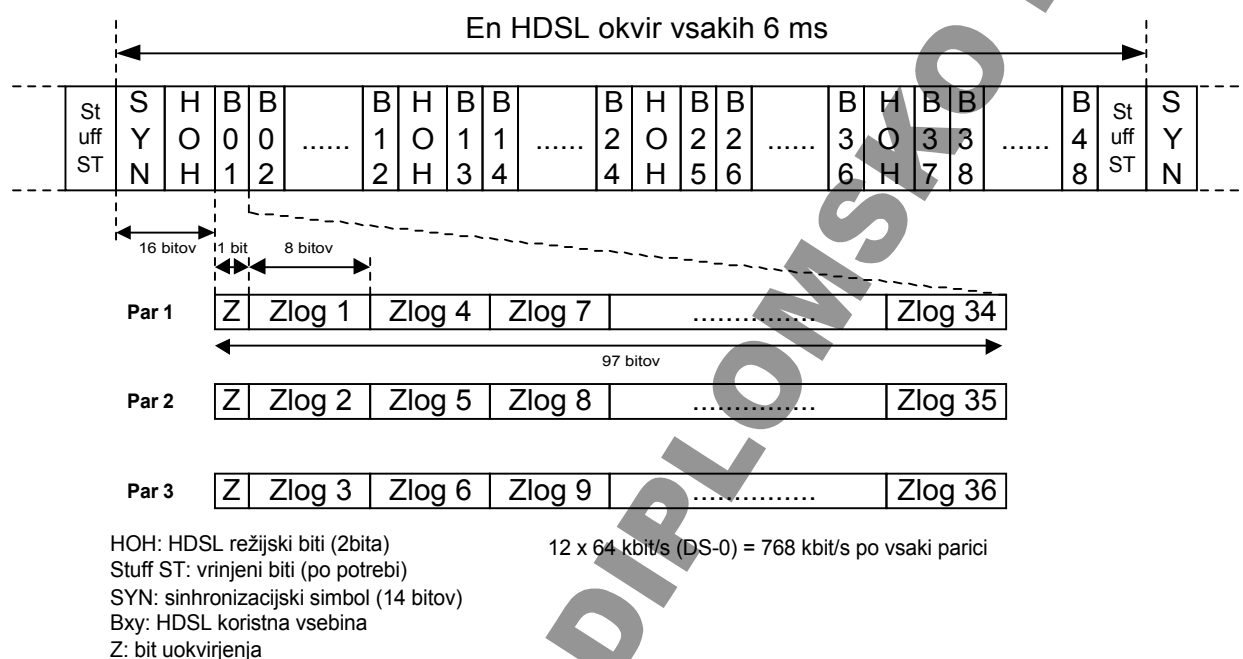
Kadar se HDSL uporablja za prenos E1 standarda, uporabniku zagotavlja dvosmerni prenos podatkov hitrosti 2,048 Mbit/s. Ko se za prenos uporabljajo 3 sukani bakreni pari, se podatki po vsakem paru dvosmerno prenašajo s hitrostjo 784 kbit/s, kar daje skupno hitrost 2,352 Mbit/s. Kadar pa se za prenos uporabljata 2 para, se podatki po vsakem paru dvosmerno prenašajo s hitrostjo 1,168 Mbit/s, kar daje skupno hitrost 2,336 Mbit/s. Dodatni biti nad 2,048 Mbit/s so v obeh primerih režijski biti, ki so potrebni za prilagoditev na SDH prenosne sisteme (Synchronous Digital Hierarchy – sinhrona digitalna hierarhija).

Po HDSL liniji se okvirji prenašajo zaporedno eden za drugim, tako da med njimi ni premorov. Ko ni prisotnih koristnih podatkov, se pošlje poseben vzorec mirovnih bitov, ki se na sprejemni strani nato izloči. Posamezen okvir se po liniji pošlje vsakih 6 ms, kar pomeni približno 67 okvirjev na sekundo. Struktura okvirja je določena z ETSI standardom. Vsak okvir je sestavljen iz naslednjih delov:

- simbol sinhronizacije SYN (Synch simbol) dolžine 14 bitov,
- 4 bloki HDSL režijskih bitov HOH (HDSL overhead) dolžine 2 bita, ki so v enakomernem zaporedju porazdeljeni po okvirju,
- 48 blokov koristne vsebine, ki so s HOH bloki razdeljeni na 4 skupine po 12 blokov in so oštevilčeni od B01 do B48. Vsak blok koristne vsebine je sestavljen iz 288 bitov, ki so razdeljeni na 36 zlogov po 8 bitov. Od vseh 36 zlogov se za strukturo E1 okvirja uporabi 32 zlogov, 4 zlogi pa služijo za prilagoditev na SDH E1 strukturo navideznega kontejnerja (Virtual Container).
- na koncu okvirja so po potrebi vrinjeni biti (Stuff).

Kadar se E1 standard prenaša preko HDSL linije po treh parih, se 36 zlogov koristne vsebine posameznega bloka B_{xy} sorazmerno porazdeli po vseh treh parih. Na vsakem paru

se na začetku odda bit uokvirjenja Z, kateremu nato po zaporedju $x_{n+1}=x_n+3$ (x_{n+1} je številka naslednjega oddanega zloga) sledi 12 zlogov. Tako se po prvem paru prenašajo zlogi s številkami 1, 4, 7, ..., 34, po drugem paru zlogi s številkami 2, 5, 8, ..., 35 ter po tretjem paru in zlogi s številkami 3, 6, 9, ..., 36. Strukturo HDSL okvirja in porazdelitev zlogov enega bloka Bxy po treh parih prikazuje naslednja slika.



Slika 3.1: Struktura HDSL okvirja za prenos E1 standarda po treh parih

V 6 ms se na enak način prenese vseh 48 blokov HDSL okvirja. Vsak par dvosmerno prenaša podatke s hitrostjo 784 kbit/s, od tega 12 DS-0 kanalov po 64 kbit/s prispeva 768 kbit/s, 16 kbit/s pa predstavlja HDSL režijske bite.

Pri prenosu E1 standarda preko HDSL linije po dveh parih, pa se 36 zlogov koristne vsebine posameznega bloka Bxy po vsakem paru sorazmerno porazdeli po zaporedju $x_{n+1}=x_n+2$. Tudi tukaj se na vsakem paru na začetku odda bit uokvirjenja Z, kateremu pa nato v tem primeru sledi 18 zlogov. Po prvem paru se tako prenašajo zlogi s številkami 1, 3, 5, ..., 35, po drugem paru pa zlogi s številkami 2, 4, 6, ..., 36. Ker se mora po dveh parih v enakem času prenesti enaka količina podatkov, kot prej po treh, mora biti hitrost prenosa podatkov v tem primeru višja, zato vsak par dvosmerno prenaša podatke s hitrostjo 1168 kbit/s, od katerih 16 DS-0 kanalov po 64 kbit/s predstavlja 1152 kbit/s ostalih 16 kbit/s pa enako kot pri prenosu po treh parih predstavlja HDSL režijske bite. Strukturo

V centrali je oprema LEPA-HDSL (Local Exchange Primary Access-HDSL - centralni primarni dostop-HDSL), ki E1 vhodni in izhodni port posreduje ISDN centrali. Na naročniški strani pa je oprema NTPA-HDSL (Network Termination Primary Access-HDSL – omrežna zaključitev primarnega dostopa-HDSL) v osnovi sestavljena iz ISDN omrežnega zaključka NT1, ki vrši razvrščanje kanalov in ISDN omrežnega zaključka NT2, ki vrši funkcijo za PBX (Private Branch Exchange - zasebna naročniška centrala) ali kakšna podobna z ISDN storitvami skladna oprema. Na sliki 3.3 so razvidni tudi standardizirani vmesniki. Vmesnik v centrali med LEPA-HDSL in ISDN stikalom je v skladu z ETSI/ITU V_{2M} specifikacijo vmesnika in je prilagojen na E1 standard hitrosti 2 Mbit/s. Prav tako je na naročniški strani vmesnik med NT1 in NT2 v skladu z ETSI/ITU S_{2M} specifikacijo vmesnika in je prilagojen na E1 standard hitrosti 2 Mbit/s. HDSL povezava je v skladu z ETSI/ITU U_{HK2} specifikacijo vmesnika, pri čemer HK2 pomeni HDSL po dveh parih.

V primeru, da V_{2M} vmesnik v centrali vodimo na digitalni prevezovalnik (cross connect) in ne na ISDN stikalo, oziroma če oba konca ene linije zaključimo z S_{2M} vmesnikom, lahko HDSL tehnologijo uporabimo za zakupljen podatkovni vod.

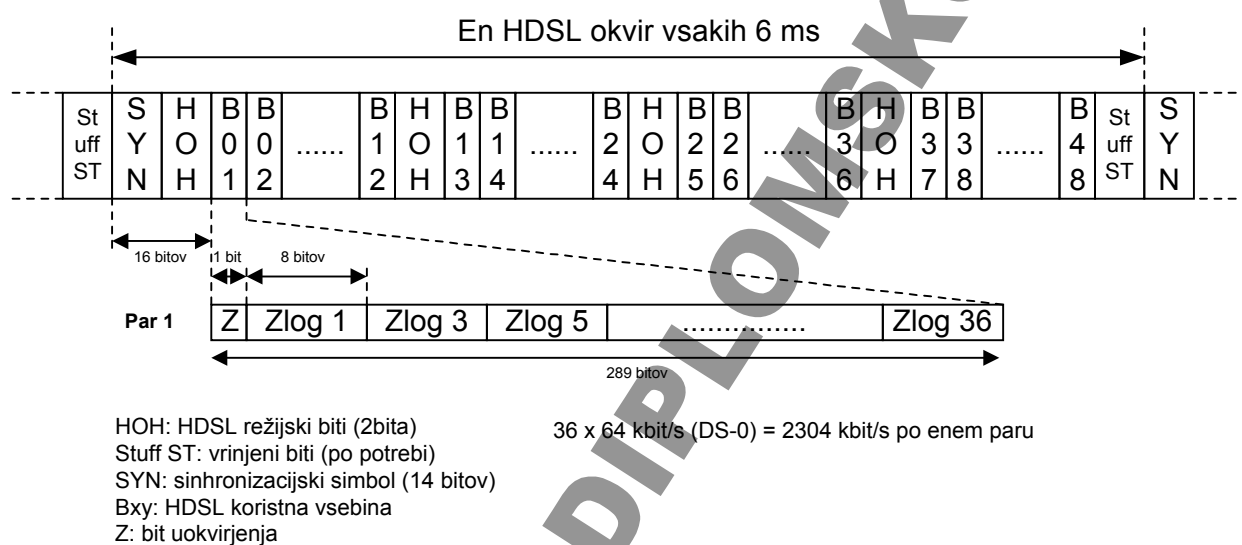
HDSL ne omogoča prenosa PSTN ali ISDN storitev skupaj s podatkovnimi storitvami, zato je za govorne storitve zmeraj potreben še dodaten priključek s samostojnim parom.

3.2 SDSL

SDSL je ponavadi definiran kot simetrični DSL (Symetric DSL), vendar je tudi HDSL in nekatere druge različice DSL tehnologij simetričnih. Začetek SDSL tehnologije je bila uporaba le enega para HDSL tehnologije. Vse je ostalo enako kot pri HDSL tehnologiji, znižana je le maksimalna hitrost prenosa podatkov. Ko se je za SDSL linijo uporabil en par tri parne HDSL linije, je bila maksimalna hitrost prenosa podatkov po SDSL liniji enaka 784 kbit/s, ko pa se je uporabil en par dvo parne HDSL linije, pa je bila maksimalna hitrost prenosa podatkov enaka 1168 kbit/s.

HDSL tehnologija pa se je že razvila do te mere, da je celoten HDSL okvir za prenos E1 standarda možno prenašati po enem samem paru, tako da je sedaj SDSL v bistvu enoparni HDSL. Struktura okvirja in razporeditev koristne vsebine je določena z ETSI

standardom. 36 zlogov koristne vsebine posameznega bloka Bxy se v tem primeru porazdeli po enem samem paru. Na začetku vsakega bloka se tudi tukaj na par odda bit uokvirjenja Z, kateremu nato sledi vseh 36 zlogov. Po paru se podatki dvosmerno prenašajo s hitrostjo 2320 kbit/s, od tega 32 DS-0 kanalov po 64 kbit/s predstavlja 2304 kbit/s, ostalih 16 kbit/s pa enako kot pri dvo ali tri parni HDSL liniji predstavlja režijske bite. Strukturo HDSL okvirja in porazdelitev zlogov enega bloka Bxy po enem paru prikazuje naslednja slika.



Slika 3.4: Struktura HDSL okvirja za prenos E1 standarda po enem paru

Tudi pri SDSL liniji, tako kot pri vseh DSL linijah, je podatkovna hitrost odvisna od razdalje in z večanjem razdalje pada. SDSL tudi nima takšnega dosega kot HDSL, zato se z SDSL tehnologijo E1 standard prenaša le na krajših razdaljah. SDSL se tako bolj uporablja za prenos nižjih podatkovnih hitrosti na daljših razdaljah. Z SDSL linijo izveden zakupljen vod tako omogoča podatkovne hitrosti 1 Mbit/s do razdalje 3,51 km, podatkovno hitrost 128 kbit/s pa lahko prenašamo do razdalje 6,71 km. V večini primerov se prostori uporabnikov zakupljenih vodov nahajajo v urbanih središčih ter s tem tudi v bližini central, zato se jim z SDSL linijo lahko zagotovi ustrezna podatkovna hitrost.

Tabela 3.1: Odvisnost podatkovne hitrosti SDSL linije od razdalje

SDSL podatkovna hitrost [kbit/s]	128	256	512	1024
Maksimalna razdalja [km]	6,71	6,56	4,11	3,51

SDSL tehnologija se uporablja predvsem za takšne aplikacije, ki za prenos podatkov uporabljajo zakupljene vode, na primer za povezavo med računalniki oziroma strežniki privatnih LAN omrežij. Primer uporabe je izvedba priključne točke zakupljenega voda z blokovnim posredovanjem do elastičnega omrežja Telekom Slovenije.

Novejša različica SDSL tehnologije temelji na PAM (Pulse Amplitude Modulation - pulzno amplitudna modulacija) modulaciji s prepletanjem in za kodiranje uporablja PAM16 linijsko kodo. HDSL in starejša različica SDSL tehnologije uporabljata 2B1Q linijsko kodo, kar je skladno z PAM4 linijsko kodo. Glavni cilj razvoja nove SDSL različice je bilo dejstvo, da 2B1Q prenos na 2 Mbit/s liniji spektralno ni kompatibilen z ADSL linijo na isti povezavi.

Nova različica SDSL linije omogoča simetrično pasovno širino s podatkovnimi hitrostmi od 192 kbit/s do 2,32 Mbit/s. Za prenos podatkov potrebuje le en bakren par in ima pri hitrosti 2,32 Mbit/s doseg do 3,5 km. Uporablja se lahko kot alternativna prenosna tehnologija samo za podatkovne aplikacije, na primer za stroškovno učinkovito zagotavljanje simetričnih IP storitev za majhna in srednje velika podjetja. Ker ne omogoča prenosa PSTN ali ISDN storitev skupaj s podatkovnimi storitvi po istem paru, je za namene prenosa govornih storitev zmeraj potreben še dodaten PSTN ali ISDN priključek s samostojnim parom.

3.3 ADSL

Cilj ADSL linije je uporaba obstoječega dostopovnega omrežja za prenos asimetričnega digitalnega podatkovnega pretoka skupaj z govornimi storitvami v izvedbi PSTN ali ISDN priključka po skupnem sukanem bakrenem paru. To omogoča operaterju javnega omrežja vpeljavo dodatnih storitev, ki zahtevajo večje pasovne širine, brez sprememb na obstoječem sukanem bakrenem paru dostopovnega omrežja.

ADSL tehnologija uporablja asimetrični prenos podatkov, kar pomeni, da je podatkovna hitrost v smeri naročnika mnogo večja kot v smeri centrale, včasih tudi do deset krat. Maksimalna definirana podatkovna hitrost je 8,192 Mbit/s, vendar se to hitrost v praksi težko doseže, ne samo zaradi ADSL omejitev, ampak zaradi sedanje Internetne arhitekture in hrbteničnega omrežja. Zaradi tega ADSL uporabniki in ponudniki storitve

pričakujejo, da se bodo maksimalne omogočene hitrosti v smeri naročnika gibale nekje od 4 do 6 Mbit/s.

ADSL povezava ni tokokrogovno komutirana zveza, ampak je oblikovana kot neke vrste zakupljena zveza, ki poteka od uporabniškega računalnika oziroma LAN strežnika do neke druge točke v Internet omrežju in uporablja paketno oziroma ATM celično komutacijo. Če se zaključek ADSL linije pri ponudniku storitve zaključuje na IP usmerjevalniku ali ATM stikalu, ki je priključeno na Internet, potem ADSL povezava omogoča dostop do katerega koli naslova v Internetnem omrežju, do katerega je možno dostopati z današnjim komutiranim telefonskim omrežjem.

ADSL tehnologija uporablja standardno DMT modulacijo (Discrete Multi Tone – deljena več-tonska) in metodo za izenačevanje odbojev, zato je precej neobčutljiva na elektromagnetne in ostale, na liniji prisotne motnje. Pogoji na liniji se namreč nenehno spreminjajo in se lahko izboljšujejo ali slabšajo, saj so odvisni od dežnih razmer, atmosferskih praznitev, temperaturnih razlik ali celo od solarnega sevanja. ADSL nenehno preverja pogoje na liniji in se glede na trenutne pogoje avtomatično prilagaja, tako da med aktivno povezavo dinamično spreminja prenosno hitrost, zato je maksimalna prenosna hitrost v slabih pogojih manjša kot v dobrih.

Ker zraven podatkovnih storitev po istem paru prenašamo tudi govorne storitve, je potrebno poskrbeti za spektralno ločitev obeh vrst storitev. Za te namene se uporablja pasivni PSTN oziroma ISDN razcepnik. Izbira razcepnika je odvisna od vrste priključka, ki se uporablja zraven širokopasovnih podatkovnih storitev. ADSL omogoča podatkovne hitrosti maksimalno do 8 Mbit/s v smeri naročnika in 800 kbit/s v smeri centrale. Kot pri vseh DSL linijah tudi pri ADSL-u podatkovna hitrost z razdaljo pada, kar prikazuje tudi naslednja tabela.

Tabela 3.2: Odvisnost ADSL podatkovne hitrosti v smeri naročnika od razdalje

ADSL podatkovna hitrost [Mbit/s]	8,448	6,312	2,048	1,544
Maksimalna razdalja [km]	2,7	3,6	4,8	5,4

ADSL tehnologija je namenjena širšemu krogu uporabnikov, predvsem tistim, ki so do Interneta dostopali s pomočjo PSTN ali ISDN priključka. Ponudba Internetnega dostopa

velike hitrosti je zanimiva tako za rezidenčne kot za poslovne uporabnike. Zaradi višjih prenosnih hitrosti, se odpira tudi možnost novih storitev, ki temeljijo na multimedijskih in ostalih aplikacijah realnega časa in jih zaradi skromnih hitrosti dosedanja dostopi preko komutiranih priključkov niso podpirali. Ker Internetni promet preko ADSL linije poteka mimo centrale direktno do ponudnika Internetnih storitev, je omogočena stalna zveza z Internetom, kar pomeni da se dostop do Interneta časovno ne tarifira.

Ker je ADSL zanimiv širšemu krogu uporabnikov in ker omogoča določene storitve, ki tem uporabnikom do sedaj niso bile na razpolago (hitri Internet, spletni TV, video na zahtevo ...), bo ADSL tehnologiji namenjeno celotno naslednje poglavje.

3.4 UDSL

UDSL (Universal DSL – univerzalni DSL) je standardizirana različica ADSL brez razcepnika. Poznana je tudi pod imeni G.lite in CDSL (Consumer DSL – potrošniški DSL). Rešitev z UDSL linijo je zaradi enostavne namestitve namenjena uporabnikom današnjih analognih modemov na PSTN priključkih. Od ADSL linije se razlikuje tudi po maksimalni omogočeni podatkovni hitrosti v smeri naročnika, ki je omejena na 1,5 Mbit/s, kar pa je primerna hitrost za večino uporabnikov. Hitri Internet dostop lahko namreč povzroči upočasnitev podatkovnih hitrosti na ostalih delih Internetnega omrežja. Lahko se zgodi, da se z določenim strežnikom poveže več uporabnikov DSL storitev, ki vsi pričakujejo podatkovne hitrosti 6 Mbit/s v smeri naročnika ali celo več, vendar kapaciteta strežnika in Internetne hrbtenice tega ne omogočata.

V primeru ADSL linije je potrebno pri uporabniku montirati in tudi vzdrževati razcepnik, ki zraven širokopasovnega Internetnega dostopa po isti liniji omogoča tudi uporabo obstoječih govornih storitev. Vendar pa montaža razcepnika in po potrebi tudi izgradnja dodatne žične instalacije do ADSL modema, zahteva prisotnost ter časovno usklajenost tako uporabnika kot ponudnika storitve, kar pa obema povzroča dodatne stroške.

UDSL linija ne zahteva sprememb v hišni napeljavi, saj razcepnik na naročniški strani ni potreben. Zraven DSL storitev je možna tudi sočasna uporaba storitev PSTN priključka. Uporabniku omogoča uporabo DSL PC kartic ali zunanjih modemov, ki jih le ta lahko

namesti sam, kot današnje modeme. Omogočene so podatkovne hitrosti od 64 kbit/s do 1,5 Mbit/s v smeri naročnika ter od 32 do 512 kbit/s v smeri centrale. Za razdalje manjše od 5,4 km se na 0,5 mm kablu predvideva uporaba podatkovne hitrosti 1 Mbit/s v smeri naročnika ter 384 kbit/s v smeri centrale. Za zmanjšanje motenj, se pred PSTN telefonskim aparatom priporoča montaža ustreznega nizkopasovnega filtra.

Čeprav je mogoče uporabljati UDSL linijo brez razcepnika, se za zagotovitev zahtevane kakovosti PSTN signala za vse, na UDSL linijo priključene naprave, priporoča uporaba nizko pasovnega filtra.

Ker je v centrali potrebno ločiti govorne storitve od podatkovnih, je tam še zmeraj potreben razcepnik, ki pa je enak, kot pri ADSL liniji. Zaradi enake osnovne opreme na obeh linijah, se UDSL s preprosto montažo razcepnika pri uporabniku ter s programsko nadgradnjo na strani ponudnika storitve lahko preprosto nadgradi v ADSL linijo.

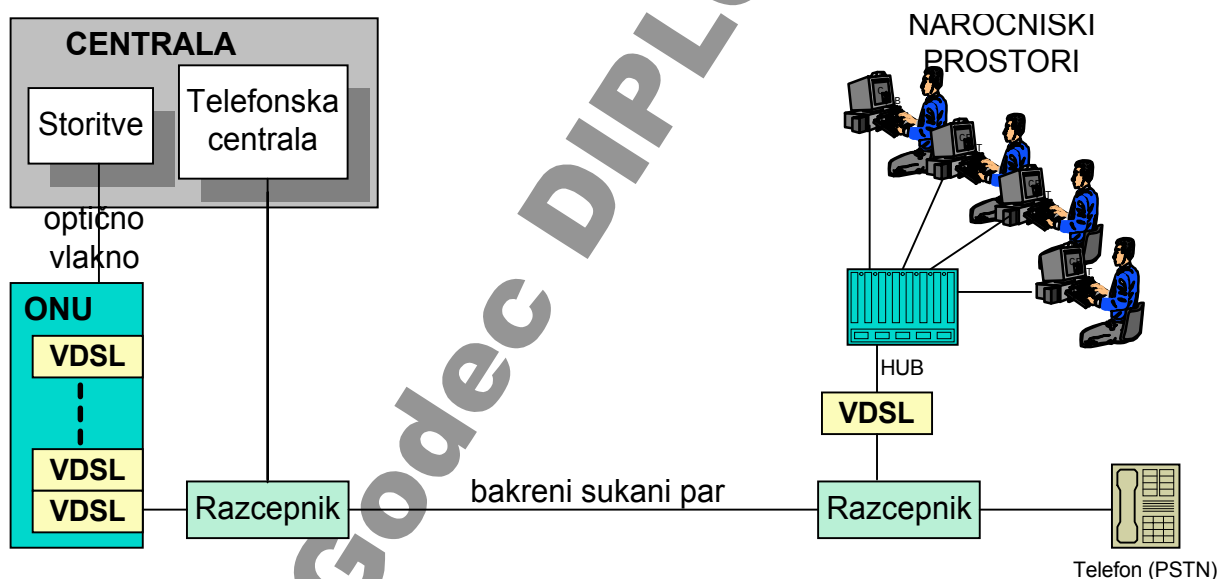
3.5 VDSL

VDSL je najnovejša DSL tehnologija in je trenutno še v postopku standardizacije pri pristojnih ustanovah ETSI, ANSI in ITU-T. Obe možni linijski kodi sta že specificirani. To sta eno-nosilna linijska koda, ki temelji na QAM modulaciji ter več-nosilna linijska koda, ki temelji na DMT modulaciji. V obeh primerih bo omogočeno kodiranje z vnaprejšnjo korekcijo napak. Katero linijsko kodo in katero spektralno masko bodo uporabili za standard, še ni dogovorjeno. Veljavnost standarda se pričakuje nekje v začetku leta 2001.

VDSL linija omogoča tako asimetrično pasovno širino s podatkovnimi hitrostmi od 6 do 51 Mbit/s v smeri naročnika in od 0,8 do 3,2 Mbit/s v smeri centrale, kot simetrično pasovno širino s prenosnimi hitrostmi do 12 Mbit/s v obeh smereh ter ima doseg od 800 m do 2 km. Za prenos potrebuje le en sukani bakreni par, kjer zraven podatkovnih storitev omogoča tudi govorne storitve z izvedbo PSTN ali ISDN priključka. Za spektralno ločitev podatkovnih od govornih storitev, prav tako kot ADSL, uporablja pasivni PSTN oziroma ISDN razcepnik. Z dupleksiranjem frekvenčnega področja je spektralno ločen tudi prenos podatkov v smeri naročnika od prenosa podatkov v smeri centrale. Ima skupen razvojni koncept kot ADSL in je z njim kompatibilen kar pomeni, da lahko ADSL linijo, ki je na krajših razdaljah od centrale, nadgradimo v VDSL linijo.

V primerjavi z ADSL linijo je VDSL namenjen za krajše razdalje in večje podatkovne hitrosti. Zaradi skrajšanega doseg se DSLAM za VDSL linijo montira čim bližje uporabnikom. Primer je poslovna zgradba, kjer je več uporabnikov VDSL ali ADSL storitev. V tem primeru se DSLAM montira v sami poslovni stavbi. Povezava do uporabnikov je izvedena z bakrenimi pari, s centralo pa je DSLAM povezan je z optičnim vlaknom in ATM prenosnim sistemom. Ker so uporabniki blizu DSLAM-a, jim VDSL omogoča zelo velike podatkovne hitrosti.

VDSL je namenjen za prenos ATM celic, kar pomeni da je namenjen za oblikovanje fizičnega nivoja za vse storitve ATM omrežja. V tem primeru je VDSL dostopovni vozil (hub), ki se nahaja pri uporabniku, dejansko ATM stikalo. Kombinacija ATM celičnega prenosa z VDSL linijo je bil razvit za uporabo SDV sistemov (Switched Digital Video – komutirani digitalni video), vendar ponuja tudi širok spekter ostalih storitev, kot na primer uporabo zelo hitrega Interneta in spletnega dostopa.



Slika 3.5: Osnovna shema VDSL linije s PSTN priključkom

VDSL linija je v bistvu korak naprej v primerjavi z ADSL linijo, saj zaradi velikih podatkovnih hitrosti in direktne priključitve na ATM hrbtenično omrežje omogoča tudi popolno izkoriščanje ATM storitev, hkrati pa omogoča tudi uporabo obstoječih govornih storitev. Ponudniki storitev bodo tako VDSL linijo ponujali srednjim in večjim uporabnikom kot omrežje za vse storitve, ADSL pa je bolj kot omrežje za podatkovne storitve predvsem Internetnega dostopa.

3.6 IDSL

Največja prednost ISDN priključka je ta, da združuje govorne, video in podatkovne storitve. Mnogokrat pa se ISDN priključek uporablja le za prenos podatkovnih storitev, tako da se oba B kanala programsko ali z uporabo ustrezne terminalne opreme združita. Ponavadi gre za povezavo med uporabnikom in ponudnikom Internetnih storitev, vendar obstajajo tudi druge možnosti. Če na tak način medsebojno povežemo dva ISDN priključka na različnih lokacijah, lahko takšno povezavo uporabljamo na podoben način kot zakupljen vod hitrosti 128 kbit/s. Problem je v tem, da je takšna povezava tokokrogovno komutirana in poteka preko ISDN centrale, zato se zveza časovno tarifira. Ker se v tem primeru uporabljata oba B kanala, je tarifa dvojna.

Ideja IDSL linije je, da se uporabniku posredujejo določene ISDN storitve, prepreči pa se jim kakršnakoli povezava do komutiranih govornih storitev. IDSL v centrali ponudnika telekomunikacijskih storitev ni priključen na priključno točko ISDN ali PSTN centrale, kot to velja za klasični ISDN-BA priključek, ki zaradi tega omogoča komutirano govorno povezavo z drugimi ISDN in tudi PSTN priključki.

Uporabnik lahko običajno ISDN-BA opremo priključi na ISDN linijo in jo konfigurira za polno ISDN-BA povezavo. Ob povezavi se v centrali vsako povezovalno sporočilo prestreže, naročniško opremo pa se na nek način preliči, tako da se ji pošlje odgovor, kot da je povezava bila normalno vzpostavljena. Z združitvijo obeh B kanalov se z ISDN-BA opremo vzpostavi 128 kbit/s povezava, kadar pa je dodan še D kanal, se vzpostavi povezava hitrosti 144 kbit/s. Z uporabo nestandardne ISDN-BA podatkovne povezave se ISDN-BA oprema prilagodi na IDSL linijo. V centrali se nato konec linije ne vodi na ISDN priključno točko centrale, pač pa na digitalni prevezovalnik in od tod naprej na drugo IDSL linijo na drugi strani povezave ali pa direktno do ponudnika Internetnih storitev. Na ta način povezava ne poteka več preko centrale in se zato časovno ne tarifira, seveda pa so na ta način onemogočene vse govorne storitve in povezovanje z ostalimi ISDN ali PSTN priključki.

4. ADSL TEHNOLOGIJA

ADSL tehnologija je bila od začetka razvita z namenom, da bi rešila zahteve storitve VoD (Video on Demand - video na zahtevo). Podatkovna hitrost 8 Mbit/s v smeri uporabnika bi omogočila prenos video podatkov, zakodiranih z MPEG2 kodekom (Motion Picture Experts Group - ekspertna skupina za gibljive slike), ki jih uporablja tudi DVD predvajalnik. Vsekakor pa se je Internet sedaj že razvil do takšnih razsežnosti, da je postal primarna aplikacija za ADSL storitev.

ADSL tehnologija je najbolj standardizirana od vseh DSL tehnologij in je namenjena najširšemu krogu uporabnikov, saj ponuja hitri Internet, ki je po zmerni ceni dostopen tako rezidenčnim kot poslovnim uporabnikom. Zaradi teh lastnosti bo v tej diplomski nalogi tudi najbolj podrobno opisana.

4.1 Vloga Interneta pri razvoju ADSL tehnologije

Promet na Internetni infrastrukturi je v zadnjih letih narasel do neverjetnih razsežnosti in še vedno narašča. Ne več se samo število uporabnikov Interneta, pač pa se povečujejo tudi dostopni časi, saj se pojavljajo nove storitve, ki zahtevajo vedno večjo količino podatkov.

Poslovnim uporabnikom prinaša Internet določene prednosti pri načinu poslovanja, kot so na primer: hitrejša komunikacija z uporabo elektronske pošte, strateško trženje in naročanje ter prodaja storitev oziroma izdelkov preko Interneta, spletne predstavitve podjetij, elektronsko bančništvo itn.. Po drugi strani pa Internet milijonom rezidenčnim uporabnikom omogoča poceni dostop do razvedrila, komunikacij, izobraževanja in ostalih storitev.

Predvsem nove multimedijske in ostale storitve realnega časa, postajajo zanimive vsem uporabnikom Internetnih storitev. Takšne storitve so na primer: hitri Internet, interaktivne

igre, multimedijsko nakupovanje, multimedijske predstavitve, spletni TV, video na zahtevo, videokonference visoke kakovosti ali v medicini celo video prenos operacij. Vendar pa te storitve zahtevajo izmenjavo velike količine podatkov v relativno kratkem času in s tem velike podatkovne hitrosti. Dosedanje povezave, izvedene preko ISDN ali celo PSTN priključka pa zaradi omejenih podatkovnih hitrosti tem zahtevam ne zadostujejo več. Obstaja sicer možnost združitve več ISDN oziroma PSTN priključkov, vendar je vsak kanal ISDN priključka oziroma zveza PSTN priključka zaradi komutirane povezave posebej časovno tarifirana, kar pomeni, da se stroški takšne povezave z večanjem števila kanalov in časom trajanja povezave povečujejo. Večina teh storitev pa ima skupno značilnost, da je količina Internetnega prometa v smeri naročnika precej večja od količine prometa v smeri ISP (Internet Service Provider - ponudnik Internetnih storitev), za kar je mnogo bolj uporabna asimetrična porazdelitev podatkovne hitrosti.

Uporabnikom Internetnih storitev je bilo torej potrebno ponuditi priključek, ki bi zadostoval naslednjim kriterijem:

- asimetrično porazdeljen prenos podatkov velikih hitrosti,
- stalna zveza, ki se časovno ne tarifira,
- uporaba dosedanjih govornih storitev,
- minimalne spremembe hišne napeljave,
- uporaba obstoječega sukanega bakrenega para za zmanjšanje stroškov priključitve.

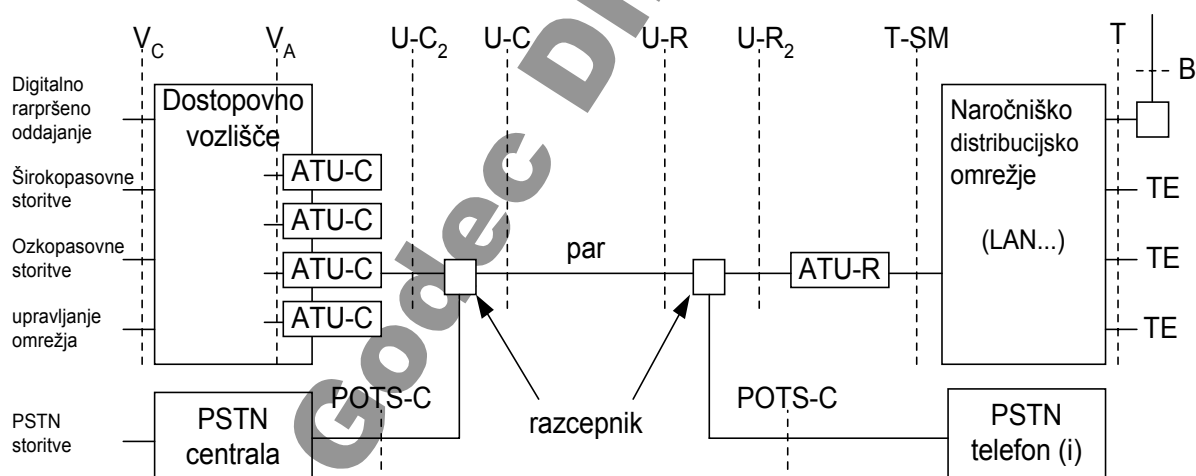
4.2 Referenčni model (ADSL Forum)

Referenčni model ADSL arhitekture predpisuje za to pristojna mednarodna ustanova ADSL Forum (www.adsl.com). Zaradi zahtev standarda so na shemi modela zajete tudi mnoge podrobnosti, kot so na primer standardni vmesniki med glavnimi komponentami. Mnogokrat lahko ena naprava združuje več vmesnikov, zato jih predstavitvene sheme ADSL arhitekture mnogokrat ne navajajo, pač pa navajajo le napravo.

V referenčnem modelu so zajeti vsi vmesniki. Ker jih je veliko, so na shemi samo kratice, cela imena vmesnikov pa so:

- ATU-C ADSL Transmission Unit, Central office side – ADSL enota za prenos na strani centrale;

- ATU-R ADSL Transmission Unit, Remote side – ADSL enota za prenos na strani uporabnika;
- B dodaten podatkovni vhod (npr. televizijski komunikator – Set Top Box);
- DSLAM DSL dostopovni multipleksor;
- POTS-C vmesnik med PSTN in razcepnikom na strani centrale;
- POTS-R vmesnik med PSTN in razcepnikom na strani uporabnika;
- T-SM T vmesnik za servisni modul;
- U-C U vmesnik na strani centrale;
- U-C₂ U vmesnik na strani centrale med razcepnikom in ATU-C;
- U-R U vmesnik na strani uporabnika;
- U-R₂ U vmesnik na strani uporabnika med razcepnikom in ATU-R;
- V_A V vmesnik med ATU-C in dostopovnim vozliščem (Access Node) na strani dostopovnega vozlišča;
- V_C V vmesnik med dostopovnim vozliščem in omrežnimi storitvami na strani dostopovnega vozlišča;



Slika 4.1: ADSL referenčni model

Referenčni model predpisuje podporo analogni govorni storitvi, ki je označena kot POTS storitev (Plain Telephone Old Service - osnovna telefonska storitev). Razcepnik omogoča prenos 4 kHz analognega kanala pod digitalno pasovno širino ADSL linije.

Večina storitev, kot na primer digitalno razpršeno oddajanje (video) ali širokopasovne storitve (Internet dostop), je namenjenih ADSL sistemom. Do teh storitev se dostopa mimo

centrale, kar pomeni, da ne potrebujemo tokokrogovno komutirane zveze. Eno dostopovno vozlišče imenovano tudi DSLAM lahko oskrbuje mnogo ADSL linij.

B vmesnik omogoča dodatni vhod, kot na primer priključitev satelitskega oskrbovalnika na televizijski komunikator. T-SM vmesnik je v bistvu T vmesnik in je lahko integriran v ATU-R vmesniku. Na enem ATU-R vmesniku je lahko več T-SM vmesnikov in so lahko različnih tipov (npr. za konektor V.35 ali 10Base Ethernet). T vmesnik ni potreben, če je terminalna oprema integrirana v ATU-R.

Tudi nekateri U vmesniki niso potrebni, kadar je razcepnik sestavni del ATU-R. V vmesniki so v večini primerov logični in ne fizični, kar posebej velja za V_A vmesnik. V_C je ponavadi fizični vmesnik in omogoča TCP/IP (Transmission Control Protocol/IP - protokol za krmiljenje prenosa/IP), ATM in ostala storitvena omrežja.

4.3 Izenačevanje odboja in frekvenčni multipleks

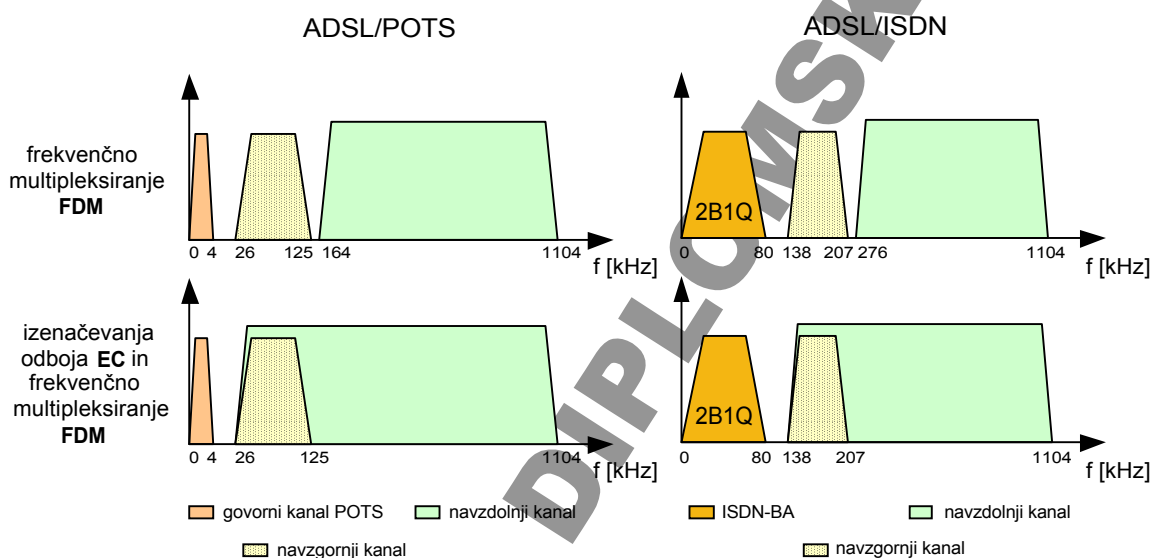
Glede na smer pretoka, prenaša ADSL podatke asimetrično in istočasno v obeh smereh, zraven tega pa po istem paru prenaša še govorno storitev, ki je lahko tako POTS kot ISDN priključek. Zaradi istočasnega prenosa po enem paru pa je potrebno signale nekako medsebojno ločiti. Razcepnik loči signale za POTS oziroma ISDN od podatkovnih signalov, zaradi dvosmernega prenosa pa je potrebno ločiti tudi podatkovne signale.

Eden od možnih postopkov je izenačevanje odboja EC (Echo Cancelling). Le ta preprečuje možnost, da bi bil signal, ki se prenaša v eni smeri, interpretiran kot signal, ki se prenaša v nasprotni smeri. Ta metoda je zelo občutljiva na presluh. Lahko se zgodi, da sprejemnik sprejme podatke, ki jih oddaja oddajnik sosednjega sistema (npr. sosednji par) ali celo oddajnik istega sistema. Ta metoda bolj učinkovito izkorišča razpoložljivo pasovno širino, vendar je bolj zapletena in občutljiva.

Naslednja možnost je frekvenčno multipleksiranje FDM. S tem postopkom se izvede razdelitev razpoložljivega frekvenčnega pasu na dva dela, od katerih se vsak uporablja za eno smer prenosa. Ta postopek uporablja ločen navzgor (upstream) in navzdol (downstream) kanal. FDM metoda se presluhu izogne, saj sprejemnik popolnoma ignorira frekvenčno področje signalov, ki jih oddaja oddajnik, zato je FDM metodo enostavneje izvesti, izkoriščenost razpoložljive pasovne širine pa je nekoliko manjša.

Mnogokrat se uporabi kombinacija obeh postopkov, ki omogoča, da se navzdolnja in navzgornja pasovna širina delno prekrivata, vendar se podatki v prekritem pasu nikoli ne prenašajo hkrati v obeh smereh, ampak izmenično.

Odboji ponavadi nastanejo zaradi slabih impedančnih razmer na signalni poti. V tem primeru se del oddanega signala odbije nazaj proti oddajniku. Kadar se isti frekvenčni pas uporablja za obe smeri, je na nasprotni strani takšen signal enako prepoznaven kot originalen signal. Izenačevalnik odboja na sprejemniku odšteje oddani signal od sprejetega in na ta način omogoča boljšo razločljivost iz druge strani poslanih signalov.



Slika 4.2: Frekvenčna razdelitev z metodo FDM in EC-FDM za ADSL-POTS in z ISDN

Slika prikazuje izvedbe ADSL linije s POTS ali ISDN priključkom. Zgornji del slike prikazuje razdelitev razpoložljive pasovne širine, če se za metodo izbere FDM postopek, spodnji del pa, če se uporabi EC v kombinaciji z FDM.

Kadar zraven ADSL storitev po liniji prenašamo še govorno storitev s POTS priključkom, ima navzgornji kanal pasovno širino 95 kHz. Navzdolnji kanal je odvisen od postopka in ima ob uporabi FDM metode 940 kHz pasovne širine ter ob uporabi EC metode v kombinaciji z FDM od 980 do 1074 kHz.

Ko pa ADSL zraven podatkovnih storitev omogoča ISDN storitve, sta tako navzgornji kot navzdolnji kanal nekoliko manjša, saj je pasovna širina ISDN priključka precej večja od POTS priključka. Tako ima tukaj navzgornji kanal 69 kHz pasovne širine, navzdolnji pa ob uporabi FDM metode 828 kHz ter ob uporabi EC metode v kombinaciji z FDM od 828 do 1080 kHz.

Pri FDM postopku je med navzgoranjim in navzdolnjim kanalom določen del pasovne širine neizkoriščen. Ta del je tako imenovano varovalno območje, ki preprečuje, da bi prišlo do presluha med obema kanaloma.

Pri ADSL z ISDN priključkom je med pasovno širino ISDN in navzgoranjim kanalom 58 kHz proste pasovne širine, kar pa ni samo zaradi varnostnega pasu, pač pa omogoča tudi uporabo ISDN priključka z 4B3T linijsko kodo, ki uporablja 120 kHz pasovne širine in se pretežno uporablja v Nemčiji.

4.4 Izbira linijske kode

Za linijsko kodo ADSL linije bi lahko izbrali tudi kakšno od obstoječih že preverjenih linijskih kod. Na primer koda 2B1Q je uporabljena že pri DSL tehnologijah kot so HDSL, SDSL in IDSL. Možna je bila tudi izbira QAM kode ali še bolj njej sorodne CAP kode (Carrierles Amplitude/Phase modulation – amplitudno/fazna modulacija brez nosilca) ali za mnoge najprimernejše DMT linijske kode. Glede izbire ADSL linijske kode je bilo veliko razprav. Izbiralo se je med CAP in DMT kodo, od katerih ima vsaka svoje prednosti.

DMT koda ima svojstveno lastnost, da omogoča prilagajanje hitrosti prenosa podatkov glede na spreminjanje razmer na liniji. Te se lahko spreminjajo zaradi vlage, interference prenašanih električnih signalov - presluh, elektromagnetnih motenj, atmosferskih vplivov, temperaturnih razlik, itn.. DMT koda je odporna tudi na šum in prisotnost digitalnih signalov na sosednjem paru – digitalni presluh. Je standardizirana z ANSI standardom T1.413-1995 (American National Standard Institute - Ameriški narodni inštitut za standardizacijo) in je na ta način izbrana kot »glavna« linijska koda za ADSL linijo in tudi večina ADSL opreme uporablja DMT kodo.

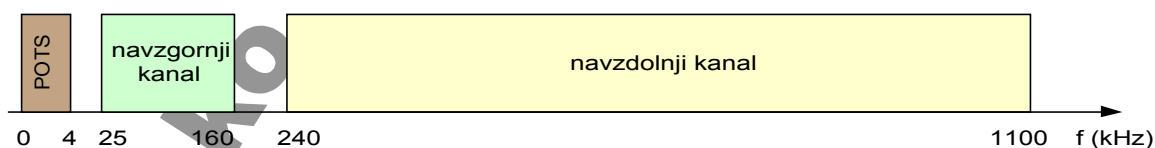
CAP koda je precej podobna QAM kodi, ki je že precej dodelana, saj se uporablja pri PSTN modemih. Čeprav večina CAP naprav uporablja FDM za delitev navzgornjega in navzdolnjega kanala, omogoča tudi preprosto izvedbo metode izenačevanja odbojev. Omogoča tudi boljšo prehodnost signala kot DMT koda, ki s procesiranjem zakasni signal za okrog 25%. CAP koda je označena kot opcija ADSL linijske kode in se tudi lahko uporablja za ADSL linijo.

4.5 CAP

CAP koda je skoraj popolnoma enaka QAM kodi. QAM koda, ki je bila podrobno razložena v poglavju o PSTN modemu, uporablja tri veličine, s katerimi tvori ustrezne simbole. Te so amplituda, faza in frekvenca. Običajno je frekvenca konstantna in se uporablja kot nosilec, s pomočjo katerega se prenašata modulirani veličini amplitude in faze. QAM kodirno/dekodirni sistem pošlje po liniji nemoduliran nosilni signal in na ta način sprejemniku posreduje referenčni signal.

CAP koda uporablja enake veličine kot QAM. Razlika je v tem, da pri CAP kodi nobena od uporabljenih veličin ni konstanta, zato nobena ne nastopa kot nosilec. Od tod tudi izvira ime amplitudno-fazna modulacija brez nosilca. V sistemih brez nosilca se originalni osnovni signal naloži na logični kanal. To pa pomeni, da ni prisotnega nobenega fizičnega nosilca, je pa logično izpeljan navidezni nosilec. Le ta se pošilja po logičnem kanalu in ga je potrebno na sprejemni strani rekonstruirati. Zaradi tega zahteva CAP več procesiranja na končnih napravah kot QAM.

CAP kodiranje uporablja celotno razpoložljivo pasovno širino razen od 0 do 4 kHz, ki je namenjena PSTN priključku. Dupleksni prenos podatkov je pri ADSL napravah, ki uporabljajo CAP linijsko kodo, večina rešen z FDM, kjer se navzgornji kanal prenaša na pasovnem področju od 25 do 160 kHz, navzdolnji pa od 240 kHz do 1,1 MHz oziroma do zgornje frekvenčne meje, ki je odvisna od dolžine in debeline para, šuma in ostalih razmer na liniji. Dupleksni prenos pa je možno doseči tudi z uporabo tehnike izenačevanja odboja. Na posamezni pasovni širini se prenašajo vsi biti hkrati, kar pomeni, da ni izvedene nobene delitve posamezne pasovne širine na podkanale. Ker je razvito iz dobro poznane in dodelanega QAM kodiranja, je dobro razumljivo in precej stabilno kodiranje.



Slika 4.3: Frekvenčna razdelitev ADSL linije s CAP kodo z FDM

Iz slike 4.3 je dobro razvidno, da so varnostni pasovi med posameznimi kanali precej široki. Na ta način se prepreči možnost interference med posameznimi kanali ali med signali iz sosednjih parov.

4.6 DMT

Pri DMT kodi se celotno razpoložljivo frekvenčno območje razdeli na podkanale, ki se smatrajo kot podnosilci, kar pomeni, da se za kodiranje vsakega podkanala uporablja različna nosilna frekvenca. Razpoložljivo frekvenčno območje, ki sega od 0 Hz pa do 1,1 MHz, se razdeli na frekvenčna območja enake pasovne širine 4,3125 kHz in se na ta način ustvari 256 podkanalov. Vsi podkanali pa se ne uporabljajo za prenos informacij. Nekateri med njimi so rezervirani za upravljanje omrežja in ostale vzdrževalne funkcije. Nekateri od teh podkanalov so posebni, kot na primer 64-ti, ki se uporablja za krmilni signal. Nekateri podkanali pa se sploh ne uporabljajo.

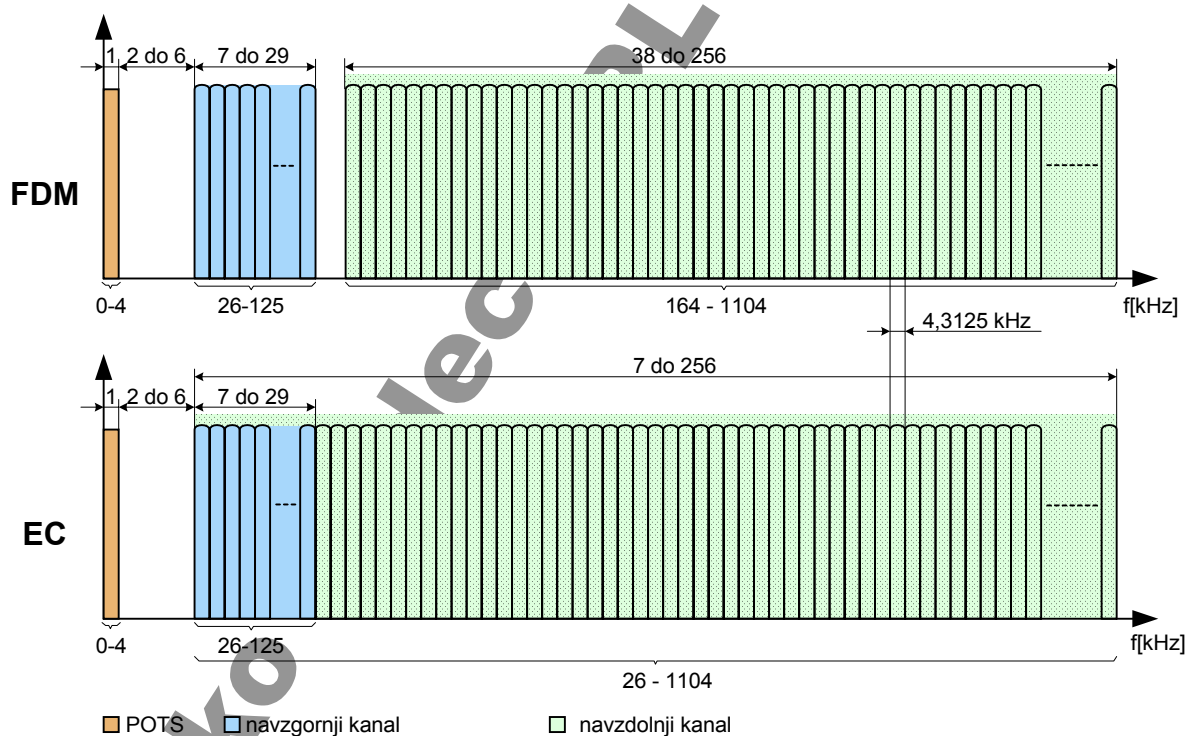
Tako se nižji podkanali uporabljajo za prenos POTS ali ISDN storitev. Med njimi ter podkanali za prenos ADSL storitev, je še varnostno območje, kjer se informacije sploh ne prenašajo, saj le to služi za preprečevanje presluha med POTS oziroma ISDN storitvami ter ADSL storitvami.

Podkanali za navzgornji kanal zasedajo nižji del razpoložljivega ADSL spektra, kar je narejeno iz dveh razlogov. Prvi razlog je, da je slabljenje signala na tej pasovni širini manjše, zato lahko oddajniki v naročniški opremi delujejo z manjšo močjo, kot oddajniki v centrali. Drugi razlog za takšno delitev pa je dejstvo, da je v centrali prisotnega mnogo več šuma, kar povečuje tudi možnost presluha, ki je pri višjih frekvencah še bolj izrazit. Pri višjih podkanalih je prisotna tudi večja izguba signala, ki je pri podkanalu 250 in višjih že tako velika, da je te podkanale že zelo težko uporabljati za prenos informacij. Kadar ADSL naprava deluje, se na vsakem podkanalu opravlja meritev slabljenja. Podkanal, ki ima preveliko slabljenje, se ne uporablja.

Vsak od številnih podkanalov opravlja svoje lastno kodiranje, ki temelji na QAM kodiranju. Nekateri med njimi lahko s posameznim QAM simbolom prenašajo več bitov kot drugi, zato je lahko hitrost prenosa podatkov posameznih podkanalov različna. Skupna hitrost prenosa podatkov je vsota vseh bitov prenesenih po vseh aktivnih podkanalih v določeni enoti časa. Na vseh podkanalih se nenehno izvaja kontrola zmogljivosti in napak. Na podlagi dobljenih rezultatov se zaradi sprotne prilagoditve na linijske pogoje prenosna hitrost posameznega podkanala ali skupine podkanalov spreminja. DMT naprave lahko spreminjajo prenosno hitrost po korakih za 32 kbit/s. Tako lahko delujejo s hitrostjo 544 kbit/s ali 512 kbit/s (za 32 kbit/s manj). Uporabljena hitrost je seveda odvisna od trenutnih

pogojev na liniji. Samo za primerjavo, CAP linijska koda omogoča spreminjanje hitrosti v korakih po 340 kbit/s.

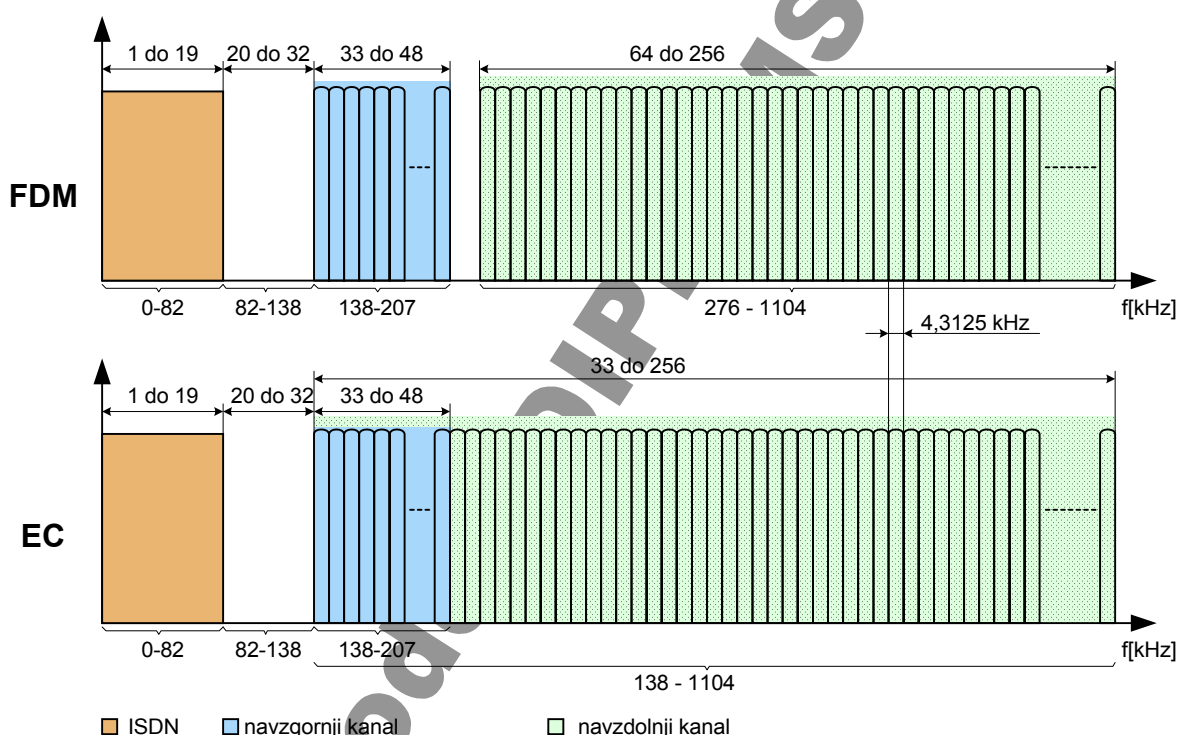
Kadar se DMT uporablja za ADSL linijo s PSTN priključkom, je podkanal 1 (frekvenčno območje od 0 do 4 kHz) rezerviran za govorne storitve. Podkanali od 2 do 6 (frekvenčno območje od 4 kHz do 25 kHz) tvorijo varovalno območje. 23 podkanalov od 7 do 29 (frekvenčno območje od 26 kHz do 125 kHz) se uporablja za navzgornji kanal. Uporaba podkanalov za navzdolnji kanal je odvisna od načina izvedbe dupleksnega prenosa podatkov, tako da se za EC postopek uporablja 250 podkanalov od 7 do 256 (frekvenčno območje od 25 kHz do 1104 kHz), za FDM postopek pa 219 podkanalov od 38 do 256 (frekvenčno območje od 164 kHz do 1104 kHz), saj se podkanali od 30 do 37 (frekvenčno območje od 125 kHz do 164 kHz) uporabljajo za varovalno območje med navzgornjim in navzdolnjim kanalom. Razdelitev podkanalov in frekvenčnega območja posameznih kanalov pri ADSL liniji s POTS priključkom prikazuje naslednja slika.



Slika 4.4: DMT - razdelitev frekvenčnega območja na podkanale za ADSL-POTS

Kadar pa se DMT uporablja za ADSL z ISDN priključkom, so podkanali od 1 do 19 (frekvenčno območje od 0 do 82 kHz) rezervirani za ISDN storitve. Podkanali od 20 do 32 (frekvenčno območje od 82 kHz do 138 kHz) tvorijo varnostno območje, ki po potrebi

omogoča tudi uporabo ISDN priključka s 4B3T linijsko kodo. Podkanali od 33 do 48 (frekvenčno območje od 138 kHz do 207 kHz) se uporabljajo za navzgornji kanal. Uporaba podkanalov za navzdolnji kanal je odvisna od načina izvedbe dupleksnega prenosa podatkov, tako da se za EC postopek uporabljajo podkanali od 33 do 256 (frekvenčno območje od 138 kHz do 1104 kHz), za FDM postopek pa podkanali od 64 do 256 (frekvenčno območje od 276 kHz do 1104 kHz), saj se podkanali od 49 do 63 (frekvenčno območje od 207 kHz do 276 kHz) uporabljajo za varovalno območje med navzgornjim in navzdolnjim kanalom. Razdelitev podkanalov in frekvenčnega območja posameznih kanalov pri ADSL liniji z ISDN priključkom prikazuje naslednja slika.



Slika 4.5: DMT - razdelitev frekvenčnega območja na podkanale za ADSL-ISDN

4.7 Delovanje DMT

Slika 4.6 prikazuje delovanje DMT tehnologije v ADSL napravi priključeni na lokalno linijo izvedeno s sukanim bakrenim parom. Razdeljena je na dva dela, od katerih zgornji del predstavlja tipično situacijo na lokalni liniji do dolžine 5 km, na kateri ni prisotnih dodatnih zunanjih motečih vplivov. Spodnji del slike pa predstavlja realno situacijo na

liniji, kjer so prisotne tudi motnje, ki jih povzročajo zunanji moteči vplivi, to pa se izraža kot slabljenje signala na posameznih podkanalih, ki zaradi tega prenašajo podatke z nižjimi podatkovnimi hitrostmi. Lahko se zgodi, da je slabljenje signala na določenem delu frekvenčnega območja tako veliko, da se informacije na teh podkanalih sploh ne prenašajo.



Slika 4.6: Prikaz tipičnih in realnih razmer na ADSL liniji z DMT kodiranjem

Levi del slike prikazuje idealno situacijo čez celoten frekvenčni obseg, kjer se v vsakem podkanalu informacije prenašajo z maksimalno možno podatkovno hitrostjo.

Srednji zgornji del slike prikazuje tipično situacijo na liniji, kjer je ojačenje odvisno od frekvence. Pri višjih frekvencah prevladuje vpliv dolžine linije, pri nižjih pa vpliv impulznega šuma in presluha, zato je na razpolago frekvenčni pas od 25 kHz do 1,1 MHz. V tem obsegu ojačenje z naraščanjem frekvence počasi pada.

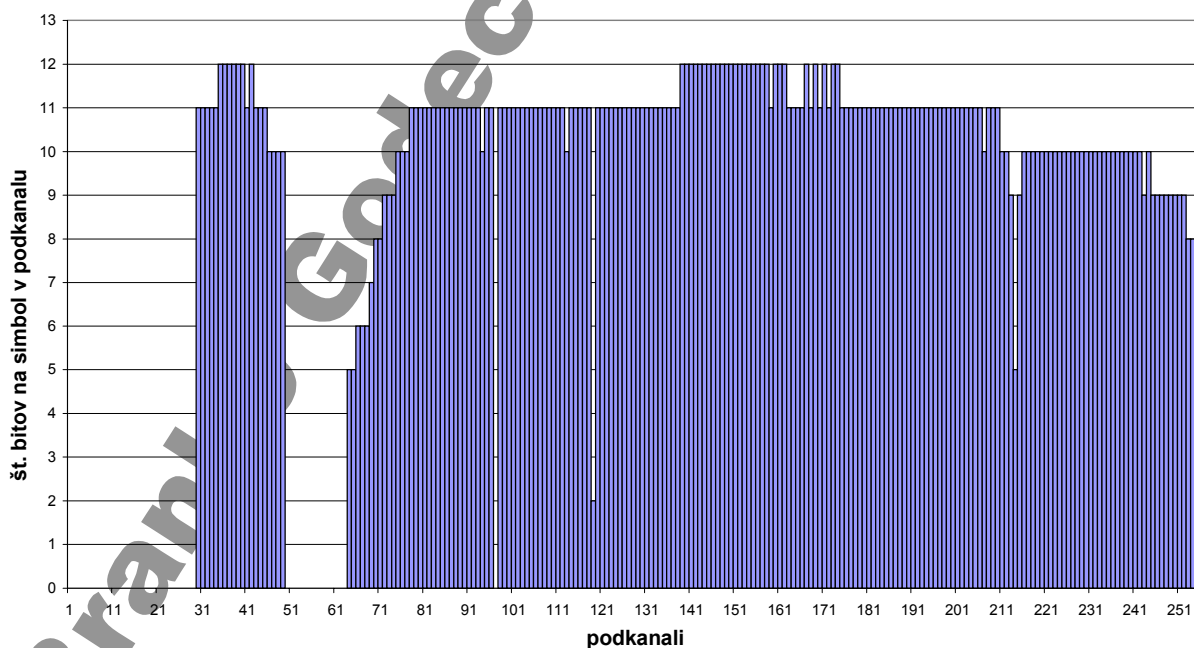
Desni zgornji del slike prikazuje, kako je hitrost prenosa podatkov posameznega podkanala odvisna od frekvenčnega odziva ojačenja na liniji.

Vendar v realnem svetu razmere niso tako idealne, kar prikazuje tudi srednji spodnji del slike, kjer je prisotno poslabšanje razmer na liniji zaradi premoščenega odcepa in zaradi šuma bližnjega radijskega oddajnika. Premoščeni odcep deluje kot dolgi zakasnen tokokrog, kjer signal potuje do konca odcepa in nazaj. Ta povratni signal interferira z originalnim signalom ter tako s stoječim valom popači določen frekvenčni pas, kar se kaže kot povečano slabljenje na tem delu in je v frekvenčnem odzivu linije viden kot zarez. Bližnji radijski oddajnik lahko oddaja na isti valovni dolžini, kot jo uporablja določen podkanal ADSL naprave. Ker je lokalna linija kot dolga antena, le ta sprejema signal radijske postaje in interferira s signalom originalnega signala podkanala, ki deluje na isti

valovni dolžini. Posledica je zelo veliko slabljenje. Na takšnih podkanalih se ponavadi, v času oddajanja radijskega signala, informacije ne prenašajo.

DMT naprava lahko izvaja meritev ojačenja vsakega podkanala in tako na podlagi dobljenih rezultatov prilagodi podatkovno hitrost posameznega podkanala. Spodnja desna slika prikazuje situacijo, kako je podatkovna hitrost posameznega podkanala odvisna od vpliva premoščenega odcepa in vpliva radijskega oddajnika. Nekateri podkanali so celo popolnoma izklopljeni. Na ta način se izognemo napakam pri prenosu in za to potrebni ponovni oddaji že oddanih podatkov, kar daje boljše rezultate prepustnosti linije. Ker se frekvenčni odziv linije v odvisnosti od razmer na liniji nenehno spreminja, DMT tehnologija pa omogoča prilagajanje podatkovne hitrosti posameznega podkanala glede na trenutne razmere, se lahko podatkovne hitrosti podkanalov nenehno spreminjajo.

Naslednja slika prikazuje praktični posnetek ADSL podkanalov, ki ga je posnela koordinacijska skupina za uvajanje ADSL omrežja. Na x osi je razdeljenih vseh 255 podkanalov, y os pa predstavlja število bitov, ki jih prenaša posamezni simbol. Na sliki je lepo razvidna delitev frekvenčnega pasu s frekvenčnim multipleksiranjem na navzgor in navzdol kanal. Prav tako se vidi, da nekateri podkanali sploh ne prenašajo nobenih bitov, drugi pa zaradi slabših razmer na liniji delujejo z manjšimi prenosnimi hitrostmi. Na 213 podkanalu se dobro vidi vpliv radijskega oddajnika, ki deluje na frekvenci 918 kHz.



Slika 4.7: Praktični primer porazdelitve hitrosti na podkanalih ADSL linije

5. ADSL OKVIR IN SUPEROKVIR

ADSL linija je del ADSL omrežja med naročnikom in ostalimi omrežji. Ta omrežja so lahko na primer Internet, ATM, ostala širokopasovna omrežja in tudi ozkopasovno omrežje PSTN ali ISDN storitev. Čeprav je ADSL linija v glavnem namenjena za enosmerni navzdolnji in navzgornji bitni pretok, pa ADSL vmesnik omogoča mnogo več, saj omogoča več posameznih in kombiniranih načinov prenosa podatkov med uporabniki in strežniki ponudnikov širokopasovnih storitev.

Podatki se po ADSL liniji prenašajo v obliki okvirjev. Istočasni bitni pretok znotraj ADSL okvirja je lahko razdeljen na največ 7 prenosnih kanalov, ki jih delimo na enosmerne in dvosmerne. Za navzdolnji promet se uporablja največ 4 popolnoma neodvisne enosmerne prenosne kanale, ki so označeni z AS0, AS1, AS2 in AS3. Za dvosmerni promet se uporablja največ 3 prenosne kanale, ki so označeni z LS0, LS1 in LS2. Vsi ti kanali so logični kanali in podatkovni tok vseh prenosnih kanalov na eni ADSL liniji poteka istočasno. Vsak med njimi je programiran na bitno hitrost, ki je večkratnik hitrosti 32 kbit/s. Omogočene so tudi ostale prenosne hitrosti, vendar se v tem primeru biti nad večkratnikom 32 kbit/s (npr.: za 80 kbit/s je to 16 kbit/s), prenašajo v režijskem delu ADSL okvirja, kateri bo podrobneje opisan v nadaljevanju.

5.1 Enosmerni ADSL navzdolnji promet

Ker je ADSL s standardom ANSI T1.413 prvi standardiziral Ameriški narodni inštitut za standardizacijo ANSI, prenosni kanali za navzdolnji promet temeljijo na večkratnikih prenosnega standarda T1, ki deluje s hitrostjo prenosa podatkov 1,536 Mbit/s. Ker se v Evropi in ostalem svetu večinoma uporablja standard E1 hitrosti 2,048 Mbit/s, so bili večkratniki te hitrosti dodani kot opcija, vendar v tem primeru po osnovnem modelu ni možno uporabljati prenosnega kanala AS3.

Maksimalno število aktivnih prenosnih kanalov je odvisnih od prenosnega razreda, ki ga določa od razdalje odvisna dosegljiva prenosna hitrost ADSL linije. Maksimalna hitrost 6,144 Mbit/s ni dovoljena na vseh AS prenosnih kanalih. Omejitve prikazuje tabela.

Tabela 5.1: Omejitve hitrosti ADSL enosmernih prenosnih kanalov

Prenosni kanal	Podatkovna hitrost	Dovoljene vrednosti n_x
AS0	$n_0 * 2,048 \text{ Mbit/s}$	$n_0 = 0, 1, 2 \text{ ali } 3$
AS1	$n_1 * 2,048 \text{ Mbit/s}$	$n_0 = 0, 1 \text{ ali } 2$
AS2	$n_2 * 2,048 \text{ Mbit/s}$	$n_0 = 0 \text{ ali } 1$

Za enosmerni navzdolnji prenos z uporabo E1 standarda obstajajo trije prenosni razredi, od katerih je hitrost posameznega razreda izpeljana kot večkratnik hitrosti 2,048 Mbit/s. Prenosni razredi so označeni z 2M-1, 2M-2 in 2M-3.

Prenosni razred 2M-1 za hitrost 6,144 Mbit/s se lahko dobi z ustrezno kombinacijo treh prenosnih kanalov AS0, AS1 in AS2, od katerih vsi delujejo z ustreznim večkratnikom hitrosti 2,048 Mbit/s. Tako se razred 2M-1 dobi z:

- enim 6,144 Mbit/s prenosnim kanalom;
- enim 4,096 Mbit/s prenosnim kanalom in enim 2,048 Mbit/s prenosnim kanalom;
- tremi 2,048 Mbit/s prenosnimi kanali.

Prenosni razred 2M-2 za hitrost 4,096 Mbit/s se lahko dobi z ustrezno kombinacijo prenosnih kanalov AS0 in AS1. Prenosni kanal AS2 se v tem primeru ne uporablja. Tako se razred 2M-2 dobi z:

- enim 4,096 Mbit/s prenosnim kanalom;
- dvema 2,048 Mbit/s prenosnima kanaloma;

Prenosni razred 2M-3 za hitrost 4,096 Mbit/s se lahko dobi le z uporabo prenosnega kanala AS0. Lahko se uporablja na daljši liniji, vendar zagotavlja najmanjšo prenosno kapaciteto.

Kot opcija pa so dodani tudi prenosni razredi, ki podpirajo navzdolnji prenos ATM celic. Fiksna dolžina ATM celice je 53 zlogov. Prvih 5 zlogov predstavlja glavo, kjer so podatki o: navidezni poti celice, vsebini celice ter zaznavi in odpravi napak. Ostalih 48 zlogov pa predstavlja koristno vsebino, kjer se prenašajo informacije. V primeru uporabe ADSL linije za navzdolnji promet ATM celic, mora le ta ustrezati predpisom AAL-1 (ATM Adaptation Layer – ATM prilagoditveni sloj). Predpisi AAL-1 določajo, kako se v 48 zlogovnem področju koristne vsebine ATM celice oblikujejo informacije. Namenjeni so

prenosu podatkov s konstantno bitno hitrostjo, ki imajo zagotovljeno stabilno zakasnitev podatkov skozi omrežje. Od koristne vsebine se 1 zlog uporabi za režijske funkcije, ostalih 47 zlogov pa prenaša uporabniške podatke. Uporablja se le prenosni kanal AS0, ki lahko deluje s štirimi različnimi prenosnimi hitrostmi, ki so definirane kot ATM prenosni razredi od 1 do 4. Le ti imajo po vrsti definirane hitrosti: 1,760 Mbit/s; 3,488 Mbit/s; 5,216 Mbit/s in 6,944 Mbit/s.

5.2 Dvosmerni ADSL promet

Dvosmerni prenosni kanali lahko prenašajo kontrolne kanale in tudi ISDN osnovni dostop. Za dvosmerni promet se uporabljajo največ 3 prenosni kanali, od katerih je eden zmeraj obvezen in je označen kot C kanal. Le ta je namenjen za prenos signalnih sporočil klicnih parametrov in za izbiro storitev. Zraven signalizacije za dvosmerne prenosne kanale, C kanal prenaša tudi vso signalizacijo na relaciji uporabnik–omrežje za vse enosmerne navzdolnje prenosne kanale.

V prenosnem razredu 2M-3 je C kanal zmeraj aktiven in deluje s hitrostjo 16 kbit/s. Prenos sporočil C kanala poteka v režijskem delu ADSL okvirja. V preostalih prenosnih razredih deluje C kanal s hitrostjo 64 kbit/s. Prenos sporočil C kanala v tem primeru poteka v dvosmernem prenosnem kanalu LS0.

Zraven C kanala pa lahko ADSL prenaša še dva dvosmerna prenosna kanala in sicer kanal LS1 s hitrostjo 160 kbit/s in kanal LS2, ki omogoča hitrosti 384 kbit/s in 576 kbit/s. Natančna oblika dvosmernih prenosnih kanalov se lahko spreminja in je odvisna od uporabljenega prenosnega razreda, kar prikazuje tudi naslednja tabela.

Tabela 5.2: Oblike ADSL dvosmernih prenosnih kanalov

Prenosni razred	Doseg	Primer	Oblika dvosmernega kanala	Aktivni kanali
2M-1	maksimalen	1	160 kbit/s + 384 kbit/s	LS1, LS2
		2	576 kbit/s	LS2
2M-2	srednji	1	160 kbit/s	LS1
		2	384 kbit/s	LS2
2M-3	minimalen	1	160 kbit/s	LS1

Kadar se dvosmerni prenosni kanal LS1 hitrosti 160 kbit/s uporablja za prenos ISDN osnovnega dostopa, se po njem dvosmerno prenašata oba ISDN podatkovna B kanala in tudi signalizacijski D kanal. V vseh ostalih primerih se signalizacija za dvosmerne prenosne kanale hitrosti 576 kbit/s, 384 kbit/s in 160 kbit/s prenaša v C kanalu skupaj s signalizacijo za navzdolnje enosmerne kanale.

Kot opcija za dvosmerne podatkovne kanale je tudi možnost prenosa ATM celic. Kadar je to omogočeno, poteka ATM promet po kanalu LS2. Ustrezati mora AAL-5 predpisom, ki podobno kot AAL-1 določajo, kako se informacije preslikajo v področje koristne vsebine ATM celice. AAL-5 je namenjen prenosu s spremenljivo bitno hitrostjo in ne zagotavlja stabilnih zakasnitev podatkov skozi omrežje. AAL-5 uporablja povezavo skozi ATM omrežje, kar pa ni problem, saj večina ATM stikal podpira tako AAL-1 kot AAL-5 predpise. Za ATM celični prenos preko ADSL dvosmerne prenosne kanale se uporablja le prenosni kanal LS2, ki lahko deluje s prenosno hitrostjo 448 kbit/s in 672 kbit/s.

5.3 Združevanje prenosnih kanalov na ADSL liniji

Prenos enosmerne AS in dvosmerne LS prenosne kanale poteka po ADSL liniji sočasno. Vsak od prenosnih kanalov je lahko oblikovan neodvisno. Za združevanje AS in LS prenosnih kanalov obstaja več predpisanih kombinacij, ki so odvisne od prenosnih razredov, kar prikazuje tudi naslednja tabela.

Tabela 5.3: Možnosti združevanja prenosnih kanalov v odvisnosti od prenosnih razredov

Prenosni razred		2M-1	2M-2	2M-3
enosmerni	Maksimalna kapaciteta [Mbit/s]	6,144	4,096	2,048
	Možnosti prenosnih kanalov [Mbit/s]	2,048	2,048	2,048
		4,096	4,096	
		6,144		
	Aktivni prenosni kanali	AS0,AS1,AS2	AS0,AS1	AS0
dvosmerni kanali	Maksimalna kapaciteta [kbit/s]	640	608	176
	Možnosti prenosnih kanalov [kbit/s]	576		
		384	384	
		160	160	160
		C (64)	C (64)	C (64)
	Aktivni prenosni kanali	LS0,LS1,LS2	LS0,LS1	LS0,LS1
			LS0,LS2	

ADSL tehnologija ima razmeroma omejeno možnost uporabe ATM celic. Dvosmerni prenosni kanal, ki se uporablja za navzgornji ATM promet, je mnogo počasnejši od ostalih prenosnih načinov in se zanaša le na signalizacijo C kanala. Pri navzdolnjem ATM prometu preko ADSL linije pa manjka glavna sposobnost ATM, to je omogočanje kreiranja svojih lastnih VP (Virtual Path – navidezna pot) in VC povezav (Virtual Channel – navidezni kanal).

5.4 ADSL režijski biti

ADSL enosmerni navzdolnji prenosni kanali in dvosmerni prenosni kanali, ki se v glavnem uporabljajo za navzgornji prenos, vsebujejo tudi režijske bite, ki so potrebni za različne funkcije. Zelo važna je funkcija sinhronizacije prenosnih okvirjev, ki skrbi, da naprave na obeh koncih ADSL linije vedo, kateri od AS in LS kanalov je aktiven, s katero hitrostjo deluje ter kje v ADSL okvirju ima nameščene bite. Funkciji *eoc* (embedded operations channel – vgrajeni obratovalni kanal) in *occ* (operations control channel - obratovalni nadzorni kanal), se uporabljata za oddaljene nastavitve in prilagoditve hitrosti, odkrivanje napak s CRC kodo (Cyclic Redundancy Check - ciklično preverjanje redundance), rezervacijo bitov za obratovanje, upravljanje in vzdrževanje, vnaprejšnjo odpravo napak FEC (Forward Error Correction).

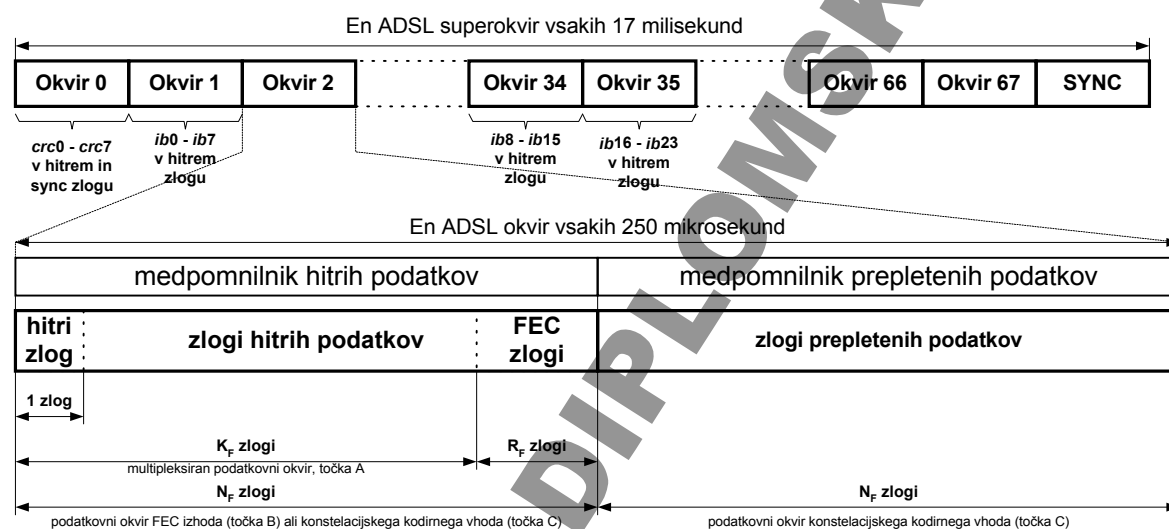
ADSL režijski biti se pošiljajo v obeh smereh večinoma z bitno hitrostjo 32 kbit/s, vendar obstajajo tudi izjeme. V nekaterih primerih so vgrajeni v celotno bitno hitrost ADSL okvirja in ne potrebujejo dodatne pasovne širine, v drugih primerih pa so dodani k celotni bitni hitrosti.

5.5 ADSL superokvir

ADSL naprave, kot so ATU-C in ATU-R, medsebojno izmenjujejo bite z uporabo DMT linijske kode. Biti so pač samo biti, bolj pa je važno, kaj ti biti predstavljajo. Katere vrste informacij nek multimedijski izvor (strežnik) po liniji istočasno pošilja ADSL sprejemniku, ter kako so te informacije predstavljene kot ADSL biti, se zabeleži v ADSL

superokvirju. Te informacije so lahko IP paketi, ATM celice, MPEG video, Dolby digital audio, itn..

Tako kot vsi današnji protokoli, tudi ADSL protokol deluje po nivojih. Najnižji nivo protokola predstavljajo biti, ki jih ustvarja DMT linijska koda. Biti so organizirani v okvirje, ti pa se nato združujejo v ADSL superokvir. V nasprotju s pričakovanim, ima ADSL superokvir zelo podobno zgradbo kot okvir oziroma superokvir standarda E1, in manj podobno, kot sorodni Ethernet LAN okvir. Seveda je Ethernet LAN okvir lahko vsebina ADSL superokvirja. Zgradbo ADSL superokvirja prikazuje naslednja slika.



Slika 5.1: Zgradba ADSL superokvirja

ADSL superokvir je razdeljen na 68 ADSL okvirjev. Okvirji 0, 1, 34 in 35 opravljajo posebne funkcije. Superokvir zaključuje poseben sinhronizacijski okvir SYN, ki ne prenaša uporabniških informacij, ampak skrbi za sinhronizacijo. En ADSL superokvir se pošlje vsakih 17 milisekund. Ker je ADSL linija tipa točka-točka, na tem nivoju ni potrebnih nobenih naslovnih okvirjev ali povezovalnih identifikatorjev.

Znotraj ADSL superokvirja se en ADSL okvir pošlje vsakih 250 mikrosekund. Vsak ADSL okvir sestavljata dva glavna dela. Prvi del vsebuje podatke iz hitrega medpomnilnika, za katere se smatra, da so občutljivi na zakasnitve ampak so še vedno odporni na šum. Takšni podatki so video ali audio informacije, katerih pretok mora biti čimbolj zvezen. Prvi del se začne s hitrim zlogom, ki prenaša CRC kodo in nekatere indikacijske bite (*ib*) in konča z FEC poljem, ki je namenjeno za korekcijo napak hitrih podatkov. Teh v mnogih primerih ni možno ponovno oddati, saj bi to prekinilo potrebno

zveznost podatkov, ki potekajo v realnem času. Priporočljivo je, da hitri medpomnilnik deluje približno 10 krat hitreje od prepletenega medpomnilnika.

Drugi del okvirja vsebuje podatke iz medpomnilnika prepletenih podatkov, ki so združeni z namenom, da bi bili čimbolj neobčutljivi na šum, kar pa seveda povečuje procesiranje in s tem tudi zakasnitve. Ta del okvirja je v glavnem namenjen podatkom aplikacij hitrega Interneta. Da se čimbolj zmanjša možnost napačne sinhronizacije superokvirja, se celotna vsebina drugega dela okvirja premeša že pred oddajo. Prepleteni podatki se tvorijo z razpršitvijo bitov po različnih prenosnih kanalih, tako da obstaja manjša verjetnost, da bo skupina zaporednih bitov pri popravljanju napak takšne oblike, da se z vnaprejšnjo korekcijo napak (FEC) ne bi dalo določiti napake in je vnaprej popraviti. Postopek prepletanja podatkov se lahko vrši z blokovnim prepletanjem ali konvolucijskim prepletanjem. Oba načina prepletanja spremenita vrstni red bitov izhodnega bitnega toka, vendar se to naredi po nekem algoritmu, na podlagi katerega se lahko vrstni red bitov na sprejemni strani ponovno pravilno razvrsti. Pri blokovnem prepletanju se nespremenljiva velikost bloka zapolni po vrsticah, podatki pa se nato pošiljajo po stolpcih, kar prikazuje tudi naslednja slika. Vrstni red bitov, ki bi bili poslani proti kanalu, bi bil naslednji: 1, 9, 17, 25, 2, 10, 18, 26, 3...



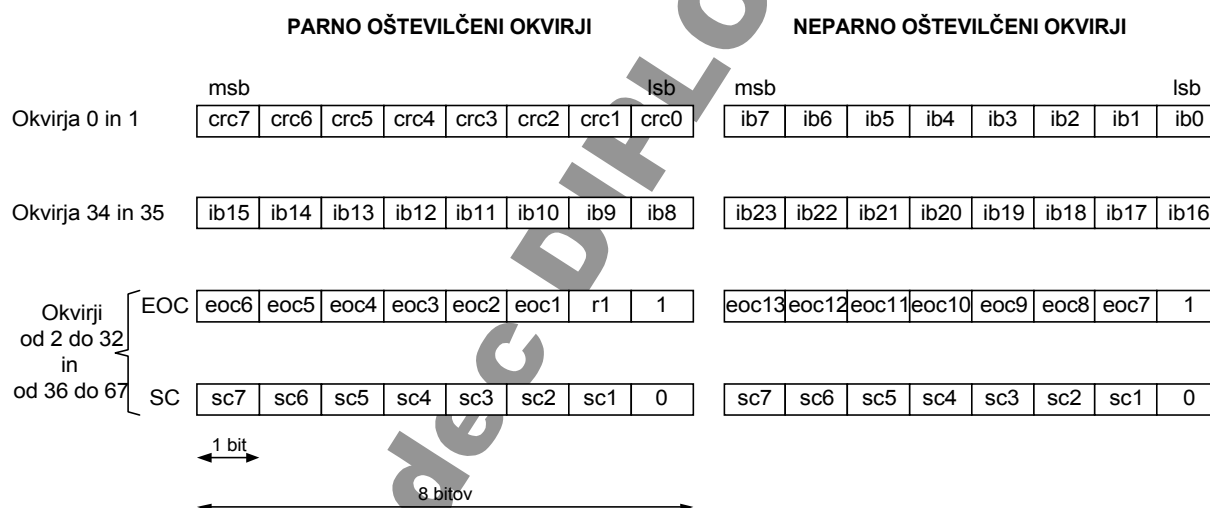
Slika 5.2: Primer tvorbe prepletenih podatkov dolžine 8 in širine 4

Pri konvolucijskem prepletanju se bloki razvrščajo v obliki trapeza, kar omogoča uporabo krožnega medpomnilnika za vpisovanje v vrstice in branje iz stolpcev na podoben način kot pri blokovnem prepletanju.

Zaradi asimetričnih in spremenljivih ADSL prenosnih hitrosti, se lahko spreminja tudi velikost okvirja, ki pa je navzgor omejena, saj se posamezen okvir pošlje vsakih 250 μ s. Prva polovica vsakega okvirja (125 μ s) pripada hitrim podatkom, druga polovica (125 μ s) pa prepletenim podatkom.

Med okvirji, ki opravljajo posebne funkcije, prenašata okvirja 0 in 1 informacijo o kontroli napak superokvirja v obliki CRC kode ter nekatere indikacijske bite za režijske funkcije. Okvirja 34 in 35 prav tako prenašata indikacijske bite.

V hitrem zlogu okvirjev od 2 do 33 in od 36 do 67, se prav tako prenašajo režijske informacije. Tako se hitri zlog v medpomnilniku hitrih podatkov lahko uporablja za prenos CRC bitov superokvirja, *ib* bitov, *eoc* bitov ali bitov za nadzor sinhronizacije *sc* (synchronization control). Strukture hitrih zlogov se med seboj razlikujejo in so odvisne od tega, ali je okvir paren ali neparen.



Slika 5.3: Možne oblike hitrih zlogov

V okvirjih od 2 do 33 ter od 36 do 67, so *eoc* biti, za razliko od *sc* bitov, določeni z vrednostjo *lsb* bita (*least significant bit* - najmanj utežni bit). Na nekaterih področjih hitrih zlogov, se v določenih pogojih lahko pridobijo tudi tako imenovani privarčevani biti. Kadar ni zahteve za prenos CRC, *ib*, ali *sc* bitov, se lahko v hitrih zlogih lihih in sodih okvirjev prenašajo iz 13-ih bitov sestavljena *eoc* sporočila, ali pa koda za nesinhrono delovanje. Uporaba privarčevanih zlogov nima toliko pomena za STM prenos (Synchronous Transfer Mode - sinhroni prenosni način), saj le ta za prenos uporablja AS in LS prenosne kanale. Če število uporabljenih prenosnih kanalov narašča, potem število

privarčevanih bitov upada. Pri ATM prenosu pa lahko število uporabljenih prenosnih kanalov upade celo na 4 kanale pa še nekatere sinhronizacijske dejavnosti postanejo manj uporabne, zato se v hitrih zlogih pojavi večje število privarčevanih zlogov, kar se lahko izkoristi za prenos ustreznih *eoc* sporočil. Zmanjšanje števila režijskih bitov pa se da doseči tudi z uporabo enojnih prenosnih kanalov v vsaki smeri ali z uporabo enojnega hitrega in enojnega prepletenega prenosnega kanala. Medtem, ko je to pri ATM prenosu točno določeno, pa se lahko uporablja tudi za STM prenos z enojnimi prenosnimi kanali. Sinhronizacijski zlog se v polnem režijskem načinu uporablja skupaj s hitrim zlogom in sicer za obe vrsti podatkov in to čez celoten okvir. V okvirjih od 1 do 66 se uporablja za prepletene podatke, v okvirju 67 pa za hitre podatke. V zmanjšanem režijskem načinu je hitri zlog uporabljen za hitri podatkovni medpomnilnik, sinhronizacijski zlog (*sync*) pa za prepleteni podatkovni medpomnilnik. Sinhronizacijski zlog, ki je v hitrem zlogu 67. okvirja predstavljen z *sc* biti, deluje kot mehanizem za označevanje AS in LS kanalov.

Tabela 5.4: Režijske funkcije za zmanjšani režijski način

Številka okvirja	(Samo hitri medpomnilnik)	(Samo prepleteni medpomnilnik)
	Oblika hitrega zloga	Oblika prepletenega zloga
0	hitri CRC	prepleteni CRC
1	<i>ib0</i> do <i>ib7</i>	<i>ib0</i> do <i>ib7</i>
34	<i>ib8</i> do <i>ib15</i>	<i>ib8</i> do <i>ib15</i>
35	<i>ib16</i> do <i>ib23</i>	<i>ib16</i> do <i>ib23</i>
$4n+2, 4n+3; n=0..16 \text{ in } n \neq 8$	sync ali eoc*	sync ali eoc*
$4n, 4n+1; n=0..16 \text{ in } n \neq 0$	aoc	aoc

Vir: ANSI T1.413

* dovoljena je le uporaba kode za nesinhrono

delovanje

Indikacijski biti so opozorilni biti. Uporabljajo se za odkrivanje napak, odpravljenih napak, izgube signala, oddaljenih okvar ter za ostale informacije, ki se zahtevajo za statistiko ali morebitno odpravo napak na višjem nivoju. Indikatorski biti hitrega medpomnilnika se v navzdolnji smeri uporabljajo za odkrivanje: napak blokov na drugem koncu, števila popravkov na drugem koncu, izgube signala in oddaljenih okvar.

CRC zlogi se uporabljajo za odkrivanje napak. Z določenim matematičnim algoritmom se iz vsebine podatkovnega toka izračuna CRC koda, ki se v določenem delu hitrega medpomnilnika pošlje po liniji. Na sprejemni strani se iz prispelega podatkovnega toka z enakim matematičnim algoritmom ponovno izračuna CRC koda. Če pri prenosu podatkov ni prišlo do napak, sta prispela in ponovno izračunana CRC koda enaki. Različnost obeh

kod označuje napačno sprejete podatke. Ker je uporabljena 8 bitna CRC koda, je možno napake razvrstiti v 256 razredov.

Vgrajeni obratovalni kanal *eoc* deluje kot programski vmesnik, ki omogoča spremembe znotraj ADSL okvirja. Posamezna *eoc* polja prikazuje naslednja tabela.

Tabela 5.5: Polja sporočil vgrajenega obratovalnega kanala

Št. polja	Št. bita	Opis	Opomba
1	1 in 2	Naslovno polje	Možno nasloviti 4 lokacije
2	3	"0"-podatki; "1"-ukaz	Uporaba podatkov za branje/pisanje
3	4	Polje paritetnega zloga	Označuje vrstni red več-zlogovnega prenosa
4	5	"1"-sporočilo/odgovor; "0"-neodvisno sporočilo	Proti ATU-C ni definiranih neodvisnih sporočil; proti ATU-R je edino neodvisno sporočilo "pojemanje sape"
5	6 do 13	Informacijsko polje	Eden od 58 ukazov ali 8 podatkovnih bitov

Prva dva bita (*eoc1* in *eoc2*) označujeta, da je informacija oziroma ukaz naslovljen proti ATU-C (vrednost "11") ali proti ATU-R (vrednost "00"). Pri odgovorih na ukaze je zadeva nekoliko drugačna. Če na primer ATU-C pošlje ukaz proti ATU-R, potem v naslovno polje vpiše vrednost "00". Ko ATU-R sprejme ukaz, se nanj odzove z odgovorom in v naslovno polje ponovno vpiše vrednost "00", ki pomeni da je to odgovor na ukaz, ki je došel iz ATU-C. Tretji bit (*eoc3*) označuje, da je informacijsko polje od bita *eoc6* do bita *eoc13* uporabljeno za ukaze (vrednost "1") oziroma za podatke (vrednost "0"). Četrty bit (*eoc4*) je namenjen za označevanje zaporedja poslanih podatkovnih zlogov in z vrednostjo "0" označuje parne ter z vrednostjo "1" neparne zloge. Peti bit (*eoc5*) z vrednostjo "1" označuje, da sporočilo zahteva odgovor in z vrednostjo "0", da je sporočilo neodvisno od odgovora. Edino neodvisno sporočilo se pošlje, kadar na ATU-R pride do izpada napajanja. To sporočilo, imenovano tudi "pojemanje sape", je zadnje sporočilo, ki se s pomočjo napetosti na kondenzatorju ali rezervnega napajanja na ATU-R napravi pošlje proti ATU-C. Sporočilo "pojemanje sape" se mora poslati najmanj 6 krat in v tem času se vsi ostali *eoc* ukazi prezrejo.

V polju od bita *eoc6* do bita *eoc13*, se lahko prenaša 8 podatkovnih bitov ali pa eno od 58 možnih sporočil. Ta sporočila so lahko: dvosmerna sporočila, ki se pošiljajo od ATU-C proti ATU-R ter se od tam v enaki obliki pošljejo nazaj proti ATU-C; enosmerna navzdolnja sporočila, ki se pošiljajo od ATU-C proti ATU-R ter povratni odgovori na ta sporočila od ATU-R proti ATU-C; enosmerno neodvisno sporočilo "pojemanje sape". Nekateri ukazi spreminjajo delovanje ATU-R, medtem ko drugi proti ATU-C le

posredujejo določene statistične podatke o delovanju ATU-R. Tako na primer nekateri ukazi ("zaprt") povzročijo, da ATU-R tako dolgo deluje v določenem predpisanem načinu, da eden izmed naslednjih ukazov ("odprt" ali "nazaj v normalno stanje") povzroči, da se ATU-R ponovno povrne v normalni način delovanja. Tako ukaza *zahteva po okvarjeni CRC kodi* in *objava okvarjene CRC kode* povzročata stanje ("zaprt") na ATU-R in se uporabljata izključno za testne namene. Nekatera sporočila pa povzročijo, da ATU-R vrne podatkovne informacije. V osnovi poznamo tri vrste sporočil, ki so lahko: testna sporočila; sporočila o prenosu podatkov; sporočila ponudnika storitve. Odgovori na ukaze se posredujejo v takšnem vrstnem redu, kot so bili sprejeti ukazi, saj v odgovorih nikjer ni navedeno na točno kateri ukaz se odgovarja. Naslednja tabela prikazuje seznam vseh sporočil, ki jih predpisuje ANSI. V tabeli pomeni *n* smer proti naročniku *c* pa proti centrali.

Tabela 5.6: Ukazi *eoc* sporočil

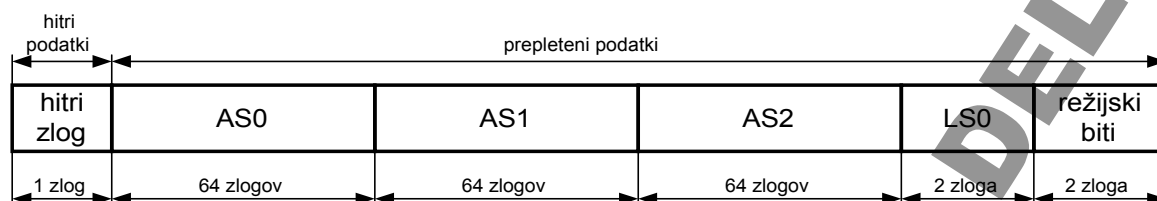
HEKSADECIMALNA OBLIKA UKAZNEGA ZLOGA	Pomen ukaza	Smer	Kratica
01	Stanje zadržanja	n/c	HOLD
F0	Povrnitev vseh normalnih aktivnih stanj	n/c	RTN
02	Izvrševanje samo-testa	n/c	SLFTST
04	Ni možno izvršiti	c	UTC
07	Zahteva po okvarjeni CRC kodi	n/c	REQCOR
08	Konec zahteve po okvarjeni CRC kodi	n/c	REQEND
0B	Objava okvarjene CRC kode	n/c	NOTCOR
0D	Konec objave okvarjene CRC kode	n/c	NOTEND
0E	Konec podatkov	n/c	EOD
10	Naslednji zlog	n	NEXT
13	Zahteva po obnovitvi testnih parametrov	n/c	REQTPU
20,23,25,26,29,2A,2C,2F,31,32,34,37,38,3B,3D,3E	Vpis številke podatkovnega registra (0-F)	n/c	WRITE
40,43,45,46,49,4A,4C,4F,51,52,54,57,58,5B,5D,5E	Branje številke podatkovnega registra	n/c	READ
19,1A,1C,1F	Protokoli ponudnika storitve	n/c	-
E7	"pojemanje sape"	c	DGASP
15,16,80,83,85,86,89,8A,8C,8F	Nedefinirani ukazi za bodoče možnosti	-	-

Vir: ANSI T1.413

5.6 ADSL okvir

Vsak okvir v ADSL superokvirju ima točno določeno zgradbo. V hitrem in prepletenem medpomnilniku so po vrsti zloženi zlogi za prenosne kanale AS0, AS1, AS2 in AS3, katerim sledijo še zlogi za prenosne kanale LS0, LS1 in LS2. Če za kateri prenosni

kanal AS ali LS ni podatkov, so za ta kanal določena področja pač prazna. Med prenosnimi kanali pa so porazdeljeni tudi nekateri režijski biti.



Slika 5.4: ADSL okvir za prenosni razred 2M-1

Ker ima ADSL več za vsako smer različnih linijskih hitrosti, je zgradba okvirja precej zapletena. V času trajanja postopka inicializacije, se uporabniškemu podatkovnemu toku dodeli hitri ali prepleteni podatkovni medpomnilnik, zato se vsak od prenosnih kanalov AS in LS lahko prenaša le v tistem medpomnilniku, ki mu je bil predhodno dodeljen. Če se kateri od prenosnih kanalov AS ali LS prenaša v enem medpomnilniku, mu mora biti v drugem medpomnilniku na voljo enako število bitov, čeprav se tam podatki ne prenašajo.

V ADSL okvirju je določena privzeta razporeditev števila zlogov, kar pa je možno tudi spreminjati. Število zlogov je tudi informacija za ADSL okvir, ki se pošilja proti ATU-R. Če v določenem delu enega medpomnilnika biti zasedajo od "0" različne vrednosti, morajo biti ustrezne vrednosti drugega medpomnilnika enake "0".

Tabela 5.7: Privzeta razporeditev zlogov glede na prenosne razrede

Prenosni kanal	Prepleteni podatkovni medpomnilnik			Hitri podatkovni medpomnilnik		
	2M-1	2M-2	2M-3	2M-1	2M-2	2M-3
AS0	64	64	64	0	0	0
AS1	64	64	0	0	0	0
AS2	64	0	0	0	0	0
LS0	2	2	255	0	0	0
LS1	0	0	0	5	0	5
LS2	0	0	0	12	12	0

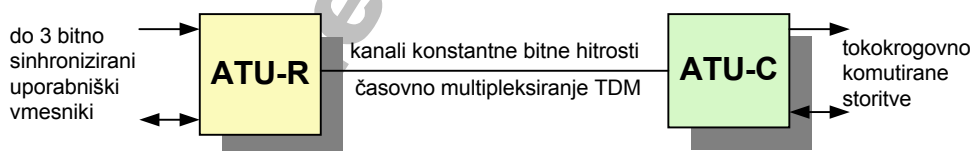
Ker se posamezen ADSL okvir pošlje vsakih 250 μ s, se v eni sekundi po ADSL liniji pošlje 4000 okvirjev. V prenosnem razredu 2M-1 vsak navzdolnji prenosni kanal AS0, AS1 in AS2 v enem okvirju prenaša 64 zlogov in vsak deluje s prenosno hitrostjo 2,048 Mbit/s ($64 \text{ zlogov} \times 8 \text{ bitov} \times 4000 \text{ okvirjev/s} = 2,048 \text{ Mbit/s}$), kar daje skupno hitrost vseh treh navzdolnjih kanalov 6,144 Mbit/s. Hkrati je aktiven le eden dvosmerni prenosni kanal, ki prenaša 2 zloga in deluje s prenosno hitrostjo 64 kbit/s v obeh smereh.

6. ADSL OMREŽJE

Informacije se med naročniškimi napravami in strežnikom širokopasovnih storitev prenašajo v obeh smereh. Prenos med obema koncema poteka preko različnih sistemov, kot so omrežje pri naročniku, ADSL linija, DSLAM, ustrezno širokopasovno omrežje, strežnik ponudnika širokopasovnih storitev in omrežje pri ponudniku. Ker so določeni deli te povezave lahko različni sistemi, ki delujejo z različnimi prenosnimi protokoli, je možnih več načinov prenosa informacij med njimi. Le ti so lahko enaki čez celotno povezavo ali pa so kombinacija dveh ali več različnih načinov prenosa.

6.1 ADSL distribucijski načini

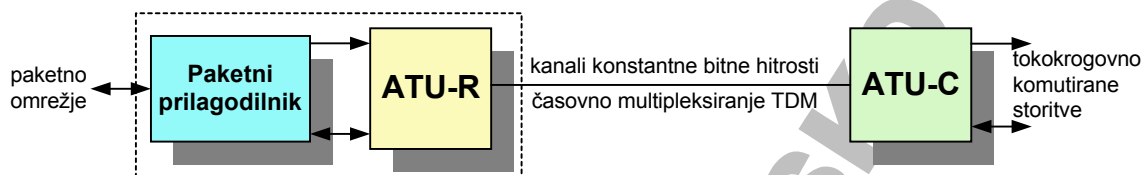
Distribucijski načini določajo, kakšna je oblika bitov v ADSL okvirju, ko se jih pošlje po liniji. *ADSL forum*, ki je pristojna institucija za dogajanje na tem nivoju, določa štiri distribucijske načine.



Slika 6.1: Bitno sinhroni distribucijski način

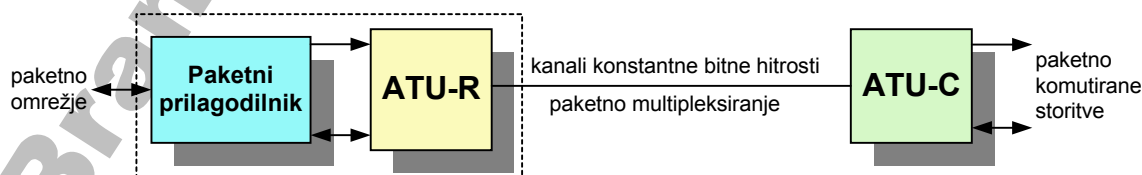
Bitno sinhroni distribucijski način je najenostavnejši distribucijski način, v katerem se biti, ki so na eni strani ADSL linije vstavljeni v hitri ali prepleteni medpomnilnik, na drugi strani linije iz medpomnilnika tudi izvzeti. Na strani naročnika so lahko na ATU-R priključene do 3 bitno sinhronizirane uporabniške naprave (npr. PC), saj so za ADSL navzdolnji bitni tok namenjeni 3 prenosni kanali AS0, AS1 in AS2. Navzgornji bitni tok, ki poteka preko dvosmernih kanalov, mora vsebovati C kanal, vsebuje pa lahko tudi ustrezne LS kanale. Posamezen kanal deluje s konstantno bitno hitrostjo. Ko biti iz LS ali

C kanala prispejo na ATU-C, jih ta preprosto posreduje k tokokrogovno komutiranemu omrežju ponudnika storitve. Prenos podatkov preko ADSL linije je lahko deljen na kanale, vendar ne glede na to ADSL s časovnim multipleksom (TDM) razporeja bite v časovna okna ADSL okvirja. Bitni distribucijski način je namenjen uporabnikom, ki zraven govornih storitev (PSTN ali ISDN), uporabljajo ADSL le za dostop do Interneta. V tem primeru je ATU-C na strani ponudnika storitve priključen na IP usmerjevalnik.



Slika 6.2: Paketno prilagojen distribucijski način

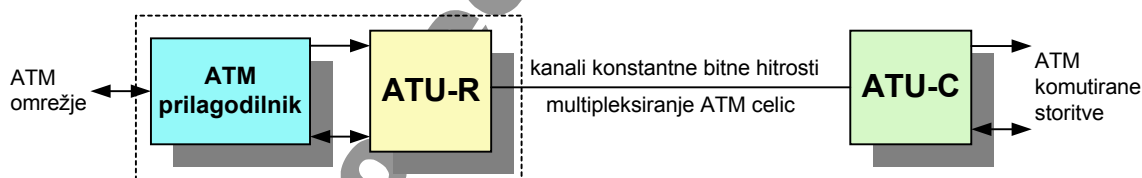
Paketno prilagojen način se od bitno sinhronega načina razlikuje le na strani naročnika. Naročniške naprave namesto bitnega toka pošiljajo in sprejemajo pakete, ki se v ADSL okvir vstavljajo in izvezajo s pomočjo paketnega prilagodilnika, ki je lahko vgrajen v ATU-R ali pa je zunanja naprava. ATU-R se povezuje s takšnim naročniškim omrežjem, ki omogoča paketno distribucijo podatkov. Takšno omrežje je na primer 10BaseT Ethernet, ki omogoča, da LAN omrežje z več računalniki uporablja eno ADSL linijo za povezavo do širokopasovnih storitev. V tem primeru lahko vsi v LAN vključeni računalniki hkrati uporabljajo ADSL linijo, saj si paketi iz različnih izvorov delijo skupen LS kanal ADSL linije. Na strani naročnika ATU-R izvede preslikavo paketov v prenosne kanale ADSL linije, na strani ponudnika pa ATU-C, če je direktno priključen na IP usmerjevalnik ISP-ja, te pakete le posreduje naprej. Ta distribucijski način omogoča priključitev tudi nekaterih novih sistemov na naročniški strani, kot na primer CEBus (Consumer Electronics Bus – uporabniško elektronsko vodilo), ki izkorišča hišno napetostno napeljavo za prenos informacij. V tem načinu se paketi še vedno pošiljajo kot bitni tok v TDM kanalih, saj so končne točke dosegljive le preko tokokrogovnega komutiranega omrežja. Vsak paketni tok potrebuje svoj TDM kanal na ADSL liniji in vsak kanal deluje s konstantno bitno hitrostjo.



Slika 6.3: Paketni distribucijski način od konca do konca

Paketni distribucijski način od konca do konca se od paketno prilagojenega načina razlikuje po tem, da se tukaj paketi multipleksirajo direktno na ADSL kanale. Paketi, ki se pošiljajo proti ali od različnih uporabniških naprav, niso preslikani v AS ali LS prenosne kanale, ampak se z določeno hitrostjo nekanalizirano prenašajo v navzdolnji ali navzgornji smeri. Razlika je tudi na strani ponudnika ADSL storitve, saj je ATU-C direktno priključen na paketno komutirano omrežje. Ker se oblika paketov, ki jih pošiljajo in sprejemajo uporabniške naprave, na prenosni poti do ponudnika storitve ne spreminja, se od uporabniških naprav zahteva, da uporabljajo popolnoma enako obliko paketov, kot jih uporabljajo na ADSL linijo priključene naprave ponudnika storitve. Ko ATU-C sprejme paket iz ADSL linije, ga na podlagi naslova paketa ustrezno usmeri proti pravemu strežniku paketno komutiranega omrežja, ki temelji na TCP/IP (Internet), X.25 (najeta linija) ali drugem ustreznem protokolu. Katere vrste paketov prenaša ADSL linija v tem načinu (IP paket, video paket, Dolby digital audio paket, ...), je odvisno od vrste strežnika oziroma kakšne pakete le ta uporablja. Da se strežnik in odjemalec medsebojno razumeta, morajo naročniške naprave uporabljati enake pakete.

Gledano s strani ureditve dostopa do Interneta, je paketno preklapljanje v paketnem distribucijskem načinu od konca do konca del ADSL omrežja, kjer je ADSL linija povezava med vmesnim strežnikom, ki je priključen za ATU-C, ter naročniškim strežnikom, ki je priključen za ATU-R.

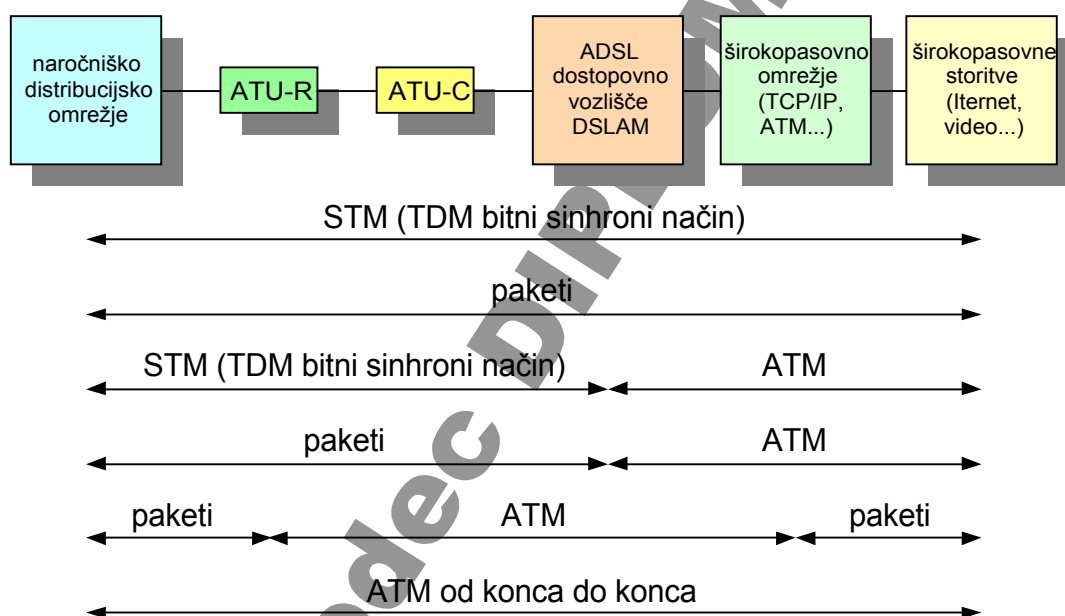


Slika 6.4: ATM distribucijski način

ATM distribucijski način multipleksira in pošilja oziroma sprejema in de-multipleksira ATM celice iz ATM prilagodilnika. Dela podobno kot paketni distribucijski način od konca do konca, le da se tukaj namesto paketov pošiljajo ATM celice. Celice se po ADSL liniji z določeno hitrostjo nekanalizirano prenašajo v navzdolnji ali navzgornji smeri. Naročniške naprave so preko ATM prilagodilnika priključene na ATU-R in morajo podpirati delovanje z ATM celicami. Na strani ponudnika ADSL storitve, se skozi ATU-C ATM celice posredujejo omrežju komutiranih ATM storitev.

6.2 Vrste ADSL omrežij

ADSL napravi ATU-R in ATU-C sta v bistvu neke vrste modema oziroma po kanalih razdeljena skupina modemov, ki si bite medsebojno pošiljajo v ADSL okvirjih in superokvirjih. V prejšnjem poglavju opisani distribucijski razredi posamezno določajo naslednjo vsebino okvirjev: nestrukturiran bitni tok; paketi, ki so kot bitni tok posredovani preko ATU-R na ADSL linijo; paketi, ki se prenašajo čez celotno ADSL linijo; ATM celice, ki se prenašajo čez celotno ADSL linijo. S štirimi distribucijskimi razredi se lahko oblikuje vsaj šest različnih načinov uporabniškega dostopa do širokopasovnih storitev, ki so lahko posredovani preko ADSL linije. Šest možnih omrežij prikazuje naslednja slika.



Slika 6.5: Šest vrst ADSL omrežij

Slika 6.5 prikazuje najpomembnejše dele ADSL omrežja. ADSL linija, ki je poglavitni del omrežja, zajema del od ATU-R do ATU-C. Na naročniški strani se ATU-R lahko povezuje z različnimi naročniškimi distribucijskimi omrežji, kot je preko vmesnika 10BaseT priključeno LAN omrežje ali CEBus omrežje. Na strani ponudnika ADSL storitve je ATU-C povezan na DSLAM, ali pa je kar njegov sestavni del. DSLAM je ADSL dostopovno vozlišče, na katerega je lahko priključenih več ADSL linij. Je vmesni del med ADSL linijo in določenimi širokopasovnimi omrežji, preko katerih lahko ADSL uporabniki dostopajo do strežnikov, ki ponujajo različne širokopasovne storitve. Zraven

tega, da je preko fizičnih bakrenih parov povezan s PSTN oziroma ISDN centralo, vsebuje tudi z Internetom povezan usmerjevalnik in ATM stikalo. Uporabnik je lahko na katerikoli način, od šestih možnih ADSL omrežij, povezan z različnimi informacijskimi strežniki, ki ponujajo širokopasovne storitve, kot so hitri Internetni dostop, Video na zahtevo ipd.. Bitno sinhroni distribucijski način, ki se vrši s pomočjo časovnega multipleksiranja TDM, je predstavljen kot sinhroni prenosni način STM. Omrežja, ki povezujejo DSLAM s strežniki ponudnikov širokopasovnih storitev, prenašajo podatke le v eni izmed treh oblik, kot so: STM bitni tok, paketi (ponavadi IP paketi) ali ATM celice. Tudi strežniki, ki delujejo po TCP/IP protokolu, so lahko na DSLAM povezani preko ATM omrežja. V tem primeru se ATM celice pred strežnikom ustrezno preoblikujejo, tako da so na strežnik dostavljene kot IP paketi. ATM prenos od konca do konca je za te namene najbolj primeren način prenosa podatkov, saj elegantno obvladuje različne tipe prometa, ki se na vstopu in izstopu iz ATM omrežja naprej prenašajo po ostalih omrežjih. Čeprav je bil IP protokol, glede omogočanja prenosa audio in video signala, zelo spremenjen, pa je ATM bil že v začetku razvit ravno za te namene.

Prvo ADSL omrežje, gledano po sliki od zgoraj navzdol, od enega do drugega konca omrežja uporablja bitno sinhroni distribucijski način. Ne glede na obliko informacij (paketi, celice), ki se pošiljajo med uporabnikom in strežnikom, ADSL linija te informacije s časovnim multipleksom pretvarja v bitni tok konstantne hitrosti in jih prenaša po ADSL osnovanih AS in LS prenosnih kanalih.

Drugo ADSL omrežje skozi celotno omrežje prenaša pakete. V večini primerov so to IP paketi, lahko pa so tudi video paketi ali paketi katerih drugih paketnih protokolov širokopasovnih storitev. Oblika paketov mora biti takšna, da se uporabniške naprave in strežnik medsebojno razumejo. Prednost tega omrežja je, da se lahko paketi iz različnih izvorov sestavijo v skupni paketni tok, ter da se posamezni paketi lahko usmerjajo proti različnim končnim točkam.

Tretje ADSL omrežje med obema koncema omrežja prenaša informacije s kombinacijo bitno sinhronega načina in ATM celic. Informacije se od uporabnika do DSLAM-a še vedno prenašajo v obliki bitnega toka, od DSLAM-a pa do strežnika pa že v obliki ATM celic. Prednost tega omrežja je, da ponudnik storitve, ki ima dovolj razvito ATM hrbtenično omrežje, izkoristi vse prednosti, ki jih to omrežje ponuja, uporabnik pa lahko zadrži oziroma nabavi dokaj ceneno računalniško opremo. Operaterji telekomunikacijskih

storitev ponujajo to obliko omrežja kot osnovno ADSL konfiguracijo, kjer je pri uporabniku montirana ATU-R naprava, povezana z računalnikom preko USB vodila (Universal Serial Bus – univerzalno serijsko vodilo).

Četrto ADSL omrežje prenaša informacije od uporabnika do DSLAM-a v obliki paketov. Ti se na DSLAM-u pretvorijo v ATM celice, ki se naprej prenašajo do strežnika. Takšno omrežje je namenjeno uporabnikom, ki nimajo, ne morejo ali ne želijo imeti ATM opreme. Telekom ponuja takšno obliko omrežja, kadar je pri uporabniku montirana ATU-R naprava preko vgrajene 10BaseT Ethernet mrežne kartice povezana z računalnikom ali pa je ATU-R naprava povezana z LAN usmerjevalnikom, ki povezuje več v mrežo vezanih računalnikov, od katerih ima vsak vgrajeno 10BaseT Ethernet mrežno kartico.

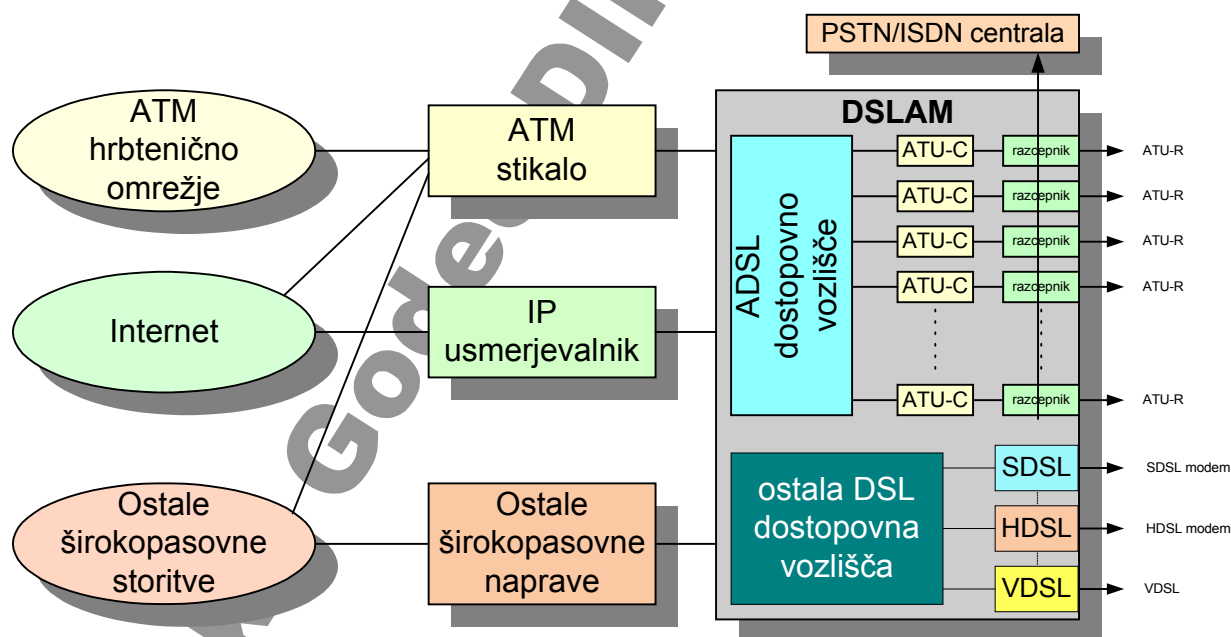
Peto ADSL omrežje na začetku in koncu omrežja uporablja za prenos pakete, vmes pa ATM celice. Paketi se prenašajo od naročniških naprav do ATM prilagodilnika pred ATU-R napravo ter med strežnikom in koncem omrežja, ki povezuje DSLAM s strežnikom. ATM celice se prenašajo čez celo ADSL linijo, čez DSLAM in čez celo omrežje, ki povezuje DSLAM s strežnikom in se tik pred strežnikom pretvorijo v pakete. Nekoliko čudna sestava omrežja je nastala iz predpostavke, da bodo imeli ponudniki ADSL storitve dokaj dobro razvito ATM omrežje, naprave uporabnikov in strežniki video, avdio, IP in nekaterih ostalih storitev, pa še vedno ne bodo podpirali ATM prometa. Ta oblika omrežja omogoča uporabnikom in strežnikom, da zadržijo paketne vmesnike, ki jih zato ni potrebno zamenjati z novimi ATM napravami.

Šesto ADSL omrežje uporablja prenos ATM celic od enega do drugega konca omrežja. Edina razlika med tem omrežjem in omrežjem, ki med obema koncema prenaša pakete (drugo na sliki) je v tem, da se tukaj namesto paketov prenašajo ATM celice. Seveda je razlika tudi v napravah, ki so priključene na obeh koncih omrežja in morajo v tem primeru omogočati promet z ATM celicami. Takšna oblika omrežja je primerna predvsem za večje uporabnike, ki že imajo ATM opremo, ali pa so jo zaradi določenih prednosti pripravljene nabaviti. Prednost ATM prenosa je, da zagotavlja najnižje prehodne čase, da omogoča največjo pasovno širino in da dovoljuje hkraten prenos mešanih tipov informacij. Telekom ponuja to obliko omrežja, kadar je pri uporabniku montirana ATU-R naprava preko vgrajene ATM25 kartice povezana z računalnikom ali pa je ATU-R naprava povezana z ATM usmerjevalnikom, ki povezuje več v mrežo vezanih računalnikov, od katerih ima vsak vgrajeno ATM25 kartico.

6.3 DSL dostopovni multipleksor – DSLAM

DSLAM je zelo pomemben del ADSL omrežja, saj ADSL linijo povezuje s strežniki Internetnega dostopa, ostalimi širokopasovnimi strežniki ter z ISDN ali PSTN centralo. Zraven ADSL linije pa omogoča tudi priključitev ostalih DSL linij, kot sta HDSL in SDSL, omogočena pa bo tudi priključitev še razvijajoče se VDSL linije. Gledano s stališča ADSL omrežne arhitekture, je DSLAM dostopovno vozlišče za ADSL linije. ATU-C, ki na strani ponudnika ADSL storitve zaključuje ADSL linijo, je povezan na DSLAM in je v večini primerov kar njegov sestavni del. Pred ATU-C je dodan še razcepnik, ki od ADSL storitev loči PSTN ali ISDN storitve ter jih posreduje PSTN ali ISDN centrali.

Na drugi strani pa je DSLAM preko določenih omrežij lahko povezan z Internet strežniki, z ATM dostopovnim vozliščem ter ostalimi strežniki širokopasovnih storitev. DSLAM skrbi, da se podatki, ki se prenašajo med naročniškimi napravami in napravami ponudnikov širokopasovnih storitev, zmeraj dostavijo pravemu cilju. Naslednja slika prikazuje osnovno zgradbo DSL dostopovnega multipleksorja.



Slika 6.6: DSLAM - osnovna zgradba

V osnovi DSLAM ni namenjen točno določeni vrsti DSL linije, ampak omogoča priključitev vseh vrst DSL linij. Zgrajen je tako, da omogoča priključitev velike gostote različnih DSL linijskih kartic. Za ustrezno DSL linijo je v DSLAM potrebno vstaviti ustrezno

linijsko kartico. Tako lahko SDSL ali HDSL linijo, ki je nanj priključena preko ustrezne linijske kartice, povezuje na omrežje z blokovnim posredovanjem ali ATM omrežje.

V večini primerov pa DSLAM vsej zaenkrat predstavlja le ADSL dostopovno vozlišče, ki več ADSL linij povezuje s strežniki ustreznih ponudnikov Internetnih storitev. ADSL dostopovno vozlišče je na sliki 6.6 predstavljeno na zgornjem delu slike. Na ADSL strani je na DSLAM priključenih več ADSL linij. Vstopna točka vsake ADSL linije na DSLAM je razcepnik, katerega naloga je ločevanje nizkopasovnih PSTN oziroma ISDN storitev od ADSL storitev. Posamezen signal ISDN oziroma PSTN priključka je potrebno iz vsake ADSL linije posebej po svojem bakrenem paru pripeljati v telefonsko centralo na ustrezno PSTN oziroma ISDN priključno točko. To v večini primerov ni problem, saj se ADSL linija ponavadi vključi na že obstoječ PSTN ali ISDN priključek, ki ima ožičenje do centrale že izvedeno. Iz glavnega delilnika, ki je vstopna točka vsakega bakrenega para v prostorih ponudnika telekomunikacijskih storitev, je ADSL linija preko nove instalacije povezana z razcepnikom. Razcepnik je na eni strani povezan z ATU-C in med njima poteka dvosmerni promet ADSL storitev, na drugi strani pa je z bakrenim parom povezan nazaj na glavni delilnik, ki je preko že obstoječe instalacije povezan na vstopno točko ISDN oziroma PSTN centrale.

Na strani ponudnikov širokopasovnih storitev je DSLAM preko ustreznih omrežnih naprav in ustreznega omrežja povezan z njihovimi strežniki. Te omrežne naprave so lahko IP usmerjevalnik, ATM stikalo ali kakšna druga širokopasovna omrežna povezovalna naprava, pač odvisno od tega, kakšno vrsto prometa podpira strežnik na strani ponudnika storitve. Telekom ima povezavo do ponudnika Internetnih storitev SiOL, ki zaenkrat edini omogoča ADSL dostop, povezavo izvedeno z ATM stikalom, ki je preko optičnega vlakna preko ATM hrbteničnega omrežja povezan na strežnik SiOL-a.

6.4 ADSL za prenos IP paketov od konca do konca

ADSL linija se zaenkrat v večini primerov uporablja za dostop do Interneta kot povezava, ki omogoča visoke prenosne hitrosti. Največkrat pa uporabnikove naprave in strežnik ISP-ja že podpirajo TCP/IP protokol. Zaradi tega je *ADSL forum* definiral način prenosa IP paketov od konca do konca, ki dovoljuje da je ves promet v ADSL okvirjih in

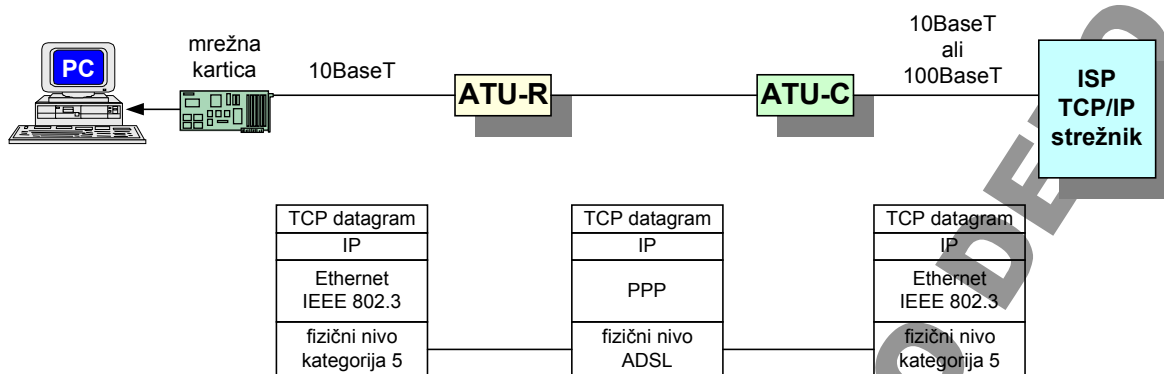
superokvirjih, ki poteka od strežnika preko DSLAM-a do ATU-R, sestavljen iz IP paketov. IP paketi se med ATU-R in ATU-C prenašajo v PPP okvirjih (Point-to-Point Protocol - protokol od točke do točke), med ATU-R in naročniškimi napravami in med ATU-C oziroma DSLAM-om in ISP strežnikom pa se IP paketi prenašajo v Ethernet okvirjih, ki so standardizirani z IEEE 802.3 standardom (Institute of Electrical and Electronics Engineers - ustanova elektro inženirjev in inženirjev elektronike).

Naročniške naprave so v tem primeru opremljene z Ethernet 10BaseT mrežno kartico. Promet IP paketov med Ethernet vmesnikom in ATU-R poteka v Ethernet okvirjih. V navzgornji smeri se IP paketi na ATU-R naložijo v PPP okvirje. PPP okvirji, ki imajo lastno kontrolo povezave in preverjanja napak, se na ADSL fizičnem nivoju naložijo v ADSL okvirje in pošljejo proti ATU-C. DSLAM ima na strani ponudnikov širokopasovnih storitev 10BaseT ali 100BaseT Ethernet vmesnik, zato ATU-C izloči IP pakete iz PPP okvirjev in jih ponovno naloži v Ethernet okvirje ter jih pošlje proti ISP strežniku.

ADSL povezava predstavlja tok ADSL superokvirjev, ki so sestavljeni iz zaporedja ADSL okvirjev. Na ADSL povezavi mora biti kreiran AS0 in LS0 ali C prenosni kanal. Okvirji so sestavljeni iz nespremenljive količine bitov iz AS0 hitrega ali prepletenega medpomnilnika, ki jim sledijo nespremenljive količine bitov iz LS0 ali C hitrega ali prepletenega medpomnilnika, kar daje konstantno bitno hitrost na liniji.

Pri prenosu paketov pa se mnogokrat zgodi, da njihov promet nenadoma upade na nič. Kadar v medpomnilniku ni uporabniških informacij v obliki IP paketov, ki bi se naložili v PPP okvir, PPP protokol konstantno generira nedelaven 8 bitni vzorec zaporedja '01111110', kar se v heksadecimalni obliki zapiše kot 7E. Ta način je znan kot sinhrono delovanje, ki se v tem primeru uporablja na fizičnem linijskem nivoju. Po definiciji se PPP okvir nahaja med dvema 7E vzorcema. V ADSL okvirjih se na kreiranih prenosnih kanalih sicer prenaša nespremenljiva količina bitov, ampak v posameznem kanalu se večino časa prenašajo le 7E vzorci. Kadar se zaporedje 7E vzorcev prekine, se med dvema 7E vzorcema prenaša PPP okvir.

Po ADSL liniji se torej prenašajo ADSL transportni okvirji, ki v svojem delu koristne vsebine prenašajo PPP podatkovno povezovalne okvirje, ti pa vsebujejo IP pakete, ki so sestavljeni iz TCP segmentov. Od konca ADSL linije pa do strežnika ali do naročniške opreme, pa se IP paketi prenašajo v Ethernet okvirjih. Naslednja slika prikazuje prenos IP paketov od konca do konca.



Slika 6.7: ADSL za prenos IP paketov - protokolarni sklad

Zraven prenosa IP paketov, pa slika 6.7 prikazuje tudi protokole po posameznih nivojih. TCP datagrami sestavljajo IP pakete, ki se v odvisnosti od prenosnega protokola, naložijo v PPP oziroma Ethernet okvirje. Ethernet okvirji na fizičnem nivoju prenašajo IP pakete preko hišne instalacije po UTP kablu (Unshielded Twisted Pair - neoklopljen sukani par) kategorije 5 (K-5). PPP okvirji preko ADSL fizičnega nivoja prenašajo IP pakete med ATU-C in ATU-R.

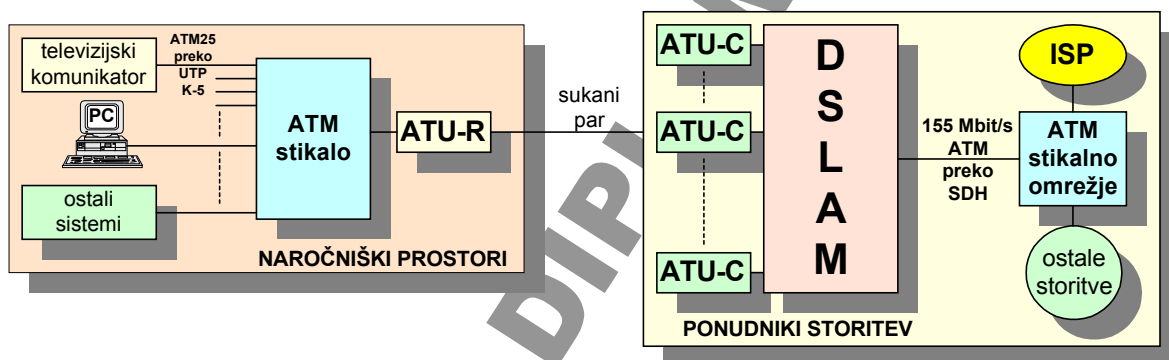
6.5 ADSL za prenos ATM celic

ADSL linija omogoča hitri dostop do Interneta in dostop do takšnih širokopasovnih storitev, kot jih do sedaj še ni bilo. Vendar Internet vsaj zaenkrat še ni širokopasovno omrežje. Najugodnejše bi bilo, če bi lahko ena vrsta omrežja in strežnikov hkrati ponujala hitri dostop do Interneta in ostale širokopasovne storitve, saj le te zahtevajo precej veliko pasovno širino in konstantne zakasnitve skozi omrežje, ki so reda do največ 10 milisekund (10 ms). Obstoječa zgradba Interneta pa ima zaenkrat kar omejeno pasovno širino in ne prav male in stabilne zakasnitve.

Najprimernejša rešitev je, da ADSL uporabniki do širokopasovnih storitev dostopajo preko ATM strežnikov, ki za promet v obeh smereh uporabljajo izključno ATM celice. Ker velika večina ponudnikov telekomunikacijskih storitev že ima ali pa že gradi ATM hrbtenična omrežja, je ATM infrastruktura vedno bolj dosegljiva tudi za potrebe dostopa do strežnikov širokopasovnih storitev. Ker omogoča hkraten prenos kombiniranega prometnega toka (govor/audio/video/podatki) preko istega omrežja, je namenjen prenosu

B-ISDN storitev (Broadband Integrated Services Digital Network – širokopasovne integrirane storitve digitalnega omrežja), kjer se ATM promet vrši preko SDH prenosnih sistemov (Synchronous Digital Hierarchy - sinhrona digitalna hierarhija). SDH sistemi so medsebojno povezani z optičnimi vlakni in prenašajo podatke s hitrostmi, ki so enake celoštevilčnim mnogokratnikom osnovne hitrosti 155 Mbit/s.

Vse-storitveno omrežje omogoča dostop do vseh vrst razpoložljivih širokopasovnih storitev preko istega omrežja. Mednarodni standard za takšne storitve je B-ISDN, ki je z ATM stikalom preko optičnega vlakna povezan z ATM hrbteničnim omrežjem. Ker napeljava optičnega vlakna do določene lokacije ni zmeraj možna oziroma smotrna, obstaja možnost zgraditve vse-storitvenega omrežja z ADSL linijo, ki jo prikazuje naslednja slika.



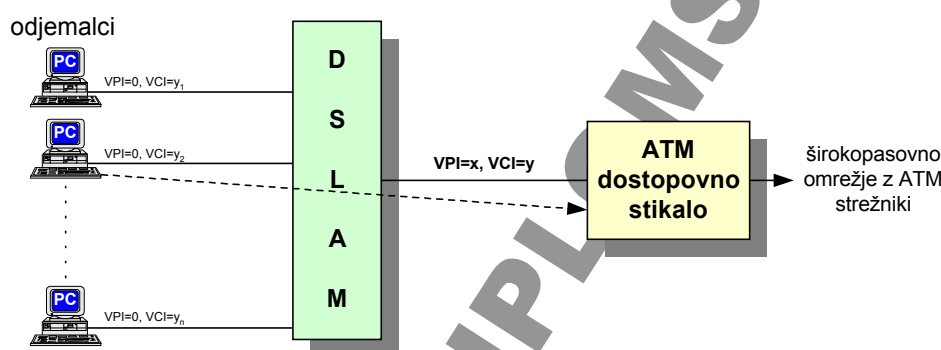
Slika 6.8: ATM vse-storitveno omrežje z ADSL linijo

Slika 6.8 prikazuje različne naročniške naprave, kot so računalnik, televizijski komunikator in ostali sistemi (ogrevanje, hladilnik, klima naprava, mikrovalovna pečica...), ki so preko ATM25 mrežne kartice in UTP kabla K-5 priključeni na ATM stikalo, ki je v tem primeru instalirano pri uporabniku ADSL linije. Po celotnem omrežju se prenašajo ATM celice. Pri prenosu med ATU-R in ATU-C se le te naložijo v ADSL okvirje. Kadar v medpomnilniku ni uporabniških informacij, ki bi jih bilo potrebno poslati po ADSL liniji, ATM stikalo vstavi prazno ATM celico, kar se imenuje tudi razklopitev ATM celične hitrosti. Vstavljanje prazne ATM celice v ADSL okvir ima enak učinek, kot pri IP prometu od konca do konca, vstavljanje 7E vzorcev v PPP okvirje.

ATM stikalno omrežje, ki zagotavlja dostop do vseh storitev, je z DSLAM povezano preko 155 Mbit/s SDH prenosnega sistema, ki popolnoma ustreza B-ISDN standardom. ATM omrežja so bila razvita za multimedijske aplikacije. Smotrno je prenašati ATM

celice čez celotno omrežje. Na ta način se izognemo konverziji, saj ATM celic ni potrebno pretvarjati v druge za prenos primerne oblike. Ko celice prispejo do odjemalčevega računalnika, se tam IP paketi iz ATM celic lahko naložijo v PPP okvirje, vendar samo v primeru, ko naročniška oprema ne vsebuje ustreznih ATM naprav. Ohranitev PPP okvirjev ohrani tudi nekatere dobre PPP storitve, kot je na primer avtentičnost na povezavi.

PPP okvirji se lahko v ATM celicah skozi celotno omrežje prenašajo z uporabo PVC zveze (Permanent Virtual Connection - trajno navidezna zveza) ali pa z uporabo SVC zveze (Switched Virtual Connection - komutirana navidezna zveza). Naslednja slika prikazuje ADSL za prenos ATM celic z uporabo PVC zvez.



Slika 6.9: ATM prenos preko ADSL z uporabo PVC zvez

Najenostavnejši način za prenos ATM celic preko ADSL linije je priprava večjega števila PVC zvez od DSLAM-a do ATM dostopnega stikala. ATM prenaša IP pakete in PPP okvirje v zaporedju ATM celic z ATM prilagoditvenim slojem AAL-5. Odjemalec tvori PPP okvirje z uporabo ničelnega ovijanja z uporabo AAL-5. Odjemalčev računalnik mora biti sposoben sprejemati in oddajati ATM celice. Z ohranitvijo PPP okvirjev, se ohrani tudi avtentičnost na povezavi. Več PVC zvez se lahko definira tako, da uporabniki dostopajo do različnih širokopasovnih omrežij.

Vsaka ATM povezava, ki se od uporabnika vzpostavi preko DSLAM-a do ATM stikala, je določena z dvema identifikatorjema, ki se nahajata v glavi ATM celice. To sta VPI identifikator (Virtual Path Identifier - identifikator navidezne poti) in VCI identifikator (Virtual Channel Identifier - identifikator navideznega kanala). VPI identifikator se v glavnem uporablja za povezljivost obeh koncev, VCI pa za povezljivost obeh naprav. Primer uporabe VPI in VCI identifikatorjev je, kadar lahko uporabnik z računalnikom hkrati dostopa do spletnih strani ISP-ja in opravlja telefonske klice do

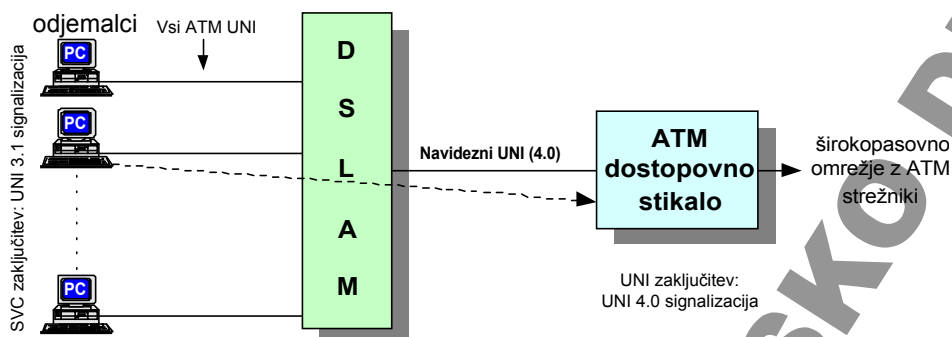
telefonske družbe. Polje VPI identifikatorja v glavi ATM celice določa, kako se celice, ki se od uporabnika pošljejo v omrežje, preko ATM stikala posredujejo proti ISP-ju. Polje VCI identifikatorja pa se na stikalu pregleda le, če se celice posredujejo dvema ali več strežnikom. Preden se celica pošlje proti ISP, vsaka naprava na naročniški strani v glavo celice vpiše enak VPI in različen VCI identifikator.

Kadar se celice pošiljajo proti enemu samemu cilju, ATM stikalo zmeraj pregleda VPI identifikator in pošlje celico na pravo pot. Na poti se VPI identifikator lahko spreminja, VCI pa je v tem primeru tunelirana. Za ADSL storitve je vrednost VPI zmeraj enaka 0, vrednost VCI pa se določi na naročniški napravi. Na povezavi med DSLAM-om in ATM stikalom, pa ATM celice spremenijo vrednost VPI in določijo svojo. Seveda pa morajo vse celice, ki so imele vpisano vrednost VPI=0, dospeti do ustreznega ISP-ja. Kadar je za vse toke celic določen le ena vrednost VPI, potem morajo vse celice doseči isti cilj, kar je tudi v skladu s PPP protokolom, saj le ta lahko povezuje le dve točki. Pri PVC zvezi sta dve končni točki med seboj logično povezani in imata enako možnost delovanja, kot fizično povezan zakupljen vod.

DSLAM na prejšnji sliki omogoča preproste VPC funkcije in ne preverja VCI vrednosti katerega koli dospelega toka celic. Vsaka naročniška PVC zveza je skozi DSLAM posredovana na ATM stikalo, preko katerega so celice lahko posredovane različnim ISP-jem in ponudnikom vsebine. Ti do ATM dostopovnega vozlišča dostopajo na enaki osnovi kot odjemalci, vendar PVC zveze v tem primeru ne temeljijo na enojnih VPI. Deluje lahko več konkurenčnih povezav do različnih ISP-jev in poslovnih Intranetov, ki se lahko povezujejo z večkratnimi PVC zvezami in uporabljajo tabelne nastavitve, ki imajo VPI vrednosti različne od 0. Bistvo vsega je, da se vsi PPP okvirji v ATM celicah posredujejo isti napravi, ki je v tem primeru ATM stikalo. Do vsakega uporabnika mora biti kreirana najmanj ena navidezna pot, kar je za upravitelja omrežja precej nerodno in zapravljivo, sploh kadar dostop deluje v presledkih.

Drugi način za prenos ATM celic preko ADSL linije je, da se za povezovanje odjemalca na strežnik uporabi SVC zveza. PVC zveze morajo biti vedno vzpostavljene in morajo biti po-nastavljene ali ročno dodane preden se lahko katera povezava doda na ATM omrežje. SVC zveza pa se vzpostavi in sprosti v odvisnosti od signalnih sporočil, ki jih omrežju posreduje odjemalec. Ta način zmanjša konfiguracijske nastavitve na minimum in dovoljuje zahtevanim povezavam, da se nastavijo na lokacijah, kjer je bila povezljivost

prej nenapovedana. Za povezovanje skozi ATM omrežje se za SVC zveze lahko uporabi ATM signalizacija UNI 3.1 ali 4.0 (User to Network Interface - vmesnik med uporabnikom in omrežjem), kar prikazuje tudi naslednja slika.



Slika 6.10: ATM prenos preko ADSL z uporabo SVC zvez

Slika 6.10 prikazuje, kako se lahko doseže prenos IP paketov naloženih v PPP okvirje, ki se preko ADSL linije prenašajo v ATM celicah in za to uporabljajo SVC zveze. Tudi tukaj se IP paketi naložijo v PPP okvirje z uporabo ničelnega ovijanja AAL-5. Vsak uporabnik, katerega zveza se preko DSLAM-a prevezuje na ATM dostopovno stikalo, mora imeti svojo lastno vrednost VPI identifikatorja. Na DSLAM-u, ki tudi tukaj še vedno prevezuje navidezne poti, se vse zveze združijo preko navideznega UNI kanala, ki z enim VPI identifikatorjem tvori povezavo do ATM dostopovnega stikala, kjer se vrši UNI signalizacijski protokol. Na ta način je signalizacija od odjemalca preko DSLAM-a pa do ATM stikala transparentna.

Na ATM dostopovnem stikalu, se za omogočanje več signalizacijskih kanalov (enega za vsakega odjemalca), uporablja ATM UNI 4.0 signalizacija, pri odjemalcu pa se uporablja UNI 3.1 signalizacija. Do vsakega uporabnikovega računalnika je potreben le eden VPI. DSLAM upravlja z vsemi navideznimi UNI kanali. Tudi dostopovne povezave od ISP-jev, ostalih širokopasovnih ponudnikov in Intranetov do ATM dostopovnega stikala, se lahko upravljajo s SVC zvezami, vendar je še vedno potrebnih več PVC zvez. Dodelitev SVC zveze na DSLAM-u je nekoliko težavna, saj mora biti SVC zveza vzpostavljena in sproščena zelo hitro, pa tudi UNI zahteva podporo mnogih signalnih kanalov (enega na vsakega uporabnika).

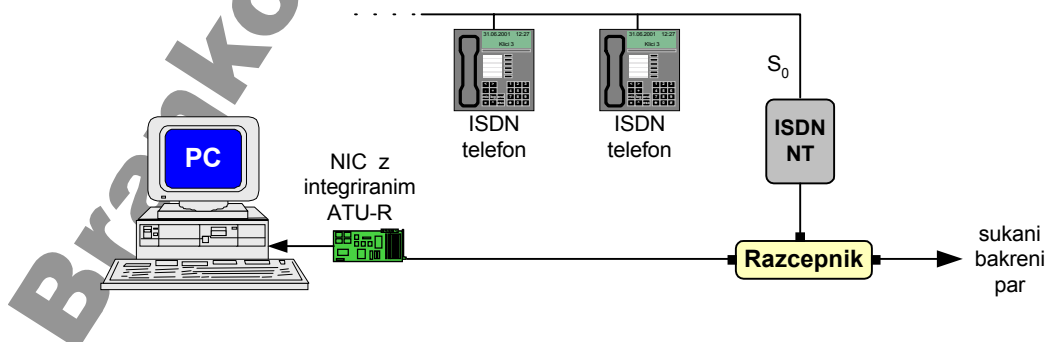
Da lahko uporabniške naprave omogočajo prenos ATM celic preko ADSL omrežja, je potrebno zagotoviti ustrezno delovanje ATU-R naprave, kar pa je možno doseči na naslednje tri načine:

- ATU-R, ki se v tem primeru namesti v uporabnikov računalnik, lahko izvaja ATM prilagoditveni sloj AAL ter razčlenitvene in združitvene funkcije. Izvajanje teh funkcij lahko opravlja ustrezeni program, vendar je to za ATM prenos prepočasna izvedba, zato se ponavadi na ATU-R doda ustrezno vezje, ki izvaja te funkcije.
- ATU-R tunelira ATM celice na 10BaseT LAN vmesnik. V tem primeru se celice prenašajo v okvirjih. ATM celice se na uporabniški napravi nato s programom ustrezno obdelajo in pretvorijo v ustrezno obliko.
- ATU-R lahko pošilja celice uporabniški napravi preko USB vodila, ATM celice pa se nato s programom ustrezno obdelajo in pretvorijo v ustrezno obliko.

6.6 ADSL na strani uporabnika

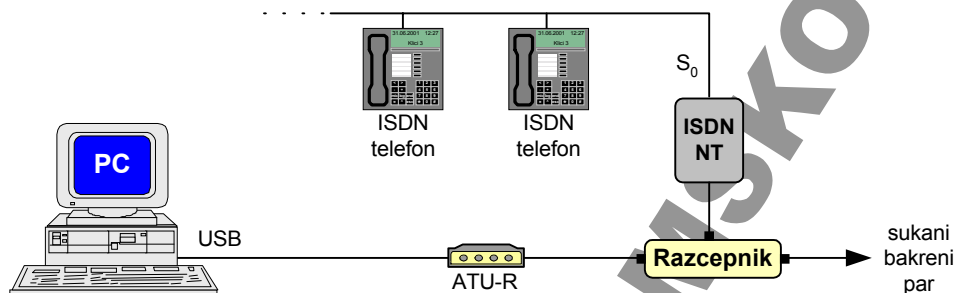
Zaradi različnih končnih uporabnikov, ki imajo zahteve po različnih storitvah, ADSL linija na strani naročnika omogoča priključitev različne opreme na ATU-R. Ker je ADSL namenjen tako individualnim uporabnikom, kot majhnim in srednjim podjetjem, je omogočena priključitev različne opreme. Tako je na ATU-R z ustrezno opremo možno priključiti samostojen računalnik ali pa računalniško LAN omrežje. V naslednjih primerih je predstavljena uporaba ADSL linije z ISDN priključkom, kar pa ni pogoj, saj je prav tako možna izvedba PSTN priključka.

Najenostavnejša rešitev na strani uporabnika je priključitev z NIC kartice (Network Interface Card - omrežna vmesniška kartica) v osebni računalnik uporabnika. ATU-R je vgrajen v NIC kartico, ki je direktno vezana na računalniško vodilo. Prednost te rešitve je enostavnost in nizka cena, slaba stran pa, da ni možno definirati razmejitevne točke med ponudnikom ADSL storitve in naročniško opremo.



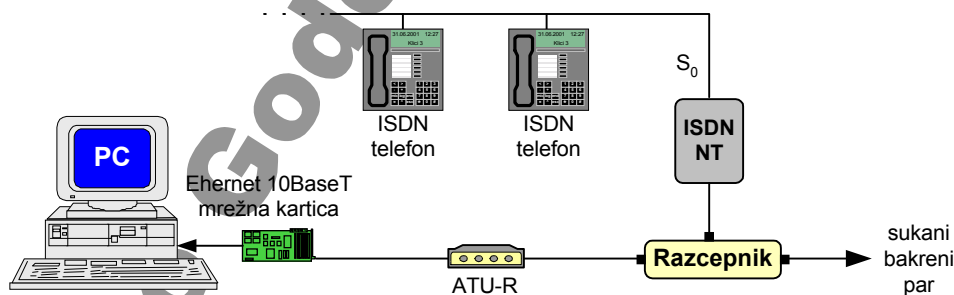
Slika 6.11: ADSL pri uporabniku z uporabo NIC kartice

Naslednja, tudi enostavna rešitev, ima povezavo med ATU-R in uporabnikovim računalnikom izvedeno preko USB vodila, ki je vgrajeno v vsakem novejšem računalniku. V tem primeru se podatki od ATU-R do USB vmesnika ne prenašajo preko UTP kabla, ampak preko USB kabla. USB vmesnik omogoča podatkovne hitrosti do 12 Mbit/s. Prednost te rešitve je enostavnost, nizka cena in možnost določitve razmejitvene točke med ponudnikom ADSL storitve in naročniško opremo.



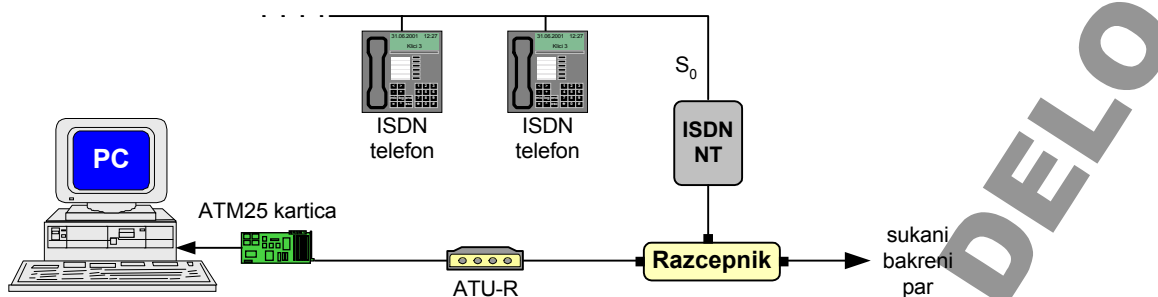
Slika 6.12: ADSL pri uporabniku z uporabo USB vodila

Povezava med ATU-R in uporabnikovim računalnikom pa lahko poteka tudi preko Etherneteta. V tem primeru je na ATU-R napravi vgrajen vmesnik, ki medsebojno prilagodi ADSL in Ethernet prenos ustreznih podatkovnih standardov (v večini primerov IP paketi v PPP okvirjih). V uporabnikov računalnik se vstavi mrežna kartica 10BaseT, ki omogoča podatkovne hitrosti do 10 Mbit/s. Povezava med mrežno kartico in ATU-R napravo je izvedena z UTP kabla K-5.



Slika 6.13: ADSL pri uporabniku z uporabo 10BaseT mrežne kartice

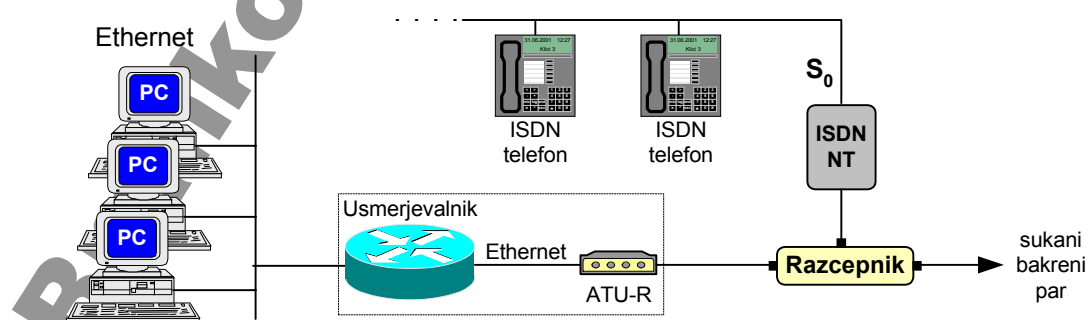
Če se pri uporabniku uporabi ATM25 kartica, se s tem lahko omogoči ATM povezljivost od konca do konca. V ATU-R vgrajen vmesnik izmenjuje promet ATM celic z ATM25 kartico, ki je vgrajena v uporabnikov računalnik. ATM25 omogoča podatkovne hitrosti do 25 Mbit/s.



Slika 6.14: ADSL pri uporabniku z uporabo ATM25 kartice

Večjim uporabnikom, kot so manjša in srednja podjetja, je potrebno omogočiti priključitev zahtevnejše oprema na ADSL linijo. Kadar je potrebno na ADSL priključiti računalniško LAN omrežje, se pri uporabniku namesti oprema, ki zraven ATU-R zajema še usmerjevalnik. ATU-R in usmerjevalnik sta ponavadi integrirana v istem ohišju. Usmerjevalnik omogoča dostop do širokopasovnih storitev vsem v LAN vezanim računalnikom. Kadar je na LAN omrežju instaliran strežnik z DHCP protokolom (Dynamic Host Configuration Protocol - protokol za dinamično konfiguriranje gostiteljskih računalnikov), se vsakemu računalniku v omrežju dinamično dodeli IP naslov, NAT protokol (Network Address Translation - prevajanje omrežnih naslovov) pa poskrbi, da je vsem računalnikom dodeljen en sam IP naslov, ki se predstavlja ISP-ju.

Za priključitev LAN omrežja na ADSL linijo obstajata dve rešitvi. Prenos prometa med ATU-R in usmerjevalnikom lahko poteka v Ethernet okvirjih, ki se preko usmerjevalnika posredujejo na LAN omrežje. Druga možnost oblike prometa pa so ATM celice. Če LAN omrežje podpira Ethernet protokol, je potrebno na usmerjevalniku ATM celice ustrezno preoblikovati v Ethernet okvirje. Naslednja slika prikazuje rešitev z Ethernet prenosom. V primeru ATM usmerjevalnika, bi na sliki med ATU-R in usmerjevalnikom prenos potekal preko ATM25 vmesnika.



Slika 6.15: ADSL pri uporabniku z uporabo Ethernet usmerjevalnika

7. PRIMERJAVA ADSL DOSTOPA Z OSTALIMI DOSTOPI

Zaradi pomanjkanja ponudbe ostalih širokopasovnih storitev, bo uporaba ADSL linije vsej na začetku imela največji poudarek na dostopu do Interneta. Trenutno večina individualnih uporabnikov dostopa do Interneta s klicnim dostopom preko PSTN ali v najboljšem primeru preko ISDN priključka. Alternativa je tudi dostop do Interneta preko omrežja kabelske televizije, saj ne potrebuje komutirane zveze preko telefonske centrale, zato se povezava časovno ne tarifira. Večji uporabniki pa do Interneta dostopajo preko zakupljenih vodov.

Seveda pa se samo od sebe postavlja vprašanje: *Ali se ADSL linija, glede same zmogljivosti in iz finančnega vidika, splača?* Vprašanje velja tako za individualne uporabnike, kot za majhna in srednja podjetja.

Tehnične lastnosti ADSL linije kar precej obetajo. Klicni dostop je vse prevečkrat za nekaj razredov prepočasen. Uporaba obeh ISDN kanalov nekoliko izboljša stanje, vendar podraži storitev. Kabelski dostop omogoča večje prenosne hitrosti, vendar tudi to podraži storitev. Zraven tega pa je izveden kot skupno računalniško vodilo, na katerega so zaporedno vezani računalniki. Ob močnem povečanju prometa obstaja večja možnost za trke paketov, ki se zaradi tega morajo ponovno oddati, kar lahko močno upočasni promet. Uporaba zakupljenih linij pa je precej draga in predvsem za manjša podjetja ekonomsko neupravičena. ADSL linija tehnično sicer omogoča sanjske pasovne širine, vprašanje pa je ekonomska upravičenost.

Za prikaz ekonomske upravičenosti sem zbral ponudbe za dostop do Interneta nekaterih komercialnih ponudnikov Internetnih storitev in sicer za klicni dostop, za kabelski dostop in dostop preko zakupljene zveze, ter naredil primerjavo s ponudbo preko ADSL linije, ki jo zaenkrat ponuja le ponudnik storitev SiOL. Vsi ceniki so z dne 1.6.2001 in veljajo do preklica. Pri individualnih uporabnikih se ADSL primerja s klicnim in kabelskim dostopom, pri majhnih in srednjih podjetjih pa s klicnim, kabelskim in dostopom preko zakupljene zveze. Zaradi pravne ureditve naše države, se uporabniki storitev delijo na fizične osebe, ki predstavljajo rezidenčne uporabnike in pravne osebe, ki predstavljajo

poslovne uporabnike oziroma podjetja. Ker se predpostavlja, da podjetja bolj izkoriščajo Internetne storitve, je cena predvsem neomejenega dostopa za poslovne uporabnike dražja.

7.1 Primerjava ADSL in klicnega dostopa – za fizične osebe

Prva primerjava je narejena med ADSL dostopom in klicnim dostopom preko PSTN ali ISDN priključka, kjer je zaradi različne cene posebej upoštevana povezava preko enega B kanala in povezava preko obeh B kanalov. Upošteval sem, da uporabnik dostopa do Interneta z enim računalnikom. Ker ponudniki omogočajo naročniške pakete z različno ceno storitve glede na časovni termin uporabe Interneta, sem za lažje razumevanje upošteval le osnovni paket in paket z neomejeno uporabo. Ker ponudniki ne dajejo informacij o povprečni časovni uporabi Interneta, sem podatke zbral pri prijateljih in znancih. Na podlagi tega sem razdelil povprečno uporabo na naslednje časovne termine:

- 1/5 uporabe Interneta v časovnem terminu od 7⁰⁰ do 16⁰⁰;
- 1/5 uporabe Interneta v časovnem terminu od 16⁰⁰ do 18⁰⁰;
- 1/5 uporabe Interneta v časovnem terminu od 18⁰⁰ do 19⁰⁰;
- 1/5 uporabe Interneta v časovnem terminu od 19⁰⁰ do 22⁰⁰;
- 1/5 uporabe Interneta v časovnem terminu od 22⁰⁰ do 7⁰⁰.

Ceno dostopa za minuto klicne zveze preko fiksnega omrežja določa Telekom. Odvisna je od vrste klicnega omrežja ponudnika Internetne storitve in je za klicno omrežje:

- 0880 xxxxx – 2,02 SIT/minuto (7⁰⁰ do 19⁰⁰) in 1,01 SIT/minuto (19⁰⁰ do 7⁰⁰);
- 0889 xxxxx – 2,50 SIT/minuto (7⁰⁰ do 19⁰⁰) in 1,25 SIT/minuto (19⁰⁰ do 7⁰⁰).

Uporaba Internetnih storitev se zaračuna po tarifi posameznega ponudnika. Celotni prikaz stroškov klicnih dostopov treh ponudnikov z mesečno uporabo Interneta, stroškov klicne zveze in mesečne naročnine, je prikazan v naslednji tabeli. Razdeljen je na porabo 10, 20 in 30 ur. Narejena je tudi primerjava klicnih dostopov z ADSL dostopom. Za posamezni dostop je narejen tudi izračun potrebnega časa uporabe Interneta, da se stroški izenačijo s stroški ADSL dostopa. Če dostop ne omogoča II. tarife, je pri I. in tedaj edini tarifi, upoštevana cela vrednost stroškov uporabe Interneta.

Tabela 7.1: Primerjava stroškov ADSL in klicnih dostopov do Interneta - fizične osebe

ISP	Paket naročnine	Klicna zveza preko:	Mesečna naročnina [SIT]	Uporaba Interneta [SIT/uro]		Stroški impulzov [SIT/min]		Mesečna uporaba Interneta - skupni stroški [SIT]			Enaki stroški [št. ur]	ADSL dostop [SIT]
				I. tarifa	II. tarifa	7 ⁰⁰ -19 ⁰⁰	19 ⁰⁰ -7 ⁰⁰	10 ur	20 ur	30 ur		
S i o l	Osnovni	PSTN, ISDN-1	1.170,96	159,46	-	2,02	1,01	3.735,16	6.299,36	8.863,56	26,63	8.000,00
		ISDN-2	1.170,96	318,92	-	4,04	2,02	6.299,36	11.427,76	16.556,16	13,32	
	Neomejen	PSTN, ISDN-1	5.854,80	-	-	2,02	1,01	6.824,40	7.794,00	8.763,60	22,12	
		ISDN-2	5.854,80	-	-	4,04	2,02	7.794,00	9.733,20	11.672,40	11,06	
a m i s	Osnovni	PSTN, ISDN-1	1.130,00	154,70	-	2,50	1,25	3.877,00	6.624,00	9.371,00	25,01	8.000,00
		ISDN-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Neomejen	PSTN, ISDN-1	4.500,00	-	-	2,50	1,25	5.700,00	6.900,00	8.100,00	29,17	
		ISDN-2	6.750,00	-	-	5,00	2,50	9.150,00	11.550,00	13.950,00	5,21	
b o t e	Osnovni	PSTN, ISDN-1	1.309,00	186,00	150,00	2,50	1,25	4.153,00	6.997,00	8.641,00	23,53	8.000,00
		ISDN-2	2.356,20	372,00	300,00	2,50	1,25	6.844,20	11.332,20	14.620,20	12,58	
	Neomejen	PSTN, ISDN-1	6.664,00	-	-	2,50	1,25	7.864,00	9.064,00	10.264,00	11,13	
		ISDN-2	11.995,20	-	-	5,00	2,50	14.395,20	16.795,20	19.195,20	-16,65	

Za izračun potrebnega časa uporabe Interneta, da se stroški klicnega dostopa izenačijo s stroški ADSL dostopa, je uporabljena naslednja enačba:

$$C.M.S.A. = M.N.K.D. + x \cdot I. \text{tarifa} \cdot \frac{2}{5} + x \cdot II. \text{tarifa} \cdot \frac{3}{5} + x \cdot 60 \cdot S.I.V. : \frac{3}{5} + x \cdot 60 \cdot S.I.M. : \frac{2}{5} \quad (1.6)$$

$$x = \frac{C.M.S.A. - M.N.K.D.}{I. \text{tarifa} \cdot \frac{2}{5} + II. \text{tarifa} \cdot \frac{3}{5} + 60 \cdot S.I.V. : \frac{3}{5} + 60 \cdot S.I.M. : \frac{2}{5}}$$

Kjer je: x - potreben čas za izenačenje stroškov

$C.M.S.A.$ - celotni mesečni strošek ADSL linije

$M.N.K.D.$ - mesečna naročnina klicnega dostopa

$S.I.V.$ - strošek impulza – večja prometna obremenitev (7^{00} do 19^{00})

$S.I.M.$ - strošek impulza – manjša prometna obremenitev (19^{00} do 7^{00})

V tabeli je prikazana primerjava stroškov treh komercialnih ponudnikov Internetnih storitev in sicer **SiOL** (www.siol.net), **amis** (www.amis.net) ter **boter** (www.boter.net). **SiOL** in **amis** za uporabo Interneta omogočata le eno časovno tarifo, **boter** pa jih ponuja več, naveden je le osnovni naročniški paket z dvema časovnima tarifama. Pri dostopu z neomejeno uporabo sta člena I.tarifa in II.tarifa v zgornji enačbi enaka 0. Stolpec *Mesečna uporaba Interneta – skupni stroški* je grobo razdeljen na uporabo 10, 20 in 30 ur/mesec in z modrim poljem označuje nižje skupne mesečne stroške klicnega dostopa od skupnih mesečnih stroškov ADSL dostopa, z rdečim poljem pa višje stroške. PSTN ali ISDN naročnina ni zajeta v nobenem primeru. V stolpcu *Enaki stroški* je število potrebnih ur uporabe Interneta za klicni dostop, da se stroški izenačijo s stroški ADSL dostopa.

Pri primerjavi je potrebno upoštevati naslednje:

- klicni dostop preko PSTN priključka omogoča maksimalen asimetrični prenos podatkov 56 kbit/s v navzdolnji smeri in 32 kbit/s v navzgornji smeri;
- klicni dostop preko enega B kanala ISDN priključka omogoča simetričen prenos podatkov 64 kbit/s v obeh smereh;
- klicni dostop preko obeh B kanalov ISDN priključka omogoča simetričen prenos podatkov 128 kbit/s v obeh smereh;
- ADSL dostop je s strani ponudnika SiOL omejen na asimetrični prenos podatkov 512 kbit/s v navzdolnji smeri in 128 kbit/s v navzgornji smeri;

Pri nobenem klicnem dostopu ni bil upoštevan začetni impulz 5,22 SIT, ki ga Telekom zaračuna za vzpostavitev klicne zveze z omrežjem 0880 ali 0889. ADSL dostop vzpostavi zvezo brez klicnega omrežja, zato tega začetnega impulza pri ADSL-u ni.

Stroški uporabe za klicni dostop s PSTN priključkom ali enim B kanalom ISDN priključka se za osnovni paket naročnine izenačijo pri mesečni uporabi od 23 do 27 ur, za neomejen paket pa pri uporabi od 11 do 29 ur, kar je manj kot ena ura dnevno. Potrebno pa je tudi upoštevati, da je podatkovna hitrost za PSTN (1B-ISDN) priključek v navzdolnji smeri najmanj 9 (8) krat manjša, v navzgornji pa 4 (2) krat manjša kot pri ADSL dostopu.

Stroški uporabe za klicni dostop preko obeh B kanalov ISDN priključka se za osnovni paket naročnine izenačijo pri mesečni uporabi od 12 do 14 ur, za neomejen paket pa pri uporabi 11 ur (*SiOL*), 5 ur (*amis*) pri *botru* pa je dražja že naročnina. Seveda pa je hitrost prenosa v navzdolnji smeri 4 krat manjša, v navzgornji pa enaka kot pri ADSL dostopu.

Primerjava pokaže, da je ADSL dostop cenovno ugoden za fizičnega uporabnika, ki do Interneta dostopa preko PSTN ali 1 B kanala ISDN priključka in uporablja Internetne storitve najugodnejšega ponudnika povprečno več kot 27 ur mesečno, kar je manj kot 1 ura dnevno. Za uporabnike, ki uporabljajo oba B kanala ISDN priključka, pa je ADSL cenovno ugoden, če uporabljajo Internetne storitve povprečno več kot 14 ur mesečno, kar je manj kot 0,5 ure dnevno. To je le stroškovna primerjava, kjer ni upoštevano, da se ADSL dostop dosega mnogo višje podatkovne hitrosti od klicnega dostopa. Ker uporabniki ponavadi vse storitve ocenjujejo samo glede na stroške, ta faktor v tej primerjavi ni bil upoštevan.

Za pravilno primerjavo je potrebno navesti tudi stroške vzpostavitve posameznega dostopa. Pri klicnem dostopu preko PSTN ali ISDN priključka je vključitev v večini primerov brezplačna. Nekateri ponudniki ponujajo zgoščenke za registracijo novih naročnikov. Pri ponudniku *SiOL* je zgoščanka brezplačna, ponudnik *amis* pa jo zaračuna 952,00 SIT. V obeh primerih zgoščanka zraven registracijskih programov in navodil, vsebuje tudi potrebne programe za uporabo Interneta ter 5 ur brezplačne uporabe Interneta. Novi uporabnik mora sam poskrbeti za nabavo in namestitev modema. Cena modema je odvisna od njegove izvedbe, ki je lahko zunanja ali vgradna, od proizvajalca in od namembnosti ter zmožnosti samega modema. Cene ISDN modemov z možnostjo združitve obeh B kanalov in PSTN V.90 modemov so v povprečju naslednje:

- PSTN vgradni: 5.000,00 - 12.000,00 SIT; zunanji 15.000,00 - 30.000,00 SIT.
- ISDN vgradni: 10.000,00 - 20.000,00 SIT; zunanji 20.000,00 - 40.000,00 SIT.

Skupni začetni strošek za klicni dostop do Internetnih storitev je enak ceni izbranega PSTN ali ISDN modema in se giblje od 5.000,00 do 40.000,00 SIT

Strošek priključnine ADSL linije (hitrost prenosa: 512 kbit/s navzdol in 128 kbit/s navzgor) znaša 30.000,00 SIT in zajema ADSL modem oziroma ATU-R ter montažo in namestitve ustreznih potrebnih programov. Uporabnik mora sam poskrbeti za nabavo in namestitve 10BaseT mrežne kartice, katere cena je v povprečju od 5.000,00 do 7.000,00 SIT. Pogoji za vključitev ADSL linije je obstoječi ISDN priključek, saj Telekom Slovenije omogoča le ADSL linijo z ISDN priključkom. V primeru, da ima uporabnik PSTN priključek, ga je potrebno nadgraditi v ISDN priključek, ki potrebuje tudi ustrezne ISDN naprave. Najugodnejša možnost je nadgradnja z ustreznimi paketi naprav, katerih cena se giblje od 25.000,00 do 55.000,00 SIT v odvisnosti od vsebovanih ISDN naprav. Če uporabnik že ima ISDN priključek, potrebuje za priključitev ADSL linije okoli 35.000,00 SIT, v primeru nadgradnje PSTN priključka v ISDN, pa so skupni stroški od 60.000,00 do 90.000,00 SIT, pač odvisno od izbranega paketa naprav. Upoštevati je potrebno tudi, da je ISDN standardna naročnina enaka 3.663,00 SIT, PSTN pa 1.497,83 SIT.

7.2 Primerjava ADSL in kabelskega dostopa – za fizične osebe

Naslednja primerjava je narejena med kabelskim in ADSL dostopom. Kabelski dostop do Interneta je izveden preko omrežja kabelske televizije. Primerjava v pri obeh dostopih upošteva neomejeno uporabo Interneta, ki se zaračuna samo z mesečno naročnino. Nekateri ponudniki kabelskega dostopa ponujajo dostop z osnovno naročnino, ostali promet pa se zaračuna glede na količino prenesenih podatkov. Ponudba navaja samo neomejen dostop za ADSL, zato zaradi neustrezne primerjave ta primer ni upoštevan.

Pri ADSL in kabelskem dostopu se povezava vzpostavi brez klicne zveze, zato ni časovno tarifirana. V primerjavi s klicnim dostopom, odpadejo vsi stroški tarifnih impulzov, kar je velika prednost teh dveh načinov dostopa. Prednost pa je tudi, da v primeru povezave z Internetom ostane obstoječ PSTN ali ISDN priključek popolnoma prost za ostale, predvsem govorne storitve. Naslednja tabela prikazuje primerjavo kabelskega in ADSL dostopa do Internetnih storitev za dva različna slovenska komercialna ponudnika Internetnih storitev preko kabelskega omrežja.

Tabela 7.2: Primerjava stroškov ADSL in kablskega dostopa do Interneta - fizične osebe

ISP	Kabelski dostop			ADSL dostop		
	Hitrost prenosa		Mesečna naročnina [SIT]	Hitrost prenosa		Mesečna naročnina [SIT]
	navzdol	navzgor		navzdol	navzgor	
KKS Online	64 kbit/s	64 kbit/s	7.735,00	512 kbit/s	128 kbit/s	8.000,00
	128 kbit/s	64 kbit/s	12.971,00			
	256 kbit/s	64 kbit/s	22.015,00			
boter	64 kbit/s	64 kbit/s	7.497,00	512 kbit/s	128 kbit/s	8.000,00
	128 kbit/s	64 kbit/s	12.971,00			
	256 kbit/s	64 kbit/s	22.015,00			

V tabeli je prikazana primerjava stroškov dveh Slovenskih komercialnih ponudnikov Internetnih storitev preko omrežja kablanske televizije in sicer **KKS Online** (www.kks.net), ter **boter**. Cene dostopov obeh kablških ponudnikov so skoraj enake in se s ceno ADSL dostopa lahko primerjajo le pri najnižji hitrosti 64 kbit/s v obeh smereh, čeprav je takrat navzdolnja hitrost 8 krat, navzgornja pa 2 krat manjša kot pri ADSL dostopu. Pri hitrosti 256 kbit/s v navzdolnji in 64 kbit/s v navzgornji smeri, pa je hitrost prenosa obeh smeri 2 krat manjša od ADSL dostopu, mesečna naročnina pa skoraj 3 krat višja.

Strošek priključnine ADSL linije skupaj z ATU-R napravo ter montažo in instalacijo ustreznih potrebnih programov znaša 30.000,00 SIT. Ponudnik kablskega dostopa potreben potrošni material (vrvica, izolator,...), namestitve modema in programske opreme zaračuna od 6.000,00 do 9.000,00 SIT. Za dostopanje do Interneta uporabnik potrebuje kablški modem, katerega cena znaša od 45.000,00 do 65.000,00 SIT. Zaradi visoke cene modema, ga lahko uporabnik tudi najame in sicer za ceno 2.975,00 SIT mesečno. Cena priključitve za kablški dostop skupaj s kablškim modemom znaša od 51.000,00 do 71.000,00 SIT, ob predpostavki, da uporabnik že ima kablško televizijo. Skupna cena priključitve ADSL linije z montažo, ATU-R napravo in namestitvijo ustreznih potrebnih programov v najbolj ugodnem primeru znaša 30.000,00 SIT, v najmanj ugodnem primeru, ko mora uporabnik PSTN nadgraditi v ISDN priključek z najdražjim paketom naprav, pa znaša 85.000,00 SIT. Oba dostopa potrebujeta za delovanje 10BaseT mrežno kartico, katere nabava in namestitev je v uporabnikovi režiji, zato v tej primerjavi ni upoštevana.

Primerjava pokaže, da je ADSL dostop, glede na omogočeno pasovno širino in višino mesečne naročnine, ugodnejši od kablskega dostopa, saj za skoraj isto ceno omogoča mnogo višje prenosne hitrosti, pa tudi cene priključitve so v istem cenovnem razredu.

7.3 Primerjava ADSL in klicnega dostopa – za pravne osebe

Prva primerjava za pravne osebe je narejena med ADSL dostopom in klicnim dostopom preko PSTN ali ISDN priključka. Pri dostopu preko ISDN priključka, je zaradi različne cene posebej upoštevana povezava preko enega B kanala in povezava preko obeh B kanalov. Pravne osebe lahko preko klicnega dostopa do Interneta dostopajo z enim ali pa z več računalniki, ki so povezani v LAN omrežje. Pri dostopu z LAN omrežjem, je mesečna naročnina dražja, kot pri dostopu s posameznim računalnikom, saj več v mrežo povezanih računalnikov, pri določeni hitrosti prenosa podatkov, na povezavi z Internetnim strežnikom ustvarja mnogo večji promet, kot posamezni računalnik. Tudi tukaj je upoštevan le osnovni oziroma standardi naročniški paket in paket z neomejeno uporabo. Ker poslovni uporabniki do Interneta najpogosteje dostopajo v času največje prometne obremenitve, so za uporabo Internetnih storitev in klicne zveze upoštevane najvišje tarife.

Za izračun potrebnega časa uporabe Interneta, da se stroški klicnega dostopa izenačijo s stroški ADSL dostopa, je uporabljena naslednja enačba:

$$C.M.S.A = M.N.K.D + x \cdot I.tarifa + x \cdot 60 \cdot S.I.V. \Rightarrow x = \frac{C.M.S.A - M.N.K.D.}{I.tarifa + 60 \cdot S.I.} \quad (2.6)$$

- Kjer je:
- x - potreben čas za izenačenje stroškov
 - $C.M.S.A.$ - celotni mesečni strošek ADSL linije
 - $M.N.K.D.$ - mesečna naročnina klicnega dostopa
 - $S.I.$ - strošek impulza klicne zveze

V naslednji tabeli je prikazana primerjava stroškov klicnega dostopa za pravne osebe treh Slovenskih komercialnih ponudnikov Internetnih storitev in sicer **SiOL, amis** ter **boter**. Pri dostopu z neomejeno uporabo je člen $I.tarifa$ v zgornji enačbi enak 0. Stolpec *Mesečna uporaba Interneta – skupni stroški* je grobo razdeljen na uporabo 10, 20, 30 in 40 ur/mesec in z modrim poljem označuje nižje skupne mesečne stroške klicnega dostopa od skupnih mesečnih stroškov ADSL dostopa, z rdečim poljem pa polja višje skupne mesečne stroške. V tabeli so posebej prikazani skupni stroški za 1 računalnik in LAN omrežje. Ti stroški se naprej delijo na standardni paket in paket z neomejeno uporabo, vsak od teh pa na PSTN ali ISDN dostop z enim B kanalom in ISDN dostop z obema B kanaloma.

Tabela 7.3: Primerjava stroškov ADSL in klicnih dostopov do Interneta - pravne osebe

ISP	t i p	Paket naročnine	Priključek	Mesečna naročnina [SIT]	Uporaba Interneta [SIT/uro]	Stroški impulzov [SIT/min]	Mesečna uporaba Interneta - skupni stroški [SIT]				Enaki stroški [št. ur]	ADSL dostop
					I. tarifa		10 ur	20 ur	30 ur	40 ur		
SiOL	1 P C	Osnovni	PSTN, ISDN-1	1.170,96	159,46	2,02	3.977,56	6.784,16	9.590,76	12.397,36	40,72	12.600,00
			ISDN-2	1.170,96	318,92	4,04	6.784,16	12.397,36	18.010,56	23.623,76	20,36	
		Neomejen	PSTN, ISDN-1	14.376,39	-	2,02	15.588,39	16.800,39	18.012,39	19.224,39	-14,66	
			ISDN-2	14.376,39	-	4,04	16.800,39	19.224,39	21.648,39	24.072,39	-7,33	
	L A N	Osnovni	PSTN, ISDN-1	8.252,65	159,46	2,02	11.059,25	13.865,85	16.672,45	19.479,05	178,36	58.310,00
			ISDN-2	8.252,65	318,92	4,04	13.865,85	19.479,05	25.092,25	30.705,45	89,18	
		Neomejen	PSTN, ISDN-1	-	-	-	-	-	-	-	-	
			ISDN-2	-	-	-	-	-	-	-	-	
amis	1 P C	Osnovni	PSTN, ISDN-1	1.130,00	154,70	2,50	4.177,00	7.224,00	10.271,00	13.318,00	37,64	12.600,00
			ISDN-2	1.130,00	309,40	5,00	7.224,00	13.318,00	19.412,00	25.506,00	18,82	
		Neomejen	PSTN, ISDN-1	12.911,50	-	2,50	14.411,50	15.911,50	17.411,50	18.911,50	-2,08	
			ISDN-2	15.291,50	-	5,00	18.291,50	21.291,50	24.291,50	27.291,50	-8,97	
	L A N	Osnovni (+10 ur)	PSTN, ISDN-1	9.103,50	154,70	2,50	10.603,50	13.650,50	16.697,50	19.744,50	166,57	58.310,00
			ISDN-2	9.103,50	309,40	5,00	12.103,50	18.197,50	24.291,50	30.385,50	83,28	
		Neomejen	PSTN, ISDN-1	28.381,50	-	2,50	29.881,50	31.381,50	32.881,50	34.381,50	199,52	
			ISDN-2	28.381,50	-	5,00	31.381,50	34.381,50	37.381,50	40.381,50	99,76	
bota	1 P C	Osnovni	PSTN, ISDN-1	1.309,00	186,00	2,50	4.669,00	8.029,00	11.389,00	14.749,00	33,60	12.600,00
			ISDN-2	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Neomejen	PSTN, ISDN-1	13.090,00	-	2,50	14.590,00	16.090,00	17.590,00	19.090,00	-3,27	
			ISDN-2	-	-	-	-	-	-	-	-	
	L A N	Osnovni	PSTN, ISDN-1	-	-	-	-	-	-	-	-	58.310,00
			ISDN-2	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Neomejen	PSTN, ISDN-1	16.600,00	-	2,50	18.100,00	19.600,00	21.100,00	22.600,00	278,07	
			ISDN-2	31.654,00	-	5,00	34.654,00	37.654,00	40.654,00	43.654,00	88,85	

Enako kot v prejšnjem poglavju, tudi tukaj pri nobenem klicnem dostopu ni bil upoštevan začetni impulz 5,22 SIT, ki ga Telekom zaračuna za vzpostavitev klicne zveze z omrežjem 0880 ali 0889. Začetnega impulza pri ADSL dostopu ni.

Pri dostopu z enim računalnikom, se stroški uporabe za klicni PSTN ali ISDN dostop z enim B kanalom in osnovnim paketom naročnine, izenačijo z naročnino ADSL dostopa pri uporabi Interneta od 33 do 41 ur mesečno, kar je manj kot uporaba dve uri dnevno, če se mesečno upošteva 21 delovnih dni. Pri paketu z neomejeno uporabo pa je že osnovna naročnina klicnega dostopa višja od naročnine ADSL dostopa. Potrebno pa je tudi upoštevati, da je podatkovna hitrost za PSTN (1B-ISDN) priključek v navzdolnji smeri najmanj 9 (8) krat manjša, v navzgornji pa 4 (2) krat manjša kot pri ADSL dostopu. Stroški uporabe za klicni dostop preko obeh B kanalov ISDN priključka se za osnovni paket naročnine izenačijo pri mesečni uporabi od 18 do 21 ur, kar pomeni uporabo približno eno uro na delovni dan. Pri paketu z neomejeno uporabo, pa je že sama naročnina višja od naročnine ADSL dostopa. Upoštevati je potrebno, da je hitrost prenosa podatkov v navzdolnji smeri 4 krat manjša, v navzgornji pa enaka kot pri ADSL dostopu.

Primerjava pokaže, da je ADSL cenovno ugoden za vsakega poslovnega uporabnika, ki z enim računalnikom do Interneta dostopa preko PSTN ali 1 B kanala ISDN priključka in uporablja Internetne storitve najugodnejšega ponudnika v povprečju več kot 33 ur mesečno, kar je v povprečju 1,5 ure na delovni dan. Za poslovne uporabnike, ki uporabljajo oba B kanala ISDN priključka, pa je ADSL dostop cenovno ugoden, če uporabljajo Internetne storitve najugodnejšega ponudnika v povprečju več kot 20 ur mesečno, kar je manj kot 0,5 ure na delovni dan. To je samo stroškovna primerjava, kjer ni upoštevano, da se z ADSL dostopom dosegajo mnogo višje podatkovne hitrosti.

Pri dostopu z LAN omrežjem se stroški uporabe za klicni PSTN ali ISDN dostop z enim B kanalom z osnovnim paketom naročnine izenačijo z naročnino ADSL dostopa pri uporabi Interneta od 166 do 179 ur mesečno, kar je okrog 8 ur na delovni dan. Pri paketu z neomejeno uporabo pa pri uporabi Interneta od 200 do 280 ur mesečno, kar je 9 do 13 ur na delovni dan. Stroški uporabe za klicni dostop preko obeh B kanalov ISDN priključka se za osnovni paket naročnine izenačijo pri mesečni uporabi od 83 do 89 ur, kar pomeni uporabo okrog 4 ure na delovni dan. Pri paketu z neomejeno uporabo pa se stroški uporabe izenačijo pri mesečni uporabi od 89 do 100 ur, kar pomeni uporabo okrog 4,5 ure na delovni dan. To je samo stroškovna primerjava, ki ne upošteva faktorja hitrosti.

Primerjava pokaže, da ADSL ni cenovno ugoden za nezahtevne poslovne uporabnike, ki preko PSTN ali 1 B kanala ISDN priključka z LAN omrežjem z manjšim številom v mrežo vezanih računalnikov, dostopajo do Interneta in uporabljajo Internetne storitve najugodnejšega ponudnika manj kot 180 ur mesečno, kar je v povprečju manj kot 8,5 ure na delovni dan in ter jim zadoščajo prenosne hitrosti PSTN ali 1 B kanala ISDN priključka. Za poslovne uporabnike z LAN omrežjem, ki uporabljajo oba B kanala ISDN priključka, pa je ADSL dostop cenovno ugoden, če uporabljajo Internetne storitve najugodnejšega ponudnika v povprečju več kot 80 ur mesečno, kar je okrog 4 ure na delovni dan.

Vsekakor pa je ADSL dostop ugodna rešitev za LAN omrežja z večjim številom računalnikov, katerim ne zadoščajo prenosne hitrosti, ki jih omogoča PSTN ali ISDN priključek. Za dostop do Internetnih storitev z LAN omrežjem preko ADSL linije, SiOL ponuja 255 internih IP naslovov in 1 zunanji dinamični IP naslov za povezavo s strežnikom ponudnika SiOL, kar pomeni, da je v LAN omrežje lahko povezanih 255 računalnikov in vsak od njih lahko v vsakem trenutku dostopa do Interneta. Ker ADSL omogoča mnogo višje hitrosti prenosa podatkov, kot jih trenutno ponuja SiOL, bo v primeru potrebe v prihodnosti možno te hitrosti ustrezno zvišati.

7.4 Primerjava ADSL in kabelskega dostopa – za pravne osebe

Enako kot v primerjavi za fizične osebe, je tudi tukaj pri obeh dostopih upoštevana neomejena uporaba Internetnih storitev, ki se zaračuna z mesečno naročnino. Primer kabelskega dostopa z osnovno naročnino in obračunom opravljenega prometa, ki se nanaša na količino prenesenih podatkov zaradi neustrezne primerjave tudi tukaj ni upoštevana. Ker ADSL in kabelski dostop povezavo vzpostavita brez klicne zveze, le ta ni časovno tarifirana, zato ni stroškov tarifnih impulzov.

Naslednja tabela prikazuje primerjavo kabelskega in ADSL dostopa do Internetnih storitev za komercialna ponudnika *KKS Online* in *boter*. Poslovni uporabniki dostopajo do Internetnih storitev tako s samostojnimi računalniki, kot s skupino računalnikov preko LAN omrežja. Ker so cene za oba primera različne, so v tabeli prikazane ločeno. ADSL dostop ponudnika *SiOL* in kabelski dostop ponudnika *KKS Online*, dodelita uporabniku potrebno število internih IP naslovov, *boter* pa zaračunava dostop glede na število v LAN

omrežje vezanih računalnikov, kar je cenovna ugodnost predvsem za LAN omrežja, ki imajo v svoji strukturi manjše število računalnikov.

Tabela 7.4: Primerjava stroškov ADSL in kabelskega dostopa do Interneta - pravne osebe

I S P	t i p	št. PC-jev	Kabelski dostop			ADSL dostop		
			Hitrost prenosa		Mesečna naročnina	Hitrost prenosa		Mesečna naročnina
			navzdol	navzgor		navzdol	navzgor	
K K S O n l i n e	P C	1	64 kbit/s	64 kbit/s	13.685,00	512 kbit/s	128 kbit/s	12.800,00
		1	128 kbit/s	64 kbit/s	23.681,00			
		1	256 kbit/s	64 kbit/s	37.485,00			
		1	384 kbit/s	64 kbit/s	51.051,00			
		1	512 kbit/s	64 kbit/s	71.281,00			
	L A N	po potrebi	64 kbit/s	64 kbit/s	36.295,00	512 kbit/s	128 kbit/s	58.310,00
		po potrebi	128 kbit/s	128 kbit/s	71.995,00			
		po potrebi	256 kbit/s	256 kbit/s	131.495,00			
		po potrebi	384 kbit/s	384 kbit/s	190.995,00			
		po potrebi	512 kbit/s	512 kbit/s	244.545,00			
b o t e r	P C	1	64 kbit/s	64 kbit/s	13.685,00	512 kbit/s	128 kbit/s	12.800,00
		1	128 kbit/s	64 kbit/s	23.681,00			
		1	256 kbit/s	64 kbit/s	37.485,00			
	L A N	do 5	64 kbit/s	64 kbit/s	23.681,00	512 kbit/s	128 kbit/s	58.310,00
		6-20	64 kbit/s	64 kbit/s	35.581,00			
		20-50	64 kbit/s	64 kbit/s	59.381,00			
		do 5	128 kbit/s	128 kbit/s	47.481,00			
		6-20	128 kbit/s	128 kbit/s	65.331,00			
		20-50	128 kbit/s	128 kbit/s	83.181,00			
		do 5	256 kbit/s	256 kbit/s	83.181,00			
		6-20	256 kbit/s	256 kbit/s	118.881,00			
		20-50	256 kbit/s	256 kbit/s	131.495,00			
		nad 50	256 kbit/s	256 kbit/s	190.995,00			
		6-20	512 kbit/s	512 kbit/s	209.440,00			
		nad 50	512 kbit/s	512 kbit/s	304.640,00			

V tabeli prikazane cene dostopov obeh kabelskih ponudnikov so v primeru dostopa do Interneta z enim računalnikom popolnoma enake in se s ceno ADSL dostopa lahko primerjajo le pri najnižji hitrosti 64 kbit/s v obeh smereh, čeprav je takrat navzdolnja hitrost 8 krat, navzgor pa 2 krat manjša kot pri ADSL dostopu. Pri hitrosti 256 kbit/s v navzdolnji in 64 kbit/s v navzgornji smeri pa je hitrost prenosa obeh smeri 2 krat manjša od ADSL dostopa, mesečna naročnina pa skoraj 3 krat višja. Tudi pri dostopu do Interneta z

LAN omrežjem je višina naročnine obeh ponudnikov kablskega dostopa nižja le pri omogočeni hitrosti 64 kbit/s, pri ponudniku boter pa tudi pri LAN omrežju z do 5 računalniki z omogočeno hitrostjo 128 kbit/s.

Stroški vzpostavitve ADSL in kablskega dostopa so enaki, kot so bili navedeni v primerjavi obeh dostopov za fizične osebe, postavitev LAN omrežja pa je v uporabnikovi režiji in ne vpliva na izbiro dostopa.

Primerjava pokaže, da je ADSL dostop, glede na omogočeno pasovno širino in višino mesečne naročnine, mnogo ugodnejši od kablskega dostopa, saj za skoraj isto ceno omogoča mnogo višje prenosne hitrosti, pa tudi cene priključitve so v istem cenovnem razredu. Glede na ponudbo ADSL dostopa, bodo morali kablški operaterji močno znižati cene, če bodo želeli ostati konkurenčni.

Morda še nekaj o slabostih obeh dostopov. Kablški dostop je možen samo tam, kjer je obstoječa infrastruktura omrežja kablške televizije, ki ima tudi ustrezno opremo za dostopanje uporabnikov do Interneta. Prav tako velja za ADSL dostop, ki je še precej nerazširjen, saj je v ponudbi šele od letošnjega leta pa še to samo v večjih mestih in še to ne na področju vseh central. Tako je na mariborskem področju na primer možen samo na dveh od petih central in sicer na centrali Tabor in Rotovž oziroma na ISDN priključkih, katerih številke se začnejo z 2 ali 3. Uporabniki, predvsem fizične osebe, pa se tudi pritožujejo, da v Sloveniji ni možna izvedba ADSL linije s PSTN priključkom. Na lokacijah, kjer ADSL in kablški dostop nista možna, pa predvsem za manjše uporabnike zaenkrat ostaja edina možnost klicni dostop z uporabo PSTN ali ISDN priključka.

7.5 Primerjava ADSL dostopa in dostopa z zakupljenim vodom

Zakupljeni vodi, ki se uporabljajo za dostop do Interneta, potekajo preko elastičnega omrežja. Tako je možen dostop preko zakupljenega upravljanega voda ali preko voda z blokvnim posredovanjem. Pri upravljanem vodu kapaciteta voda določa zagotovljeno prenosno hitrost. Pri vodu z blokvnim posredovanjem pa je kapaciteta voda 2 ali 3 krat večja od zagotovljene prenosne hitrosti. Uporabnik plačuje osnovno ceno za zagotovljeno hitrost in dodatnih 30% te cene za 100% preseganje zagotovljene hitrosti oziroma dodatnih 50% osnovne cene za 200% preseganje zagotovljene hitrosti. Preseganje hitrosti ni

zagotovljeno in je možno le tedaj, ko so prometne kapacitete elastičnega omrežja dovolj proste. Ceno priključitve zakupljene zveze določa Telekom in je za različne hitrosti različna. Mesečna zakupnina se zaračuna v odvisnosti od zračne razdalje od uporabnika do vstopne točke ponudnika Internetnih storitev. Pri primerjavi sem upošteval, da so veliki uporabniki, ki do Interneta dostopajo preko zakupljenih vodov, v povprečju 1 km oddaljeni od vstopne točke ponudnika SiOL. Naslednja tabela prikazuje mesečne stroške uporabe Internetnih storitev (IS) in stroške mesečnih zakupnin upravljanega zakupljenega voda (ZV) ter zakupljenega voda z blokovnim posredovanjem (BP) s 100% preseganjem zagotovljene hitrosti. V zadnjem stolpcu je naveden tudi strošek priključnine dostopnega voda in vzpostavitve PVC zveze.

Tabela 7.5: Primerjava stroškov dostopa do Interneta za ADSL in zakupljen vod

Dostop preko upravljanega zakupljenega voda					potreben dostopni vod	Priklj. DV in vzpost. PVC [SIT]
zagotovljena hitrost	omogočena hitrost	uporaba IS [SIT]	zakupnina ZV [SIT]	skupaj [SIT]		
64 kbit/s	64 kbit/s	35.145,00	17.586,89	52.731,89	64 kbit/s	176.150,11
128 kbit/s	128 kbit/s	67.095,00	22.851,45	89.946,45	128 kbit/s	274.000,12
256 kbit/s	256 kbit/s	122.475,00	32.543,76	155.018,76	256 kbit/s	371.850,13
512 kbit/s	512 kbit/s	217.260,00	42.825,48	260.085,48	512 kbit/s	418.200,15
1024 kbit/s	1024 kbit/s	380.205,00	51.206,30	431.411,30	1024 kbit/s	391.400,04
2048 kbit/s	2048 kbit/s	654.975,00	63.313,00	718.288,00	2048 kbit/s	593.300,08

Dostop preko zakupljenega voda z BP-100% preseganje					potreben dostopni vod	Priklj. DV in vzpost. PVC [SIT]
zagotovljena hitrost	omogočena hitrost	uporaba IS [SIT]	zakupnina ZV [SIT]	skupaj [SIT]		
64 kbit/s	128 kbit/s	45.688,50	22.862,96	68.551,46	128 kbit/s	274.000,12
128 kbit/s	256 kbit/s	87.223,50	29.706,89	116.930,39	256 kbit/s	371.850,13
256 kbit/s	512 kbit/s	159.217,50	42.306,89	201.524,39	512 kbit/s	418.200,15
512 kbit/s	1024 kbit/s	282.438,00	55.673,13	338.111,13	1024 kbit/s	423.350,11
1024 kbit/s	2048 kbit/s	494.266,50	66.568,18	560.834,68	2048 kbit/s	593.300,08

Ker je dostop preko zakupljenih zvez namenjen za LAN omrežja, je potrebno enako upoštevati tudi za ADSL dostop. Cenovno se dostop preko zakupljenih zvez lahko z ADSL dostopom primerja le pri hitrosti prenosa 64 kbit/s, vse ostale cene pa so mnogo višje. Zakupljeni vodi omogočajo simetrični prenos podatkov, kjer gre predvsem za kvaliteto prenosa podatkov. Preko zakupljenega voda je na primer možno povezati strežnik podjetja ali ponudnika storitve z ostalim Internetnim omrežjem.

8. ZAKLJUČEK

Hiter razvoj samega Interneta in na njem delujočih večpredsavnostnih aplikacij zahteva vedno višje prenosne hitrosti, ki jih s klicno zvezo preko PSTN ali ISDN priključka ni več mogoče kvalitetno zagotavljati. Potreben je bil razvoj novih rešitev, ki bi ob ne prevelikih stroških omogočale zadovoljive hitrosti. Iz tega razloga je bila razvita ADSL tehnologija, ki kot prenosni medij izkorišča skoraj povsod dostopno obstoječe omrežje bakrenih sukanih parov, kar močno poceni samo izgradnjo ADSL linije. Ker ADSL omogoča prenos podatkov velikih hitrosti, so nekateri skeptiki so na začetku napovedovali zelo visoko ceno ADSL dostopa do Interneta.

Marca letos sta SiOL in Telekom po enoletni poskusni dobi začela tudi uradno tržiti ADSL dostop do Interneta. Na presenečenje mnogih je cena dostopa več kot konkurenčna saj za enako ali celo manjšo ceno ponuja mnogo višje prenosne hitrosti od ostalih konkurenčnih dostopov. Ponudba zaenkrat omejuje navzdolnjo prenosno hitrost na 512 kbit/s in navzgorjo na 128 kbit/s, kar pa je le majhen izkoristek ADSL linije. Pa vendar, začeti je potrebno postopno, ko pa bodo potrebe narekovale višje hitrosti, jih bo ponudnik storitve lahko enostavno ustrezno povišal in to kar programsko iz nadzornega mesta brez potrebe po zamenjavi in nastavitvah opreme na terenu.

Mnogo je tudi očitkov, da se ADSL linija ponuja samo v kombinaciji z ISDN priključkom in ne v kombinaciji s cenejšim PSTN priključkom, za katerega je bil ADSL v osnovi tudi razvit. ADSL je bil razvit v Ameriki, kjer ni prišlo do takšne popularizacije ISDN priključka, kot se je to zgodilo v Evropi. Naročniki ISDN priključka so predvsem nekoliko zahtevnejši uporabniki, katerim je tudi vsej na začetku tudi namenjen ADSL. Verjamem pa, da se bo v prihodnosti tudi to spremenilo, saj so nekateri uporabniki naročili ISDN priključek samo iz razloga, da bi lahko hkrati telefonirali in dostopali do Interneta.

Pojavili so se tudi določeni dvomi, da bo ADSL preveč obremenjeval predvsem tiste strežnike, ki imajo z Internet hrbteničnim omrežjem povezavo nižjih hitrosti. Po drugi strani pa je to poziv ponudnikom, da razširijo že tako preobremenjene informacijske poti do Internetne hrbtenice in na ta način izboljšajo kvaliteto storitve. Tako je ponudnik SiOL

v decembru leta 2000 povečal kapaciteto povezave do mednarodnega ponudnika Internetnih storitev UUNET (WorldCom) iz dosedanjih dveh 34 Mbit/s E3 povezav s skupno kapaciteto 64 Mbit/s na eno 155 Mbit/s STM-1 povezavo in eno E3 povezavo, tako da je skupna kapaciteta sedaj 189 Mbit/s.

Zaenkrat so ADSL kapacitete razpoložljive le na nekaterih telefonskih centralah v naslednjih mestih: Ljubljana (Center I in II, Šiška, Vič, Moste, Bežigrad), Kamnik, Domžale, Maribor (Tabor, Rotovž), Ptuj, Celje (Golovec, Krekov trg, Lava), Velenje, Kranj (KR II), Nova Gorica (Center), Koper (Glagoljaška), Novo mesto (NM II), Murska Sobota (Center) in Trbovlje (Center). Pričakuje pa se širitev kapacitet tudi na ostale lokacije, kar pa bo odvisno od povpraševanja. Postopek bo verjetno enak kot pri širitvi možnosti ISDN priključka, ki je pred tremi leti prav tako bil možen le v nekaterih večjih mestih, danes pa ga je možno dobiti skoraj povsod.

Seveda pa možnosti uporabe, ki jih ponuja ADSL linija še daleč niso izkoriščene, saj se zaenkrat uporablja le za dostop do Interneta pa še to z zelo omejenimi hitrostmi. Možnosti uporabe so namreč možne na številnih področjih. Tako lahko ADSL zraven hitrega in stalno dostopnega (angl. always on) Interneta zagotavlja tudi izobraževanje na daljavo, delo na domu oziroma virtualno pisarno, sprejem vsebine s strežnikov na zahtevo (video in audio na zahtevo, Interaktivna televizija, Online igre, nakupi, turizem, ...), telemedicino, interaktivno oglaševanje in še mnoge ostale možnosti.

Zagotovo je možno potrditi, da je ADSL je na pohodu. Seveda pa v kratkoročnem obdobju ni možno pričakovati vseh možnosti uporabe ADSL linije, saj bo potrebno za omogočitev določenih storitev še marsikaj storiti, kar pa je tudi povezano s precejšnjo investicijo, ki jo mora vložiti ponudnik določene storitve. Začelo se je z dostopom do Interneta, saj je le ta dandanes že zelo razširjen. Ostale možnosti pa bodo morale šele zaživeti, kar pa bo odvisno tako od ponudbe kot od povpraševanja po določenih storitvah. Strokovnjaki predvidevajo, da bo potrebno postopno obdobje 10-ih let, da bo uporaba ADSL linije zaživela tudi na ostalih področjih storitev.

ADSL je postal realnost, možnosti uporabe pa so zelo obširne. Stopnja razvoja določenih novih storitev, ki jih je možno preko ADSL linije kvalitetno zagotavljati, je sedaj odvisna le še od interesa posameznih ponudnikov določenih storitev za trženje novih storitev ter od povpraševanja uporabnikov po novih storitvah. Seveda bo glavno vlogo pri tem ponovno igrala sama cena nove storitve.

LITERATURA:

- [1] W. Goralski, ADSL and DSL Technologies, McGraw-Hill, New York, 1998.
- [2] C. K. Summers, ADSL Standards, Implementation and Architecture, CRC Press, New York, 1999.
- [3] W. Stallings, Data and Computer Communications (4th Edition), Prentice Hall New York, 1994.
- [4] M. Demšar, G. Penko, Seminar o ADSL, Škerjanček, 1, (2001), str. 27 – 30
- [5] P. Guček, V omrežje Internet še hitreje in zanesljiveje, Škerjanček, 1, (2001), str.12
- [6] ADSL Forum, <http://www.adsl.com>
- [7] ETSI, <http://www.etsi.org>
- [8] ANSI, <http://www.ansi.org>
- [9] ITU, <http://www.itu.int>
- [10] ALCATEL, <http://www.alcatel.com>
- [11] Marchal Brain's HowStuffWorks, <http://www.howstuffworks.com>