

UNIVERZA V LJUBLJANI
EKONOMSKA FAKULTETA

MAGISTRSKO DELO

**IZBIRA TEHNOLOGIJE ZA PRENOS
ETHERNET SIGNALOV PREKO OMREŽJA
TELEKOMA SLOVENIJE**

LJUBLJANA, NOVEMBER 2005

ALEŠ MAZEJ

IZJAVA

Študent Aleš Mazej izjavljam, da sem avtor tega magistrskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom prof. dr. Borke Jerman Blažič in skladno s 1.odstavkom 21. člena Zakona o avtorskih in sorodnih pravicah dovolim objavo magistrskega dela na fakultetnih spletnih straneh.

V Ljubljani, dne 28.11.2005

Podpis:_____

KAZALO

KAZALO.....	I
KAZALO SLIK.....	III
KAZALO TABEL.....	IV
1. UVOD.....	1
1.1. TRENDI V TELEKOMUNIKACIJAH.....	2
2. ODPORTE ARHITEKTURE OMREŽIJ.....	4
2.1. REFERENČNI MODEL POVEZOVANJA ODPRTIH SISTEMOV ISO - OSI.....	4
2.1.1. Postopek izmenjave informacij.....	5
2.1.2. Struktura modela.....	6
2.1.3. Interakcija slojev v omrežju.....	7
2.2. SKLADOVNICA INTERNETNIH PROTOKOLOV.....	7
2.2.1. Struktura skladovnice TCP/IP.....	8
2.3. PRENOSNE TEHNOLOGIJE - ETHERNET.....	9
2.3.1. Standard IEEE 802.....	10
2.3.2. Metoda sodostopa z zaznavanjem nosilca in z detekcijo trkov (CSMA/CD).....	11
3. HRBTENIČNO OMREŽJE TELEKOMA SLOVENIJE (PREDMET RAZISKAVE IN OVREDNOTENJA).....	16
3.1. PREGLED HRBTENIČNIH OMREŽIJ.....	16
3.2. ETHERNET PREKO SINHRONE DIGITALNE HIERARHIJE (SDH).....	18
3.2.1. Navidezno in stično spetje (Virtual in Contiguous concatenation).....	20
3.2.2. Generični postopek uokvirjanja (GFP - Generic Framing Procedure).....	21
3.2.3. Shema naravnnavanja kapacitete povezav (LCAS - Link Capacity Adjustment Scheme).....	22
3.2.4. Topologija SDH omrežij.....	23
3.2.5. Vrste omrežnih elementov.....	25
3.3. ETHERNET PREKO DWDM.....	28
3.3.1. Valovno dolžinsko združevanje WDM.....	28
3.3.2. CWDM (grobi) in DWDM (zgoščeni) način združevanja signalov.....	29
3.3.3. Fizikalne lastnosti optičnih vlaken.....	31
3.3.4. Vrsta prometa in kanalov prenosa.....	33
3.3.5. Topologija WDM omrežij.....	35
4. NADGRADNJA OMREŽJA TELEKOMA SLOVENIJE.....	39
4.1. PREGLED OBSTOJEČEGA STANJA.....	39
4.2. NAPOVEDI BODOČIH PROMETNIH ZAHTEV.....	43
4.3. TEHNIČNA REŠITEV.....	43
5. OVREDNOTENJE INVESTICIJ.....	51
5.1. TEORIJA INVESTICIJ.....	51
5.1.1. Statične in dinamične metode.....	52
5.1.2. Statične metode.....	52
5.1.3. Računovodska stopnja donosa.....	54
5.1.4. Dinamične metode.....	54
5.2. IZBOR METODE IN UTEMELJITEV.....	62
6. REZULTATI OVREDNOTENJA INVESTICIJ OBEH TEHNOLOGIJ ZA NADGRADNJO OMREŽJA.....	62
6.1. SDH (CAPEX, OPEX).....	63
6.2. DWDM (CAPEX, OPEX).....	67
6.3. PRIMERJAVA OBEH TEHNOLOGIJ.....	69
7. ZAKLJUČEK.....	74

8. LITERATURA.....	76
SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC.....	79

KAZALO SLIK

SLIKA 1:	PRIHODKI OD PODATKOVNIH STORITEV V EVROPI (LUM, 2004, STR. 4)	3
SLIKA 2:	ŠTEVILO VGRAJENIH VMESNIKOV V TISOČIH (JELINEK, 2003, STR. 5)	4
SLIKA 3:	SEDEM SLOJNI OSI REFERENČNI MODEL	5
SLIKA 4:	INTERAKCIJA SLOJEV V OMREŽJU.....	7
SLIKA 5:	PRIMERJAVA SLOJEV OSI IN TCP/IP REFERENČNEGA MODELA	8
SLIKA 6:	POVEZAVA MED IEEE STANDARDI IN OSI REFERENČNIM MODELOM.....	10
SLIKA 7:	TRI SKUPINE ETHERNET VMESNIKOV GLEDE NA HITROST PRENOSA	12
SLIKA 8:	POVEZAVA MED SPODNJIMA NIVOJEMA ISO OSI REFERENČNEGA MODELA IN 100 Mbit/s ETHERNET	13
SLIKA 9:	POVEZAVA MED SPODNJIMA NIVOJEMA ISO OSI REFERENČNEGA MODELA IN GIGABIT ETHERNET PODNIVOJI.....	14
SLIKA 10:	PRIKAZ TEHNOLOGIJ (PROKOLOV) NA POSAMEZNIH SLOJIH OSI REFERENČNEGA MODELA.....	17
SLIKA 11:	DINAMIČNO DODELJEVANJE PASOVNE ŠIRINE Z LCAS PROTOLOM (JELINEK, 2003, STR. 28)	23
SLIKA 12:	POVEZAVA TOČKA – TOČKA SDH OMREŽNIH ELEMENTOV	24
SLIKA 13:	OBROČNA TOPOLOGIJA POVEZAVE SDH OMREŽNIH ELEMENTOV	24
SLIKA 14:	MEŠANA TOPOLOGIJA POVEZAVE SDH OMREŽNIH ELEMENTOV	25
SLIKA 15:	ADM SDH OMREŽNI ELEMENT	26
SLIKA 16:	DIGITALNI PREVEZOVALNIK (DXC)	27
SLIKA 17:	BLOK ŠEMA VALOVNO DOLŽINSKEGA MULTIPLESIRANJA.....	29
SLIKA 18:	PRIMERJAVA MED CWDM IN DWDM VALOVNODOLŽINSKO RAZPOREDITVIJO	30
SLIKA 19:	PRIKAZ ZDRUŽEVANJA PROMETA V WDM KANALE.....	34
SLIKA 20:	ZAŠČITA NA OPTIČNEM NIVOJU.....	36
SLIKA 21:	ZAŠČITA POSAMEZNIH KANALOV NA FIZIČNEM NIVOJU	36
SLIKA 22:	TOČKA – TOČKA WDM POVEZAVA.....	37
SLIKA 23:	OBROČNA KONFIGURACIJA WDM SISTEMA PRENOSA	38
SLIKA 24:	RAZDELITEV OMREŽJA NA HRBTENIČNI IN DOSTOPOVNI DEL	39
SLIKA 25:	GEOGRAFSKA RAZPOREDITEV ZANK	46
SLIKA 26:	OCENA RASTI PROMETA V PETIH LETIH NA ZANKI LJUBLJANA – POSTOJNA – KOPER – NOVA GORICA – IDRIJA - LJUBLJANA	46
SLIKA 27:	OCENA RASTI PROMETA V PETIH LETIH NA ZANKI LJUBLJANA–KRANJ–BLED–JESENICE-LJUBLJANA .	47
SLIKA 28:	OCENA RASTI PROMETA V PETIH LETIH NA ZANKI LJUBLJ.–N.MESTO–KRŠKO–CELJE-LJUBLJANA	47
SLIKA 29:	OCENA RASTI PROMETA V PETIH LETIH NA ZANKI MARIBOR-PTUJ-M.SOBOTA-MARIBOR.....	47
SLIKA 30:	OCENA RASTI PROMETA V PETIH LETIH NA ZANKI LJUBLJANA – CELJE – MARIBOR – RAVNE - LJUBLJANA	48
SLIKA 31:	OCENA RASTI PROMETA V PETIH LETIH NA ZANKI CELJE – VELENJE - CELJE	48
SLIKA 32:	PRIMERJAVA MED ZASEDBO PASOVNE ŠIRINE GLEDE NA POSAMEZNE VMESNIKE MED LETOMA 2005 IN 2009	48
SLIKA 33:	PRIMERJAVA VREDNOSTI CAPEXA MED SDH IN DWDM REŠITVIJO	69
SLIKA 34:	PRIMERJAVA VREDNOSTI OPEXA MED SDH IN DWDM REŠITVIJO.....	70
SLIKA 35:	PRIMERJAVA SDH IN DWDM REŠITEV Z UPOŠTEVANIM CAPEX + OPEX	71
SLIKA 36:	GRAFIČNA PONAZORITEV PRIMERJAVE MED NSV IN ISD ZA SDH IN DWDM REŠITEV.....	73

KAZALO TABEL

TABELA 1:	IZKORIŠČENOSTI SDH PASOVNE ŠIRINE ZA ETHERNET PROMET PRI KLASIČNIH SDH SISTEMIH (LEVY D., 2004, STR. 23).....	21
TABELA 2:	IZKORIŠČENOST SDH PASOVNE ŠIRINE ZA ETHERNET PROMET PRI SDH SISTEMIH Z UPORABO NAVIDEZNEGA SPETJA (LEVY D., 2004, STR. 23).....	21
TABELA 3:	ŠTEVILO DOMAČIH UPORABNIKOV POSAMEZNIH OBLIK DOSTOPA DO INTERNETA, (APEK, JANUAR 2004).....	40
TABELA 4:	ŠTEVILO POSLOVNIH UPORABNIKOV POSAMEZNIH OBLIK DOSTOPA DO INTERNETA, (APEK, JANUAR 2004).....	40
TABELA 5:	ORIENTACIJSKE MINIMALNE IN OPTIMALNE HITROSTI PRENOSA ZA NEKAJ TIPIČNIH INTERNETNIH AKTIVNOSTI (APEK, JANUAR 2004).	41
TABELA 6:	PROMETNA MATRIKA ZA ZANKO LJUBLJANA – POSTOJNA – KOPER – NOVA GORICA – IDRJA – LJUBLJANA	50
TABELA 7:	PROMETNA MATRIKA ZA ZANKO LJUBLJANA – KRANJ – BLED – JESENICE - LJUBLJANA.....	50
TABELA 8:	PROMETNA MATRIKA ZA ZANKO LJUBLJANA – NOVO MESTO – KRŠKO – CELJE – LJUBLJANA	50
TABELA 9:	PROMETNA MATRIKA ZA ZANKO LJUBLJANA – CELJE – MARIBOR – RAVNE NA KOROŠKEM – LJUBLJANA	50
TABELA 10:	PROMETNA MATRIKA ZA ZANKO MARIBOR – PTUJ – MURSKA SOBOTA	50
TABELA 11:	CENA SDH OPREME (V MIO SIT) ZA ZANKO LJUBLJANA – POSTOJNA – KOPER – NOVA GORICA – IDRJA - LJUBLJANA	64
TABELA 12:	CENA SDH OPREME (V MIO SIT) ZA ZANKO LJUBLJANA – KRANJ – BLED – JESENICE - LJUBLJANA.....	64
TABELA 13:	CENA SDH OPREME (V MIO SIT) ZA ZANKO LJUBLJANA – NOVO MESTO – KRŠKO – CELJE - LJUBLJANA	64
TABELA 14:	CENA SDH OPREME (V MIO SIT) ZA ZANKO LJUBLJANA – CELJE – MARIBOR – RAVNE – LJUBLJANA	64
TABELA 15:	CENA SDH OPREME (V MIO SIT) ZA ZANKO MARIBOR – PTUJ – MURSKA SOBOTA - MARIBOR.....	65
TABELA 16:	CENA SDH OPREME (V MIO SIT) ZA ZANKO CELJE – VELENJE - CELJE	65
TABELA 17:	SKUPNA VREDNOST NALOŽB (SDH OPREMA V MIO SIT) V OSNOVNA SREDSTVA ZA VSEH ŠEST ZANK SKUPAJ	65
TABELA 18:	SKUPNA VREDNOST OBRATOVALNIH STROŠKOV (SDH OPREMA V MIO SIT) ZA VSEH ŠEST ZANK SKUPAJ.....	66
TABELA 19:	CENA DWDM OPREME (V MIO SIT) ZA ZANKO LJUBLJANA – POSTOJNA – KOPER – NOVA GORICA – IDRJA - LJUBLJANA	67
TABELA 20:	CENA DWDM OPREME (V MIO SIT) ZA ZANKO LJUBLJANA – KRANJ – BLED – JESENICE – LJUBLJANA	67
TABELA 21:	CENA DWDM OPREME (V MIO SIT) ZA ZANKO LJUBLJANA – NOVO MESTO – KRŠKO – CELJE – LJUBLJANA	67
TABELA 22:	CENA DWDM OPREME (V MIO SIT) ZA ZANKO LJUBLJANA – CELJE – MARIBOR – RAVNE - LJUBLJANA	68
TABELA 23:	CENA DWDM OPREME (V MIO SIT) ZA ZANKO MARIBOR – PTUJ – MURSKA SOBOTA - MARIBOR....	68
TABELA 24:	CENA DWDM OPREME (V MIO SIT) ZA ZANKO CELJE – VELENJE - CELJE	68
TABELA 25:	SKUPNA VREDNOST NALOŽB (DWDM OPREMA V MIO SIT) V OSNOVNA SREDSTVA ZA VSEH ŠEST ZANK SKUPAJ	68
TABELA 26:	SKUPNA VREDNOST OBRATOVALNIH STROŠKOV (DWDM OPREMA V MIO SIT) ZA VSEH ŠEST ZANK SKUPAJ.....	69
TABELA 27:	DENARNI TOK (V MIO SIT) PRI SDH REŠITVI Z IZRAČUNANO NETO SEDANJO VREDNOSTJO PRI RAZLIČNIH STOPNJAH OBRETNE MERE	72
TABELA 28:	DENARNI TOK (V MIO SIT) PRI DWDM REŠITVI Z IZRAČUNANO NETO SEDANJO VREDNOSTJO PRI RAZLIČNIH STOPNJAH OBRETNE MERE	72

1. UVOD

V sodobnem svetu razvoj na vseh področjih življenja pušča svoje sledi. Področje telekomunikacij ni nikakršna izjema. Še ne dolgo tega je glavni kos pogače imenovane dohodek pri nacionalnih ponudnikih telekomunikacijskih storitev predstavljala govorna telefonija. Z razvojem novih storitev pa vedno večji procent dohodka pri ponudnikih telekomunikacijskih storitev predstavljajo zasebne linije in podatkovne storitve ter internetni dostop, medtem ko procent dohodka iz klasične telefonije konstantno upada.

Zaradi zagotovitve novih storitev morajo nacionalni operaterji in ostali ponudniki storitev do uporabnikov zgraditi kvalitetna telekomunikacijska omrežja, ki bodo omogočala zajamčeno kakovost storitev. Zaradi pojava teh novih storitev kot so zasebni Ethernetni vod (EPL - Ethernet Private Line), navidezno zasebno Ethernet omrežje (E-VPN - Ethernet Virtual Private Network), navidezni zakupljeni Ethernetni vod (EVPL - Ethernet Virtual Private Line), zasebno lokalno Ethernet omrežje (EPLAN - Ethernet Private LAN) ter zasebno navidezno lokalno Ethernet omrežje (EVPLAN - Ethernet Virtual Private LAN), ki uporabljajo Ethernet vmesnike in obstoječih časovno multipleksiranih storitev je potrebno načrtovati omrežja, ki bodo omogočala zlitje obstoječih in novih tehnologij.

Telekomunikacijsko omrežje lahko glede na funkcionalnost razdelimo na dva sklopa:

- hrbtenično omrežje
- dostopovno omrežje

Hrbtenično omrežje (pojavlja se tudi ime transportno omrežje) je omrežje, ki ga tvorijo oprema in povezave med opremo, ki se nahaja na lokacijah ponudnika storitev. Dostopovni del omrežja pa zagotavlja povezavo uporabnika v omrežje operaterja. Medtem ko se na dostopovnem delu konkurenca med različnimi operaterji na Slovenskem trgu počasi prebuja, pa na vseh telekomunikacijskih trgih zakonodaja omogoča veliko konkurenčnost na hrbteničnih širokopasovnih omrežjih (Gasmi, 2002, str 2). Prav zaradi vedno večje konkurenčnosti je želja ponudnikov storitev, da si zagotovijo univerzalno omrežje, saj je cenovno neupravičeno za vsako tehnologijo graditi posebno omrežje. Zaradi univerzalnosti je načrtovanje vsakega dela omrežja zelo pomembno. Razvoj opreme in graditev omrežij poteka v smeri univerzalne opreme, to je opreme, ki bi v enem vstavku – elementu združevala enotno platformo za različne tipe vmesnikov, od obstoječih PDH (plesiohrona digitalna hierarhija), SDH (sinhrona digitalna hierarhija) do Ethernet vmesnikov. S tem bi se znatno znižali stroški investicije in vzdrževanja. Sam transportni del, lahko mu rečemo tudi linijski del, pa mora upoštevati sedanje in bodoče želje po pasovni širini. Trenutno se na linijskem delu uporabljajo pasovne širine od 155 Mbit/s pa do 10 Gbit/s. Z razvojem Ethernetnih storitev pa se bodo potrebe po pasovni širini povečale na $n \times 10$ Gbit/s. Torej mora biti linijski del omrežja sposoben zagotoviti potrebno pasovno širino ob upoštevanju ustrezne kvalitete.

Zaradi navedenega je pri načrtovanju omrežij zelo pomembno določiti prave smernice razvoja omrežja. V prvi vrsti to pomeni, da je potrebno oceniti ali nadgrajevati obstoječa omrežja ali graditi povsem novo omrežje. Odločitev za eno ali drugo opcijo temelji na podrobni proučitvi vseh dejavnikov, saj ima vsaka varianta svoje prednosti in slabosti.

Ponudniki telekomunikacijskih storitev se bodo za določeno tehnično rešitev odločili na osnovi določenih kriterijev, med katere štejemo: razvoj nove infrastrukture ali nadgradnja obstoječe, kvaliteta storitev, varnost, morebitne bodoče širitve, naložbe v osnovna sredstva (CAPEX - Capital Expenditure), obratovalni stroški (OPEX - Operational Expenditure),.... Upoštevanje vseh kriterijev pri sprejemanju tehnične rešitve je izjemno pomembno, saj najboljša omrežja ne prinašajo vedno dobiček (Courcoubetis, 2003, str 7). investicije v takšna omrežja so zelo visoke in jih ne moremo upravičiti z vedno nižjimi cenami telekomunikacijskih storitev.

1.1. TRENDI V TELEKOMUNIKACIJAH

V zadnjih letih se pojavljajo nove storitve, ki predstavljajo vedno večji del prihodka ponudnikov telekomunikacijskih storitev. Te storitve vsebujejo širokopasovni dostop, razširljivost oziroma pasovno širino na zahtevo, dostavljanje vsebin, navidezna zasebna omrežja (VPN - Virtual Private Network) in druge upravljane storitve. Istočasno se princip omrežij iz vodovno-komutiranih zvez spreminja v paketno-orientirane.

Telekomunikacijsko omrežje je zgrajeno iz različnih gradnikov, ki skupaj tvorijo določeno celoto. Na izbiro gradnikov – elementov omrežja pa vplivajo mnogi dejavniki, kot so namen uporabe, zmogljivost, zanesljivost, razširljivost, modularnost, ...

Namen uporabe je dejavnik, ki nam določa ali bomo omrežje uporabljali samo za zadovoljevanje lastnih potreb ali pa bo namenjen tudi širšemu krogu uporabnikov. V primeru, da omrežje uporabljamo samo za lastne namene, lahko govorimo o zasebnih omrežjih, medtem ko z omrežji za širšo uporabo razpolagajo ponudniki storitev. Ponudniki storitev so lahko hitro rastoča nova podjetja ali nacionalni operaterji telekomunikacij.

Zaradi vsesplošne globalizacije so omrežja vedno bolj prepletena med seboj, lahko s stališča uporabnih vsebin ali pa samo v smislu koriščenja določene infrastrukture. Zaradi tega prihaja do povezovanja omrežij med seboj, kar pa zaradi različnih tipov opreme predstavlja lahko težave. V izogib težavam in potrebam uporabnikov po čimbolj univerzalni opremi, prihaja do vedno večje standardizacije vmesnikov s katerimi lahko med seboj povezujemo opremo.

V današnjih časih so najbolj razširjeni naslednji vmesniki:

a) za Ethernet

- EPL @ 10/100 Mbit/s, GbE, 10 GbE

- E-VPN (EVPL, EPLAN, EVPLAN)

b) za zasebne/najete linije

- PDH (2...140 Mbit/s), SDH (VC-4...VC..4-16)

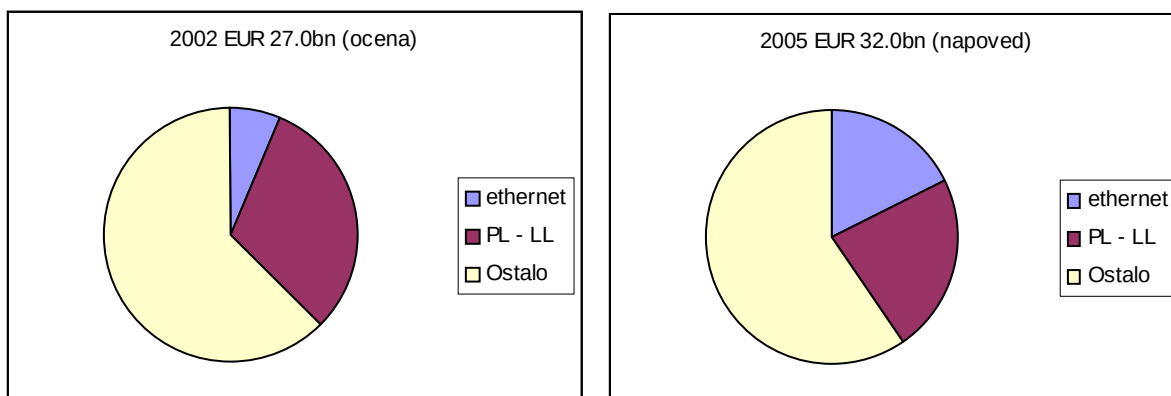
c) za pomnilniška omrežja (SAN (Storage Area Network) aplikacije)

- Vlakenski kanal (FC – Fibre Channel(1..4 Gbit/s), zveza podjetniških sistemov (ESCON – Enterprise System CONnection), zveza vlakenskih kanalov (FICON – Fibre Channel CONnection), GbE

d) za valovno dolžine

- 2,5 in 10 Gbit/s

Klasična telefonija v celotnem kosu pogače imenovane dobiček zaseda vedno manjši del, medtem ko dobiček od podatkovnih storitev narašča. Z enakimi trendi se srečuje tudi Telekom Slovenije (Slovenia Telecommunicatins Report Q1 2005 – str. 20). Povečanje dobička ni tako veliko kakor je bilo pričakovati v začetku, vendar vztrajno narašča.



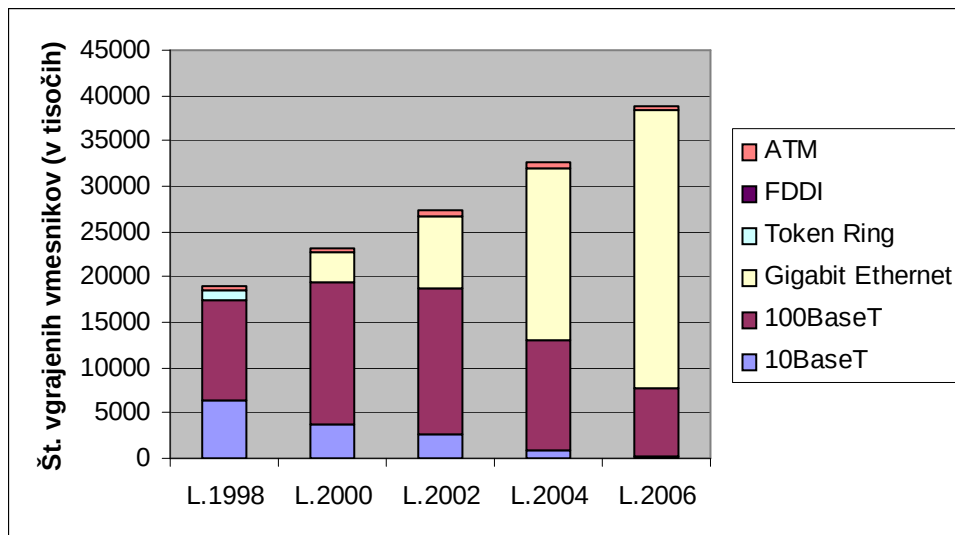
Legenda:

- Ethernet: vključuje EPL (LES), L2-VPN (EVPL, EPLAN, EVPLAN)
- PL-LL: poslovne podatkovne storitve (najete linije)
- Ostalo: vključuje IP-VPN, asinhroni prenosni način (ATM – asynchronous transfer mode), posredovanje blokov (FR – Frame Relay) , digitalni naročniški vodi (XDSL – X Digital subscriber line), digitalno omrežje z integriranimi storitvami (ISDN – Integrated services digital network), X.25, komutirana večmegabitna podatkovna storitev (SMDS – Switched multi-megabit data services)),

Slika 1: Prihodki od podatkovnih storitev v Evropi (Lum, 2004, str. 4)

Graf prihodkov (slika 1) nam prikazuje naraščanje dobička iz naslova podatkovnega prometa, hkrati pa nam prikazuje porast deleža Ethernet vmesnikov v skupnem deležu.

Iz grafa števila vgrajenih vmesnikov (slika 2) lepo vidimo, da Ethernet v omrežjih širokega dosega narašča, medtem ko ATM, optično porazdeljeni podatkovni vmesnik (FDDI- Fibre Distributed Data Interface), FR niso več tako relevantni. Tudi med Ethernet vmesniki opazamo razlike, saj 10BaseT izginja, 100BaseT še vedno predstavlja velik del, GbE vmesniki pa vedno bolj dominirajo.



Slika 2: Število vgrajenih vmesnikov v tisočih (Jelinek, 2003, str. 5)

Prav zaradi velikega razmaha Ethernet vmesnikov morajo ponudniki storitev svoja omrežja v kar največji možni meri zasnovati tako, da bodo lahko ponudili Ethernet vmesnike.

2. ODPRTE ARHITEKTURE OMREŽIJ

2.1. REFERENČNI MODEL POVEZOVANJA ODPRTIH SISTEMOV ISO - OSI

OSI (Open System Interconnection) referenčni model bazira na priporočilih mednarodne organizacije za standardizacijo ISO (International Standards Organization). Model se imenuje ISO OSI referenčni model in opisuje, kako poteka komunikacija med programsko aplikacijo enega računalnika in skozi omrežje do programske aplikacije v drugem računalniku, torej omogoča boljše razumevanje delovanja komunikacije med napravami. Sestavljen je iz sedmih slojev, ki določajo in specificirajo delovanje samo na določenem delu dogajanja v omrežju.

Sedem slojev (slika 3) OSI referenčnega modela se deli v zgornje in spodnje sloje:

- zgornji trije sloji zagotavljajo podporo uporabniškim aplikacijam in so običajno izvedeni s programsko opremo,

- spodnji štirje so usmerjeni k problemu prenosa in izvedeni s programsko in strojno opremo.

Aplikacijski sloj
Prestavitveni sloj
Sloj seje
Transportni sloj
Omrežni sloj
Povezovalni sloj
Fizični sloj

Slika 3: Sedem slojni OSI referenčni model

2.1.1. Postopek izmenjave informacij

Sloji OSI referenčnega modela komunicirajo z enakoležnim slojem na drugi strani oziroma sistemu (peer to peer). Poleg same uporabne informacije – podatkov se prenašajo tudi oblike nadzornih informacij za pravilno komunikacijo (Frančeškin, 2001, str. 6).

Kontrolne informacije se lahko dodajajo pred ali na koncu podatkov zgoraj ležečega sloja. V primeru, ko se kontrolne informacije dodajajo pred podatki, to imenujemo glava, rep pa ko se nahajajo na koncu podatkov zgoraj ležečega sloja. Spodaj ležeči sloji lahko poleg podatkov vsebujejo glave in repe vseh višje ležečih slojev (Frančeškin, 2001, str 8).

Postopek izmenjave informacij poteka na oddajni strani z dodajanjem kontrolnih informacij in se nato preko fizičnega sloja v celoti prenese na medij omrežja. Na sprejemni strani fizični sloj sprejme informacijo in jo prenese na povezovalni sloj, ki prebere kontrolno informacijo. Nato se kontrolna informacija (glava ali rep) odstrani in se omrežnemu sloju posreduje preostanek informacije. Vsak sloj na sprejemni strani opravi enak postopek: prebere kontrolno informacijo enako ležečega sloja na oddajni strani, jo odstrani in preostale podatke posreduje naprej (Frančeškin, 2001, str. 9).

2.1.2. Struktura modela

Fizični sloj

Fizični sloj definira mehanske, proceduralne in funkcionalne lastnosti za vzpostavitev, vzdrževanje in porušitev fizične povezave med dvema sistemoma v omrežju. V tem sloju so določeni napetostni nivoji, napetostne spremembe v odvisnosti od časa, maksimalna razdalja prenosa in fizične lastnosti konektorjev (Jecl, 2003, str. 16).

Povezovalni sloj

Povezovalni sloj zagotavlja zanesljiv prenos podatkov preko fizične zveze v omrežju. Njegova naloga je torej dobro definiranje strežnega vmesnika omrežnemu sloju, kar pomeni zagotovitev vmesnika različnim protokolom omrežnega sloja, razdeljevanje bitov fizičnega sloja v okvirje, ravnanje z napakami pri prenosu in uravnavanje toka okvirjev, da sprejemnih napak ne zasičijo hitre oddajne naprave (Jecl, 2003, str.17).

Omrežni sloj

Omrežni sloj zagotavlja usmerjanje podatkov od izvora do cilja preko več vmesnih povezav po kar najboljši možni poti, zato mora poznati topologijo komunikacijskega podsistema, izbrati primerne poti za prenos in reševati težave, ki se pojavljajo pri potovanju skozi različne tipe omrežij (Jecl, 2003, str.17).

Transportni sloj

Transportni sloj omogoča zanesljiv, cenovno učinkovit transport podatkov od izvirne do ciljne naprave in obratno. Funkcije transportnega sloja vsebujejo kontrola pretoka, multipleksiranje, upravljanje z navideznimi povezavami ter kontrolo napak in odpravljanje napak, npr. z zahtevo po ponovni oddaji pokvarjenega paketa (Frančeškin, 2003, str 11).

Sloj seje

Sloj seje vzpostavi, vzdržuje in zaključi komunikacijo med dvema predstavitvenima slojema. Komunikacija sej je sestavljena iz zahteve in odgovora, ki jih usklajuje protokol sloja seje, in se odvija med aplikacijami na različnih napravah v omrežju. (Frančeškin, 2001, str.11).

Predstavitveni sloj

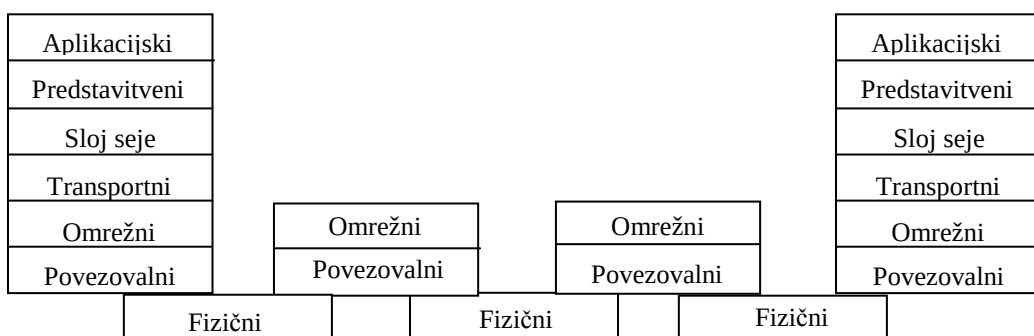
Predstavitveni sloj zagotavlja različne kodirne in pretvorbene postopke, ki se izvajajo nad podatki aplikacijskega sloja. Te funkcije zagotavljajo, da bodo informacije, ki jih bo poslal

aplikacijski sloj enega sistema, aplikacijski sloj drugega sistema znal interpretirati (Frančeškin, 2001, str.11).

Aplikacijski sloj

Aplikacijski sloj je OSI sloj, ki je najbližje končnemu uporabniku. Sloj definira uporabniške programe, ki omogočajo izvajanje. Sloj zagotavlja identifikacijo partnerja s katerim komuniciramo, ugotavlja vir sredstev, ki so na voljo, ter zagotavlja sinhronizirano komunikacijo.

2.1.3. Interakcija slojev v omrežju



Slika 4: Interakcija slojev v omrežju

Usmerjevalniki delujejo na omrežnem nivoju ISO OSI referenčnega modela. Na sliki 4 je prikazana interakcija slojev v omrežju za primer povezave preko usmerjevalnika (Held, 2003, str.206).

2.2 SKLADOVNICA INTERNETNIH PROTOKOLOV

OSI referenčni model ni edini model, ki opisuje komunikacijske procese. Paralelno z standardizacijo OSI referenčnega modela, so bile v ZDA razvite alternativne tehnike, poznane kot skladovnica protokolov TCP/IP (Transport Control Protocol/Internet Protocol). V letu 1983 je ameriško obrambno ministrstvo ta protokol privzelo kot standard. Zaradi velikih možnosti so se protokoli TPC/IP v zadnjih letih razširil tudi zunaj meja ZDA.

Razširjenost protokolov TCP/IP sloni na veliki komercialni uspešnosti, ki je bila dosežena skozi implementacijo IP in TCP protokola v omrežju Internet. Skladovnica protokolov TCP/IP je omogočila, da lahko dva različna računalnika izmenjata informacijo, da jo pravilno

razumeta in spremenita v obliko razumljivo tako lokalnemu računalniku kot njegovim uporabnikom.

Sredi devetdesetih se je drastično povečalo zanimanja za Internet, s tem pa tudi trg za TCP/IP produkte. OSI protokol ni mogel konkurirati na tržišču, medtem ko je zaradi svoje ekonomske učinkovitosti TCP/IP implementacija na razpolago za vse tipe in oblike računalnikov (Iskratel, Technology, 2000, str. 40).



Slika 5: Primerjava slojev OSI in TCP/IP referenčnega modela

2.2.1. Struktura skladovnice TCP/IP

Sloj med gostiteljem in omrežjem

Sloj 1 in 2 nista definirana zato, ker je bil TCP/IP referenčni model definiran kot protokol, neodvisen od fizičnega medija za prenos. Ta sloj ustreza fizičnemu in povezovalnemu sloju OSI referenčnega modela in ima tudi enake funkcije (slika 5).

Na tem nivoju se za prenos protokolov TCP/IP uporabljajo različne tehnologije opredeljene v standardih: IEEE 802.3, IEEE 802.4, IEEE 802.5, IEEE 802.6, FDDI, ATM, X.25,...(Iskratel, Technology, 2000, str. 41).

Omrežni sloj

Omrežni sloj v delovanju drži celotno arhitekturo, saj je njegova naloga dovoljenje gostiteljem za pošiljanje paketov v katerokoli omrežje, po katerem potujejo neodvisno proti svojemu cilju. Gre za nepovezavni medomrežni protokol, tako da paketi lahko prispejo na cilj v različnem vrstnem redu, kot so bili poslani. Omrežni sloj definira standardni paketni format

in protokol, ki se imenuje internetni protokol IP (Internet Protocol). Naloga omrežnega protokola je pošiljanje IP paketov glede na cilj. Poleg izogibanja zamašitvam je tukaj paketno usmerjanje bistvenega pomena. Zaradi teh razlogov lahko omrežni sloj istovetimo po funkcionalnosti z omrežnim slojem OSI modela.

Transportni sloj

Transportni sloj skrbi za zanesljiv transport podatkov med dvema računalnikoma. Funkcionalnost tega sloja ustreza transportnemu sloju OSI modela. Sestavljen je iz protokol za krmiljenje prometa (TCP – Transport Control Protokol) in uporabniškega datagramskega protokola (UDP – User Data Protokol).

TCP je povezavno orientiran protokol in poskrbi za zanesljiv prenos podatkov brez napak. Cena za to je dodaten prenos podatkov pri vzpostavitvi povezave in njeni prekinitvi, več procesorske moči za popravljanje napak, saj nekatere aplikacije brez zanesljivega prenosa težko delujejo (Jerman Blažič, 2000, str. 17).

Drugi protokol je UDP protokol. Je nezanesljiv, nepovezaven in namenjen aplikacijam, ki ne želijo TCP zaporedij in kontrole pretoka. Za prenos se ne uporablja prenos dodatnih podatkov potrebnih za vzpostavitev in vzdrževanje povezave (Jerman Blažič, 2000, str. 17).

Aplikacijski sloj

Aplikacijski sloj zagotavlja storitve primerne za različne vrste aplikacij, ki si želijo uporabljati omrežje. V OSI modelu trije različni sloji definirajo iste naloge.

Na fizičnem sloju se med dvema sistemoma prenašajo biti, na povezovalnem sloju se biti spravijo v okvirje, v omrežnem sloju govorimo o prenosu podatkov, na transportnem sloju se podatkovni promet odvija po segmentih. V vseh višjih slojih gre za prenos sporočil.

2.3. PRENOSNE TEHNOLOGIJE - ETHERNET

Ethernet lahko zaradi njegovih različnih topologij, signalnih metod in prenosnih medijev poimenujemo kot omrežje za vsakogar (Held, 2003, str. 34). Ethernet omrežju, ki uporablja za prenosni medij sukane pare ali koaksialni kabel, lahko domet podaljšamo z uporabo optičnih vlaken. Za Ethernet omrežje lahko uporabimo pravilo – izbira ne posnemanje.

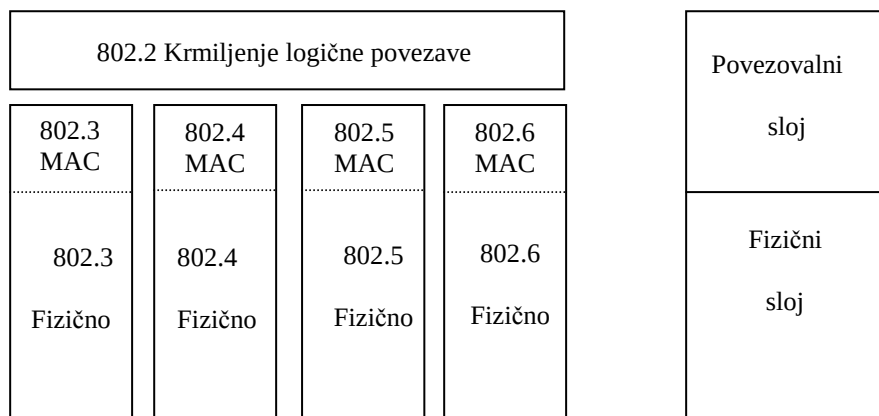
Xerox Corporation je leta 1970 razvil originalni Ethernet kot eksperimentalno koaksialno omrežje s hitrostjo prenosa 3 Mbps in uporabo metode sodostopa z zaznavanjem nosilca in z detekcijo trkov (CSMA/CD – Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) za povezavo lokalna omrežja (LAN – Lokal Area Network) z za takratne čase visokimi

prometnimi zahtevami. Zaradi pozitivnih rezultatov je razvoj potekal naprej in je leta 1980 vodil v skupni razvoj 10 Mbps Ethernet verzije 1.0, ki jo je specificiral konzorcij treh podjetij Digital Equipment Corporation, Intel Corporation in Xerox Corporation. (Held, 2003, str. 66).

Pozneje je združenje IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) definiralo standard IEEE 802.3, ki ga popularno imenujemo Ethernet (Koruza, 2000, str. 20), ki temelji na Ethernet specifikaciji verzije 1.0. Osnutek standarda je bil odobren leta 1982 v 802.3 delovni skupini in kot uraden standard izdan 1985 (ANSI/IEEE Std. 802.3-1985). 10 Mbit/s standardu so zaradi potreb po večjih pasovnih širinah leta 1995 sledili Fast Ethernet s pasovno širino 100 Mbit/s in sredi leta 1997 Gigabit Ethernet z 1 Gbit/s. Zmotno je bilo pričakovati, da bo zmogljivost omrežja z 1 Gbit/s dovolj za nekaj časa. Kmalu se bodo namreč pojavile storitve, ki bodo uporabile pasovno širino večjo kot 1 Gbit/s. Obstajajo organizacije, kot so ponudniki internetnih storitev, ki se bodo srečavali s potrebami po 10 Gbit/s in še večjimi pasovnimi širinami. Res pa je tudi, da se bo marsikatera organizacija zadovoljila z manjšo pasovno širino.

2.3.1. Standard IEEE 802

V začetku 1980 je bil oblikovan IEEE projekt 802, katerega naloga je bila razvoj standardov, kateri bi skupaj povezali opremo različnih ponudnikov za LAN omrežja in s tem poenotili opremo, povečali tržišče in znižali cene razvoja in končnih izdelkov. Naloga skupine je bila tudi spodbujanje – razvoj standardov IEEE/ANSI z ekvivalentnimi ISO standardi znotraj nivojev 1 in 2 ISO referenčnega modela (Held, 2003, str. 48).



Slika 6: Povezava med IEEE standardi in OSI referenčnim modelom

Organizacija IEEE je razdelila povezovalni sloj OSI referenčnega modela v dva podsloja (Johnson, 2002, str. 80): sloj krmiljenja logične povezave (LLC) in sloj krmiljenja dostopa do prenosnega sredstva (MAC) (slika 6). Takšna delitev omogoča dostop do medija, neodvisno

od vzpostavitve, vzdrževanja in končanja logične povezave med dvema delovnimi postajama. Torej LLC podsloj upravlja s komunikacijo med napravami, MAC podsloj pa upravlja s protokolom dostopa do fizičnega medija.

Odbor IEEE 802 standardov je sestavljen iz 13 glavnih skupin, saj je bilo potrebno poskrbeti za veliko število različnih pogojev in zakonitosti, ki so nastale s pojavom različnih zahtev, namenjenim zadovoljevanju potreb različnim uporabnikom. Zato je IEEE prevzel CSMA/CD, Token Bus in Token-Ring kot 802.3, 802.4 in 802.5 standarde.

IEEE 802.3 odbor zajema veliko število projektnih skupin, ki skrbijo za definiranje in razširjanje CSMA/CD protokola. Nekateri so definirani že nekaj let, zaradi razvoja pa se pojavljajo vedno novi. Spodaj je navedena skupina devetih IEEE 802.3 CSMA/CD (Held, 2003, str.50) projektov:

- 803.2aa Maintenance Revision #5 (100 Base-T)
- 802.3ab 1000Base – T
- 802.3ad Link Agregation
- 802.3c vLAN tag
- 802.3ae 10 Gbps Ethernet
- 802.3ag Maintenance Revision #6
- 802.3i Ethernet (10BASE – T)
- 802.3μ Fast Ethernet
- 802.3x Full Duplex
- 802.3z Gigabit Ethernet

2.3.2. Metoda sodostopa z zaznavanjem nosilca in z detekcijo trkov (CSMA/CD)

CSMA/CD projekti temeljijo na CSMA/CD protokolu, ki omogoča, da lahko dve ali več postaj skupaj delijo prenosni medij, brez nekega nadzora, dostopovnega žetona ali dodeljenega časovnega intervala, ki omogoča oddajanje.

To metodo lahko opišemo kot vljudne ljudi na sestanku. Udeleženci sestanka ne skačejo en drugemu v besedo ampak počakajo in začnejo govoriti šele ko predhodnik utihne, torej po kratki pavzi. Če slučajno začneta dva govoriti, potem počakata naključno dolg časovni interval preden nadaljujeta (Koruza, 2000, str.22).

Metoda je zelo enostavna in učinkovita tako dolgo, dokler ne želi preveč ljudi govoriti v enakem časovnem intervalu. V tem primeru drastično naraste kolizija (trki) in performance padejo. V primeru half-duplex komunikacije si lahko medij istočasno deli 40 % uporabnikov. V primeru večjega števila uporabnikov pride do toliko trkov, da se sistem sesuje.

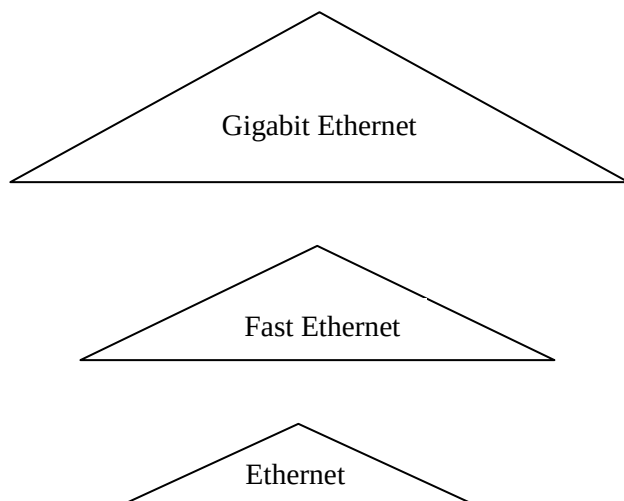
Pravila dostopa so združena v kratici CSMA/CD ki pomeni naslednje:

- Carrier sense – vsaka postaja nepretrgoma »poslušaj« promet na mediju, da zazna kdaj se zgodi časovni presledek – vrzel med oddajanimi okvirji.
- Multiple access – postaja lahko prične oddajati kadarkoli, ko na mediju ni prometa
- Collision detect – če dve ali več postaj začnejo skoraj istočasno v istem CSMA/CD omrežju (kolizijska domena) oddajati, bitni pretok iz postaj, ki oddajajo interferira med seboj in je oddana informacija nerazumljiva. Če se to zgodi, mora vsaka postaja zaznati kolizijo in mora prenehati oddajati. Potem mora počakati naključni časovni interval (determinira ga back-off algoritem) preden ponovno pošlje okvir (Bedell, 2003, str. 17).

V primeru full-duplexa, kjer je oddaja ločena od sprejema lahko vsi uporabniki istočasno uporabljajo prenosni medij (Koruza, 2000, str.22).

Pod dežnikom IEEE 802.3 standarda so vključeni projekti, ki zajemajo različne oblike prenosa in se razlikujejo predvsem v prenosnem mediju, dometu in hitrosti prenosa. Za prenosni medij se uporabljajo koaksialni kabli, parice ali optična vlakna. Domet je pogojen predvsem z medijem. Potrebe po hitrosti prenosa se z razvojem novih storitev neprestano večajo, s tem pa se povečuje hitrost prenosa, danes govorimo že o 10 Gbit/s prenosni hitrosti.

Skladno s povečevanjem hitrosti prenosa so se pojavljali tudi novi fizični vmesniki.



Slika 7: Tri skupine Ethernet vmesnikov glede na hitrost prenosa

Prva skupina so vmesniki, ki so definirani za 10 Mbit/s pasovno širino prenosa. V tej skupini omenimo vmesnike: 10 BASE-5, 10 BASE-2 in 10 BASE-T. Število na začetku imena vmesnika pove, da gre za hitrost 10 Mbit/s, medtem, ko nam oznaka na koncu imena vmesnika pove za kakšen medij se uporablja predmetni vmesnik. V primeru, 10 BASE – 5 in 10 BASE – 2 se uporabi koaksialni 10 ohm kabel, medtem, ko je v primeru 10 BASE – T

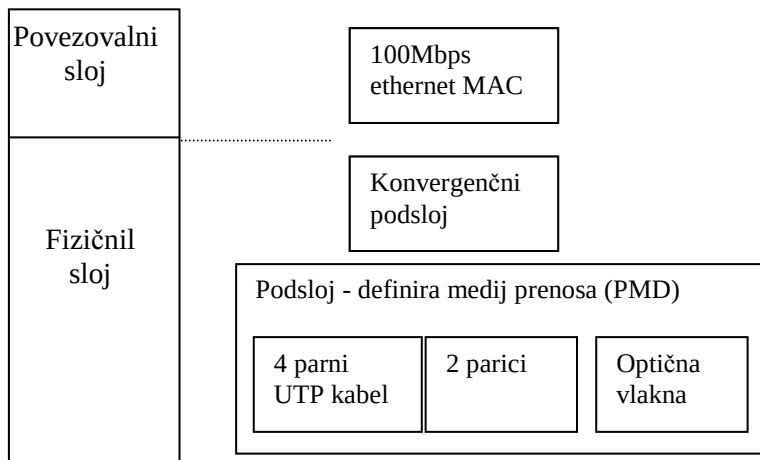
uporabljena neoklopljena sukana parica. Zelo pomemben podatek, ki je skrit v sami oznaki vmesnika, je tudi razdalja med dvema elementoma, oziroma domet, ki ga dosežemo z navedenim vmesnikom.

Dometi 10Mbit/s Ethernet vmesnikov so (Held, 2003, str. 76):

- pri 10 BASE – 2 je razdalja 185m,
- pri 10 BASE – 5 je razdalja 250 m,
- pri 10 BASE – T je razdalja 100m.

Fast Ethernet pravzaprav ni LAN, ampak je to termin, ki ponazarja serijo treh 100Mbit/s fizičnih vmesnikov specificiranih v IEEE 802.3u dodatku (Held, 2003, str 111). V tej skupini so specificirani naslednji vmesniki: 100 BASE-TX, 100 BASE-FX in 100 BASE-T4. Vsaka specifikacija podpira MAC protocol in je torej kompatibilna z predhodnim Ethernet/IEEE 802.3 standardi.

100 BASE-T vmesnik definira 100 Mbit/s delovanje preko dveh paric kabla kategorije 5 UTP z uporabo CSMA/CD protokola. 100 BASE-FX definira delovanje preko optičnih vlaken (večrodovna vlakna), medtem ko 100 BASE-T4 podpira delovanje preko 4 paric.



Slika 8: Povezava med spodnjima nivojema ISO OSI referenčnega modela in 100 Mbit/s Ethernet

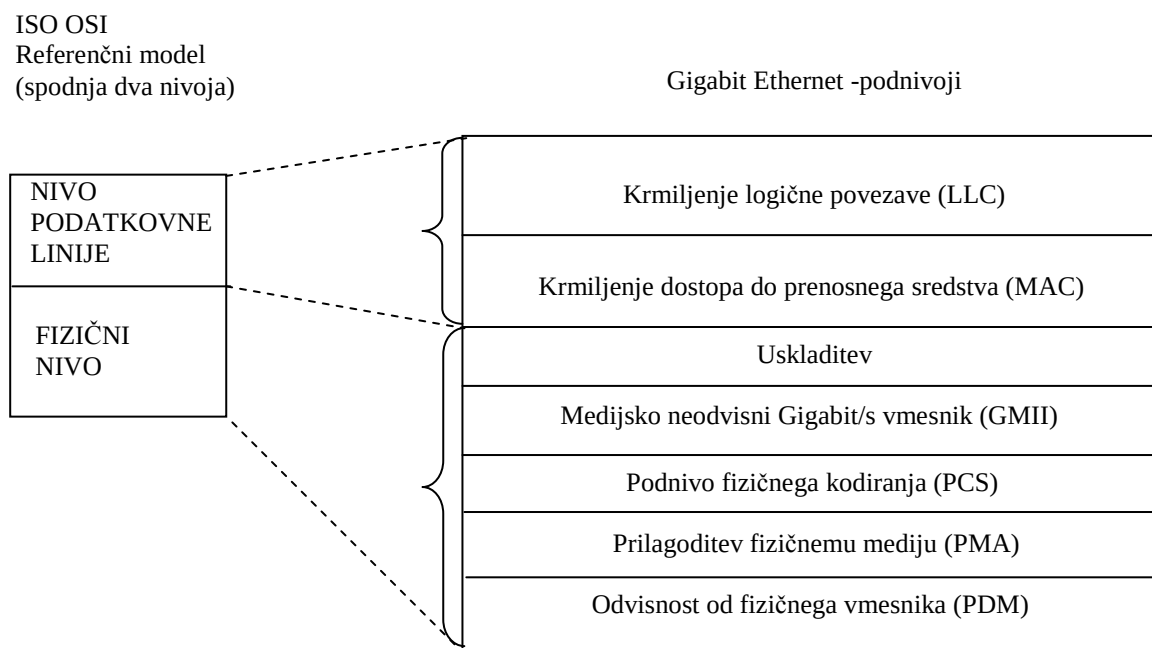
Standardizacija 100 BASE-T pomeni razširitev predhodnih IEEE 802.3 standardov. Pri MAC nivoju je prilagoditev zaradi povečanja hitrosti delovanja iz 10 Mbit/s na 100 Mbit/s minimalno, saj je bil pri razvoju 10 BASE-T MAC nivo razvit neodvisno od hitrosti podatkov. Pri fizičnem nivoju pa je bilo potrebno upoštevati, da Fast Ethernet podpira prenos preko treh fizičnih medijev. Zaradi tega je bil fizični sloj razdeljen na dva nivoja, kar je prikazano tudi na sliki 8. (Held, 2003, str.112). Podsloj odvisen od fizičnega medija (PMD –

Physical Media Dependent) omogoča uporabo ustreznega medija, medtem ko konvergenčni podsloj skrbi za preslikavo med PMD in Ethernet MAC podslojem.

Fast Ethernet vmesniki omogočajo prenos med dvema napravama do 200 m preko paric in 400 m preko večrodovnih optičnih vlaken (Held, 2003, str. 129).

Gigabit Ethernet predstavlja razširitev 10 Mbit/s in 100 Mbit/s IEEE 802 Ethernet standardov. Omogoča 1000Mbit/s hitrost prenosa in podpira CMA/CD dostopovni protokol, ki omogoča razširljivost od 10Mbit/s do 1Gbit/s.

Prav tako kot Fast Ethernet, tudi struktura Gigabit Ethernet omogoča delovanje preko različnih medijev. Zaradi potrebe po različnih medijih prenosa je struktura razdeljena na različne podnivoje, ki omogočajo različno kodiranje. Povezavo med spodnjima dvema nivojema OSI ISO referenčnega modela in Gigabit Ethernet podnivoji je prikazana na sliki 9.



Slika 9: Povezava med spodnjima nivojema ISO OSI referenčnega modela in Gigabit Ethernet podnivoji

Primerjava zgradbe Fast Ethernet in Gigabit Ethernet podnivojev nam pokaže določene podobnosti. Prilagoditveni sloj nam omogoča transparentni vmesnik med MAC podnivojem in fizičnim nivojem – podnivo GMII. Pod GMII nivojem so enaki podnivoji kakor pri Fast Ethernet strukturi.

Za svoj prenos Gigabit Ethernet podpira pet vrst medijev, s katerimi je pogojen tudi domet naprav. Za vsako vrsto medija je določen tudi svoj tip vmesnika (Held, 2003, str. 142), ki jih lahko združimo v naslednje skupine:

Vmesnik (Gigabit Ethernet)	Prenosni medij	Oddajna razdalja
• 1000Base – LX	enorodovno vlakno	5 km
• 1000Base – LH	enorodovno vlakno	70 km
• 1000Base – LX	večrodovno vlakno	550 m
• 1000Base – SX	večrodovno vlakno	550 m
• 1000Base – CX	STP sukane parice	25 m
• 1000 Base – T	UTP, kategorije 5	100 m

Navedene hitrosti prenosa od 10 Mbit/s do 1 Gbit/s Ethernet uporabljajo različne fizične vmesnike. Zaradi samih fizičnih zakonitosti se pri večjih hitrostih prenosa uporabljajo kot fizični medij optična vlakna, medtem ko se pri majhnih hitrostih uporablja baker – sukane parice ali koaksialni kabel. Iz tega stališča je tudi domet med dvema napravama samo nekaj 100 m. Za večje razdalje je potrebno uporabljati konvertorje – pretvorbo signala iz električne v svetlobno obliko. Pri Fast Ethernetu se uporabljajo tudi že optični vmesniki (za večrodovna vlakna), pri Gigabit Ethernetu pa je večina vmesnikov že optičnih, tudi že za enorodovna vlakna na valovni dolžini 1550 nm, kar omogoča prenos na daljše razdalje.

Gbit/s prenos je za marsikatero organizacijo danes težko predstavljava potreba. Za določene organizacije pa je Gbit/s prenos nujna potreba. Zaradi sedanjih in bodočih potreb takšne organizacije potrebujejo večji pretok informacij kot je 1 Gbit/s in to je 10 Gbit/s. Nova generacija standardov je povečala operativno hitrost delovanja CSMA/CD na 10 Gbit/s. Kakor je bilo že omenjeno Gigabit Ethernet omogoča prenos na večje razdalje z uporabo optičnih vmesnikov za enorodovna vlakna. Prav zaradi možnosti prenosa na večje razdalje, sama zmogljivost 1Gbit/s ni dovolj, zato se je pojavil tudi 10 Gigabit Ethernet (10GbE) vmesnik, ki je bil leta 2002 standardiziran kot 802.3ae (Horak, 2002, str. 4).

Struktura 10 Gigabit Ethernet je zelo podobna Gigabit Ethernet strukturi. Osnovna razlika je v uporabi 10 Gigabit Ethernet Media Independent Interface (10 GMII), ki poskrbi za vmesnik med MAC in fizičnim nivojem. Zaradi tega vmesnika je razlika tudi v širini povezave med nivojema. Dodan je medijsko odvisen vmesnik, ki poskrbi za povezavo na posamezen fizični vmesnik. Prav zaradi velike zmogljivosti in velikih razdalj so vsi vmesniki vezani samo na optični medij in so naslednji (Held, 2003, str. 152):

Optični vmesnik	Tip vlakna	Oddajna razdalja
• 850 nm serijski	večrodovno vlakno	65 m
• 1310 nm WWDM	večrodovno vlakno	300 m
• 1310 nm WWDM	enorodovno vlakno	10 km
• 1310 nm serijski	enorodovno vlakno	10 km
• 1550 nm serijski	enorodovno vlakno	40 km

Pričakovati je bilo, da bo uporaba 10 Gigabit Ethernet lahka naloga, vendar ni. Medtem ko uporaba 10 Gigabit Ethernet v LAN okolju pomeni prenos hitrosti 10 krat Gigabit Ethernet, pa uporaba v WAN okolju pomeni optični prenos OC-192, kar je približno 9,29 G uporabniške informacije in to pomeni veliko zmogljivost. Torej lahko pričakujemo razvoj standarda, ki bo podpiral 10G hitrost delovanja, tako v LAN kot WAN omrežjih.

3. HRBTENIČNO OMREŽJE TELEKOMA SLOVENIJE (predmet raziskave in ovrednotenja)

Razvoj ethernet vpliva na oblikovanje omrežij, ki jih lahko razdelimo na hrbtenična omrežja in dostopovna omrežja.

Dostopovna omrežja so omrežja, ki so povezana na hrbtenična omrežja in omogočajo uporabniku individualen pristop na hrbtenično omrežje in imajo bolj zapleteno tehnologijo. (German, 2000a, str.1).

Hrbtenična omrežja podpirajo nase priključena manjša omrežja in zbirajo ter prenašajo promet, ki se generira v ostalih omrežjih, torej sami niso generatorji prometa. Optimizirana so za velike zmogljivost, dostopnost, zanesljivost in robustnost.

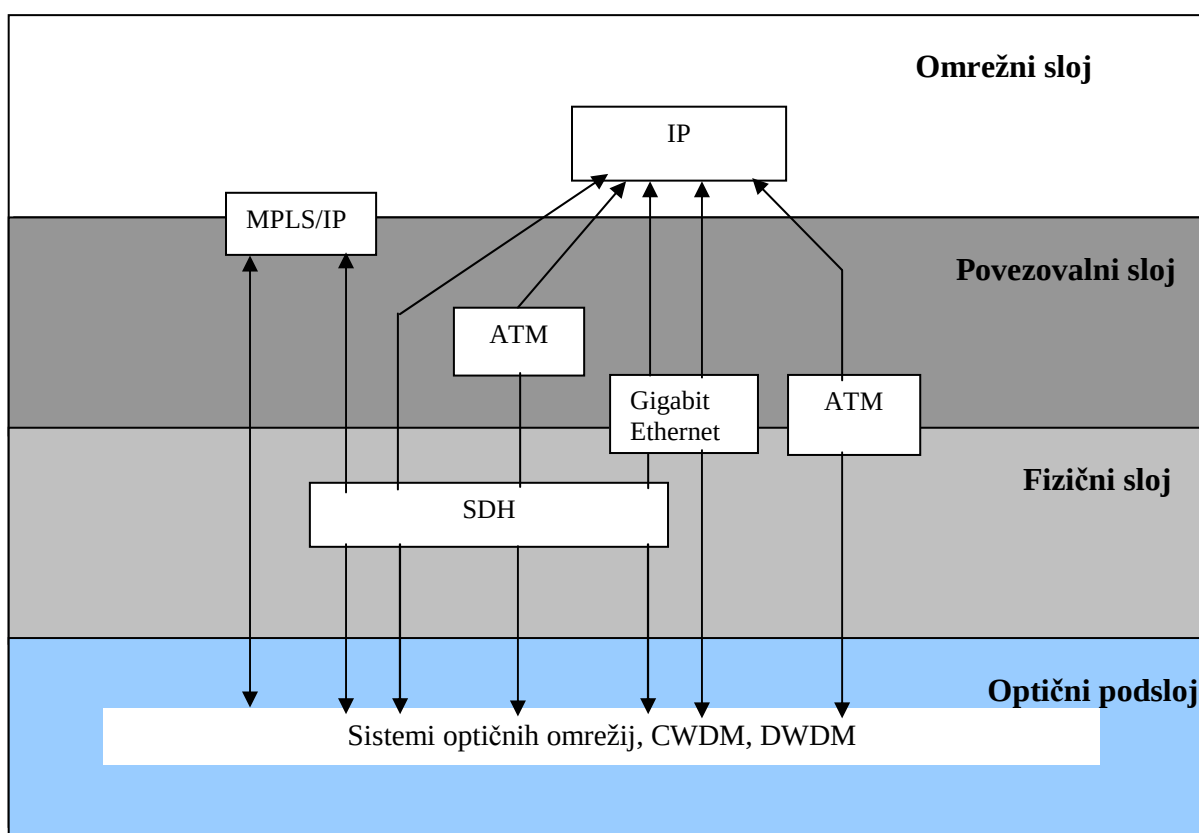
Dostopovna omrežja so v primeru, da je potrebno premagovati določene medkrajevne povezave, povezana preko hrbteničnih omrežij. Ker so hrbtenična omrežja namenjena prenašanju prometa na večje razdalje, je razumljivo, da omogočajo prenos različnih tipov prometa. Gradnja za vsako vrsto bi bila nesmiselna in neracionalna. Poleg tega hrbtenična omrežja velikih operaterjev uporabljajo tudi manjši uporabniki, saj je za njih bolj ugoden najem, kot graditev in vzdrževanje svojega omrežja.

3.1. PREGLED HRBTENIČNIH OMREŽIJ

Pri graditvi hrbteničnih omrežij uporabljamo različne tehnologije, ki so razvrščene po slojih OSI referenčnega modela. Pred nekaj leti se je pri gradnji omrežja uporabljalo veliko tehnologij za povezavo. Z časom je prišlo do spoznanja, da je možno izvesti omrežne funkcije

na različnih slojih OSI referenčnega modela, s tem pa tudi do različnih konceptov gradnje omrežja.

Osnovne omrežne funkcije je možno izvesti na različnih slojih OSI referenčnega modela (Kos, 1999, str. 250), kar je prikazano na sliki 10. Omrežje lahko gradimo tudi z gradniki – elementi, ki ne vsebujejo elementov na vseh treh nivojih, kar nam ponazarja primer IP preko SDH, kjer ni elementov povezovalnega sloja. Možna je tudi integracija več slojev v eno omrežno napravo, primer je večprotokolna komutacija za zamenjavo label (MPLS – Multi-service Provisioning Platform), ki predstavlja integracijo tehnologij omrežnega in povezovalnega sloja.



Slika 10: Prikaz tehnologij (protokolov) na posameznih slojih OSI referenčnega modela

Razvoj optičnih komunikacij omogoča, da je zmogljivost prenosa preko optičnih vlaken večja od potreb. Prav zaradi tega hrbtenična omrežja uporabljajo kot fizični medij optična vlakna. ATM tehnologija je v dostopovnih omrežjih še zelo razširjena, medtem ko v hrbteničnem delu, zaradi trenutno razvitih vmesnikov – 622Mbit/s – več ne sledi potrebam uporabnikov. Število vgrajenih ATM stikal je v zadnjem času praktično nespremenjeno (Borthick, 2004, str. 21).

Eden izmed razlogov stagnacije ATM-a je razvoj MPLS tehnologije, ki nam omogoča enostaven prehod proti IP infrastrukturi in hkrati brezprekinitveno implementacijo ATM prometa, kar je zelo pomembno s stališča dobičkonosnosti. Poleg tega je tudi velik napredek na področju programske opreme in s tem povezanih storitev, ki so jih uporabniki cenili pri ATMu – hitrost prenašanja informacije, dinamično uporabljanje pasovne širine in mnoge druge lastnosti, med drugim tudi implementacija z SDH – kar je pripomoglo k razvoju in masovni uporabi ethernet stikal in s tem povezanim znižavanju CAPEXa in OPEXa

S tega stališča lahko na fizičnem sloju in z njim povezanim optičnim podslojem uporabljamo dva koncepta prenosa:

- SDH kot predstavnik časovnega multipleksa TDM (Time Division Multiplex)
- Valovno dolžinsko multipleksiranje WDM (Wavelength Division Multiplex)

Veliki evropski Telekomi (British Telecom, Deutsche Telecom, France Telecom, Telecom Italia..) imajo svoja omrežja zgrajena tudi v SDH tehnologiji. Telekom Slovenije ni izjema, saj se še danes veliko naročnikov odloča za PDH in SDH vmesnike. Kakor je bilo predstavljeno v prvem poglavju, razvoj in trendi zahtevajo nove storitve in s tem povezane nove vmesnike, med katerimi je najpomembnejši Ethernet.

Prav zahteve po Ethernet vmesnikih pa velike ponudnike telekomunikacijskih storitev silijo, da svoja hrbtenična omrežja oblikujejo tako, da bodo omogočala tudi ethernet storitve. Zaradi tega se pojavlja vprašanje ali še naprej uvajati SDH tehnologije nove generacije ali v hrbtenični del vpeljati WDM tehnologijo. Na to vprašanje bomo poskušali odgovoriti v nadaljevanju.

3.2. ETHERNET PREKO SINHRONE DIGITALNE HIERARHIJE (SDH)

SDH je standard, ki določa mehanizme prenosa informacije v telekomunikacijah. Prvič je bil uveden v telekomunikacijska omrežja leta 1992. Od takrat se uvaja tako v hrbtenična kot dostopovna omrežja.

Že samo ime SDH pomeni, da govorimo o sinhronih signalih, to je takrat, ko se prehodi vršijo v istih časovnih trenutkih in so vsi omrežni elementi sinhronizirani med seboj. Prav standardizacija in s tem povezana sinhronizacija elementov med seboj, poleg tega pa tudi razvoj optičnih vlaken, je omogočil razvoj in razširitve SDH sistemov prenosa.

Razvoj SDH je bil prvotno namenjen transportu PDH signalov in s tem je bil tudi koncipiran oziroma oblikovan za prenos PDH signalov (ITU-T G 703), torej za prenosne hitrosti 2 Mbit/s, 34 Mbit/s in 155 Mbit/s. Prednost SDH pred PDH je bil tudi način multipleksiranja in s tem povezana možnost dostopa do posameznega dela signala v multipleksirani strukturi. Pri PDH je bilo potrebno demultipleksirati celoten signal, da smo prišli do želene informacije,

medtem ko se v SDH demultipleksira samo informacija, ki jo želimo. SDH sistemi prenosa so zgrajeni hierarhično in jih lahko ločimo po hitrosti prenosa:

SDH	Hitrost prenosa
• STM-0	51Mbit/s
• STM-1	155,52 Mbit/s
• STM-4	622,32 Mbit/s
• STM-16	2,4 Gbit/s
• STM-64	10 Gbit/s

SDH je zgrajen iz STM (sinhroni transportni modul) okvirjev, ki se delijo na del za čelno informacijo in del za uporabniško informacijo. Uporabniška informacija se prenaša preko tako imenovanih navideznih vsebnikov (VC – virtual container), ki so bili oblikovani za časovno multipleksiranje (TDM – Time Division Multiplexing), tako da prvotna granulacija ni bila primerna za podatkovne komunikacije. Navidezne vsebnike glede na prenosno hitrost razvrščamo (Horvat, 2001, str. 100):

Tip navideznega vsebnika (VC)	Digitalna prenosna hitrost
• VC-11	1,728Mbit/s
• VC-12	2,304 Mbit/s
• VC-2	6,912 Mbit/s
• VC-3	48,960 Mbit/s
• VC-4	150,336 Mbit/s

Ker prvotna SDH omrežja niso bila oblikovana za podatkovne komunikacije, je bilo potrebno upoštevati zakonitosti oziroma potrebe podatkovnih komunikacij, kot so omogočanje lokalne, nacionalne, regionalne in globalne storitve. Poleg tega pa za SDH omrežja velja naslednje:

- Instalirane oprema je popolnoma standardizirana,
- oprema je kljub velikemu številu ponudnikov in uporabnikov kompatibilna,
- dobro definirani zaščitni mehanizmi,
- podpora katerokoli topologijo omrežja,
- enostavno upravljanje,
- veliko uporabniških vmesnikov (visoka povezljivost),
- dostopno (široko uporabno) upravljanje,
- razširljivost pasovne širine (v ustreznih korakih),
- visoka razpoložljivost,
- dobre performance (malo število bitnih napak),
- nizke zakasnitve.

Za podatkovna omrežja pa velja:

- ne potrebujejo specifičnih bitnih hitrosti prenosa,
- potrebujejo dovolj pasovne širine,
- razširljivost pasovne širine od X% do 100%,
- granularnost s faktorjem 2.

Prav zaradi navedenih zahtev je bila prva izvedena izboljšava tako imenovano spetje zveze, ki omogoča boljše združevanje oziroma spenjanje navideznih vsebnikov.

3.2.1. Navidezno in stično spetje (Virtual in Contiguous concatenation)

Navidezno in stično spetje omogoča današnjim operaterjem, ki imajo omrežja zgrajena v SDH tehnologiji možnost, da preko svojih obstoječih omrežij ponujajo tudi podatkovne storitve. S tem ko se vgrajujejo nove verzije SDH opreme, se zmanjšujejo tako imenovana ozka grla, prav tako pa omogočajo še vedno najboljšo granulacijo za PDH promet. Omogoča nam uporabo storitev s hitrostjo Gbit/s in storitev za pomnilniška omrežja, lahko pa ga uporabimo tudi v dostopovnem delu za promet od 2 Mbit/s do 155 Mbit/s.

Ker se informacija preko SDH prenaša v navideznih vsebnikih, ki so predimenzionirani, je potrebno za prenos informacije uporabiti včasih navidezni vsebnik, ki je dosti večji od uporabniške informacije in je zato izkoristek majhen (tabela 1). Prav zaradi tega je bila uvedeno spenjanje. Poznamo dve vrsti spenjanja: contiguous (stično) in virtual (navidezno).

Pri stičnem spetju je uporabniška informacija razdeljena v SDH okvirje, ki so razporejeni v posebno vrsto. Kazalce smeri ima samo prvi okvir, ostali vsebujejo samo uporabniško informacijo. Okvirji lahko potujejo skozi SDH omrežje, vendar samo, če so v omrežju možnosti za prenos tako velike količine podatkov.

Pri navideznem spetju je uporabniška informacija tudi razdeljena v SDH okvirje. Razlika je v tem, da vsak okvir vsebuje kazalec, da lahko ti okvirji potujejo ločeno skozi SDH omrežje. Edini pogoj je, da v omrežju obstaja kapaciteta za prenos posameznega okvirja.

Tabele 1 nam prikazuje izkoriščenost pasovne širine pri uporabi klasične SDH tehnologije, tabela 2 pa kaže izkoriščenost SDH pasovne širine za prenos Ethernet signalov pri uporabi navideznega spetja.

Tabela 1: Izkoriščenosti SDH pasovne širine za Ethernet promet pri klasičnih SDH sistemih (Levy D., 2004, str. 23)

Podatki		Najete SDH linije	Izkoriščenost
Ethernet	10Mbit/s	VC-3	20%
ATM	25Mbit/s	VC-3	50%
Fast Ethernet	100Mbit/s	VC-4	67%
ESCON	200Mbit/s	STM-4c	33%
Fibre Channel	400Mbit/s	STM-4c	67%
	800Mbit/s	STM-16c	33%
Gigabit Ethernet	1Gbit/s	STM-16c	42%
10 GbE	10Gbit/s	STM-64c	100%

Tabela 2: Izkoriščenost SDH pasovne širine za Ethernet promet pri SDH sistemih z uporabo navideznega spetja (Levy D., 2004, str. 23)

Podatki		Virtual concatenation	Izkoriščenost
Ethernet	10Mbit/s	VC-12-5V	92%
ATM	25Mbit/s	VC-12-12V	98%
Fast Ethernet	100Mbit/s	VC-12-46V	100%
		VC-3-2V	100%
ESCON	200Mbit/s	VC-3-4V	100%
Fibre Channel	400Mbit/s	VC-3-8V	100%
	800Mbit/s	VC-4-4V	89%
Gigabit Ethernet	1Gbit/s	VC-4-7V	95%
10 GbE	10Gbit/s	VC-4-64V	100%

Z uporabo navideznega spetja se poveča izkoriščenost pasovne širine, na nekaterih segmentih za več kot 100%. Npr. pri klasični preslikavi pri Gigabit Ethernet izkoristimo pasovno širino 42%, medtem ko z vpeljavo navideznega spetja kar 95%. Navidezno spetje izvajamo z nadgradnjo linijskih in pritočnih modulov, vsa ostala oprema ostaja nespremenjena, kar pomeni, da je v svoji osnovi še vedno SDH.

Poleg uporabe spetih zvez, kar lahko razumemo kot prvi korak pri uporabljanju SDH omrežja za prenos podatkov, je bilo potrebno vpeljati še druge mehanizme.

3.2.2 Generični postopek uokvirjanja (GFP - Generic Framing Procedure)

Navidezno spetje, kot prva izboljšava izkoriščenosti pasovne širine v SDH omrežjih, nam je ponudilo možnost za »pravilno velikost« SDH kanalov, vendar je bilo potrebno zagotoviti tudi možnost preslikave – planiranje prenosa novih podatkovnih storitev, kar je bilo realizirano z generičnim postopkom uokvirjanja.

Druga izboljšava SDH je GFP standard (ITU-T, G.7041), ki omogoča mapiranje Ethernet (10BaseT, 100BaseT, Gbe in 10Gbe) ali SAN (FICON, ESCON, Fibre Channel) signalov v spete VC kontejnerje SDH signalov. S tem je podana osnova za uporabo opreme različnih proizvajalcev za prenos različnega spektra podatkovnih signalov preko SDH infrastrukture.

Torej lahko rečemo, da je z GFP oblikovan splošni mehanizem, s katerim je omogočeno prilagajanje signalov višjih nivojev pri prenosu preko SDH sistemov prenosa. Uporabniški signali so lahko protokolno podatkovno usmerjeni (Ethernet) ali blokovno-kodno usmerjeni s konstantnim pretokom (SAN signali). GFP je oblikovan tako, da podpira skupni promet, hkrati pa omogoča večjo učinkovitost tudi na uporabniški strani.

Definirana sta dva načina prilagoditve uporabniškega signala. Prvi prilagoditveni način je protokolna podatkovna enota (PDU - protocol data unit), ki se nanaša na okvirno-preslikan GFP, z oznako GFP-F (F-frame) in blokovno-kodovno usmerjen prilagoditveni način, ki se nanaša na transparenten GFP, z oznako GFP-T (T-transparent) (Bonenfant, 2002, str. 73).

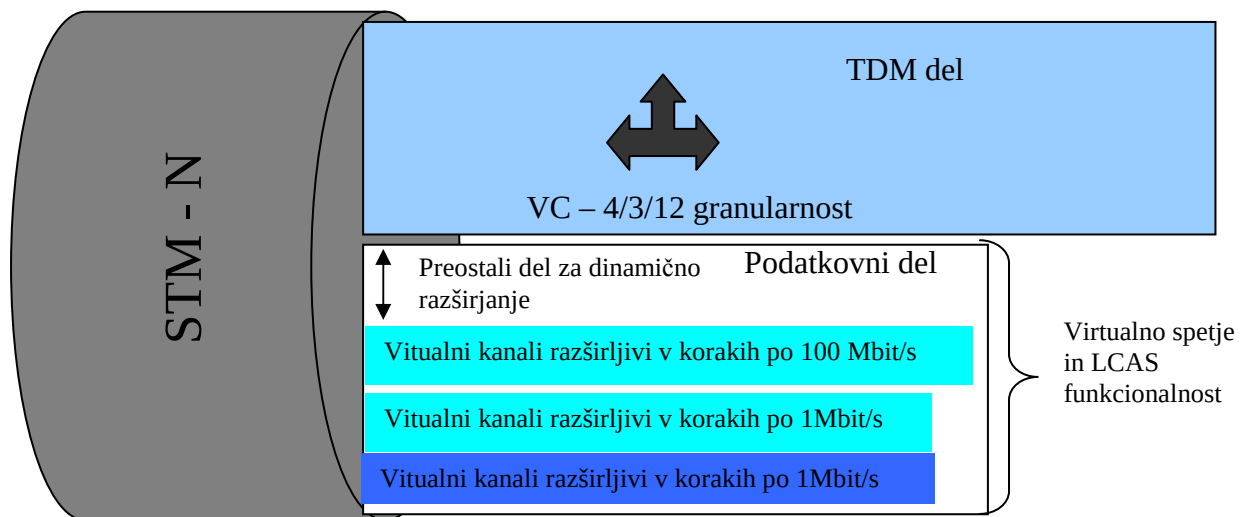
3.2.3. Shema naravnave kapacitete povezav (LCAS - Link Capacity Adjustment Scheme)

Medtem ko nam navidezno spetje ponuja možnost za »pravilno velikost« SDH kanalov in GFP zagotovi ustrezno preslikavo podatkovnih storitev, pa se še vedno srečujemo z problemom fleksibilnosti navideznih kanalov, saj ne razpolagamo z dinamično rekonfiguracijo. Zadeva je bila realizirana z LCAS protokolom. LCAS je protokol (ITU-T G.7042) za prenos podatkov, ki dinamično uravnava SDH transportno cev, oziroma pasovno širino SDH sistema. SDH transportna cev je sestavljena iz navidezno spetih vsebnikov. Dodajanje ali odvzemanje vsebnikov v navidezne skupine je z LCAS protokolom mogoče brez prekinitve prometa.

V primeru, da se na navideznem vsebniku navidezno spete skupine pojavijo motnje, LCAS zagotovi konstantno razpoložljivost storitve brez prekinitve prometa z zmanjšanjem pasovne širine.

Vsebniki navidezno spete skupine se lahko prenašajo preko različnih fizičnih poti, zato ni zahtevana dodatna SDH zaščita, kar omogoča prihranek določenih virov.

Slika 11 nam nazorno prikaže razdelitev prostora v STM-N snopu. Del snopa je z obstoječo granulacijo uporabljen za TDM promet, medtem ko se ostali del prostora uporablja za podatkovni promet. Pri tem uporabljamo navidezne vsebnike, ki nam omogočajo boljšo izkoriščenost prostora, hkrati pa tudi LCAS funkcionalnost s pomočjo katerem lahko uporabniku dinamično omogočamo dodelitev prostora, s koraki po 1 Mbit/s ali 10 Mbit/s, odvisno od potreb.



Slika 11: Dinamično dodeljevanje pasovne širine z LCAS protokolom (Jelinek, 2003, str. 28)

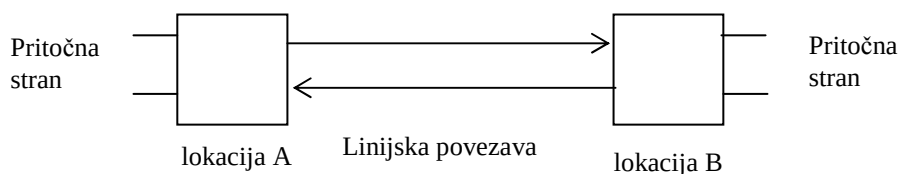
3.2.4. Topologija SDH omrežij

Novi standardi in tehnologije so omogočile prenos Ethernet signalov preko SDH omrežij. Poleg samih tehnologij, ki omogočajo mapiranje Ethernet signalov, boljše izkoriščenost pasovne širine in dinamično dodeljevanje pasovne širine, pa je zelo pomembna topologija oziroma način povezovanja elementov med seboj.

SDH omrežje lahko uporablja veliko različnih topologij povezovanja, kar je omogočeno z različnimi tipi oziroma vrstami multipleksne opreme. Omrežni elementi se povezujejo v naslednje vrste oziroma oblike omrežij (Caballero, 2005, str 42.):

- točka –točka
- obroč
- mešana

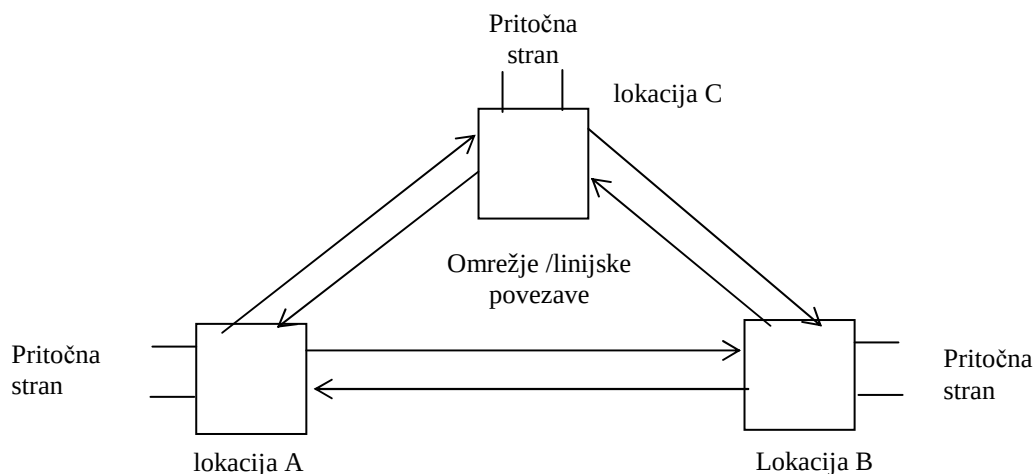
Povezava točka – točka (slika 12) se uporablja za povezavo med dvema omrežnima elementoma, ki sta preko optičnih vlaken povezana med seboj. V primeru dolgih razdalj lahko med elementa vžemo še regenerator, ki nam omogoča premagovati razdaljo. Na pritočni strani, vstopna točka v omrežje, se združuje promet oziroma kanali manjših hitrosti (2 Mbit/s, 34 Mbit/s, 10/100 BaseT) v linijske STM-1 do STM-64 hitrosti. Celotna linijska hitrost je namenjena samo tej povezavi. Na lokaciji B se v večini primerov uporabljajo enaki vmesniki kot na lokaciji A.



Slika 12: Povezava točka – točka SDH omrežnih elementov

Povezava točka – točka se imenuje tudi terminalni način povezave SDH omrežnih elementov. Takšne povezave v večini primerov predstavljajo vstopno točko določenih uporabnikov za vključitev v večja omrežja. Zaradi povečanja varnosti in zanesljivosti prometa se s strani ponudnikov storitev poskuša izvesti zaščite poti, za kar pa se uporablja obročna konfiguracija poti.

Druga oblika povezav je obročna topologija (slika 13). V obročni tehnologiji je uporabljen princip dodatno odvzemnega multipleksiranja ADM (add-drop multipleksing).



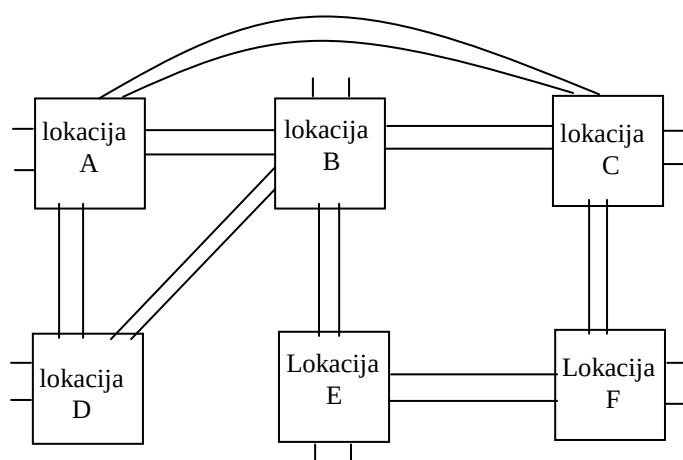
Slika 13: Obročna topologija povezave SDH omrežnih elementov

Uporabljamo lahko konfiguriranje enosmernih ali dvosmernih povezav. Prav možnost oblikovanja dvosmernih povezav, nam omogoča graditev robustnih in zanesljivih omrežij. Primarna prednost obročne topologije je zanesljivost v primeru prekinitve kablanske trase med dvema lokacijama omrežja. Gradniki omrežja imajo v primeru prekinitve kabla vgrajene mehanizme, ki omogočajo preklon prometa (smeri) na rezervno pot, kar je realizirano v nekaj 10 ms (Botham, 2004, str. 135). Prav zaradi te lastnosti so obroči oblikovani po dveh fizično ločenih poteh. Tako kratek čas preklopa omogoča, da prekinitev optične trase ne povzroči prekinitve prometa za uporabnika. Npr: Promet med točkama A in B poteka po direktni

smeri. V primeru prekinitve poti, sistem preklopi na rezervno pot in sedaj poteka preko elementa C.

V obroč je lahko vezano veliko elementov, kar pa je odvisno od pritočnih zahtev in linijske zmogljivosti. Vsota vseh pritočnih hitrosti (zmogljivosti) ne sme preseči linijske zmogljivosti. Na vsaki lokaciji omrežnega elementa se v obroč po principu dodatno odvzemnega multipleksiranja dodajajo ali odvijemajo različni PDH, SDH in Ethernet signali. Linijske hitrosti so od STM-1 do STM-64.

Poleg točka točka in obročnih povezav lahko elemente povežemo med seboj v mešano topologijo (slika 14).



Slika 14: Mešana topologija povezave SDH omrežnih elementov

Vsi omrežni elementi so povezani v omrežje vsaj v dveh smereh, tako, da je možnost izpada posameznega elementa, zaradi izpada optične trase izključena. Poleg tega so elementi med seboj povezani tudi direktno, kar je posledica prometnih potreb. Vsak element ima tudi pritočni del, kjer odvisno od potreb vstopajo PDH, SDH in Ethernet signali. Ker gre za omrežje večjega števila elementov so le-ti med seboj povezani z večjimi linijskimi hitrostmi kot npr. STM-16 in STM-64.

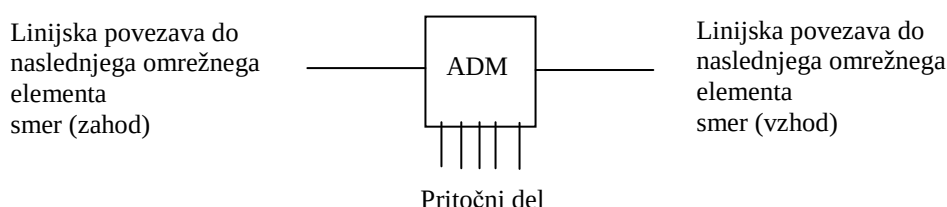
Omrežne elemente lahko med seboj povezujemo tudi na druge načine, odvisno od prometnih potreb. Te pa so odvisne prevsem od zmogljivosti in zahtevane stopnje zaščite.

3.2.5. Vrste omrežnih elementov

Vsaka graditev objekta potrebuje osnovne elemente iz katerih potem zgradimo objekt, v našem primeru omrežje. Pri graditvi omrežja so gradniki omrežni elementi in povezave med njimi. Glede načina obdelave prometa poznamo dva tipa omrežnih elementov:

- ADM/TM – dodajno odzemni multiplekser oziroma terminalni multiplekser
- DXC – digitalni prevezovalnik

Dodajno odzemni multiplekser je omrežni element, ki je vgrajen v omrežje. Element je zgrajen iz osnovnega okvirja in skupnih kart - enot (matrike, napajalne in procesorske enote, ventilatorji). V okvirju so proste reže, ki so namenjene linijskim in pritočnim kartam. Linijske karte so odvisne od zmogljivosti matrike in so lahko STM-1, STM-4, STM-16 in STM-64. Namenjene so povezovanju omrežnega elementa s sosednjimi elementi in odvisno od zmogljivosti tudi prenosu prometa med elementi. Vsak element ima dve linijske smeri – zahod in vzhod, kjer je ena delovna druga pa zaščitna (slika 15).



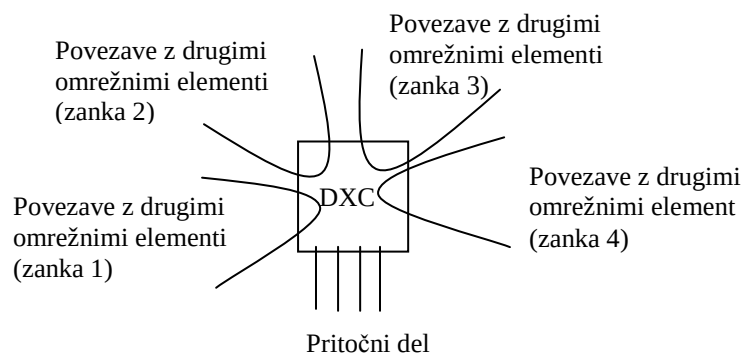
Slika 15: ADM SDH omrežni element

V reže namenjene pritočnim kartam lahko vstavimo različne pritočne karte. Na eni pritočni karti je lahko več priključnih mest, število priključnih mest pa je določeno z mapiranjem v SDH kontejnerje. Tipični pritoki v ADM element so 2 Mbit/s, 34 Mbit/s in STM-1 (električno), STM-1 in STM-4 (optično), poleg tega se uporabljajo še 10/100 Base T (električno).

ADM omrežni elementi se uporabljajo za obročne konfiguracije. V primeru prehajanja prometa med različnimi obročji, pa je potrebno za njegov preliv (med dvema elementi dveh različnih obročev) uporabiti dodatne karte – zasedanje prostora in dodatni stroški, zato se vedno bolj razširja uporaba digitalnih prevezovalnikov.

Povezovanje opreme med seboj, pa naj gre za povezovanje optičnih obročev ali različnih vmesnikov vedno predstavlja tako imenovano ozko grlo. Slej ko prej zmanjka zmogljivosti za povezave, prav tako pa so povezave na fizičnem nivoju dražje kot povezave na logičnem nivoju, saj so potrebne dodatne karte in fizični vmesniki. Prav zaradi tega dejstva so proizvajalci začeli razvijati opremo, ki bi v enem okvirju združevala veliko funkcionalnosti. Takšno opremo danes predstavlja digitalni prevezovalnik.

Digitalni prevezovalnik sestavljajo skupne karte, katere so matrika, sinhronizacijska in kontrolna enota, napajalna enota in ventilatorji. Zaradi prevezav velikih količin prometa je zelo pomembna komponenta digitalnega prevezovalnika njegova matrika, saj je od možne granulacije odvisno, na kakšnem nivoju bomo lahko prevažali promet. V primeru, da element uporabljamo za različne vrste prometa, tudi PDH, je pomembno, da nam matrika omogoča prevezovanje od VC-12 (2 Mbit/s fizični nivo) nivoja dalje, medtem ko so zgornje zmogljivosti matrike izraženo v tako imenovanih STM-1 ekvivalentih. Vrednosti matrik gredo od 192 STM-1, 384 STM-1 do 1024 STM-1. Zmogljivost matrike je podprta s procesorskim delom, to je z zadostnim številom rež, kamor lahko fizično vstavimo različne karte.



Slika 16: Digitalni prevezovalnik (DXC)

Iz slike 16 je razvidno, da z digitalnimi prevezovalniki ne tvorimo samo ene povezave ampak je vpet v več različnih zank, ki dejansko med seboj tvorijo mešano topologijo. Za prehod prometa iz različnih zank (npr iz zanke 2 v zanko 4) ni več potrebno prehajati na fizičnem nivoju ampak se prevezave izvedejo samo preko matrike. Slika 16 dejansko prikazuje shemo digitalnega prevezovalnika, saj ni več ločen prtočni in linijski del. Na posamezni karti se lahko priključna mesta uporabljajo za prtočni in/ali linijski del.

Digitalni prevezovalniki predstavljajo tudi tako imenovano večstoritveno plaformo (MSPP - multi services provisioning platforma), kar pomeni, da lahko z enotnim nadzornim sistemom upravljamo in nadzorujemo različne tipe vmesnikov, kar nam zelo poenostavi in poceni konfiguriranje in vzdrževanje sistema.

Prednost digitalnih prevezovalnikov je tudi, da se karte vstavljajo po potrebi. Poleg tega pa je kartica zgrajena iz nosilnega dela in modula, ki je odvisen od razdalje. V digitalnih prevezovalnikih se lahko uporabljajo in vstavljajo PDH in SDH vmesniki (vseh zmogljivosti) ter Ethernet vmesniki (Fast Ethernet in višjih zmogljivosti).

3.3. ETHERNET PREKO DWDM

V optičnih komunikacijah je bilo v preteklih letih narejenih mnogo izboljšav, oziroma korakov razvoja. Z razvojem nove opreme je omogočen prenos vedno večje pasovne širine med omrežnimi elementi, vendar je vsak še tako zmogljiv sistema slej ko prej postal premajhen. Zato je danes vedno bolj aktualno vprašanje koliko časa bo razvita oprema zadostovala potrebam po pasovni širini.

Trenutno uporabljen TDM standard omogoča prenos med 2,5 do 10 Gbit/s preko enega para vlaken. Širokopasovne aplikacije so povzročile potrebo po pasovni širini, ki že pomeni določene omejitve s strani prenosa preko tradicionalnega TDM, katerega predstavnik je tudi SDH. Prav zaradi tega problema je razvoj potekal v novi smeri in pripeljal do razvoja WDM – wave – division multipleksing.

3.3.1. Valovno dolžinsko združevanje WDM

V začetkih razvoja SDH opreme si je le malokdo predstavljal, da bo kapaciteta nekaj Gbit/s prenosa dobrih deset let kasneje zmogljivost, ki ne more zadoščati porajajočim se potrebam po pasovni širini namenjeni različnim oblikam prenosa podatkov. Potreba po pasovni širini je naraščala eksponentialno od začetka uporabe optičnih vlaken (Bates, 2001, str 108).

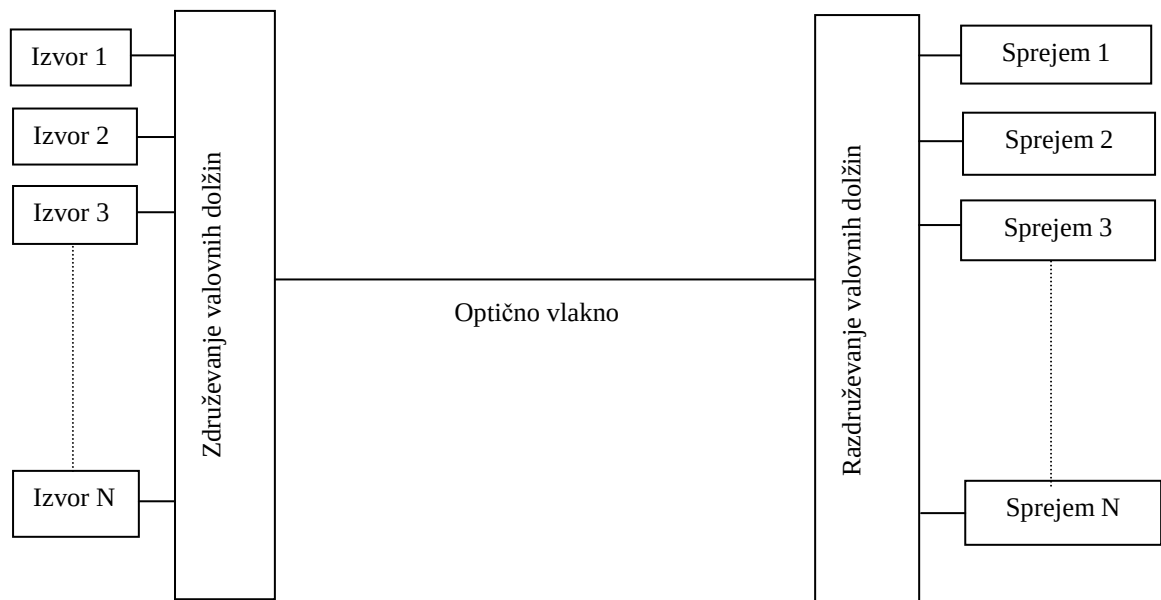
SDH sistemi delujejo na eni valovni dolžini, njihova maksimalna hitrost prenosa pa je 10 Gbit/s. Pri takšnih hitrostih prenosa je potrebno upoštevati različne fizikalne zakonitosti, kot so slabljenje in disperzija. Prav zaradi tega in tudi v določenem obdobju pomanjkanja vlaken, je šel razvoj v smeri uporabljanja večjega števila valovnih dolžin preko enega vlakna. Rezultat je bilo valovno dolžinsko multipleksiranje.

Slika 17 nam prikazuje način združevanja prometa. Na sprejemni strani imamo N število izvorov, vsakega na svoji valovni dolžini. Temu sledi naprava, ki vse te signale združi in jih preko optičnega vlakna pošlje na sprejemno stran. Na sprejemni strani naprava signale loči na takšne valovne dolžine, kakor so vstopali v sistem.

Za izbiro oziroma načrtovanje sistema moramo upoštevati fizikalne in prometne zahteve, ki so predvsem naslednje:

- način združevanja kanalov
- razdalja med točko oddaje in točko sprejema
- vrsta optičnega vlakna
- slabljenje
- disperzija
- vrsta prometa

- število kanalov
- zmogljivost kanalov
- način zaščite



Slika 17: Blok shema valovno dolžinskega multipleksiranja

3.3.2. CWDM (grobi) in DWDM (zgoščeni) način združevanja signalov

Valovno dolžinsko multipleksiranje pomeni, da signale različnih valovnih dolžin združujemo, kar pomeni, da jih glede na njihovo valovno dolžino polagamo enega poleg drugega v skupino, katero potem pošljemo na sprejemno stran.

Glede na način združevanja, poznamo dva načina multipleksiranja:

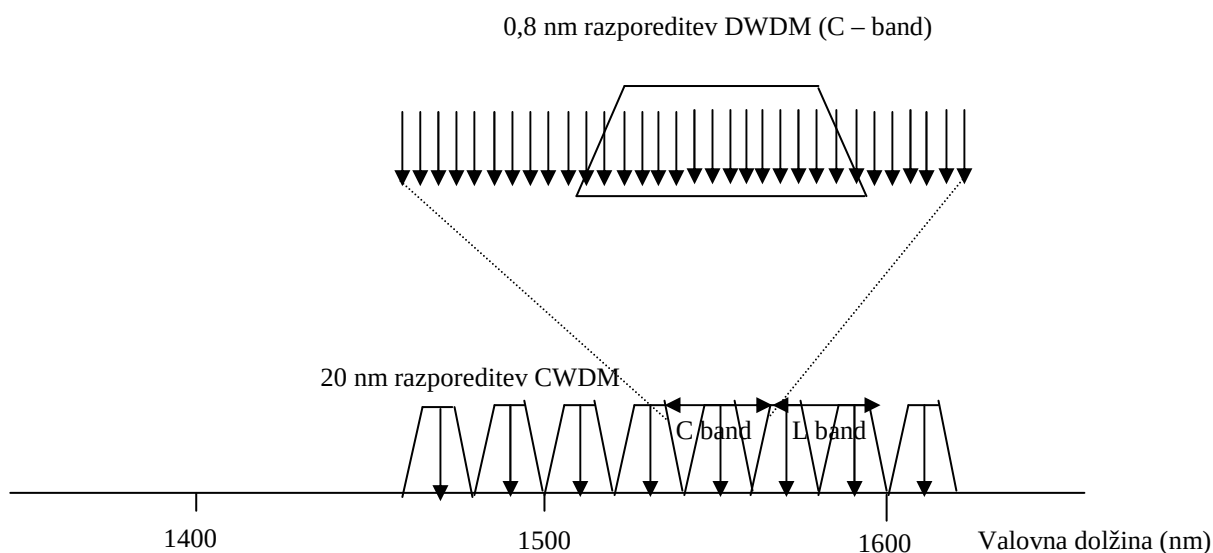
- CWDM: Coarse wavelenght division multipleksing
- DWDM: dense wavelenght division multipleksing

ITU priporočilo G.694.2 določa valvnodolžinsko razporeditev kanalov, namenjenih CWDM ali DWDM multipleksiranju. Za CWDM je namenjenih 18 valovnih dolžin z 20 nm razmikom med kanali, vendar se danes uporablja samo osem valovnih dolžin in sicer 1470, 1490, 1510, 1530, 1550, 1570, 1570 in 1610 nm. Navedenih osem valovnih dolžin se uporablja, ker se nahajajo v območju, kjer je razred slabljenja še ustrezen, medtem ko bi uporaba ostalih osmih

valovnih dolžin pomenila preveliko slabljenje in prevelike težave pri prenosu. CWDM omogoča torej multipleksiranje in hkraten prenos osmih valovnih dolžin.

Pri uporabi DWDM multipleksiranja pa se uporabljajo valovne dolžine med 1529,55 in 1560,61 nm. – ITU-T G.692.c band (XDM Theory, 2004, str.238). Število prenesenih kanalov je odvisno od razmaka. Standarnizirani so 200, 100 in 50 GHz razmiki med kanali. Glede na razmike se uporabljajo 16, 32, 64 in celo 128 kanalni DWDM sistemi, ki omogočajo multipleksiranje in hkraten prenos tolikšnega števila valovnih dolžin.

Slika 18 prikazuje primerjavo med CWDM in DWDM valvnodolžinsko razporeditvijo. Iz slike 18 je razviden bistveno ožji razmak med DWDM valovnimi dolžinami kot CWDM, saj je 32 DWDM kanalov (valovnih dolžin) stisnjenih v 1,5 CWDM kanala.



Slika 18: Primerjava med CWDM in DWDM valvnodolžinsko razporeditvijo

CWDM sistemi so bili razviti za cenejše tehnične rešitve, saj se zaradi širših kanalov lahko uporabljajo laserji s širšim oddajnim snopom, kar pomeni manjšo temperaturno občutljivost in ekonomičnejši pasivni filtri. Uporaba CWDM sistemov strmo narašča v mestnih optičnih omrežjih, kjer ni vprašljiva razdalja, velikokrat pa tudi ne število kanalov. Poleg navedenega je CWDM cenovno ugodnejši od DWDM za 20-40%.

Za razliko od urbanih mestnih omrežij, pa je pri povezavah med velikimi središči še kako pomembna razdalja in z njo povezane omejitve. Poleg tega pa je potrebno upoštevati število kanalov, pomen linijske opreme z razdaljo namreč narašča. Prav zaradi navedenega uporaba CWDM sistemov v hrbtnem omrežju ni mogoča.

Bistvene prednosti DWDM tehnologije pred CWDM so:

- Ima večji domet,
- omogoča prenos večjega števila kanalov,
- omogoča večjo zmogljivost posameznega kanal.

Domet CWDM sistema je do 100 km z uporabo dodatne opreme, medtem ko je domet DWDM sistema do več kot 1000 km. Pri samem dometu je potrebno povedati, da se domet računa na celotno pot od izvora do ponora.

V predhodnih poglavjih je bilo navedeno, da je število CWDM kanalov 8 in je pogojeno z krivuljo slabljenja. Z uporabo posebnih vlaken se lahko uporablja tudi 16 kanalov, vendar je potrebno upoštevati, da so v omrežjih operaterjev vlakna že položena in v večini primerov trenutno omogočajo prenos 8 kanalov. Pri uporabi DWDM tehnologije pa je število kanalov odvisno od razmaka med posameznimi kanali. Danes se uporabljajo predvsem multipleksorji za 16, 32 in 64 kanalov.

Tretja pomembna prednost DWDM sistemov prenosa pred CWDM sistemi pa je možnost prenosa 10G pasovne širine po enem kanalu. Z razvojem Ethernet vmesnikov in storitev, ki potrebujejo 10G pasovne širine, bo zelo pomembno, da bomo lahko preko enega kanala prenašali 10G Ethernet, prav tako pa nam 10G kanal omogoča tudi prenos SDH STM-64.

3.3.3. Fizikalne lastnosti optičnih vlaken

Slabljenje optičnega vlakna

Novejša zgodovina optičnih vlakne se začne leta 1966. Takrat je slabljenje optičnih vlaken znašalo 1000 dB/km. Vendar so že takrat teoretično predvideli možnost uporabe optičnega vlakna kot prenosnega medija in sicer v primeru, če bi bilo slabljenje vlakna okoli 20 dB/km.

Do leta 1970 so slabljenje vlaken zmanjšali iz obstoječih 1000 dB/km na 20 dB/km. Izboljšave vlaken so nato sledile v letu 1976, ko je bilo doseženo 1,6 dB/km pri valovni dolžini 820 nm.

Kasneje so prišli do ugotovitve, da je mogoče doseči manjše slabljenje pri večjih valovnih dolžinah. Z naraščanjem valovne dolžine slabljenje optičnega vlakna pada in teoretično lahko pride do izredno nizkih slabljen pri visokih valovnih dolžinah.

Poleg slabljenja optičnega vlakna se pojavi še problem absorpcije zaradi hidroksidnih ionov, ki so prisotni v steklu iz katerega so narejena optična vlakna. Prisotni so le določeni ioni, ki

imajo izrazite absorpcijske vrhove in najbolj značilen je pri 1400 nm, ki ločuje drugo (1310 nm) in tretje spektralno okno (1550 nm).

Danes sta večinoma v uporabi drugo in tretje spektralno okno, drugo pri 1310 nm in tretje pri 1550 nm. Zaradi minimalnega slabljenja, ki nastopi pri valovni dolžini 1550 nm, se v glavnem uporabljajo oddajniki (laserjev), ki delujejo v tem oknu. (Batagelj, 2004, str 8)

Disperzija

Pri potovanju signala preko optičnega vlakna je zelo pomemben pojav tudi disperzija – razširitev signala. V digitalnih komunikacijah se signali prenašajo v zaporedju logičnih enic in ničel. Svetlobni impulz, ki po dogovoru predstavlja logično enico pri digitalni zvezi, se pri potovanju skozi vlakno razširi. Torej kljub temu, da vstopa v vlakno lepše oblikovan signal, na izhodu dobimo razširjen impulz, kar nam pri velikih bitnih pretokih, majhne časovne razdalje med impulzi, predstavlja velik problem, saj prihaja do prekrivanja signalov in s tem povezanega napačnega sprejema.

Omenimo dve vrsti disperzije, ki sta pomembni pri uporabi enorodovnih vlaken in sicer:

- snovna disperzija
- polarizacijska disperzija

Snovna disperzija je pojav, ko ima svetloba pri potovanju skozi steklo različne hitrosti glede na njeno valovno dolžino, kar je posledica tega, da je lomni količnik stekla frekvenčno odvisen. Snovna disperzija z valovno dolžino narašča, točko ničelne disperzije pa ima pri 1300 nm (za SiO_2 steklo). Zaradi tega se je pri 1300 nm razvilo tudi drugo spektralno okno v optičnih komunikacijah (Batagelj, 2004, str.19).

Tipične vrednosti snovne disperzije sta za drugo okno – 1300 nm – 0 ps/(nm.km) in 20 ps/(nm.km) v tretjem spektralnem oknu – 1550 nm.

Polarizacijska disperzija pa je pojav, ki nastane zaradi potovanja svetlobe skozi vlakno v vzdolžni in prečni smeri. Zaradi nesimetričnosti signala svetloba v vsaki smeri potuje z različno hitrostjo in zaradi tega prihaja do polarizacijske disperzije. Je najmanjša od vseh disperzij in trenutno je to problem pri starejših optičnih vlaknih. (Batagelj, 2004, str 24.)

Vrsta optičnih vlaken

Na hrbteničnih omrežjih so uporabljena enorodovna vlakna, v skladu z priporočili ITU – T G.652, G.653, G.654 in G.655. Vlakna G.653 in G.654 so disperzijsko premaknjena (manjša disperzija). Razvoj optičnih sistemov je pokazal, da zaradi nastanka nezaželenih nelinearnih

pojavov, za komunikacijo ni najbolj idealno področje z minimalno disperzijo. Zaradi tega razloga se je polaganje optičnih vlaken tipa G.653 in G.654 opustilo.

Vlakno tipa G.652 je danes najbolj razširjeno enorodovno vlakno, medtem ko je vlakno tipa G.655 novejšega datuma in je zato še razmeroma nerazširjeno. (Batagelj, 2004, str 7).

3.3.4. Vrsta prometa in kanalov prenosa

Preko WDM kanalov lahko prenašamo različne vrste prometa oziroma uporabimo različne tipe vmesnikov. Razdelimo jih lahko v tri skupine in sicer:

- SDH vmesniki
- Ethernet vmesniki
- Vmesniki za SAN aplikacije

Prva skupina vmesnikov, ki jo lahko prenašamo preko WDM kanalov, so SDH vmesniki od STM-1, STM-4, STM-16 in celote STM-64. PDH promet pa direktno ni mogoče prenašati preko WDM kanalov, ampak ga je potrebno predhodno združiti v SDH kanale.

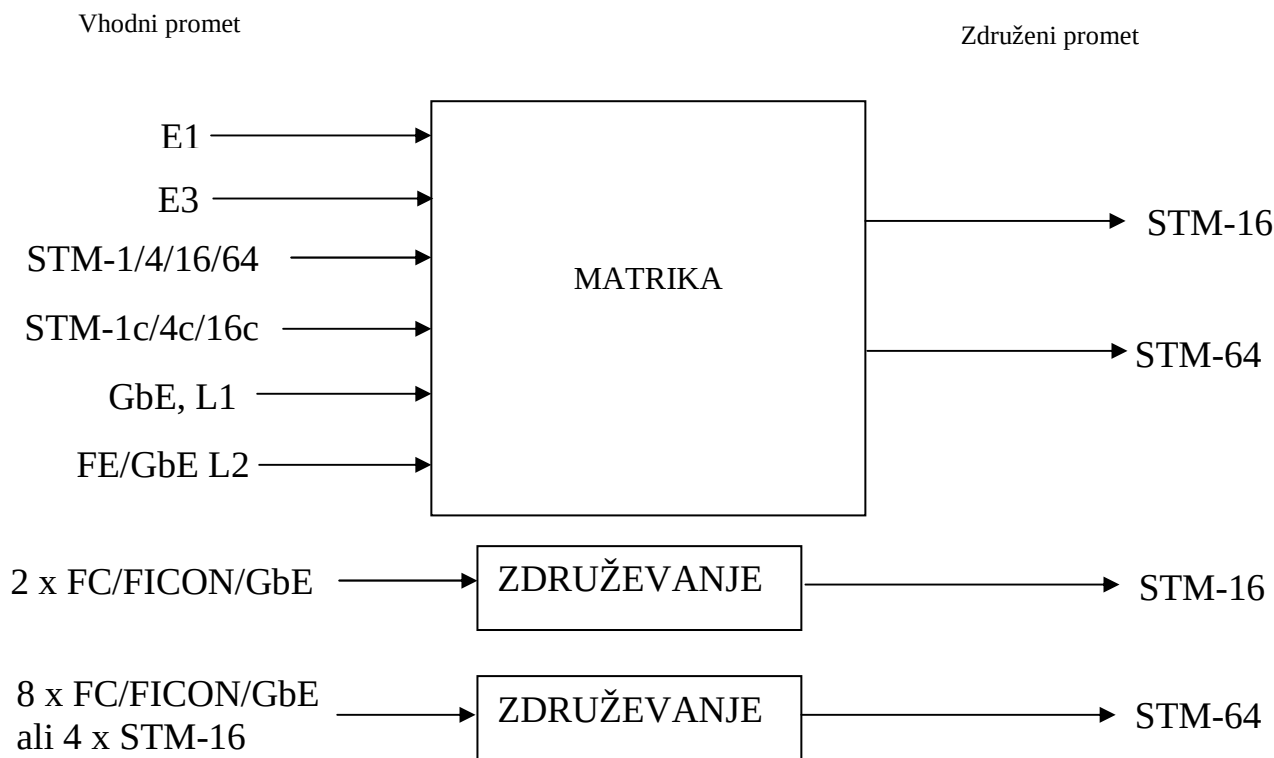
Na vhodni strani WDM multipleksorja je mogoče vstopati tudi z Ethernet vmesniki. Kot pritočni moduli so predvideni FE (Fast Ethernet) in GbE (Gigabit Ethernet) vmesniki.

Tretja skupina pa so SAN aplikacije. Njihov razmah se povečuje z večjo pogostostjo terorističnih napadov, saj so te aplikacije namenjene postavitvi in povezavi redundantnih računalniških centrov (DRC - Disaster Recovery Center) z oddaljenimi lokacijami za obdelavo podatkov. V to skupino spadajo FICON, ESCON in FC (Fiber Channel) vmesniki.

Poleg vrste prometa je pomemben podatek tudi število kanalov, saj valovno dolžinsko multipleksiranje omogoča združevanje in prenos večjega števila kanalov preko dveh vlaken. Zaradi tega je pomembna informacija oziroma podatek, kakšen multipleksor/demultipleksor bomo uporabili. Različni multipleksorji omogočajo prenos od 8 pa tudi do 40 kanalov, pri razmaku med posameznimi kanali do 100 GHz. Pri manjših razmikih med kanali (50 GHz) pa je možen prenos tudi 64 kanalov pa vse do 124 kanalov. Torej je odločitev o številu kanalov odvisna predvsem od potreb in cene multiplekserjev.

Glede na potrebe je pomemben podatek tudi zmogljivost posameznega kanala. V predhodnih poglavjih je bilo omenjeno, da je preko enega kanala mogoče s trenutno tehnologijo prenašati 10 Gbit/s pasovne širine. Večjih pasovnih širin na daljše razdalje zaradi fizičnih omejitev danes ni mogoče prenašati. V danes poznanih sistemih se WDM sistemi gradijo za prenos kanalov z zmogljivostjo 2,5 ali 10 Gbit/s po vsakem kanalu. To je polna zmogljivost kanala, dejansko uporabljena pasovna širina pa je odvisna od "pakiranja" prometa v kanal.

Združevanje oziroma pakiranje prometa imenujemo “grooming”. S pomočjo združevanja prometa dosežemo bistveno boljšo izkoriščenost kanalov. Način združevanja je prikazan na sliki 19.



Slika 19: Prikaz združevanja prometa v WDM kanale

Promet združujemo v STM-16 ali STM-64 snope, kar ustreza 2,5 Gbit/s ali 10 Gbit/s kanalom. Poznamo dve možnosti združevanja prometa in sicer združevanje preko matrike in združevanje na samih enotah.

Združevanje preko matrike poteka na prvem ali drugem nivoju in je edino možno za promet manjših zmogljivost, to je za PDH promet in FE promet. V tem primeru je potrebno poleg čiste WDM opreme zagotoviti tudi SDH opremo.

Drugi način združevanja prometa, pa je preko modulov, oziroma kart. V tem primeru imamo karto, na kateri so pritočni moduli, na izhodu pa dobimo promet združen v STM-16 ali STM-64 snopih. Karte, ki združujejo promet na takšen način so kombinirane (combainer) karte.

Poleg tega je mogoče z vsemi navedenimi vmesniki tudi direktno, preko pritočnih kart, vstopati na posamezne kanale. Izjema je samo PDH promet. Vendar je v primeru, da

vstopamo v kanal direktno z manjšimi snopi, izkoriščenost kanala sorazmerno majhna. Npr: Če z STM-4 snopom (622 Mbit/s) vstopamo v WDM sistem, ki ima 10 G kanale, je izkoriščenost kanala cca 6 %.

3.3.5. Topologija WDM omrežij

V sodobnih telekomunikacija je zelo pomembna neprestana dostopnost do informacij. To pomeni, da so povezave med lokacijo uporabnika in lokacijo iz katere prejema podatke neprestano na razpolago. Prav zaradi navedenega je potrebno uporabniku zagotoviti največjo možno razpoložljivost zveze, seveda če je to storitev pripravljen plačati. V točki priklopa uporabnika na omrežje lahko samo povezavo razdelimo na dva dela:

- povezava med uporabnikom in točko vstopa v omrežje ponudnika storitve
- povezava med točko vstopa v omrežje ponudnika storitve ter točko oziroma lokacijo izvora želenih informacij

Prvi del zveze se običajno ne ščiti, saj v večini primerov zaščita ni mogoča, ker uporabnik uporablja samo en fizični priključek, tako da mu tudi ponudnik storitve lahko zagotovi samo eno priključno mesto in je v primeru odpovedi, pokvarjene enote potrebno zamenjati.

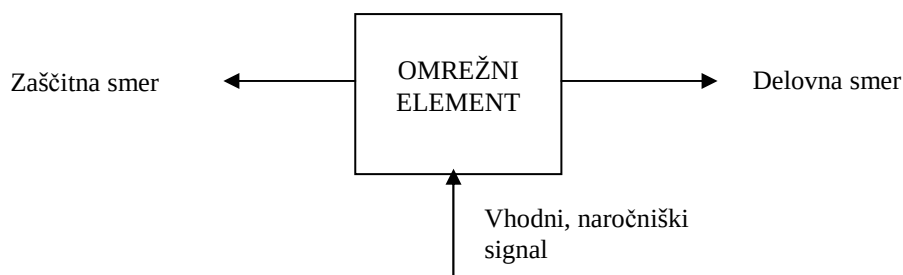
Drugi del zveze pa poteka preko omrežja ponudnika storitve in na tem delu je izjemno pomembna zaščita posameznih kanalov oziroma poti.

Prav za ta drugi del, je bilo razvito SDH omrežje, ki vsebuje mehanizme, ki v primeru prekinitve povezave v eni smeri v roku manjšem od 50 ms poiščejo obhodno pot. Čas preklopa na rezervno pot do 50 ms uporabnik ne zazna in s tem ni povzročena prekinitev prometa. Zaradi zagotavljanja zaščite so SDH omrežja grajena v obročni konfiguraciji.

Tudi pri WDM omrežjih je potrebno zagotoviti zaščito poti, kar lahko izvedemo na več načinov. Prvi pogoj za zaščito poti je geografsko oziroma fizična ločitev poti, kar pomeni, da morajo biti sistemi zgrajeni v obročni konfiguraciji. V primeru obročne konfiguracije, pa je mogoče varovati kanale na dva načina:

- zaščita na optičnem nivoju
- zaščita posameznih kanalov na fizičnem nivoju

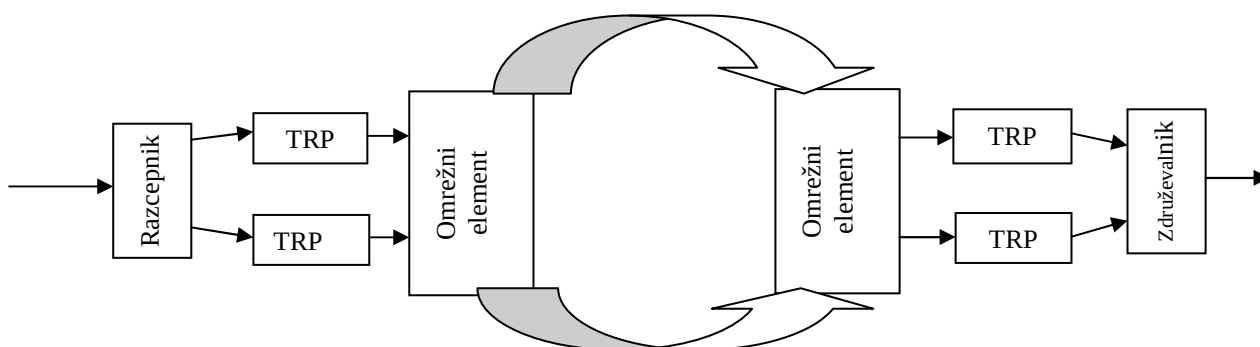
Zaščita na optičnem nivoju je izvedena s pomočjo posebnih optičnih prevezovalnikov, vendar je zaradi izredne zahtevnosti izdelave (posebno natančno izdelana zrcalca) in s tem povezane zelo visoke cene (po podatkih ponudnikov opreme faktor 5-10) danes v praksi še prava redkost.



Slika 20: Zaščita na optičnem nivoju

V primeru zaščite na optičnem nivoju (slika 20) vhodni/naročniški signal vstopi v omrežni element in s pomočjo nastavitve se določi delovna in zaščitna smer. V primeru odpovedi delovne smeri, je preko nadzorno-upravljalnega sistema določena rezervna pot in sistem avtomatično preklopi.

Zaščita posameznih kanalov na fizičnem nivoju (slika 21) pa je izvedena za vsak kanal posebej. Ker omrežni element namenjen DWDM sistemov prenosa, izjema je optični prevezovalnik, na čistem optičnem nivoju ne zna tvoriti zaščite poti, je le-ta izvedena v fazi barvanja signala, torej ob vstopanju v WDM sistem.



Slika 21: Zaščita posameznih kanalov na fizičnem nivoju

Signal vstopa v sistem in se preko razcepnika razdeli na dva signala, ki preko dodatnih kartic vstopata v sistem, to je v omrežni element. Omrežni element poskrbi, da vsak del signala potuje po ločenem delu omrežja. Na strani izhoda signal preko kart za barvanje prispe do združevalnika, ki signal zopet združi. Na sprejemni strani se na transponderski karti ugotavlja

nivo signala in se sprejema boljšega. V primeru odpovedi trase, se prenese celoten signal preko druge poti.

Pri postavitvi WDM omrežja je pomembna tudi topologija omrežja, saj je pomembno pravilno načrtovanje posameznih barv, oziroma valovnih dolžin. Pri nepravilni topologiji omrežja lahko hitro zasedemo proste valovne dolžine, kar pomeni dodatna širjenja omrežja in nova vlaganja.

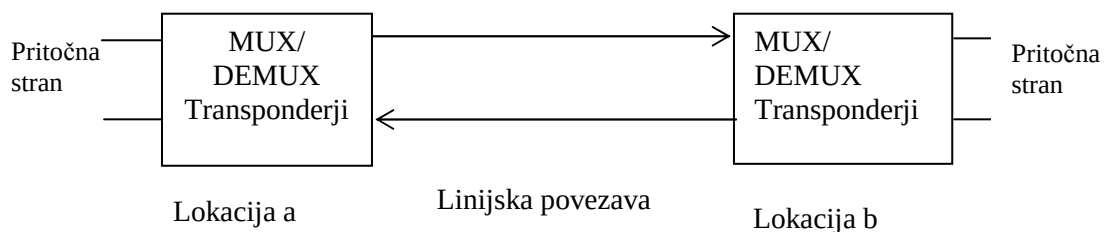
V WDM omrežjih se danes uporabljata predvsem topologiji:

- točka – točka
- obroč

Možno je uporaba tudi mešane topologije, vendar njena uporaba zaradi dragih digitalnih prevezovalnikov na optičnem nivoju ni razširjena.

Pri povezavi dveh omrežnih elementov se uporablja način povezave točka – točka. V takšnem primeru gre velikokrat za povezave krajšega dometa in pasovnih širin do 2,5 Gbit/s, tako da se lahko uporabijo CWDM ali DWDM multipleksorji. Na pritočni strani vstopamo v omrežje z obarvanimi vmesniki, to so vmesniki, ki delujejo s točno določeno valovno dolžino, ali neobarvanimi vmesniki, ki delujejo na širšem spektru in niso ozko usmerjeni. Obarvani vmesniki že imajo določeno – usmerjeno pasovno širino in jih ni potrebno “barvati”, saj se s svojo že določeno valovno dolžino direktno priključijo na multiplekser. Neobarvane vmesnike pa se preko transponderskih kartic “obarva” in potem priključi na multiplekser.

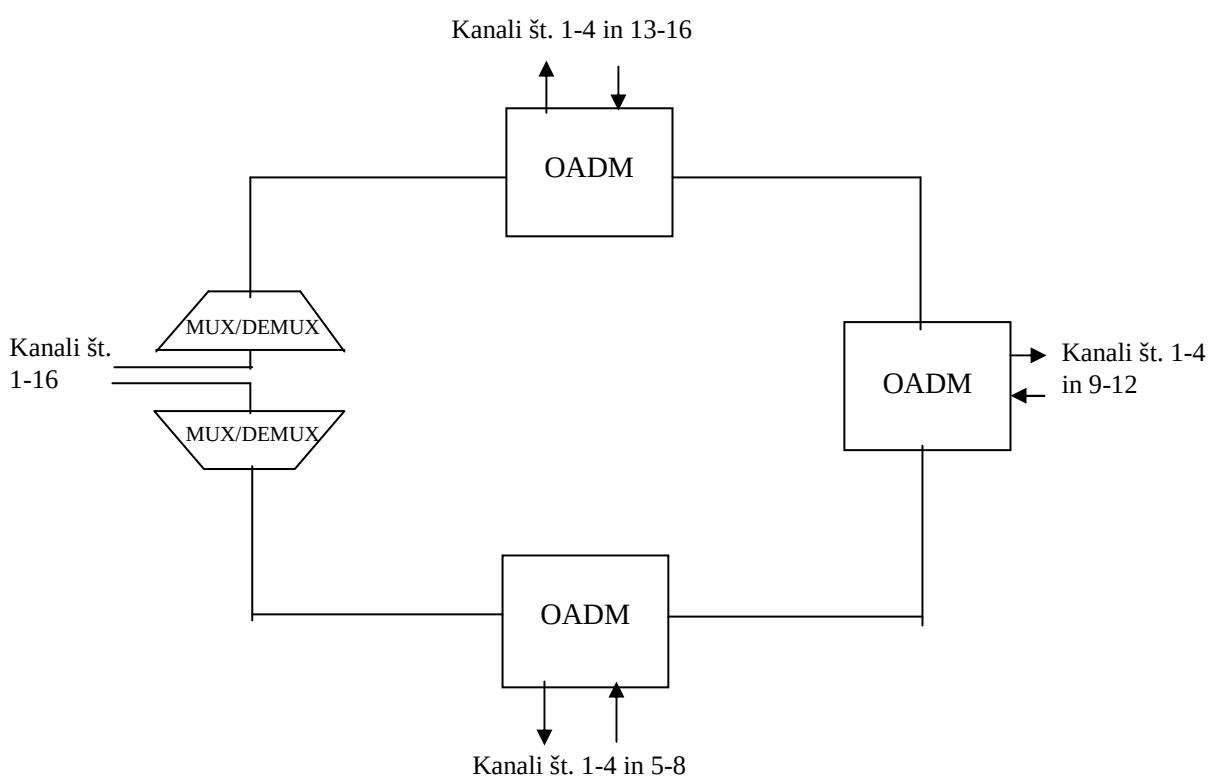
V primeru uporabe točka-točka povezav gre večinoma za potrebe po nezaščiteni poti (rezervna pot obstoječim delovnim trasam, multipleksiranje prometa preko para vlaken,...), zato se zveze večinoma realizirajo brez rezervne poti. Na sliki 22 je prikazana takšna povezava med dvema lokacijama. Na lokaciji a se nahaja MUX/DEMUX (multipleksor, demultipleksor) in ustrezne transponderske karte, če so potrebne. Omeniti velja, da se z multiplekserjem določi število prenesenih kanalov. Transponderske karte se dodajajo naknadno, za toliko kanalov kolikor jih potrebujemo.



Slika 22: Točka – točka WDM povezava

Pritočna stran je tako kot pri SDH odvisna od uporabniških vmesnikov. Linijska povezava pa je pri SDH odvisna od linijskih enot, medtem ko se pri WDM sistemih spreminja, oziroma je odvisna od pasovne širine, ki se prenaša preko posameznega kanala.

Pri povezavi WDM sistemov v obročno tehnologijo, pa uporabljamo dva načina izvedbe. Prvi način je odprti način, ki pomeni, da vsi WDM kanali na posamezni lokaciji »izstopijo« in vsi kanali ponovno »vstopijo«, drugi način pa je OADM, ki na posamezni lokaciji določene kanale izloči, ostali pa potujejo naprej.



Slika 23: Obročna konfiguracija WDM sistema prenosa

Primer na sliki 23 nam prikazuje obročno konfiguracijo z dvema MUX/DEMUX na eni lokacije, ter z OADM elementi na treh lokacijah. DWDM sistem je šestnajst kanalni, kar pomeni, da je v obroču možno uporabljati 16 valovnih dolžin. Pri načrtovanju DWDM omrežja, je pomembno pravilno razporediti valovne dolžine. Glede na obliko obroča in razporejene kanale, lahko domnevamo, da predstavljeni primer prikazuje centralno lokacijo (MUX/DEMUX), saj se vsi kanali začnejo in končajo na tej lokaciji, ter tri izpostavljene lokacije.

Iz primera je lepo razvidna razlika med lokacijo, na kateri se nahajajo multiplexer/demultiplexer in OADM oprema. Na lokaciji multiplexerja/demultiplexerja vsi signali oziroma kanali izstopajo in vstopajo, medtem, ko na lokacijah OADM-jev samo tisti, ki smo jih v naprej določili. Prikazana topologija omrežja ponuja po štiri kanale iz centralne lokacije do vsake izmed treh izpostavljenih lokacij in po štiri signale za promet, ki vstopa in izstopa na vsaki lokaciji (npr. SDH).

Na tržišču telekomunikacijske opreme sta na voljo dve vrsti WDM omrežnih elementov. V prvi varianti so to elementi namenjeni samo WDM enotam, torej enote kot so multiplexerji, transponderji, kombinirane karte, v drugi varianti pa so to digitalni prevezovalniki, ki dejanko omogočajo v enem elementu združevanje SDH, ethernet in WDM opreme.

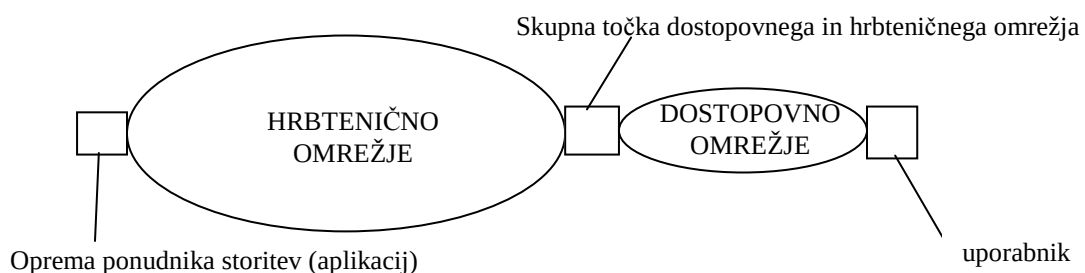
4. NADGRADNJA OMREŽJA TELEKOMA SLOVENIJE

Mesta postavitve omrežnih elementov oziroma sistema prenosa so odvisna od vhodnih pogojev, kateri se določijo na osnovi vhodnih informacij. Smiselno je vhodne informacije razdeliti na dva dela. Prvi del obsega obstoječe stanje, drugi del pa trende razvoja in predvidevanja, kaj se bo v bližnji prihodnosti dogajalo na področju telekomunikacij. Samo z upoštevanjem obeh vhodnih elementov lahko določimo optimalno tehnično rešitev.

4.1. PREGLED OBSTOJEČEGA STANJA

Strogo tehnično gledano je telekomunikacijsko omrežje prenosno omrežje, ki omogoča prenos signalov preko različnih medijev, po določenem frekvenčnem območju. Vendar je omrežje bistveno več kot samo naprave. Omrežje so tudi aplikacije, uporabniki, konec koncev tudi preostali ponudniki storitev, pa naj gre za ponudnike aplikacijskih storitev ali infrastrukture. Zaradi tega bo tudi pregled obstoječega stanja vseboval vse navedene kriterije oziroma parametre.

V telekomunikacijah omrežje razdelimo na hrbtenično in dostopovno, tako kot je prikazano na sliki 24.



Slika 24: Razdelitev omrežja na hrbtenični in dostopovni del

Zaradi novih aplikacij in storitev, ki potrebujejo veliko pasovno širino, so za ponudnike storitev vedno bolj pomembna omrežja z veliko zmogljivostjo prenosa tudi do uporabnikov. V Sloveniji gospodinjstva trenutno priključujemo z naslednjimi vrstami priklopa:

- nesimetrični digitalni naročniški vod (ADSL), kjer je za prenos uporabljena infrastruktura bakrenih parov,
- dostopovna koaksialna omrežja s kablskim modemi,
- ali na omrežje HFC (Hibrid Fiber Coax), ki je kombinacija optičnih in koaksialnih omrežij.

Poleg dostopovnih omrežij za gospodinjstva poznamo v Sloveniji še dostopovna omrežja za poslovne uporabnike. Mala in srednja velika podjetja večinoma uporabljajo ADSL in kablске modeme, srednje velika in večja podjetja pa predvsem zakupljene vode z uporabo tehnologij ATM ali FR. Pri poslovnih uporabnikih teh storitev, predvsem zaradi potreb majhnih podjetij prevladujejo ozkopasovni klicni modemi, pri rezidenčnih uporabnikih je več brezžičnega dostopa, povečuje pa se tudi dostop preko optičnih vodov z uporabo Ethernet tehnologije.

V tabelah 3 in 4 je prikazano število uporabnikov različnih oblik dostopa do interneta – domači uporabniki in poslovni uporabniki:

Tabela 3: Število domačih uporabnikov posameznih oblik dostopa do interneta, (APEK, januar 2004)

Klicni dostop (Analogni in ISDN)	Kablški modemi	ADSL	Brezžični dostop
155.305	19.834	24.128	124

Tabela 4: Število poslovnih uporabnikov posameznih oblik dostopa do interneta, (APEK, januar 2004)

Klicni dostop (analogni in ISDN)	Zakupljeni vodi (ATM, blokovo posredovanje)	Optični Ethernet	Kablški modemi	ADSL	Brezžični dostop
26.258	195	307	1.320	12.710	298

V tabelah 3 in 4 so navedeni podatki za začetek leta 2004. Po danes dostopnih podatkih samo število SiOL-ovih naročnikov presega 100.000 ADSL priključkov, kar pomeni trikratno povečanje števila naročnikov samo na tem segmentu, glede na podatke navedene v tabelah za

leto 2004. Z razvezanim dostopom in s tem povezanim pojavom novih ponudnikov in novih storitev pa se bo število različnih oblik dostopa do interneta samo še povečevalo.

S stališča izkoriščenosti opreme in omrežja bi bilo nesprejemljivo, tako tehnično kot ekonomsko, vsakega naročnika posebej povezati do lokacije konkretne storitve, zato se kaže kot primerno združevanje uporabniškega prometa. ADSL promet se združuje na linijsko digitalno naročniškem multipleksorju (DSLAM - Digital Subscriber Line Multiplexer), ki tudi predstavlja dostopovni del ADSL omrežja. Največja koncentracija DSLAMov se nahaja na urbanih področjih, torej na lokacijah večjih mest. Telekom Slovenije pa predvideva pokritost 95 % prebivalstva do konca leta 2005.

Ugotovili smo, da je v hrbteničnem omrežju čedalje bolj prisotna Ethernet tehnologija, zato moramo pri DSLAM-i predvideti Ethernet vmesnike.

Poleg števila uporabnikov dostopa do interneta, so pomembne tudi aplikacije, ki jih uporabniki želijo oziroma za to potrebna ustrezna pasovna širina. V tabeli 5 so prikazane orientacijske potrebne minimalne in optimalne pasovne širine za nekaj tipičnih internetnih aktivnosti.

Tabela 5: Orientacijske minimalne in optimalne hitrosti prenosa za nekaj tipičnih internetnih aktivnosti (APEK, januar 2004).

Aktivnosti	Minimalna hitrost (kb/s)	Optimalna hitrost (kb/s)
Brskanje po internetu	56	1000
Delo na daljavo	128	5000
Videokonferenca dveh uporabnikov	128	800
Učenje na daljavo	128	5000
Prenos (download) filmov v DVD formatu	500	10000
Prenos (download) glasbe	500	5000
Igranje iger v realnem času	128	5000
e-nakupovanje	56	5000
e-bančne storitve	56	5000
Digitalna TV (odvisno od kodeka)	1000	4000

V tabeli 5 je pod alineo “digitalna televizija” navedena potrebna hitrost prenosa oziroma pasovna širina za en kanal, zato je v primeru prenosa 100 ali več kanalov hkrati potrebno upoštevati, da je potrebna pasovna širina od $n \times 100\text{Mbit/s}$, kar ustreza GbE vmesnikom. Iz tega lahko zaključimo, da se bodo DSLAM navzgor proti omrežju povezovali z GbE vmesniki.

Povezave DSLAM opreme v hrbtenično omrežje se izvaja z uporabo robnih usmerjevalnikov, katere je smiselno postavljati na lokacijah velike gostote. Ob tem je potrebno upoštevati, da je

domet GbE vmesnika na DSLAM opremi 70 km in ga v primeru večjih razdalj ne bo mogoče direktno preko vlakna povezati na robni usmerjevalnik, ampak bo potrebno za povezavo uporabiti SDH ali WDM sistem prenosa.

Z upoštevanjem navedenih dejstev pri izgradnji širokopasovnega dostopovnega omrežja Telekoma Slovenije lahko ugotovimo, da mora hrbtenično omrežje zagotavljati naslednje robne pogoje:

- DSLAMi se povezujejo na robne usmerjevalnike, ki stojijo ali bodo stali na lokacijah večjih slovenskih mest s tem, da v primeru oddaljenosti <50 km ne potrebujemo SDH ali WDM sistemov. Ob upoštevanju rezerve se DSLAMi direktno po vlaknih povezujejo na aplikacijsko opremo. Kandidatne lokacije za postavitev omrežnih elementov so: Koper, Postojna, Nova Gorica, Idrija, Kranj, Bled, Novo Mesto, Krško, Celje, Velenje, Ravne na Koroškem, Maribor, Ptuj in Murska Sobota.
- Ocena prometa predvideva povezavo DSLAMov z GbE vmesniki. Iz tega izhaja, da je potrebno robne usmerjevalnike povezati z večjo pasovno širino, torej z $n \times \text{GbE}$ vmesniki ali 10 GbE vmesniki, kar posledično pomeni, da morajo sistemi prenosa na hrbteničnem omrežju omogočati prenos kanalov z 10 G pasovne širine.
- Zaradi koncentracije opreme na posamezni robni usmerjevalnik se sistemi prenosa optimalno gradijo le v obročni topologiji.

Klicni dostop (analogni in ISDN) se izvaja preko obstoječega SDH omrežja in se za to ne predvideva bistvena širitev obstoječega prometa.

Glede optičnega Etherneta lahko Telekom pričakuje porast zahtev za priključke, vendar je v tem primeru do naročnika predvidena optična Ethernet povezava, ki se zaključi na strani omrežja, na določenem stikalu ali usmerjevalniku, in zato ne zahteva dodatnega pretoka prometa preko hrbteničnega omrežja. Do dodatnih zahtev bi lahko prišlo samo v primeru, če bi naročnik zahteval VPN v mednarodnem omrežju.

Sistemi prenosa na hrbteničnem omrežju so zasedeni z vodi za potrebe storitev Telekoma Slovenije ter za najete vode. Glavni uporabniki najetih vodov so različne podjetja, kot so banke, operaterji mobilne telefonije Western Wireless International, Simobil, Mobitel, zaprta omrežja v upravljanju države – Arnes in HKOM, ter novi ponudniki internetnih storitev T2, Voljatelj in Medinet. Za navedene uporabnike so v večini uporabljene 2 Mbit/s in 34 Mbit/s PDH ali STM-1 vmesniki, kar je ekvivalentno 155 Mbit/s. V skupino najetih vodov lahko dodamo tudi tranzitne mednarodne zveze za katere so uporabljeni že navedeni vmesniki.

Hrbtenično omrežje sistemov prenosa, lahko ga poimenujemo tudi transportno omrežje, mora omogočati prenose podatkov od 10 Gbit/s naprej. Po trenutno poznanih fizikalnih lastnostih je takšne pasovne širine mogoče zagotoviti samo preko optičnih vlaken. Telekom Slovenije razpolaga z ustreznim optičnim omrežjem.

4.2. NAPOVEDI BODOČIH PROMETNIH ZAHTEV

Iz literature je znano, da se v naslednjem obdobju predvideva stagnacija prometa preko klasične stacionarne telefonije in velik porast internet prometa. Iz tega naslova je bilo že v predhodnem poglavju navedeno, da bo potrebno v omrežja vpeljati GbE vmesnike na relaciji DSLAM – robni usmerjevalnik (dostopovno omrežje) in GbE ali 10GbE vmesnike na nivoju hrbteničnih sistemov prenosa.

V skladu s porastom prometa je potrebno predvideti tudi porast prometa proti “nadrejenim” internetnim ponudnikom v tujini. Zaradi tega je potrebno na hrbteničnem nivoju predvideti dovolj pasovne širine tudi za mednarodne povezave.

Poleg tega se pričakuje porast prometa na hrbteničnem nivoju za mobilnega oporaterja Mobitel, ki uporablja del omrežja Telekoma Slovenije za hrbtenične povezave, za uvajanjem UMTS tehnologije, ki potrebuje večje pasovne širine za brezžično pokrivanje. Pri drugem ponudniku mobilnih storitev, to je Simobil, pa se pričakujejo poizvedbe in če bodo cenovno ugodne tudi naročila mednarodnih povezav, saj ima Simobil v Sloveniji že dobro razvejano omrežje.

S strani Internetnih ponudnikov ali ponudnikov ostalih telekomunikacijskih storitev, kot so Arnes, Voljatel, Medinet in T2 se pričakujejo dodatna naročila povezav, tako domačih v Sloveniji kot mednarodnih, vendar bo tu boj za pridobitev dodatnih naročil težak, saj se konkurenca na tem področju povečuje – ELES, SŽ in tudi DARS. V tem segmentu je bilo tržišče na Slovenskem trgu uradno odprto v prvi polovici leta 2001 (Slovenia Quarterly Forecast Report Q3 2004 – str. 25).

Na osnovi razgovorov in poizvedovanj, lahko pričakujemo velik porast potreb po pasovni širini za DRCje, kateri za uporabnike postajajo zanimi predvsem po 11. septembru. Poizvedbe za takšne centre so s strani države, različnih ministrstev kot s strani bank in podobnih uporabnikov. Za takšne namene uporabniki v večini primerov želijo SAN vmesnike, poleg teh pa tudi Ethernet vmesnike.

Zadnja večja skupina pa so sistemi ali podjetja, ki si želijo svoja privatna Ethernet omrežja. Zanimajo se za Fast Ethernet ali GbE pasovno širino na hrbteničnem nivoju.

4.3. TEHNIČNA REŠITEV

Hitro rastoče potrebe po dodatni pasovni širini, ki jih narekujejo nove in nove storitve, so gibalno razvoja hrbteničnih omrežij operaterjev telekomunikacijskih storitev. Nič manj pomembno vprašanje, ki se pojavlja predvsem pri operaterjih telekomunikacijskih storitev, ki združujejo promet različnih vrst, je tudi kako ves promet združiti na enotno platformo. Že

bežen pogled nam pokaže različne medije prenosa, od bakrenih paric, brezžičnih zvez, koaksialnih parov, enorodovnih in mnogorodovnih vlaken.

Mogoče je s stališča medija za velike operaterje odločitev lažja. Za velike pasovne širine za razdalje nad 50 km je trenutno na razpolago, tako z fizikalnega kot ekonomskega vidika, samo en sprejemljiv medij, to je optični kabel z enorodovnimi vlakni. Medij je torej izbran, vprašanje je samo še tehnologija prenosa.

Pri pregledu tehnologij je bilo ugotovljeno, da sta na razpolago dve tehnologiji, to sta valovno dolžinsko multipleksiranje in SDH sistemi prenosa. Izbira tehnologije je odvisna od različnih dejavnikov. Medtem, ko WDM nima omejitev glede pasovne širine, pa težave predstavlja draga oprema glede na SDH sistem, hkrati pa je potrebno izvesti združevanje prometa, kar spet zahteva dodatna sredstva. Druga tehnologija, to je SDH, pa so sistemi prenosa sedanjosti, to pomeni, da so razširjeni, tehnologija in varnostni mehanizmi so poznani, uporabniki so izšolani in jih dobro poznajo. Pri SDH so znani vmesniki in je cenejši od WDMa (za trenutne potrebe). Slabost SDH pa je, da z večanjem pasovnih širin ne bo več mogel slediti potrebam, oziroma bo potrebno graditi vzporedne sisteme, kar pa bo postalo drago in zamudno.

Namen tega poglavja je določiti tehnični rešitvi WDM in SDH opreme, medtem ko bodo bodoča poglavja, to je finančna analiza ugotovila, katera rešitev je ugodnejša. Obstaja tudi možnost, da bomo uporabili mešanico obeh rešitev.

Kakor je bilo omenjeno, bomo v tem poglavju na osnovi razloženih tehnologij, trenutnega stanja in ocen bodočega porasta prometa ali potreb po pasovnih širinah določili vse tehnične rešitve.

Tehnična rešitev za WDM tehnologijo vsebuje 16 kanalne DWDM sisteme prenosa. Število kanalov je razdeljeno glede na število omrežnih elementov v zanki ter ocenjeni promet. Zaradi konfiguracije – topologije je predvidena DWDM multipleksiranje (razdalja in število kanalov). Zmogljivost posameznih kanalov je 10 Gbit/s.

Rešitev z SDH tehnologijo pa predvideva postavitev SDH STM-64 sistema prenosa, kar ustreza 10 Gbit/s pasovni širini.

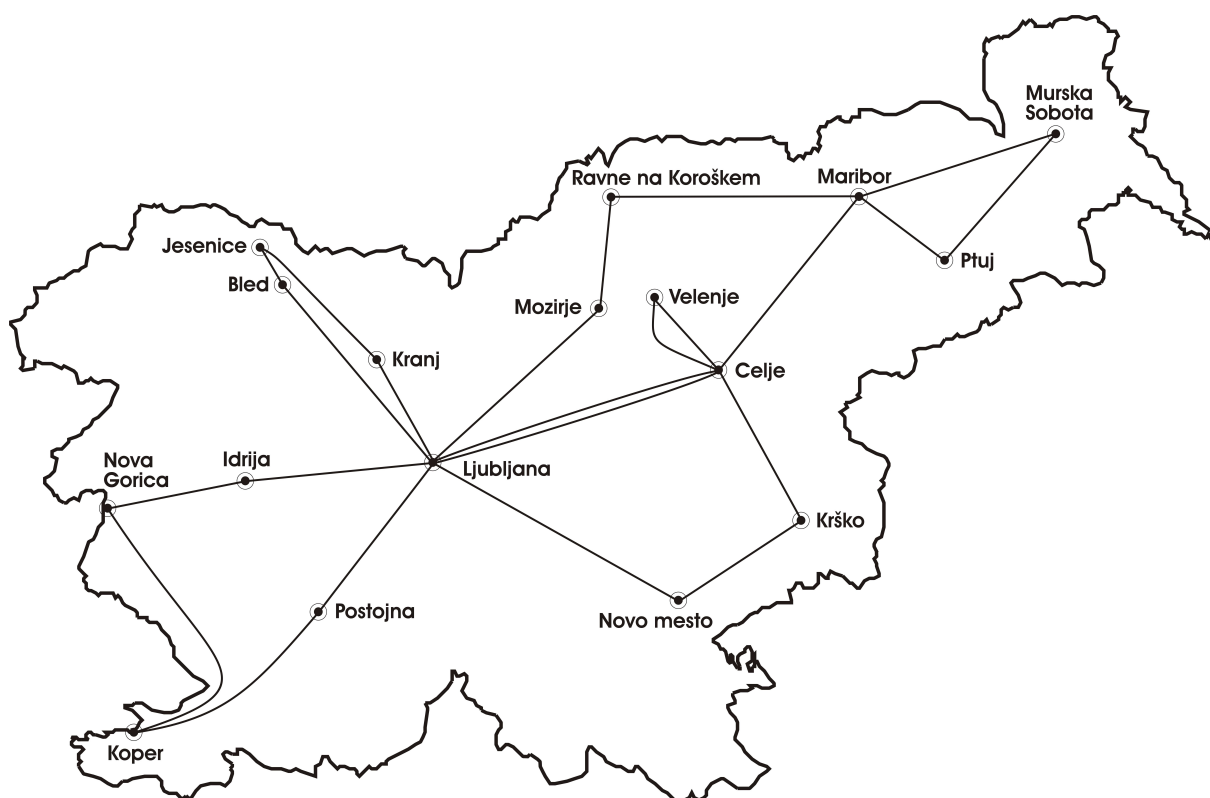
Ker gre v obeh primerih za enake pasovne širine po kanalu, so tudi lokacije omrežnih elementov enake in načrtujemo povezave na naslednjih relacijah z navedenimi razdaljami na posameznih odsekih:

- Ljubljana – Postojna – Koper – Nova Gorica – Idrija – Ljubljana
Ljubljana – Postojna 55 km, Postojna – Koper 95 km, Koper – Nova Gorica 105 km ,
Nova Gorica – Idrija 70 km in Idrija – Ljubljana 70 km;

- Ljubljana – Kranj – Bled – Jesenice – Ljubljana
Ljubljana – Kranj 30 km, Kranj – Bled 30 km, Bled – Jesenice 15 km in Jesenice – Ljubljana 70 km;
- Ljubljana – Novo Mesto – Krško – Celje – Ljubljana
Ljubljana – Novo Mesto 80 km, Novo mesto – Krško 40 km, Krško – Celje 125 km in Ljubljana – Celje 85 km;
- Ljubljana – Celje – Maribor – Ravne na Koroškem – Ljubljana
Ljubljana – Celje 85 km, Celje – Maribor 70 km, Maribor- Ravne na Koroškem 75 km, Ravne - Mozirje (regenerator) 65 km in Mozirje – Ljubljana 90 km;
- Maribor – Ptuj – Murska Sobota
Maribor – Ptuj 30 km, Ptuj – Murska Sobota 60 km in Maribor – Murska Sobota 70 km
- Celje – Velenje 30 km in obhodna pot 40 km.

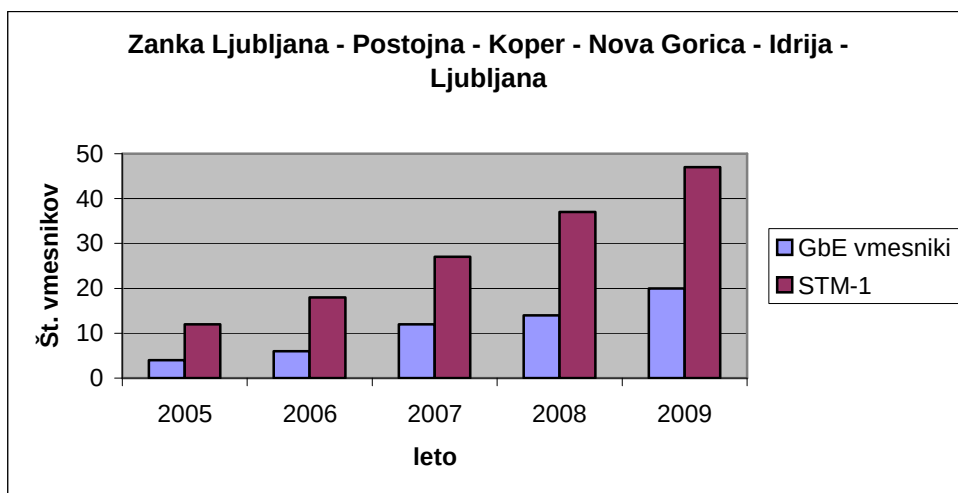
Lokacije oziroma mesta postavitve omrežnih elementov so določena oziroma izbrana, glede na obstoječe prometne tokove. Pomembno mesto pri izbiri lokacije ima število uporabnikov in sama fizikalna zakonitost trase. Kot zanimivost lahko navedemo ugotovite (Pilinsky, 2005, str. 213), da v optičnih omrežjih kar 20 % položenih vlaken ne omogoča prenosa signalov pasovne širine 10 G. Pri signalih do 40 Gbit/s je slika še veliko slabša in je takšnih vlaken kar 75 %. Prav zaradi tega je potrebno lokacije pozorno izbrati in pred vsako izbiro opreme izvesti ustrezne meritve.

Navedene relacije predstavljajo realizacijo sistemov prenosa preko optičnega omrežja Telekom Slovenije, s tem da so vse zanke v obročih po fizično ločenih poteh in je tudi s tega stališča zagotovljena dodatna varnost, saj v primeru izpada ene poti, sistemi v manj kot 50 ms preklopijo na rezervno pot. Tako hiter preklon je potreben zaradi zagotavljanja varnosti in kvalitete storitev (QoS - Quality of Service). Internetni promet deluje na principu storitve najboljše možnosti - best effort packet service (Gottinger, 2003, str 131), kar pomeni brez zagotovljenega uspešnega prenosa podatkov, tako da določeni paketi lahko zamujajo, medtem ko se drugi lahko tudi izgubijo. Ker pa bomo poleg internetnega prometa prenašali tudi TDM aplikacije, je potrebno zagotoviti redundančne poti in s tem povezan preklon na rezervno pot v manj kot 50 ms.

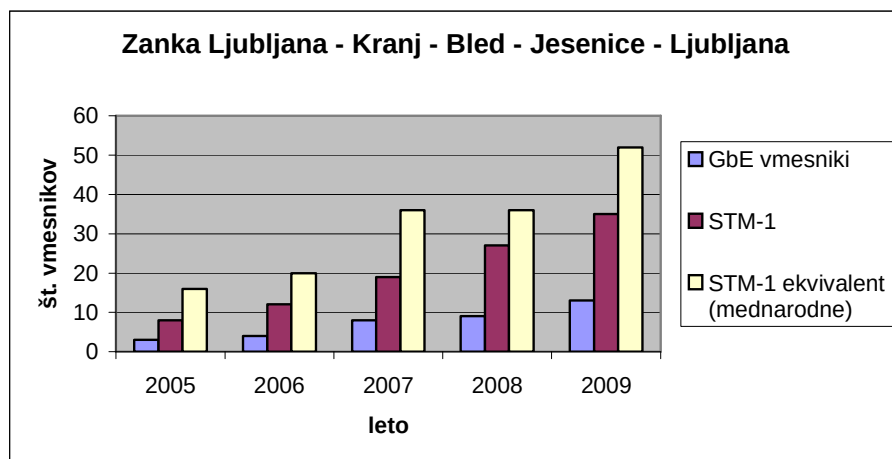


Slika 25: Geografska razporeditev zank

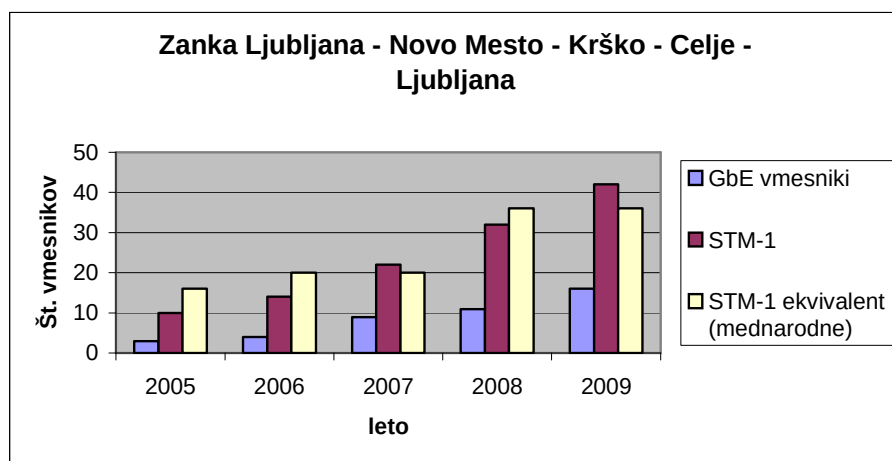
Poleg določitve optičnih tras (geografska razporeditev tras je predstavljena na sliki 25) je pomemben podatek tudi predvidena rast prometa in s tem povezana oprema. Zaradi tega si na slikah 26 – 31 pogledimo ocenjeno rast prometa, tip ali vrsto vmesnikov, ki bodo zaradi tega potrebni. Pri oceni je upoštevana linearna rast prometa.



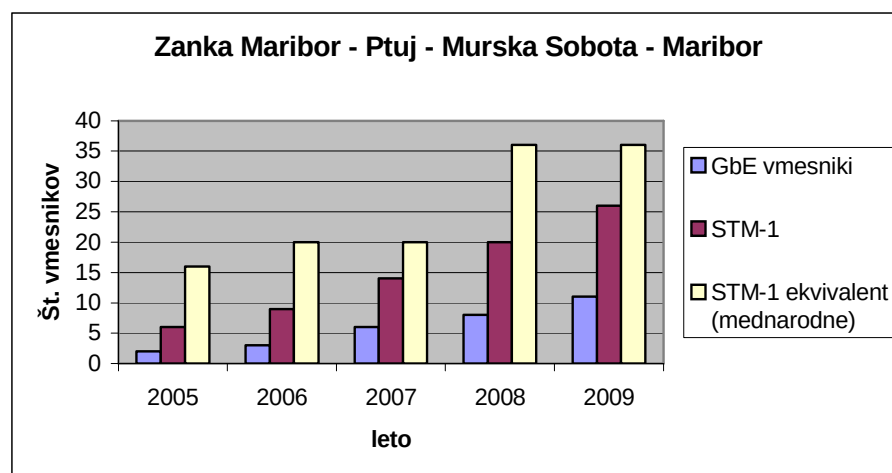
Slika 26: Ocena rasti prometa v petih letih na zanki Ljubljana – Postojna – Koper – Nova Gorica – Idrija - Ljubljana



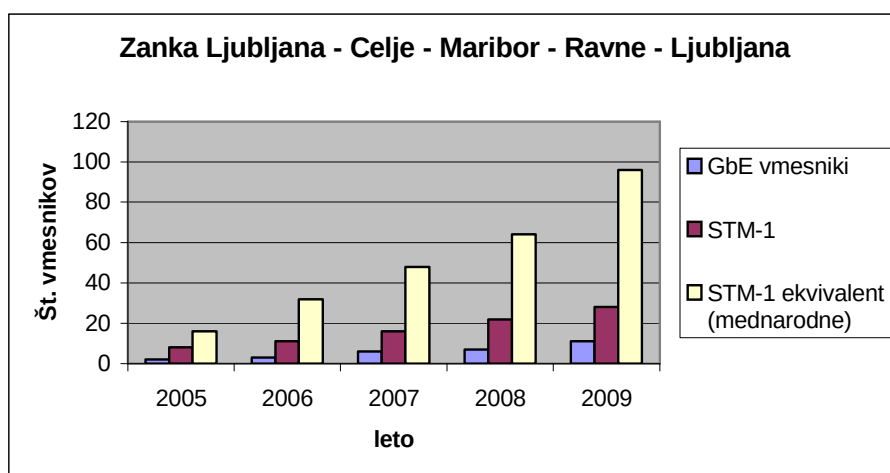
Slika 27: Ocena rasti prometa v petih letih na zanki Ljubljana–Kranj–Bled–Jesenice–Ljubljana



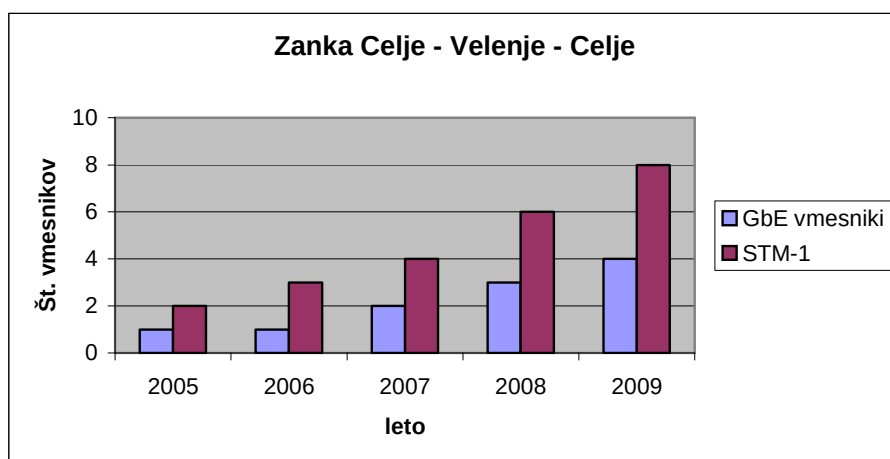
Slika 28: Ocena rasti prometa v petih letih na zanki Ljubljana–Novo mesto–Krško–Celje–Ljubljana



Slika 29: Ocena rasti prometa v petih letih na zanki Maribor-Ptuj-M.Sobota-Maribor

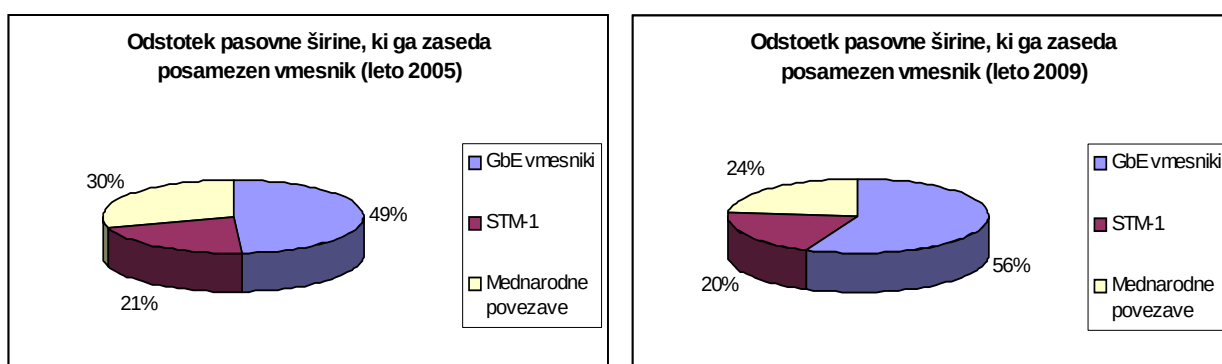


Slika 30: Ocena rasti prometa v petih letih na zanki Ljubljana – Celje – Maribor – Ravne - Ljubljana



Slika 31: Ocena rasti prometa v petih letih na zanki Celje – Velenje - Celje

V naslednjih dveh grafih (slika 32) združimo predviden oziroma ocenjen promet za vseh šest zank skupaj, saj bomo lahko tako lažje ocenili rast prometa posameznih vmesnikov.



Slika 32: Primerjava med zasedbo pasovne širine glede na posamezne vmesnike med letoma 2005 in 2009

Grafa na sliki 32 nam prikazujeta postopno dvigovanje ethernet prometa v skupnem deležu napram TDM vmesnikov. Za mednarodni promet so še vedno predvideni SDH vmesniki, prav zaradi dobre poznanosti in s tem povezane zaščite in standardizacije. Po podatkih je predvidena uporaba SDH vmesnikov do leta 2013-2015. Vse pa bo odvisno od prijaznosti, uporabnosti, ter s tem povezane razširjenosti in glavnega kriterija, to je cenovne ugodnosti.

V grafih (slike 26 – 31) je predvidena linearna rast prometa v omrežju Telekoma Slovenije, ne pa eksponencialna v širšem prostoru, kakor jo napovedujejo marsikateri analitiki. Za oceno takšne zmerne rasti, je potrebno upoštevati veliko razlogov. Prvi je prav gotovo optično omrežje v Sloveniji, kjer se pojavlja veliko ponudnikov, ki bodo v bodoče za svoj kos pogače pripravljeni ponuditi zelo nizko ceno pasovne širine ali celo medij (optično vlakno). Prav iz tega zornega kota je zanimivo, da je v Sloveniji mogoče najeti "dark fiber", kakor se imenuje najem vlaken.

Na linijskem nivoju smo kot ekvivaletne korake izbrali za TDM promet STM-1 pasovno širino, saj trenutno na hrbteničnem nivoju ni več smiselno govoriti o nižji pasovni širini, medtem ko so za podatkovni ethernet promet izbrani GbE vmesniki. Agregacija ethernet prometa se vrši na usmerjevalnikih in stikalih.

Po določitvi trase je potrebno navesti obe tehnične možnosti postavitve same opreme prenosa. S stališča načrtovanja je rešitev SDH STM-64 enostavnejša, saj predstavlja linijsko povezavo 10 Gbit/s, medtem ko se pritočna oprema lahko izbira glede na potrebe. Pri načrtovanju WDM omrežja, pa je potrebno določiti število kanalov na posamezni lokaciji, saj naknadno spreminjanje predstavlja prekinitev prometa, kar pa z stališča ponudnika pasovne širine ni dobro.

Variante z DWDM opremo:

- omrežne elemente na vse lokacijah (lokacije s številom kanalov so navedene v prometnih matrikah, tabele 6 - 10),
- vsaka zanka predvideva delno odprt sistem, kar pomeni, da sta na dveh lokacijah v zanki predvideni MUX/DEMUX (to sta lokaciji, kjer se zaključuje promet ali preko katere je predvidena velika količina prometnih tokov),
- prometna matrika je oblikovana tako, da je na lokacijah multiplekserjev in demultiplekserjev možen vstop vseh kanalov, na lokacijah OADM-jev pa samo v skladu z matriko. Vse zanke imajo poleg direktnih povezav, štiri kanale oblikovane tudi tako, da vsi štirje kanali vstopajo in izstopajo na vseh lokacijah,
- vsi DWDM sistemi so 16 kanalni,
- v opremi so zajeta kompenzacijska vlakna, saj ima pri 10 Gbit/s prenosu, disperzija velik vpliv in jo je potrebno kompenzirati,
- zaradi razmeroma dolgih razdalj (razdalje so navedene v predhodnem poglavju 4.3.) med elementi je potrebno v opremi zajeti tudi potrebne ojačevalnike.

Tabela 6: Prometna matrika za zanko Ljubljana – Postojna – Koper – Nova Gorica – Idrija – Ljubljana

	Ljubljana	Postojna	Koper	Nova Gorica	Idrija
Ljubljana	X	2	4	4	2
Postojna	2	X	2	0	0
Koper	4	2	X	4	0
Nova Gorica	4	0	4	X	2
Idrija	2	0	0	2	X

Tabela 7: Prometna matrika za zanko Ljubljana – Kranj - Bled – Jesenice - Ljubljana

	Ljubljana	Kranj	Bled	Jesenice
Ljubljana	X	4	0	4
Kranj	4	X	2	2
Bled	0	2	X	0
Jesenice	4	2	0	X

Tabela 8: Prometna matrika za zanko Ljubljana – Novo Mesto – Krško – Celje – Ljubljana

	Ljubljana	Novo Mesto	Krško	Celje
Ljubljana	X	4	2	4
Novo Mesto	4	X	2	0
Krško	2	2	X	0
Celje	4	0	0	X

Tabela 9: Prometna matrika za zanko Ljubljana – Celje – Maribor – Ravne na Koroškem – Ljubljana

	Ljubljana	Celje	Maribor	Ravne na Koroškem
Ljubljana	X	4	6	2
Celje	4	X	0	0
Maribor	6	0	X	2
Ravne na Koroškem	2	0	2	X

Tabela 10: Prometna matrika za zanko Maribor – Ptuj – Murska Sobota

	Maribor	Ptuj	Murska Sobota
Maribor	X	6	6
Ptuj	6	X	6
Murska Sobota	6	6	X

Sistem na relaciji Celje – Velenje je točka-točka (z zaščito kanalov), kar pomeni, da vsi kanali potekajo samo med tema dvema lokacijama.

Variantna z SDH opremo pa vsebuje

- omrežne elemente (digitalne prevezovalnike) na vseh relacijah
- linijske SDH STM-64 module ustreznega dosega
- kompenzacijska vlakna

V navedenih tehničnih rešitvah je predviden samo linijski del opreme, v finančnem delu pa bomo upoštevali tudi pritočni del opreme. Obe tehnični rešitvi sta s stališča delovanja sistemov ustrezni in omogočata prenos vseh oblik SDH kot Ethernet prometa (optični in električni vmesniki), kar je ob razmahu Ethernet prometa zelo pomembno.

Trenutno sta predstavljeni samo tehnični rešitvi, vendar bo šele finančna analiza prikazala ugodnejšo rešitev. Prav kalkulacije cen pritočnih modulov ob upoštevanju rasti prometa bodo pravilni pokazatelj ugodnejše rešitve.

5. OVREDNOTENJE INVESTICIJ

5.1. TEORIJA INVESTICIJ

S pojmom investicije razumemo vsa denarna vlaganja v prvine poslovnega procesa, ki jih običajno razčlenjujemo na delovna sredstva, predmete dela, delo in storitve. (Rebernik, 1997, str 215). Ne gre torej le za investiranje v delovna sredstva, ampak tudi za investiranje v predmete dela in delovno silo.

Investicije so vsak izdatek z namenom povečanja prihodnjega prihodka. (Senjur, 1993, str 30). Podjetja investirajo, saj brez investiranja ne morejo zagotavljati tehnološke učinkovitosti, brez nje pa tudi ekonomska učinkovitost ni uresničljiva. Investicijski projekt mora biti usklajen z določenimi parametri. Lahko govorimo, da je omejen z časom, stroški izvedbe in zahtevano kakovostjo.

Bistvo vseh investicijskih vrednotenj je merjenje upravičenosti porabe denarja za predlagan projekt s primerjavo koristi in stroškov projekta (Senjur, 1993, str 65.). Pred odločitvijo za določen investicijski projekt mora podjetje presoditi kateri projekt bo največ prispeval k njegovi ekonomski moči. Zaradi tega mora oceniti, kateri izmed možnih projektov bo najbolj povečal dolgoročni dobiček podjetja in prispeval tudi k uresničevanju drugih ciljev podjetja.

Sistemičen pristop k investicijskim odločitvam zahteva postavitev dolgoročnih ciljev, ki lahko služijo kot vodilo pri poslovnih odločitvah. Naloga managementa je maksimirati tržno vrednost delnic podjetja. Za investicijske odločitve to pomeni, da mora management preučiti tako pričakovane donose kakor tudi tveganje, ki je povezano z investicijskimi odločitvami (Levy H., 1988, str. 200).

Ker z investicijsko odločitvijo usklajujemo ponudbo s povpraševanjem, investicija po svoji strukturi in uspešnosti odigra pomembno vlogo v razvoju posameznega podjetja. Sprejetje dolgoročnih investicij, kar investicije v infrastrukturo so, bistveno vpliva na bodoče poslovne odločitve, ter s tem na uspešnost ali neuspešnost gospodarjenja. Zaradi tega so investicijske odločitve za podjetje ene bolj pomembnih poslovnih odločitev.

Pri sprejemanju investicij se moramo zavedati dejstva, da gre večinoma za omejena finančna sredstva, zato v procesu odločanja skrbno proučimo vse možne investicijske možnosti. Vse alternativne investicijske možnosti morajo biti med seboj primerljive. Temu pogoju mora zadostiti tudi metoda ali merilo, na osnovi katere ocenjujemo uspešnost različnih investicijskih možnosti (Stepko, 1980, str 2).

5.1.1. Statične in dinamične metode

V teoriji delimo metode za ocenjevanje investicijskih projektov na statične in dinamične. Osnovni kriterij za delitev je vključenost časovne dimenzije denarja v presojo projekta. Statični kriteriji povsem zanemarijo časovno sestavino ali pa jo upoštevajo samo delno ali posredno. Pri dinamičnih metodah pa z diskontiranjem donosov na začetni trenutek naredimo zneske primerljive (Čibej, 1997, str 29).

5.1.2. Statične metode

Te metode je zahodna teorija že zdavnaj (1950 – 1960) povsem zavrnila. Tudi pri nas so že davno opozarjali na njihovo neustreznost, ki se najpogosteje izraža kot (Čibej, 1997, str 30):

- neupoštevanje skupnih donosov investicij,
- neupoštevanje časovne razporeditve donosov in investicijskih vložkov,
- napačna obravnava časovnega horizonta.

Vendar o njih kljub temu še vedno govorimo, saj nam statistični kriteriji zadoščajo za osnovno selekcijo med potencialnimi naložbami, s katero izločimo najslabše možnosti, ki ne prenesejo niti tako enostavnih kriterijev. S tem si prihranimo precej dela, saj so dinamične metode v osnovi zahtevnejše glede tehnike kot tudi porabe časa. Med statistične metode štejemo odločanje na podlagi naslednjih kazalnikov:

1. Doba vračanja oziroma amortizacija investicije je čas, v katerem bo izplačan začetni vložek. Izračun je poenostavljen do absurda: čas vračanja ugotovimo tako, da seštevamo donose toliko časa, da vsota preseže začetni vložek. Gre torej za enostavno metodo, ki ugotavlja čas, v katerem bomo dobili povrnjena sredstva., zato jo lahko imenujemo tudi

kriterij vračilnega obdobja. Metoda ima dve slabosti, saj ne upošteva časovne vrednosti denarja, kar pomeni da ne upošteva, da je denar, ki ga prejmemo danes več vreden kot enaka vsota denarja v prihodnosti, ter ne upošteva različne dinamike donosov, kar pomeni, da ne upošteva, da so donosi skozi različna leta različno veliki (Rebernik, 1997, str 364), ignorira pa tudi donose investicije po dobi odplačila. Kriterij bi lahko imel neko izpovedno moč pri primerjavi dveh sicer enako privlačnih projektov, ki imata kratko življensko dobo, torej za projekta, ki sta izpostavljena hitremu ekonomskemu ali tehničnemu staranju. V tem primeru bi se opredelili za tistega izmed alternativnih projektov, ki hitreje vrača sredstva.

2. Rentabilnost investicije je razmerje (izraženo v odstotkih) med donosom investicije in investicijskim vložkom.

$$R = \frac{D}{I} \times 100$$

R - rentabilnost ali donostnost

D - donostnost investicije

I - investicijski vložek (kapital)

Enostavno bi jo lahko opisali z besedami: "Povej koliko dobim, če vložim toliko in toliko". Pri tem seveda pozabimo na "kdaj" in "če". (Čibej, 1997, str 30)

3. Skupni donos investicijskega vložka je analogen kriteriju "Rentabilnost investicije", vendar namesto v deležu izraža rezultat nominalno, kot število denarnih enot, ki jih v celotni življenski dobi prinese ena denarna enota investicijskega vložka. (Čibej, 1997, str 30).

4. Povprečni letni donos na enoto investicijskega vložka pomeni v bistvu različico prejšnje metode, saj gre za to, da namesto kumulativne vsote donosov z investicijskim vložkom primerjamo povprečni letni donos. Poleg že omenjenih slabosti je metoda še zlasti neprimerna za presojo investicij, ki relativno pozno začnejo vračati vloške. (Čibej, 1997, str 30).

5. Ekonomičnost in produktivnost kot kazalnika, izmerjena pred investicijo in po njej, samo v najširšem pomenu besede sodita med preučevane kriterije. V vsakem primeru gre za primerjavo dejanskih podatkov (za obstoječe stanje) in projekcij (za stanje po realizaciji investicije oziroma posamezne različice investicijskega projekta), pri čemer so razlike v investicijskih vložkih v bistvu zanemarljive, primerjava pa zožena na njihove rezultate (Čibej, 1997, str 30).

Na koncu lahko zaključimo, da se bomo statističnim metodam povečini izogibali, ker ne znajo oceniti posamezne različice in ker med dobrimi ne znajo izbrati najboljše. Pogojno uporabne so takrat, ko je treba zavreči izrazito slabe projekte.

5.1.3. Računovodska stopnja donosa

Nekdaj pogosto uporabljen kazalec je bila tudi računovodska stopnja donosa, za katero uporabljamo kratico AAR (Accounting Rate of Return). Dobimo jo tako, da delimo pričakovani neto letni dobiček (ko odštejemo amortizacijo) s povprečnim stroškom investicije (Levy H., 1988, str. 222)

$$ARR = \frac{\text{pričakovani_neto_letni_dobiček}}{\text{strošek_investicije} / 2} = \frac{D_letna_amortizacija}{I / 2}$$

Računovodska stopnja donosa ima dve očitni pomankljivosti:

- ne upošteva časovne vrednosti denarja, kar se odraža na preveč optimističnih donosih,
- ignorira časovna nihanja denarnih tokov, kar je še posebej moteče pri projektih, kjer pričakujemo znatna nihanja denarnih tokov v življenjski dobi projekta.

Novejše metode so računovodsko stopnjo donosa že skoraj izrinile. Njena glavna prednost je enostavnost, kar pa je šibak argument za njeno podporo.

5.1.4. Dinamične metode

Osnovna značilnost vseh dinamičnih metod je diskontiranje poznejših donosov na skupni termin, običajno na trenutek, ko dospe osnovni vložek. Za oceno primernosti projekta ali za primerjavo alternativnih projektov pa potem uporabimo bodisi absolutne denarne kategorije (neto ali čista sedanja vrednost, letni ekvivaletni donos) bodisi koeficiente oziroma stopnje (indeks donosnosti, interna stopnja donosa, modificirana interna stopnja donosa). (Čibej, 1997, str 30).

Investicijo ocenjujemo na osnovi njenega denarnega toka, ki sestoji iz pozitivnega in negativnega denarnega toka. S pozitivnim tokom razumemo donose, ki jih prinaša investicija, z negativnim tokom pa vse denarne izdatke, ki so povezani z investicijo. Pri ugotavljanju denarnega toka moramo upoštevati naslednje (Stepko, 1980, str. 29):

- upoštevamo samo denarne izdatke in dohodke, ki dejansko nastopijo, ne pa tudi stroške in dohodke, ki so računovodsko evidentirani,
- upoštevamo samo tiste stroške in dohodke, ki so povezani izključno z investicijo in ki ne bi nastali, če investicije ne bi sprejeli in
- pri investiciji moramo upoštevati kdaj stroški in dohodki dejansko nastopijo in ne kdaj so računovodsko evidentirani.

Neto sedanja vrednost

Eno od pogostejše uporabljenih meril za presojo smiselnosti investicijskega projekta je njegova neto sedanja vrednost ali čista sedanja vrednost. Originalna angleška kratica, ki jo dostikrat srečamo namesto NSV je NPV (Net Present Value).

Metoda temelji na dejstvu, da je tolar, ki ga bomo prejeli v prihodnosti, manj vreden kot tolar, ki ga imamo v roki sedaj. Torej če bi želeli imeti tolar danes, bi lahko vzeli posojilo, za katerega bi morali plačati obresti, ki bi znižale neto vrednost izposojenega tolarja. Torej NSV dobimo tako, da vse prehodne donose D_t z uporabo izbrane obrestne mere oziroma diskontne stopnje r reduciramo na začetni trenutek in od tako dobljene začetne vrednosti odštejemo sedanjo vrednost investicijskih izdatkov. Za konvencionalno investicijo, ki ima samo en vložek na začetku življenske dobe (I_0) dobimo:

$$NSV = \frac{D_1}{1+r} + \frac{D_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{D_n}{(1+r)^n} - I_0 = \left(\sum_{t=1}^n \frac{D_t}{(1+r)^t} \right) - I_0$$

Če pričakujemo v življenski dobi investicije poleg donosov tudi dodatne investicijske odlive, jih je seveda potrebno na enak način reducirati na začetni trenutek in jih odšteti od neto sedanje vrednosti. Neupoštevanje sanacijskih stroškov ob koncu življenske dobe projekta je pogosta napaka investicijskih elaboratov oziroma njihovih avtorjev, ki hote ali nehoti naredijo investicijo na prvi pogled bolj privlačno, kot si v resnici zasluži. Ko imamo opraviti tudi z poznejšimi vložki, jih analogno kot donose, tudi preračunamo na začetni trenutek:

$$NSV = \left(\sum_{t=1}^n \frac{D_t}{(1+r)^t} \right) - \left(\sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+r)^t} \right)$$

V formuli sta procesa investiranja in planiranja donosa ločena, saj začne teči vsota diskontiranih vložkov že od začetnega trenutka, medtem ko so planirani donosi šele ob koncu prvega računskega obdobja. Poleg tega je prednost ločenih procesov tudi možnost ločenega diskontiranja po različnih stopnjah, kar je tudi značilnost t.i. modificirane stopnje donosa. (Čibej, 1997, str. 30).

Iz formule je razvidno, da je neto sedanja vrednost odvisna od uporabljenih obrestne mere kot cene kapitala (praviloma tehtamo povprečje stroškov kapitala) oziroma od uporabljenega diskontnega faktorja $1+r$.

Pri investicijskih projektih v realnem svetu je potrebno poleg periodičnih donosov upoštevati tudi preostalo vrednost ob koncu življenske dobe. Vsebinsko je lahko problematika tega zneska precej drugačna od tiste, s katero se spopadamo ob načrtovanju projektov. Eden ključnih problemov je gotovo vprašanje ekonomskega staranja. Njegova računsko vloga je

povsem enaka vlogi zadnjega donosa, zato lahko za ustrezen znesek preprosto povečamo donos D_n (Čibej, 1997, str. 31).

Pri uporabi metode neto sedanje vrednosti poskrbimo, da so donosi, pri nespremenjenih ostalih pogojih, nominalno manj vredni, bolj kot so oddaljeni v prihodnost, oziroma bolj so odmaknjeni od začetka investicije. S tem je odpravljena največja pomankljivost statističnih metod, saj pri uporabi le-teh ni bila upoštevana časovna razporeditev donosov in investicijskih vložkov. Vendar pa ima tudi ta metoda svoje slabosti, ki so:

- Ne upošteva velikostnega reda investicije oziroma absolutnega zneska, zato je nemogoče primerjati dva zneska, ki se bistveno razlikujeta po pomembnih elementih in hkrati s tem povezano velikostjo začetnega vložka. V primeru enakih NSV se bomo določili za tistega z nižjim začetnim vložkom.
- Druga, bistveno bolj pomembna slabost pa je predpostavka, da vse donose lahko reinvestiramo za čas od njihovega dospelja do konca življenske dobe investicije, vsaj po obrestni meri, ki smo jo uporabili kot diskontno stopnjo pri izračunu NSV. Kot zgrešeno ali naivno se lahko izkaže, da bomo v določenem letu dejansko realizirali nakazane reinvesticijske donose. Težave imamo tudi v primeru padajočega trenda na področju tržnih obrestnih mer, zanemarjamo, pa tudi možnost, da pričakovane donose projekta investiramo v druge projekte z višjimi stopnjami donosa.

Indeks donosnosti

V primerih, ko med seboj primerjamo investicije z različnimi življenskimi dobami in različnimi investicijskimi stroški, neto sedanje vrednosti niso primerljive med seboj, zato uvedemo indeks donosnosti. Dobimo ga iz razmerja med sedanjo vrednostjo vseh donosov in sedanjo vrednostjo vseh investicijskih stroškov, pri čemer v obeh primerih uporabljamo isti diskontni faktor:

$$ID = \frac{\left(\sum_{t=1}^n \frac{D_t}{(1+r)^t} \right)}{\left(\sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+r)^t} \right)}$$

Za odločanje oziroma proučevanje investicije se odločimo samo v primeru, da je indeks donosnosti večji od ena. V primeru dveh alternativnih projektov se določimo za tistega, ki ima večji indeks donosnosti. Odločanje po tem kriteriju je zelo primerno takrat, ko imamo na voljo določena investicijska sredstva in projekte, katerih individualni vložki so manjši od teh sredstev: razvrstimo jih po padajočem indeksu donosnosti in se lotimo investiranja, dokler so še na voljo sredstva. Napačna pa je lahko odločitev na podlagi indeksa donosnosti, če gre za dva med seboj izključujoča se projekta, pri čemer projekt z večjim indeksom donosnosti pusti

pomemben del razpoložljivih sredstev neizkoriščen – v tem primeru je nujno potrebno primerjati absolutni vrednosti obeh NSV, saj je lahko drugi projekt boljši, če z nekoliko nižjim indeksom donosnosti aktivira večja investicijska sredstva.

Letni ekvivalentni donos

Slabost NSV je, da ne upošteva razlike v življenjski dobi projekta, saj se računa na določeno število let, v katerih bo projekt generiral določene denarne tokove. Vprašanje je kako primerjati med seboj dva projekta z različno življenjsko dobo. Prva možnost je, da oba projekta izenačimo glede na življenjsko dobo, kar lahko izvedemo tako, da poiščemo skupni večkratnik trajanja obeh projektov (npr. če imamo štiri in osemletni projekt, potem lahko dva zaporedna štiriletna izenačimo z osem letnim). Bolj elegantna rešitev pa je primerjava letnih ekvivalentnih donosov LED (Levy H., 1988, str 260).

Letni ekvivalentni donos je definiran kot anuiteta, katere sedanja vrednost je NSV investicijskega projekta. Z uporabo faktorja sedanje vrednosti anuitete (SVA) imamo:

$$NSV = LED(SVA_{r,t})$$

in dobimo:

$$LED = \frac{NSV}{SVA_{r,t}}$$

r – diskontna stopnja

t – trajanje projekta

Interna stopnja donosa

NSV pada hitreje, večji kot je diskontni faktor. Zaradi tega sklepamo, da obstaja diskontna stopnja, pri kateri je NSV investicije enaka 0. To mejno vrednost imenujemo interna stopnja donosa ISD oziroma r^* (IRR - Internal Rate of Return). Pri tej stopnji je vsota vrednosti donosov reduciranih na današnji trenutek natanko enaka investicijskemu vložku oziroma vsoti diskontiranih investicijskih vložkov, če je teh več in prispejo v različnih časovnih obdobjih.

Če označimo donose v posameznih letih oziroma ob koncu posameznega obračunskega obdobja z D_t in I_0 začetni vložek, dobimo interno stopnjo donosnosti r^* kot rešitev enačbe:

$$\frac{D_1}{(1+r^*)} + \frac{D_2}{(1+r^*)^2} + \dots + \frac{D_n}{(1+r^*)^n} - I_0 = 0$$

Če imamo opravka tudi s kasnejšimi vložki, jih diskontiramo na začetni trenutek:

$$\left(\sum_{t=1}^n \frac{D_t}{(1+r^*)} \right) - \left(\sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+r^*)} \right) = 0$$

Pri izbiri med različnimi investicijskimi variantami se odločimo za tisto, ki prinaša največjo stopnjo donosnosti ob pogoju, da je večja od določene tržne obrestne mere oziroma povprečnega stroška kapitala. (Čibej, 1997, str 32).

Primerjava med interno stopnjo donosa in neto sedanjo vrednostjo

V primerjavi z NSV ima interna stopnja donosa nekatere slabosti (Stepko, 1980, str. 30):

- interna stopnja donosnosti ne upošteva časovnih preferenc investitorja,
- interna stopnja donosa ne upošteva velikostnega reda naložbe,
- interna stopnja donosa odpove kot kriterij izbire med različnimi investicijskimi projekti v primeru, če so ti projekti medsebojno izključljivi, kar pomeni, da tehnično ali ekonomsko ni možno sprejeti druge naložbe, če smo sprejeli prvo,
- v primeru kompleksne naložbe, za katero je značilno, da so denarni tokovi izmenoma pozitivni in negativni, dobimo več rešitev za interno stopnjo donosnosti, pri čemer seveda vemo katera je prava.

Čeprav je interna stopnja donosa manj uporabna pri sprejemanju investicijskih odločitev, je po statističnih podatkih med managerji bolj priljubljena (Brigham, 1997, str. 411), ker je izražena v odstotkih in kot taka neposredno primerljiva z relevantno diskontno stopnjo.

V primeru, da imamo medsebojno neodvisna projekta, dobimo praviloma za interno stopnjo donosa in NSV enak rezultat. Problem se pojavi le pri medsebojno izključujočih projektih, ker lahko sprejmemo samo enega. Glavna vzroka za razliko sta običajno velikost projekta in učinek dospelja denarnih tokov (Levy H., 1988, str 213). V primeru, da imamo dva projekta, kjer je v primeru upoštevanja ISD boljši prvi projekt, v primeru upoštevanja NSV pa drugi, do rezultata najlažje pridemo z grafično ponazoritvijo (NSV v odvisnosti od diskontne stopnje).

Prednosti NSV sta predvsem enostavnost in zanesljivost, saj nam vedno daje enolične rešitve. Uporabnost interne stopnje donosa je v primerih, ko želimo dodatne informacije o projektih.

Modificirana interna stopnja donosa

Prav zaradi tveganj, povezanih z reinvestiranjem po optimistično visokih obrestnih merah, določenih bodisi z diskontno stopnjo, definirano na podlagi dragih kreditov, bodisi z interno stopnjo donosa, se je v ameriških finančnih razvil še en kriterij oziroma kazalnik. To je modificirana interna stopnja donosa ali MISD (MIRR - Modified Internal Rate of Return), ki

upošteva možnost, da se donosi reinvestirajo po drugačni, običajno nižji, obrestni meri, kot pa se uporablja za obrestovanje investitorjeve pasive.

V teoriji je MISD pogosto definirana kot diskontna stopnja, pri kateri se sedanja vrednost vseh stroškov projekta izenači s sedanjo vrednostjo zneska, ki ga dobimo, ko vse donose projekta naobrestimo za čas njihovega dospelja do izteka življenske dobe projekta po obrestni meri, ki predstavlja ceno kapitala (r):

$$\text{sedanja_vrednost_stroškov} = \text{sedanja_vrednost_naobrestenih_donosov}$$

Za konvencionalno investicijo, ki ima samo vložek I_0 na začetku in donose na koncu 1, 2, ..., n -tega leta, je v skladu z definicijo MISD rešitev enačbe (Brigham, 1997, str. 411):

$$I_0 = \frac{\sum_{t=1}^n D_t (1+r)^{n-1}}{(1 + \text{MISD})^n}$$

Obrestna mera r v tem primeru ustreza ceni kapitala, na primer obrestni meri, po kateri odplačujemo kredit, če smo celotno investicijo financirali iz tujih sredstev. Pri kompleksnih projektih, kjer se investicijski odlivi pojavljajo tudi v poznejših obdobjih, imamo na levi strani namesto enega začetnega vložka sedanjo vrednost vseh vložkov, pri čemer tudi na tej strani diskontiranje opravimo z r diskontno stopnjo (Brigham, 1997, str 411).

$$\sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+r)^t} = \frac{\sum_{t=1}^n D_t (1+r)^{n-t}}{(1 + \text{MISD})^n}$$

Modificirana interna stopnja donosa ima pomembno prednost pred ISD. MISD predpostavlja, da se denarni tok od projekta reinvestira po točno določeni stopnji, običajno so to stroški kapitala, ISD pa predpostavlja, da se vsak denarni dotok reinvestira po lastni interni stopnji projekta. Zato je običajno MISD manjša kot ISD. Ker je reinvestiranje po stroških kapitala običajno bolj pravilno, je modificirana interna stopnja običajno boljši indikator za dejansko donosnost projekta. MISD rešuje tudi problem, ko ima projekt več ISD (Brigham, 1997, str 412).

Modificirana interna stopnja donosa da pri medsebojno izključujočih projektih enak rezultat kot neto sedanja vrednost. Tudi pri projektih, ki so enake velikosti, vendar imajo različno življensko dobo, da MISD enak rezultat kot NSV. Če pa se projekti razlikujejo po velikosti, pa lahko pride do razhajanj med NSV in MISD (Brigham, 1997, str 412).

Modificirana interna stopnja donosa ima ob prevladujočih pozitivnih učinkih, zlasti prilagodljivosti na različne možnosti reinvestiranja, to slabost, da pri različnih avtorjih ni povsem enolično definirana (Čibej, 1997, str 33), zlasti kar zadeva obravnavo poznejših vložkov. Vsakakor pa pomeni pomemben korak, ki ga je treba napraviti, če želimo izboljšati realistično presojo investicijskih projektov.

Inflacija

Neto sedanja vrednost se v inflacijskih razmerah lahko meri na dva načina, z realno in z nominalno analizo.

Realna analiza

Nominalni denarni tok najprej deflacioniramo, kar pomeni, da ga reduciramo v realno obliko, nato pa izračunamo NSV projekta z uporabo realne obrestne mere. Predstavljajmo si projekt, ki ob začetnem investicijskem vložku 100 vrne na koncu leta 132 denarnih enot. Predpostavimo 20 % stopnjo inflacije in 10 % realno zahtevano minimalno stopnjo donosnosti. Jasno je, da je NSV takega projekta nič:

$$NSV = \frac{132/1.20}{1.1} - 100 = \frac{110}{1.1} - 100 = 0$$

Nominalna analiza

Enak rezultat bi dobili, če bi za diskontiranje nominalnih denarnih tokov upoštevali nominalni strošek kapitala. Pri nominalnem pristopu donos ob koncu leta ostane 132 denarnih enot, realna diskontna stopnja 10 % pa je prirejena za nominalne pogoje. Investitor, ki zahteva 10 % realni donos v okolju z 20 % inflacijo bo zahteval nominalni donos $r_n = 32\%$.

$$r_n = (1.1)(1.20) - 1 = 1.32 - 1 = 32\%$$

32 % diskontna stopnja odraža dejstvo, da investitor, ki dobi 132 denarnih enot na koncu leta za začetni strošek 100, dobi le za 110 denarnih enot kupne moči. Če želi ohraniti 10 % realni donos, mora zahtevati 32 % nominalni donos. NSV takega projekta je seveda nič, le da je kalkulacija tokrat v nominalnih enotah.

$$NSV = \frac{132}{(1.2)(1.1)} - 100 = \frac{132}{1.32} - 100 = 0$$

Tveganje in negotovost

Prihodnost je negotova in zato ne moremo natančno ugotoviti denarnih tokov in njegovega časovnega razporeda med trajanjem projekta. Niti čas trajanja ni povsem ugotovljiv, ker ni določen samo tehnološko, ampak tudi ekonomsko. Tveganje je sestavni del investicijskega procesa. Tveganje prevzame investitor, ki tvega in s tem lahko dobi ali izgubi. V zvezi z investicijami je vedno veliko tveganja, saj brez tveganja ni investicij. Pri vrednotenju investicij moramo to dejstvo upoštevati.

Pri tveganju z investicijami je potrebno upoštevati vsaj dve načeli (Senjur, 1993, str. 80):

- čim večje je tveganje, tem krajši rok povrnitve sredstev se zahteva
- čim večje je tveganje, tem višji donos se zahteva od investicije in tem večja je premija za tveganje.

Za ocenjevanje naložb se danes uporabljajo klasične ali tradicionalne metode vrednotenja oziroma ocenjevanja ekonomske upravičenosti investicijskih projektov, med katerimi je največkrat uporabljena interna stopnja donosa in neto sedanja vrednost (Lenarčič, 2004, str 7). Vendar se je v praksi že velikokrat pokazalo, da je ocenjevanje projektov tvegano oziroma negotovo, saj so se nekateri projekti, ki so bili ocenjeni kot uspešni pokazali za neuspešne in obratno. Tudi uveljavljene klasične metode imajo določene pomankljivosti, saj ocenjevanje obravnavamo kot enkratno priložnost in predpostavljamo, da bo podjetje sledilo začrtanemu planu ne glede na svoja spoznanja in razvoj dogodkov. Torej ne dopušča prostora za prožno odzivanje. Zaradi tega se v praksi pojavljajo tudi metode realnih opcij, ki pa v primeru, če je investicija izjemno dragocena oziroma popolnoma nezanimiva in nedonosna, niso potrebne (Lenarčič, 2004, str.26).

Doba vračanja

Zaradi nepredvidljive prihodnosti in s tem povezanega tveganja, je izid projekta tvegan in je potrebno upoštevati tudi rok povrnitve sredstev projekta. Čim bolj je projekt tvegan, krajši rok vrnitve se od projekta zahteva. Pri takšnih projektih se večji pomen posveča roku povrnitve sredstev, prav tako se v pogojih oziroma razmerah velikega tveganja in negotovosti daje prednost kratkoročnim investicijam (Senjur, 1993, str. 81).

Pesimistično in optimistično predvidevanje

Pri negotovosti nam že samo ime pove, da predpostavljamo določene dogodke, ki se bodo zgodili v prihodnosti. Sama negotovost lahko v določenih specifičnih situacijah pomeni zelo pozitivne ali zelo negativne posledice za vlagatelje. Prav zaradi navedenega se lahko zaradi lažjega soočanja s posledicami, soočimo z obema skrajnostima in naredimo še dva izračuna,

prvega na osnovi pesimističnega predvidevanja in drugega na osnovi optimističnega predvidevanja. Pričakujemo, da se bodo dogodki gibal znotraj teh dveh skrajnosti.

Možno je tudi izdelati drevo odločanja, ki predvidi oziroma upošteva razne opcije odločitev in se jim doda subjektivno oceno verjetnosti dogodka. Na ta način se ves čas zavedamo možnosti problemov.

5.2. IZBOR METODE IN UTEMELJITEV

Pri prebiranju literature, ki obravnavajo metode ocenjevanja investicijskih projektov, lahko ugotovimo, da ni bistvenih razlik med različnimi avtorji. Vsaka metoda ima svoje prednosti in slabosti, vendar je po mnenju avtorjev najboljša merilo neto sedanja vrednost, poleg te pa se v praksi pogosto uporablja tudi interna stopnja donosa, kar je najbrž posledica tega, da je rezultat izražen v odstotkih in je kot tak neposredno primerljiv s stroški kapitala.

6. REZULTATI OVREDNOTENJA INVESTICIJ OBEH TEHNOLOGIJ ZA NADGRADNJO OMREŽJA

V predhodnih poglavjih so bile opisane tehnične možnosti in s tem povezane tehnične rešitve, ki bodo omogočale prenos Ethernet signalov preko omrežja Telekoma Slovenije.

Prvi kriterij, s katerim smo se srečali, je bila izbira ustreznih rešitev, ki bodo ustrezale vsem tehničnim kriterijem. Ker sistema ne bomo gradili za kratek čas, je rešitev zasnovana tako, da poleg zagotavljanja zvez za obstoječe vmesnike omogoča tudi linijsko povezovanje novih vmesnikov, torej omogoča tudi bodoče širitve...

Upoštevajoč tehnične kriterije, predvsem možnost prenosa 10 Gbit/s signalov ter zagotavljanje zaščite na linijskem nivoju – preklon v času krajšem od 50 ms, smo zaključili, da ustrezata samo dve tehnični rešitvi:

- SDH tehnologija oziroma način multipleksiranja
- DWDM način multipleksiranja

Poleg zagotavljanja ustrezne topologije omrežja in načina linijskih povezav je pomemben podatek tudi tip prometa, saj iz tega lahko določimo kakšne vmesnike potrebujemo. Oceno prometa in s tem povezane dostopovne oziroma pritočne vmesnike smo predvideli v predhodnih poglavjih ter upoštevali trenutne prometne zahteve s postopnim zamenjevanjem klasičnih TDM vmesnikov z Ethernet vmesniki. Rast prometa je bila izvedena za vsako zanko posebej, saj gre za šest geografsko neodvisnih zank.

V naslednjem koraku bomo obe investiciji cenovno ovrednotili. Za obe tehnični rešitvi bomo izračunali CAPEX (capital expenditure) in OPEX (operational expenditure). Izračunani obratovalni stroški in naložbe v osnovna sredstva bodo služili za primerjavo obeh tehnologij. Obe investiciji bomo ocenjevali za obdobje petih let. Po tem obdobju prihaja velikokrat zaradi razvoja do zamenjave tehnologij.

6.1. SDH (CAPEX, OPEX)

Pri cenovnem ovrednotenju investicije si najprej pogledjmo naložbe v osnovna sredstva. CAPEX oziroma naložbe v osnovna sredstva razdelimo na naslednje postavke (Caballero, 2005a, str 190):

- cena opreme
- programska oprema
- prevzemni test
- montaža in ožičevanje
- nadgradnje

Cena opreme vsebuje vrednosti vseh elementov opreme, ki jih potrebujemo za realizacijo navedenih tehničnih rešitev. Opremo razdelimo na posamezne sklope. V nadaljevanju si bomo za vsako zanko posebej pogledali nabavno vrednost posameznega sklopa. Programska oprema je sestavni del posamezne enote, zato je zajeta v ceni le-te. Posamezni v celoto zaključeni sklopi opreme so:

- Omrežni elementi: v tej postavki so zajeti omrežni elementi (vstavki) z vsemi skupnimi kartami, ki so potrebne za nemoteno delovanje takšnega vstavka. Te kartice oziroma enote so matrične kartice, procesorske kartice, ventilatorske in napajalne kartice.
- Linijska oprema vsebuje vse potrebne nosilne kartice z potrebnimi linijskimi moduli.
- Ojačevalniki in kompenzacijska vlakna (DCF) so enote, ki so potrebne za zagotavljanje povezljivosti obeh omrežnih elementov, ter služijo premagovanju fizikalnih omejitev – slabljenja in disperzije. V prvem trenutku lahko opazimo določene podobnosti z linijskimi enotami, vendar se ojačevalniki in kompenzacijska vlakna vgrajujejo v linijo, zato jih tudi obravnavamo ločeno.
- Pritočna oprema: zadnji sklop opreme vsebuje vse potrebne vmesnike, ki zagotavljajo povezljivost dostopnega – pritočnega prometa v hrbtenično omrežje.

Cena opreme po posameznih postavkah in posameznih zankah, ločeno po letih so navedene v tabelah (11 – 16, vir Telekom Slovenije).

Tabela 11: Cena SDH opreme (v mio SIT) za zanko Ljubljana – Postojna – Koper – Nova Gorica – Idrija - Ljubljana

	1. leto	2.leto	3.leto	4.leto	5.leto
Omrežni element	29	0	0	29	0
Linijski moduli	78,1	0	78,1	78,1	0
Ojač. in DCF	15,9	0	15,9	15,9	0
Pritočne enote	28,7	3,4	12,5	13	16,2
Skupaj	151,7	3,4	106,5	136	16,2

Tabela 12: Cena SDH opreme (v mio SIT) za zanko Ljubljana – Kranj – Bled – Jesenice - Ljubljana

	1. leto	2.leto	3.leto	4.leto	5.leto
Omrežni element	23	0	0	0	23
Linijski moduli	54,8	0	54,8	0	54,8
Ojač. in DCF	3,8	0	3,8	0	3,8
Pritočne enote	25,9	5,6	10,5	8,2	10,5
Skupaj	107,5	5,6	69,1	8,2	92,1

Tabela 13: Cena SDH opreme (v mio SIT) za zanko Ljubljana – Novo mesto – Krško – Celje – Ljubljana

	1. leto	2.leto	3.leto	4.leto	5.leto
Omrežni element	23,5	0	0	23,5	0
Linijski moduli	62,1	0	62,1	62,1	0
Ojač. in DCF	17,9	0	17,9	17,5	0
Pritočne enote	27,1	3,7	9,8	9,8	12,1
Skupaj	130,6	3,7	89,8	112,9	12,1

Tabela 14: Cena SDH opreme (v mio SIT) za zanko Ljubljana – Celje – Maribor – Ravne – Ljubljana

	1. leto	2.leto	3.leto	4.leto	5.leto
Omrežni element	29	0	0	6,5	12
Linijski moduli	65,5	0	65,5	0	65,5
Ojač. in DCF	14,1	0	14,1	0	14,1
Pritočne enote	21,5	3,5	8	6,2	13,6
Skupaj	130,1	3,5	87,6	12,7	105,2

Tabela 15: Cena SDH opreme (v mio SIT) za zanko Maribor – Ptuj – Murska Sobota - Maribor

	1. leto	2.leto	3.leto	4.leto	5.leto
Omrežni element	18	0	0	0	18
Linijski moduli	42,7	0	42,7	0	42,7
Ojač. in DCF	0	0	0	0	0
Pritočne enote	20,3	3	7,1	5,8	7,4
Skupaj	81	3	49,8	5,8	68,1

Tabela 16: Cena SDH opreme (v mio SIT) za zanko Celje – Velenje - Celje

	1. leto	2.leto	3.leto	4.leto	5.leto
Omrežni element	12	0	0	0	0
Linijski moduli	26,2	0	0	0	0
Ojač. in DCF	0	0	0	0	0
Pritočne enote	10,3	0	0,6	2,3	0,6
Skupaj	48,5	0	0,6	2,3	0,6

Zaradi lažje predstave in primerjanja celotne investicije bomo vrednosti vseh šestih sistemov združili. Poleg vrednosti opreme bomo dodali še postavke ožičevanje, montaža ter nadgradnja sistemov. Vse tri navedene postavke so storitve in predstavljajo 2 % vrednosti nabavljene opreme. Pri skupnem znesku nabave opreme, je potrebno upoštevati tudi množico rezervne opreme, ki je enotna in se nabavi za celotno omrežje ob investiciji. Z upoštevanjem navedenega dobimo vrednosti v tabeli 17 (v mio SIT).

Tabela 17: Skupna vrednost naložb (SDH oprema v mio SIT) v osnovna sredstva za vseh šest zank skupaj

	1.leto	2.leto	3.leto	4.leto	5.leto
Oprema	649,4	19,2	403,4	277,9	294,3
Storitve	13	0,4	8,1	5,6	5,9
Rezervne enote	27	0	0	0	0
Skupaj	689,4	19,6	411,5	283,5	300,2

Poleg naložb v osnovna sredstva so zelo pomembni podatki, ki vplivajo na odločitev o posamezni investiciji obratovalni stroški zaradi nujnosti vzdrževanja posamezne opreme.

Obratovalne stroške lahko razdelimo na (Caballero, 2005a, str. 190):

- amortizacijo,
- vzdrževanje in konfiguracijo zvez – spremljanje delovanja sistema in odprava napak ter kreiranje novih zvez
- podpora sistema: vzdrževalna pogodba in stroški uporabljenega medija prenosa.

V skladu s pravilnikom o računovodenju Telekoma Slovenije smo upoštevali 14,3% amortizacijsko stopnjo pri opremi in 5% amortizacijsko stopnjo pri kabelskem omrežju (Pravilnik o računovodenju TS, d.d.).

Za vzdrževanje predmetne opreme skrbi tim ljudi, ki spremlja delovanje opreme, kreira nove zveze in opravlja posege ob napakah. Tim ljudi sestavljata dve ekipi – ena na lokaciji Ljubljana in ena na lokaciji Maribor, poleg tega v popoldanskem in nočnem času poteka tudi dežurstvo.

Ker je predmetna oprema namenjanju zagotavljanja zvez na hrbteničnem nivoju, je odprava vsake napake pomembna, zato moramo poleg množice rezervnih enote in ustrezne ekipe usposobljenih strokovnjakov, skleniti tudi vzdrževalno pogodbo z dobaviteljem opreme, ki nam v primeru napake omogoča strokovno pomoč v vsakem trenutku na najvišjem nivoju. Vrednost vzdrževalnih pogodb se giblje med 3 in 5 % vrednosti nabavljene opreme. V našem primeru bomo upoštevali srednjo vrednost, to je 4 %.

V alineji podpora sistema je pomembna postavka tudi medij. Zaradi dolgih razdalj, skupna dolžina optične trase je 1560 km, predstavlja optični medij kar visoko vrednost. 1 km položenega 32 vlakenskega kabla (vse storitve z materialom) stane 6,5 mio SIT. Za povezavo potrebujemo dve vlakni, kar skupaj znes 406.250 SIT/km. Amortizacija pri 5% stopnji zanaša 20.500 SIT/km z upoštevanimi stroški vzdrževanja pa skupaj 23.000 SIT.

Tabela 18: Skupna vrednost obratovalnih stroškov (SDH oprema v mio SIT) za vseh šest zank skupaj

	1.leto	2.leto	3.leto	4.leto	5.leto
Amortizacija	96,7	99,5	157,2	196,9	239
Vzdrževanje sist.	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8
Vzdr. Pogodba	27	27,8	44	55	66,9
Medij	35,6	35,6	70,1	86,8	104,4
Skupaj	188,1	191,7	300,1	367,5	439,1

6.2. DWDM (CAPEX, OPEX)

Prav tako kot pri cenovnem ocenjevanju SDH opreme, si tudi pri tehnični rešitvi z DWDM opremo najprej pogledimo naložbe v osnovna sredstva, ki jih razdelimo na enake postavke, kot pri SDH opremi. Omeniti velja, da se vsi potrebni optični mutliplkserji in demultiplekserji ter optični OADM upoštevajo pri postavki linijska oprema, kar se bo izražalo v višji vrednosti te postavke glede na SDH rešitev.

V nadaljevanju si pogledimo tabele št. 19 - 24 s cenami opreme (v mio SIT, vir Telekom Slovenije) po posameznih postavkah in posameznih zankah, ločeno po letih.

Tabela 19: Cena DWDM opreme (v mio SIT) za zanko Ljubljana – Postojna – Koper – Nova Gorica – Idrija – Ljubljana

	1. leto	2.leto	3.leto	4.leto	5.leto
Omrežni element	44	0	0	37,5	0
Linijski moduli	91,9	0	64,5	64,5	0
Ojač. in DCF	37,5	0	0	0	0
Pritočne enote	28,7	3,4	12,5	13	16,2
Skupaj	202,1	3,4	77	115	16,2

Tabela 20: Cena DWDM opreme (v mio SIT) za zanko Ljubljana – Kranj – Bled – Jesenice – Ljubljana

	1. leto	2.leto	3.leto	4.leto	5.leto
Omrežni element	35	0	6,5	6,5	0
Linijski moduli	76,1	0	62,8	64,5	0
Ojač. in DCF	14,6	0	0	0	0
Pritočne enote	25,9	5,6	10,5	8,2	11,9
Skupaj	151,6	5,6	79,7	14,7	11,9

Tabela 21: Cena DWDM opreme (v mio SIT) za zanko Ljubljana – Novo mesto – Krško – Celje – Ljubljana

	1. leto	2.leto	3.leto	4.leto	5.leto
Omrežni element	35,5	0	6,5	0	5,5
Linijski moduli	84,7	0	65,8	0	0
Ojač. in DCF	40,7	0	0	0	0
Pritočne enote	27,1	3,7	9,8	9,8	12,1
Skupaj	188	3,7	82,1	9,8	17,6

Tabela 22: Cena DWDM opreme (v mio SIT) za zanko Ljubljana – Celje – Maribor – Ravne - Ljubljana

	1. leto	2.leto	3.leto	4.leto	5.leto
Omrežni element	41	0	0	6,5	12
Linijski moduli	84,7	0	25,2	0	26,2
Ojač. in DCF	45,1	0	0	0	0
Pritočne enote	21,5	3,5	8	6,2	13,6
Skupaj	192,3	3,5	33,2	12,7	51,8

Tabela 23: Cena DWDM opreme (v mio SIT) za zanko Maribor – Ptuj – Murska Sobota - Maribor

	1. leto	2.leto	3.leto	4.leto	5.leto
Omrežni element	37,5	0	0	37,5	0
Linijski moduli	60	0	43,6	0	13,6
Ojač. in DCF	14,6	0	0	0	0
Pritočne enote	20,3	3	7,1	5,8	7,4
Skupaj	132,4	3	50,7	5,8	21

Tabela 24: Cena DWDM opreme (v mio SIT) za zanko Celje – Velenje - Celje

	1. leto	2.leto	3.leto	4.leto	5.leto
Omrežni element	12	0	0	0	0
Linijski moduli	40,6	0	0	0	0
Ojač. in DCF	0	0	0	0	0
Pritočne enote	10,3	0	0,6	2,3	0,6
Skupaj	62,9	0	0,6	2,3	0,6

Prav tako kot pri rešitvi z SDH opremo, tudi pri rešitvi z DWDM opremo sledi združitev vseh šestih sistemov v eno tabelo z upoštevanimi storitvami v višini 2 % vrednosti nabavljene opreme in setom rezervnih enot (tabela 25). Vse vrednosti so v mio SIT.

Tabela 25: Skupna vrednost naložb (DWDM oprema v mio SIT) v osnovna sredstva za vseh šest zank skupaj

	1.leto	2.leto	3.leto	4.leto	5.leto
Oprema	929,3	19,2	323,4	160,3	119,1
Storitve	18,6	0,4	6,5	3,2	2,4
Rezervne enote	32,5	0	0	0	0
Skupaj	980,4	19,6	329,9	163,5	121,5

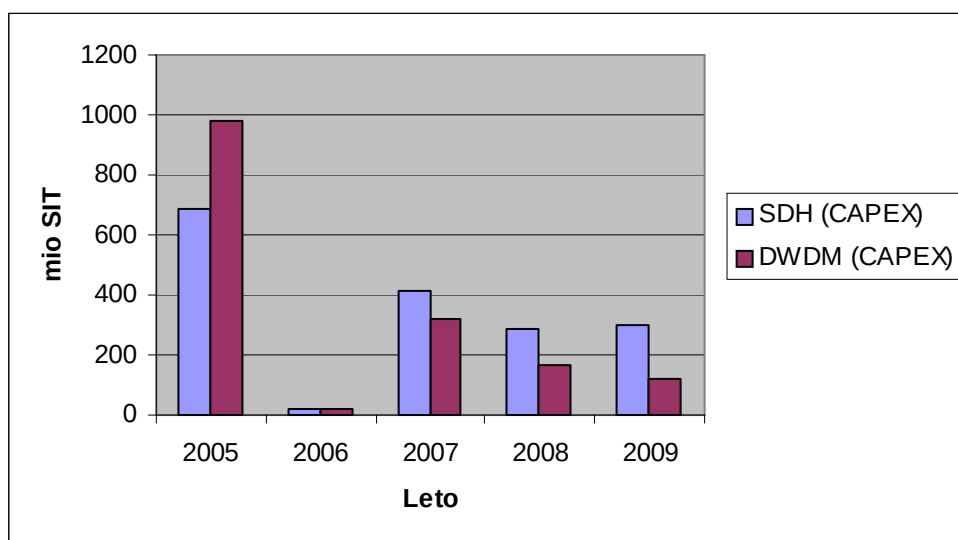
Poleg naložb v osnovna sredstva je tudi pri tehnični rešitvi z DWDM opremo zelo pomemben podatek pri ocenjevanju investicijske vrednosti obratovalnih stroškov. Z upoštevanjem postavk, ki vplivajo na obratovalne stroške, to so amortizacija, vzdrževanje in konfiguracija zvez ter podpora sistema dobimo tabelo 26.

Tabela 26: Skupna vrednost obratovalnih stroškov (DWDM oprema v mio SIT) za vseh šest zank skupaj

	1. leto	2. leto	3. leto	4. leto	5. leto
Amortizacija	137,5	140,3	186,5	209,5	226,5
Vzdrževanje sist.	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8
Vzdr. Pogodba	38,5	39,3	52,2	58,4	63,4
Medij	35,6	35,6	35,6	35,6	35,6
Skupaj	240,4	244	303,1	332,3	354,3

6.3. PRIMERJAVA OBEH TEHNOLOGIJ

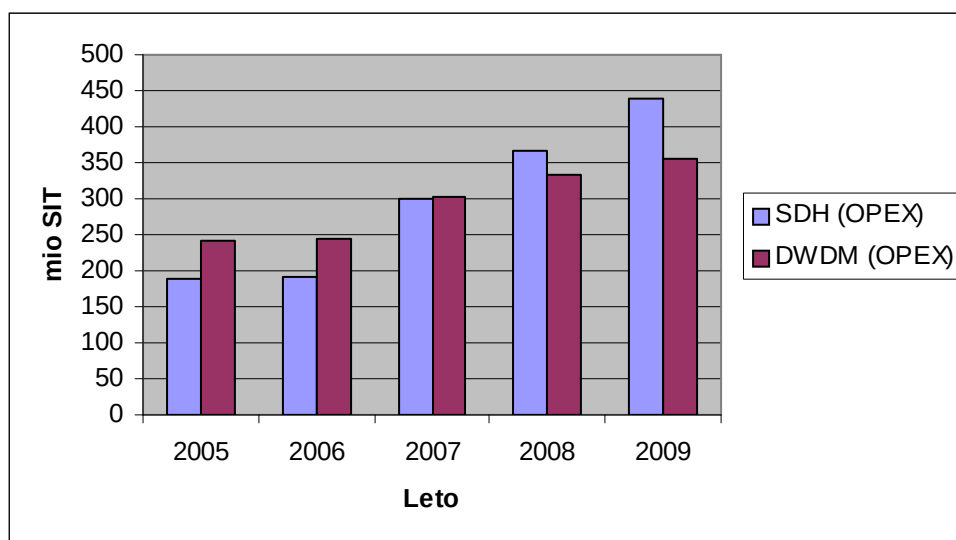
V predhodnih dveh poglavjih smo izračunali vrednost naložb v osnovna sredstva in obratovalne stroške za vsako varianto. Dobljene vrednosti bomo zaradi lažje primerljivosti združili v graf (slika 33).



Slika 33: Primerjava vrednosti CAPEXa med SDH in DWDM rešitvijo

Iz primerjave vrednosti naložb v osnovna sredstva lahko zaključimo, da je vrednost nabave DWDM opreme v začetku bistveno večja od vrednosti nabave SDH opreme, vendar z leti

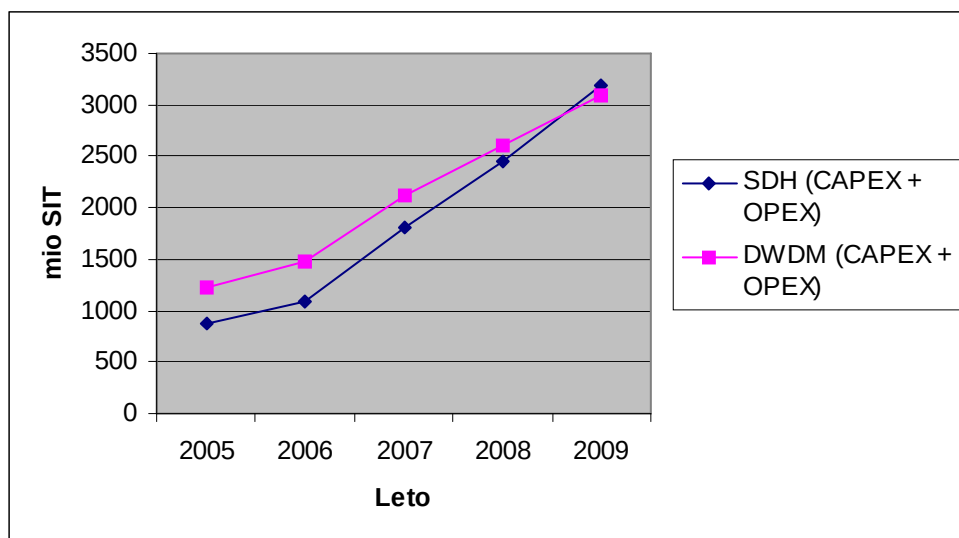
drastično upada. Razlika nastopa predvsem na področju linijskih povezav, saj je potrebno pri tehnični rešitvi z DWDM opremo v začetku nabaviti drage ojačevalnike in kompenzacijska vlakna, nato pa sledi samo še nakup cenovno ugodnejših linijskih enot. Pri SDH rešitvi pa je potrebno pri vsaki širitvi linijske zmogljivosti nabaviti dodatne ojačevalnike, kompenzacijska vlakna ter drage linijske kartice. Prav zaradi tega z leti vlaganje v SDH rešitev zahteva vedno več sredstev in v primeru nadaljevanja izračuna v šesto in sedmo leto, bi bila razlika še bistveno večja v korist DWDM rešitve. Pritočni vmesniki so pri obeh rešitvah enaki, saj pričakujemo enak dostopovni promet v obeh primerih. V grafu (slika 34) vidimo tudi zanemarljivo nizka vlaganja v drugem letu, kar je potrebno pripisati zadostni količini nabavljene linijske opreme v prvem letu, kar pomeni, da je drugo leto potrebno nabaviti samo pritočne enote.



Slika 34: Primerjava vrednosti OPEXa med SDH in DWDM rešitvijo

Pri primerjavi stroškov vzdrževanja na razliko med obema rešitvama vplivata dva dejavnika. Prvi je veliko vlaganje v DWDM opremo v prvem letu in s tem povezani veliki vrednosti postavk amortizacija in vzdrževalna pogodba. Tim ljudi, ki vzdržuje opremo oziroma sisteme je za obe varianti enak, tako da je ta postavka v obeh primerih enaka. V skladu s potrebami po naraščanju pasovne širine, pa je potrebno povečevati tudi linijsko zmogljivost. Linijska zmogljivost je v DWDM sistemu realizirana že v prvem letu, tako da sistem stalno deluje po dveh vlaknih in nadgradnje oziroma potrebe po dodatnih vlaknih niso potrebne. Prav nasprotno pa je v primeru rešitve z SDH opremo, saj vsako povečevanje linijske hitrosti zahteva na relaciji povečavo sistema in dodatni dve vlakni. Prav zaradi tega razloga je v postavki medij pri DWDM konstantna vrednost, medtem ko se pri rešitvi z SDH opremo le-ta drastično povečuje. V primeru nepredvidenih dodatnih potreb po pasovni širini, pa bi to razmerje postajalo še bolj "neugodno" v korist rešitve z SDH opremo.

Za hitro primerjavo pogledajmo še graf primerjave združenih naložb in stroškov vzdrževanja (slika 35) za vsako varianto posebej in združeno po letih.



Slika 35: Primerjava SDH in DWDM rešitev z upoštevanim CAPEX + OPEX

V predhodnih tabelah in grafih je bilo izračunano ter hkrati poudarjeno, da se na začetku nižja investicija v SDH opremo z kasnejšimi nadgradnjami in višjimi stroški vzdrževanja po absolutnem znesku približuje DWDM rešitvi. Navedene trditve nam nazorno prikazuje graf primerjave SDH in DWDM rešitev z upoštevanim CAPEX + OPEX (slika 35). Vidimo lahko, da prične v drugem letu krivulja z SDH rešitvijo bistveno bolj strmo naraščati glede na krivuljo z DWDM rešitvijo. Če bi upoštevali še dodatno dvoletno obdobje – skupaj 7 let – kot je po Pravilniku o računovodenju Telekom Slovenije tudi življensko obdobje takšne opreme in strmino grafa (slika 35), bi prišli do še občutnejše razlike.

Z upoštevanjem vsega dosedaj navedenega lahko zaključimo, da je ugodnejša varianta rešitev z DWDM opremo. Kljub temu pa moramo upoštevajoč še časovno komponento in v skladu z zapisanim v poglavju 5.2 kot merilo uporabiti še neto sedanjo vrednost ter interno stopnjo donosa.

Pri izračunu neto sedanje vrednosti bomo upoštevali pozitivne in negativne denarne tokove. Pri pozitivnih denarnih tokovih bomo upoštevali prilive iz najema pasovne širine in v petem letu tudi ostanek vrednosti projekta, medtem ko bomo pri negativnih denarnih tokovih upoštevali vrednost investicije (oprema, rezervne enote in storitve), plače zaposlenih, vzdrževalno pogodbo in davek na dobiček. Poleg tega pa še uporabo vlaken, saj pomeni uporaba vlaken koriščenje določenih zmogljivosti, katere bi lahko v nasprotnem primeru tržili.

V tabeli 27 si pogledjmo denarni tok pri SDH rešitvi. Podatke iz tabel 17 in 18 vnesemo v novo tabelo. Pri uporabi diskontnega faktorja vzamemo obrestno mero 8 % (Noč, Banka Slovenije, Analitsko raziskovalni center, oktober 2005, str 4.). Zaradi dodatnih primerjav bomo izračun izvedli tudi z 9 in 10% obrestno mero.

Tabela 27: Denarni tok (v mio SIT) pri SDH rešitvi z izračunano neto sedanjo vrednostjo pri različnih stopnjah obretne mere

	1.let	2.let	3.let	4.let	5.let
Investicija	-689,4	-19,6	-411,5	-283,5	-300,2
Priliv	238,28	337,1	616,8	780,3	1833
Vzdrževanje sistema (plače)	-28,8	-28,8	-28,8	-28,8	-28,8
Vzdrževalna pogodba	-27	-27,8	-44	-55	-66,9
Uporaba medija	-46,3	-46,3	-91	-112,8	-135,7
Davek na dobiček	-12,5	-36,35	-79,2	-103,2	-136
Skupaj	-565,72	178,25	-37,7	197	1165,4

NPV (r =8%) 579,99 SIT

NPV (r =9%) 543,80 SIT

NPV (r=10%) 509,16 SIT

V tabeli 28 pa pogledjmo denarne tokove pri DWDM rešitvi. Podatke iz tabel 25 in 26 vnesemo v novo tabelo, ter upoštevamo enake diskontne faktorje kot pri SDH rešitvi.

Tabela 28: Denarni tok (v mio SIT) pri DWDM rešitvi z izračunano neto sedanjo vrednostjo pri različnih stopnjah obretne mere

	1.let	2.let	3.let	4.let	5.let
Investicija	-980,4	-19,6	-329,9	-163,5	-121,5
Priliv	238,28	337,1	616,8	780,3	1703
Vzdrževanje sistema (plače)	-28,8	-28,8	-28,8	-28,8	-28,8
Vzdrževalna pogodba	-38,5	-39,3	-52,2	-58,4	-63,4
uporaba medija	-46,3	-46,3	-46,3	-46,3	-46,3
davek na dobiček	0	-23,27	-78,42	-112	-157,2
skupaj	-855,72	179,83	81,18	371,3	1285,8

NPV (r =8%) 620,24 SIT

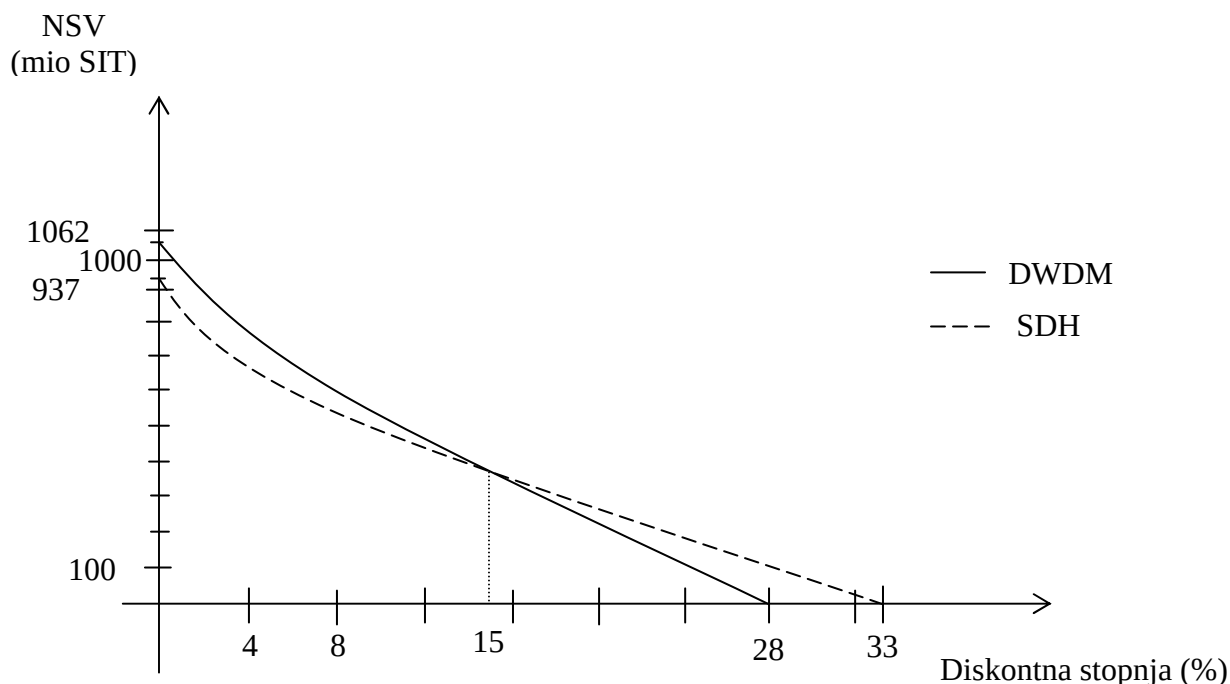
NPV (r =9%) 575,19 SIT

NPV (r=10%) 532,03 SIT

Rešitvi primerjajmo med seboj še z uporabo interne stopnje donosa, ki se velikokrat uporablja. Rezultat je tu izražen v odstotkih in tako primerljiv z diskontno stopnjo. Z upoštevanjem denarnih tokov navedenih v tabelah 27 in 34 dobimo naslednja rezultata:

- ISD za SDH rešitev je 33 %
- ISD za DWDM rešitev je 28 %

Ker je v primeru upoštevanja NSV boljši projekt z DWDM opremo, ob upoštevanju ISD pa je boljši projekt z SDH opremo, uporabili pa bomo samo eno rešitev, se do končnega rezultata prebijemo z grafično ponazoritvijo.



Slika 36: Grafična ponazoritev primerjave med NSV in ISD za SDH in DWDM rešitev

Grafični prikaz (slika 36) primerjave NSV in ISD nam pokaže, da se grafa sekata pri diskontni stopnji 15 %, kar pomeni, da je pri današnjih stroških kapitala projekt z DWDM rešitvijo boljši.

Ker sta obe rešitvi tehnično ustrezni smo izvedli cenovno primerjavo obeh rešitev. V prvi fazi smo primerjali naložbe v osnovna sredstva ter stroške vzdrževanja. Na osnovi takšnega kriterija smo kot rezultat dobili, da je ugodnejša rešitev z DWDM opremo.

Potrebno je bilo upoštevati tudi časovno komponentno, saj so vložki v DWDM opremo večji v začetku, medtem ko v SDH opremo v nadaljevanju, zato smo izvedli še primerjavo z upoštevanjem časovne komponente. Primerjava NSV nam je pokazala kot boljšo rešitev DWDM opremo, medtem ko primerjava z ISD rešitev z SDH opremo. Na osnovi grafične primerjave obeh rešitev, smo zaključili, da je pri današnjih cenah – vrednostih kapitala boljša rešitev z DWDM opremo.

7. ZAKLJUČEK

Nacionalni operaterji se v boju za uporabnike srečujejo z vedno večjo konkurenco na eni strani in vedno večjimi zahtevami uporabnikov po čim nižji ceni na drugi strani. Če se v tem boju upoštevajo tudi ponudnike telekomunikacijske opreme, je toliko bolj pomembno izbrati pravo pot. Tu pa se srečamo z vprašanjem, kaj je prava pot. Odgovor je preprost – prave univerzalne poti ni. Vsaka rešitev je pogojena s posamezno situacijo, torej s specifičnimi pogoji.

Eden najpomembnejših kriterijev je cena. Prav zaradi tega je Ethernet vmesnik s svojo univerzalnostjo zasedel pomembno mesto v svetu telekomunikacij. Selitev Ethernet vmesnika iz čistih računalniških vmesnikov tudi na druga področja, je povzročila potrebo operaterjev – ponudnikov storitev, da so pričeli s prilagajanjem svojih omrežij, tudi na nižjih transportnih nivojih – torej na fizičnem sloju.

Zaradi interesov ponudnikov opreme, univerzalne rešitve za zagotavljanje Ethernet povezav ni. Vsak ponudnik ponuja svojo opremo, na drugi strani pa ponudnik telekomunikacijskih storitev gradi omrežje glede na svoje potrebe in trenutno stanje. Pomemben gradnik oziroma tehnologija je bilo ATM omrežje, ki pa ni doseglo predvidene razširjenosti, predvsem zaradi premajhne pasovne širine. Pojavile so se druge tehnologije, ki so čisto Ethernet omrežje, SDH omrežje ali DWDM omrežje na MSPP platformi – enotni okvir za DWDM, SDH in ethernet vmesnike.

V tradicionalnih telekomunikacijskih omrežjih se hrbtenično omrežje gradi še vedno z SDH zaščitnimi mehanizmi, saj Ethernet na tem segmentu še ni dovolj razvit. Zaradi uporabe zaščitnih mehanizmov in trenutno še vedno zelo razširjenega TDM prometa, sta trenutno tehnično edini rešitvi tako imenovano NGN SDH omrežje, ki omogoča poleg tradicionalnega TDM prometa tudi podatkovni ethernet promet, in DWDM linijska povezave z agregacijo oziroma združevanjem prometa na SDH principu.

Namen naloge je bil preučiti obe tehnični rešitvi in izbrati tisto, ki bo ugodnejša za implementacijo v omrežje Telekoma Slovenije. Ob predpostavki določenega prometa, ki je bila narejena na osnovi trenutnih trendov in predvidene rasti v prihodnje, z upoštevanjem cen opreme, geografske razporeditve mest v Sloveniji in s tem povezanimi dolžinami zvez, je bil narejen izračun potrebne opreme.

V primerjavi obeh varianti so bili upoštevani vsi dejavniki, ki vplivajo na izbiro ponudnika. Primerjava je upoštevala izračun naložb v osnovna sredstva, kar je vključevalo nabavo opreme z montažo in obratovalne stroške, amortizacijo, vzdrževanje in konfiguriranje zvez, vzdrževalno pogodbo in stroške uporabe medija.

Na začetku je DWDM rešitev izražala večji začetni vložek ter obratovalne stroške, vsako nadaljne leto pa je vrednost naložb in obratovalnih stroškov vedno bolj izenačeval rezultat

med obema tehničnima rešitvama. Rezultat v absolutnem znesku brez upoštevanja časovne komponente se je v petem letu iz SDH rešitve prevesil na stran DWDM rešitve. Takšen potek dogodkov je pogojen s tem, da je vsaka nadaljna širitev linijske hitrosti pri rešitvi z SDH opremo pogojena z uporabo dodatne linijske opreme s kompenzacijskimi vlakni ter dragimi ojačevalniki, poleg tega pa je potrebno zagotoviti dodaten medij – par vlaken. Prav zaradi tega je bila izvedena primerjava obeh rešitev tudi z metodo neto sedanje vrednosti ter interne stopnje donosnosti.

Izračun in upoštevanje vse dejavnikov, izračunana neto sedanja vrednost ter indeks donosnosti, so pokazali, da je DWDM varianta primernejša od čistega SDH omrežja. Morda bi veljalo tu omeniti še dve stanji, ki pa sta malo verjetni in bi v primeru svojih nastopov dejansko vplivali na rezultat. Prvo stanje je lahko bistveno počasnejša rast prometa od predvidene, kar pa je malo verjetno. V primeru, da bi promet narastel samo za 10 Gbit/s, bi se v petih letih tehnika prevesila na stran SDH variante. Druga možnost, ki pa zaradi fizikalnih zakonitosti, ni realno pričakovana v kratkem, pa je vpeljava 10 Gbit/s vmesnikov za “široko uporabo”. V tem trenutku je edina tehnologija, ki omogoča hkraten prenos večjega števila 10 Gbit/s vmesnikov DWDM.

Torej lahko še enkrat poudarimo, da je Ethernet tehnologija oziroma vmesnik prihodnosti. Čas in cena vpeljave zaščitnih mehanizmov bosta pokazala, kdaj bodo popolnoma izrinili klasične TDM vmesnike. Po ocenah ljubiteljev SDH tehnologije še dolgo ne (do 10 let), medtem ko po ocenah Ethernet zagovornikov kmalu (do 5 let). Kako tvegano je napovedovanje pa nam pove tudi dejstvo, da večina ponudnikov opreme gradi svoj razvoj v obeh smereh – tako ethernet kot TDM vmesnikov.

Ob upoštevanju navedenih dejstev lahko zaključimo, da je trenutno najprimernejša DWDM varianta, združevanje vmesnikov manjših pasovnih širin pa se vrši na SDH nivoju.

8. LITERATURA

1. Batagelj Boštjan: Preproste meritve na optičnih vlaknih, Zbornik Optične komunikacije. Ljubljana, Fakulteta za elektrotehniko, 2004, str 1-26
2. Bates Regis J.: Optical Switching and Networking Handbook. New York: McGraw-Hill, 2001, 302 str.
3. Bedell Paul: Gigabit Ethernet for Metro Area Networks. New York: McGraw-Hill, 2003, 330 str.
4. Bonenfant Paul, Rodriguez-Moral Antonio: Generic Framing Procedure (GFP): The Catalyst for Efficient Data over Transport, IEEE Communications Magazine, maj 2002, str. 72-79
5. Bortchick Sandra L.: Ethernet At The Multiservice Edge. Business Communications Review, Volume 34, number 6, june 2004, str. 18 – 22,
6. Bothan C.P., He L. O.Shea C.D.: An evolutionary design algorithm for ring-based SDH optical core networks. BT Technology Journal, Vol. 22, Št. 1, Januar 2004, str 135 – 144.
7. Brigham F. Eugene, Gapenski C. Louis: Financial Managment: Theory and Practice. VIII. Fort Worth: Dryden Press, 1997, 1192 str.
8. Caballero Jose M.: Migration to Next Generation SDH. Barcelona: Printulibro Intergrup, 2005, 182 str.
9. Caballero Jose M.: Gigabit Ethernet roll-out: Barcelona: Printulibro Intergroup, 2005, 191 str.)
10. Courcoubetis Costas, Weber Richard: Pricing Communication Networks – Economics, Technology and Modelling. West Sussex: John Wiley&Sons, 2003, 357 str.
11. Čibej Jože Andrej: Donosnost investicij. Bančni vestnik, Ljubljana, 1997, 29-33 str.
12. Frančeškin Bojan: Storitve navideznih zasebnih omrežij (VPN) preko omrežja s preklapljanjem na osnovi label. Magistrsko delo. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, 2001, 140 str.
13. Gasmi Farid et al.: Cost Proxy Models and Telecommunications Policy. London: Massachusetts Institute of Tehnology, 2002, 257 str.,
14. Gottinger Hans-Werner: Economies of Network Industries. London: Routledge, 2003, 227 str.
15. Held Gilbert: Ethernet Networks. IV. West Sussex: John Wiley&Sons, 2003, 589 str.
16. Horak Ray, Stuart Donald: An Introduction to High-Speed Ethernet Services in the U.S., B.k., Gartner Research, 2002, 14 str.
17. Horvat Bogomir, Jenuš Vladimir: Telekomunikacijska tehnika in sistemi. Maribor: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, 2001, 210 str.
18. Jecl Igor: Primerjava transportnih tehnologij za omrežje IP. Diplomaska naloga, Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, 2003, 88 str.
19. Johnson Peter, Minoli Daniel, Minoli Emma: Ethernet – Based Metro Area Networks. New York, McGraw-Hill, 2002, 665 str.
20. Kos Andrej, Bešter Janez: Primerjava prenosnih tehnologij za realizacijo hrbteničnih IP – omrežij. Elektrotehniški vestnik, Volume 66, št. 4-5, 1999, str. 249-255

21. Lenarčič Mateja: Vrednotenje naložb: realna opcija pri investicijskem odločanju in strateškem načrtovanju, magistrsko delo. Ljubljana: Ekonomska fakulteta, 2004, 102 str.
22. Levy Dror: Evolving SDH to Support Data Services, Deploying Virtual Concatination for efficient handling of network bandwidth in the metro and access networks. London: IIR Telecoms & Technology, 2004, 48 str.
23. Levy Haim, Sarnat Marshall: Principles of Financial Managment, New Jersey: Prentice-Hall inc., 1988, 617 str.
24. Lum Mark: Evolving SDH to Support Data services, Services, Examining the services driving the development of next generation SDH. London, IIR Telecoms & Technology, 2004, 30 str.
25. Pilinsky Sonja Zentner: Polarization Mode Dispersion Theory and Practice, Zbornik Optične komunikacije. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, 2005, str. 212-230
26. Rebernik Miroslav.: Ekonomika podjetja. III, Gospodarski vestnik, 1997, 445 str.
27. Senjur Marjan: Gospodarska rast in razvojna ekonomika. Ljubljana: Ekonomska fakulteta, 1993, 653 str.
28. Slovenia Telecommunications Report Q1, London, Business Monitor International, 2005, 28 str.
29. Slovenia Quarterly Forecast Report, B.k.; Business Monitor International, Q3 2004, 28 str.
30. Stepko Draga: Ekonomika naložb, Ljubljana: Ekonomska fakulteta, 1989, 74 str.

VIRI

1. Cenik Telekom Slovenije: (URL: <http://www.telekom.si/index.php?page>), 10.07.2005
2. Jerman Blažič Borka, Zapiski predavanj iz predmeta Sodobne telekomunikacijske tehnike in storitve, Skladovnica protokolov TCP/IP, Ljubljana: Ekonomska fakulteta, 2000, 149 str.
3. Jerman Blažič Borka, Zapiski predavanj iz predmeta Sodobne telekomunikacijske tehnike in storitve, Terminologija računalniških komunikacij, Ljubljana: Ekonomska fakulteta, 2000, 8 str.
4. Jelinek Andreas, SURPASS hiT 70, A New Generation of Networking, ISN Carrier Networks – Siemens, 2003, 32 str.
5. Ministrstvo za informacijsko družbo: Strategija razvoja širokopasovnih podatkovnih omrežij v Republiki Sloveniji (podatki APEK); 2004, (URL: <http://www2.gov.si/mid/mid/.nsf/23.09.2004>)
6. Technology; Technology, Applications and Internetworking LAN/WAN, Kranj: Iskratel, 2000, 854 str.
7. XDM Theory of Operation (TOO) V4.1, Petah Tikva: ECI Telecom, 2004, 372 str.
8. Koruza Bojan, Technology; Introduction to Data Networking, Local Area Network, Kranj: Iskratel, 2000, 54 str.
9. Pravilnik o računovodenju TS, d.d., (<http://intra.up.telekom.si> 10.07.2005)

10. Noč Matjaž, Banka Slovenije, Analitsko raziskovalni center, Mesečna informacija – Krediti in obrestne mere, oktober 2005 (URL: [http://www.bsi.si/html/arc/krediti&OM/kom-oktober 2005pdf](http://www.bsi.si/html/arc/krediti&OM/kom-oktober%202005pdf), 24 str.)

SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC

AAR (Accounting Rate of Return) – računovodska stopnja donosa
ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) – nesimetrični digitalni naročniški vod
ANSI (American National Standards Institute) – Ameriški nacionalni inštitut za standardizacijo
APEK – Agencija za pošto in elektronske komunikacije Republike Slovenije
ATM (Asynchronous Transfer Mode) – asinhroni prenosni način
CAPEX (Capital Expenditure) - naložba v osnovna sredstva
CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) – sodostop z zaznavanjem nosilca in z detekcijo trkov
CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) – grobo valovno dolžinsko multipleksiranje
DCF (Dispersion Compensation Fibre) – disperzijsko kompenzacijsko vlakno
DRC (Disaster Recovery Center) – rezervni računalniški center
DSLAM (Digital Subscriber Line Multiplekser) – linijsko digitalni naročniški multiplekser
DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) – zgoščeno valovno dolžinsko multipleksiranje
EPL (Ethernet Private Line) – zasebni vod ethernet
E-VPN (Ethernet virtual Private network) – navidezno privatno ethernet omrežje
EPVL (Ethernet Virtual Private Line) – navidezni zakupljeni vod ethernet
EPLAN (Ethernet private LAN) – zasebno ethernet LAN omrežje
ESCON (Enterprise Systems CONnection) – zveza podjetniških sistemov
FDDI (Fibre Distributed Data Interface) – optično porazdeljeni podatkovni vmesnik
FC (Fibre Channel) – vlakenski kanal
FE – Fast Ethernet
FICON (Fibre channel CONnection) – zveza vlakenskih kanalov
FR (Frame Relay) – posredovanje bloka
GbE - Gigabit Ethernet
GFP (Generic Framing Procedure) – generični postopek uokvirjanja
GMII (Gigabit Ethernet Media Independent Interface) – medijsko neodvisni Gigabit/s vmesnik
IEEE - Institute of Electrical and Electronic Engineers
IP – Internetni Protocol
ISD – interna stopnja donosa
ISDN (Integrated Services Digital Network) – digitalno omrežje z integriranimi storitvami
ISO (International Organization for Standardization) – mednarodna organizacija za standardizacijo
IRR (Internal Rate of Return) – interna stopnja donosa
ITU – T - International Telecommunication Union
LAN (Local Area Network) – lokalno omrežje
LCAS (Link Capacity Adjustment Scheme) – Shema naravnavevanja kapacitete povezav

LED – letni ekvivalentni donos
 LLC (Logical Link Control) – krmiljenje logične povezave
 MAC (Media Access Control) – krmiljenje dostopa do prenosnega sredstva
 MIRR (Modified Internal Rate of Return) – modificirana interna stopnja donosa
 MISD - Modificirana interna stopnja donosa
 MPLS (Multi-Protocol Label Switching) – večprotokolna komutacija z zamenjavo label
 MSPP (Multi-service Provisioning Platform) – platforma za zagotavljanje več storitev
 NPV (Net Present Value) – neto sedanja vrednost
 NSV - Neto sedanja vrednost
 OADM (Optical Add Drop Multiplexer) – optični dodajno odvzemni multiplekser
 OPEX (Operational Expenditure) – obratovalni stroški
 OSI (Open System Interconnection) – povezovanje odprtih sistemov
 PDH (Plesiochronous digital Hierarchy) – pleziohrona digitalna hierarhija
 PDU (Protocol Data Unit) – podatkovna enota
 PMD (Physical Media Dependent) – podsloj odvisen od fizičnega medija
 QoS (Quality of Services) – kakovost storitev
 SAN (Storage Area Network) – pomnilniško omrežje
 SDH (Synchronous digital hierarchy) – sinhrona digitalna hierarhija
 SMDS (Switched Multi-Megabit Data Services) – komutirana večmegabitna podatkovna storitev
 STM (Synchronuous Transport Module) – sinhroni transportni modul
 SVA – sedanja vrednost anuitete
 TCP/IP (Transport Control Protocol/ Internet Protocol) – nabor protokolov
 TCP (Transport Control Protocol) – protokol za krmiljenje transporta
 TDM (Time Division Multiplexing) – časovno multipleksiranje
 UDP (User Data Protocol) – uporabniški datagramski protokol
 VC (Virtual Container) – navidezni vsebnik
 VPN (Virtual Private Network) – navidezno privatno omrežje
 WAN (Wide Area Networks) – omrežje širokega dosega
 WDM (Wave-length division multiplex) – valovnodolžinsko multipleksiranje