

**UNIVERZA V LJUBLJANI**  
**FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN**  
**INFORMATIKO**

**Milenko Subotić**

**RAZVOJ SINHRONE DIGITALNE**  
**HIERARHIJE IN NJENA VLOGA V**  
**SODOBNEM TELEKOMUNIKACIJSKEM**  
**OMREŽJU**

**Diplomsko delo na visokošolskem strokovnem študiju**

**Ljubljana, 2011**



Št. naloge: 00545/2011

Datum: 04.04.2011

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **MILENKO SUBOTIČ**

Naslov: **RAZVOJ SINHRONE DIGITALNE HIERARHIJE IN NJENA VLOGA V  
SODOBNEM TELEKOMUNIKACIJSKEM OMREŽJU  
SDH DEVELOPMENT AND ITS ROLE IN A MODERN  
TELECOMMUNICATION NETWORK**

Vrsta naloge: Diplomsko delo visokošolskega strokovnega študija


Tematika naloge:

Opišite uporabo in vlogo tehnologije SDH pri izbranem operaterju mobilne telefonije. Opišite SDH standarde in strukturo omrežja, posebno pozornost posvetite problemu časovne sinhronizacije. Opišite vgrajene načine zaščite pred izpadi, ki zagotavljajo višjo razpoložljivost omrežja in možne načine upravljanja omrežja. Nato preučite povezovanje tehnologij SDH in Ethernet ter možnosti sobivanja obeh tehnologij v istem omrežju. Za zaključek pripravite napoved nadaljnega razvoja omrežnih tehnologij pri izbranem operaterju in predstavite posledice, ki jih bi ali bo imela večja uporaba protokola Ethernet v omrežju SDH.

Mentor:

  
doc. dr. Mojca Ciglarič

Dekan:

  
prof. dr. Nikolaj Zimic



**UNIVERZA V LJUBLJANI**  
**FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN**  
**INFORMATIKO**

**Milenko Subotić**

**Mentor: doc. dr. Mojca Ciglarič**

**RAZVOJ SINHRONE DIGITALNE**  
**HIERARHIJE IN NJENA VLOGA V**  
**SODOBNEM TELEKOMUNIKACIJSKEM**  
**OMREŽJU**

**Diplomsko delo na visokošolskem strokovnem študiju**

**Ljubljana, 2011**

# Kazalo

<b>Povzetek</b> .....	<b>9</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>10</b>
<b>1. Uvod</b> .....	<b>11</b>
1.1 Tehnologija SDH v podjetju Tušmobil d.o.o. ....	14
<b>2. Standardi SDH</b> .....	<b>18</b>
2.1 Opis napak.....	20
<b>3. Struktura SDH</b> .....	<b>24</b>
<b>4. Sinhronizacija SDH</b> .....	<b>28</b>
4.1 Primarna referenčna ura G.811.....	29
4.2 Sekundarna referenčna ura G.812,G.813 .....	31
<b>5. Povezovalnik</b> .....	<b>33</b>
<b>6. Samodejna zaščita</b> .....	<b>37</b>
6.1 Zaščitna shema na multipleksni sekciji (MSP) .....	38
6.1.1 Zaščita po načelu 1+1 .....	38
6.1.2 Zaščita po načelu 1:N.....	39
6.2 Obroč z zaščitno shemo na multipleksni sekciji (MS-SPRing) .....	39
6.2.1 Obroč z zaščitno shemo na multipleksni sekciji (MS-SPRing) z dvema optičnima povezavama.....	40
6.2.2 Obroč z zaščitno shemo na multipleksni sekciji (MS-SPRing) s štirimi optičnimi povezavami .....	42
6.3 Zaščita povezanih podomrežij (SNCP) .....	43
6.3.1 Podomrežna povezava z lastnim nadzorom (SNC/I).....	45
6.3.2 Podomrežna povezava z neintruzivnim nadzorom (SNC/N).....	45
6.3.3 Podomrežna povezava z nadzorom podplastne poti (SNC/S) .....	46
6.3.4 Podomrežna povezava s preizkušanjem (SNC/T).....	46

<b>7. Upravljanje .....</b>	<b>47</b>
7.1 Podatkovno-komunikacijski kanal (DCC) .....	48
7.2 Oddaljen nadzor po protokolu ethernet .....	49
<b>8. Ethernet prek SDH (EoSDH) .....</b>	<b>50</b>
8.1 Generični postopek uokvirjanja (GFP) .....	50
8.2 Spojitev .....	53
8.3 Shema naravnavanja kapacitete povezave (LCAS) .....	55
8.3.1 Kontrolna sporočila .....	56
8.3.2 Prednosti protokola LCAS .....	57
<b>9. Omrežje Tušmobil .....</b>	<b>58</b>
<b>10. Sklepne ugotovitve .....</b>	<b>60</b>
<b>Seznam slik .....</b>	<b>61</b>
<b>Viri .....</b>	<b>62</b>
<b>Izjava .....</b>	<b>65</b>

## SEZNAM KRATIC

SDH – Synchronous Digital Hierarchy – sinhrona digitalna hierarhija  
(tehnologija, ki se uporablja za digitalen prenos bitov po optičnem omrežju)

PDH – Plesiochronous Digital Hierarchy – plesiohrona digitalna hierarhija  
(predhodnik SDH-tehnologije, ki se uporablja za digitalni prenos bitov po optičnem omrežju)

PCM – Pulse-Code Modulation – impulzno-kodna modulacija  
(digitalna predstavitev analognega signala)

ITU – International Telecommunication Union (agencija Združenih narodov, ki se je specializirala za informacijsko telekomunikacijsko tehnologijo)

ITU-T – International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector (oddelek ITU, ki skrbi za standarde na področju telekomunikacij)

SONET – Synchronous optical networking – sinhrono optično omrežje  
(ameriška različica standarda SDH)

WDM – Wavelength Division Multiplexing – valvnodolžinsko multipleksiranje (tehnologija, ki združuje različne optične nosilce v eno samo optično vlakno)

ATM – Asynchronous Transfer Mode – asinhroni prenosni način  
(Tehnologija za paketni prenos podatkov, pri katerem so paketi-celice fiksno določeni. Celice se prenašajo v fiksni časovni oknih in ne zahtevajo fiksne pasovne širine.)

STM – Synchronous Transport Module – sinhroni transportni modul  
(SDH-ITU-T-optični standard za prenos podatkov)

LOS – Loss Of Signal – izguba signala

AIS – Alarm Indication Signal – signal naznanitve alarma

CSF – DCC Termination Failure – izguba signala za upravljanje

DEG – Degraded Signal Performance – degradirana zmogljivost signala

EPJ – Excessive Pointer Justification – čezmerna poravnava kazalca

EXC – Excessive Error Defect – čezmerno število napak

LOF – Loss Of Frame – izguba okvirja

LOM – VCAT Loss Of Multiframe – večkratna izguba okvirja

LOP – Loss Of Pointer – izguba kazalca

PLC – Partial Loss Of Capacity – delna izguba kapacitete

RDI – Remote Defect Indication – indikacija oddaljene hibe

SSF – Server Signal Failure – izguba signala

BER – Bite Error Rate – delež napačnih bitov

TIM – Trace Identifier Mismatch – neujemanje identifikatorja sledenja  
(napaka: identifikacija se na oddaljeni napravi razlikuje od pričakovane)

UNEQ – Unequipped – neopremljen signal

PLM – Payload Mismatch – neujemanje koristne vsebine

IP – Internet Protocol – internetni protokol

(medomrežni protokol, ki skrbi za prenos podatkov po omrežju s preklapljanjem paketov)

IPoSDH – IP over SDH – IP prek SDH

(prenašanje medomrežnega protokola prek tehnologije SDH)

SFP – Small Form-Factor Pluggable

(Oddajnik/sprejemnik, ki se uporablja v telekomunikacijah. Poveže se z omrežno napravo in optičnim vlaknom oz. bakrenim omrežnim kablom.)

XFP – 10-Gigabit Small Form-Factor Pluggable

(podobno kot SFP, le da se XFP uporablja za hitrosti 10 Gb/s)

GFP – Generic Framing Protocol – generični postopek uokvirjanja

(Protokol, ki združuje procedure za paketni prenos podatkov po SDH-omrežju. Protokol omogoča prioritete, primernost ipd.)

VCAT – Virtual Concatenation – navidezno spetje

(mehanizem za spajanje VC)

NNI – Network Node Interface – vmesnik med omrežjem in vozliščem

PRC – Primary Reference Clock – primarna referenčna ura

SEC – Secondary Clock – sekundarna referenčna ura

LCAS – Link Capacity Adjustment Scheme – shema naravnavanja kapacitete povezave

(protokol za dinamično dodeljevanje/odstranjevanje VCAT-pasovne širine)

MFI – Multi-Frame Indicator – indikator večkratnega okvirja

SQ – Sequence Indicator – kazalnik sekvence

CTRL – Control Protocol Messages – krmilni protokol

GID – Group Identification – skupinski identifikator

MST – Member Status – status člana

(podatek pošiljatelju o statusu prenosa; prenos uspešen oz. prenos ni uspešen)

RS-Ack – Re-Sequence Acknowledge – potrditvena sekvenca

(potrditev o preštevilčenju, ko pride do novega eos člana)

POH – Path Overhead – glava poti

(Dodan promet k tovoru, ki vsebuje dodatna kontrolna sporočila. Teh je za 9 bajtov.)

Low Order Path (LO) – v procesu mapiranja/multipleksiranja predstavlja verigo do hitrosti

2.048 Kb/s

High Order Path (HO) – v procesu mapiranja/multipleksiranja predstavlja verigo nad

2.048 Kb/s

VC – Virtual Container – navidezni hranilnik

VCG – Virtual Container Group – skupina navideznih hranilnikov

C – Container – hranilnik

TU – Tributary Unit – pritočna enota

TUG – Tributary Unit Group – pritočna skupina

AU – Administrative Unite – administrativna enota

AUG – Administrative Unite Group – administrativna skupina

MTIE – Maximum Time Interval Error – maksimalen časovni interval z napakami

TDEV – Time Deviation – časovni odmik

UI – Unit Interval – enotin interval – nominalna razlika med dvema zaporednima trenutkoma

MS – Multiplex Section – multipleksna sekcija

MSP – Multiplex Section Protection – zaščitna shema na multipleksni sekciji

MS-SPRing – Multiplex Section-Shared Protection Ring – obroč z zaščitno shemo na multipleksni sekciji

SNCP – Subnetwork Connection Protection – zaščita povezanih podomrežij

TMN – Telecommunications Management Network – telekomunikacijsko nadzorno omrežje

OSI – Open System Interconnection – odprti sistem povezovanja  
(protokoli, ki podajo informacije o izmenjavi podatkov)

DCN – Data Communication Network – omrežje za podatkovne komunikacije

DCC – Data Communication Channel – podatkovno-komunikacijski kanal

EoSDH – Ethernet Over SDH – ethernet prek SDH

SNC/I – Sub-Network Connection with Inherent Monitoring – podomrežna povezava z lastnim nadzorom

SNC/N – Sub-Network Connection with Non-intrusive Monitoring – podomrežna povezava z neintruzivnim nadzorom

SNC/S – Sub-Network Connection with Sub-layer Trail Protection – podomrežna povezava z nadzorom podplastne poti

SNC/T – Sub-Network Connection with Sub-layer Trail Protection – podomrežna povezava s preizkušanjem

VIX – Vienna Internet eXchange

MPLS – Multiprotocol Label Switching – večprotokolna komutacija label

## Povzetek

Ključne besede: SDH, NG-SDH, EoSDH, Eternet, Tušmobil

Tema diplomske naloge je sinhroni prenos v svetovnem, javno dostopnem telekomunikacijskem omrežju, oziroma podroben opis tehnologije SDH z vidika operaterja mobilne telefonije. Cilj naloge je predvideti optimalno uporabo znanih tehnologij in prehode med njimi v operaterjevem omrežju glede na funkcionalnost, ceno in predvidevanja bodočega tehnološkega razvoja.

Opisan je izvor tehnologije SDH, njene funkcionalnosti in aplikacije, ki se uporabljajo. Izpostavljene so prednosti uporabe te tehnologije, ki je nadomestila predhodno tehnologijo PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*).

Podrobneje so predstavljeni najpomembnejši deli tehnologije SDH, kot so sinhronizacija, struktura, zaščita omrežja in upravljanje z napravami.

Opisano je tudi SDH-omrežje operaterja Tušmobil in načrtovane nadgradnje omrežja. Nazadnje je ustrezno pojasnjen postopek nadgradnje in posledične spremembe, ki jih bo občutili v omrežju.

## Abstract

Key words: SDH, NG-SDH, EoSDH, Eternet, Tušmobil

The subject of this thesis is synchronous transfer in the world telecommunication public network, focusing on a detailed description of SDH technology from the internet service provider's point of view. The main objective is to provide an optimal implementation of available technologies and their (combined) usage in the network, centering on the functionality, price and expected development of those technologies in the future.

In the beginning the source of SDH technology, its functionality and applications are presented, describing the advantages of its predecessor PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*).

More detailed explanation is provided for the most important parts of SDH, such synchronization, structure, protection and management.

Tusmobil's network is taken as an example, describing the plans of future upgrades and consequences that those will bring.

## 1. Uvod

Kratice SDH, angleško *Synchronous Digital Hierarchy*, v prevodu pomeni sinhrona digitalna hierarhija. Beseda sinhrono v telekomunikacijah označuje uporabo točno določenega časovnega intervala, v katerem se prenese podatek, ki je kontroliran z zelo natančno uro. Korenine tehnologije SDH segajo v 70. leta prejšnjega stoletja, ko se je prvič pojavila tehnologija PCM (*Pulse-code modulation*) v Telekomovih omrežjih. PCM je digitalna predstavitev analognih signalov, kjer se vzorči moč signala v določenem časovnem intervalu. Potrebno je 32 PCM-tokov, ki se sinhrono združijo in tvorijo hitrost 2 Mbit/s. Taka hitrost ni zadostovala, saj se je potreba po vse večji pasovni širini povečevala iz dneva v dan.

Zaradi slednjega se je po standardu ITU-T G.702 (*International telecommunication union sector telecommunication*) razvila nova tehnologija, imenovana PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*). *Plesiochronous* izhaja iz grške besede *plesio*, kar pomeni skoraj, *chronous* pa čas. Že beseda *plesiochronous* ponazarja, da gre za tehnologijo, ki je že zelo blizu, a še vedno ni popolnoma sinhrona.

Osnovna podatkovna kapaciteta je pri PDH-ju hitrost 2,048 Mb/s, to označujemo z E1. Obstajata tako evropska kot ameriška različica, ki se v določenih segmentih razlikujeta med seboj. Princip delovanja je pri obeh enak, saj je evropska različica samo nadgradnja ameriškega T-nosilca. Razlika je zgolj v količini prenesenih podatkov v določenem časovnem intervalu. Evropa uporablja hitrost 2,048 Mb/s oz. E1, Amerika pa 1,544 Mb/s oziroma T1. V diplomski nalogi bom upošteval evropski način delovanja.

Za višje hitrosti se pri PDH-ju uporablja kar mnogokratnik E1. Da bi lahko združili več E1-povezav, se med prenesene podatke vrine dodatni bit, ki ločuje podatke. Ta bit se v angleškem jeziku imenuje *bit stuffing*. Tako je prišlo do mnogokratnika 4:

- E2, 4 x E1 – 8Mb/s,
- E3, 4 x E2 – 34Mb/s,
- E4, 4 x E3 – 140Mb/s,
- E5, 4xE4 – 565Mb/s.

S časom so se pojavile potrebe po še večji hitrosti. Tako se je iz PDH-ja razvil SDH (angl. *Synchronous Digital Hierarchy*). Prvi standardi so se pojavili že leta 1988. SDH je narejen za prenos podatkov od hitrosti E1 naprej. Za nižje hitrosti se uporabljajo druge tehnologije.

Razlika med PDH- in SDH-tehnologijo je v tem, da so podatki pri SDH-ju zdaj sinhronizirani v celotnem omrežju, in to z uporabo t. i. atomske ure. Tehnologija SDH in njena ameriška različica SONET (angl. *Synchronous Optical Networking*) sta tako zavladali svetu.

Osnovni blok pri tehnologiji SDH se imenuje STM-1 (angl. *Synchronous Transport Mode*) in predstavlja hitrost 155,52 Mb/s. Ta hitrost je določena tako, da lahko prenaša PDH zmogljivosti od E1 do E4.

Primer izračuna STM-1 povezave je sledeč:

število vrst v okvirju = 9

število stolpcev v okvirju = 270

število bajt v okvirju =  $270 \cdot 9$

število bitov v okvirju =  $270 \cdot 9 \cdot 8$

čas za prenos okvirja = 125  $\mu$ s

hitrost =  $270 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 1000000 / 125$

**Rezultat** je 155,520 Mb/s, kar je ravno STM-1.

Koristnega prometa je pri STM-1-povezavi 149,76 Mb/s. Delež do 155,52 Mb/s predstavlja presežek, ki vsebuje signale za nadzor, sinhronizacijo in upravljanje. Tako kot pri tehnologiji PDH se tudi pri SDH-ju uporablja mnogokratnik 4 za višanje bitne hitrosti. Iz tega sledi naslednje:

- STM-1 – 155,52Mb/s
- STM-4 – 622,08Mb/s
- STM-16 – 2488,32Mb/s
- STM-64 – 9953,28Mb/s
- STM-256 – 39813,12Mb/s

V 90. letih prejšnjega stoletja je tudi tehnologija ethernet doživela hitro rast, ki je tehnologijo SDH skorajda pahnila v pozabo. Obenem pa se sama zasnova ethernetnih protokolov ni pokazala kot tehnologija, ki bi lahko popolnoma izrinila SDH, saj se je le-ta pokazal kot zelo močen sistem zaradi svoje dobre zasnove in se zasedel v hrbtenici telekomunikacijskih omrežij. Ethernet je tudi razlog za nadaljnji razvoj SDH-ja, saj po SDH-omrežju potujejo tudi ethernetni protokoli.

Nov naziv, ki ga SDH pridobi zaradi evolucije, je NG-SDH (ang. *Next-generation SDH*). Analitiki ocenjujejo, da v naslednjih 10 letih ne bo alternativne tehnologije, ki bi lahko nadomestila NG-SDH.

Smo v času kapitalizma, lastniki podjetij so večinoma osredotočeni na zniževanje stroškov, zato glavno vodilo ni kakovost. Lahko se zgodi, da se bo čas obstoja tehnologije SDH močno skrajšal. Njeno vlogo pri prenosu podatkov lahko prevzame tehnologija ethernet, ki je na preneseni bajt podatkov cenovno ugodnejša rešitev.

V diplomski nalogi bom podrobneje prikazal tehnologijo SDH in vse njene komponente, ki so potrebne za uspešno delovanje in za vključevanje v omrežje ponudnika storitev. Prikazal bom omrežje v podjetju Tušmobil d. o. o., opisal njegov pretekli razvoj in razvoj v preteklosti. Na primeru omrežja na Tušmobilu bom prikazal, kako tehnologiji SDH in ethernet sobivata v sodobnem telekomunikacijskem omrežju. Na istem primeru lahko prikažemo smernice razvoja obeh tehnologij. Z gotovostjo lahko v tem trenutku trdimo le, da je sobivanje obeh tehnologij obvezno. Le tako se namreč lahko obdrži kakovost delovanja storitev in zadovolji potrebe po vse hitrejšem dostopu do podatkov.

## **1.1 Tehnologija SDH v podjetju Tušmobil d.o.o.**

### *Vloga omrežja Tušmobil*

Leta 2000 je bilo ustanovljeno podjetje Voljatel telekomunikacije d.d. Na trg je podjetje vstopilo z inovativno rešitvijo klicnega dostopa do interneta, ki ni vključeval plačila mesečne naročnine.

V nadaljnjih letih razvoja je podjetje Voljatel postalo inovator na trgu telekomunikacij – leta 2005 je kot prvi ponudnik širšemu krogu uporabnikov ponudil IP-telefonijo – konec istega leta pa predstavilo nov poslovni model hitrega internetnega dostopa ADSL po ceni klicnega dostopa. Leta 2006 je Voljatel prvi v Sloveniji začel tudi s trženjem storitve ADSL 2+, ki jo je domačim in poslovnim uporabnikom ponujal tako v svojem omrežju kot tudi v omrežju slovenskega nacionalnega operaterja.

Konec istega leta se je podjetje lastniško in poslovno povezalo s podjetjem Tušmobil d.o.o., s katerim tvori steber informacijske in komunikacijske tehnologije v poslovnem sistemu Tuš, v okviru katerega so se ločeno ponujale fiksne (TUŠ TELEKOM d.d.) in mobilne (Tušmobil d.o.o.) komunikacijske storitve. V želji po večji sinergiji in posledično večjem razponu komunikacijskih storitev so se odločili, da družbo TUŠ TELEKOM d.d. priključijo družbi Tušmobil d.o.o. S priključitvijo je na družbo Tušmobil d.o.o. prešlo vse premoženje, pravice in obveznosti družbe TUŠ TELEKOM d.d. Od 1. 6. 2009 naprej družba TUŠ TELEKOM d.d. ne obstaja, saj je družba Tušmobil d.o.o. kot univerzalni pravni naslednik vstopila v vsa njena pravna razmerja.

Danes uporabnikom omogoča širok spekter internetnih dostopov, komunikacijske in glasovne storitve, storitev IP-televizije, mobilno telefonijo in tehnološko napredne pakete za dom ali pisarno.

### ***SDH v omrežju Tušmobil***

Tehnologija SDH je bila v uporabi že kmalu po ustanovitvi podjetja Voljatel. Na začetku omrežje seveda ni bilo razvejano in je vsebovalo le nekaj naprav. Večinoma se je omrežje uporabljalo za povezovanje poslovnih strank z njihovimi matičnimi podjetji, ki so ponavadi locirana v tujini. Poleg tega je velik delež obsegal promet s tujimi operaterji, namenjen izmenjavi telefonskih klicev.

Ker je imel Voljatel tudi podružnico na Hrvaškem, je kmalu svoje omrežje razširil preko meja in iste storitve ponudil tudi tam. Takrat je bila prvič uporabljena storitev ethernet prek omrežja SDH, in sicer se je vzpostavila povezava med operaterji, ki je Voljatelju ponudila dostop do spleta. Prvič je bila tako uporabljena tehnologija NG-SDH.

Večja širitev omrežja se je zgodila leta 2006, ko je podjetje začelo ponujati storitve ADSL po vseh večjih krajih Slovenije. S širitvijo storitve ADSL se je istočasno razširilo tudi omrežje SDH. Dostop do te tehnologije je bil omogočen od Kopra do Murske Sobote. Po večjih lokacijah (Ljubljana, Maribor, Celje itd.) se je vzpostavilo medoperatersko povezovanje s Telekomom Slovenije, prvotno za prenos glasovne storitve, kasneje pa še za vse ostale storitve (najeti vodi, ethernet prek omrežja SDH).

Višjo kakovost storitev in zniževanje stroškov lahko dosežemo z več medoperaterskimi povezavami, tako je Voljatel take povezave vzpostavil z vsemi večjimi operaterji v Slovenji in tudi nekaterimi v tujini.

Največjo širitev je omrežje SDH doživelo takrat, ko je podjetje Voljatel ustvarilo poslovne povezave s Tušmobilom. Mobilna storitev je postala glavni cilj podjetja, omrežje se je temu prilagodilo. Na vseh večjih stičiščih, ki so bila pomembna za mobilno storitev, je podatke pripeljalo omrežje SDH. Število omrežnih naprav se je zelo povečalo, hkrati se je, zaradi novih potreb, povečala tudi zmogljivost omrežja.

V tem času se je vzpostavila tudi ena izmed ključnih povezav, to je povezava na Interxion Dunaj, kamor so povezani vsi večji operaterji v Evropi.

Stanje današnjega Tušmobilovega omrežja prikazuje slika 1. S slike je razvidno, da je vsa Slovenija prepletena z omrežjem SDH. Za vse povezave velja, da so optične. Izjemi sta le dve, in sicer povezavi do Limbarske gore in do Trdinovega vrha. Ti dve povezavi sta narejeni s tehnologijo za brezžični prenos signala SDH. Povezavi sta zelo kakovostni, od časa vzpostavitve do danes nismo beležili nobenih večjih težav.

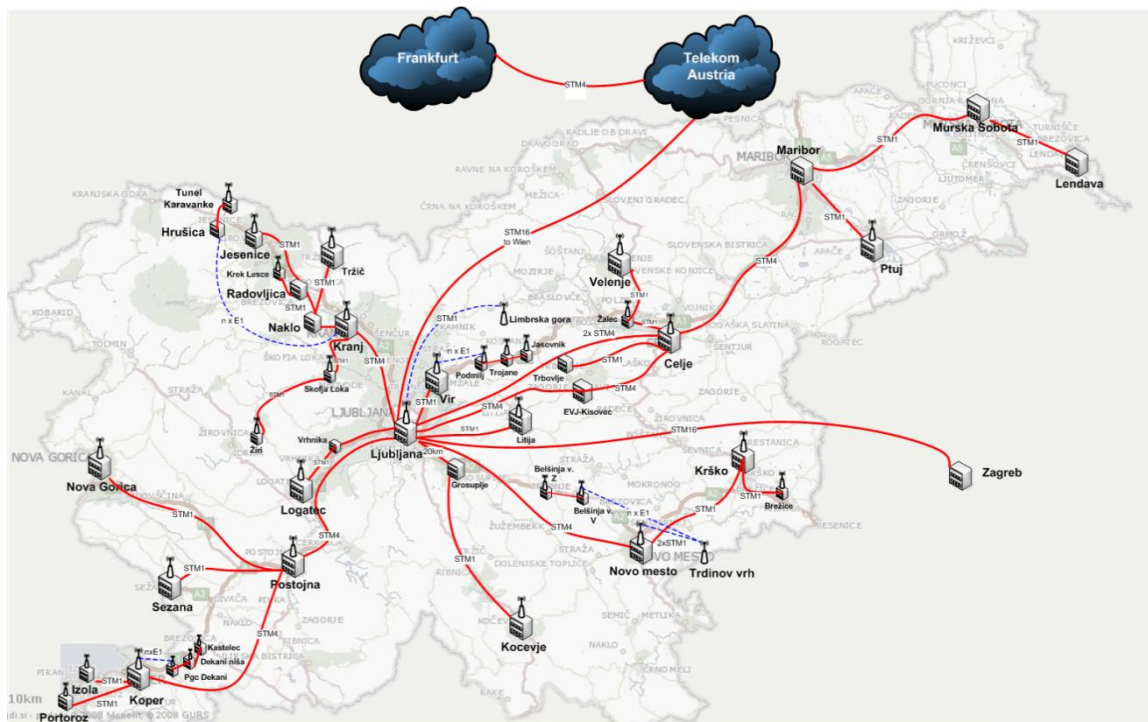
S slike 1 je razvidno tudi to, da je stičišče vseh povezav v Ljubljani, kjer je postavljena tudi hrbtenica omrežja. Sama hrbtenica je sestavljena iz petih naprav, ki so med seboj povezane v obroč. V primeru izpada ene od naprav se najpomembnejši promet preusmeri po ostalih povezavah.

Pomembnejši povezavi sta tudi povezava od Ljubljane do Dunaja (*VIX – Vienna Internet eXchange*), kamor so povezani tudi vsi pomembnejši operaterji iz Evrope in sveta, ter povezava od Dunaja do Frankfurta (*Ancotel*).

Na VIX-u so vzpostavljene povezave s strateško pomembnimi operaterji, kot sta med drugim Telekom Austria in Telekom Italia.

Zelo zanimiva je povezava do Frankfurta, kjer je podjetje Ancotel ustvarilo virtualno okolje. To pomeni, da operaterjem ni treba imeti aktivne opreme, temveč samo povezavo, ki se zaključi na opremi podjetja Ancotel. Za vsako povezavo med operaterji poskrbi podjetje Ancotel. Večinoma so to povezave, ki se uporabljajo za izmenjavo glasovnega prometa med operaterji. Več kot je teh povezav, več je možnosti pri umerjanju prometa, izboljševanju kakovosti storitev in zniževanju stroškov.

Slika 1: Tušmobilovo SDH-omrežje



Poglavitnega pomena v prihodnosti bo vzpostavljanje novih povezav, predvsem dodatni območji, s katerimi se zagotavlja večja varnost pri prenosu podatkov.

## 2. Standardi SDH

V primeru telekomunikacij se standardi neprestano razvijajo. SDH-tehnologija je v tem primeru dokaj dorečena.

### *Omrežni vmesniki za sinhrono digitalno hierarhijo G.707*

Standard G.707 pokriva omrežne vmesnike (*NNI – Network Node Interface*), ki so potrebni za povezovanje SDH-omrežij.

Priporočila vsebujejo:

- bitno hitrost za signale STM-N

Primer izračuna:

število vrst v okvirju = 9

število stolpcev v okvirju = 270

število bajtov v okvirju =  $270 \cdot 9$

število bitov v okvirju =  $270 \cdot 9 \cdot 8$

čas za prenos okvirja =  $125 \mu\text{s}$

bit-rate =  $270 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 1000000 / 125$

**Rezultat** je 155,520Mb/s, kar je ravno STM-1.

- strukturiran okvir signala STM-N
- format mapiranja in multipleksiranja signalov (PDH, ATM, Eternet) v signal STM-N

### ***Izguba signala (LOS), signal naznanitve alarma (AIS), indikacija oddaljene hibe (RDI) in kriteriji G.775, po katerih je napaka odpravljena***

Standard G.775 podaja priporočila oz. kriterije za določanje in odpravljanje napak, kot so LOS (izguba signala), AIS (signal naznanitve alarma) in RDI (indikacija oddaljene hibe) za signale PDH.

### ***Konfiguracija strukture koristne vsebine za omrežni element G.774.2***

Standard G.774.2 podaja priporočila o tem, kako se koristna vsebina prenaša po omrežnih elementih.

### ***Sinhronizacija omrežja G.811, G.812 in G.813***

G.811 – standard, ki določa PRC (primarno referenčno uro)

Zahteve, ki morajo biti izpolnjene, da se primarna ura lahko uporabi.

G.812, G. 813 – standard , ki določa SEC (sekundarno referenčno uro)

Zahteve, ki morajo biti izpolnjene, da se sekundarna ura lahko uporabi.

### ***Omrežni upravljalni sistem med upravljalnim sistemom in omrežnim elementom G.784***

Standard G.784 podaja svoja priporočila o upravljanju z NE (omrežnim elementom, angl. *Network Element*) oz. napravami.

## 2.1 Opis napak

Sistem SDH leži v sami hrbtenici omrežja, zato daljši izpadi v sistemu niso zaželeni, še posebej v današnjem času, ko je v uporabi toliko kritičnih storitev (mobilna telefonija, internetna telefonija, internetna televizija, najeti vodi), kjer si ne moremo privoščiti (večjih) prekinitev. Kljub temu lahko pride do nepričakovanega dogodka, ki pripelje do izgube prometa. V takem primeru je treba v najkrajšem času odkriti vzrok težave in jo odpraviti. K hitri odpravi napak bistveno pripomore sistem za javljanje napak. Ta je lahko precej kompleksen. Kako kompleksen je lahko sistem, je odvisno od napake, ki se pojavi.

*Primer: Ob izpadu optične povezave se na sistemu za javljanje napak prikaže precej napak, iz katerih je treba razvozlati glavni vzrok. V primeru prekinjene optike je potrebno odkriti, kje se nahaja napaka LOS (izguba signala).*

*Zaradi te napake se lahko pojavijo še druge napake, kot so na primer AIS (signal naznanitve alarma), DCC (prekinitev kanala) in EPJ (čezmerna poravnava kazalca). Te so v navedenem primeru za nas povsem nepomembne, saj je vzrok zanje prekinjena optična povezava.*

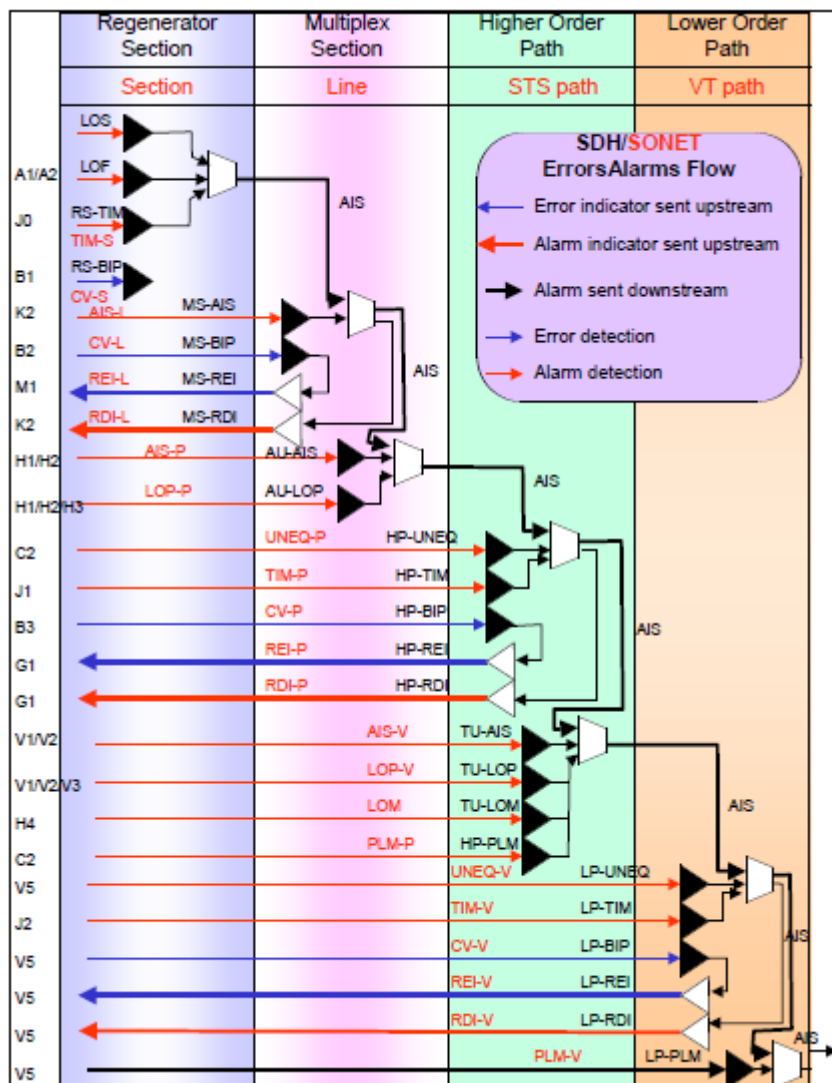
Slika 2 prikazuje sistem za javljanje napak na sistemu Ericsson. S slike je razvidno, kako težko je ugotoviti pravi vzrok napake. Potrebni je precej izkušenj in poznavanja delovanja tehnologije, da se lahko v najkrajšem času ugotovi glavni vzrok napak.

Slika 2: Primer izpisanapakna sistemu Ericsson

Critical	2009/06/09 10:09:02	0h 00m 00s	device:3.8	--	moduleLost	unit lost
Critical	2009/05/21 08:42:23	0h 00m 00s	device:1.6	--	powerFailure	power failure input A
Critical	2009/05/21 08:42:23	0h 00m 00s	device:1.6	--	moduleLost	unit lost
Minor	2009/09/21 17:49:59	0h 00m 00s	fan	fan	fan	fan failure
Critical	2009/09/01 10:15:19	0h 00m 00s	vc12:2.2.2	P2/1.1.3.3.3	uneq	unequipped
Critical	2009/05/11 09:53:53	0h 00m 00s	a1:2.2.2	P2	los	Loss Of Signal
Critical	2009/04/03 12:12:28	0h 00m 00s	a1:3.3.2	P2	los	Loss Of Signal
Critical	2009/08/01 17:20:27	0h 00m 00s	a1:1.7.11	P11	los	Loss Of Signal
Cleared	2009/09/07 12:27:08	0h 00m 01s	a1:1.4.11	P11	bFRx	Loss Of Frame downlink
Critical	2009/07/16 03:19:48	0h 00m 00s	a1:3.6.11	P11	los	Loss Of Signal
Minor	2009/09/07 12:27:18	0h 00m 00s	a1:1.7.11	P11	bFRx	Loss Of Frame downlink
Critical	2009/09/04 11:08:38	0h 00m 00s	a1:2.2.11	P11	los	Loss Of Signal
Critical	2009/06/09 10:09:03	0h 00m 00s	power:1	S1	powerOut	power output failure
Critical	2009/06/09 10:09:03	0h 00m 00s	power:1	S1	powerInA	power failure input A
Minor	2009/04/03 10:22:14	0h 00m 00s	dcM:1.1.2	S1/P1	csf	Dcc Termination Failure
Minor	2009/06/02 04:53:19	0h 00m 00s	dcM:1.1.2	S1/P1	csf	Dcc Termination Failure
Minor	2009/06/02 04:49:58	0h 00m 00s	dcM:1.1.2	S1/P1	csf	Dcc Termination Failure
Minor	2009/09/07 09:28:11	0h 00m 00s	dcM:1.1.1	S1/P1	csf	Dcc Termination Failure
Critical	2009/09/07 12:24:46	0h 00m 00s	dcM:1.2	S1/P2	los	Loss Of Signal
Minor	2009/09/07 12:25:13	0h 00m 00s	dcM:1.2.2	S1/P2	csf	Dcc Termination Failure
Warning	2009/06/09 10:15:17	0h 00m 00s	au4:1.2.1.1.0.0.0	S1/P2/1.1.0.0.0	epj	Excessive Ptr. Justification
Critical	2009/04/02 02:03:03	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.1.4.2	S1/P8/1.1.1.4.2	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/04/02 02:03:03	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.1.4.3	S1/P8/1.1.1.4.3	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/04/02 02:03:03	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.1.5.1	S1/P8/1.1.1.5.1	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/04/02 02:03:03	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.1.5.2	S1/P8/1.1.1.5.2	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/04/02 02:03:03	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.1.5.3	S1/P8/1.1.1.5.3	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/04/02 02:03:03	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.1.6.1	S1/P8/1.1.1.6.1	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/04/02 02:03:03	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.1.6.2	S1/P8/1.1.1.6.2	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/04/02 02:03:03	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.1.6.3	S1/P8/1.1.1.6.3	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/04/02 02:03:03	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.1.7.1	S1/P8/1.1.1.7.1	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/04/02 02:03:03	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.1.7.2	S1/P8/1.1.1.7.2	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/04/02 02:03:03	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.1.7.3	S1/P8/1.1.1.7.3	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/04/02 02:03:03	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.2.1.1	S1/P8/1.1.2.1.1	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/04/02 02:03:03	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.2.1.2	S1/P8/1.1.2.1.2	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/04/02 02:03:03	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.2.1.3	S1/P8/1.1.2.1.3	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/04/02 02:03:03	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.2.2.1	S1/P8/1.1.2.2.1	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/04/02 02:03:03	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.2.2.2	S1/P8/1.1.2.2.2	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/04/02 02:03:03	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.2.2.3	S1/P8/1.1.2.2.3	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/04/02 02:03:03	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.2.3.1	S1/P8/1.1.2.3.1	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/04/02 02:03:03	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.2.3.2	S1/P8/1.1.2.3.2	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/04/02 02:03:03	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.2.3.3	S1/P8/1.1.2.3.3	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/04/02 02:03:03	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.2.4.1	S1/P8/1.1.2.4.1	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/04/02 02:03:03	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.2.4.2	S1/P8/1.1.2.4.2	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/04/02 02:03:03	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.2.4.3	S1/P8/1.1.2.4.3	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/04/02 02:03:04	0h 00m 00s	bu12:1.8.1.1.3.7.3	S1/P8/1.1.3.7.3	lop	Loss Of Pointer
Minor	2009/08/27 08:55:12	0h 00m 00s	pdM:1.11	S1/P11	kdTx	Loss Of Frame alignment on custom
Minor	2009/07/17 17:28:43	0h 00m 00s	bu12:1.1.4.1.1.1.1.1.1.1	S1/P11/1.1.1.1.1.1.1.1	csf	Server signal failure
Minor	2009/06/02 06:39:53	0h 00m 00s	dcM:2.1.2	S2/P1	csf	Dcc Termination Failure
Warning	2009/09/07 08:27:43	0h 00m 00s	au4:2.3.1.1.0.0.0	S2/P3/1.1.0.0.0	epj	Excessive Ptr. Justification
Critical	2009/07/29 11:16:55	0h 00m 00s	bu12:2.3.1.1.3.1.1	S2/P3/1.1.3.1.1	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/07/29 11:16:55	0h 00m 00s	bu12:2.3.1.1.3.1.2	S2/P3/1.1.3.1.2	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/07/29 11:16:55	0h 00m 00s	bu12:2.3.1.1.3.2.3	S2/P3/1.1.3.2.3	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/07/29 11:16:55	0h 00m 00s	bu12:2.3.1.1.3.3.1	S2/P3/1.1.3.3.1	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/07/29 11:16:55	0h 00m 00s	bu12:2.3.1.1.3.3.2	S2/P3/1.1.3.3.2	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/07/29 11:16:55	0h 00m 00s	bu12:2.3.1.1.3.3.3	S2/P3/1.1.3.3.3	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/07/29 11:16:55	0h 00m 00s	bu12:2.3.1.1.3.4.1	S2/P3/1.1.3.4.1	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/07/29 11:16:55	0h 00m 00s	bu12:2.3.1.1.3.4.2	S2/P3/1.1.3.4.2	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/07/29 11:16:55	0h 00m 00s	bu12:2.3.1.1.3.4.3	S2/P3/1.1.3.4.3	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/07/29 11:16:55	0h 00m 00s	bu12:2.3.1.1.3.5.1	S2/P3/1.1.3.5.1	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/07/29 11:16:55	0h 00m 00s	bu12:2.3.1.1.3.5.2	S2/P3/1.1.3.5.2	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/07/29 11:16:55	0h 00m 00s	bu12:2.3.1.1.3.5.3	S2/P3/1.1.3.5.3	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/07/29 11:16:55	0h 00m 00s	bu12:2.3.1.1.3.6.1	S2/P3/1.1.3.6.1	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/07/29 11:16:55	0h 00m 00s	bu12:2.3.1.1.3.6.2	S2/P3/1.1.3.6.2	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/07/29 11:16:55	0h 00m 00s	bu12:2.3.1.1.3.6.3	S2/P3/1.1.3.6.3	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/07/29 11:16:55	0h 00m 00s	bu12:2.3.1.1.3.7.1	S2/P3/1.1.3.7.1	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/07/29 11:16:55	0h 00m 00s	bu12:2.3.1.1.3.7.2	S2/P3/1.1.3.7.2	lop	Loss Of Pointer
Critical	2009/07/29 11:16:55	0h 00m 00s	bu12:2.3.1.1.3.7.3	S2/P3/1.1.3.7.3	lop	Loss Of Pointer
Warning	2009/07/29 11:17:42	0h 00m 00s	au4:2.5.1.1.0.0.0	S2/P5/1.1.0.0.0	epj	Excessive Ptr. Justification
Warning	2009/09/02 14:59:09	0h 00m 00s	au4:2.8.1.1.0.0.0	S2/P8/1.1.0.0.0	epj	Excessive Ptr. Justification
Critical	2009/09/07 12:24:57	0h 00m 00s	vc12:16.1.1.1.1.1.1	S2/P16/1.1.1.1.1.1	uneq	unequipped
Critical	2009/09/07 12:24:58	0h 00m 00s	a1:2.16	S2/P16/1.1.1.1.1	los	Loss Of Signal
Critical	2009/08/27 09:17:44	0h 00m 00s	a1:3.4	S3/P4/1.1.1.1.1	los	Loss Of Signal
Critical	2009/08/27 09:17:48	0h 00m 00s	a1:3.5	S3/P5/1.1.1.1.1	los	Loss Of Signal
Critical	2009/08/27 09:17:49	0h 00m 00s	a1:3.6	S3/P6/1.1.1.1.1	los	Loss Of Signal
Critical	2009/06/09 10:09:17	0h 00m 00s	sdh:3.8	S3/P8	los	Loss Of Signal
Critical	2009/09/03 15:37:08	0h 00m 00s	a1:3.21	S3/P21/1.1.1.1.1	los	Loss Of Signal
Critical	2009/07/13 14:18:58	0h 00m 00s	a1:4.1	S4/P1/1.1.1.1.1	los	Loss Of Signal
Minor	2009/07/17 17:28:47	0h 00m 00s	bu12:4.1.1.1.1.1.4.1	S4/P1/1.1.1.1.1.4.1	ais	Alarm indication signal
Minor	2009/07/17 17:28:44	0h 00m 00s	bu12:4.1.1.1.2.1.5.2	S4/P1/1.1.2.1.5.2	ais	Alarm indication signal
Critical	2009/09/01 10:15:18	0h 00m 00s	vc12:4.4.1.1.1.1.1	S4/P4/1.1.1.1.1	uneq	unequipped
Minor	2009/02/24 09:15:26	0h 00m 00s	vc12:4.4.1.1.1.1.1	S4/P4/1.1.1.1.1	csf	Server Signal Failure
Critical	2009/09/01 10:15:18	0h 00m 00s	vc12:4.5.1.1.1.1.1	S4/P5/1.1.1.1.1	uneq	unequipped
Critical	2009/09/01 10:15:18	0h 00m 00s	vc12:4.21.1.1.1.1.1	S4/P21/1.1.1.1.1	uneq	unequipped
Minor	2009/08/27 08:55:12	0h 00m 00s	bu12:5.1.1.1.2.1.4.1	S5/P1/1.1.2.1.4.1	ais	Alarm indication signal
Critical	2009/08/27 08:55:13	0h 00m 00s	dcM:5.1.2	S5/P1/2	mid	Management interface down
Minor	2009/07/29 07:38:26	0h 00m 00s	bu12:5.2.1.1.1.1.2.2	S5/P2/1.1.1.1.2.2	ais	Alarm indication signal
Minor	2009/09/07 12:27:46	0h 00m 00s	bu12:8.1.1.1.4.1.4.3	S8/P1/1.1.4.1.4.3	ais	Alarm indication signal

Podrobnejši opis napak v sistemu SDH je razdeljen po slojih in jih prikazuje slika 3.

Slika 3: Napake po slojih



- **LOS (Loss Of Signal – izguba signala)** – napaka se pojavi na fizičnem vmesniku (STM-x, ethernet, E1), razlog za to napako je fizično prekinjena povezava (optična ali bakrena v primeru E1 ali ethernet).
- **AIS (Alarm Indication Signal – signal naznanitve alarma)** in
- **RDI (Remote Defect Indication – indikacija oddaljene hibe)** – signala se pojavita na več slojih in pomenita, da je signal nekje na poti prekinjen. Napaka je lahko v lastnem omrežju ali v omrežjih drugih operaterjev, po katerih signal potuje.

- **LOP (*Loss Of Pointer* – izguba kazalca)** – kazalec je tisti, ki določa, kje je konec paketa in kje se začne nov paket. Napaka LOP se pojavi, ko dobimo N-zaporednih napačnih kazalcev.
- **OOF (*Out Of Frame Alignment* – okvir ni poravnan)** – napaka se pojavi, ko se nekaj zaporednih okvirjev prenese z napako.
- **LOF (*Loss Of Frame* – izguba okvirja)** – napaka se pojavi, ko števec, ki se nahaja znotraj okvirja, preseže prag, ki je nastavljen znotraj sistema.
- **Uneq (*Unequipped* – neopremljen)** – da pridemo od priklopne točke (izvor) do končne točke (ponor), je treba na vsaki napravi, po kateri poteka signal, narediti povezavo. Če povezava ni narejena na vseh elementih, se pojavi napaka »Unequipped«.
- **EPJ (*Excessive Pointer Justification* – čezmerna poravnava kazalca)** – napaka se pojavi, ko pride do težave s sinhronizacijsko uro, ki povzroči, da kazalec ne more določiti konca paketa.
- **SSF (*Server Signal Failure* – izguba signala)** – napaka se pojavi, ker je signal na poti od izvora do ponora prekinjen. Iz napake ni razvidno, kje je težava, vemo samo, da je nekje v omrežju.
- **PwrIn (*Power Input Failure* – izguba vhodne moči)** – napaka na napajalnem sistemu.
- **Module Lost – izguba modula** – naprave SDH so sestavljene iz različnih modulov oz. kartic, v primeru tega alarma ena od kartic ne deluje pravilno.
- **BIP (*Bit Interleaved Parity* – parnost pri bitnem multipleksiranju)** – sledenje napakam, ki vključujejo izračun za vsako okno posebej. V primeru, da pariteta ne ustreza, se pojavi napaka.

### 3. Struktura SDH

Na splošno strukturiranje pomeni multipleksiranje nižjih hitrosti v višje. V ta namen je narejena multipleksna shema, ki je prikazana na sliki 4 in je definirana po ITU-T-standardu G.709.

Zahteve, ki jih mora izpolnjevati struktura, so:

- hitrost,
- struktura okvirja,
- način mapiranja in multipleksiranja signala,
- funkcija presežka.

Pojmi, ki se uporabljajo v procesu strukturiranja, so naslednji:

**C (*Container* – hranilnik)** – kot pove že sama beseda, je hranilnik kot zaboj, ki čaka, da se napolni s podatki. Hranilnik se tudi sinhronizira z uro.

**VC (*Virtual Container* – navidezni hranilnik)** – hranilnik z dodatkom devetih bajtov, ki jim z eno besedo pravimo POH (*Path Overhead* – glava poti). Presežek vsebuje podatke o napakah, nadzoru ipd.

**TU (*Tributary Unit* – pritočna enota)** – osnovna enota za koristno vsebino, ki poleg tega prenaša še podatke, potrebne za nadzor in za sinhrono podatke.

**TUG (*Tributary Unit Group* – pritočna skupina)** – nadzorovana skupina TU.

**AU (*Administrative Unit* – administrativna enota)** – to je navidezni hranilnik, h kateremu so dodani še trije bajti. Trije bajti predstavljajo kazalce, ki so potrebni, da se enote lahko ločujejo med seboj.

**AUG (*Administrative Unit Group* – administrativna skupina)** – nadzorovana skupina administrativne enote.

V procesu strukturiranja so uporabljene naslednje funkcije:

**Mapiranje (angl. *mapping*)** – proces, kjer VC (*Virtual Container*) vključimo v TU (*Tributary Unit* – pritočna enota) tako, da se k hranilniku doda POH (*Path Overhead*) in poravnava.

**Poravnava (angl. *aligning*)** – proces, kjer se kazalec vključi v TU (*Tributary Unit*) ali v AU (*Administrative Unit*), s čimer se določi prvi bajt VC-ja (*Virtual Container*).

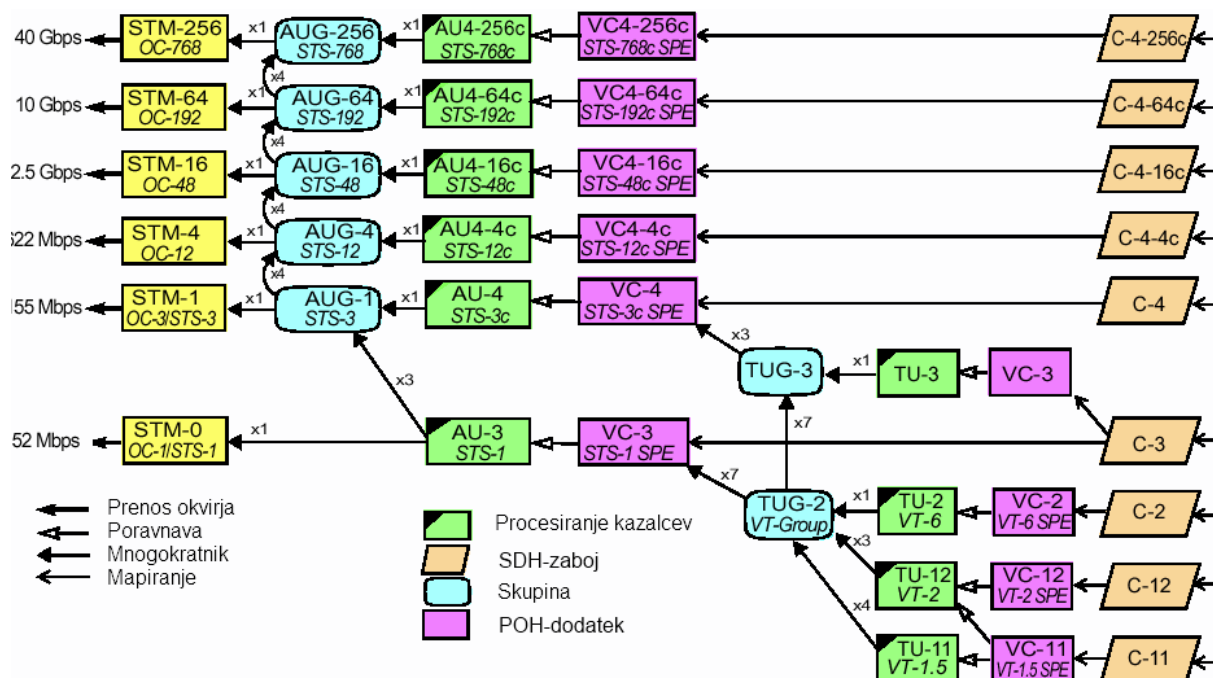
**Mnogokratnik (angl. *multiplexing*)** – proces, kjer več podatkovnih tokov združimo v en večji podatkovni tok.

**Polnjenje (angl. *stuffing*)** – ko se TU-signal multipleksira in poravna, ostane nekaj proste kapacitete, ki se zapolni s fiksno določenim polnilom, ki ne vsebuje informacij.

**Pot (angl. *path*)** – pot, ki jo prepotuje signal od vhoda do izhoda.

**Kazalec (angl. *pointer*)** – kazalec na začetek okvirja.

Slika 4: SDH-struktura (multipleksiranje)



Hranilnik je prva točka v verigi mapiranja in multipleksiranja in je fiksno določen. Vhodni signal, ki ga hranilnik sprejme, je lahko različno velik. Najvišja hitrost, ki jo hranilnik sprejme, je 2,048 Mb/s. C (*Container* – hranilnik) se napolni s podatki in se sinhronizira z uro, nato se doda še POH (*Path Overhead* – glava poti) in tako se ustvari VC (*Virtual Container* – navidezni hranilnik).

Namen tega procesa je, da se ustvari edinstven VC koristne vsebine z uporabo polnjenja tako, da imajo vsi vhodi enako hitrost in so tako pripravljene za sinhrono multipleksiranje.

Skozi strukturiranje imamo opravka z različnimi VC-ji, ki se razlikujejo po hitrosti, ki jo predstavljajo. Poleg VC12, ki je najmanjša hitrost pri SDH in je predstavljen z 2,048 Mb/s, so tu še VC3 (34 Mb/s) in VC4 (150 Mb/s).

Naslednji proces v verigi je poravnava VC tako, da dobimo TU (*Tributary Unit* – pritočna enota). V tej fazi se nastavijo kazalci, hkrati je to prehod z nižjega nivoja (angl. *Low order*) na višji nivo (angl. *High order*). Pri procesu multipleksiranja sta ločena nižji nivo, kjer

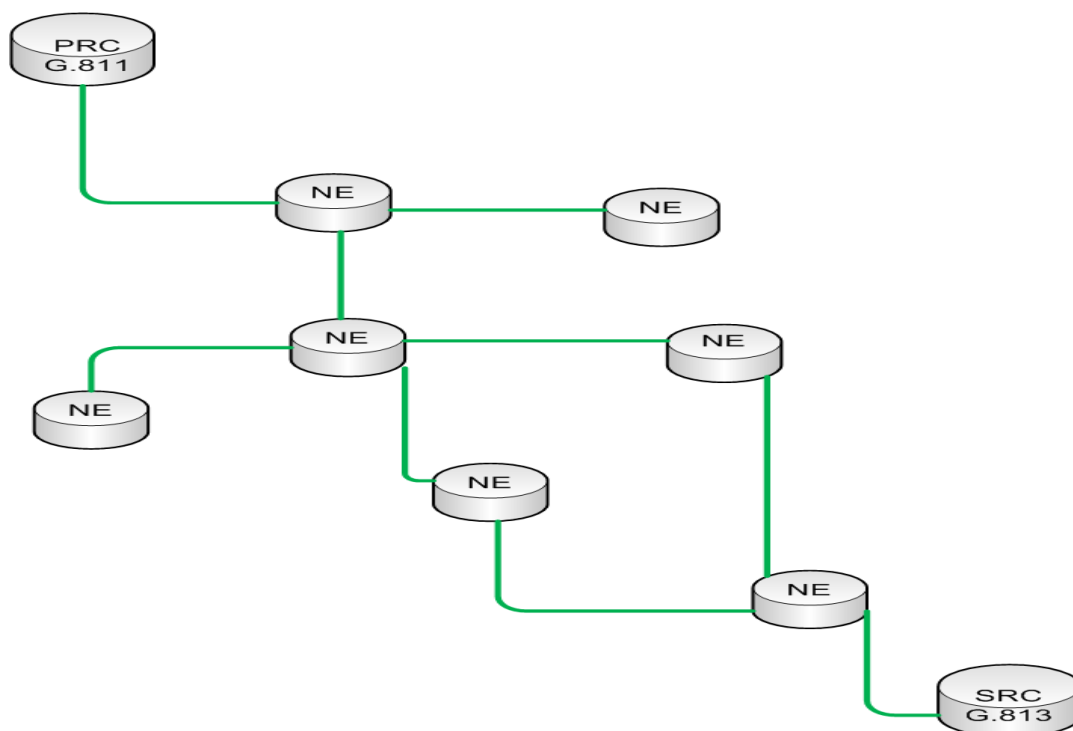
upravljamo z nižjimi hitrostmi, in višji nivo, ki zajema višje hitrosti. Z vsemi operacijami, ki se zgodijo na TU, se koristna vsebina naprej multipleksira v TUG (*Tributary Unit Group* – pritočna skupina). Številka poleg TUG-a nam pove, koliko pritočnih skupin je potrebnih, da se koristna vsebina multipleksira v višji nivo. Nivo, ki ga s tem dosežemo, je VC-3 in VC-4, ki ga naprej multipleksiramo tako, da zopet napolnimo navidezni hranilnik s polnilnimi biti in ustvarimo pogoj za ustvarjanje AU (*Administrative Unite* – administrativna enota). Tako pridemo do predzadnje točke mapiranja/multipleksiranja, tj. AUG (*Administrative Unite Group* – administrativna skupina). Vsa koristna vsebina se na koncu še multipleksira v STM-n.

## 4. Sinhronizacija SDH

Ena pglavitnih stvari, na katere moramo biti pozorni pri gradnji SDH-omrežja, je ura, po kateri je sistem usklajen. To je osnovna komponenta, ki jo je treba vedno nadzorovati. Kompleksnejša omrežja imajo še večjo potrebo po urejenem urnem taktu, saj je od tega odvisna kakovost prenosne poti.

Časovna hierarhija, kjer PRC (primarna referenčna ura) ni pravilno porazdeljena po vseh omrežnih elementih, prikazana na sliki 5, lahko povzroči tudi izpad prometa oz. v najboljšem primeru le manjše motnje.

Slika 5: Porazdelitev urnega signala v omrežju



Obstajata dva ključna elementa za točno in zanesljivo delovanje ure na omrežnih elementih:

- PRC (*Primary Reference Clock* – primarna referenčna ura),
- distribucija PRC po vseh omrežnih elementih.

Standard, po katerem je določen PRC, je izdal ITU-T, in sicer pod imenom G.811.

## 4.1 Primarna referenčna ura G.811

PRC je osnovna in hkrati najkakovostnejša ura, ki se prenaša po vseh omrežnih elementih ponudnika storitev. Pogoje, ki jih ura mora izpolnjevati, da jo sploh lahko obravnavamo kot PRC, so naslednji:

### - frekvenčna natančnost

Frekvenčna natančnost določa maksimalen dovoljeni odmik v časovnem obdobju enega tedna za vse opravljene operacije.

### - generiranje šuma

Predstavlja količino proizvedenega faznega šuma na izhodu omrežnega elementa. V splošnem obstajata dva izračuna, in sicer MTIE (maksimalen časovni interval z napakami) ter TDEV (časovni odmik)

- *Fazni odmik (angl. wander)*

Zaradi manjše spremembe faze skozi čas pride do tega, da se izgubi koristni tovor.

- *Trepetanje (angl. jitter)*

Poznamo *mapirano trepetanje*, ki ga povzroči nalaganje tributarnih enot v sinhronizirano strukturo, in *trepetanje kazalca*, do katerega pride zaradi poravnave kazalca.

### - fazna opustitev

Nekateri pogoji se izvršujejo tudi v časovnih intervalih, ki niso pogosti. Eden takih pogojev je tudi fazna opustitev (angl. *Phase discontinuity*), ki preverja, kolikšno je fazno odstopanje v časovnem intervalu. Fazno odstopanje v katerem koli časovnem intervalu (I), kjer interval ni daljši od 0,016 s, ne sme preseči vrednosti  $7500 \times (I)$ , kjer je I interval v ns.

- **vmesniki**

Izhodni vmesniki, po katerih se prenaša PRC, so:

- 2048 kHz vmesniki,
- 1544 kbit/s vmesniki,
- 2048 kbit/s vmesniki.

Če pogoji za PRC niso izpolnjeni in pride do degradacije PRC-signala, je treba imeti v mislih tudi redundanco. Ko sistem zazna degradacijo PRC-signala, mora ta v času, določenem v sistemu, prestaviti PRC na redundantno uro.

## 4.2 Sekundarna referenčna ura G.812,G.813

Sekundarno referenčno uro obravnavata dva standarda ITU-T, to sta G.812 ter G.813. Standard določa minimalne zahteve za sekundarno uro, da bi se jo lahko uporabilo kot uro omrežnega elementa.

- **frekvenčna natančnost**

Maksimalen odmik frekvence v letnem času ne sme prekoračiti določene vrednosti.

- **generiranje šuma**
  - *fazni odmik,*
  - *trepetanje.*

Trepetanje pri 2048 kHz in 2048 kbit/s izhodnem vmesniku se meri v 60-sekundnem intervalu.

- **fazna opustitev**
- **vmesniki**

2048 kHz in 2048 kbit/s vmesniki so določeni po G.703, ravno tako tudi 1544 kbit/s vmesniki.

Slika 6 prikazuje praktičen primer uporabe primarne referenčne ure na napravi Ericsson. Na sliki so prikazani vsi vmesniki, ki so na voljo. Administrator naprave se odloči, kateri vmesnik bo izbran za referenčno uro. Ko je vmesnik izbran, sistem preveri ustreznost ure in določi kakovost.

V našem primeru je razvidno, da vmesnik 1-23-1 izpolnjuje pogoje za PRC (sprejeta ura je G.811). Na drugem vmesniku 1-37-1 je sistem preračunal, da ura ne zadostuje ne PRC ne SRC (sekundarna ura), zato je tudi označen z opozorilom »ne uporabi«.

Slika 6: Določitev PRC na sistemu Ericsson

**Synchronisation**

Marconi OMS 1664

- Sync mode: SETG
- Global sync parameters
- OMS 1664 - LJUBLJANA
  - Clock sources
  - System clock
  - External clock

Clock	Clock source	Lockout	State	SSMB mode	Configured SSMB	Received SSMB
Card 1-23 Clk-1	Card 1-23 Port #01	<input type="checkbox"/> No	OK	Use received	0010 - G811	0010 - G811
Card 1-23 Clk-2	Not allocated	<input type="checkbox"/> No	Selection failure	Use received	0000 - Unknown	0000 - Unknown
Card 1-24 Clk-1	Not allocated	<input type="checkbox"/> No	Selection failure	Use received	0000 - Unknown	0000 - Unknown
Card 1-24 Clk-2	Not allocated	<input type="checkbox"/> No	Selection failure	Use received	0000 - Unknown	0000 - Unknown
Card 1-25 Clk-1	Not allocated	<input type="checkbox"/> No	Selection failure	Use received	0000 - Unknown	0000 - Unknown
Card 1-25 Clk-2	Not allocated	<input type="checkbox"/> No	Selection failure	Use received	0000 - Unknown	0000 - Unknown
Card 1-26 Clk-1	Not allocated	<input type="checkbox"/> No	Selection failure	Use received	0000 - Unknown	0000 - Unknown
Card 1-26 Clk-2	Not allocated	<input type="checkbox"/> No	Selection failure	Use received	0000 - Unknown	0000 - Unknown
Card 1-27 Clk-1	Not allocated	<input type="checkbox"/> No	Selection failure	Use received	0000 - Unknown	0000 - Unknown
Card 1-27 Clk-2	Not allocated	<input type="checkbox"/> No	Selection failure	Use received	0000 - Unknown	0000 - Unknown
Card 1-29 Clk-1	Not allocated	<input type="checkbox"/> No	Selection failure	Use received	0000 - Unknown	0000 - Unknown
Card 1-29 Clk-2	Not allocated	<input type="checkbox"/> No	Selection failure	Use received	0000 - Unknown	0000 - Unknown
Card 1-31 Clk-1	Not allocated	<input type="checkbox"/> No	Selection failure	Use received	0000 - Unknown	0000 - Unknown
Card 1-31 Clk-2	Not allocated	<input type="checkbox"/> No	Selection failure	Use received	0000 - Unknown	0000 - Unknown
Card 1-34 Clk-1	Not allocated	<input type="checkbox"/> No	Selection failure	Use configured	0000 - Unknown	Not applicable
Card 1-34 Clk-2	Not allocated	<input type="checkbox"/> No	Selection failure	Use configured	0000 - Unknown	Not applicable
Card 1-35 Clk-1	Not allocated	<input type="checkbox"/> No	Selection failure	Use configured	0000 - Unknown	Not applicable
Card 1-35 Clk-2	Not allocated	<input type="checkbox"/> No	Selection failure	Use configured	0000 - Unknown	Not applicable
Card 1-37 Clk-1	Card 1-37 Port #01	<input type="checkbox"/> No	OK	Use received	1111 - Do not use	1111 - Do not use
Card 1-37 Clk-2	Not allocated	<input type="checkbox"/> No	Selection failure	Use received	0000 - Unknown	0000 - Unknown
Card 1-38 Clk-1	Not allocated	<input type="checkbox"/> No	Selection failure	Use received	0000 - Unknown	0000 - Unknown
Card 1-38 Clk-2	Not allocated	<input type="checkbox"/> No	Selection failure	Use received	0000 - Unknown	0000 - Unknown

## 5. Povezovalnik

Izraz povezovalnik opisuje proces ustvarjanja interne povezave na zaključnih točkah omrežnega elementa. To si lahko predstavljamo kot povezavo dveh točk s premico na ravnini.

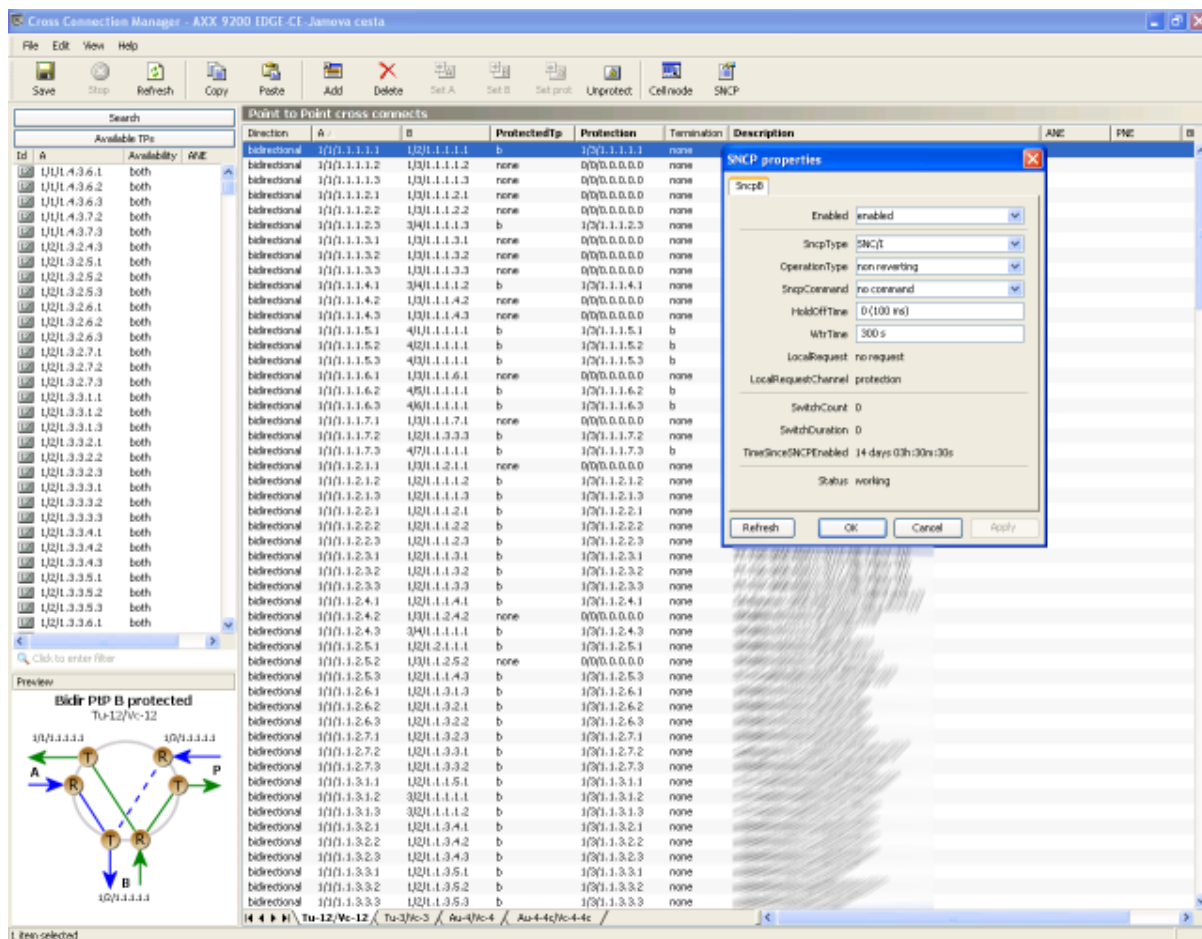
Primer povezovalnika je povezovanje električnega vmesnika, ki predstavlja hitrost E1 (2.048 Mb/s) na eni strani, in optičnega vmesnika, ki predstavlja hitrost STM1 (155.52 Mb/s) na drugi.

V drugem poglavju diplomske naloge je opisan proces strukturiranja povezave. Ta nam pove, kako vrinemo E1 v STM1 in obratno, torej, kako iz STM1 dobimo E1.

Ker je začetna točka električni vmesnik hitrosti E1, mora biti tudi končna točka enaka hitrosti E1. Vmesne točke v tem primeru nas ne zanimajo, predstavljajo lahko vse hitrosti (STM-1, STM-4 itd.)

Možne so tri zaključne točke, dve sta obvezni, in sicer točka A (izvor) in točka B (ponor), pod točko P je zaščita, ki pa ni nujno potrebna. Slika 7 je primer ustvarjanja povezovalnika na Ericssonovi opremi. Na sliki je veliko povezovalnikov VC-12, iz katerih je razvidno, da imajo vsi povezovalniki točko A in točko B, nekateri imajo tudi zaščito P. V normalnih pogojih promet poteka od točke A prek točke B naprej do naslednjega omrežnega elementa, administrator omrežja lahko vpliva na povezovalnik tako, da prisili povezavo, da teče prek točke P, kar prikazuje tudi slika 7. Odprto je dodatno okno SNCP (zaščita povezanih podomrežij), kjer se lahko spreminja lastnosti povezovalnika. SNCP je podrobneje opisan v poglavju 5.3.

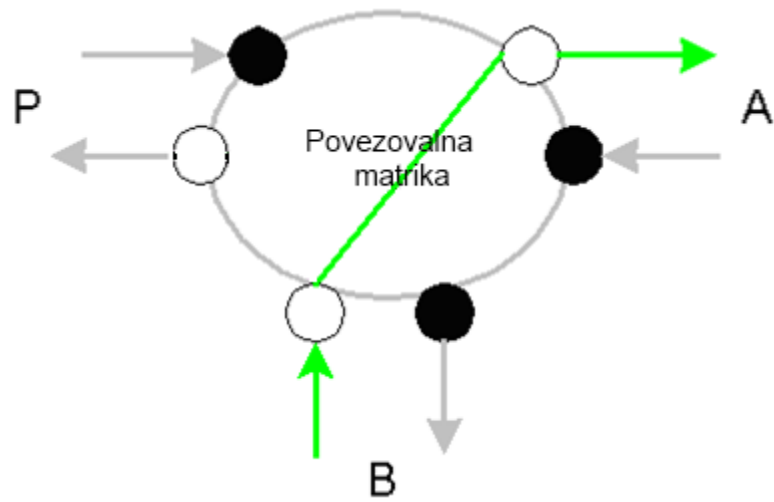
Slika 7: Ustvarjanje povezovalnika na Ericssonovi opremi



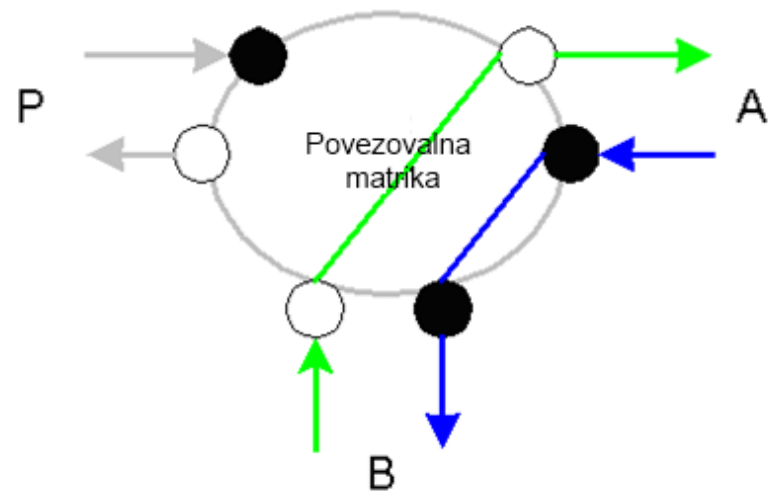
Osnovni tipi povezovalnika so:

- enosmerna (angl. *Uni-directional*) nezaščitena povezava točka-točka
- dvosmerna (angl. *Bi-directional*) nezaščitena povezava točka-točka
- enosmerna (angl. *Uni-directional*) zaščitena povezava točka-točka
- dvosmerna (angl. *Bi-directional*) zaščitena povezava točka-točka

Slika 8: Primer enosmernega nezaščenega povezovalnika



Slika 9: Primer dvosmernega nezaščenega povezovalnika





## 6. Samodejna zaščita

Samodejna zaščita je sposobnost prenosnega omrežja, da v primeru težav na delujoči povezavi preusmeri promet na redundantno povezavo. Čas za preusmeritev prometa po redundantni poti je 50 ms, določen je s standardom. To je čas, ki omogoča, da vse storitve delujejo nemoteno in brez prekinitve. Tehnologija ethernet, ki želi nadomestiti tehnologijo SDH, se takemu času v tem trenutku ne more približati.

Tipi samodejne zaščite so definirani po ITU-T-standardu G.841.

Preusmeritev prometa se sproži v naslednjih primerih:

- izguba signala,
- degradacija signala,
- ročna prestavitev s pomočjo oddaljenega dostopa.

Tipi zaščite so naslednji:

- MSP (angl. *Multiplex Section Protection*), linijska zaščita,
- SNCP (angl. *Subnetwork Connection Protection*), zaščita poti,
- MS-SPRing (angl. *Multiplex Section-Shared Protection Ring*), zaščitni obroč.

Glede na smer, po kateri poteka promet, ločimo:

- enosmerni obroč – signal se pošilja samo v eni smeri,
- dvosmerni obroč – signal se pošilja v obe smeri.

Glede na preklapljanje poznamo:

- preklapljanje glede na pot,
- linijsko preklapljanje.

## 6.1 Zaščitna shema na multipleksni sekciji (MSP)

Zaščita pri SDH-omrežjih se izvaja na optičnem delu. Protokol multipleksne sekcije označujemo z MSP. Na bližjem koncu optičnega dela se vstavi režija (angl. *overhead*), na daljnem koncu se ta režija zaključí.

V režiji sta postavljena dva bajta, imenovana K1 in K2, ki prenašata MS-protokol, ki se uporablja za določanje zaščite.

- Bajt K1 – biti od 1 do 4 so namenjeni kot preklopno stikalo med različnimi možnostmi, kot je preklop povezave na redundanco, biti od 5 do 8 pa predstavljajo številko zahtevanega kanala.
- Bajt K2 – biti od 1 do 4 predstavljajo številko kanala, bit 5 označuje, kakšen je tip zaščite (1+1/1:n), biti od 6 do 8 pa predstavljajo različna stanja, v katerih se nahaja zaščita (MS-AIS, MS-RDI).

### 6.1.1 Zaščita po načelu 1+1

Za vsako delujočo povezavo obstaja tudi zaščita. Na bližjem koncu se optični signal razdeli v dva signala in pošlje po obeh optičnih povezavah. Delujoči signal in zaščitni signal sta identična. Na daljšem koncu se pri obeh signalih preveri, ali je prišlo do napak. Omrežna naprava v tem primeru izbere bodisi delujoči signal bodisi njegovo kopijo.

Zaščita 1+1 je ponavadi enosmerna, razen kadar oba omrežna elementa podpirata dvosmerno preklapljanje.

Preklapljanje med delujočim signalom in zaščitnim signalom je lahko povratno, kar pomeni, da v primeru izpada delujočega signala prevzame breme zaščitni signal, ko pa delujoči začne vnovič delovati, se signal preklopi nazaj. Druga možnost je, da signal ob izpadu preprosto ostane na zaščiti.

### 6.1.2 Zaščita po načelu 1:N

Pri tem načinu zaščite uporabimo eno optično povezavo, ki ščiti hkrati več drugih delujočih povezav. N predstavlja vrednost od 1 do 14. Tudi tu se zaščita izvaja s pomočjo bajtov K1 in K2. Pri tej zaščiti gre vedno za povratno načelo, kar pomeni, da ko se delujoča povezava popravi, se signal vedno prestavi nazaj.

## 6.2 Obroč z zaščitno shemo na multipleksni sekciji (MS-SPRing)

Obstajata dva tipa MS-SPRing:

- možnost z dvema optičnima povezavama,
- možnost s štirimi optičnimi povezavami.

Pri zaščiti MS-SPRing delujoča povezava prenaša ves navaden promet, medtem ko je druga povezava namenjena zaščiti servisa. Zaščitni kanal se lahko uporabi tudi za prenos dodatnega prometa, če se ga ne uporablja za zaščito.

Promet pri MS-SPRing se prenaša dvosmerno, prihajajoči signal potuje po eni strani delujoče povezave, odhajajoči pa po drugi strani iste delujoče povezave.

Prednost, ki jo ima ta način zaščite pred drugimi, je v tem, da je promet, ki se prenaša po obroču, lahko usmerjen po eni ali po drugi poti. Ponavadi se uporablja krajša pot, pri daljši poti se lahko še malce uravnava promet.

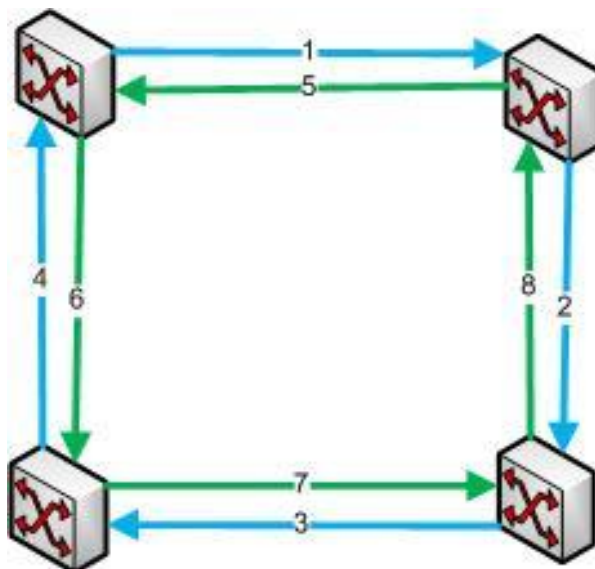
Zaščita MS-SPRing dovoljuje, da se pasovna širina, ki jo imamo na razpolago, deli v tri tipe:

- delujoča povezava, ki prenaša navaden promet,
- zaščita, ki se lahko uporabi za prenos dodatnega prometa,
- kanal, ki prenaša nezaščiten promet.

Promet, ki je zaščiten proti napakam, je varovan z MS-SPRing-protokolom, medtem ko je dodatni promet nezaščiten in potuje po zaščitenem kanalu. To pomeni, da v primeru izpada tudi ves dodaten promet izpade.

### 6.2.1 Obroč z zaščitno shemo na multipleksni sekciji (MS-SPRing) z dvema optičnima povezavama

Slika 12: MS-SPRing z dvema optičnima povezavama

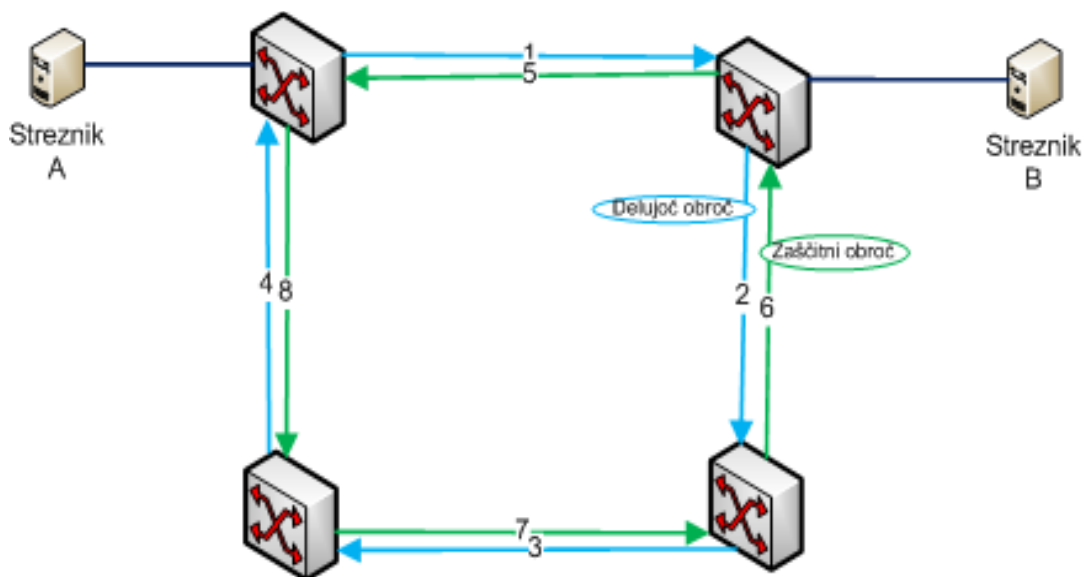


Optična vlakna (1, 2, 3, 4) predstavljajo delujočo povezavo, po kateri se prenaša navaden promet v smeri urnega kazalca, optična vlakna (5, 6, 7, 8) predstavljajo obročno zaščito.

Najpogostejša arhitektura, ki se uporablja pri dveh optičnih vlaknih:

- Dve optični vlakni – enosmerni obroč – 2F-UPSR.

Slika 13: 2F-UPSR

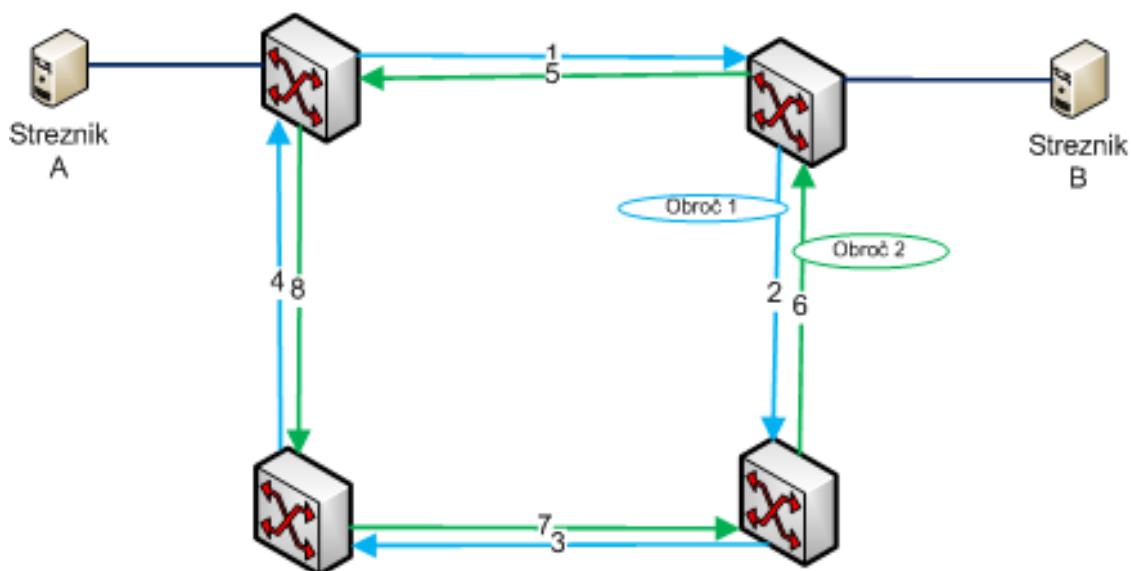


Enosmerni obroč pomeni, da promet od strežnika A do strežnika B potuje prek optičnega vlakna 1, strežnik B pošilja promet do strežnika A po optičnih vlaknih 2, 3, 4.

Zaščita po načelu 1+1, v tem primeru se signal, ki ga pošlje strežnik A, podvoji in se pošlje po optičnem vlaknu 1, kopija potuje po optičnih vlaknih 8, 7 in 6. Ob normalnem delovanju omrežja strežnik B sprejme dva identična signala, izbere pa tistega, katerega signal ima boljše kakovost. V primeru izpada optičnega vlakna 1 bo signal nemoteno potekal po zaščiteni poti.

- Dve optični vlakni – dvosmerni obroč – 2F-BLSR.

Slika 14: 2F-BLSR



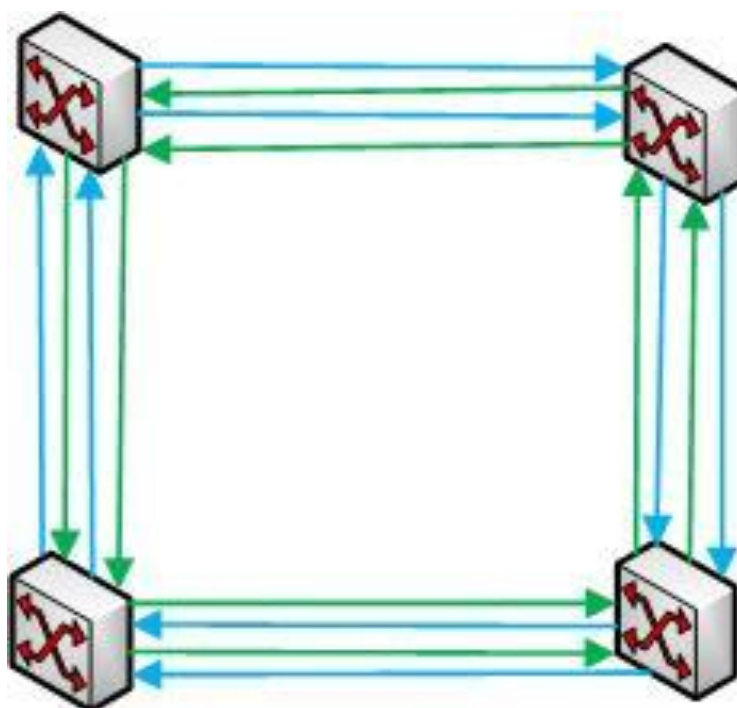
Omrežje je v tem primeru razdeljeno v dva obroča, in sicer vlakna 1, 2, 3, 4 predstavljajo obroč 1, vlakna 5, 6, 7, 8 pa obroč 2. Oba obroča prenašata delujoč promet enako kot zaščiten promet.

To je narejeno tako, da se kapaciteta deli po vsakem vlaknu. Strežnik A pošlje promet k strežniku B po optičnem vlaknu 1 (obroč 1), ta mu ga vrača po vlaknu 5 (obroč 2). V primeru izpada optične povezave 1 se promet preseli na zaščiteni pot, po vlaknih 4, 3, 2.

### 6.2.2 Obroč z zaščitno shemo na multipleksni sekciji (MS-SPRing) s štirimi optičnimi povezavami

Arhitektura, ki se uporablja pri uporabi štirih optičnih vlaken, je dvosmerni obroč – 4F-BLSR. V tem primeru imamo po dve delujoči povezavi in po dve povezavi za zaščito. Delujoči povezavi pošiljata promet v obratni smeri, vsaka od njiju je zaščitena z obročem, ki poteka v isti smeri.

Slika 15: MS-SPRing s štirimi optičnimi povezavami



Prednost štirih optičnih povezav je v tem, da omrežje lahko vzdrži tudi pri odpovedi več optičnih povezav sočasno. Uporaba take implementacije je značilna pri tistih ponudnikih storitev, ki imajo opravka z zelo dolgimi razdaljami.

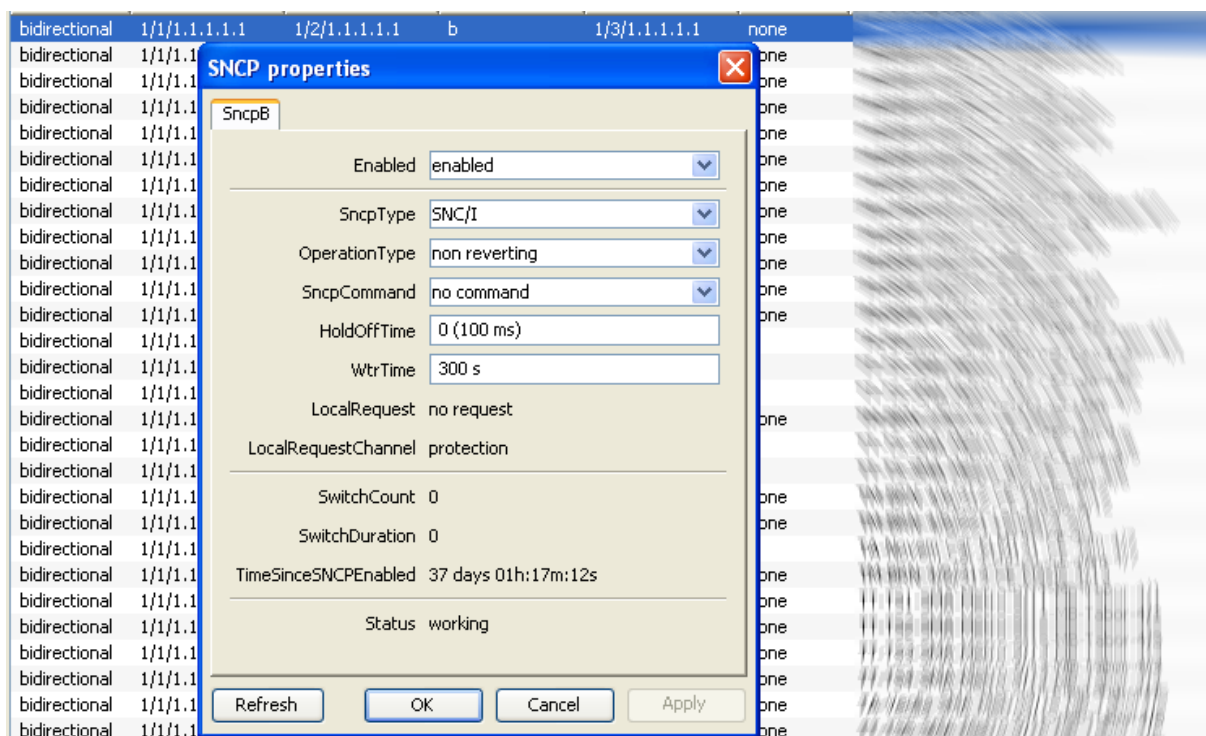
### 6.3 Zaščita povezanih podomrežij (SNCP)

SNCP je mehanizem zaščite SDH-omrežja na nivoju poti. Zaščita deluje od začetne točke do končne točke. Signal se podvoji in pošlje po obroču po dveh različnih poteh. Po kateri poti bo signal potoval, se lahko določi v samem sistemu. Preklop na zaščiten pot se zgodi v nepovratnem načinu takrat, ko pride do napake pri prenosu in se ta ne povrne v prvotno stanje. V povratnem načinu se signal v času, določenem v sistemu, vrne na delujočo povezavo (npr. pri Ericssonovem sistemu je ta čas 300 s).

Zaščita po načelu 1+1, v tem primeru signal, ki ga pošlje strežnik A, se podvoji in se pošlje po optičnem vlaknu, kopija poteka po drugem optičnem vlaknu. Ob normalnem delovanju omrežja strežnik B sprejema dva identična signala in izbere tistega, katerega signal ima boljšo kakovost. V primeru izpada prvega optičnega vlakna bo signal nemoteno potekal po zaščiteni poti.

Uporaba takega načina zaščite je tipična pri obročih, kjer je topologija omrežja kompleksna. SNCP deluje za vse hitrosti (VC12, VC3, VC4).

Slika 16: SNCP v sistemu Ericsson



Cilji, h katerim stremimo pri zaščiti SNCP, so:

- Preklopni čas 50 ms – čas za preklop med delujočo in zaščitno potjo.
- Odsotnost prenosne zakasnitve – pri načelu 1+1 signal nima zakasnitve.
- Držalni čas – ko se pojavi napaka na povezavi, mora biti ta prisotna toliko časa, kolikor je to določeno z držalnim časom. Nato se vmesnik postavi v stanje nedelovanja.
- Podobno delovanje pri vseh povezavah.
- Način delovanja – enosmerna zaščita 1+1 in dvosmerna zaščita 1+1.
- Ročni nadzor nad povezavo – na voljo moramo imeti možnost določanja operacij po meri, prek sistema za nadzor omrežja.

Kriteriji za prestavitev poti – izguba signala, degradacija signala in delež napačnih bitov, ki je določen po standardu G.783.

Obstaja več tipov zaščite podomrežnih povezav (SNC), in sicer:

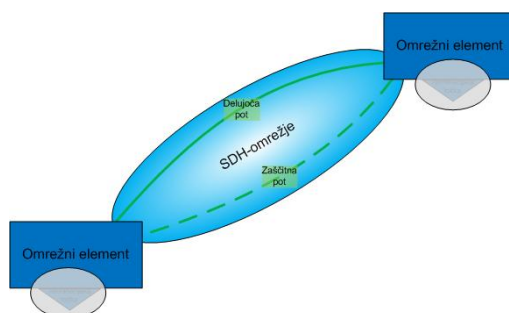
- podomrežna povezava z lastnim nadzorom (SNC/I),
- podomrežna povezava z nevrinjenim nadzorom (SNC/N),
- podomrežna povezava z nadzorom podplastne poti (SNC/S),
- podomrežna povezava s preizkušanjem (SNC/T).

Slike od 17 do 19 prikazujejo različne možnosti zaščite in podatek, kje se izvrši nadzor povezav.

### 6.3.1 Podomrežna povezava z lastnim nadzorom (SNC/I)

Slika 17 prikazuje zaščito, ki je postavljena na začetni točki. Signal nato potuje po dveh različnih poteh in se zaključi na končni točki. Sam nadzor je v tem primeru postavljen na terminacijskih točkah, in če nadzor zazna težavo na povezavi, ta posreduje napako SSF (*Server Signal Failure*) na drugo stran ter s tem sproži uporabo zaščitne poti.

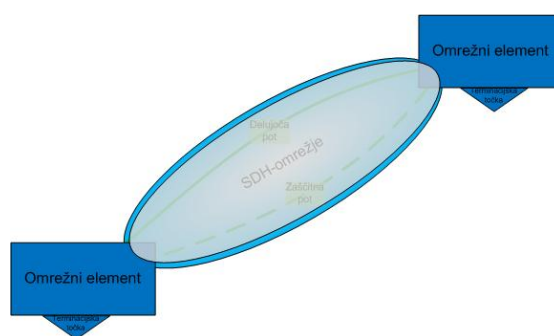
Slika 17: Zaščita SNC/I



### 6.3.2 Podomrežna povezava z neintruzivnim nadzorom (SNC/N)

SNC/N je v veliki meri zelo podoben SNC/I, razlika je le v tem, da se tu vrši nadzor tudi na drugi plasti. Poleg terminacijskih točk se nadzor vrši tudi na poti, kjer se preverja, ali je signal degradiral oz. se je izgubil.

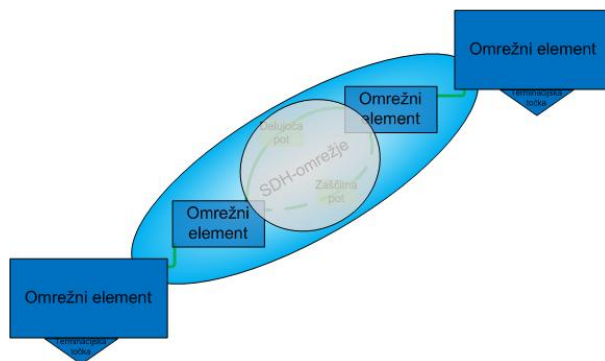
Slika 18: Zaščita SNC/N



### 6.3.3 Podomrežna povezava z nadzorom podplastne poti (SNC/S)

Funkcija SNC/S se uporablja zelo redko, saj je zaščita postavljena v notranjosti omrežja, na drugih elementih. S tem ne ščitimo končnih točk in to je tudi razlog, zakaj se ta funkcija ne uporablja.

Slika 19: Zaščita SNC/S



### 6.3.4 Podomrežna povezava s preizkušanjem (SNC/T)

Testni signal se multipleksira skupaj s koristnim tovorom, ki se nato na koncu demultipleksira in preveri napake.

## 7. Upravljanje

Vsak omrežni element mora biti nadzorovan oziroma z njim moramo nekako upravljati. Priporočila o upravljanju z omrežnimi elementi so podana v ITU-T-standardu G.784

V standardu je zapisano, kako upravljamo in nadzorujemo SDH-omrežje in njegove omrežne elemente. Omrežna oprema je vedno prikazana kot podomrežje Telekomunikacijskega nadzornega omrežja (TMN). Upravljanje z oddaljeno omrežno opremo vsebuje tudi nadzor nad napakami, nadzor zmogljivosti omrežja in samo konfiguracijo omrežnih elementov.

Komunikacija z napravo, ki je na oddaljeni lokaciji, je lahko upravljana na različne načine. Začetki SDH-omrežja segajo še v 80. leta prejšnjega stoletja, ko protokol TCP/IP še vedno ni bil tako pomemben, kot je danes. V tem obdobju je bil odprti sistem povezovanja (OSI) edini protokol, po katerem so bili urejeni vsi modeli medsebojnega komuniciranja. Tako je bil tudi nadzor in upravljanje nad omrežnimi elementi SDH-omrežja urejen prek OSI-protokolov. Nekateri operaterji to uporabljajo še danes, vendar je razlog v opremi, ki ni nadgrajena za uporabo ethernetnih protokolov. Ker se je omrežje ethernet razvilo kot protokol, ki je dandanes gonilna sila pri prenosu podatkov, se je tudi SDH prilagodil in upravljanje prepustil protokolu ethernet.

Trenutno obstajata dve možnosti, kako napravo povezati v nadzorni oblak. Prva in najbolj razširjena je uporaba podatkovno-komunikacijskega kanala (DCC). Druga možnost zahteva povezavo fizičnega upravljalvskega ethernetnega vmesnika s stikalom oz. katerokoli drugo napravo, ki ima možnost povezave ethernet. Obe različici povezovanja sta pojasnjeni v nadaljevanju.

## 7.1 Podatkovno-komunikacijski kanal (DCC)

Podatkovno-komunikacijski kanal (DCC) prenaša informacije o omrežnem elementu, kot so IP-naslov in informacije o usmerjanju. DCC se prenaša po omrežju SDH, ki ima za ta namen zagotovljen prostor znotraj signala STM-N.

Znotraj signala STM-N se prenašajo trije DCC-kanali:

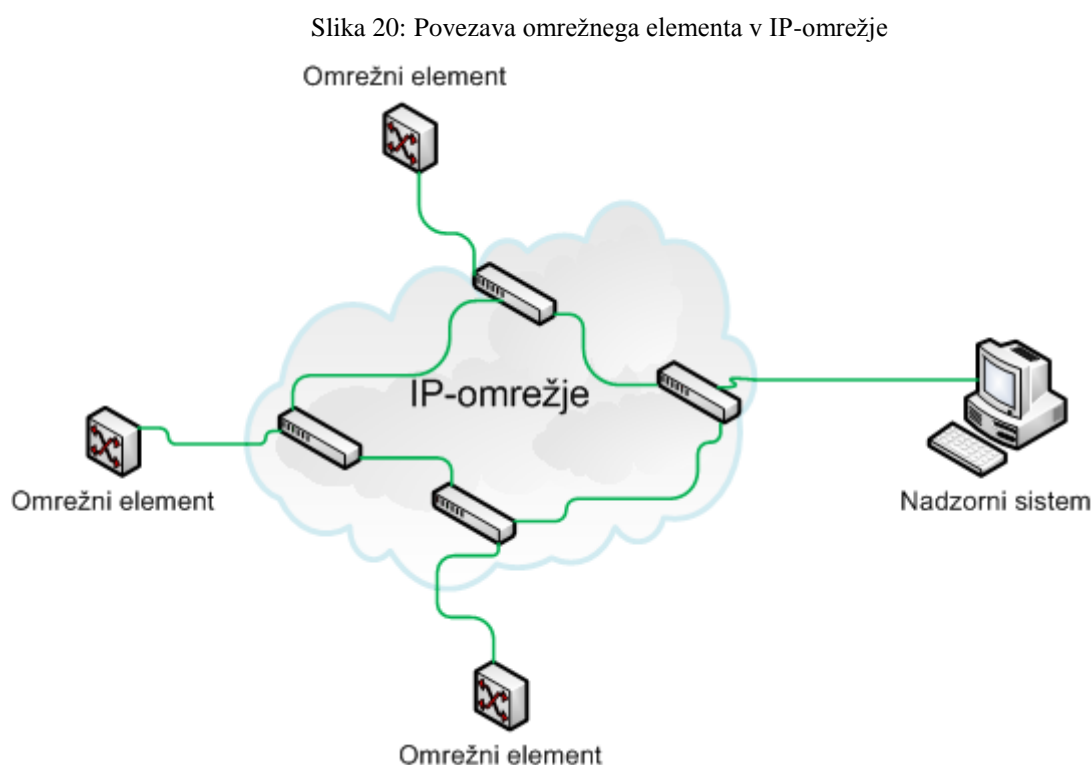
- DCC-R,
- DCC-M,
- DCC-MX.

Trije kanali se med seboj razlikujejo po hitrosti. DCC-R uporablja 192 Kb/s, DCC-M uporablja 576 Kb/s in DCC-MX 9216 Kb/s, ki pa se uporablja samo pri povezavah STM-256.

V sami hrbtenici je priporočena uporaba kanalov DCC-R in DCC-M, kjer je to mogoče. Kanal DCC-M se uporablja za posredovanje podatkov prek MS (multipleksirane sekcije) in mu pravimo tudi hrbtenični kanal. Kanal DCC-R se uporablja za regeneracijo znotraj same MS in se skupaj z LAN-povezavo uporablja za povezavo hrbtenice in naprave, ki nima možnosti uporabe kanala DCC-M.

## 7.2 Oddaljen nadzor po protokolu ethernet

Omrežni element ima, za razliko od ostalih vmesnikov, tudi nadzorni ethernetni vmesnik. Tega je mogoče povezati na katerokoli napravo, ki podpira protokol ethernet. Največkrat je to kar stikalo, s katerim se tako ustvari oblak, v katerem so povezani vsi omrežni elementi, kot tudi sistem za nadzor omrežja (slika 20).



Takšen način povezovanja lahko privede do večjih stroškov, saj je na lokaciji, kjer se nahaja tudi omrežni element, treba imeti še dodatno napravo. Uporaba kanala DCC je tako postala kar najboljša rešitev pri upravljanju z elementi omrežja SDH.

V primeru, da je stikalo na lokaciji že postavljeno, se lahko SDH-napravo poveže tudi na stikalo, že zaradi zaščite, če bi denimo prišlo do težave z DCC-kanalom.

V primeru Tušmobilovega omrežja, kjer se uporablja Ericssonova SDH-oprema, imajo določeni omrežni elementi omejitev pri uporabi DCC-kanalov. Če se to omejitev doseže, je potrebno elemente povezati v nadzor prek ethernetnega nadzornega vmesnika.

## 8. Ethernet prek SDH (EoSDH)

Tehnologiji PDH in SDH sta se skozi leta razvijali v zelo stabilno omrežje za TDM-aplikacije; govorni kanal in najeti vod. Z eksponentno rastjo prenosa podatkov in novimi zahtevami je prišlo tudi do evolucije SDH-tehnologije. Razvoj omrežja je vedno bolj temeljil na ethernetni tehnologiji, zato so k preostalemu prometu na SDH-ju dodali še tega. Ethernetnemu protokolu, ki se prenaša po SDH-omrežju, pravimo kar EoSDH (angl. *Ethernet Over SDH* – ethernet prek SDH) oziroma NG-SDH (angl. *Next-generation SDH* – SDH naslednje generacije). Ethernet je tako poleg stabilnosti dobil tudi samodejno zaščito in veliko drugih izboljšav.

Za prenos ethernetnih paketov po SDH-omrežju je bilo treba razviti nov protokol, ki bo tega razumel in ga pravilno obravnaval ter prenašal po svojem omrežju. Protokol, ki je bil narejen v ta namen, se imenuje GFP (angl. *Generic Framing Procedure*) in je razložen v nadaljevanju.

### 8.1 Generični postopek uokvirjanja (GFP)

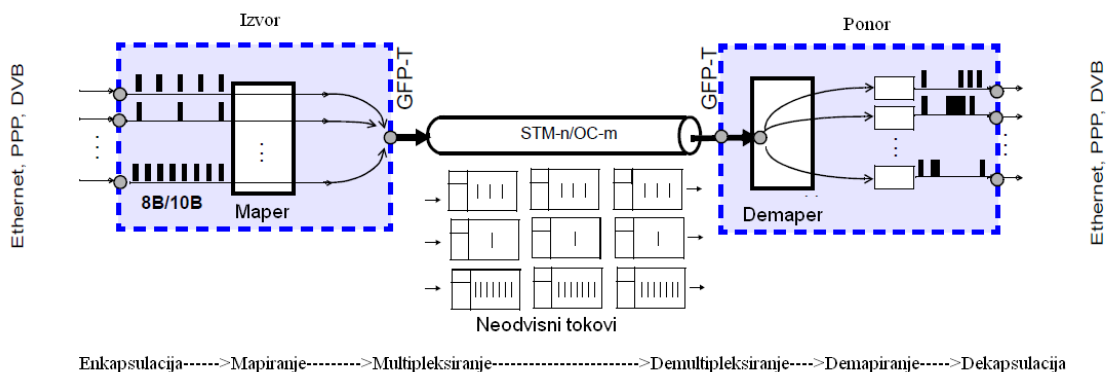
Generični postopek uokvirjanja (GFP) nam pove, na kakšen način se bodo različni protokoli prenašali po SDH-omrežju. Protokoli, kot so ethernet, IP/PPP, Fiber Channel, bodo s pomočjo GFP-ja preneseni po SDH-omrežju brez izgube koristne vsebine.

Oktobra 2001 je začel veljati ITU-T-standard G.7041, imenovan GFP.

Obstajata dve različici GFP-protokola:

- **GFP-T** (angl. *transparent*) – v tem primeru se SDH-omrežje obnaša kot fizična plast (1. plast) po referenčnem modelu OSI, torej povsem transparentno.

Slika 21: Potek enkapsulacije različnih protokolov v protokol GFP-T



Signal odjemalca se mapira v točno določeno dolžino GFP-okvirja, ki se nemudoma pošlje v mrežo. Ne čaka na celoten odjemalčev paket.

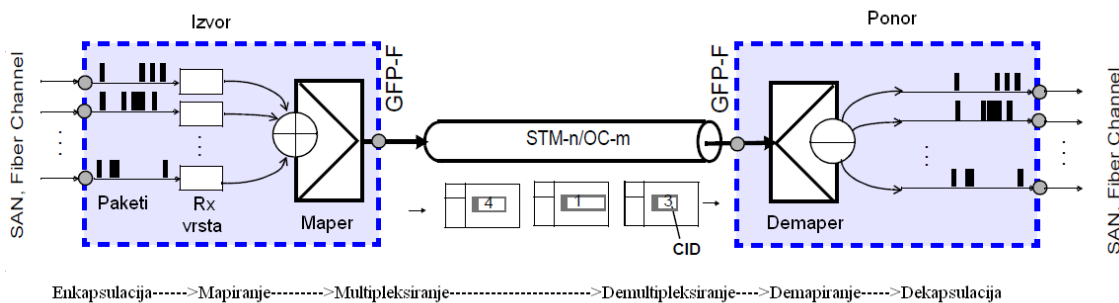
GFP-T sprejme vse protokole, pogoj je le, da ustreza linijskemu kodiranju 8B/10B.

Vse karakteristike odjemalca se na drugo stran prenesejo transparentno.

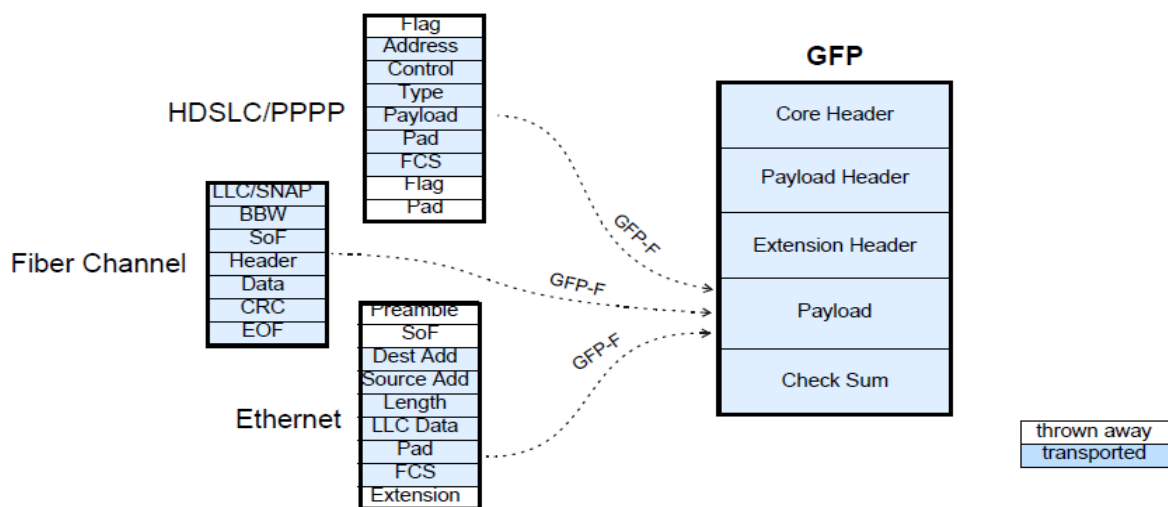
- **GFP-F** (angl. *framed*) – v tem primeru se obnaša kot povezovalna plast (2. plast) po referenčnem modelu OSI in je optimiziran za različne protokole – PPP in ethernet.

Celoten odjemalčev paket se prenese v GFP-okvir. Podatki čakajo v vrsti, da bodo mapirani v SDH. Čakalne vrste povzročijo manjšo zakasnitev paketov, zato se ne uporablja za protokole, ki so časovno odvisni.

Slika 22: Enkapsulacija različnih protokolov v protokol GFP-F



Slika 23: Prenos protokolov v protokol GFP



Slika prikazuje, kako se različni protokoli prenesejo v protokol GFP in pripravijo za prenos prek omrežja SDH.

## 8.2 Spojitev

Spojitev (angl. *concatenation*) je proces združitve večjega števila zabojev, ki so istega tipa, v en večji zaboj.

Uporablja se za prenos eterneta po SDH-omrežju. Primer s slike 24 nazorno prikazuje, kako je spojitev narejena, in sicer je v navedenem primeru kot prenosni medij uporabljen STM-16. Ta je po strukturiranju, opisanem v drugem poglavju, razdeljena na 16xSTM-1. Zadnji štirje STM-1 so združeni, spojeni, v en skupen zaboj, ki se uporablja za prenos eterneta.

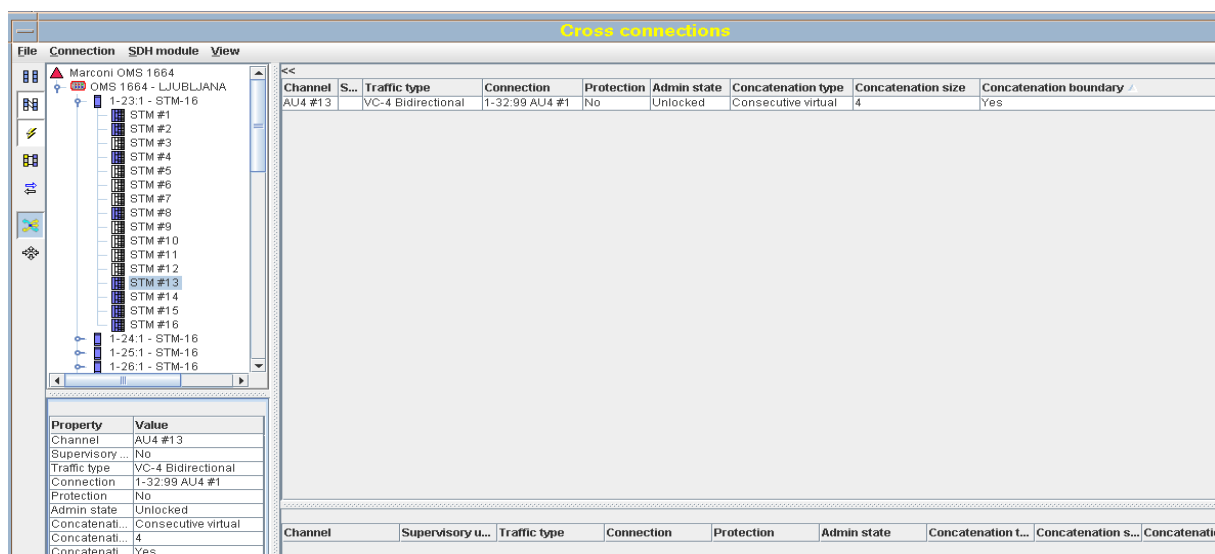
Obstajata dva načina izvedbe spojitve:

- **stična spojitev** (angl. *contiguous concatenation*)

Ustvari se en velik zaboj, ki ga med samim prenosom ni mogoče ločiti na manjše dele. Vsak element na prenosni poti mora imeti narejeno stično spojitev, enako kot predhodni element. V trenutku, ko je narejena struktura, se stični kanali obnašajo kot en sam. Najmanjši zaboj, ki se lahko uporabi pri stični spojitvi, je VC-4 oz. STM-1. Prednost takšne uporabe je boljša izkoriščenost pasovne širine, ker v tem primeru ni veliko odvečne režije.

Slabost take spojitve je, da se morajo vsi elementi, po katerih potuje takšen signal, tega tudi zavedati. To prinese višje stroške za nadgradnjo elementov, ki tega ne poznajo.

Slika 24: Stična spojitev na omrežnem elementu (Ericsson)



- **virtualna spojitev** (angl. *virtual concatenation*)

Ta način spojitve omogoča prenos posameznih navideznih hranilnikov VC, ki se združijo na končni točki prenosne poti. Kako je pot narejena na posameznih omrežnih elementih, nas pri virtualni spojitvi ne zanima.

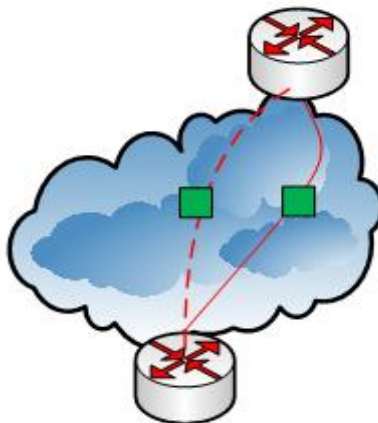
Prednost virtualne spojitve je v tem, da se lahko natančno določi pasovna širina, ki jo aplikacija potrebuje, pasovna širina se lahko povečuje oz. manjša brez izpada prometa, torej je razširljiva. Ker paketi lahko potujejo po različnih poteh, je na voljo tudi zaščita v primeru izpada povezave, kar je vidno tudi na sliki 25.

Pri stični spojitvi morajo vsi elementi poznati to spojitev, medtem ko sta pri virtualni spojitvi pomembni samo začetna in končna točka. Vsi vmesni elementi so transparentni, zato nam ni treba skrbeti za nadgradnjo mrežnih elementov.

Slabost virtualne spojitve so zakasnitve, ki jih signal pridela na poti. Namreč, če obstajata dve poti, po katerih je virtualna spojitev narejena, bo signal po vsej verjetnosti pripotoval različno hitro po vsaki izmed njiju. V ta namen so narejeni tudi hitri izravnalniki (angl. *buffer*), ki ta problem rešijo.

Omeniti bi bilo smiselno še eno slabost, in sicer to, da v primeru nedelovanja enega samega VC-ja preneha delovati celotna skupina VCG. Rešitev te težave je v protokolu LCAS, opisanem v poglavju 7.3.

Slika 25: Primer dveh poti in ene končne točke



Pri virtualni spojitvi niso pomembne poti, temveč samo končni točki.

### 8.3 Shema naravnavanja kapacitete povezave (LCAS)

Shema naravnavanja kapacitete povezave (LCAS) se uporablja za upravljanje s pasovno širino, določeno z VCAT (angl. *Virtual Concatenation*). Z LCAS-om lahko dodajamo oziroma odstranimo določene kanale in s tem vplivamo na samo pasovno širino, ne da bi pri tem prekinili promet. Navedeno je ena od mnogih prednosti tega protokola. Pasovna širina, določena po LCAS-u, je fiksno določena in se ne more prilagajati glede na količino prometa, ki teče po omrežju SDH.

Primer:

Z LCAS-om določimo število kanalov, ki ustreza denimo pasovni širini 10 Mb/s. Ta pasovna širina je fiksna in se ne spreminja glede na količino prometa, ki teče po omrežju. To si lahko predstavljamo kot omejevanje prometa v ethernetnem svetu (angl. *Traffic policy*)

Kar z LCAS-om lahko dosežemo, je, da to hitrost povečamo ali zmanjšamo z dodajanjem ali odstranjevanjem kanalov. To spremembo izvede administrator na omrežnem elementu.

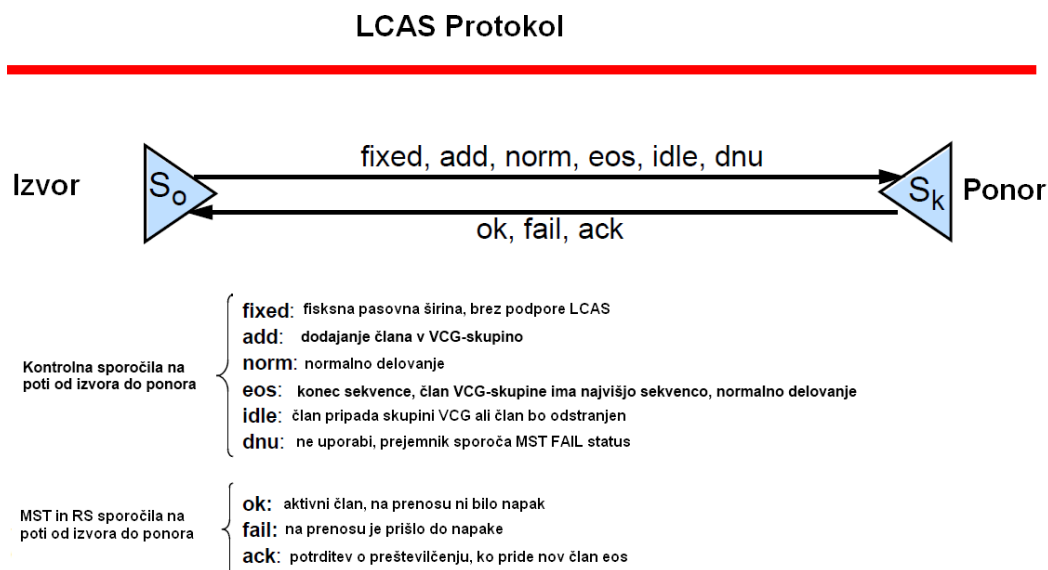
LCAS določa ITU-T-standard G.7042.

### 8.3.1 Kontrolna sporočila

Kot pri internetnih protokolih si tudi pri protokolu LCAS naprave izmenjujejo kontrolna sporočila, imenovana H4:

- **MFI** (angl. *Multi-Frame Indicator*) – vzdržuje zaporedje okvirjev.
- **SQ** (angl. *Sequence Indicator*) – ker promet lahko potuje po večjih poteh, slika 26, morajo obstajati tudi sporočila, ki na končni točki znajo določiti zaporedje paketov.
- **CTRL** (angl. *Control Protocol Messages*) – opozorila, ki so lahko naslednja:
  - o *Fixed* – stalna pasovna širina, kjer ni protokola LCAS,
  - o *Add* – novo članstvo v VCG-skupini,
  - o *Norm* – pravilen prenos,
  - o *Eos* – določa konec sekvence,
  - o *Idle* – član pripada VCG-skupini in
  - o *Dnu* – sporočilo o neuporabnosti paketa.
- **GID** (angl. *Group Identification*) – konstantna vrednost za vse člane VCG-skupine.
- **MST** (angl. *Member Status*) – podatek pošiljatelju o statusu prenosa (prenos uspešen oz. prenos ni uspešen).
- **RS-Ack** (angl. *Re-Sequence Acknowledge*) – potrditev o preštevilčenju, ko pride do novega EoSDH-člana.

Slika 26: Prikaz kontrolnih sporočil

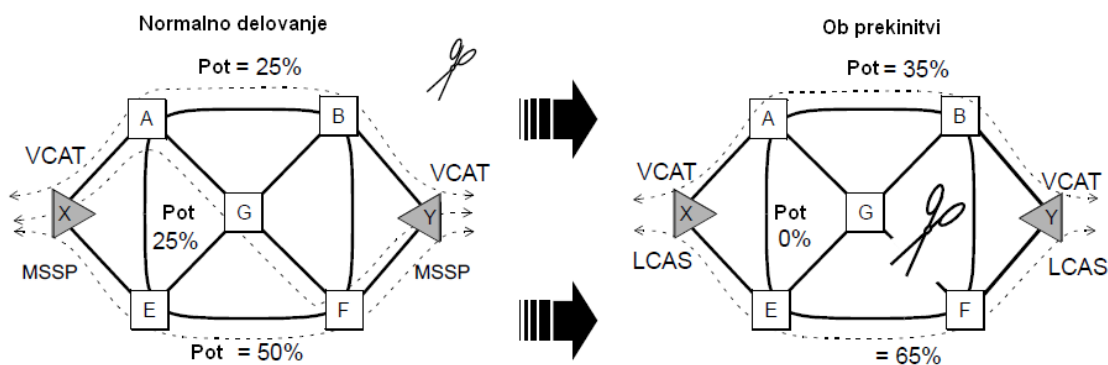


### 8.3.2 Prednosti protokola LCAS

LCAS je velik korak naprej za uporabnike, ki so svoje omrežje nadgradili iz počasnega in neučinkovitega klasičnega SDH-omrežja.

Poglavitna prednost protokola LCAS je odpornost na delni izpad poti, ko se promet preusmeri na delujoče poti.

Slika 27: Preusmeritev prometa ob izpadu



Ob delnem izpadu ene od poti se promet preusmeri na ostale.

Pasovna širina, ki je določena z VCAT-om, je lahko dinamična, saj brez izpada lahko dodelimo dodatno pasovno širino oz. jo zmanjšamo. Poleg tega, da je pasovna širina dinamična, je lahko tudi asimetrična. To je možno zato, ker je LCAS enosmeren protokol, ki omogoča asimetrično povezavo med končnima točkama.

## 9. Omrežje Tušmobil

Podjetje si želi zgraditi svoje lastno in kakovostno omrežje, s katerim bi bile stranke zadovoljne. To se lahko zgodi le s postavitvijo novih baznih postaj, kar seveda pomeni tudi širitev SDH-omrežja. Poglavitna naloga podjetja bo torej širitev omrežja tako, da bo to pokrilo vso Slovenijo. V procesu izgradnje novih postaj poteka tudi vzporedna izgradnja omrežja UMTS (angl. *Universal Mobile Telecommunications System*). S tehnologijo UMTS se drastično poveča tudi potreba po kapaciteti, kar posledično pomeni tudi veliko povečanje kapacitet na SDH-omrežju.

Ob širitvi je treba upoštevati tako zaščito obstoječega kot novega omrežja. Primer take zaščite so povezave znotraj Ljubljane, tako imenovani ljubljanski obroči, ki so se izkazali kot odlična rešitev tako za potrebe SDH- kot za potrebe IP-omrežja.

Na sliki 28 so prikazani prvi obroči, narejeni v Ljubljani.

Slika 28: Tušmobilovi ljubljanski obroči



Rast interneta je vplivala tudi na proizvajalce mobilne opreme. Do nedavnega je njihov razvoj temeljil na SDH-tehnologiji oz. PDH-tehnologiji. Zdaj se ves razvoj usmerja na internetno omrežje. Tušmobil je tudi eno prvih omrežji na svetu, ki je uvedlo tako tehnologijo v svoje mobilno omrežje. Najprej je bil prenos po internetni tehnologiji viden na UMTS-omrežju, kasneje pa bo tudi na GSM-omrežju.

Tako slika 28 poleg obročev predstavlja tudi nekaj povsem novega. Vsak od ljubljanskih obročev je narejen z uporabo pasivnih naprav WDM (angl. *Wavelength Division Multiplexing*). Vsak pasivni WDM vsebuje tri valovne dolžine, ki se lahko uporabijo poljubno. V našem primeru se dve valovni dolžini uporablja za namene SDH, ena valovna dolžina je namenjena uporabi internetnega omrežja. To je odličen primer sobivanja obeh tehnologij v enem omrežju.

Toda mobilno omrežje spada po prometu, ki ga prenaša, med kritične storitve. Tako je zato, ker se napake odražajo na zadovoljstvu strank. Glede tega je tehnologija internet nepopolna rešitev.

Kot primer dobrega delovanja SDH-omrežja in slabšega delovanja internetnega omrežja lahko navedem preizkus, ki smo ga opravili v podjetju Tušmobil. Preizkus smo opravili v enem od ljubljanskih obročev, kjer so postavljene tako SDH-naprave kot internetne naprave. Preizkus je bil zelo preprost, in sicer je vključeval odziv omrežja na izpade oz. prekinitve optičnega omrežja. SDH-elementi se v primeru izpada optičnega vlakna odzovejo v 50 ms in preusmerijo promet v drugo delujočo smer. Pri internetnem omrežju smo s protokolom RSTP (angl. *Rapid Spanning Tree Protocol*) dosegli čas 5 sekund, v katerem elementi prestavijo promet na delujočo stran obroča. V takem primeru stranke izpada ne bi zaznale, če govorimo o SDH-omrežju, medtem ko bi v internetnem omrežju to pomenilo, da je klic prekinjen.

## 10. Sklepne ugotovitve

Gonilna sila telekomunikacijske industrije so uporabniki, ki iz dneva v dan povečujejo delež prenesenih bitov. To je tudi razlog, da se ta panoga stalno razvija. SDH-tehnologija je skozi čas pokazala, da lahko zadovolji vse potrebe po količini prenesenih podatkov in kakovosti.

Kapitalistični način razmišljanja je privedel do tega, da so lastniki podjetij, ki ponujajo take storitve, postavili ceno pred kakovost in telekomunikacijsko industrijo privedli pred dejstvo, da je ethernet po prenesenem bitu cenejši od SDH-tehnologije. Kakovost je precej na strani SDH-tehnologije, toda razvijalci etherneteta poskušajo to pomanjkljivost popraviti. Tako je že nastal t. i. *Carrier Ethernet*, ki ima precej podobnosti z SDH-tehnologijo. Celo po omrežju *Carrier Ethernet* se lahko prenaša SDH. Tehnologija je še povsem nova in se mora še izkazati.

Zaton SDH-ja je viden na področju najetih vodov, kjer so ponudniki opazili upad naročil. Razlog za upad je zopet tehnologija ethernet, ki se na tem področju meri z SDH-tehnologijo prek tehnologije MPLS. MPLS si lahko predstavljamo kot lasten oblak znotraj večjega oblaka v IP-omrežju ponudnika.

V naslednjih letih pričakujemo vidno krčenje SDH-omrežja oz. še kar nekaj časa bodo v uporabi hibridna omrežja, kjer bosta prisotna tako ethernet kot SDH-omrežje, kasneje pa bo vse temeljilo na tehnologiji ethernet.

S stališča omrežnega administratorja lahko rečem, da je SDH-omrežje veliko stabilnejše in s svojimi standardi bolj dorečeno, medtem ko se v ethernetnem svetu uvajajo vedno novi protokoli, ki naj bi izboljšali dostopne čase in stabilnost. Čas bo tisti, ki bo pokazal, ali je ethernet dorasel vsem potrebam, ki jih omrežje zahteva.

## Seznam slik

Slika 1:	Tušmobilovo SDH-omrežje .....	17
Slika 2:	Primer izpisa napak na sistemu Ericsson .....	21
Slika 3:	Napake po slojih .....	22
Slika 4:	SDH-struktura (multipleksiranje) .....	26
Slika 5:	Porazdelitev urnega signala v omrežju .....	28
Slika 6:	Določitev PRC na sistemu Ericsson .....	32
Slika 7:	Ustvarjanje povezovalnika na Ericssonovi opremi.....	34
Slika 8:	Primer enosmernega nezaščitenega povezovalnika .....	35
Slika 9:	Primer dvosmernega nezaščitenega povezovalnika .....	35
Slika 10:	Primer enosmernega zaščitenega povezovalnika .....	36
Slika 11:	Primer dvosmernega zaščitenega povezovalnika .....	36
Slika 12:	MS-SPRing z dvema optičnima povezavama .....	40
Slika 13:	2F-UPSR .....	40
Slika 14:	2F-BLSR .....	41
Slika 15:	MS-SPRing s štirimi optičnimi povezavami .....	42
Slika 16:	SNCP v sistemu Ericsson .....	43
Slika 17:	Zaščita SNC/I .....	45
Slika 18:	Zaščita SNC/N .....	45
Slika 19:	Zaščita SNC/S .....	46
Slika 20:	Povezava omrežnega elementa v IP-omrežje .....	49
Slika 21:	Potek enkapsulacije različnih protokolov v protokol GFP-T .....	51
Slika 22:	Enkapsulacija različnih protokolov v protokol GFP-F .....	51
Slika 23:	Prenos protokolov v protokol GFP .....	52
Slika 24:	Stična spojitev na omrežnem elementu (Ericsson) .....	54
Slika 25:	Primer dveh poti in ene končne točke.....	55
Slika 26:	Prikaz kontrolnih sporočil .....	56
Slika 27:	Preusmeritev prometa ob izpadu.....	57
Slika 28:	Tušmobilovi ljubljanski obroči.....	58

## Viri

- [1] **Altte**, “SDH Multiplexing,”. Dostopno na:  
<http://www.scribd.com/doc/22971745/Sdh-Multiplexing>, 2011
  
- [2] **Broadband Network Technologies**, “IP over SONET/SDH,”. Dostopno na:  
[http://www.tkn.tu-berlin.de/curricula/ss01/bbn/Folien/PoS\\_2.pdf](http://www.tkn.tu-berlin.de/curricula/ss01/bbn/Folien/PoS_2.pdf), 2011
  
- [3] **Calyptech**, “Introduction to SDH,”. Dostopno na:  
<http://www.calyptech.com/pdf/Introduction-to-SDH.pdf>, 2011
  
- [4] **Ericsson**, “Service on optical,”
  
- [5] **Habisreitinger Werner**, “Next Generation SONET/SDH Technologies,”. Dostopno na: [http://www.jdsu.com/ProductLiterature/newgen-tech\\_an\\_opt\\_tm\\_ae.pdf](http://www.jdsu.com/ProductLiterature/newgen-tech_an_opt_tm_ae.pdf), 2011
  
- [6] **Henderson Michael**, “Fundamentals of Sonet/SDH,”. Dostopno na:  
<http://members.cox.net/michael.henderson/Papers/SONET-SDH.pdf>, 2011
  
- [7] **HP**, “Avoiding synchronization problems in SDH networks,”. Dostopno na:  
<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5965-4910E.pdf>, 2011
  
- [8] **IEC**, “Introduction to SDH,”. Dostopno na:  
<http://fens.sabanciuniv.edu/kcenter/eng/dokuman/documents/sdh.pdf>, 2011
  
- [9] **ITU-T**, “Synchronization over packet network,”. Dostopno na:  
[http://www.itu.int/dms\\_pub/itu-t/oth/1D/01/T1D0100000C0001PDFE.pdf](http://www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/1D/01/T1D0100000C0001PDFE.pdf), 2011
  
- [10] **ITU-T**, “Network node interface for the synchronous digital hierarchy,”. Dostopno na:  
<http://www.catr.cn/radar/itut/201007/P020100707591456143568.pdf>, 2011

- [11] **ITU-T**, “Synchronous digital hierarchy (SDH) – Configuration of the payload structure for the network element view,”. Dostopno na:  
[http://eu.sabotage.org/www/ITU/G/G0774\\_2e.pdf](http://eu.sabotage.org/www/ITU/G/G0774_2e.pdf), 2011
- [12] **ITU-T**, “Timing characteristics of primary reference clocks,”. Dostopno na:  
[http://www.ntc-sss.ru/nali\\_pb\\_files/g.811/G.811.pdf](http://www.ntc-sss.ru/nali_pb_files/g.811/G.811.pdf), 2011
- [13] **ITU-T**, “Timing requirements of slave clocks suitable for use as node clocks in synchronization networks,”. Dostopno na:  
<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.812-200406-I/en>, 2011
- [14] **ITU-T**, “Timing characteristics of SDH equipment slave clocks (SEC),”. Dostopno na:  
<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.813-200506-I!Cor1/en>, 2011
- [15] **ITU-T**, “Link capacity adjustment scheme (LCAS) for virtual concatenated signals,”. Dostopno na:  
<http://iie.fing.edu.uy/~javierp/SDH/NORMAS-ITU-T/T-REC-G%5B1%5D.7042-200402-P!!PDF-E.pdf>, 2011
- [16] **ITU-T**, “Interworking of SDH network protection architectures,”. Dostopno na:  
<http://iie.fing.edu.uy/~javierp/SDH/NORMAS-ITU-T/T-REC-G%5B1%5D.7042-200402-P!!PDF-E.pdf>, 2011
- [17] **ITU-T**, “Types and characteristics of SDH network protection architectures,”. Dostopno na: <http://www.catr.cn/radar/itut/201007/P020100707653096130669.pdf>, 2011
- [18] **ITU-T**, “Synchronous Digital Hierarchy (SDH) management,”. Dostopno na:  
<http://eu.sabotage.org/www/ITU/G/G0784e.pdf>, 2011
- [19] **NetTest**, “Qualifying SDH/SONET Transmission Path,”. Dostopno na:  
[http://www.opticus.co.uk/pdf/WhitePaper-Qualifying\\_Transmission\\_Path.pdf](http://www.opticus.co.uk/pdf/WhitePaper-Qualifying_Transmission_Path.pdf), 2011

- [20] **Perros Harry**, “Connection-Oriented Networks: SONET/SDH, ATM, MPLS and Optical Networks”, 2005, pogl. 2.
- [21] **TEKTRONIX**, “SDH Telecommunications Standard,”. Dostopno na: [http://www.tek.com/Measurement/App\\_Notes/sdhprimer/2RX\\_11694\\_2.pdf](http://www.tek.com/Measurement/App_Notes/sdhprimer/2RX_11694_2.pdf), 2011
- [22] **TEKTRONIX**, “SDH Telecommunications,”. Dostopno na: [http://www.tek.com/Measurement/App\\_Notes/sdhprimer/anomalies.pdf](http://www.tek.com/Measurement/App_Notes/sdhprimer/anomalies.pdf), 2011
- [23] **Tellabs**, “Eternet-over-SDH Technologies,”. Dostopno na: <http://www.tellabs.com>
- [24] **José M. Caballero**, “Migration to Next Generation SDH,”. Dostopno na: <http://mars.tekkom.dk/mediawiki/images/6/65/Ng.sdh.slides.e.pdf>, 2011
- [25] **TTC**, “The Fundamentals of SDH,”. Dostopno na: <http://www.oocities.org/~katmci/pdfs/sdh.pdf>, 2011
- [26] **Huubvan Helvort**, “The Com Soc Guide to Next Generation Optical Transport SDH/SONET/OTN”, 2009, pogl. 7.

## **Izjava**

Izjavljam, da sem diplomsko nalogo izdelal samostojno pod vodstvom mentorice doc. dr. Mojce Ciglarič.