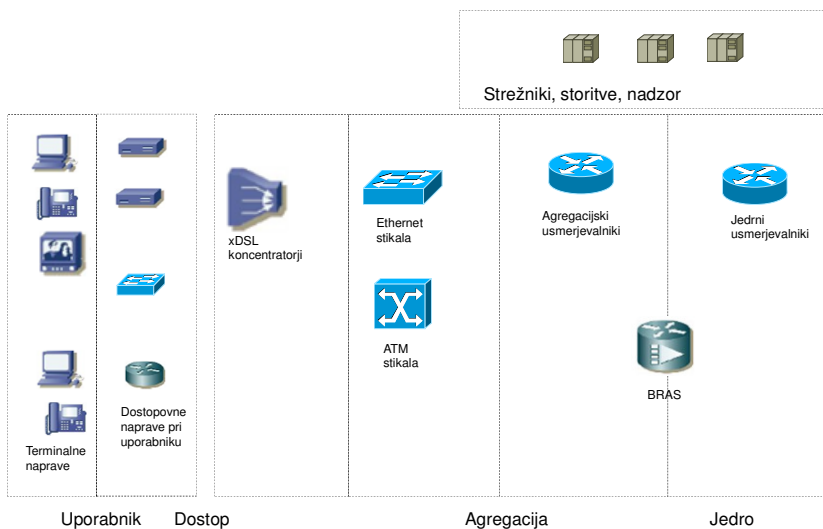


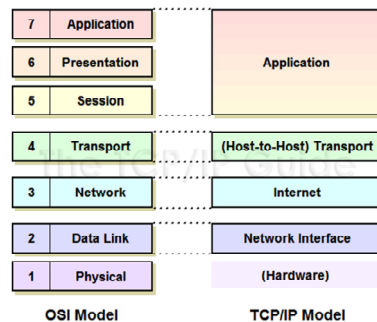
Uvod

- Omrežni elementi
- Protokolni sklad
- L2/L3 preklapljanje

Omrežni elementi



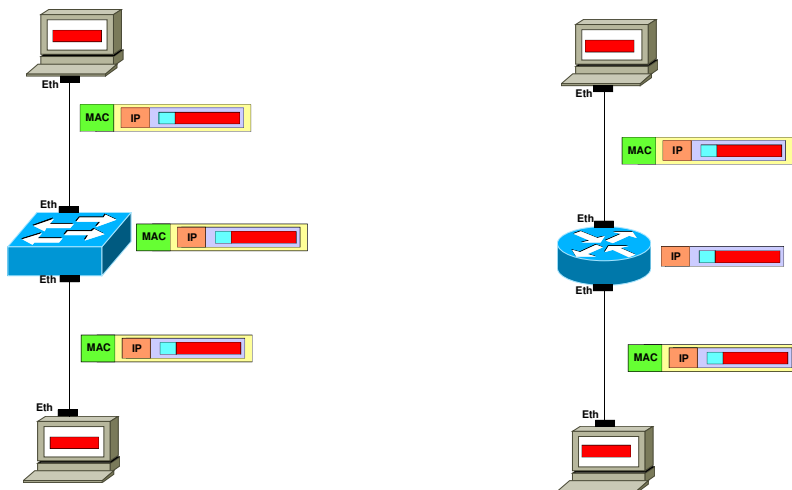
TCP/IP protokolni sklad



Komuniciranje v TCP/IP protokolnem skladu

- Vsaka terminalna naprava mora imeti IP naslov
- Paket mora pri komunikaciji med terminali skozi vse plasti protokolnega sklada
- Za komunikacijo med terminali v lokalnem IP omrežju je dovolj Ethernet povezljivost
- Za komunikacijo med terminali v različnih IP podomrežjih potrebujemo usmerjevalnik
- Usmerjanje se začne, kot paket zapusti lokalno Ethernet omrežje (e-pošta, file transfer,...)
- Paket je najprej poslan v usmerjevalnik („default gateway“)
- Usmerjevalnik ima vhode in izhode za priključevanje naprav (najenostavnejši usmerjevalnik ima Ethernet vhod in izhod)
- Usmerjevalnik mora imeti tabelo ciljnih naslovov
- Usmerjevalnik rabimo zaradi povezovanja podomrežij (subnet)
- Usmerjevalnik gledamo kot križišče, stikala so ceste
- Usmerjevalnik ima tudi mnogo dodatnih funkcij (zaščite, filtri, QoS,...)

L2/L3 preklapljanje



Protokoli in mehanizmi v širokopasovnem omrežju

- Nepovezavni način prenosa paketov
 - Ethernet
 - IP
- Povezavni način prenosa paketov
 - ATM
 - MPLS
 - MPLS-TP
- Zagotavljanje VPN v širokopasovnem omrežju
- Prometni inženiring
- Upravljanje s prometom in QoS

Nepovezavni in povezavni način prenosa paketov

NEPOVEZAVNI (Ethernet, IP)

- Ni neposredne povezave med terminali, ki komunicirajo
- Naslov končne naprave je v vsakem paketu
- Tabele poskrbijo za prehod do naslednje lokacije
- V vsakem stikalu se naslov obdela in preklopi paket na ustreznih izhod (neodvisno od ostalih omrežnih elementov)
- Možnih je več poti do cilja

POVEZAVNI (navidezni L2 tuneli)

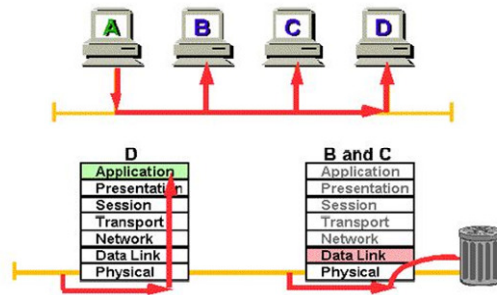
- Kompletna zveza med terminali je vzpostavljena pred začetkom oddajanja
- V vsakem paketu je številka tunela, ki velja do naslednjega stikala
- Tabele poskrbijo za prehod do naslednje lokacije
- Vsako stikalo analizira številko kanala in preklopi paket na ustreznih izhod (odločitev ni več neodvisna, ker je bila fiksirana pri vzpostavitvi zveze)
- Kanal predstavlja točno določeno pot do cilja

Nepovezavni način prenosa paketov

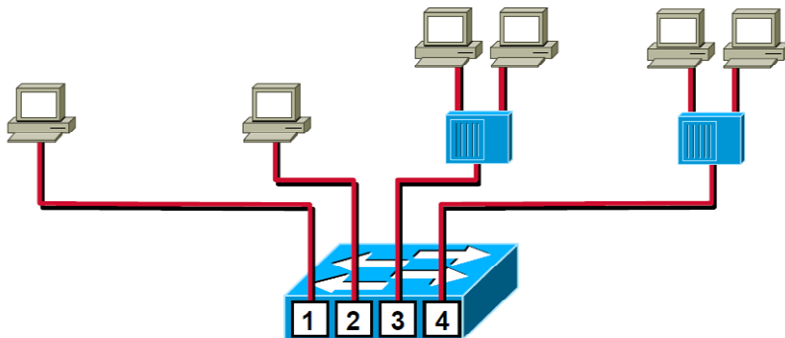
- Protokol Ethernet
- Protokol IP

Ethernet

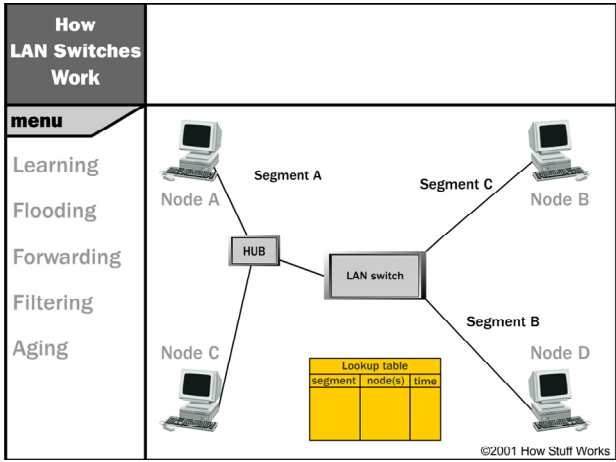
- Uporablja skupni medij (Shared Media)
- Skupni medij omogoča enostavno „Broadcast“ in „Multicast“ naslavljanje



Ethernet stikalo

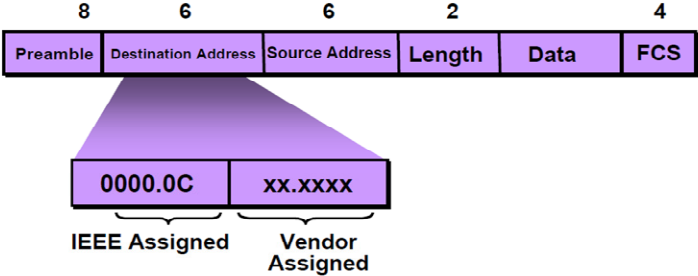


Delovanje stikala Ethernet

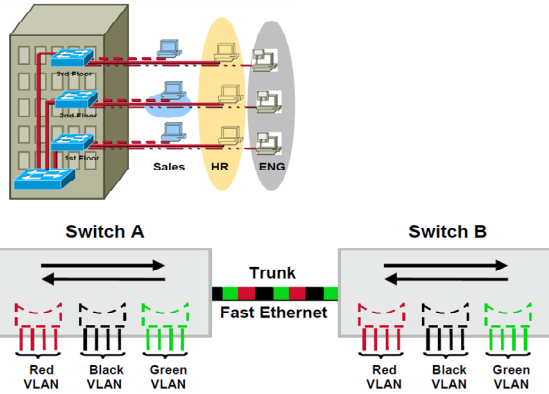


<http://www.cisco.com/image/gif/paenc/10677-lan-switch-transparent.swf>

Ethernet paket

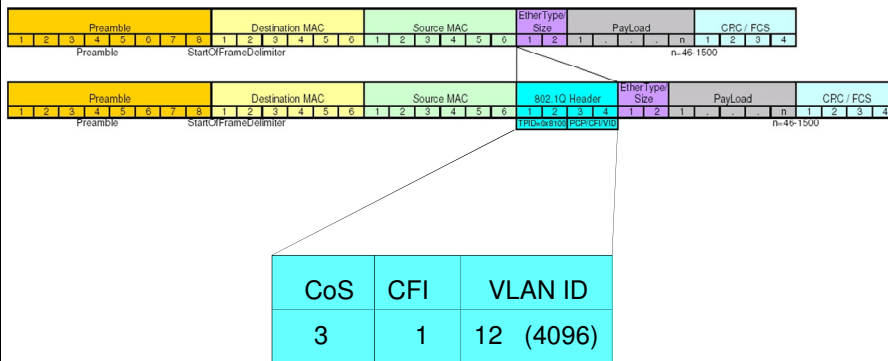


Princip VLAN-ov



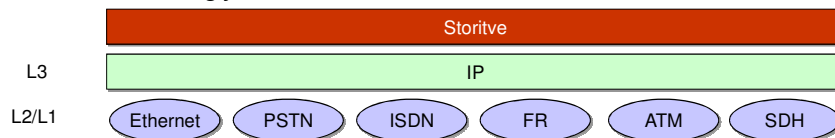
- VLAN med samo dvema napravama je ekvivalentem tunelom v povezavnih omrežjih (ATM, MPLS)

Oznaka VLAN



Internetni protokol

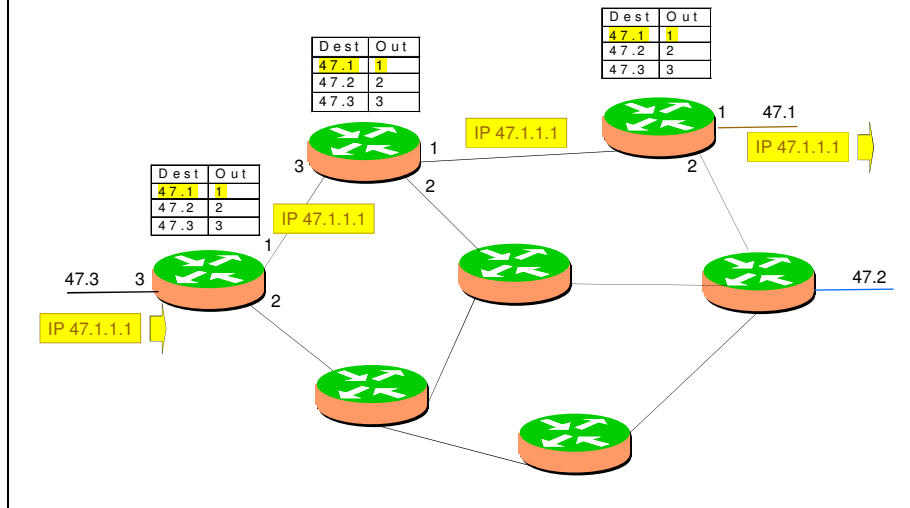
- Nepovezavno usmerjeni protokol omrežnega sloja
 - izvaja naslavljanje, usmerjanje in krmilne funkcije
 - komuniciranje z najboljšim možnim uspehom (best effort)
 - ne zagotavlja vročitve naslovniku (to nalogo prepušča višjim slojem)
 - vsak paket v glavi nosi izvorni ciljni naslov
 - usmerjanje se za vsak paket izvrši v vsakem vozlišču posebej
 - neodvisen od tehnologij fizičnega in povezavnega sloja
- Postal je dominanten protokol omrežnega sloja v LAN- in WAN-okoljih ter konvergenčni sloj za nad njim ležeče aplikacije in pod njim ležeče tehnologije



IP paket

version	ihl	type of service	total length	
identification		flags	fragment offset	
time to live	protocol	header checksum		
source address				
destination address				
options			padding	
data				

Usmerjanje (po hopih)



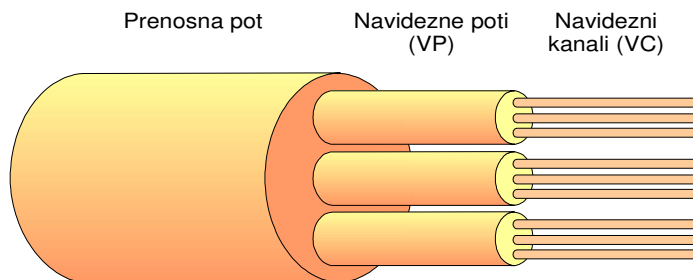
Povezavni način prenosa paketov

- ATM
- MPLS
- MPLS-TP

Princip navideznih kanalov

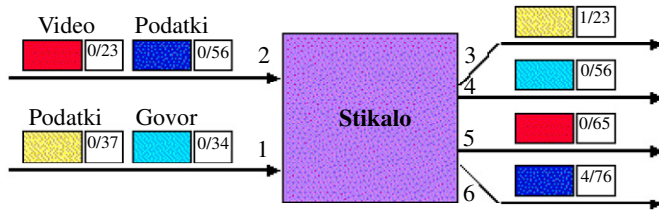
- Podobno delovanju in lastnostim digitalnih govornih TDM kanalov
- Uporabljen je princip zamenjave labele
- Primeri labele:
 - ATM - labele se imenuje VPI/VCI
 - MPLS – „Shim“ labele
 - Optična omrežja – labele je svetlobna frekvenca
 - TDM - labele se imenuje časovno okno

ATM navidezne poti in navidezni kanali

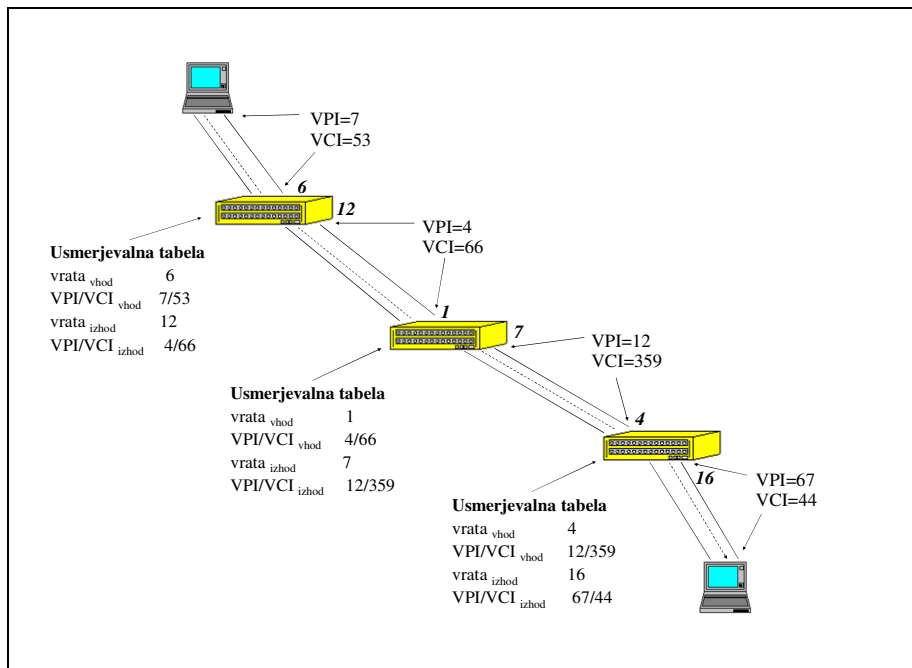


- Vrste navideznih povezav:
 - točka - točka
 - točka - več točk
 - več točk - več točk (z zunanjim strežnikom)

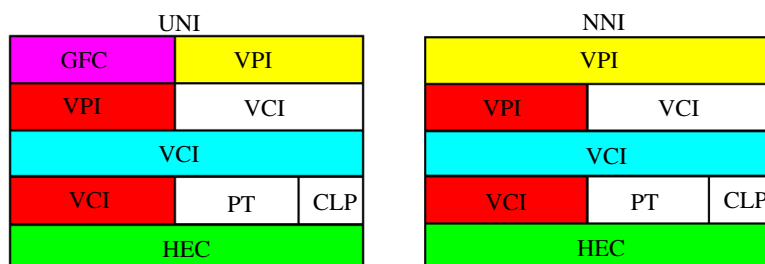
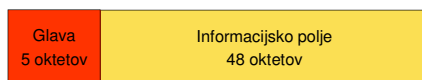
Uporaba indetifikatorjev



In		Out	
Port	VPI/VCI	Port	VPI/VCI
1	0/37	3	1/23
1	0/34	4	0/56
2	0/23	5	0/65
2	0/56	6	4/76



Glava celice



GFC - Generic flow control (Generično krmiljenje pretoka)

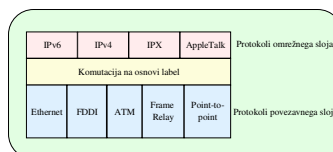
VPI/VCI - Virtual path/channel identifier (Indetifikator navidezne poti/kanala)

CLP - Cell loss priority (Prednost celice)

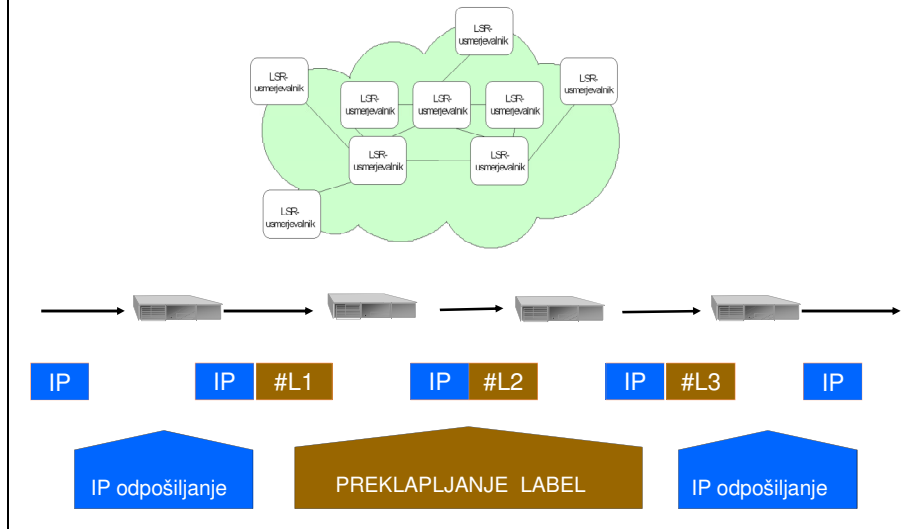
HEC - Header error control (Kontrola napak čela)

ZNAČILNOSTI MPLS

- Gre za vpeljavo povezavnega principa v sicer nepovezavno omrežje
- Za vsak pretok skozi omrežje se vzpostavi pot
- Uporablja se preklapljanje z zamenjavo label
- MPLS ni vezana na nobeno specifično tehnologijo povezavnega sloja in na noben omrežni protokol (najbolj pogosta je integracija IP in Ethernet)
- Ni namenjen zamenjavi IP
 - usmerjanje je še vedno potrebno na vhodu in izhodu MPLS omrežja
 - IP ima filtriranje, potrebno za varnost
- Omogoča QoS in SLA
- Primeren je za prostrana omrežja, velike hitrosti, veliko povezav
- Usmerjanje po hopih ali izvorno usmerjanje za vzpostavitev tunelov
- Omogoča IP prometni inženiring (izvorno usmerjanje)
- Omogoča kreiranje navideznih privatnih omrežij
- Usmerjanje na robu, preklapljanje v omrežju
- Večslojne labele



USMERJANJE NA ROBU, PREKLAPLJANJE V OMREŽJU



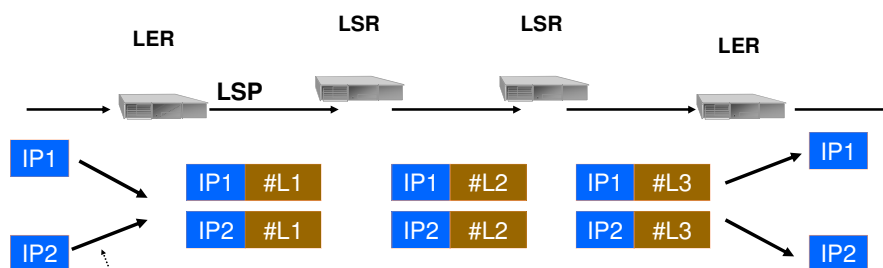
DVE LOČENI KOMPONENTI MPLS

- Izmenjava kontrolnih informacij z drugimi usmerjevalniki
 - Zbiranje podatkov o topologiji
 - Realizirano z LDP in/ali OSPF, IS-IS, BGP-4
 - Gradnja in vzdrževanje usmerjevalnih tabel
- Posredovanje
 - Odločitev o usmeritvi s pogledom v tabelo
 - Usmeritev paketa do izhoda

MPLS terminologija

- LDP - Label Distribution Protocol
- LSP - Label Switched Path
- FEC - Forwarding Equivalence Class
- LSR - Label Switching Router

Forwarding Equivalence Classes



Paketi so namenjeni na različne adresse, vendar lahko potujejo po skupni poti

- FEC = "Skupina paketov, ki jih usmerjevalnik enako obravnava"
- V konvencionalnem usmerjanju se paket dodeli v FEC pri vsakem hop-u (L3), v MPLS pa le enkrat na vходу
- Različne poti se med istima točkama lahko vzpostavijo zaradi različnih aplikacij

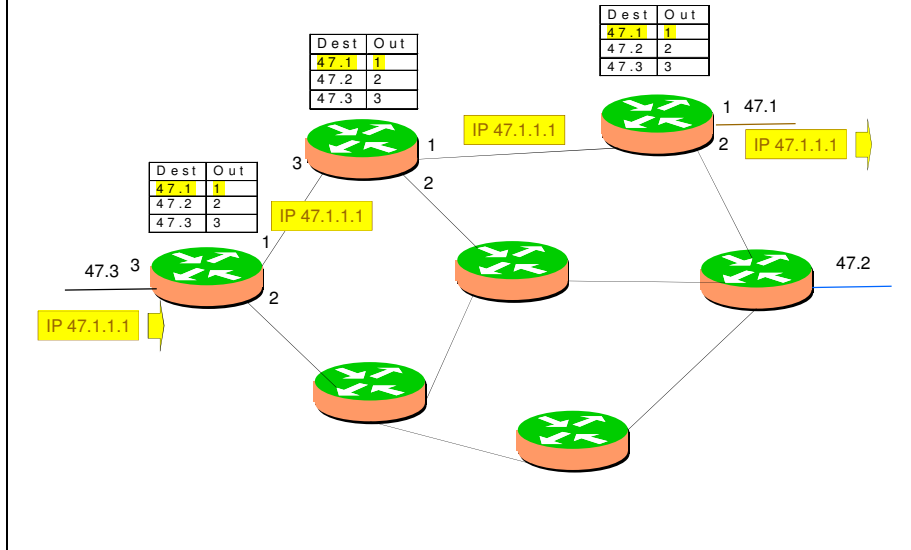
Vzpostavitev LSP

- Se vedno vzpostavi navzdol
- Za vzpostavitev je potreben signalizacijski protokol:
 - LDP (za vzpostavitev tunelov v jedru MPLS omrežja)
 - RSVP-TE (za izvajanje prometnega inženiringa)
 - M-BGP (se uporablja za kreiranje L3 VPN tunelov)

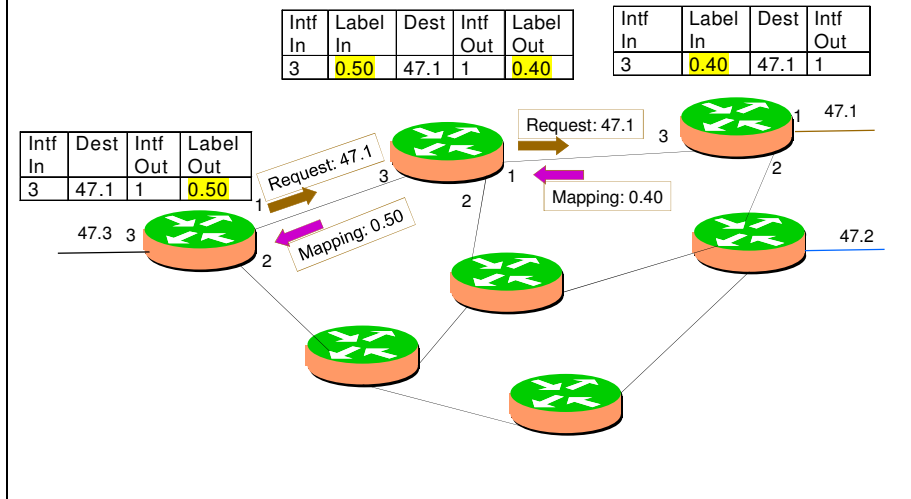
Tipi LDP sporočil

- **Discovery Messages**
 - LSR odkrije sosednje LSR v omrežju preko protokola „Hello“ (Hello protokol uporablja dogovorjen LDP port z multicast adresno na nekem subnet-u ali specifično IP adresno za LSR v drugih subnet-ih)
- **Session Messages**
 - Sosednja LSR vzpostavi TCP sejo na dogovorjenem LDP portu
 - Inicializacija seje in dogovor o parametrih
- **Advertisement Messages (kreiranje, spremembe, brisanje label)**
 - Address - oglašuje adresno vmesnika
 - Address Withdraw - umakne predhodno oglaševano adresno
 - Label Request - prošnja za labelo
 - Label Mapping - določanje label
 - Label Abort Request - prekinitve zahteve, če ni odgovora
 - Label Release - labela se več ne rabi
 - Label Withdraw - nekje na sredi se prekine mapiranje label
- **Notification Messages (izmenjava informacij o stanju in napakah)**
 - Signalizacija napak v LDP seji (ob napaki se TCP seja prekine in labelo se zavrne)
 - Prenos statusnih informacij
 - Kontrola transportne povezave (Keep Alive)

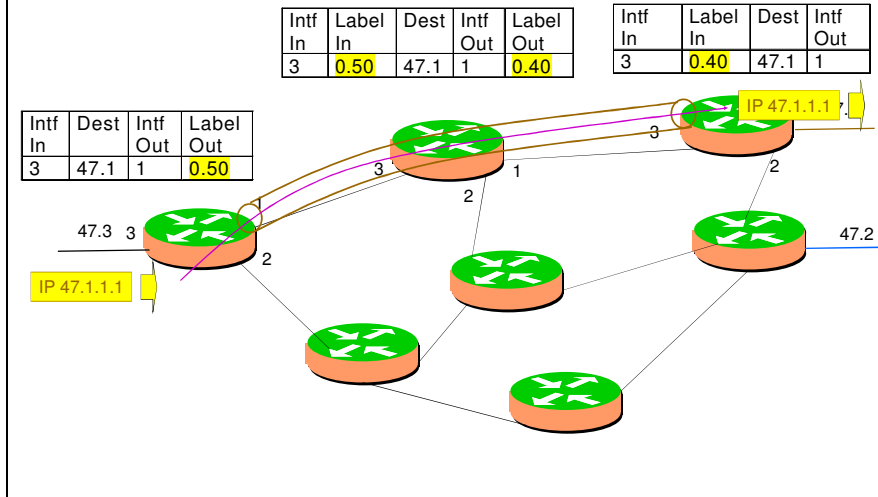
USMERJANJE hop-by-hop



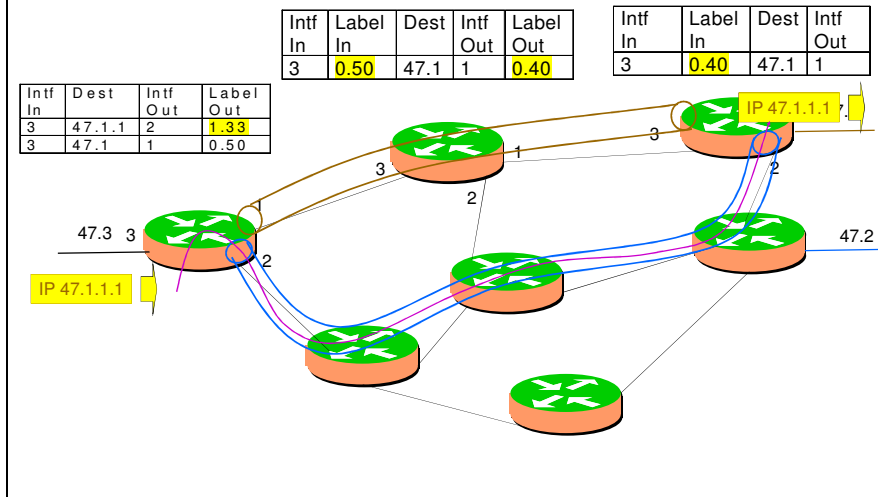
MPLS Label Distribution



Label Switched Path (LSP)



EKSPLICITNO USMERJENI LSP (ER-LSP)



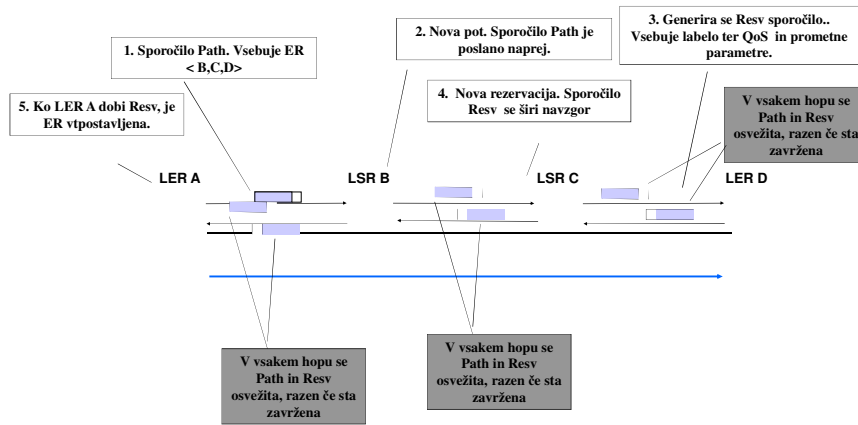
ZNAČILNOSTI ER-LSP

- Prednosti:
 - Operater lahko vpliva na usmerjanje (policy- based, QoS-based)
 - Ne uporablja nujno najkrajše poti
 - Izračun poti na podlagi omejitev in zahtev (tako kot ATM) s pomočjo topološke baze (prometni inženiring)
- ER-LSP sledi poti, ki jo izbere izvor, kontrolno sporočilo za vzpostavitev LSP (label request) je usmerjeno v izvoru (**source routing - izvorno usmerjanje**)
- Signalni protokol za ER-LSP je **RSVP-TE**

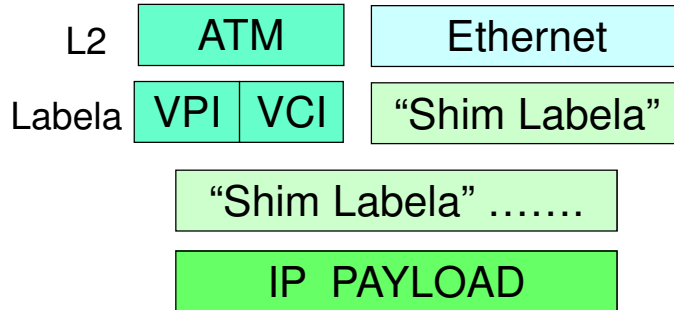
RSVP-TE

- RSVP (Resource Reservation Protocol) je bil narejen za rezervacijo virov v usmerjevalnikih za prenos aplikacij med gostitelji
- Protokol RSVP je razširjen z dodatki za vzpostavitev eksplicitne LSP (Explicit Route Object , Link Coloring)
- Tudi tu se usmerjevalniki spoznajo preko Hello protokola
- RSVP-TE uporablja CSFP algoritem za izračun najkrajše poti:
 - upošteva LSP attribute (link coloring, hitrost, ERO)
 - upošteva link attribute (link coloring in razpoložljivo hitrost na linku)
- Sporočila:
 - Path v smeri naprej (opiše fizično pot, prosi za labele)
 - Resv v smeri nazaj (dodeli labele, rezervira vire)
- Tako kreirano pot je potrebno osveževati, drugače se podre in poišče nova pot (osveževanje na 30 sek)
- Pot se vzpostavi samo, če je na voljo dovolj bitne hitrosti
- Eksplicitna pot je lahko „strickt“ (fiksna pot) ali „loose“ (IGP definira pot do usmerjevalnika v ERO)

Vzpostavitev ER-LSP z uporabo RSVP-TE



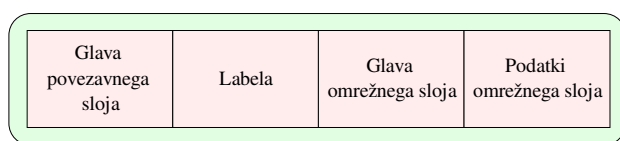
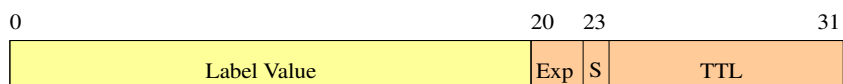
Enkapsulacija labele



MPLS enkapsulacija teče preko različnih medijev. Zgornja labela uporablja obstoječ format, spodnje labele uporabijo vmesni "shim" nivo.

Labela

- Labelo se doda takoj za glavo paketa protokola na povezavnem sloju
- Labelo lahko razumemo kot vmesni nivo med L2 in L3
- Nekateri protokoli že imajo neke vrste labela (ATM, FR)
- Na novo je standardizirana "shim" labela

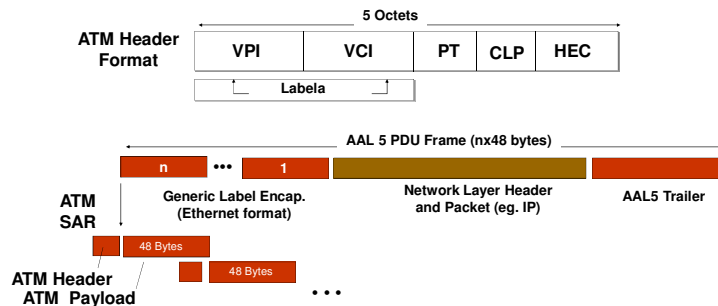


Polja v labeli

- **Vrednost labela:**
 - 0 IPv4 null label - umakni labelo in usmeri IPv4 paket
 - 1 Router Alert Label - pošlji paket na lokalni SW
 - 2 IPv6 null label - umakni labelo in usmeri IPv6 paket
 - 3 General null label - umakni labelo in usmeri
 - 4-15 Rezervirano
 - 16-n Poveže FEC z pripetim paketom
- **Eksperimentalni biti:**
 - Sedaj se rabijo v DiffServ za razred storitve (QoS znotraj LSP)
 - Omogoči ločitev tokov znotraj labela
- **Dno sklada:**
 - LSR vidi le zgornjo labelo (razen pri napakah, ko se labela odmetavajo)
 - Sklad določa različne hierarhije (grupiranje tunelov)
 - LSR mora ugotoviti zadnjo labelo
- **Polje TTL:**
 - TTL ima isto funkcijo kot v IP - preprečuje zanke
 - Vrednost TTL se zmanjša za ena v vsakem LSR, ko le TTL=0 se paket zavrže

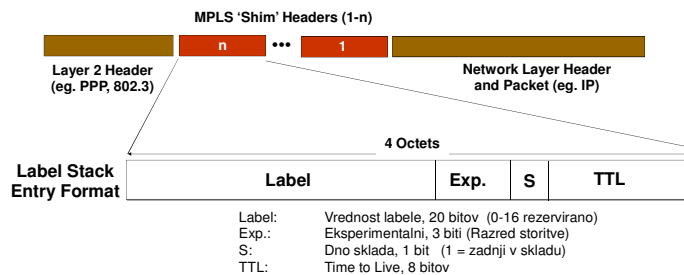
MPLS enkapsulacija - ATM

ATM LSR je omejen s formatom ATM celice.



- Zgornja labela je v VPI/VCI polju ATM celice
 - pozicija dogovorjena z LDP
- Ostala polja v skladu so kodirana v 'shim' glavi v Ethernet formatu
 - mora biti vsaj ena, z označeno zadnjo labelo kot 'explicit NULL' (v njej se prenaša informacija TTL, ki se ne more prenesti v glavi celice)

MPLS enkapsulacija - Ethernet



- TTL mora biti nastavljen na vrednost IP TTL polja, ko je paket prvič označen z labelo
- Ko se zadnja labela izbriše iz sklada, se MPLS TTL kopira v IP TTL polje

MPLS-TP

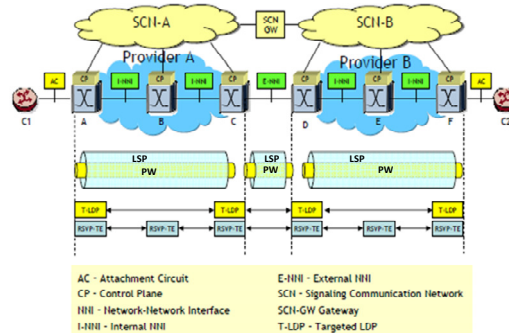
- Cilj MPLS-TP (MPLS Transport Profile) je omogočiti povezavno orientiran transport za TDM in paketni promet preko optičnih omrežij s pomočjo MPLS tehnologije
- Zelo pomembne so OAM in zaščitne funkcije za omogočanje „Carrier Grade“ kvalitete transporta
- Omogočeni morajo biti razširljivost, visoka razpoložljivost in nadzor nad delovanjem (performance monitoring)
- Na fizičnem nivoju se lahko uporabi Ethernet, SDH, OTN ali WDM transport

MPLS-TP glavne značilnosti

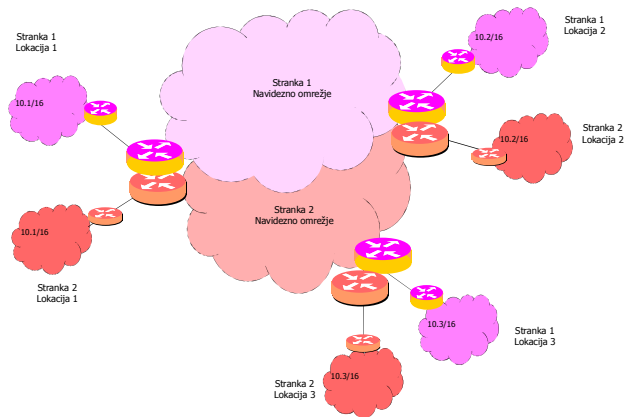
- Povezavni način delovanja
- Nedvisnost od prenašanega protokola (L1, L2, L3)
- Neodvisnost od fizičnega nivoja (Ethernet, SDH, OTN, WDM)
- MPLS-TP vsebuje močne OAM funkcije, podobno kot SDH in OTN
- OAM funkcije so del podatkovne ravnine (data plane) in so neodvisne od kontrolne ravnine (control plane)
- Vsebuje zaščitne funkcije v podatkovni ravnini podobno kot optična omrežja

Nadzor in upravljanje

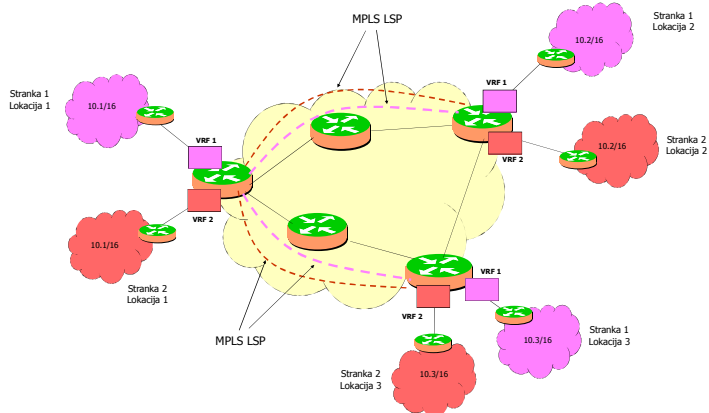
- MPLS-TP omogoča upravljanje omrežja preko centralizirane NMS postaje, kontrolne ravnine ali kombinacije obeh
- Kontrolna ravnina:
 - Omogoča dinamično kreiranje in zaščito transportnih poti
 - Kontrolna ravnina je lahko GMPLS ali ASON (GMPLS se uporablja skupaj z MPLS kontrolno ravnino – MPLS za „Pseudowire“ in GMPLS za MPLS-TP LSP)
 - Kontrolna ravnina izvaja signalizacijo, usmerjanje, „traffic engineering“, „constraint-based path computation“ in „fast restoration“
 - Omogočena je redundanca kontrolne ravnine
 - Napake v kontrolni ravnini ne vplivajo na promet



MPLS VPN



MPLS L3 VPN



- Jedrni usmerjevalniki s pomočjo protokola LDP zgradijo jedrne tunele (zunanja labela)
- Multiprotocol BGP se uporabi za prenos usmerjevalnih informacij med privatnimi VRF tabelami (notranja labela)

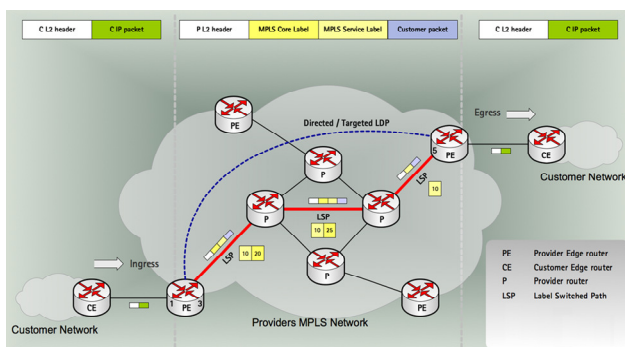
MPLS L3 VPN - usmerjanje

- Na fizičnem usmerjevalniku zgradimo navidezne usmerjevalnike, imenovane VRF, vsak ima svojo usmerjevalno tabelo in svoje vmesnike
- IP adrese je potrebno opremiti z RD (Route Distinguisher), da postanejo unikatne (dobimo VPNv4 prefix)
- VPNv4 prefix-i se med PE usmerjevalniki izmenjujejo s pomočjo protokola "Multiprotocol I-BGP"
- Z RD se ne da zagotoviti sodelovanje v več VPN, zato se vpelje še RT (Route Target), ki se ga pripne k VPNv4 BGP ruti (imenuje se ga tudi "Export RT")
- Pri BGP oglaševanju se RT prenaša v opciji "Extended BGP Communities" – ko dobi BGP update se ruter na podlagi "Import RT" filtra odloči, ali bo ruto sprejel ali ne

MPLS L3 VPN - posredovanje

- Za posredovanje paketov se uporabita dve labeli
 - Notranja predstavlja jedrni tunel
 - Zunanja predstavlja pripadnost nekemu VPN na PE ruterju
- Notranjo labelo določi PE ruter, na drugo stran se prenese z MP-BGP (skupaj z VPNv4 prefix-om)

MPLS L2 VPN (Pseudo Wire)

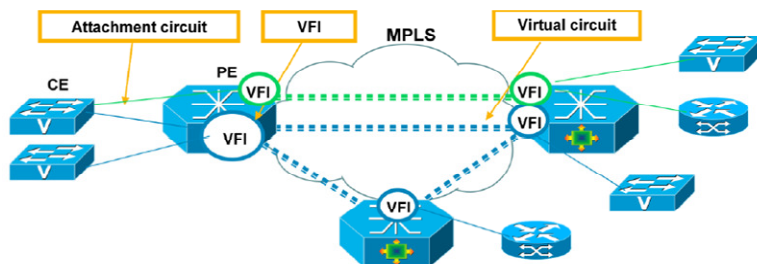


Pseudo Wire lahko prenaša:

- Frame Relay
- ATM
- Ethernet VLAN
- Ethernet
- HDLC
- PPP
- TDM

- Jedrni usmerjevalniki s pomočjo protokola LDP zgradijo jedrne tunele (zunanja labela)
- Končna usmerjevalnika (ki nista soseda) si preko "Targeted LDP" izmenjata storitveno labelo (notranja labela)

VPLS (Virtual Private LAN Service)



- Zagotavljanja L2 LAN preko MPLS infrastrukture
- Med PE se ustvari "full mesh" navideznih Pseudo Wire kanalov (EoMPLS enkapsulacija)

Prometni inženiring

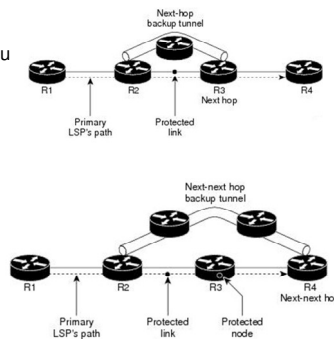
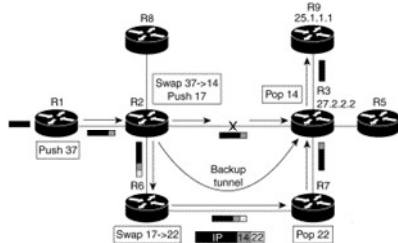
- **Razlogi za prometni inženiring:**
 - Klasični usmerjevalni protokoli z izračunom najkrajše poti ne izkoristijo proste vire v omrežju
 - Večja možnost za zamašitve
- **Namen prometnega inženiringa:**
 - Postaviti promet na najboljšo pot
 - maksimizirati uporabo linkov in vozlišč v omrežju
 - pripraviti linke na različne storitve in želene kasnitve
 - razpeljati promet po različnih poteh, onemogočiti točke skupne napake
 - Zaščita linkov in vozlišč ob napaki (rezervne poti)
 - Prilagajanje spremembam topologije
 - Možnost vpliva administratorja na potek poti
 - Izboljšati cenovni izkoristek naprav
- **Načini prometnega inženiringa:**
 - Poseg v usmerjevalne postopke (ročno in težavno)
 - Večanje pasovne širine (ni ekonomično)
 - MPLS TE (omogoča tudi rezervne poti)

MPLS TE

- Rezultat je enak kot pri L2 ATM tehnologiji:
 - optimalna pot
 - optimalna izraba virov
 - rezervne poti
- MPLS TE zgradi LSP tunele preko hrbtničnega omrežja s pomočjo RSVP. Za to je potrebno:
 - uporabiti RSVP signalizacijo z TE dodatki
 - uporabiti OSPF ali IS-IS usmerjevalni protokol z TE dodatki, s katerimi se prenašajo podatki o topologiji in virih
 - uporabiti CB (constraint-based) izračun poti – to pomeni iskanje najkrajše poti z upoštevanjem zahtev po pasovni širini, prioriteti, mediju
- LSP se izračuna v izvoru

Fast Reroute (FRR)

- FRR pomaga MPLS Ingenirring-u
 - MPLS TE izračuna pot v izvoru
 - Ob napaki se mora informacija o izpadu linka (Link Failure) prenesti v izvor, ki zopet izračuna najboljšo pot, to pa vnaša kasnitev
 - S FRR pripravimo obhodni tunel za zaščito linka in ta obhod je pod kontrolo lokalnega usmerjevalnika, kar omogoča hiter preklop na rezervni tunel, v vmesnem času pa lahko izvor izračuna novo pot
- Konfiguracija FRR:
 - Ustvari se osnovni tunel za FRR Link Protection
 - Ustvari se rezervni tunel okoli linka, ki ga ščitimo
 - Prvemu tunelu dodamo informacijo o rezervnem tunelu
- S FRR je mogoče je zaščititi tudi celoten usmerjevalnik



Upravljanje s prometom in QoS

- Cilji upravljanja s prometom
- QoS funkcije
- Parametri QoS
- Prometni parametri
- Glajenje prometa
- Nadzor parametrov

Glavni cilji

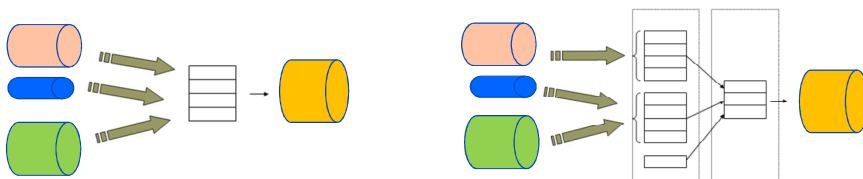
- Podpora kvaliteti storitev
- Skrb za dogovorjene prometne pogodbe
- Optimalna izraba virov v omrežju
- Delovanje v nepredvidljivih prometnih situacijah
- Skrb za stabilno omrežje

QoS funkcije

- Pravila za obravnavo se predpišejo vsakemu pretoku (flow) posebej, lahko tudi skupini pretokov
- QoS funkcije:
 - Klasifikacija – oblikovanje pretoka glede na izbran kriterij (port, VLAN, CoS, DSCP, IP naslov, MAC, Ethernet type,...)
 - Označevanje prometa – pakete je mogoče označiti ali spremeniti oznako CoS (ali DSCP)
 - Razvrščanje prometa – prometni pretoki se razvrstijo v ustrezne čakalne vrste
 - Omejevanje prometa (policing) – kontrola prometnih karakteristik pretoka, pakete se obravnava po principu „dual leaky bucket“ (CIR+CBS, EIR+EBS), neustrezni paketi se ponavadi zavrnejo (lahko se tudi označijo)
 - Oblikovanje prometa (shaping) – usklajevanje prometnih karakteristik pretoka, pakete se obravnava po principu „dual leaky bucket“ (CIR+CBS, EIR+EBS), paketi se ne zavrnejo (razen, če pride do zamašitev čakalne vrste)
 - Razporejanje (scheduling) - spuščanje prometa iz čakalnih vrst na izhodni vmesnik glede na prioriteto čakalne vrste (Strict, WFQ)
- ATM in MPLS poznata tudi CAC (Connection Admission Control) - pri vzpostavljanju zveze se ugotavlja, ali je na poti na voljo dovolj pasovne širine

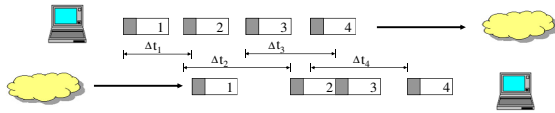
Čakalne vrste

- Čakalne vrste omogočijo razporejanje paketov na izhodni vmesnik glede na prioriteto
- Pretoki se na osnovi klasifikacije razvrstijo v ustrezne čakalne vrste
- Vrste se praznijo glede na njihovo prioriteto

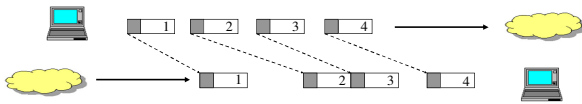


Parametri QoS

- Izgubljeni paketi ali delež izgubljenih paketov (FL/FLR, CL/CLR)
- Kasnitev paketov (FD, CTD)

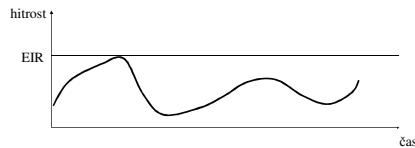


- Spreminjanje kasnitve paketov (FDV, CDV)

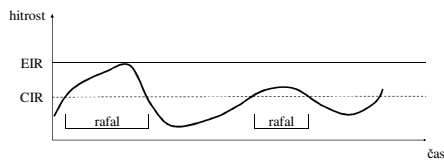


Prometni parametri

- Najvišja dovoljena hitrost (EIR/EBS)
 - zgornja meja dovoljene hitrosti (Excess Information Rate) in velikost rafala (Excess Burst Size - rafal dovoljuje preseganje najvišje hitrosti); pri ATM so to parametri PCR/CDVT



- Srednja hitrost (CIR/CBS)
 - povprečne hitrosti preko daljšega časovnega obdobja (Comiter Information Rate) in velikost rafala (Committed Burst Size – rafal dovoljuje preseganje povprečne hitrosti); pri ATM so to parametri SCR/MBS

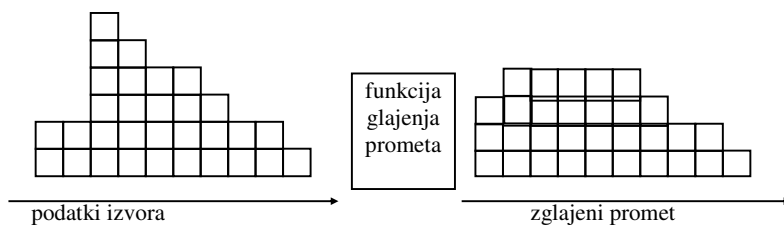
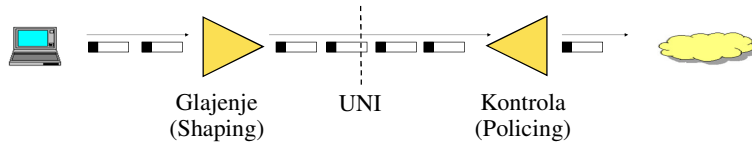


Dual leaky bucket - dvojno preluknjano vedro



Glajenje prometa

- Glajenje (Traffic Shaping) je mehanizem na uporabnikovi strani vmesnika, ki popravlja prometne karakteristike v skladu s prometno pogodbo
 - z uporabo izravnalnikov (bufferjev)
 - s kontrolo aplikacije (še ni v IPv4)



Nadzor parametrov (Policing)

- Kontrola (Policing) je mehanizem na omrežni strani UNI vmesnika, ki nadzira promet v omrežje

