

# Prioritizacija IP paketa i planiranje kvalitete usluge u troslojnom dizajnu mreže

---

**Barčić, Leon**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zadar / Sveučilište u Zadru**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:162:041676>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-01**



**Sveučilište u Zadru**  
Universitas Studiorum  
Jadertina | 1396 | 2002 |

*Repository / Repozitorij:*

[University of Zadar Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Sveučilište u Zadru

Stručni prijediplomski studij

Informacijske tehnologije



**Leon Barčić**

**Prioritizacija IP paketa i planiranje kvalitete usluge  
u troslojnom dizajnu mreže**

**Završni rad**

Zadar, 2024.

Sveučilište u Zadru

Stručni prijediplomski studij  
Informacijske tehnologije

Prioritizacija IP paketa i planiranje kvalitete usluge u troslojnom dizajnu mreže

Završni rad

Student/ica:

Leon Barčić

Mentor/ica:

Mag.ing.inf.et.comm.techn Marko Buterin

Zadar, 2024.



## Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, **Leon Barčić**, ovime izjavljujem da je moj **završni** rad pod naslovom **Prioritizacija IP paketa i planiranje kvalitete usluge u troslojnom dizajnu mreže** rezultat mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mojega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem da ni jedan dio ovoga rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mojega rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Zadar, 20. srpnja 2024.

## SAŽETAK

Ovaj rad istražuje prioritizaciju IP paketa i planiranje kvalitete usluge (QoS) unutar troslojnog dizajna mreže, s posebnim naglaskom na konvergirane mreže i njihov utjecaj na performanse mreže. Rad detaljno analizira različite tipove QoS, uključujući Best-Effort, Integrated Services (IntServ) i Differentiated Services (DiffServ), te mehanizme poput upravljanja propusnošću, kontrole latencije i upravljanja gubitkom paketa. Fokus je stavljen na implementaciju QoS u stvarnom okruženju kroz studiju slučaja hotela Valamar, gdje su analizirani konkretni izazovi i rješenja. Razmatraju se strategije za upravljanje preopterećenim mrežama, uključujući praćenje performansi i optimizaciju resursa. Rezultati studije pokazali su kako pravilna primjena QoS politika može poboljšati korisničko iskustvo i učinkovitost mreže u konvergiranim okruženjima. Zaključno, rad pruža uvid u značaj QoS u modernim mrežnim dizajnima i njegove prednosti za kompleksne mrežne infrastrukture.

*Ključne riječi:* QoS, prioritizacija IP paketa, konvergirana mreža, mrežni dizajn, Valamar

# SADRŽAJ

<b><u>1. Uvod</u></b> .....	1
<b><u>1.1. Predmet i cilj rada</u></b> .....	1
<b><u>1.2. Struktura rada</u></b> .....	2
<b><u>2. Uvod u kvalitetu usluge (QoS)</u></b> .....	3
<b><u>2.1. Tipovi kvalitete usluge</u></b> .....	6
<b><u>2.2. Mehanika kvalitete usluge</u></b> .....	11
<b><u>2.3. Česte zablude o kvaliteti usluge</u></b> .....	13
<b><u>3. Dizajniranje sheme za kvalitetu usluge</u></b> .....	15
<b><u>3.1. Utvrđivanje zahtjeva</u></b> .....	17
<b><u>3.2. Konfiguriranje usmjerivača</u></b> .....	18
<b><u>4. Preopterećena mreža</u></b> .....	21
<b><u>4.1. Utvrđivanje je li mreža preopterećena</u></b> .....	22
<b><u>4.2. Rješavanje problema</u></b> .....	23
<b><u>5. Konvergirana mreža</u></b> .....	25
<b><u>5.1. Konfiguracija</u></b> .....	26
<b><u>5.2. Praćenje kvalitete usluge</u></b> .....	27
<b><u>5.3. Rješavanje problema u konvergiranoj mreži</u></b> .....	29
<b><u>6. Studija slučaja „Valamar Riviera“</u></b> .....	31
<b><u>6.1. Primjer iz prakse „Valamar Riviera“</u></b> .....	31
<b><u>6.2. Analiza rezultata</u></b> .....	32
<b><u>7. Zaključak</u></b> .....	34
<b><u>Literatura</u></b> .....	36
<b><u>Prioritization of IP Packets and Quality of Service Planning in a Three-Layer Network Design</u></b>	
<b><u>SUMMARY</u></b> .....	38
<b><u>POPIS SHEMA</u></b> .....	39



## 1. Uvod

U modernim mrežnim arhitekturama, osiguranje visoke kvalitete usluge (QoS) ključno je za učinkovitost i pouzdanost mreže. S obzirom na kompleksnost današnjih mreža, posebno u kontekstu troslojnog dizajna mreže, prioritizacija IP paketa postaje centralni element u planiranju QoS. Troslojni dizajn mreže, koji obuhvaća slojeve pristupa, distribucije i jezgre, pruža strukturu koja omogućava detaljnu kontrolu i optimizaciju mrežnog prometa.

Troslojni dizajn mreže omogućava podjelu mrežnih funkcija u tri glavna sloja, što pomaže u upravljanju i optimizaciji mrežnih resursa. Sloj pristupa odgovoran je za povezivanje krajnjih korisnika i uređaja s mrežom, sloj distribucije upravlja prometom između različitih dijelova mreže, dok sloj jezgre osigurava visoku brzinu i kapacitet prijenosa podataka između različitih mrežnih segmenata. Svaki od ovih slojeva ima različite zahtjeve za QoS i prioritizaciju IP paketa, što zahtijeva specifične strategije i tehnike za učinkovito upravljanje mrežnim prometom. Prioritizacija IP paketa u troslojnom dizajnu mreže uključuje dodjeljivanje različitih prioriteta paketima na temelju njihove važnosti i zahtjeva za mrežnim resursima. Ova strategija omogućava optimizaciju propusnosti, smanjenje kašnjenja i minimiziranje gubitka paketa za kritične aplikacije i usluge. Planiranje QoS u troslojnom dizajnu mreže zahtijeva usklađivanje različitih QoS politika na svim slojevima mreže, kako bi se osigurala dosljedna kvaliteta usluge za sve korisnike i aplikacije.

U ovom radu bit će razmotreni ključni aspekti prioritizacije IP paketa i planiranja QoS u kontekstu troslojnog dizajna mreže. Fokus će biti na tehnikama i strategijama za učinkovito upravljanje mrežnim prometom, uključujući definiciju QoS politika, konfiguriranje mrežnih uređaja i implementaciju politika u svakom sloju mreže. Također, rad će obuhvatiti i studiju slučaja koja ilustrira kako se QoS i prioritizacija IP paketa primjenjuju u praksi, s posebnim naglaskom na konkretne mrežne scenarije i rješenja.

### 1.1. Predmet i cilj rada

Predmet ovog rada je istraživanje i analiza kvalitete usluge (QoS) u računalnim mrežama s posebnim naglaskom na hotelske sustave. Fokus će biti na mehanizmima za kontrolu rezervacije mrežnih resursa, kao što je propusnost mreže, i na real-time protokolima za prijenos i kontrolu višemedijskih sadržaja u stvarnom vremenu. Kroz ovaj rad, razmotrit će se različiti



pristupi i tehnike za osiguranje QoS-a, te analizirati kako se oni mogu primijeniti u kompleksnim mrežnim okruženjima poput Valamar Hotels & Resorts.

Ciljevi rada uključuju detaljno objašnjenje koncepata i tipova QoS-a; analizu mehanizama za implementaciju QoS-a u mrežnim sustavima; identifikaciju i rješavanje problema preopterećenih mreža; razmatranje specifičnih izazova i rješenja za konvergirane mreže te studiju slučaja implementacije QoS-a u Valamar Hotels & Resorts, s analizom rezultata prije i nakon implementacije.

## **1.2. Struktura rada**

Rad je strukturiran u sedam ključnih poglavlja. U prvom poglavlju, uvod pruža opći pregled važnosti QoS-a u računalnim mrežama te specifičan kontekst primjene u hotelskim sustavima. Predmet i ciljevi rada objašnjavaju fokus istraživanja i glavne ciljeve koje želimo postići. Struktura rada daje pregled svih poglavlja i njihov sadržaj. Drugo poglavlje, Uvod u kvalitetu usluge (QoS), detaljno obrađuje osnovne koncepte i tipove QoS-a, mehanizme kvalitete usluge te česte zablude koje postoje oko QoS-a. Treće poglavlje, Dizajniranje sheme za kvalitetu usluge, fokusira se na utvrđivanje zahtjeva i konfiguriranje usmjerivača za postizanje optimalne kvalitete usluge. Četvrto poglavlje, Preopterećena mreža, bavi se identifikacijom problema preopterećenja mreže i rješavanjem tih problema putem QoS politika. Peto poglavlje, Konvergirana mreža, razmatra konfiguraciju i praćenje kvalitete usluge u mrežama koje integriraju različite vrste prometa. Šesto poglavlje, Studija slučaja, prezentira primjer implementacije QoS-a u Valamar Hotels & Resorts, analizirajući konkretne izazove i rezultate postignute nakon implementacije. Zaključno, sedmo poglavlje sumira ključne nalaze rada, nudi preporuke za buduće istraživanje i implementacije te pruža osobni osvrt na istraživanje.

## 2. Uvod u kvalitetu usluge (QoS)

Kvaliteta usluge (Quality of Service - QoS) jedan je od ključnih koncepata u dizajnu i upravljanju modernim računalnim mrežama. U osnovi, QoS predstavlja skup tehnologija i mehanizama koji omogućuju kontrolu i optimizaciju performansi mrežnog prometa kako bi se osigurala stabilna i pouzdana komunikacija. QoS omogućava mrežnim administratorima da dodijele različite prioritete različitim vrstama prometa, aplikacijama ili korisnicima, osiguravajući pritom da kritični podaci dobiju potrebne resurse i pažnju.<sup>1</sup> U dinamičnom svijetu informacijske tehnologije, gdje su mreže sve složenije i opterećenije, potreba za QoS-om postaje sve očitija. S rastućim brojem povezanih uređaja, od pametnih telefona do IoT (Internet of Things) uređaja, i sve većom potražnjom za propusnošću, mrežni resursi često postaju preopterećeni. Bez adekvatne kontrole, to može rezultirati smanjenjem performansi, povećanjem kašnjenja i gubitkom podataka, što može negativno utjecati na iskustvo krajnjih korisnika i operativnu učinkovitost poslovanja. Jedan od ključnih aspekata QoS-a je njegova sposobnost da se nosi s različitim vrstama prometa koje dijele istu mrežnu infrastrukturu. Primjerice, glasovni promet (VoIP) zahtijeva nisku latenciju i minimalan jitter kako bi osigurao kvalitetan razgovor bez prekida. S druge strane, prijenos video sadržaja može zahtijevati visoku propusnost kako bi osigurao glatko i neprekidno strujanje videozapisa.<sup>2</sup> U isto vrijeme, standardni podatkovni promet može tolerirati određeni stupanj kašnjenja i gubitka paketa bez značajnog utjecaja na korisničko iskustvo.<sup>3</sup> QoS tehnologije omogućavaju mrežnim administratorima da upravljaju ovim različitim zahtjevima i osiguraju optimalnu razinu usluge za svaku vrstu prometa. Implementacija QoS-a u mrežama također uključuje različite pristupe i tehnologije, od osnovnog pristupa best-effort, gdje se svi podaci tretiraju jednako, do naprednijih metoda poput Integrated Services (IntServ) i Differentiated Services (DiffServ), koje omogućuju precizniju kontrolu i upravljanje mrežnim resursima. IntServ koristi rezervaciju resursa za specifične tokove podataka, dok DiffServ koristi klasifikaciju podataka u različite klase prioriteta, pružajući fleksibilnost i skalabilnost u upravljanju mrežnim prometom.<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> Davis, A. & Trost, S. IP Quality of Service. Indianapolis: Cisco Press, 2003.

<sup>2</sup> Tan, L. & Jammeh, E. Quality of Service in IP Networks: A Tutorial. IEEE, 2018.

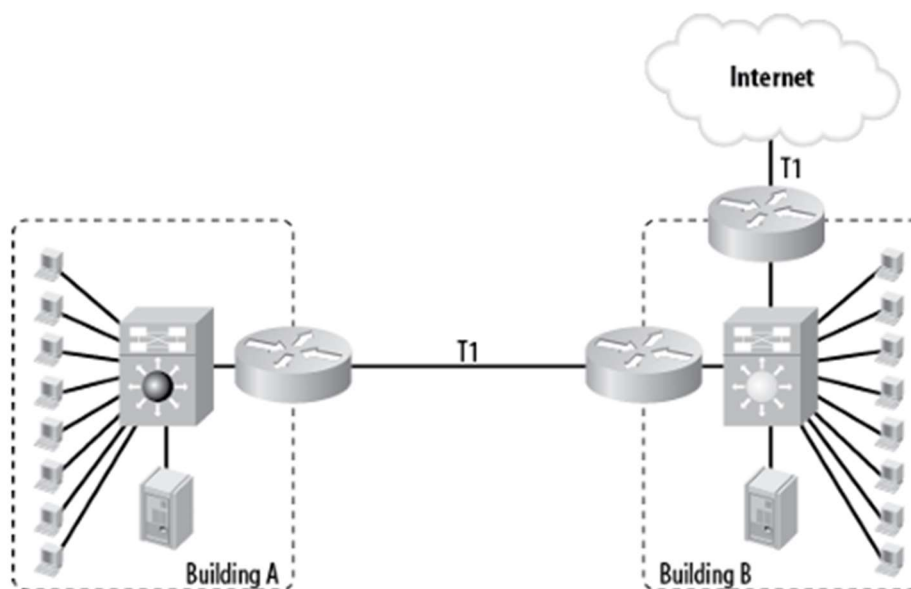
<sup>3</sup> Beloglavec, I. VoIP tehnologije: Glasovni prijenos putem IP protokola. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2010.

<sup>4</sup> Gary A. Donahue, Network Warrior. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2011., str. 573-581

Kvaliteta usluge (QoS) primjenjuje se kako bi se spriječilo da podaci saturiraju vezu do te mjere da drugi podaci ne mogu dobiti pristup. WAN veze su serijske veze, što znači da se bitovi prenose jedan za drugim; ulaze na jedan kraj i izlaze s drugog kraja u istom redoslijedu. Bez obzira na brzinu veze, bilo da je to T1 veza od 1,5 Mbps ili OC3 veza od 155 Mbps, bitovi se prenose jedan za drugim. QoS omogućuje da se određenim vrstama prometa dodijeli viši prioritet od drugih. Nakon što se promet klasificira, promet s najvišim prioritetom može biti poslan prvi, dok se promet s nižim prioritetom stavlja u red čekanja. Temeljna svrha QoS-a je odrediti koji promet treba imati prioritetan pristup vezi.

Dvi zgrade su povezane jednim T1 spojem ( npr. Optičkim kabelom ) kako je prikazano na Slici 1. Zgrada B ima T1 vezu prema internetu. U svakoj zgradi nalaze se serveri i otprilike 100 korisnika. Serveri međusobno repliciraju svoj sadržaj tijekom dana. Korisnici u svakoj zgradi imaju IP telefone, a komunikacija između zgrada je česta. Korisnicima u obje zgrade je dozvoljeno korištenje interneta. Jedini izlaz iz mreže u Zgradi A je T1 veza prema Zgradi B. Što se događa kada svi korisnici iz te zgrade odluče koristiti tu jedinu vezu odjednom? Veza je ograničena na samo 1,5 Mbps, a svaki korisnik može imati Ethernet vezu od 100 Mbps (ili čak 1 Gbps) prema mreži.

Slika 1. Jednostavna mreža u dvije zgrade



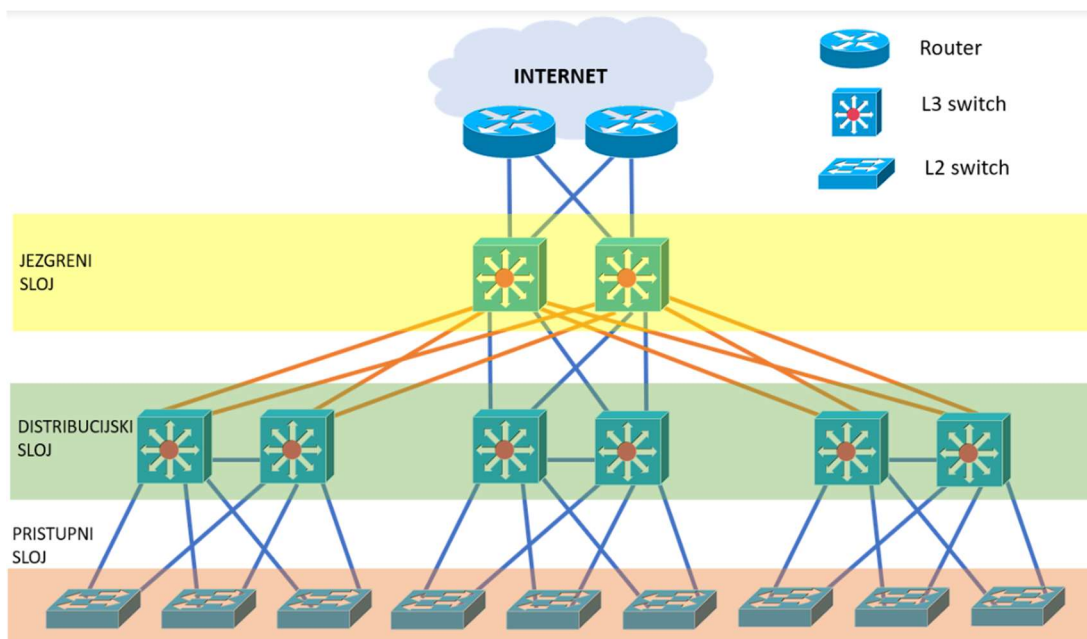
Izvor: Gary A. Donahue, Network Warrior. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2011.

Hijerarhijski model mreže prikazan je na Slici 2., a koristi se za dizajn skalabilnih mreža i sastoji se od tri glavna sloja, a to su core sloj (jezgreni sloj mreže) koji je ključan za brzi prijenos podataka između distribucijskih slojeva. Ovaj sloj je odgovoran za optimizaciju brzine

prijenosa podataka i usmjeravanje prometa na najučinkovitiji način. Njegova glavna funkcija je osigurati da se podaci brzo i efikasno prenose između različitih dijelova mreže, minimizirajući kašnjenja i maksimalizirajući propusnost. Distribucijski sloj upravlja usmjeravanjem i filtriranjem prometa između različitih dijelova mreže. U ovom sloju se implementiraju politike sigurnosti kao što su vatrozidi i pristupne kontrole, koje pomažu u zaštiti mreže i osiguravanju da samo autorizirani promet prolazi. Distribucijski sloj također igra važnu ulogu u upravljanju i usmjeravanju prometa prema odgovarajućim odredištima unutar mreže. Pristupni sloj je najbliži krajnjim korisnicima i omogućava direktan pristup mreži putem switcheva i bežičnih pristupnih točaka. Ovaj sloj je odgovoran za povezivanje korisničkih uređaja s mrežom i pružanje pristupa mrežnim resursima. Pristupni sloj osigurava da korisnici imaju pouzdan i učinkovit pristup mreži, dok istovremeno omogućava jednostavno upravljanje i nadogradnju mrežnih veza.

Ovaj hijerarhijski model omogućuje bolje upravljanje mrežom, lakšu nadogradnju i bolju kontrolu mrežnog prometa jer se funkcionalnosti jasno dijele između slojeva, čime se pojednostavljuje dizajn i održavanje mreže.

Slika 2. Hijerarhijski model mreže



Izvor: Primjer sa predavanja

Osim toga, QoS tehnologije uključuju različite mehanizme za upravljanje mrežnim resursima, kao što su upravljanje propusnošću (bandwidth management), kontrola kašnjenja (latency control), upravljanje gubitkom paketa (packet loss management) i kontrola jittera.

Svaki od ovih mehanizama igra ključnu ulogu u osiguravanju stabilne i pouzdane mrežne komunikacije, omogućujući mrežnim administratorima da optimiziraju performanse mreže prema specifičnim potrebama svojih korisnika i aplikacija. Međutim, implementacija QoS-a nije bez izazova i zabluda. Često se smatra da je QoS potreban samo za velike mreže, što nije točno. Čak i manje mreže mogu imati koristi od QoS-a, posebno ako koriste aplikacije koje zahtijevaju visoke performanse.<sup>5</sup> Također, QoS nije čarobno rješenje koje rješava sve probleme performansi mreže. Potrebno je pažljivo planiranje, implementacija i kontinuirano praćenje kako bi se osigurala optimalna razina usluge. QoS nije jednokratna implementacija već kontinuirani proces koji zahtijeva stalno prilagođavanje i optimizaciju.

## 2.1. Tipovi kvalitete usluge

Kvaliteta usluge (QoS) može se podijeliti na različite tipove, svaki s različitim pristupom i metodama za upravljanje mrežnim resursima.

Ovi tipovi uključuju Best-Effort QoS, Integrated Services (IntServ) i Differentiated Services (DiffServ). Svaki od ovih pristupa ima svoje prednosti i nedostatke, a izbor odgovarajućeg tipa QoS-a ovisi o specifičnim zahtjevima i uvjetima mrežnog okruženja.<sup>6</sup>

- Best-Effort QoS predstavlja najosnovniji i najjednostavniji oblik kvalitete usluge. U ovom pristupu, svi podaci/paketi tretiraju se jednako. U ovom modelu, mreža ne pruža nikakve garancije za propusnost, kašnjenje ili gubitak paketa, što može rezultirati nepredvidivim performansama u uvjetima visoke opterećenosti. S tehničkog aspekta, svaki paket se tretira jednako, bez obzira na vrstu prometa ili njegovu važnost. Paket se prenosi "najbolje što mreža može", a svi uređaji na putu, poput rutera i preklopnika, obrađuju pakete prema principu "prvi dođe, prvi se uslužuje". U zaglavlje paketa ne ubacuje se nikakva posebna oznaka prioriteta, niti se radi klasifikacija prometa. Ovaj pristup može uzrokovati kašnjenje ili gubitak paketa tijekom velikog opterećenja mreže, jer se promet ne kontrolira. Best-Effort QoS je često korišten u situacijama gdje su mrežni resursi dovoljno veliki da zadovolje sve potrebe korisnika, ili gdje nema kritičnih aplikacija koje zahtijevaju posebnu pažnju. Iako ovaj pristup ne nudi nikakve performanse garancije, njegova jednostavnost i minimalni zahtjevi za konfiguracijom čine ga popularnim u mnogim mrežnim okruženjima.
- Integrated Services (IntServ) je napredniji pristup koji omogućava rezervaciju mrežnih resursa za specifične tokove podataka. Ovaj pristup koristi protokol za rezervaciju resursa (Resource Reservation Protocol - RSVP) kako bi osigurao potrebne resurse za svaki tok podataka. IntServ pruža visoku razinu kontrole i može garantirati određeni

---

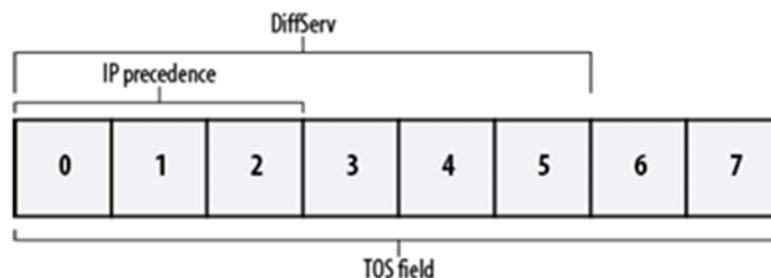
<sup>5</sup> Gary A. Donahue, *Network Warrior*. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2011., str. 573-581

<sup>6</sup> Vishwanath, A. & Venkataraman, N. *Quality of Service and Multi-service Networks*. Hoboken: Wiley, 2013.

nivo usluge za kritične aplikacije. Kada paket prolazi kroz mrežu, RSVP osigurava da svaki ruter na putu rezervira propusnost za taj tok. U zaglavlju svakog paketa može biti uključena specifična oznaka za signalizaciju prometa koji je prošao kroz proces rezervacije resursa. Ova metoda osigurava visok stupanj kontrole i minimaliziranje kašnjenja i gubitka paketa. Međutim, kako se promet povećava, upravljanje velikim brojem rezervacija može postati problematično. Ovaj pristup najbolje funkcionira u manjem ili statičnijem mrežnom okruženju. Na primjer, u aplikacijama koje zahtijevaju nisku latenciju i minimalan gubitak paketa, kao što su VoIP i video konferencije, IntServ može osigurati potrebne mrežne resurse kako bi se postigla željena kvaliteta usluge. Međutim, ovaj pristup ima i svoje nedostatke. IntServ može biti složen za implementaciju i upravljanje, posebno u velikim mrežama s mnogo korisnika i različitim zahtjevima za resursima. Također, IntServ može zahtijevati značajne resurse za signalizaciju i upravljanje, što može povećati troškove i složenost mreže.

- Differentiated Services (DiffServ) predstavlja fleksibilniji i skalabilniji pristup QoS-u. U ovom pristupu, podaci se klasificiraju u različite klase s različitim razinama prioriteta. Svaka klasa može imati različite QoS parametre, kao što su latencija, propusnost i gubitak paketa. DiffServ koristi polje za diferenciranu uslugu (Differentiated Services Code Point - DSCP) unutar IP zaglavlja kako bi označio prioritete paketa. Na tehničkoj razini, paketi se klasificiraju na temelju sadržaja DSCP polja unutar zaglavlja IP paketa, koje označava prioritet svakog paketa. Paketi sa višim DSCP vrijednostima imaju prednost u odnosu na druge pri prolasku kroz mrežne uređaje. Svaka klasa može imati definirane različite QoS parametre, kao što su propusnost, latencija i tolerancija na gubitak paketa. DiffServ pruža skalabilniji način upravljanja prometom jer svaki ruter ne mora pratiti pojedinačne tokove, nego samo klase prometa, čime se smanjuje složenost upravljanja mrežom. Ovaj pristup omogućava mrežnim administratorima da lako upravljaju mrežnim resursima i osiguraju optimalnu kvalitetu usluge za različite aplikacije i korisnike. Na primjer, VoIP promet može biti označen kao visok prioritet, dok standardni podatkovni promet može imati niži prioritet. DiffServ pruža fleksibilnost u upravljanju mrežnim resursima i može se lako prilagoditi različitim mrežnim okruženjima i zahtjevima. Međutim, ovaj pristup također ima svoje izazove. DiffServ ne pruža garancije za performanse kao što to čini IntServ, te je njegova učinkovitost ovisna o pravilnoj konfiguraciji i upravljanju mrežnim uređajima.<sup>7</sup>

Slika 3. TOS polje IP paketa



Izvor: Gary A. Donahue, Network Warrior. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2011.

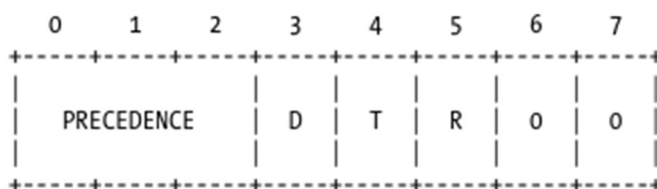
<sup>7</sup> Vishwanath, A. & Venkataraman, N. Quality of Service and Multi-service Networks. Hoboken: Wiley, 2013.

Svaki paket ima u sebi polje za tip usluge (engl. TOS – type of service), a sastoji se od osam bitova podijeljenja na dva dijela. Dva osnovna tipa IP prioritizacije koriste se na trećem sloju - IP precedence i diferencirane usluge (diffserv). IP precedence datira još iz ranih dana razvoja interneta, dok je diffserv noviji pristup. Vrijednosti koje se koriste za diffserv nazivaju se differentiated services code point (DSCP) vrijednosti.<sup>8</sup>

Polje za prioritizaciju IP prometa je osam bitova dugo, pri čemu se prva tri bita koriste za IP precedence. Ove vrijednosti označavaju razine usluga i definirane su u RFC 795. Prema ovom standardu, polje Type of Service (TOS) u IP zaglavlju sastoji se od nekoliko parametara:

- Bitovi 0-2: Precedence (prioritet).
- Bit 3: 0 = Normalno kašnjenje, 1 = Nisko kašnjenje.
- Bitovi 4: 0 = Normalan protok, 1 = Visoki protok.
- Bitovi 5: 0 = Normalna pouzdanost, 1 = Visoka pouzdanost.
- Bitovi 6-7: Rezervirano za buduću upotrebu.

Slika 4. TOS polje



Izvor: Gary A. Donahue, Network Warrior. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2011.

Ova polja korištena su za određivanje prioriternih nivoa prometa u ranom internetu. Precedence vrijednosti bile su:

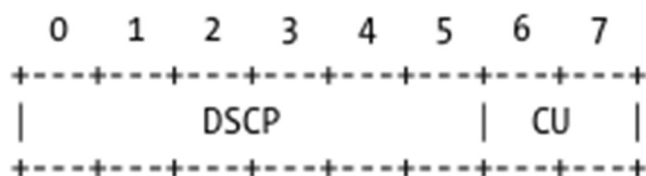
- 111 – Kontrola mreže
- 110 – Internetwork kontrola
- 101 – CRITIC/ECP

<sup>8</sup> Gary A. Donahue, Network Warrior. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2011., str. 573-581

- 100 – Flash Override
- 011 – Flash
- 010 – Odmah
- 001 – Prioritet
- 000 – Rutina.

Međutim, kako je internet evoluirao i korisnici su zahtijevali više od osam nivoa razlikovanja prioriteta, skalabilnost je postala problem. Tako je uveden RFC 2474, koji je redefinirao TOS polje i predstavio Differentiated Services (DS) field, koji koristi šest bitova za definiranje Differentiated Services Code Point (DSCP) vrijednosti, dok su dva bita rezervirana za buduću upotrebu (CU).<sup>9</sup> Definicija Differentiated Services polja (DS Field) uvodi novo polje zaglavlja, nazvano DS field, koje zamjenjuje prethodne definicije TOS okteta u IPv4 (RFC 791) i Traffic Class okteta u IPv6. Prvih šest bitova ovog polja koristi se kao Differentiated Services Code Point (DSCP) za određivanje načina na koji će svaki paket biti tretiran na pojedinim čvorovima mreže (Per-Hop Behavior - PHB). Preostala dva bita su trenutno neiskorištena (CU - Currently Unused) i njihova interpretacija nije obuhvaćena ovim dokumentom. Čvorovi koji su u skladu s Differentiated Services ignoriraju vrijednosti CU bitova pri određivanju ponašanja prema svakom paketu.<sup>10</sup>

*Slika 5. Struktura DS polja*



Izvor: Gary A. Donahue, Network Warrior. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2011.

Struktura DS polja prikazana je na Slici 2., gdje su DSCP: Differentiated Services Code Point, a CU: Currently Unused.

U praksi, na primjer, ako TOS polje sadrži bitove 10100000, prema pravilima IP precedence važna su prva tri bita, koja daju vrijednost 5. Prema pravilima DiffServ, prvih šest bitova su

<sup>9</sup> Gary A. Donahue, Network Warrior. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2011., str. 573-581

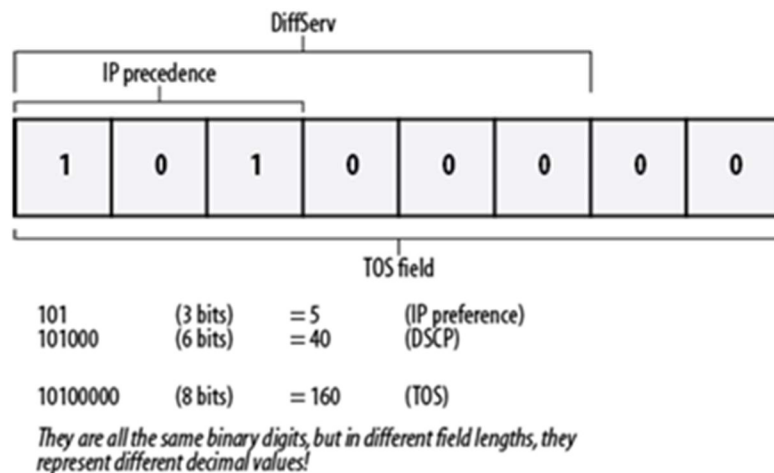
<sup>10</sup> Ibid.



značajni, što daje vrijednost 40. Gledajući cijelo TOS polje s osam bitova, dobivamo vrijednost 160.

Ova struktura omogućava prilagodljiviji i skalabilniji pristup upravljanju prometom u mreži, pružajući bolju fleksibilnost nego stariji sustavi prioritizacije poput IP precedence.

Slika 6. Različite decimalne vrijednosti ovise o broju značajnih bitova u TOS polju



Izvor: Gary A. Donahue, Network Warrior. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2011.

Znanje da vrijednost 160 u TOS polju odgovara IP precedence vrijednosti 5 može biti korisno pri analizi paketa. Budući da je ovo polje poznato samo kao TOS u IP protokolu, alati za hvatanje paketa obično prikazuju tu TOS vrijednost.

Class of Service (CoS) je oblik QoS na sloju 2, koji radi prema istim principima kao IP precedence, s osam mogućih vrijednosti određenih unutar tri-bitnog polja. Razlika je u tome što se ovi bitovi nalaze u zaglavlju 802.1P okvira, a ne u IP zaglavlju. CoS vrijednosti su specifične za Ethernet, pa se izgube ako se okviri prenose izvan Ethernet mreža. Dobra vijest je da se, budući da se savršeno poklapaju s IP precedence vrijednostima, mogu kreirati pravila koja čitaju CoS vrijednosti i prevode ih u IP precedence vrijednosti.<sup>11</sup>

Na primjer, na Cisco Catalyst preklonnicima, za svaki Ethernet port može postojati više redova (queuing), a CoS vrijednosti se mogu mapirati na te redove, što omogućava prioritizaciju prometa. Prioriteti za Ethernet mogu se razlikovati od prioriteta za WAN veze, ali se u praksi često mapiraju jedan prema jedan.

<sup>11</sup> Ibid.

U praksi, mrežni administratori često koriste kombinaciju ovih pristupa kako bi postigli optimalnu kvalitetu usluge. Na primjer, Best-Effort QoS može biti korišten za nekritični promet, dok se IntServ ili DiffServ koriste za kritične aplikacije koje zahtijevaju visoku razinu performansi.<sup>12</sup> Ova fleksibilnost omogućava prilagodbu QoS-a specifičnim potrebama i uvjetima mrežnog okruženja, osiguravajući pritom stabilnu i pouzdanu mrežnu komunikaciju. Razumijevanje različitih tipova QoS-a i njihovih prednosti i nedostataka ključno je za pravilnu implementaciju i upravljanje kvalitetom usluge u računalnim mrežama. Bez obzira na veličinu mreže ili specifične zahtjeve korisnika, QoS pruža alate i tehnike koje omogućavaju optimizaciju mrežnih resursa i osiguravanje optimalne performanse za sve vrste prometa.

## 2.2. Mehanika kvalitete usluge

Mehanika kvalitete usluge (QoS) uključuje različite tehnike i metode koje omogućavaju upravljanje mrežnim resursima kako bi se postigla željena razina performansi za specifične aplikacije, korisnike i podatkovne tokove. Ove tehnike uključuju upravljanje propusnošću (bandwidth management), kontrolu kašnjenja (latency control), upravljanje gubitkom paketa (packet loss management) i kontrolu jittera.<sup>13</sup> Svaki od ovih mehanizama igra ključnu ulogu u osiguravanju stabilne i pouzdane mrežne komunikacije.

*Upravljanje propusnošću (Bandwidth Management)* je temeljni aspekt QoS-a koji se odnosi na dodjelu i kontrolu dostupne mrežne propusnosti. U mrežama s ograničenim resursima, upravljanje propusnošću omogućava mrežnim administratorima da osiguraju da kritični podaci dobiju potrebne resurse kako bi se postigla optimalna razina usluge. Ovo se postiže putem različitih tehnika, kao što su oblikovanje prometa (traffic shaping) i ograničavanje brzine (rate limiting).<sup>14</sup> Oblikovanje prometa omogućava kontrolu brzine prijenosa podataka kako bi se smanjilo opterećenje mreže i osigurala ravnomjerna raspodjela resursa. Ograničavanje brzine omogućava postavljanje gornjih granica za određene tipove prometa, sprječavajući ih da prekomjerno koriste mrežne resurse na štetu drugih aplikacija i korisnika. Ove tehnike omogućavaju optimizaciju mrežne propusnosti i osiguravaju da kritični promet dobije prioritet.

---

<sup>12</sup> Zhang, L., Paxson, V. & Shenker, S. The Quest for Quality of Service on the Internet. In: Proceedings of the IEEE, vol. 88, no. 12, 2000.

<sup>13</sup> Handley, M., Jacobson, V. & Perkins, C. SDP: Session Description Protocol. IETF RFC 4566, 2006.

<sup>14</sup> Vishwanath, A. & Venkataraman, N. Quality of Service and Multi-service Networks. Hoboken: Wiley, 2013.

Kontrola kašnjenja (Latency Control) je ključna za aplikacije koje zahtijevaju brz odziv, kao što su VoIP i video konferencije. Kašnjenje (latency) se odnosi na vrijeme koje je potrebno da podaci putuju od izvora do odredišta. U mrežama s visokim kašnjenjem, aplikacije koje zahtijevaju brz odziv mogu doživjeti smanjenje performansi, što može negativno utjecati na korisničko iskustvo. QoS tehnologije omogućavaju mrežnim administratorima da minimiziraju kašnjenje putem različitih tehnika, kao što su prioritetizacija prometa i kontrola redova čekanja (queuing control).<sup>15</sup> Prioritetizacija prometa omogućava davanje višeg prioriteta kritičnim paketima, osiguravajući da oni budu obrađeni i preneseni prije manje kritičnog prometa. Kontrola redova čekanja omogućava upravljanje načinom na koji se paketi redaju i obrađuju na mrežnim uređajima, smanjujući time kašnjenje i osiguravajući brži prijenos podataka.

Upravljanje gubitkom paketa (Packet Loss Management) je važno za održavanje integriteta i pouzdanosti mrežne komunikacije. Gubitak paketa (packet loss) se događa kada podaci ne uspiju stići do odredišta, što može biti uzrokovano preopterećenjem mreže, greškama u prijenosu ili problemima s mrežnim uređajima. QoS tehnologije omogućavaju mrežnim administratorima da minimiziraju gubitak paketa putem različitih tehnika, kao što su kontrola protoka (flow control) i ponovna prijenosi (retransmissions).<sup>16</sup> Kontrola protoka omogućava upravljanje brzinom prijenosa podataka kako bi se spriječilo preopterećenje mreže, dok ponovna prijenosi omogućavaju ponovno slanje izgubljenih paketa kako bi se osigurala pouzdanost prijenosa. Ove tehnike pomažu u održavanju integriteta podataka i osiguravaju pouzdanu komunikaciju.

Kontrola jittera (Jitter Control) je ključna za aplikacije koje zahtijevaju konzistentan prijenos podataka, kao što su VoIP i strujanje video sadržaja. Jitter se odnosi na varijaciju kašnjenja u prijenosu podataka, što može uzrokovati prekide i smanjenje kvalitete usluge. QoS tehnologije omogućavaju mrežnim administratorima da minimiziraju jitter putem različitih tehnika, kao što su prioritetizacija prometa i oblikovanje prometa. Prioritetizacija prometa osigurava da kritični paketi budu obrađeni i preneseni s minimalnom varijacijom kašnjenja, dok oblikovanje prometa omogućava kontrolu brzine prijenosa podataka kako bi se smanjila varijacija u kašnjenju.<sup>17</sup> Ove tehnike pomažu u održavanju konzistentnog prijenosa podataka i osiguravaju visoku razinu usluge za aplikacije koje zahtijevaju nisku varijaciju kašnjenja.

---

<sup>15</sup> Norton, W. The Internet Peering Playbook: Connecting to the Core of the Internet. DrPeering Press, 2011.

<sup>16</sup> Ibid.

<sup>17</sup> Tan, L. & Jammeh, E. Quality of Service in IP Networks: A Tutorial. IEEE, 2018.

Kombinacija ovih mehanizama omogućava mrežnim administratorima da optimiziraju performanse mreže prema specifičnim potrebama svojih korisnika i aplikacija. Na primjer, u okruženju kao što je Valamar Hotels & Resorts, gdje različite vrste prometa dijele istu mrežnu infrastrukturu, upravljanje propusnošću, kontrola kašnjenja, upravljanje gubitkom paketa i kontrola jittera omogućavaju osiguranje visoke razine usluge za sve korisnike. Glasovni promet (VoIP) može dobiti prioritet kako bi se osigurala visoka kvaliteta razgovora, dok video promet može biti optimiziran za glatko strujanje, a standardni podatkovni promet može biti kontroliran kako bi se spriječilo preopterećenje mreže.

U konačnici, mehanika QoS-a pruža mrežnim administratorima alate i tehnike za upravljanje mrežnim resursima i osiguranje optimalne kvalitete usluge. Implementacija ovih mehanizama zahtijeva pažljivo planiranje, konfiguraciju i kontinuirano praćenje kako bi se postigli željeni rezultati. Razumijevanje i pravilna primjena ovih mehanizama ključno je za osiguranje stabilne i pouzdane mrežne komunikacije u današnjem dinamičnom i sve složenijem mrežnom okruženju.

### **2.3. Česte zablude o kvaliteti usluge**

Kvaliteta usluge (QoS) u računalnim mrežama često je tema različitih zabluda i pogrešnih shvaćanja. Ove zablude mogu dovesti do nepravilne implementacije QoS-a, što može rezultirati lošim performansama mreže i nezadovoljstvom korisnika. Stoga je važno razjasniti neke od najčešćih zabluda kako bi se osiguralo pravilno razumijevanje i primjena QoS tehnologija. Jedna od najčešćih zabluda je da je QoS potreban samo za velike mreže. Mnogi vjeruju da male mreže nemaju dovoljno prometa da bi opravdale potrebu za QoS-om, te da su QoS tehnologije prekomplikirane i skupe za implementaciju u manjim okruženjima. Međutim, čak i manje mreže mogu imati koristi od QoS-a, posebno ako koriste aplikacije koje zahtijevaju visoke performanse. Na primjer, mala tvrtka koja koristi VoIP za poslovne pozive ili video konferencije može značajno poboljšati kvalitetu svojih komunikacijskih usluga implementacijom QoS-a. QoS može osigurati da kritični promet dobije potrebne resurse, smanjujući kašnjenje i gubitak paketa te osiguravajući glatku i pouzdanu komunikaciju. Stoga, veličina mreže nije jedini faktor koji određuje potrebu za QoS-om, već i priroda aplikacija i

zahtjevi korisnika.<sup>18</sup> Druga česta zabluda je da QoS može riješiti sve probleme performansi mreže. Iako QoS može značajno poboljšati performanse mreže i osigurati optimalnu razinu usluge za kritične aplikacije, on nije čarobno rješenje koje može riješiti sve probleme. QoS ne može povećati ukupnu propusnost mreže ili eliminirati fizička ograničenja mrežnih uređaja. Također, QoS ne može riješiti probleme uzrokovane lošim dizajnom mreže ili neispravnim konfiguracijama. QoS može optimizirati raspodjelu dostupnih resursa i osigurati da kritični promet dobije prioritet, ali ako su mrežni resursi nedovoljni ili loše upravljani, QoS neće moći postići željene rezultate.<sup>19</sup> Stoga je važno imati realistična očekivanja od QoS-a i razumjeti njegove mogućnosti i ograničenja. Još jedna česta zabluda je da je QoS jednokratna implementacija koja ne zahtijeva daljnje prilagođavanje i praćenje. Mnogi vjeruju da jednom kada se QoS konfigurira, on će automatski održavati optimalnu kvalitetu usluge bez potrebe za daljnjim intervencijama.<sup>20</sup> Međutim, QoS je kontinuirani proces koji zahtijeva stalno praćenje i prilagođavanje. Mrežni uvjeti, prometni obrasci i zahtjevi korisnika mogu se mijenjati tijekom vremena, što može zahtijevati prilagodbu QoS konfiguracija. Kontinuirano praćenje performansi mreže i prilagođavanje QoS politika ključno je za održavanje optimalne razine usluge. Mrežni administratori trebaju redovito analizirati mrežne podatke, identificirati potencijalne probleme i prilagoditi QoS konfiguracije kako bi osigurali da mreža nastavi pružati željenu kvalitetu usluge.

Konačno, postoji zabluda da je QoS prekomplikiran i da zahtijeva napredne tehničke vještine za implementaciju i upravljanje. Iako QoS može biti složen, posebno u velikim i heterogenim mrežama, postoje alati i resursi koji mogu olakšati njegovu implementaciju i upravljanje. Mnogi mrežni uređaji i operativni sustavi danas nude ugrađene QoS funkcionalnosti s intuitivnim sučeljima koja olakšavaju konfiguraciju i upravljanje. Također, postoji mnogo dostupnih resursa, kao što su vodiči, tutorijali i dokumentacija, koji mogu pomoći mrežnim administratorima da razumiju i pravilno implementiraju QoS.<sup>21</sup> S odgovarajućim resursima i edukacijom, čak i mrežni administratori s osnovnim tehničkim vještinama mogu uspješno implementirati i upravljati QoS-om u svojim mrežama.

Razumijevanje ovih čestih zabluda o QoS-u ključno je za pravilnu implementaciju i upravljanje kvalitetom usluge u računalnim mrežama. Ispravnim razumijevanjem i primjenom

---

<sup>18</sup> Cifrek, M. Računalne mreže i protokoli: Pristup i međumrežno povezivanje. Zagreb: Element, 2001.

<sup>19</sup> Klein, T. Računalne mreže: Organizacija i protokoli. Zagreb: FER, 2004.

<sup>20</sup> Ibid.

<sup>21</sup> Peraković, D. Kvaliteta usluge u telekomunikacijskim mrežama. Zagreb: Hrvatska akademija tehničkih znanosti, 2011.

QoS tehnologija, mrežni administratori mogu osigurati optimalnu razinu usluge za svoje korisnike i aplikacije, te izvući maksimalnu vrijednost iz svojih mrežnih resursa. QoS nije čarobno rješenje koje može riješiti sve probleme, ali je moćan alat koji može značajno poboljšati performanse i pouzdanost mreže kada se pravilno implementira i upravlja.

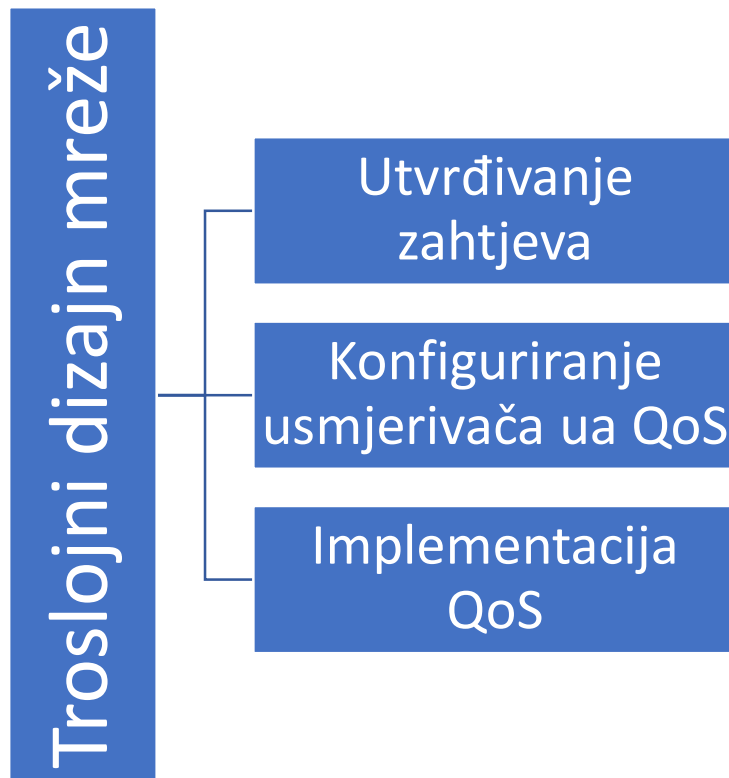
### **3. Dizajniranje sheme za kvalitetu usluge**

Dizajniranje sheme za QoS u troslojnom dizajnu mreže uključuje precizno planiranje i implementaciju strategija za upravljanje mrežnim prometom u svim slojevima mreže. Ovaj proces obuhvaća nekoliko ključnih koraka, uključujući utvrđivanje zahtjeva i konfiguriranje mrežnih uređaja poput usmjerivača.<sup>22</sup>

*Shema 1. Dizajniranje sheme za kvalitetu usluge kod troslojnog dizajna*

---

<sup>22</sup> Alagić, D. & Pavlović, M. Sigurnost i zaštita u računalnim mrežama. Osijek: Sveučilište J.J. Strossmayera, 2007.



Izvor: Izrada autora

Utvrđivanje zahtjeva u troslojnom dizajnu mreže uključuje analizu potreba za QoS u svakom sloju mreže – sloju pristupa, sloju distribucije i sloju jezgre. Svaki sloj ima specifične zahtjeve za QoS, koje je potrebno identificirati i razumjeti kako bi se osigurala optimalna izvedba. Analizom vrsta prometa, ključnih aplikacija i njihove osjetljivosti na performanse omogućava se dizajniranje QoS politika koje odgovaraju potrebama svakog sloja.<sup>23</sup>

Konfiguriranje usmjerivača za QoS u troslojnom dizajnu mreže uključuje implementaciju tehnika kao što su definiranje redova čekanja, oblikovanje prometa i upravljanje propusnošću. Usmjerivači igraju ključnu ulogu u implementaciji QoS politika, jer upravljaju prometom između različitih slojeva mreže i omogućavaju prioritizaciju IP paketa prema njihovoj važnosti i zahtjevima za resursima.<sup>24</sup>

Implementacija QoS u troslojnom dizajnu mreže zahtijeva detaljno planiranje i preciznu konfiguraciju kako bi se osigurala dosljedna kvaliteta usluge u svim slojevima mreže, od

---

<sup>23</sup> Sziget, T., Hattingh, C., Barton, R. & Briley, K. End-to-End QoS Network Design. 2nd ed. Indianapolis: Cisco Press, 2014.

<sup>24</sup> Ibid.

pristupa preko distribucije do jezgre.<sup>25</sup> Razumijevanje specifičnih zahtjeva svakog sloja i primjena odgovarajućih QoS politika ključni su za postizanje optimalne mrežne performanse i zadovoljenje potreba svih korisnika i aplikacija.

### 3.1. Utvrđivanje zahtjeva

Utvrđivanje zahtjeva za kvalitetu usluge (QoS) u troslojnom dizajnu mreže ključno je za osiguranje optimalne mrežne performanse i zadovoljstvo korisnika. Ovaj proces uključuje analizu i identifikaciju specifičnih potreba za QoS u svakom sloju mreže, od sloja pristupa, preko sloja distribucije, do sloja jezgre.<sup>26</sup> Razumijevanje tih potreba omogućava dizajniranje i implementaciju QoS politika koje osiguravaju da mrežni promet bude pravilno upravljan i da svi korisnici i aplikacije dobiju odgovarajuću razinu usluge.

Prvi korak u utvrđivanju zahtjeva je analiza vrste prometa i identifikacija kritičnih aplikacija. U troslojnom dizajnu mreže, različite vrste prometa mogu imati različite zahtjeve za QoS. Na primjer, VoIP i video konferencijske aplikacije zahtijevaju nisku latenciju i minimalno kašnjenje, dok aplikacije za prijenos datoteka mogu tolerirati veće kašnjenje i varijacije u brzini prijenosa. Analizom vrste prometa, mrežni administratori mogu identificirati aplikacije koje su osjetljive na performanse i koje zahtijevaju visoke standarde QoS. Nakon identificiranja ključnih aplikacija, sljedeći korak je definiranje QoS zahtjeva za svaku aplikaciju. Ovo uključuje specifične zahtjeve za propusnost, latenciju, gubitak paketa i jitter. Na primjer, VoIP aplikacije obično zahtijevaju vrlo nisku latenciju (manje od 150 ms) i minimalan gubitak paketa (manje od 1%), dok video streaming aplikacije mogu tolerirati malo veće latencije i gubitak paketa, ali još uvijek zahtijevaju visoku propusnost za neprekidan prijenos videa. Klasifikacija prometa je također ključna komponenta u utvrđivanju zahtjeva za QoS. Klasifikacija uključuje grupiranje prometa u različite klase prema njihovim potrebama za QoS.<sup>27</sup> Na primjer, promet može biti klasificiran u visoki, srednji i niski prioritet, ovisno o njegovom značaju i zahtjevima. Ova klasifikacija omogućava mrežnim administratorima da primjenjuju različite QoS politike na različite klase prometa, osiguravajući da kritične aplikacije dobiju prioritet nad manje važnim prometom. Nakon što su zahtjevi i klasifikacija prometa definirani, sljedeći korak je

---

<sup>25</sup> Beloglavec, I. VoIP tehnologije: Glasovni prijenos putem IP protokola. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2010.

<sup>26</sup> Gary A. Donahue, Network Warrior, 2nd Edition, O'Reilly Media, Inc. 2011.

<sup>27</sup> Ibid.



postavljanje QoS politika koje će osigurati da mrežni promet bude upravljani prema tim zahtjevima. QoS politike uključuju definiranje pravila za upravljanje propusnošću, prioritetizaciju prometa i kontrolu kašnjenja.<sup>28</sup> Na primjer, QoS politika može definirati pravila za rezervaciju određene količine propusnosti za VoIP promet, dok će omogućiti da manje kritični promet koristi preostalu propusnost. Praćenje i evaluacija su ključni za osiguranje da QoS politike ispunjavaju postavljene zahtjeve. Mrežni administratori trebaju redovito pratiti performanse mreže i analizirati kako QoS politike utječu na različite vrste prometa. Ovo uključuje praćenje metrika poput latencije, propusnosti, gubitka paketa i jittera. Na temelju ovih podataka, QoS politike mogu biti prilagođene kako bi se osigurala optimalna razina usluge za sve korisnike i aplikacije.<sup>29</sup>

Utvrđivanje zahtjeva za QoS u troslojnom dizajnu mreže zahtijeva detaljno razumijevanje mrežnog prometa, specifičnih potreba aplikacija i pravila za upravljanje resursima. Kroz preciznu analizu i klasifikaciju prometa, te implementaciju i prilagodbu QoS politika, mrežni administratori mogu osigurati da mreža ispunjava sve zahtjeve korisnika i aplikacija, pružajući visoku kvalitetu usluge i zadovoljstvo korisnika.

### **3.2. Konfiguriranje usmjerivača**

Konfiguriranje usmjerivača za kvalitetu usluge (QoS) u troslojnom dizajnu mreže je ključan korak za osiguranje optimalne mrežne performanse i pravilno upravljanje mrežnim resursima. Usmjerivači, kao centralni uređaji u mrežnom prometu, igraju značajnu ulogu u implementaciji QoS politika koje omogućuju pravilnu prioritzaciju i raspodjelu resursa. Ovaj proces uključuje nekoliko ključnih koraka: definiranje redova čekanja, oblikovanje prometa, upravljanje propusnošću, i kontinuirano praćenje i prilagodbu.<sup>30</sup>

Jedan od prvih koraka u konfiguriranju usmjerivača za QoS je definiranje redova čekanja (queuing). Redovi čekanja su mehanizmi koji upravljaju kako se mrežni paketi obrađuju i prenose kroz usmjerivač. Postoje različite strategije za upravljanje redovima čekanja, a odabir odgovarajuće metode ovisi o specifičnim potrebama mreže i vrsti prometa.<sup>31</sup>

---

<sup>28</sup> Ibid.

<sup>29</sup> Van Beijnum, I. BGP: Building Reliable Networks with the Border Gateway Protocol. Sebastopol: O'Reilly Media, 2002.

<sup>30</sup> Tan, L. & Jammeh, E. Quality of Service in IP Networks: A Tutorial. IEEE, 2018.

<sup>31</sup> Gary A. Donahue, Network Warrior, 2nd Edition, O'Reilly Media, Inc. 2011.

- FIFO (First In, First Out) je najjednostavniji algoritam za upravljanje redovima čekanja, gdje se paketi obrađuju redosljedom kojim su primljeni. Iako je FIFO jednostavan za implementaciju, može biti neefikasan u mrežama s različitim vrstama prometa jer ne uzima u obzir različite prioritete prometa.
- FQ (Weighted Fair Queuing) je napredniji algoritam koji omogućava dodjeljivanje različitih prioriteta različitim vrstama prometa. WFQ dodjeljuje resurse prema težini ili prioritetu, omogućavajući da kritični promet poput VoIP-a i video aplikacija dobije veći prioritet. Ovaj pristup osigurava da važne aplikacije imaju prioritet u obrađivanju paketa, čime se smanjuje kašnjenje i poboljšava ukupna kvaliteta usluge.
- CBWFQ (Class-Based Weighted Fair Queuing) omogućava još precizniju kontrolu nad mrežnim resursima. U CBWFQ, promet se grupira u različite klase, a svakoj klasi dodjeljuju se odgovarajući prioriteti i resursi. Ovaj pristup omogućava mrežnim administratorima da kreiraju pravila za specifične vrste prometa, kao što su VoIP, video streaming i podatkovni promet, i osiguraju da svaki tip prometa dobije odgovarajući nivo usluge.

Nakon definiranja redova čekanja, sljedeći korak u konfiguriranju usmjerivača za QoS je oblikovanje prometa (traffic shaping). Oblikovanje prometa omogućava kontrolu brzine prijenosa podataka kako bi se osiguralo da mreža ne bude preopterećena i da se resursi ravnomjerno raspodjele.<sup>32</sup>

- Rate Limiting je tehnika oblikovanja prometa koja postavlja maksimalnu brzinu prijenosa podataka za određene vrste prometa. Ova metoda omogućava da se ograniči brzina prijenosa za manje kritične aplikacije, čime se osigurava da kritični promet, kao što su VoIP pozivi ili video konferencije, dobije potrebnu propusnost.
- Traffic Policing je još jedan oblik oblikovanja prometa koji se koristi za praćenje i kontrolu brzine prometa. Traffic policing omogućava usmjerivačima da provjere da li promet ispunjava određene standarde i, ako ne, da poduzmu odgovarajuće mjere, kao što je odbacivanje paketa ili smanjenje brzine prijenosa.
- Traffic Shaping koristi tehnike kao što su token bucket ili leaky bucket kako bi se regulirala brzina i tok prometa. Ove tehnike omogućavaju da se promet oblikuje na način koji smanjuje varijacije u brzini i osigurava stabilniji prijenos podataka. Token bucket tehnika, na primjer, koristi "tokene" za kontrolu brzine prijenosa, dopuštajući da se paketi šalju samo ako su dostupni odgovarajući tokeni.

Upravljanje propusnošću (bandwidth management) uključuje dodjeljivanje i kontrolu dostupnih mrežnih resursa kako bi se osigurala optimalna kvaliteta usluge. Ovo uključuje rezervaciju propusnosti i ograničavanje brzine.

Rezervacija propusnosti (bandwidth reservation) omogućava da se određena količina propusnosti rezervira za specifične aplikacije ili usluge. Ovo je posebno važno za aplikacije koje zahtijevaju visoku kvalitetu usluge, kao što su VoIP i video streaming. Rezervacija

---

<sup>32</sup> Ibid.

propusnosti osigurava da ove aplikacije uvijek imaju pristup potrebnim resursima, čak i u uvjetima visoke opterećenosti mreže.

Ograničavanje brzine (rate limiting) omogućava kontrolu maksimalne brzine prijenosa podataka za različite vrste prometa. Ovo pomaže u sprečavanju preopterećenja mreže i osigurava da svi korisnici i aplikacije dobiju odgovarajući nivo usluge.<sup>33</sup>

Kontinuirano praćenje i prilagodba su ključni za osiguranje da QoS politike ispunjavaju postavljene zahtjeve. Mrežni administratori trebaju redovito pratiti performanse mreže i analizirati kako QoS politike utječu na različite vrste prometa. Ovo uključuje praćenje metrika kao što su latencija, propusnost, gubitak paketa i jitter.

Na temelju rezultata praćenja, QoS politike mogu biti prilagođene kako bi se osigurala optimalna razina usluge. Ovo može uključivati promjenu redova čekanja, prilagodbu oblikovanja prometa ili revidiranje politika upravljanja propusnošću. Kontinuirano praćenje omogućava brzo prepoznavanje i rješavanje potencijalnih problema, čime se osigurava stabilna i pouzdana mrežna izvedba.<sup>34</sup> U kontekstu troslojnog dizajna mreže, pravilna konfiguracija usmjerivača za QoS osigurava da mreža ispunjava sve zahtjeve korisnika i aplikacija. Kroz pažljivo definiranje redova čekanja, oblikovanje prometa, upravljanje propusnošću i kontinuirano praćenje, mrežni administratori mogu optimizirati performanse mreže i pružiti visoku kvalitetu usluge za sve korisnike.

---

<sup>33</sup> Alagić, D. & Pavlović, M. Sigurnost i zaštita u računalnim mrežama. Osijek: Sveučilište J.J. Strossmayera, 2007.

<sup>34</sup> Ibid.

#### **4. Preopterećena mreža**

Preopterećenje mreže predstavlja ozbiljan problem u upravljanju kvalitetom usluge (QoS) i može značajno utjecati na performanse mreže i korisničko iskustvo. Kada mreža postane preopterećena, dolazi do smanjenja propusnosti, povećanja latencije, gubitka paketa i jittera, što može imati ozbiljne posljedice za aplikacije koje zahtijevaju visoku kvalitetu usluge. U troslojnom dizajnu mreže, gdje su slojevi pristupa, distribucije i jezgre odgovorni za različite aspekte upravljanja prometom, preopterećenje može nastati iz više razloga i zahtijeva specifične strategije za rješavanje. Preopterećenje mreže može se dogoditi zbog više faktora, uključujući povećani promet, lošu konfiguraciju QoS politika, neadekvatnu propusnost i kvarove na mrežnim uređajima. Također, vanjski faktori kao što su promjene u korisničkim zahtjevima ili povećanje broja korisnika mogu utjecati na mrežnu opterećenost. S obzirom na kompleksnost

modernih mreža, važno je razumjeti kako preopterećenje utječe na različite slojeve mreže i kako učinkovito riješiti problem.<sup>35</sup>

#### **4.1. Utvrđivanje je li mreža preopterećena**

Utvrđivanje da li je mreža preopterećena ključan je korak u upravljanju QoS (Quality of Service) i održavanju optimalne mrežne performanse. Preopterećenje mreže može uzrokovati značajne probleme poput smanjenja propusnosti, povećanja latencije, gubitka paketa i jittersa. Da bi se točno identificiralo preopterećenje, potrebno je provesti detaljnu analizu mrežnih parametara i performansi.

Ovaj proces obuhvaća nekoliko ključnih koraka:<sup>36</sup>

##### **1. Praćenje metrika performansi**

Praćenje metrika performansi uključuje kontinuirano prikupljanje i analizu podataka koji odražavaju stanje mreže. Ključne metrike koje treba pratiti uključuju latenciju koja se odnosi na vrijeme potrebno za prijenos paketa od izvora do odredišta. Povećana latencija može ukazivati na preopterećenje mreže ili zagušenje na određenim mrežnim segmentima. Praćenjem latencije u različitim dijelovima mreže, može se identificirati gdje nastaju uska grla. Propusnost predstavlja količinu podataka koja se može prenijeti kroz mrežu u određenom vremenskom razdoblju. Niska propusnost može ukazivati na to da mreža ne može obraditi sav promet, što može biti rezultat preopterećenja ili neadekvatne infrastrukture. Gubitak paketa nastaje kada paketi podataka ne stignu do odredišta. Ovo može biti posljedica zagušenja, grešaka u prijenosu ili problema s mrežnim uređajima. Visok gubitak paketa je ozbiljan pokazatelj preopterećenja i može značajno utjecati na kvalitetu usluge, posebno za aplikacije u stvarnom vremenu. Jitter se odnosi na varijaciju u latenciji paketa. Visoki jitter može uzrokovati probleme s kvalitetom usluge, posebno za aplikacije poput VoIP-a i video konferencija, gdje stabilnost i dosljednost latencije su ključni.

##### **2. Analiza prometa**

---

<sup>35</sup> Alagić, D. & Pavlović, M. Sigurnost i zaštita u računalnim mrežama. Osijek: Sveučilište J.J. Strossmayera, 2007.

<sup>36</sup> Turk, S. Osnove računalnih mreža i komunikacija. Rijeka: Sveučilište u Rijeci, 2005.

Analiza prometa uključuje pregled različitih vrsta prometa i njihovih obrazaca kako bi se identificirale potencijalne prijetnje preopterećenju. Ova analiza može uključivati različite vrste prometa, kao što su VoIP, video streaming i podatkovni promet, imaju različite zahtjeve za QoS. Identificiranje tipova prometa koji koriste najviše resursa može pomoći u razumijevanju gdje se mreža može preopterećivati. Promjene u obrascima prometa, kao što su nagli skokovi u aktivnosti ili povećanje broja korisnika, mogu dovesti do zagušenja. Analizom tih obrazaca moguće je predvidjeti i spriječiti preopterećenje prije nego što se postane ozbiljan problem. Provjera protokola i aplikacija koje troše najviše resursa može pomoći u prepoznavanju neprikladnih konfiguracija ili neefikasnih aplikacija koje mogu uzrokovati preopterećenje.

### 3. Procjena kapaciteta mreže

Procjena kapaciteta mreže podrazumijeva analizu dostupnih resursa u svakom sloju mreže i usporedbu s trenutnim zahtjevima prometa. Ova procjena uključuje da li postojeće veze imaju dovoljno propusnosti za upravljanje trenutnim i predviđenim prometom. Ako veze ne mogu zadovoljiti zahtjeve, može doći do preopterećenja. Evaluacija performansi mrežnih uređaja, poput usmjerivača i switch uređaja, kako bi se provjerilo mogu li obraditi sav promet bez uskih grla ili zagušenja. Procjena mogućnosti mreže za skaliranje kako bi se zadovoljili budući zahtjevi prometa. Ako mreža ne može lako skalirati, može doći do preopterećenja u budućnosti.<sup>37</sup>

## 4.2. Rješavanje problema

Kada se utvrdi da je mreža preopterećena, sljedeći korak je implementacija rješenja za optimizaciju performansi i vraćanje mreže u normalan radni režim. Ovo uključuje nekoliko ključnih strategija:<sup>38</sup>

### 1. Unapređenje QoS politika

Unapređenje QoS politika može uključivati:

- Reviziju prioriteta: Povećanje prioriteta za kritične aplikacije koje zahtijevaju visoku kvalitetu usluge, kao što su VoIP i video konferencije. Ovo može uključivati redefiniranje klasa prometa i pravila za upravljanje resursima.

---

<sup>37</sup> Ibid.

<sup>38</sup> Alagić, D. & Pavlović, M. Sigurnost i zaštita u računalnim mrežama. Osijek: Sveučilište J.J. Strossmayera, 2007.

- Rezervaciju propusnosti: Povećanje rezervacije propusnosti za aplikacije koje su osjetljive na latenciju i gubitak paketa. Ovo može pomoći u osiguravanju da kritični promet ima pristup potrebnim resursima čak i u uvjetima visoke opterećenosti.
- Prilagodbu QoS pravila: Ažuriranje QoS pravila kako bi se bolje uskladila s trenutnim potrebama prometa i smanjila mogućnost preopterećenja.

## 2. Optimizacija mrežne infrastrukture

Optimizacija mrežne infrastrukture može uključivati:

- Nadogradnju mrežnih uređaja: Zamjena starih ili neadekvatnih usmjerivača, switch uređaja i drugih mrežnih komponenti s novijim modelima koji podržavaju veće brzine prijenosa i bolje performanse.
- Povećanje kapaciteta veza: Dodavanje novih mrežnih veza ili proširenje postojećih veza kako bi se povećala ukupna propusnost mreže i smanjila mogućnost zagušenja.
- Optimizaciju konfiguracije: Pregled i poboljšanje konfiguracije mrežnih uređaja kako bi se povećala učinkovitost i smanjila mogućnost preopterećenja.

## 3. Implementacija dodatnih resursa

Implementacija dodatnih resursa može uključivati:

- Dodavanje novih poslužitelja: Instaliranje dodatnih poslužitelja kako bi se raspodijelio promet i smanjilo opterećenje na postojeće resurse.
- Povećanje mrežnih kapaciteta: Uvođenje novih mrežnih uređaja i resursa za podršku većim prometnim zahtjevima i smanjenje zagušenja.
- Uvođenje opreme za balansiranje opterećenja: Korištenje load balancera za ravnomjerno raspodjeljivanje prometa između različitih resursa i sprječavanje preopterećenja pojedinih dijelova mreže.

## 4. Praćenje i prilagodba

Praćenje i prilagodba su ključni za osiguranje da rješenja koja su implementirana budu učinkovita:

- Kontinuirano praćenje: Postavljanje alata za nadzor koji omogućuju praćenje performansi mreže u stvarnom vremenu. Ovo omogućava brzu identifikaciju novih problema i pravovremeno reagiranje na promjene u uvjetima mreže.
- Analiza rezultata: Redovita analiza rezultata praćenja kako bi se ocijenila učinkovitost implementiranih rješenja i utvrdilo da li su postignuti željeni rezultati.
- Prilagodba strategija: Temeljito prilagođavanje strategija i QoS politika na temelju rezultata praćenja i analize. Ovo može uključivati promjene u konfiguraciji, dodavanje novih resursa ili optimizaciju postojećih rješenja.<sup>39</sup>

Kroz pažljivo planiranje i implementaciju rješenja za preopterećenje, mrežni administratori mogu osigurati da mreža ostane učinkovita i da svi korisnici i aplikacije dobiju odgovarajuću kvalitetu usluge.

---

<sup>39</sup> Ibid.

## 5. Konvergirana mreža

Konvergirana mreža je sveobuhvatan mrežni dizajn koji spaja različite vrste prometa, uključujući podatke, glas i video, unutar jedinstvene infrastrukture. Ova integracija omogućuje mrežnim administratorima da optimiziraju upotrebu resursa, smanjuju redundanciju i poboljšaju ukupnu učinkovitost mreže. Osim što smanjuje troškove, konvergirana mreža olakšava upravljanje i održavanje jer umjesto niza odvojenih mreža koristi jedinstvenu platformu koja podržava sve vrste komunikacija. Međutim, ovaj pristup dolazi s vlastitim skupom izazova, posebno u pogledu upravljanja kvalitetom usluge (QoS). U konvergiranim mrežama, različite vrste prometa mogu imati različite zahtjeve za performansama, što može otežati osiguranje dosljedne i visoke razine QoS za sve korisnike. Na primjer, video i glasovni promet zahtijevaju nisku latenciju i stabilnost, dok podatkovni promet može biti manje osjetljiv na kašnjenje.<sup>40</sup> Da bi se osiguralo da sve vrste prometa funkcioniraju optimalno, važno je razumjeti specifične potrebe svake vrste prometa i implementirati adekvatne QoS politike. Ova sekcija će detaljno obraditi ključne aspekte konvergiranih mreža, uključujući konfiguraciju mreže za podršku različitim vrstama prometa, metode za praćenje QoS kako bi se identificirali i riješili potencijalni problemi, te strategije za rješavanje izazova specifičnih za konvergirane mreže. U tom kontekstu, bit će obuhvaćeni i alati i tehnike za osiguranje da mreža može efikasno upravljati svim vrstama prometa i pružiti visoku kvalitetu usluge bez obzira na složenost infrastrukture.

---

<sup>40</sup> Beloglavec, I. VoIP tehnologije: Glasovni prijenos putem IP protokola. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2010.



## 5.1. Konfiguracija

Konfiguracija konvergirane mreže je ključna za postizanje optimalne performanse i osiguranje da sve vrste prometa – uključujući podatke, glas i video – funkcioniraju skladno unutar jedinstvene infrastrukture.<sup>41</sup>

Ovaj proces zahtijeva detaljno planiranje, preciznu implementaciju i stalno praćenje kako bi se osigurala visoka kvaliteta usluge.

1. Planiranje mrežne infrastrukture: Planiranje konvergirane mreže počinje analizom trenutnih i budućih potreba organizacije. Ovo uključuje procjenu prometa koji će se prenositi kroz mrežu, uključujući količinu podataka, glasovne pozive i video streamove. Važno je odrediti kapacitet mreže koji će biti potreban kako bi se zadovoljili svi zahtjevi. Ovo često uključuje predviđanje rasta prometa i planiranje za skalabilnost mreže.

2. Dizajn QoS politika: QoS politike su osnovne za osiguranje da različite vrste prometa dobiju odgovarajuće prioritete i resurse. Dizajn QoS politika uključuje definiranje različitih klasa prometa i pravila za raspodjelu resursa. Na primjer, video i glasovni promet mogu biti klasificirani kao visoki prioritet, dok se podatkovni promet može klasificirati kao niži prioritet. Ovo omogućava mrežnim uređajima da pravilno upravljaju propusnošću, latencijom i jitterom za svaku klasu prometa.

3. Konfiguracija mrežnih uređaja: Nakon dizajniranja QoS politika, sljedeći korak je konfiguracija mrežnih uređaja kao što su usmjerivači, switchevi i firewall uređaji. Ovo uključuje postavljanje pravila za upravljanje prometom, implementaciju oznaka za označavanje prometa prema QoS klasama, i konfiguriranje politika za usmjeravanje prometa. Uređaji moraju biti sposobni za prepoznavanje i primjenu QoS politika, što može uključivati postavljanje prioriteta i ograničenja na temelju oznaka prometa (npr. DSCP ili 802.1p).

4. Integracija s postojećom infrastrukturom: Konvergirana mreža često mora biti integrirana s postojećom infrastrukturom. Ovo može uključivati povezivanje sa starijim mrežnim komponentama i sustavima koji možda ne podržavaju moderne QoS politike. U tim

---

<sup>41</sup> Dukić, G. Uvod u telekomunikacijske mreže. Zagreb: Element, 2003.

slučajevima, može biti potrebno implementirati rješenja koja omogućuju interoperabilnost, kao što su mjerne ploče za QoS ili rješenja za prilagodbu prometa.

5. Testiranje i optimizacija: Nakon što je mreža konfigurirana, važno je provesti opsežno testiranje kako bi se osiguralo da sve QoS politike i konfiguracije rade prema očekivanjima. Testiranje uključuje simulaciju različitih scenarija prometa, analizu performansi i provjeru da li su postavljene QoS politike pravilno primijenjene. Na temelju rezultata testiranja, mogu se provesti dodatne optimizacije kako bi se poboljšala učinkovitost i stabilnost mreže.

6. Dokumentacija i obuka: Dokumentacija svih konfiguracija i politika je ključna za održavanje i buduće nadogradnje mreže. Osim toga, obuka mrežnih administratora i korisnika o novim konfiguracijama i politikama pomaže u osiguravanju da svi sudionici razumiju kako koristiti i upravljati konvergiranim mrežom.<sup>42</sup>

## **5.2. Praćenje kvalitete usluge**

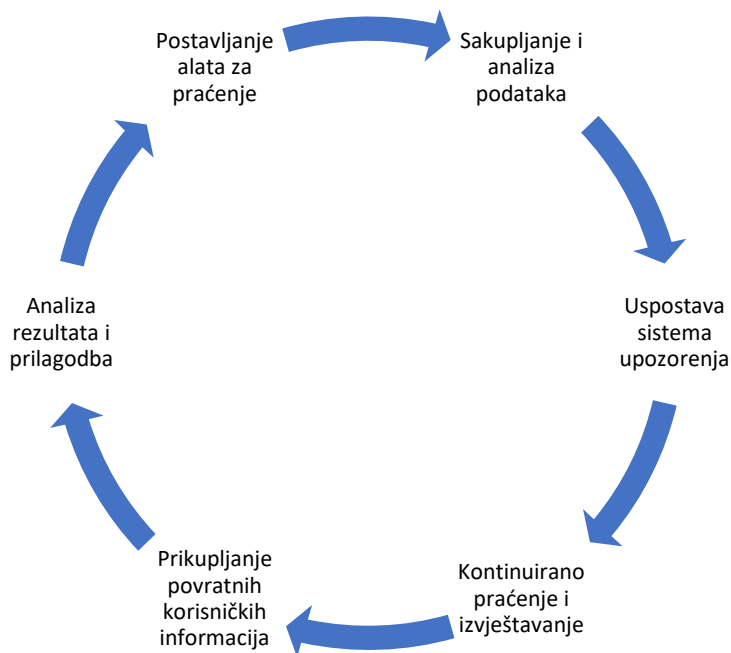
Praćenje kvalitete usluge (QoS) u konvergiranim mrežama je presudno za održavanje optimalnih performansi svih vrsta prometa. Ova aktivnost omogućuje mrežnim administratorima da nadgledaju i analiziraju kako različiti tipovi prometa koriste mrežne resurse i da pravovremeno reagiraju na bilo kakve nepravilnosti ili degradacije u kvaliteti usluge.<sup>43</sup>

*Shema 2. Proces praćenja kvalitete usluge*

---

<sup>42</sup> Vishwanath, A. & Venkataraman, N. Quality of Service and Multi-service Networks. Hoboken: Wiley, 2013.

<sup>43</sup> Davis, A. & Trost, S. IP Quality of Service. Indianapolis: Cisco Press, 2003.



Izvor: Izrada autora

Prvi korak u praćenju QoS je odabir i implementacija odgovarajućih alata. Ovi alati mogu uključivati softverske rješenja kao što su NetFlow analize, SNMP monitori, i alati specijalizirani za QoS. Ovi alati omogućuju prikupljanje podataka o različitim mrežnim parametrima kao što su propusnost, latencija, jitter i gubitak paketa.

Nakon implementacije alata, sakupljanje podataka postaje ključni zadatak. Praćenje podataka uključuje prikupljanje metrika performansi za sve vrste prometa unutar mreže. Ovi podaci se zatim analiziraju kako bi se identificirali obrasci i trendovi koji mogu ukazivati na probleme. Analizom latencije, jittera, propusnosti i gubitka paketa, mrežni administratori mogu dobiti uvid u to kako različiti tipovi prometa utječu na kvalitetu usluge.<sup>44</sup>

Postavljanje sistema za upozorenja i obavijesti omogućava pravovremenu reakciju na probleme. Ovi sistemi mogu automatski obavještavati mrežne administratore o odstupanjima od normalnih performansi ili o pojavi grešaka. Upozorenja mogu biti konfigurirana za različite razine ozbiljnosti, što omogućuje prioritizaciju odgovora na kritične probleme.

Kontinuirano praćenje mrežnih performansi pomaže u održavanju stabilnosti i kvalitete usluge. Redoviti izvještaji o QoS performansama pružaju detaljan uvid u stanje mreže i omogućuju administratorima da pravovremeno donesu odluke o potrebnim promjenama ili prilagodbama.

<sup>44</sup> Handley, M., Jacobson, V. & Perkins, C. SDP: Session Description Protocol. IETF RFC 4566, 2006.

Ovi izvještaji mogu uključivati grafičke prikaze, statistike i analize koje pomažu u razumijevanju trenutačnih performansi mreže.<sup>45</sup>

Prćenje korisničkog iskustva može pružiti dodatne informacije o QoS. Povratne informacije korisnika pomažu u razumijevanju stvarnih problema koji možda nisu očigledni iz tehničkih metrika. Analizom korisničkih pritužbi i sugestija, mrežni administratori mogu dodatno prilagoditi QoS politike i mrežnu konfiguraciju kako bi poboljšali iskustvo krajnjih korisnika.

Na temelju prikupljenih podataka i povratnih informacija, može biti potrebno prilagoditi QoS politike ili konfiguraciju mreže. Ova prilagodba može uključivati promjene u prioritetima prometa, optimizaciju mrežnih resursa ili ažuriranje mrežnih uređaja. Stalna analiza i prilagodba pomažu u održavanju optimalnih performansi mreže.

### 5.3. Rješavanje problema u konvergiranoj mreži

Rješavanje problema u konvergiranim mrežama zahtijeva metodičan pristup kako bi se osigurala visoka kvaliteta usluge i stabilnost mreže. Problemi u konvergiranim mrežama mogu biti kompleksni zbog integracije različitih vrsta prometa i infrastrukture, stoga je važno primijeniti učinkovite strategije za otkrivanje i rješavanje problema.

Prvi korak u rješavanju problema je identificiranje uzroka. To može uključivati analizu mrežnih metrika, provjeru performansi i evaluaciju mrežnih uređaja. Identifikacija uzroka problema može uključivati analizu latencije, jittera, propusnosti i gubitka paketa. Na temelju analize, mrežni administratori mogu utvrditi da li su problemi uzrokovani lošom konfiguracijom QoS politika, preopterećenjem mreže ili kvarom mrežnih uređaja.

Nakon identificiranja uzroka problema, potrebno je primijeniti odgovarajuća rješenja. Ovisno o prirodi problema, ovo može uključivati:<sup>46</sup>

- Prilagodbu QoS politika: Ako problemi nastaju zbog neadekvatnog upravljanja prometom, može biti potrebno prilagoditi QoS politike. Ovo može uključivati redefiniranje klasa prometa, prilagodbu pravila za raspodjelu resursa ili promjenu prioriteta prometa.
- Optimizaciju mrežne infrastrukture: Ako su mrežni uređaji ili veze uzrok problema, može biti potrebno optimizirati ili nadograditi infrastrukturu. Ovo može uključivati

---

<sup>45</sup> Vishwanath, A. & Venkataraman, N. Quality of Service and Multi-service Networks. Hoboken: Wiley, 2013.

<sup>46</sup> Norton, W. The Internet Peering Playbook: Connecting to the Core of the Internet. DrPeering Press, 2011.

dodavanje novih mrežnih veza, nadogradnju usmjerivača i switch uređaja, ili poboljšanje konfiguracije postojećih uređaja.

- Povećanje resursa: Ako je problem uzrokovan preopterećenjem mreže, može biti potrebno povećati mrežne resurse. Ovo može uključivati proširenje propusnosti veze, dodavanje novih mrežnih putanja ili povećanje kapaciteta servera.

Nakon implementacije rješenja, važno je provesti testiranje kako bi se provjerilo jesu li problemi riješeni. Testiranje uključuje ponovno analiziranje mrežnih performansi, provjeru QoS politika i testiranje korisničkog iskustva. Ovaj korak pomaže u osiguravanju da primijenjena rješenja učinkovito rješavaju probleme i da mreža ponovno funkcionira prema očekivanjima.

Dokumentiranje rješenja i koraka poduzetih u rješavanju problema pomaže u budućim intervencijama. Također, obuka mrežnih administratora o novim rješenjima i strategijama za rješavanje problema može poboljšati njihovu sposobnost da se nosi s budućim izazovima. Kvalitetna dokumentacija i obuka mogu značajno ubrzati rješavanje sličnih problema u budućnosti.

Nakon rješavanja problema, kontinuirano praćenje performansi mreže pomaže u prepoznavanju i sprječavanju mogućih novih problema. Redovito praćenje i analiza omogućuju proaktivno upravljanje mrežom i pravovremeno rješavanje problema prije nego što postanu kritični.

Kroz ove korake, mrežni administratori mogu učinkovito rješavati probleme u konvergiranim mrežama i osigurati visoku kvalitetu usluge za sve vrste prometa.

## **6. Studija slučaja „Valamar Riviera“**

Valamar Riviera d.d. je jedan od vodećih hotelijerskih lanaca u Hrvatskoj, s dugogodišnjim iskustvom u pružanju visokokvalitetnih usluga svojim gostima. Sa sjedištem u Poreču, Valamar upravlja brojnim hotelima i resortima diljem Hrvatske, uključujući obalu Istre i Dalmacije. Ovaj hotelijerski lanac poznat je po svojoj ponudi luksuznih smještajnih jedinica, restorana, wellness centara i brojnih rekreativnih sadržaja. Kao veliki hotelijerski lanac, Valamar se suočava s kompleksnim izazovima u upravljanju mrežnom infrastrukturom koja mora podržavati različite vrste prometa, uključujući podatke, glas i video, te osigurati visoku kvalitetu usluge za svoje goste i osoblje.<sup>47</sup>

### **6.1. Primjer iz prakse „Valamar Riviera“**

U kontekstu prioritizacije IP paketa i planiranja kvalitete usluge (QoS), Valamar je implementirao konvergiranu mrežu kako bi poboljšao efikasnost i performanse svojih usluga.

---

<sup>47</sup> Valamar Riviera d.d. *O nama*. valamar-riviera.com  
Dostupno na: <https://www.valamar-riviera.com/hr/o-nama> (Pristupljeno: 03. kolovoza 2024.)

Ovo uključuje integraciju različitih mrežnih usluga unutar jedne infrastrukture kako bi se optimiziralo upravljanje resursima i poboljšala korisnička iskustva. Konvergirana mreža u Valamarovim objektima mora zadovoljiti zahtjeve za visoku dostupnost i pouzdanost kako bi podržala zahtjevne usluge kao što su streaming video sadržaja u sobama, VoIP (glas preko IP-a) usluge i pristup internetu za goste i osoblje.<sup>48</sup>

U ovoj studiji slučaja, analizirat ćemo kako Valamar primjenjuje QoS politike i tehnike prioritizacije IP paketa kako bi osigurao visoku kvalitetu usluge u svojoj mrežnoj infrastrukturi. Fokusirat ćemo se na konkretne primjere implementacije QoS, izazove s kojima se Valamar suočava i rezultate postignute primjenom tih tehnika.

## 6.2. Analiza rezultata

U analizi rezultata primjene QoS politika i prioritizacije IP paketa u Valamarovim hotelima, možemo vidjeti značajne koristi i poboljšanja u kvaliteti usluge. Valamar je implementirao nekoliko ključnih strategija kako bi poboljšao performanse mreže i zadovoljio potrebe svojih gostiju i osoblja, a one su:<sup>49</sup>

1. Implementacija QoS politika: Valamar je implementirao QoS politike za prioritizaciju različitih vrsta prometa. Na primjer, video streaming usluge i VoIP pozivi su klasificirani kao visok prioritet, dok je podatkovni promet, kao što je preuzimanje e-mailova i pristup internetskim stranicama, klasificiran kao niži prioritet. Ove QoS politike omogućuju mrežnim uređajima da dodjeljuju resurse na način koji minimizira kašnjenje i jitter za kritične usluge, dok se podatkovni promet upravlja na učinkovit način koji ne ometa performanse ključnih usluga.

2. Praćenje i optimizacija: Nakon implementacije QoS politika, Valamar je uspostavio sustav za praćenje performansi mreže. Ovaj sustav omogućuje praćenje latencije, propusnosti i gubitka paketa u stvarnom vremenu. Praćenje je pomoglo u identifikaciji područja koja zahtijevaju dodatnu optimizaciju, kao što su preopterećene veze ili neadekvatno konfigurirani mrežni uređaji. Analizom rezultata praćenja, Valamar je mogao pravovremeno reagirati na probleme i prilagoditi QoS politike kako bi poboljšao ukupnu kvalitetu usluge.

---

<sup>48</sup> Valamar Riviera d.d. Tehnologija i inovacije. [valamar-riviera.com](https://www.valamar-riviera.com)

Dostupno na: <https://www.valamar-riviera.com/hr/tehnologija-inovacije> (Pristupljeno: 04. kolovoza 2024.)

<sup>49</sup> Ibid.

3. Rješavanje problema: Kroz praćenje i analizu performansi, Valamar je identificirao nekoliko ključnih izazova u svojoj mrežnoj infrastrukturi. Jedan od glavnih izazova bio je balansiranje opterećenja između različitih vrsta prometa kako bi se osiguralo da nijedna usluga ne pati zbog nedostatka resursa. Problemi poput preopterećenja veza i visokog jittera za video usluge bili su identificirani i riješeni putem dodatne optimizacije i nadogradnje mrežnih uređaja.

4. Korisničko iskustvo: Kao rezultat implementacije QoS politika i optimizacije mreže, Valamar je izvijestio o poboljšanjima u korisničkom iskustvu. Gosti su imali bolje iskustvo s video streamingom i VoIP uslugama, dok je osoblje imalo stabilan i pouzdan pristup mrežnim resursima za upravljanje operacijama hotela. Poboľjšano korisničko iskustvo dovelo je do većeg zadovoljstva gostiju i bolje ocjene usluga hotela.<sup>50</sup>

5. Povratne informacije i daljnje prilagodbe: Povratne informacije od gostiju i osoblja ukazale su na potrebu za daljnjim prilagodbama QoS politika i mrežne konfiguracije. Valamar je kontinuirano prikupljao povratne informacije kako bi unaprijedio svoje QoS strategije i mrežnu infrastrukturu. Ove prilagodbe su osigurale da mreža ostane učinkovita i u skladu s promjenjivim potrebama korisnika i tehnologije.

Na temelju ove analize, može se zaključiti da su implementacija QoS politika i tehnike prioritizacije IP paketa značajno poboljšali performanse i kvalitetu usluge u Valamarovim hotelima. Kroz pažljivo planiranje, praćenje i prilagodbu, Valamar je uspio optimizirati svoju konvergiranu mrežu i pružiti visoku kvalitetu usluge svojim gostima i osoblju.

---

<sup>50</sup> Valamar Riviera d.d. Održivost i društvena odgovornost. [valamar-riviera.com](https://www.valamar-riviera.com)  
Dostupno na: <https://www.valamar-riviera.com/hr/odrzivost> (Pristupljeno: 03. kolovoza 2024.)



## **7. Zaključak**

U ovom radu razmatrani su ključni aspekti prioritizacije IP paketa i planiranja kvalitete usluge (QoS) unutar troslojnog dizajna mreže, s posebnim naglaskom na konvergirane mreže i njihovu implementaciju u stvarnim okruženjima. Fokus je bio na analizi kako QoS može optimizirati upravljanje mrežnim resursima i poboljšati performanse mreže, s primjerom primjene u hotelu Valamar Riviera d.d.

Kroz uvod, definirani su osnovni pojmovi QoS i njihova važnost za moderni mrežni dizajn. Kvaliteta usluge (QoS) predstavlja sposobnost mreže da osigura dosljednu i visoku razinu usluge za različite vrste prometa, uključujući podatke, glas i video. Različiti tipovi QoS, kao što su Best-Effort, Integrated Services (IntServ) i Differentiated Services (DiffServ), analizirani su kako bi se razumjelo na koji način svaki pristup može utjecati na optimizaciju mrežnih resursa i poboljšanje performansi. Mehanizmi QoS, uključujući upravljanje propusnošću, kontrolu latencije, upravljanje gubitkom paketa i kontrolu jittera, razrađeni su kako bi se identificirali ključni faktori za održavanje visoke kvalitete usluge. Također su razjašnjene česte zablude o QoS, poput pretpostavke da QoS rješava sve mrežne probleme ili da je namijenjen samo velikim mrežama. U dijelu o dizajniranju sheme za QoS, analizirani su

koraci potrebni za utvrđivanje zahtjeva i konfiguriranje usmjerivača. Utvrđivanje zahtjeva uključuje detaljnu analizu prometa i identifikaciju potreba za različitim vrstama usluga, dok konfiguriranje usmjerivača uključuje postavljanje QoS politika koje omogućuju pravilnu raspodjelu resursa i prioritizaciju prometa. Implementacija ovih koraka ključna je za uspjeh QoS strategije i omogućava mreži da učinkovito upravlja različitim vrstama prometa, pružajući visoku kvalitetu usluge. U kontekstu preopterećenih mreža, analizirani su načini za utvrđivanje i rješavanje problema. Utvrđivanje je li mreža preopterećena uključuje analizu performansi i prepoznavanje simptoma preopterećenja, kao što su visoka latencija i gubitak paketa. Rješavanje problema zahtijeva primjenu strategija za optimizaciju mreže, uključujući prilagodbu QoS politika, povećanje resursa i optimizaciju mrežnih putanja. Kontinuirano praćenje i prilagodba su ključni za održavanje stabilnosti mreže i osiguranje visoke kvalitete usluge.

Kod konvergiranih mreža, analizirani su ključni aspekti konfiguracije, praćenja QoS i rješavanja problema. Konvergirana mreža integrira različite vrste prometa u jedinstvenu infrastrukturu, omogućujući bolju učinkovitost i manju kompleksnost u upravljanju. Konfiguracija mreže za podršku različitim vrstama prometa zahtijeva postavljanje QoS politika, upravljanje resursima i optimizaciju mrežnih uređaja. Praćenje QoS pomaže u identifikaciji problema i omogućuje pravovremenu reakciju na odstupanja, dok rješavanje problema zahtijeva metodičan pristup i kontinuirano praćenje kako bi se osigurala visoka kvaliteta usluge.

Studija slučaja hotela Valamar pružila je konkretan primjer primjene QoS politika u stvarnom okruženju. Analizirani su rezultati implementacije QoS politika i optimizacije mreže, koji su pokazali značajna poboljšanja u korisničkom iskustvu i učinkovitosti mreže. Implementacija QoS i tehnike prioritizacije IP paketa omogućile su Valamaru da pruži visoku kvalitetu usluge svojim gostima i osoblju, dok su kontinuirano praćenje i prilagodba osigurali da mreža ostane učinkovita i u skladu s promjenjivim potrebama korisnika. Zaključno, pravilna implementacija QoS i prioritizacija IP paketa su ključni za optimizaciju mrežnih resursa i poboljšanje kvalitete usluge u složenim mrežnim okruženjima. Organizacije, poput Valamara, mogu značajno poboljšati performanse svojih mreža i zadovoljstvo korisnika primjenom pažljivo dizajniranih QoS politika i učinkovitim upravljanjem mrežom.

## Literatura

### Knjige

1. Alagić, D. & Pavlović, M. Sigurnost i zaštita u računalnim mrežama. Osijek: Sveučilište J.J. Strossmayera, 2007.
2. Beloglavec, I. VoIP tehnologije: Glasovni prijenos putem IP protokola. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2010.
3. Cifrek, M. Računalne mreže i protokoli: Pristup i međumrežno povezivanje. Zagreb: Element, 2001.
4. Davis, A. & Trost, S. IP Quality of Service. Indianapolis: Cisco Press, 2003.
5. Gary A. Donahue, Network Warrior. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2011.
6. Dukić, G. Uvod u telekomunikacijske mreže. Zagreb: Element, 2003.
7. Klein, T. Računalne mreže: Organizacija i protokoli. Zagreb: FER, 2004.
8. Norton, W. The Internet Peering Playbook: Connecting to the Core of the Internet. DrPeering Press, 2011.
9. Peraković, D. Kvaliteta usluge u telekomunikacijskim mrežama. Zagreb: Hrvatska akademija tehničkih znanosti, 2011.
10. Szigeti, T., Hattingh, C., Barton, R. & Briley, K. End-to-End QoS Network Design. 2nd ed. Indianapolis: Cisco Press, 2014.
11. Turk, S. Osnove računalnih mreža i komunikacija. Rijeka: Sveučilište u Rijeci, 2005.

12. Van Beijnum, I. BGP: Building Reliable Networks with the Border Gateway Protocol. Sebastopol: O'Reilly Media, 2002.
13. Vishwanath, A. & Venkataraman, N. Quality of Service and Multi-service Networks. Hoboken: Wiley, 2013.

#### Članci

1. Handley, M., Jacobson, V. & Perkins, C. SDP: Session Description Protocol. IETF RFC 4566, 2006.
2. Tan, L. & Jammeh, E. Quality of Service in IP Networks: A Tutorial. IEEE, 2018.
3. Zhang, L., Paxson, V. & Shenker, S. The Quest for Quality of Service on the Internet. In: Proceedings of the IEEE, vol. 88, no. 12, 2000.

#### Internetski izvori

1. Valamar Riviera d.d. O nama. valamar-riviera.com, dostupno na: <https://www.valamar-riviera.com/hr/o-nama>
2. Valamar Riviera d.d. Održivost i društvena odgovornost. valamar-riviera.com, dostupno na: <https://www.valamar-riviera.com/hr/odrzivost>
3. Valamar Riviera d.d. Tehnologija i inovacije. valamar-riviera.com, dostupno na: <https://www.valamar-riviera.com/hr/tehnologija-inovacije>

## **Prioritization of IP Packets and Quality of Service Planning in a Three-Layer Network Design**

### **SUMMARY**

This paper explores IP packet prioritization and quality of service (QoS) planning within a three-layer network design, with a particular focus on converged networks and their impact on network performance. The paper provides a detailed analysis of different QoS types, including Best-Effort, Integrated Services (IntServ), and Differentiated Services (DiffServ), as well as mechanisms such as bandwidth management, latency control, and packet loss management. The focus is on the implementation of QoS in a real-world environment through a case study of the Valamar hotel chain, where specific challenges and solutions are analyzed. Strategies for managing overloaded networks, including performance monitoring and resource optimization, are discussed. The study's results demonstrate how the proper application of QoS policies can enhance user experience and network efficiency in converged environments. In conclusion, the paper provides insight into the importance of QoS in modern network designs and its benefits for complex network infrastructures.

*Keywords:* QoS, IP packet prioritization, converged network, network design, Valamar

## POPIS SHEMA

<a href="#">Shema 1. Dizajniranje sheme za kvalitetu usluge kod troslojnog dizajna</a> .....	15
<a href="#">Shema 2. Proces praćenja kvalitete usluge</a> .....	27
<a href="#">Slika 1. Jednostavna mreža u dvije zgrade</a> .....	4
<a href="#">Slika 2. Hijerarhijski model mreže</a> .....	5
<a href="#">Slika 3. TOS polje IP paketa</a> .....	7
<a href="#">Slika 4. TOS polje</a> .....	8
<a href="#">Slika 5. Struktura DS polja</a> .....	9
<a href="#">Slika 6. Različite decimalne vrijednosti ovise o broju značajnih bitova u TOS polju</a> .....	10