# Uvođenje prometnog inženjerstva u višeuslužnim mrežama za osiguranje kvalitete usluge

**Bahnjik, Dino**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:462803

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-28**



*Repository / Repozitorij:*

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository








**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Dino Bahnjik**

# UVOĐENJE PROMETNOG INŽENJERSTVA U VIŠEUSLUŽNIM MREŽAMA ZA OSIGURANJE KVALITETE USLUGE

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb, 2018.**

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

# DIPLOMSKI RAD

## UVOĐENJE PROMETNOG INŽENJERSTVA U VIŠEUSLUŽNIM MREŽAMA ZA OSIGURANJE KVALITETE USLUGE

## INTRODUCING TRAFFIC ENGINEERING IN MULTISERVICE NETWORKS FOR QUALITY OF SERVICE ASSURANCE

Mentor: doc. dr. sc. Marko Matulin

Student: Dino Bahnjik

JMBAG: 0135218680

Zagreb, rujan 2018.

**Sažetak**

Ovaj rad podijeljen je u dvije glavne cjeline. Prva i opsežnija cjelina ovog rada orijentirana je na predstavljanje višeuslužnih mreža i koncepta kvalitete usluge u takvim mrežama. Također, iznesen je problem heterogenosti mreža koji otežava osiguranje kvalitete usluge od kraja do kraja te su prikazani neki od mehanizama za rješavanje tog problema.

U drugoj cjelini rada provedena je analiza vremena čekanja paketa u čvoru višeuslužne mreže ovisno o njihovoj duljini, kapacitetu kanala i metodi dodjele kapaciteta. Analiza je sprovedena pomoću simulacije u alatu Microsoft Excel gdje su simulirana 3 čvora povezana sa različitim kapacitetima linkova nakon čega je bilo izračunato vrijeme čekanja pojedinog paketa. Rezultat simulacije su grafovi iz kojih su izneseni zaključci za odabir metode dodjele kapaciteta.

Ključne riječi: Višeuslužna mreža; kvaliteta usluge; heterogene mreže; First come first served (FSFS); Differentiated Services (DiffServ); Integrated Services (IntServ)

**Summary**

This thesis is separated in two main units. The first and the wider part of this thesis is oriented on presentation multiservice networks and concept of quality of service in such networks. Also, the problem of heterogeneity networks that hinders the end-to-end quality of service and some of the mechanisms to prevent this problem are presented.

In the second part of this thesis an analysis of package waiting time in the multi-service network has been conducted, depending on the average package length, capacity of the link and method for capacity allocation. The analysis was carried out using Excell for simulation three nodes which are associated with different connection capacities after which the waiting time of particular packet was calculated. The result of the simulation are the graphs from which the conclusion of the selection of the capacity allocation method are presented.

Keywords: multi-service networks; quality of service, heterogeneous networks; First come first served (FSFS); Differentiated Services (DiffServ); Integrated Services (IntServ)

SADRŽAJ:


1. UVOD ..... 1
2. ZNAČAJKE VIŠEUSLUŽNIH MREŽA ..... 3
2.1. Osnovni koncept višeuslužnih mreža ..... 4
2.2. Razvoj višeuslužnih mreža ..... 4
2.2.1. OSI referentni model ..... 5
2.2.2. TCP/IP model ..... 7
2.2.3. Usporedba OSI referentnog modela i TCP/IP modela ..... 8
2.2.4. Prednosti i nedostatci OSI i TCP/IP referentnih modela ..... 9
3. KONCEPT KVALITETE USLUGE ..... 11
3.1. Metode ispitivanja kvalitete usluge ..... 12
3.1.1. Subjektivna metoda ispitivanja kvalitete usluge ..... 12
3.1.2. Objektivna metoda ispitivanja kvalitete usluge ..... 13
3.2. SLA (Service Level Agreement) ..... 15
3.3. Parametri QoS-a ..... 16
3.3.1. Kašnjenje ..... 16
3.3.2. Kolebanje kašnjenja ..... 17
3.3.3. Gubitak paketa ..... 18
3.3.4. Propusnost ..... 19
4. ZAHTIJEVI RAZLIČITIH APLIKACIJA ..... 21
4.1. QoS zahtjevi podatkovnih aplikacija ..... 21
4.2. QoS zahtjevi kod glasovnih aplikacija ..... 22
4.3. QoS zahtjevi kod video aplikacija ..... 23
5. QoS S KRAJA NA KRAJ U HETEROGENIM MREŽAMA ..... 25
5.1. Povezivanje različitih mreža ..... 25
5.2. QoS preko heterogenih mreža ..... 25
5.3. Načini međusobnog povezivanja mreža ..... 29
5.4. Tuneliranje ..... 32
5.5. Rutiranje u heterogenoj mreži ..... 32
6. PROMETNO INŽINJERSTVO I KVALITETA USLUGE ..... 34
6.1. Osnovni mehanizmi QoS-a ..... 34
6.1.1. IntServ mehanizmi ..... 34
6.1.2. DiffServ mehanizmi ..... 35

7. ANALIZA PERFORMANSI MEHANIZAMA ZA OSIGURANJE KVALITETE USLUGE ..... 37
7.1. Prosječno vrijeme čekanja paketa u BestEffort i DifServ mreži ..... 39
7.2. Distribucija čekanja paketa ..... 40
7.3. Akumulirano čekanje ..... 41
7.4. Čekanje pojedinih paketa ..... 41
8. ZAKLJUČAK ..... 43
LITERATURA ..... 44
POPIS KRATICA ..... 46
POPIS SLIKA ..... 49

# 1. UVOD

Kako u današnje vrijeme sve više rastu brzine prijenosa podataka u fiksnim i mobilnim višeuslužnim mrežama, ključni preduvjet je stvaranje uvjeta za pouzdan i siguran rad mreže kroz implementaciju odgovarajućih mehanizama upravljanja, kontrole i zaštite i osiguranje različitih razina kvalitete (*Quality of Service* - QoS) što je bitno za postizanje korisničkog zadovoljstva nekom uslugom koje pružaju višeuslužne mreže. Iako su QoS parametri za određene vrste usluga poznati (granične vrijednosti gubitka paketa, kašnjenja, kolebanja kašnjenja), Internet mreža i dalje osigurava uslugu prijenosa podataka na modelu usluge najbolje mogućom (engl. *Best Effort*). Značajke takvog načina posluživanja su da se ne pravi nikakva razlika između korisnika i aplikacija, i dovoljno je dobro za elastični promet, kao što je e-mail, prijenos datoteka i web promet. Te aplikacije imaju mala ograničenja na ciljeve QoS-a (tj. vremenske zahtjeve). Izuzetak su pojedini segmenti mreže u kojima su implementirani određeni mehanizmi osiguranja kvalitete usluge primjerice diferencirani mehanizmi (*Differentiated Services* - DiffServ) ili integrirani mehanizmi (*Integrated Services* - IntServ) u lokalnim/privatnim mrežama. Korištenjem tradicionalnog Internetskog protokola (*Internet Protocol* - IP) usmjeravanja paket putuje mrežom temeljem odredišne IP adrese. To zahtjeva analizu IP zaglavlja u svakom mrežnom čvoru određenog puta što negativno utječe na veličinu kašnjenja na putu, jer se uvećava vrijeme procesiranja paketa u čvorovima. Vrlo važna funkcija mrežnog čvora je dodjeljivanje kapaciteta pojedinim aplikacijama. Važnost odabira odgovarajuće metode dodjele kapaciteta ključna je za ostvarenje korisnikovih očekivanja u pogledu kvalitete usluge. Svrha ovog istraživanja je provesti analizu performansi čvora višeuslužne mreže ukoliko se primjenjuju različite metode dodjele kapaciteta: (*First Come First Served* - FCFS), (*Priority Queuing* - PQ). Za unaprijed definirane prometne slučajeve (različite vrste prometnih tokova koji generiraju različit broj paketa, različitih duljina) izračunato je vrijeme čekanja svakog pojedinog paketa. Time se dobio uvid u veličine redova čekanja, te u ostvarene performanse mrežnog čvora.

Moderan pristup tehnologiji višeuslužnim mrežama rezultirala je uvođenju prometnog inženjerstva što je iznimno važan alat za pružatelje internetskih usluga (*Internet Service Providers* - ISPs), a to je bila vodilja ovog diplomskog rada, **Uvođenje prometnog inženjerstva u višeuslužnim mrežama za osiguranje kvalitete usluge.** Cilj diplomskog rada je prikazati način prijenosa prometa više aplikacija putem iste prijenosne infrastrukture neovisno o prijenosnom mediju uz korištenje QoS parametara.

Diplomski rad prikazan je kroz 8 poglavlja:

1. Uvod
2. Značajke višeuslužnih mreža
3. Koncept kvalitete usluge
4. QoS (Kvaliteta usluge) zahtjevi različitih aplikacija
5. QoS s kraja na kraj u heterogenim mrežama
6. Prometno inženjerstvo i kvaliteta usluge
7. Analiza performansi mehanizama za osiguranje kvalitete usluge
8. Zaključak

U drugom poglavlju ovog rada opisano je što je to višeuslužna mreža, njen povijesni razvoj te kako je izvedena u smislu protokola i tehnologije. Navedeni su prednosti i nedostatci referentnog modela (*Open Systems Interconnection* - OSI) i komunikacijskog protokola (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol* - TCP/IP).

Pojam kvalitete usluge objašnjen je u trećem poglavlju. Koncept osiguranja kvalitete usluge ima vrlo važnu ulogu jer bez njega ne bi bilo moguće ostvariti očekivanja korisnika, niti bi rad mreža uopće bio moguć. Isto tako, navedeni su i opisani parametri QoS koje svaka od usluga treba zadovoljiti.

U četvrtom poglavlju za svaku od tri vrste aplikacija definirani su određeni zahtjevi za kvalitetom usluge, kako bi usluga bila zadovoljavajuću za korisnika.

Kako postoje mnoge različite mreže (*Personal Area Network* - PAN), (*Local Area Network* - LAN), (*Metropolitan Area Network* - MAN), (*Wide Area Network* - WAN), a u svakom sloju tih mreža koristi se više različitih protokola, prenošenje paketa iz jedne mreže u drugu nije uvijek tako jednostavno. Da bi se osigurala kvaliteta usluge s kraja na kraj u heterogenim mrežama, osvrt na istu dan je u petom poglavlju.

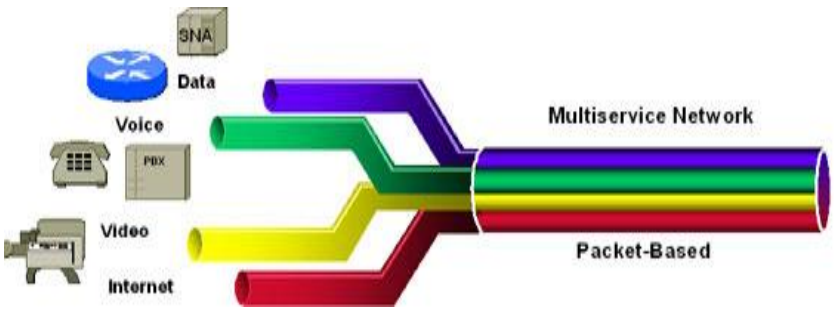
Slijedom petog poglavlja logički nastavak je nešto reći o prometnom inženjerstvu i kvaliteti usluge u mrežama koje koriste davatelji usluga. U ovom poglavlju dat je osvrt na mehanizme koji mogu biti upotrijebljeni za osiguravanje dopuštenih ili ugovorenih vrijednosti parametara kvalitete usluge.

Prije zaključka u sedmom poglavlju prikazana je analiza simulirane mreže koja se sastoji od 3 čvora uz pomoć koje će se izvršiti usporedba FCFS i DiffServ mehanizama usmjeravanja paketa, a rezultati su prikazani kroz grafove

# 2. ZNAČAJKE VIŠEUSLUŽNIH MREŽA

Višeuslužna mreža (*Multi Service Network* - MSN) može se definirati kao mreža dizajnirana tako da prenosi promet više od jedne vrste aplikacije putem iste prijenosne infrastrukture, neovisno o prijenosnom mediju. To je u suprotnosti s klasičnim mrežama ili mrežama predviđenim samo za jednu vrstu usluge, kao što je telefonska mreža (*Public Switched Telephone Network* - PSTN) koja može, općenito govoreći, prenositi samo jednu aplikaciju. Iako internetski promet može biti prenošen telefonskim sustavima, ti sustavi se ne smatraju višeuslužnom mrežom jer nisu dizajnirani s tim ciljem. Višeuslužne mreže dizajnirane su tako da osim što imaju mogućnost prijenosa više tipova usluga putem jedne mrežne infrastrukture, kako je prikazano na slici 1, posjeduju i ugrađene mehanizme za pružanje zahtijevane razine kvalitete usluge QoS za svaku od njih, [1]. Glavni cilj višeuslužnih mreža je prijenos informacija na daljinu, bilo da se radi o govoru, podatku ili videu.

Tradicionalne višeuslužne mreže izvedene su tako da na podatkovnom sloju, (*Open Systems Interconnection/Reference Model* - OSI RM) koriste asinkroni transferni mod (*Asynchronous Transfer Mode* - ATM) ili (*Frame Relay* - FR) prijenosne tehnologije koje omogućuju prijenos govora komutacijom kanala te prijenos podataka. Međutim, višeuslužne mreže nove generacije pridodaju Ethernet, IP, više-protokolarno prospajanje labela (*Multiprotocol Label Switching* - MPLS), virtualnu privatnu mrežu (*Virtual Private Network* - VPN), i sl. usluge mrežnog sloja sveukupnoj kombinaciji moguće izvedbe višeuslužne mreže, [2].




**Slika 1**. Paketski bazirana višeuslužna mreža, [3]

## 2.1.Osnovni koncept višeuslužnih mreža

S razvojem telekomunikacija povećavala se i količina prometa koja se razmjenjivala između korisnika. Danas se informacije u telekomunikacijskim mrežama prenose i u drugim oblicima osim govornih. U tradicionalnom modelu mreža gdje je svaka vrsta usluge imala svoju infrastrukturu generirali su se veliki troškovi i javljali su se problemi kod nadzora i upravljanja svakom pojedinom mrežom.

Promjene na takvim mrežama zahtijevale su teško izvedive pothvate i prilagodbe. Tradicionalni pristup nije omogućavao da se svi resursi u potpunosti iskoriste te se radi toga uveo paketski način prijenosa podataka kao zamjena za komutaciju kanala. Zahtjevi korisnika su se razvojem tehnologije mijenjali, korisnik je želio mobilnost odnosno da u svakom trenutku može biti dostupan uz traženu razinu kvalitete usluge. Višeuslužna mreža, odnosno mreža nove generacije (*Next Generation Networks* - NGN) pokušavala je svojom integracijom usluga, opreme i mreža odgovoriti na trenutne i buduće zahtjeve.

Velika prednost višeuslužnih mreža očituje se u tome da ona omogućava pružanje usluga koje se obrađuju neovisno. Usluge može lako pružati davatelj usluga koji je povezan na rubove javne prijenosne mreže, umjesto da bude sastavni dio te mreže. Sva komunikacija između poslužitelja i prijenosnog sloja se temelji na otvorenim, standardiziranim protokolima, [4].

U današnje vrijeme se zbog porasta podatkovnog prometa povećava se i interes za izgradnju višeuslužne mreže. Postalo je prirodno uvoditi tehnologiju komutacije paketa i u postojeće telefonske mreže da bi se smanjili troškovi rada. To naravno treba učiniti uz potpuno izbjegavanje diskontinuiteta u komunikaciji, dakle, bez prekida rada i bez utjecaja na kvalitetu usluga ili prihod, [4].

## 2.2.Razvoj višeuslužnih mreža

U ranim 1980-tim godinama, ATM forum i organizacija za standardizaciju u telekomunikacijama (*International Telecommunications Union* - ITU-T), donijeli su niz preporuka kako bi se poboljšale telekomunikacijske mreže te da bi se ispravili nedostatci postojećih mreža. Optika je bila temelj rješenja a nova mreža je nazvana (*Integrated Services Digital Network* - ISDN). Ta nova mreža trebala je omogućiti interopreabilnost između nekoliko simultanih usluga kao što su digitalni prijenos govora u klasičnoj telefonskoj mreži, PSTN-u. Između ostalog novi način rada mreže zahtijevao je i određivanje novih ATM

standarda, sinkronizaciju optičke mreže (*Sychronous Optical Network* - SONET), multipleksiranje (*Synchronous Digital Hierarchy* - SDH) te za komutaciju (engl. *switching*).

U samim počecima takva mreža je od strane projektanata i stručnjaka bila zamišljena kao višeuslužna, odnosno univerzalna transportna tehnologija koja omogućuje prijenos i komutaciju svih vrsta informacija (govor, video i podaci) s kraja na kraj mreže na velike udaljenosti. Iako ATM ima obilježja spojne tehnike, koja prije svakog transfera informacije uspostavlja vezu između izvorišta i odredišta, može podržati i transport nespojenih usluga kao što je transport IP datagrama. Primarno takva mreža nije bila zamišljena za transport IP datagrama, ali je postojala mogućnost za takvu uslugu.

Radi povezivanja različite računalne opreme u kojoj su bili instalirani nekompatibilni računalni program (engl. *software*), javila se potreba za razvojem nove arhitekture koja je bila slojevita i time je omogućavala složene prilagodbe između povezane računalne opreme. Razvoj takve arhitekture započeo je sedamdesetih godina, a 1977. godine međunarodna organizacija za standardizaciju (*International Organization for Standardization* - ISO) je pokrenula razvoj referentnog modela za povezivanje otvorenih sustava kojeg su nazvali OSI model. Razvijena je i svojevrsna dopuna koja je sadržavala skup protokola TCP/IP s obzirom da je OSI- RM bio „apstraktan“ model, [5].

### 2.2.1. OSI referentni model

OSI referentni model ili referentni model za otvoreno povezivanje sustava je apstraktni, slojeviti model koji služi kao preporuka stručnjacima za razvoj računalnih mreža i protokola. Ovaj model opisuje komunikaciju hardvera i softvera, te raznih programa i protokola pri mrežnim komunikacijama. OSI model koriste proizvođači i stručnjaci pri projektiranju i proučavanju mreža s obzirom da dijeli arhitekturu mreže na slojeve te daje spisak funkcija, usluga kako rade i funkcioniraju na svakom sloju.

OSI model podijeljen je u sedam slojeva, kako je prikazano na slici 2, gdje svaki sloj opisuje skup povezanih funkcija koje omogućuju jedan dio računalne komunikacije. Svih sedam slojeva zajedno funkcionira kao jedna cjelina koja prikazuje tok podataka od izvora prema odredištu, od prvog do zadnjeg sloja. OSI referentni model pruža važne smjernice u razvoju mrežnih protokola. Mrežni komunikacijski protokol predstavlja skup određenih pravila koja su potrebna da bi se podaci mogli prenijeti preko komunikacijskog kanala.




**Slika 2**. OSI referentni model, [6]

Slojevi OSI referentnog modela sastoji se od sedam slojeva, a koji obavljaju sljedeće funkcije:

1. Fizički sloj (eng. *physical layer*) - podrazumijeva mehaničke, električne, funkcijske i proceduralne karakteristike koje omogućavaju prijenos slijeda bita (*bit stream*) kroz fizički medij.

2. Podatkovni sloj (eng. *data-link layer*) - omogućava pouzdani prijenos informacija preko linka, pakiranje podataka u okvire, kontrolu pogreški (detekcija i korekcija) te mehanizme kontrole toka.

3.Mrežni sloj (eng. *network layer*) - određuje prijenosne puteve i obavlja funkcije komutiranja, tj. uspostavlja, održava i raskida veze, te pruža usluge prijenosa podataka između mreža bez obzira na njihove međusobne razlike.

4. Prijenosni sloj (eng. *transport layer*) – osigurava pouzdan prijenos podataka između krajnjih komunikacijskih točaka odnosno s kraja na kraj mreže.

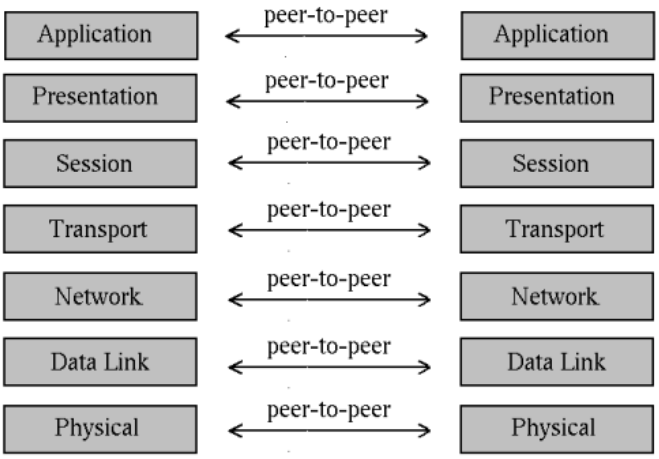
5. Sloj sesije (eng. *session layer*) - osigurava strukturu za komuniciranje između aplikacija.

6. Prezentacijski sloj (eng. *presentation layer*) - odnosi se na sintaksu i semantiku podataka te omogućuje prikaz i predstavljanje u različitim tipovima podataka kako bi se računalo i mreža mogli razumjeti.

7. Aplikacijski sloj (eng. *application layer*) - podrazumijeva procese koji su prilagođeni korisničkom okružju.

Slojevi unutar jednog modela komuniciraju samo s prvim slojem poviše i prvim slojem ispod sebe. Gornji sloj ovisi o funkcionalnosti koji pruža sloj ispod njega. Ukoliko se

komunikacija prikaže sa dva OSI modela, vidi se da se slojevi jednog modela povezuju samo sa slojevima iste razine drugog modela, što pokazuje slika 3. npr., aplikacijski prijenosni sloj jednog modela šalje podatke aplikacijskom prijenosnom sloju drugog modela. To se naziva *peer-to-peer* komunikacija. Svaki od modela u osnovi predstavlja jedan komunikacijski uređaj.




**Slika 3**. Povezivanje slojeva modela, [7]

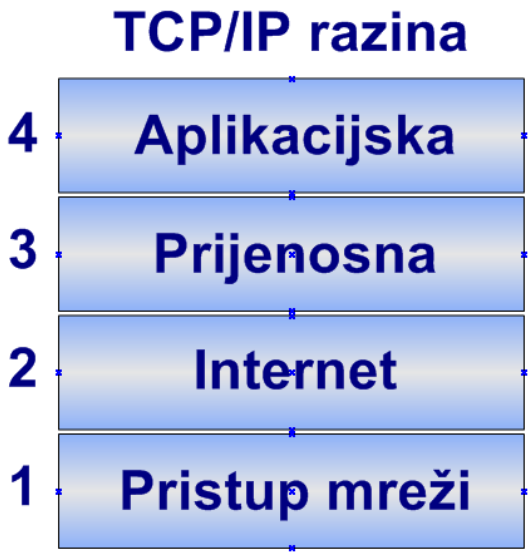
Podjelom na slojeve omogućeno je da se, pridržavanjem smjernica, ubrza razvoj protokola za pojedini sloj, ne oviseći u velikoj mjeri o brzini razvoja protokola na drugim slojevima. Dodatno, cijeli zadatak je segmentiran, pa je više timova (tvrtki, organizacija) moglo raditi na rješavanju pojedinog problema. Na svakom od slojeva može djelovati više različitih protokola. Dok za opis mrežne arhitekture služi OSI referentni model, za opis internetske arhitekture koristi se TCP/IP model.

### 2.2.2. TCP/IP model

Model TCP/IP također slijedi načelo slojevitosti, ali se razlikuje po broju slojeva i po smještaju pojedinih funkcija po slojevima. Dok OSI referentni model ima sedam slojeva, TCP/IP model ima četiri sloja, prikazano na slici 4, te isto tako ti slojevi komuniciraju putem komunikacijskog kanala, a njihove temeljne funkcije su:

1. Sloj pristupa mreži osigurava računalu pristup zajedničkom mediju. Obuhvaća funkcije fizičkog i podatkovnog sloja OSI modela.
2. Internet sloj obuhvaća funkcije mrežnog sloja OSI modela. Primarni protokol internet sloja je IP protokol.

3. Prijenosni sloj je paralelan prijenosnom sloju OSI modela. Važniji protokoli prijenosnog sloja su (*Transmission Control Protocol* - TCP) i protokol za prijenos paketa kroz mrežu (*User Data Protocol* - UDP).
4. Aplikacijski sloj pruža aplikacije i usluge sa standardnom razmjenom podataka. Njegovi protokoli obuhvaćaju (*HyperText Transfer Protocol* - HTTP) protokol za prijenos hiperteksta, (*File Transfer Protocol* - FTP), (*Post Of ice Protocol* - POP3), (*Simple Message Transfer Protocol* - SMTP) i (*Simple Network Management Protocol* - SNMP)




**Slika 4**. TCP/IP model, [8]

U literaturi se mogu naći razne podjele, a činjenica da ovaj model pokriva iste funkcije kao i OSI model, preslikavanje funkcija nije isto po slojevima. TCP/IP je kompatibilan sa svim operativnim sustavima i svim vrstama računalnih hardvera i mreža, tako da može komunicirati s bilo kojim drugim sustavom. Isto tako, TCP/IP je vrlo skalabilan i kao takav protokol može odrediti najučinkovitiji put kroz mrežu, [9].

### 2.2.3. Usporedba OSI referentnog modela i TCP/IP modela

Kada se radi usporedba osnovnih koncepta između modela, OSI model drži do usluga, sučelja i protokola. Svaki sloj radi uslugu za sloj iznad sebe. Usluga prikazuje što sloj radi, odnosno kako funkcionira. Sučelje određuje procesima iznad sebe kako da pristupe, te definira parametre i kakvi se rezultati mogu očekivati. Protokoli definiraju funkcije sloja i njihov

zadatak. OSI model doprinosi razlikovanjem ova tri koncepta. TCP/IP ne pravi razliku između ovih koncepta što rezultira time da su protokoli u OSI modelu bolje sakriveni i da ih je moguće lako zamijeniti kako se tehnologija mijenja. OSI model je dizajniran prije odgovarajućih protokola što znači da model nije namijenjen samo jednoj skupini protokola, ali je loša strana što se u vrijeme dizajna i izrade OSI modela nije bolje razradilo koju funkcionalnost staviti u koji sloj. Ako se ostavimo ovih temeljnih teorijskih usporedbi modela i okrenemo praktičnim stvarima, osnovna razlika je u tome što TCP/IP modela ima četiri sloja, dok OSI model ima sedam sloja, [9]. Modeli imaju mrežni, prijenosni i aplikacijski sloj isti, a ostali slojevi su različiti, usporedba je prikazana u slici 5.




**Slika 5**. Odnos OSI modela i TCP/IP arhitekture, [8]

### 2.2.4. Prednosti i nedostatci OSI i TCP/IP referentnih modela

Model OSI i TCP/IP referentni model, svaki sa svojim protokolima nisu provedeni bez greške. Koliko je slojevita struktura računalnih mreža pridonijela lakšoj komunikaciji, organizaciji i raspodjeli zadataka između računala u mreži, isto toliko je i jednom i drugom modelu upućeno kritika. Za početak kratak osvrt na model OSI, a u nastavku i na TCP/IP.

Velika kritika modelu OSI upućena je s ekonomskog aspekta u vidu odabira vremena plasiranja OSI protokola na tržište. U trenutku kada su se pojavili OSI protokoli, konkurentni TCP/IP protokoli su bili u širokoj primjeni u akademskom okruženju. U to vrijeme velike investicije još nisu bile zaživjele, ali akademsko tržište je za proizvođače bilo dovoljno veliko. Kada se pojavio model OSI, nije bilo razloga za podršku još jednom paralelnom skupu protokola. Njegova nerazumljivost i složenost navodi se kao još jedan od nedostataka OSI

modela. Izbor sedam slojeva bio je više političke nego tehničke prirode, pa se dogodilo da su njegova dva sloja, sloj sesije i sloj prezentacije, gotovo prazni, a mrežni sloj i podatkovni sloj pretrpani. Usluge i protokoli teško se ugrađuju i neefikasni su u radu, a neke funkcije poput kontrole toka, kontrole pogreške i adresiranja, ponavljaju se u svakom sloju. Vidljiva je i loša realizacija u samom početku, prve realizacije modela OSI bile su spore, neefikasne i zahtijevale su velike raspoložive resurse. Najveći doprinos modela OSI nalazi se u razlikovanju koncepta mrežnih usluga, mrežnih sučelja i mrežnih protokola. Jasno je definirano kako svaki sloj osigurava uslugu za sloj iznad, ta usluga govori što sloj radi. Sučelje definira procesima iznad sebe način pristupa, parametre i očekivane rezultate, a protokoli određuju funkciju svakog od slojeva.

TCP/IP originalno ne pravi razliku među navedenim konceptima, što dovodi do toga da su OSI protokoli bolje skriveni i da ih je lakše zamijeniti kako se tehnologija mijenja. Loša strana OSI modela je što u vrijeme definiranja modela nije napravljen plan koju funkcionalnost staviti u koji sloj, što nije bio slučaj za TCP/IP, gdje su prvo napravljeni protokoli, a na temelju njih slojevi modela. Kao glavna kritika modela TCP/IP navodi se nejasna granica između koncepta usluga, sučelja i protokola, kao što je već ranije spomenuto. Zbog toga model TCP/IP nije učinkovit pri projektiranju novih mreža s uvođenjem potpuno novih tehnologija. Model TCP/IP nije dovoljno poopćen, orijentiran je prvenstveno na skup protokola TCP/IP pa je vrlo teško pomoću njega opisati neki drugi skup protokola. Kao jedna od kritika pojavljuje se i poistovjećivanje fizičkog i podatkovnog sloja, jer imaju potpuno različite uloge, ali u novije vrijeme sve se češće nailazi na TCP/IP podjelu po slojevima sa razdvojena ta dva prva sloja, [10].

Opće prihvaćeni su i jedan i drugi način podjele. Bez obzira na probleme koji su stvarali prepreke u realizaciji oba modela, model OSI, bez slojeva prezentacije i sesije pokazao se vrlo korisnim u promatranju računalnih mreža, ali njegovi protokoli nikada nisu zaživjeli u široj primjeni. S druge strane, model TCP/IP praktično ne postoji, ali se zato njegovi protokoli široko koriste u komunikaciji između udaljenih računala iste računalne mreže ili više različitih mreža, [11].

# 3. KONCEPT KVALITETE USLUGE

Kvaliteta usluge (QoS) i pojmovi koji je opisuju (parametri, mjere, upravljački mehanizmi) predstavljaju bitne elemente pružanja bilo koje usluge. Razumijevanje osnovnoga koncepta kvalitete i upravljanja kvalitetom je osnova za profesionalno upravljanje QoS-om u telekomunikacijama. QoS u telekomunikacijama može se razvijati iz osnovnih koncepata kvalitete. Razvojem novih aplikacija koje vode porastu sofisticiranih usluga, sve više postoji potreba za standardizacijom performansi. Uz povećanu kompleksnost u tehnologiji, parametri postaju sve kompliciraniji. Prvotno je taj pojam uveden u doba analogne telefonije i označavao je vjerojatnost dostupnosti puta u telekomunikacijskoj mreži, [12].

Međunarodna unija za telekomunikacije (*International Telecommunications Union* - ITU) u preporuci ITU-T E.800 (definicija je ponovljena i u preporuci E.802) opisno navodi da je QoS *"združeni efekt performansi usluge koji određuje razinu zadovoljstva korisnika tom uslugom*". U preporukama serije X koristi se nešto drugačije tumačenje, iz ITU-T X.902, prema kojemu je QoS *"skup zahtjeva u pogledu kvalitete kolektivnog ponašanja jednog ili više objekata*". Dalje se navodi da se kvaliteta usluge može specificirati ugovorom, iskazivati pomoću parametara i mjeriti. Zatim se napominje da je kvaliteta usluge povezana sa značajkama kao što su: brzina prijenosa, kašnjenje, vjerojatnost prekidanja komunikacije, vjerojatnost greške, itd. Osim što su te dvije definicije sasvim općenite i apstraktne, one imaju i različite odrednice (eng. *definiens*): po prvoj QoS je efekt performansi, dok je po drugoj skup zahtjeva. Proizvođači opreme iskoristili su te nedorečenosti i tako istaknuli "svoje" definicije i objašnjenja. Prema Ciscou, QoS se odnosi na sposobnost mreže da osigura bolju uslugu za zadano opterećenje. Strogo gledano, ta tvrdnja nije definicija, niti se kaže u odnosu na što bi usluga u mreži koja podržava kvalitetu usluge trebala biti bolja, [13].

U dokumentima QoS Foruma nailazi se na još više različitosti u definiranju kvalitete usluge, pa se tako mogu naći objašnjenja poput: *"QoS je sposobnost elemenata mreže (aplikacije, hosta ili rutera) u pružanju izvjesne razine jamstva u mogućnosti zadovoljenja zahtjeva za prometom i uslugama"*, *"QoS je sposobnost elemenata mreže u pružanju izvjesne razine jamstva u pogledu konzistentnog prijenosa podataka"*, ili se čak *"QoS se odnosi na klasificiranje paketa u klase s kojima se kasnije različito postupa"*. U rječniku termina za QoS, navodi se da je QoS *"skupna razina mjera usluge koja se pruža korisniku"*.

## 3.1.Metode ispitivanja kvalitete usluge

Za svakog korisnika bilo koje usluge u višeuslužnim mrežama je najbitnija kvaliteta te isporučene usluge, bilo da se radi o podatkovnoj, glasovnoj ili video usluzi. Korisnik ne može raspoznati koliko se paketa izgubilo, koliko je kašnjenje te je li širina prijenosnog pojasa. Postoje dvije metode za ispitivanja kvalitete usluge; subjektivna i objektivna. Kod subjektivne metode određenom broju korisnika pušta se zvuk ili video kroz određeno vrijeme. Nakon određenog vremena korisnik daje ocjenu kvalitete s kojom je bio zadovoljan. Objektivna metoda kvalitete usluge dobiva se ispitivanjem fizičkih osobina mreže odnosno određuje se postotak izgubljenih paketa, vrijeme kašnjenja i kolebanja kašnjenja te potrebna propusnost za pojedinu uslugu ujedno ova metode se koriste i u svrhu napretka i dizajniranja mreža.

Kod podatkovnih usluga se ne koriste metode ispitivanja kvalitete jer to nije potrebno zbog toga jer je za podatkovne aplikacije najvažnija sigurnost, odnosno točnost informacija, pomoću mehanizama QoS-a je to i omogućeno te je na taj način i zadovoljena kvaliteta podatkovnih usluga.

### 3.1.1. Subjektivna metoda ispitivanja kvalitete usluge

Rezultati subjektivne metode temelje se na subjektivnom osjećaju kvalitete ispitanika. Subjektivna metoda se zasniva na principu da se korisniku određeno vrijeme pušta zvuk ili slika u različitim uvjetima. Pod uvjetima se misli na stanje okoline u kojoj se ispitanik nalazi, ali i u različitim uvjetima u kojoj se nalazi mreža. Pod tim se želi ispitati i kako određene usluge djeluju na različite situacije, odnosno kakva im je kvaliteta pri različitim scenarijima koji se događaju u mreži.

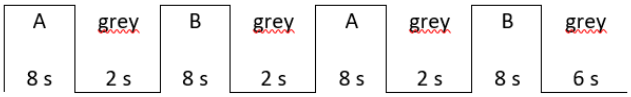
Subjektivna metoda za mjerenje kvalitete zvuka naziva se (*Mean Opinion Score* - MOS). Prema preporuci ITU-T P.800.1, MOS predstavlja srednju vrijednost kvalitete telefonskog sustava koji se koristi bilo da se to odnosilo na slušanje ili na pričanje, [14]. Pri ovoj metodi, ispitanici se nalaze u odvojenim sobama u blizini kontrolnog centra. Prema preporuci ITU-T P.830 sobe ne bi trebale biti manje od 20 $m^3$, s odjekom koji nije veći od 500 ms te količinom buke koja nije veća od 30 dB. U tim testovima se stavljaju u nekoliko situacija, u nekima su samo govornici, u nekima slušatelji, a u nekima međusobno komuniciraju u uvjetima koji su prepisani u toj preporuci.

Nakon svakog testa korisnici zapisuju razinu kvalitete usluge u skalu koja sadrži brojeve od jedan do pet, gdje jedan predstavlja lošu uslugu, a pet odličnu kako je prikazano u slici 6.

| MOS | KVALITETA | UMANJENJE |
|---|---|---|
| **5.** | odlično | neprimjetno |
| **4.** | dobro | primjetno ali ne iritantno |
| **3.** | pošteno | malo iritantno |
| **2.** | slabo | iritantno |
| **1.** | loše | jako iritantno |

**Slika 6.** Prikaz skale za određivanje kvalitete zvuka [15]

Kod subjektivnih metoda koje se koriste za mjerenje kvalitete usluge, kod videa najpouzdanija metoda se pokazala (*Double Stimulus Continuous Quality Scale* - DSCQS) metoda. Prema preporuci organizacije za standardizaciju u radijskim komunikacijama (*International Telecommunication Union – Radiocommunications standardization Sector* - ITU-R) BT.500-8 u kojoj su definirani uvjeti u kojima se ispitanici nalaze, definiran je i način testiranja. U ovoj metodi, ispitanicima se prikazuju dvije verzije jednog videa, verzija A i verzija B prikazano na slici 7. U tim verzijama može doći do nekih problema, odnosno loše boje na videu, nedostatka detalja, nedovoljne oštrine i sl. koje korisnik ocjenjuje na temelju svoje percepcije u skalu koje je podijeljena na pet jednakih dijelova, od lošeg pa sve do odličnog, [16].




**Slika 7**. Prikaz subjektivne mjerenje kvalitete kod videa, DSCQS metoda [17]

### 3.1.2. Objektivna metoda ispitivanja kvalitete usluge

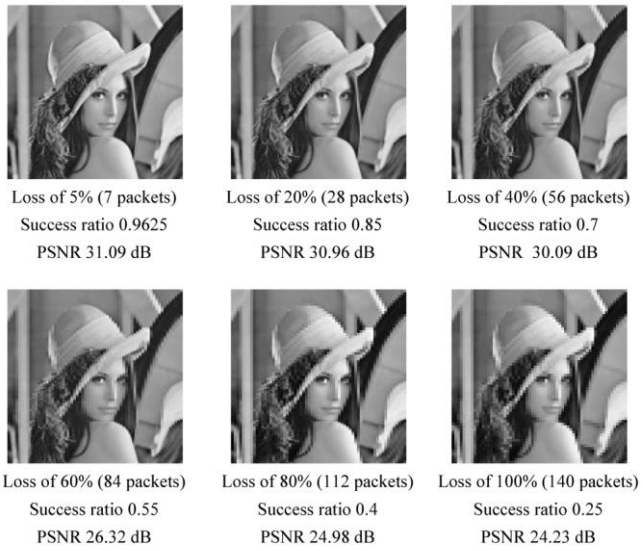
Kod objektivnih metoda se koriste razni programi i algoritmi koji određuju kvalitetu usluge. Kod ovih metoda se ne može vidjeti razina zadovoljstva korisnika, no mogu se vidjeti razlozi zbog kojih dolazi do lošije kvalitete. Upravo iz toga razloga se ove metode često koriste i u dizajniranju i upravljanju mreža jer se pomoću njih mogu izračunati gubici u mreži, koliko je kašnjenje, kolika treba biti propusnost ili koliko se paketa izgubilo na putu do odredišta.

Objektivna metoda za mjerenje audio kvalitete je (*Perceptual Audio Quality Measure* - PEAQ). PEAQ modeli u pojedinim izvedbama upotrebljavaju široko područje percepcijskih transformacija prezentirajući signal u uvjetima modulacije, specifične glasnoće, pobude, ekvalizacije, pobude ekvalizirane za linearno filtriranje i sporog mijenjanja pojačanja, [18].

Algoritam (*Perceptual Evaluation of Speech Quality* - PESQ) je objektivna metoda koja se koristi za predviđanje subjektivne kvalitete ispitivanja govornih signala. U dugogodišnjim istraživanjima ustanovljeno je da ova metoda ispitivanja uspješno mjeri učinke izobličenja signala i utjecaj šuma na informaciju kod jednosmjernih komunikacija. PESQ algoritam uspoređuje originalni signal s degradiranim signalom koji nastaje prolaskom izvornog signala komunikacijskim sustavom. PESQ algoritam neovisan je od komunikacijskog sustava te je stoga pogodan za testiranje različitih vrsta telefonskih komunikacija. Testiranje se provodi s unaprijed pripremljenim referentnim signalom u trajanju od 8 sekundi koji se i koristio za procjenu uspješnosti algoritma. Poruke su na različitim jezicima i izgovaraju ih različiti govornici, a formirane su od rečenica s međusobnim pauzama. Preporuka je da se mjerenje obavlja u više navrata s različitim porukama. Algoritam koristi modeliranje slušnog sustava čovjeka i modeliranje raspoznavanja kvalitete govornog signala (kognitivno modeliranje) te uspoređuje izvorni i degradirani signal. Rezultat usporedbe je ocjena kvalitete govornog signala odaslanog komunikacijskim sustavom, [19]. Danas je PESQ svjetski priznati standard te ga za objektivno ispitivanje glasa koriste proizvođači telefona, dobavljače mrežne opreme te telekom operateri.

Objektivne metode za mjerenje kvalitete usluge kod video aplikacija se zasnivaju na modelima koji su zasnivani na sposobnostima za procjenu subjektivne kvalitete usluge. Jedna od mogućnost je predviđanje točnosti, odnosno sposobnost predviđanja subjektivne kvalitete s niskim stupnjem greške, zatim predviđanje monotonosti, odnosno stupanj do kojeg se model predviđanja slaže s relativnim magnitudama od subjektivnih ocjena kvalitete i predviđanje konzistencije, odnosno stupanj do kojeg model održava predviđanja u rasponu ispitivanih video uzoraka, [20].

(*Peak Signal to Noise Ratio* - PSNR) je postupak za određivanje kvalitete video signala. PSNR postupkom dobije se ocjena kvalitete, odnosno stupanj izobličenja promatranog sadržaja, koja je rezultat usporedbe i predstavlja logaritamski omjer vršnog signala ekvivalentnog kvadratu maksimalne moguće vrijednosti elementa slike i snage šuma ekvivalentne iznosu srednje kvadratne pogreške (*Mean Square Error* - MSE) između elemenata originalnog, referentnog i rekonstruiranog, izobličenog slikovnog sadržaja.




**Slika 8**. Vizualna kvaliteta i odnos vršnog signala i buke (PSNR) nakon gubitka paketa [21]

## 3.2. SLA (Service Level Agreement)

Ugovor o razini usluge (*Service Level Agreement* - SLA ) je odličan alat koji stvara međusobno razumijevanje o uslugama i isporuci usluga između davatelja usluga i njihovih korisnika. To je komunikacijski alat kojim se određuju očekivanja, razjašnjavaju odgovornosti i stvara objektivna osnova za procjenu učinka usluge. Ugovorne usluge su uglavnom kompromis (ravnoteža) između kvalitete i kvantitete isporučene usluge i njezine cijene. SLA ne rješava svaki problem. Ako je uspostavljen na krivi način ili iz pogrešnih razloga, on stvara veće probleme od onih koje nastoji riješiti. SLA je proces i proizvod (dokument).

U smislu procesa, on je formalno dogovorno sredstvo pomoću kojega dvije ili više strana unapređuju komunikaciju, grade dugoročne odnose i određuju očekivanja:

- uslugama, razinama usluga i kvaliteti usluga,
- odgovornostima svake strane,
- koracima koje poduzimaju sve strane kako bi osigurale uspješne odnose.

U smislu proizvoda, on je dokument koji obuhvaća gore navedene informacije.

- između davatelja usluga i njegovih unutarnjih ili vanjskih korisnika ili
- između bilo koje dvije ili više strana koje moraju međusobno djelovati kako bi izvršile zadatak i postigle zajednički cilj, [22].

## 3.3. Parametri QoS-a

Kako različite usluge zahtijevaju različite mrežne kapacitete i različitu kvalitetu, svaka usluga ima različitu potrebu za mrežnim kapacitetima koji se očituju u kašnjenju i kolebanju kašnjenja, gubitku paketa, propusnosti, a koji su ujedno i parametri QoS. Također s obzirom da se radi o parametrima koji direktno utječu na zadovoljstvo korisnika i koji predstavljaju tehničku interpretaciju njegovih zahtjeva za subjektivnom testiranju iskustvene kvalitete usluge (*Quality of Experience* - QoE), mogu se svrstati i u ključne, pokazatelje pri čemu se uzimaju njihove prosječne vrijednosti.

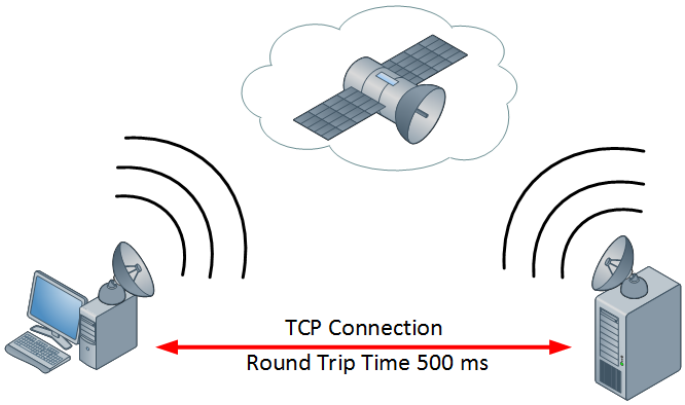
### 3.3.1. Kašnjenje

Kašnjenje (eng. *delay*) se očituje na više načina, uključujući vrijeme potrebno za uspostavu određene usluge od trenutka slanja zahtjeva korisnika te vrijeme potrebno za prijem specifičnih informacija nakon što je usluga uspostavljena. Kašnjenje je definirano kao vrijeme koje je potrebno paketu da dođe od izvorišta do odredišta [15]. Postoje brojni razlozi koji utječu na kašnjenje, a mogu biti zbog propagacije, usmjeravanja u čvorovima, čekanja u međuspremnicima rutera, prijenosa na linku, paketizacije i depaketizacije, kodiranja i dekodiranja itd.

Postoje komponente kašnjenja koje su fiksne i komponente koje su varijabilne. Komponente koje se odnose na kašnjenja u mreži teško se mogu predvidjeti jer ovise o trenutačnom opterećenju čvorova kao i o performansama mrežnih elemenata. Na varijabilnost određenih komponenata utječu različito vrijeme čekanja u čvorovima mreže i duljina paketa koja je različita za pojedine aplikacije, a i iste aplikacije mogu imati različite duljine paketa.

Pri prijenosu putem satelitskih mreža kašnjenje je čak i u najboljoj situaciji (oko 260 ms jednosmjerno), jer velika udaljenost povećava broj elektroničkih komponenti i vrijeme obrade ugrađene u opremu na svakom kraju i na satelitu koji će dodati odgodu ukupnog vremena prijenosa, unatoč signalima u prostoru putovanja brzinom svjetlosti (elektromagnetski valovi).

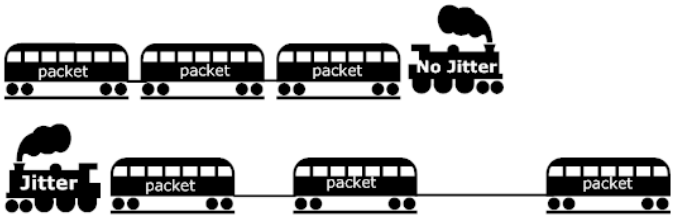
Telefonski poziv koji koristi satelit, odgoda uzrokovana ovim uređajem će izravno utjecati na kvalitetu poziva. Za kašnjenja veća od 250 ms postoji problem preklapanja razgovora (zvuk se ponavlja), [23].




**Slika 9**. Prikaz povratnog vremena pri prijenosu govora putem satelita [24]

### 3.3.2. Kolebanje kašnjenja

Kolebanje kašnjenja (eng. *jitter*) se definira kao razlika u dolaznim vremenima susjednih paketa iste sesije, odnosno njihovog kašnjenja. Razlog tome je najčešće, različiti putevi koje paketi prolaze od izvora do odredišta. Zbog velikog značaja na prijenosnom sloju kod paketnih sustava prijenosa, kolebanju kašnjenja možemo svrstati među parametre performansi. Aplikacije koje su osjetljive na kolebanje kašnjenja poduzimaju različite korake kako bi otklonile ili smanjile kolebanje kašnjenja. Kao posljedica kolebanja povećava se kapacitet međuspremnika u prijemniku kako bi se zadržali pristigli paketi i sačekali oni koji imaju veće kašnjenje, [25]. Ovaj parametar može ozbiljno utjecati na kvalitetu (eng. s*treaminga*) audio i / ili video.




**Slika 10**. Slikoviti prikaz bez i sa kolebanjem kašnjenja paketa [26]

Na slici 10 je slikovito prikazano kada nema koleba kašnjenja (gornji dio slike) i kada kolebanje kašnjenja postoji (donji dio slike).

### 3.3.3. Gubitak paketa

Gubitak paketa (enl. *packet loss*) se događa za vrijeme prijenosa paketa od izvora do odredišta kroz mrežu, a uzroka tome može biti nekoliko. Paket može biti izgubljen zbog grešaka u mreži, oštećenih paketa ili najčešće zbog zagušenja u mreži. Također, do gubitka može doći i pri prijenosu u transmisijskim sustavima ili zbog pogrešnog usmjeravanja paketa. Informacija se može izgubiti zbog degradacije uslijed korištenja različitih vrsta kodiranja sadržaja u cilju efikasnije transmisije. Prema RFC2680, gubitci na nižim slojevima su posljedice smetnji u kanalu i izražavaju se sa (*Bit Error Rate* - BER), [27].

$$\text{BER} = \frac{\text{broj pogrešno prenesenih bita u promatranom vremenu}}{\text{ukupan broj prenesenih bita u promatranom vremenu}} \quad (1)$$

Učestalost grešaka (engl. *error rate*) se može promatrati kao učestalost pogrešno primljenih bitova, elemenata, znakova ili blokova u odnosu na njihov ukupni broj u određenom vremenskom intervalu. Gubitak informacije ima veliki učinak na kvalitetu informacije koja se na kraju prezentira korisniku. Kako bi se osigurala zadovoljavajuća kvaliteta, bitno je osigurati male gubitke, ali je potrebno razmatrati i periode gubitaka. Vrijeme gubitaka je parametar koji često pomaže u određivanju uzroka gubitaka. Kod mreža s visokom raspoloživošću dozvoljeno je manje od 1% gubitaka. Kompenzacija paketnih gubitaka moguća je korištenjem pro aktivnih ili direktnih rješenja (redundantno kodiranje) ili indirektno, preko mehanizama kontrole zagušenja na mrežnom i transportnom nivou.

Prilikom korištenja TCP/IP protokola, kada se dogodi gubitak paketa, odredište će zatražiti od izvora da ponovno pošalje izgubljeni paket, ali to uzrokuje kašnjenje jer će isti paket biti poslan dvaput ili više puta. No gubitak će se zanemariti i uzrokovati nepravilan prikaz na mjestu odredišta kao što je prikazano na slici 11.



**Slika 11**. Nepravilan prikaz slike nakon gubitka paketa [28]

### 3.3.4. Propusnost

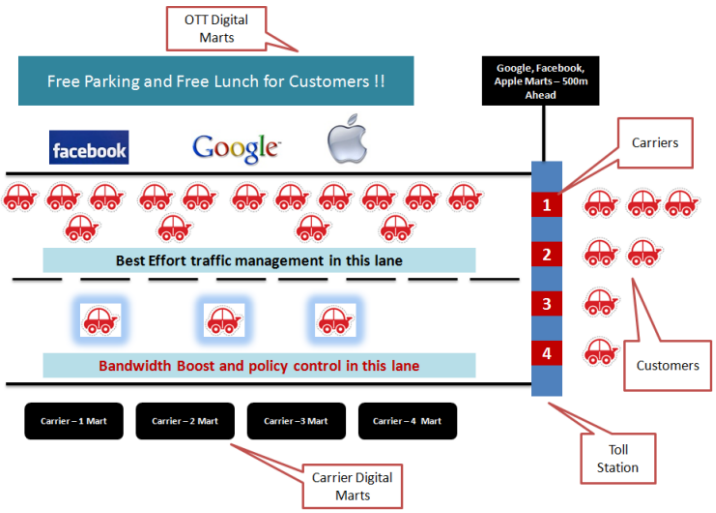
Propusnost (eng. *bandwidth*) predstavlja maksimalnu brzinu prijenosa koja se može postići s kraja na kraj mreže (eng. *end-to-end*) i obično se mjeri bitovima po sekundi (b/s). Ako se komunikacijski kanal uspoređuje s kanalima na različitim kanalima (kanala), širina pojasa predstavlja raspon međukanalnog kanala i određuje koliko podataka može proći kroz među proizvodni kanal u bilo kojem trenutku. Što je veća propusnost, podaci se prenose brže. Neodgovarajuća propusnost izaziva povećanje kašnjenja paketa jer paketi provode više vremena u redovima čekanja (međuspremnicima) mrežnih uređaja.

U jako zagušenim mrežama neodgovarajuća propusnost dovodi do gubitka paketa jer se među spremnici pretrpavaju i dolazi do odbacivanja paketa. Kako bi se ispunili QoS zahtjevi, ključno je da komunikacijski kanali imaju dovoljnu propusnost koja je određena načinom implementacije fizičkog i logičkog sloja i logičkom organizacijom konekcija unutar mreže. Propusnost zavisi ne samo od kapaciteta kanala, već i od broja tokova podataka koji dijele zajedničku infrastrukturu između dvije krajnje točke mreže. Zbog ovoga je opseg promjenjiva veličina, karakteristična za svaku pojedinačnu konekciju u mreži, [29].

Značenje pojma propusnosti najlakše je razumjeti ako se usporedi s autocestom. Što je više voznih traka, promet će biti protočniji. Automobili koji voze autocestom podatci su koje posjetitelji preuzimaju s web stranica. Svaki puta kada netko posjeti neku stranicu na webu, zapravo preuzima datoteke pomoću svog preglednika. Promet, međutim, teče i u suprotnom smjeru, iako u puno manjem razmjeru: postavljanje datoteka na server i provjeravanje e-pošte također uzrokuje smanjenje propusnosti.

Datoteke koje posjetitelji preuzimaju mogu biti (*HyperText Markup Language* - HTML), slikovne, video ili zvukovne datoteke. Te datoteke zauzimaju prostor na autocesti. Što su veće datoteke i što im više ljudi pristupa, to je veći promet podataka i veće su potrebe za propusnošću.

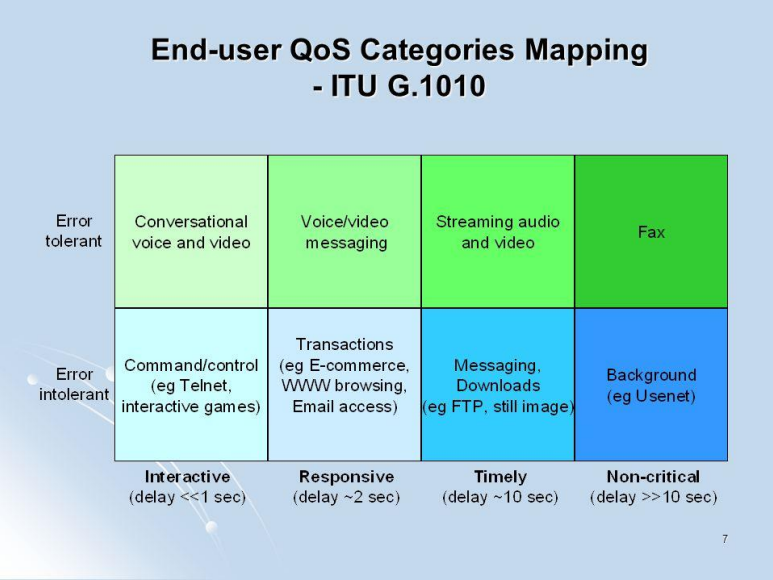
Na slici 12 je slikovit prikaz propusnosti, ako ne postoji dovoljno voznih traka (propusnosti), dolazi do prometne gužve i posjetitelji će imati problema pri otvaranju sadržaja web stranica, [30].




**Slika 12**. Slikovna usporedba propusnosti s autocestom [31]

# 4. ZAHTIJEVI RAZLIČITIH APLIKACIJA

U današnjem svijetu, višeuslužne mreže predstavljaju jedan od najzastupljenijih načina komunikacije u privatnom životu. Budući da višeuslužne mreže prenose mnoštvo aplikacija, razne podatke te video visoke kvalitete treba osigurati zadovoljavajuću kvalitetu. Dakle, QoS tehnologija se odnosi na skup tehnika i alata za upravljanje mrežnim resursima, a njezin cilj je da se svi podaci dostave korisniku uz zadovoljavajuću kvalitetu i uz minimalna kašnjenja. Različite usluge tretiraju se na različite načine i imaju različite tolerancije na kašnjenje što je vidljivo na slici 13. QoS je osnovni element za uspješan razvoj višeuslužnih mreža, [32].




**Slika 13**. Osjetljivost na kašnjenje pojedinih tipova aplikacija [33]

## 4.1. QoS zahtjevi podatkovnih aplikacija

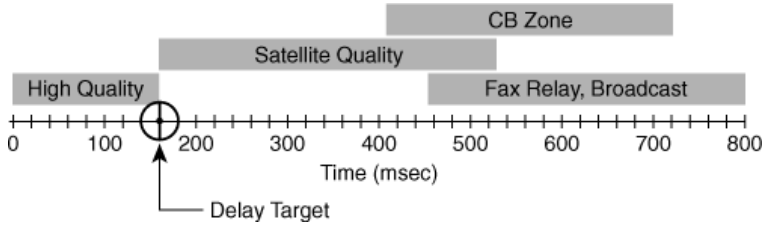
Kod podatkovnih usluga, odnosno kod prijenosa tekstova, brojeva i programa, tolerancija na gubitke paketa vrlo je mala. Velika tolerancija je na kašnjenje paketa kao i na varijacije kašnjenja. Razlog tomu je što takvi podaci nisu uvijek odmah potrebni niti će kašnjenje od nekoliko milisekundi ili sekundi bitnije utjecati na krajnji ishod. Ukoliko dođe do velikog kašnjenja paketa, te ako paket zbog toga bude odbačen, zahvaljujući TCP protokolu paket će biti ponovno poslan te neće utjecati na kvalitetu usluge. Kod ovih aplikacija propusnost varira ovisno o usluzi i njezinoj namjeni. Ukoliko se kod nekih usluga dogodi greška, odnosno gubitak paketa (e-mail, web pretraživanje, internet bankarstvo itd.) to može imati velike posljedice. Dakle, kod prijenosa ove vrste usluga najbitniji faktor je pouzdanost te kvaliteta usluge ponajviše ovisi o tome.

## 4.2. QoS zahtjevi kod glasovnih aplikacija

Za razliku od podatkovnih aplikacija, glasovne aplikacije (VoIP) imaju različite zahtjeve. Kod VoIP-a gubitak određenog broja paketa neće imati velik značaj na kvalitetu jer postoje načini pomoću kojih se izgubljeni paketi nadomještaju te na taj način ne utječe puno na samu kvalitete usluge ako su u prihvatljivim granicama. Kod ove usluge je bitno da kašnjenje nije veliko jer to znatno utječu na kvalitetu zvuka. Samim time i širina prijenosnog pojasa treba biti dovoljno velika.

VoIP je svakako najveći predstavnik glasovnih aplikacija u višeuslužnim mrežama. Za razliku od podatkovnih usluga gdje je za zadovoljavanje kvalitete najvažnija sigurna dostava paketa, kod VoIP-a na kvalitetu usluge utječu i ostali parametri, posebno kašnjenje, također širina prijenosnog pojasa mora biti veća nego kod podatkovnih aplikacija. U VoIP mrežama upotrebljava se UDP protokol, te često dolazi do gubitaka paketa zbog nemogućnosti retransmisije. Gubitak paketa ne uzrokuje samo otežanu komunikaciju nego može uzrokovati čak i prekid poziva. Gubitak većeg broja paketa manifestira se kao „pucketanje“ u govornom toku, a ukoliko se paketi gube jedan za drugim u snopu, audioefekt je znatno lošiji nego kada se paketi gube jedan za drugim u određenim vremenskim intervalima. Gubljenje paketa u snopu uzrokuje gubljenje većeg dijela govorne informacije ili izobličenje što uzrokuje lošu kvalitetu koja je svakako uočljiva korisniku. Osim što gubljenje većeg dijela paketa uzrokuje izobličenje, te pakete teško je zamijeniti, [34].

Kašnjenje također može uzrokovati degradaciju kvalitete glasa jer se radi o stvarno vremenskoj aplikaciji koje su izrazito osjetljive na kašnjenje. Ako je kašnjenje veće od 100 ms razgovori su teško razumljivi, a ako je kašnjenje veće od 200 ms kvaliteta usluge postaje neprihvatljiva. Iz tog razloga, ITU-T u svojoj preporuci G.114 ograničava maksimalno kašnjenje na 300 ms između dva pristupnika, odnosno 150 ms u jednom smjeru, što je i prikazano na slici 14.




**Slika 14**. Dozvoljeno kašnjenje prema ITU-T, G.114, [35]

Vrlo bitan faktor kod VoIP-a je i širina prijenosnog pojasa. Pomoću jednostavnih matematičkih metoda lako je izračunati potrebnu širinu za prijenos govora, no problem stvara činjenica što je to potrebno odrediti za svaku uslugu u mreži. Ukoliko se dodijeli premalo prijenosnog pojasa za prijenos govora, to može uzrokovati ozbiljne gubitke kvalitete. Iz toga razloga se govoru, kao i signalizaciji, u mreži dodjeljuje odgovarajući prioritet u odnosu na drugi promet. Kako bi se takva potreba smanjila koriste se posebni algoritmi koji komprimiraju govor u pakete, kao i mehanizam koji potiskuje tišinu.

## 4.3. QoS zahtjevi kod video aplikacija

Video zapisi mogu se prenositi mrežom na vrlo sličan način kao i prijenos govora samo što se u ovom slučaju prenose i pokretne slike uz zvuk. Jedna od najvažnijih specifičnosti video usluga je propusnost mreže, odnosno njezinih dijelova kako ne bi došlo do zagušenja te gubitaka paketa. Brzine prijenosa kojima korisnik ostvaruje pristup mreži, imaju utjecaj na dimenzioniranje kapaciteta, a većina proizvedenog prometa ovih usluga zahtjeva varijabilnu brzinu prijenosa budući da se komprimiranjem postiže prenošenje samo onih uzoraka slika koje se mijenjaju.

Veličina zahtijevanog kapaciteta ovisit će o sadržajima koje korisnici gledaju u pojedinom trenutku. Te promjene mogu biti velike ukoliko korisnici gledaju prijenos sportske utakmice ili manje ako je prijenos čitanja vijesti za vrijeme dnevnika što predstavlja izazov u dizajniranju zahtijevanoga kapaciteta kada više korisnika istovremeno gleda isti sadržaj. Važna značajka videa na zahtjev je zahtijevanje kapaciteta za dvosmjerni prijenos da korisnicima bude omogućeno da odabiru željene sadržaje. Kod ovog načina prijenosa, širina prijenosnog kanala po kojima se šalju paketi može biti manja za razliku od videokonferencija i prijenos videa strujanjem, iz razloga što ovaj način ima mogućnost prijenosa dijela filma, odnosno određenog broja paketa na računalo, nakon čega se može početi s njegovim prikazivanjem. Na taj način stvori se određena zaliha paketa, dok se ta zaliha troši, mrežom se donose novi paketi. Zaliha treba biti dovoljna da potrošnja sadržaja (prikaz na ekranu), uz raspoloživi dotok novih sadržaja, ne dovede do toga da se nema što prikazati.

Svakako najsigurniji način gledanja filma je kopiranje cijelog sadržaja filma s mreže na računalo. Ovaj način prijenosa videa ima najbolju kvalitetu jer ima vremena nadomjestiti izgubljene pakete kao i omogućiti svim paketima da stignu na vrijeme. Kod ove usluge, kašnjenje (koje može biti i do nekoliko sekundi), kolebanje kašnjenja kao i gubitak paketa nemaju prevelik utjecaj na kvalitetu. Kod streaminga se uz određeno kašnjenje može zadržavati

vrlo mala zaliha sadržaja na terminalnom uređaju klijenta. Za uspješan prijenos sadržaja ovom metodom neophodno je da veza ima zahtijevanu širinu prijenosnog pojasa koju taj prijenos iziskuje. Kod prijenosa videa strujanjem koristi se UDP protokol te ovaj način prijenosa nema mogućnost retransmisije izgubljenih paketa, a posljedice izgubljenih paketa mogu značajno utjecati na kvalitetu slike i ne bi trebao biti veći od 1%. Osim gubitka paketa i kašnjenje može bitno utjecati na kvalitetu videa te ne bi trebalo biti veće od 10 s prema preporukama ITU-T T.1010, dok za kolebanje kašnjenja nema posebnih zahtjeva zato što postoji međuspremnik u koji se spremaju paketi, [36].

Videotelefonija zahtjeva izrazitu veliku propusnost veza, a pogotovo videokonferencija koja omogućava da međusobno udaljeni učesnici takve konferencije izravno vide i čuju jedni druge. Kod takvog prijenosa potrebno je ostvariti prijenos video i zvučnih sadržaja od svakog sudionika do svih ostalih. Ukoliko propusnost kod video prijenosa nije dovoljna, onda se snimke komprimiraju (smanjuje se broj boja) i smanjuje se broj snimki u sekundi, pritom, prijenos zvuka treba sačuvati, čak i kad se snimka sasvim zaustavi. Kod ovakvog prijenosa, česti su gubici paketa zbog male propusnosti.

Za prijenos paketa u videokonferencijama se koristi UDP protokol jer je važnija brzina pristizanja paketa nego točnost pa ovaj sustav nema mogućnost retransmisije paketa. Dozvoljeno kašnjenje, kao i gubitak paketa je prema preporukama ITU-T T.1010 isti kao i kod VoIP-a, kašnjenje u jednom smjeru ne bi trebalo biti veće od 150ms, a gubitak paketa ne bi trebao biti veći od 1%, dok kolebanje kašnjenja nije definirano za ovu uslugu, [36].

# 5. QoS S KRAJA NA KRAJ U HETEROGENIM MREŽAMA

## 5.1. Povezivanje različitih mreža

Do sada je smatrano da postoji jedinstvena homogena mreža u kojoj svako računalo u svakom sloju koristi isti protokol. Međutim, tako nije u stvarnosti. Postoje mnoge različite mreže PAN, LAN, MAN, WAN i u svakom sloju tih mreža koristi se više različitih protokola. Nastaju različiti problemi kada se dvije ili više mreža povežu u kombiniranu mrežu (internet).

Povezivanje mreža bi bilo znatno jednostavnije kada bi se u svim mrežama koristila ista mrežna tehnologija, a često postoji vrsta mreže koja prevladava, na primjer Ethernet. S obzirom da različite vrste mreža rješavaju različite vrste problema, vrlo je vjerojatno da će se Ethernet mreže i satelitske uvijek razlikovati. Upotreba postojećih sustava za nove namjene, kao što je prijenos podataka putem kablovskih, telefonskih ili energetskih linija još je jedan razlog zašto se mreže razlikuju i radi toga heterogenost mreže neće nikada nestati.

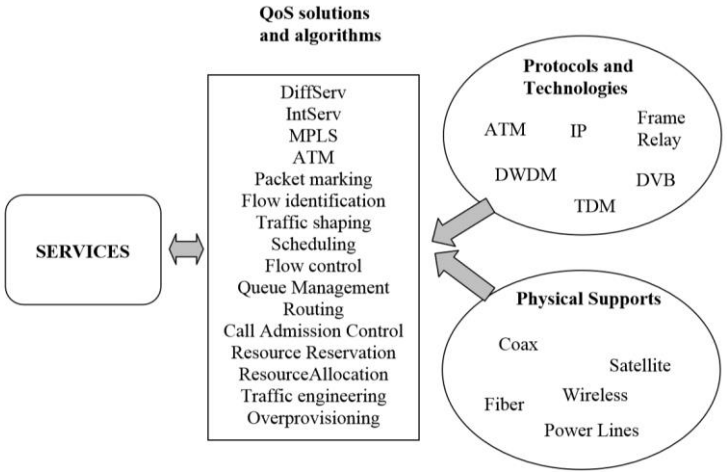
Plaćanjem usluge ISPu za pristup Internetu, može se plaćati propusni opseg linije, ali stvarno se plaća mogućnost razmjene paketa sa drugim računalom koji je povezan sa Internetom. S obzirom da se mreže često međusobno znatno razlikuju, prenošenje paketa iz jedne mreže u drugu nije uvijek tako jednostavno. Moraju se riješiti problemi čiji je izvor heterogenost mreže, kao i problemi skaliranja, jer rezultirana kombinirana mreža postaje vrlo kompleksna.

## 5.2. QoS preko heterogenih mreža

Heterogene mreže temeljene na QoS-u je sposobnost mrežnog elementa (aplikacija, host i usmjerivač) da imaju određenu razinu osiguranja kako bi se njezini zahtjevi, vezani uz promet i uslugu zadovoljili. To znači da unutar mreže moraju biti implementirani prikladni mehanizmi kako bi se QoS zahtjev za svaku klasu prometa mogao pratiti i jamčiti komunikaciju od kraja do kraja. Potreba za kvalitetom usluge paralelna je razvoju telekomunikacijskih mreža, čija je glavna karakteristika heterogenost. Telekomunikacijske tvrtke ulažu energične napore u analizu, specifikacije i implementacije kako bi pružili QoS.

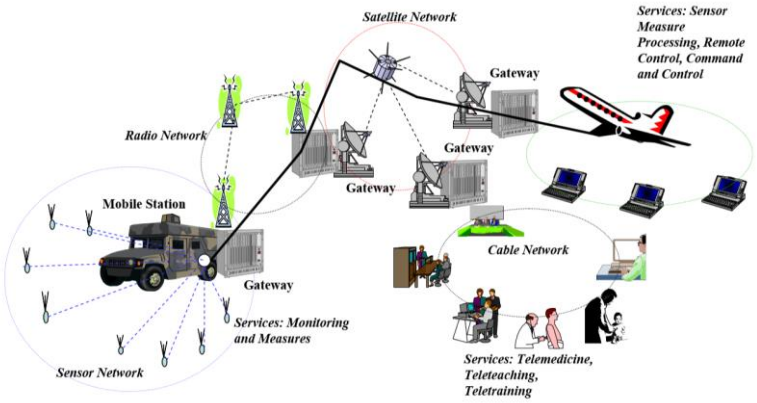
Definicija "heterogene mreže" može imati različite aspekte. Mrežni dijelovi mogu biti upravljani od strane različitih davatelja usluga ISP, mogu koristiti različite načine prijenosa, kao što su kabel, satelit, radio i mogu implementirati različite protokole kao što su ATM, IP i MPLS. Mreža može biti heterogena i sa stajališta korisnika, koja može zahtijevati različite usluge te imati različitu dostupnost za njihovo plaćanje. Moderne telekomunikacijske mreže su u osnovi sastavljene od različitih dijelova i tehnologija, svaki pojedini dio može implementirati drugačiju QoS rješenje, čiji algoritmi za zadovoljavanje zahtjeva performansi mogu se mijenjati zajedno s parametrima izvedbe.

Primjer može biti ATM mreža u kojoj su definirani QoS parametri i zahtjevi, kao i alati za njihovo jamstvo za svakog pojedinačnog korisnika u usporedbi s IP mrežom koja podržava DiffServ. Neke primjere protokola i tehnologija koje se mogu primijeniti na različite fizičke potpore, zajedno s neiscrpnim popisom mogućih QoS rješenja i QoS algoritama upravljanja, slikovito je prikazano je na slici 15, što omogućuje isticanje prisutnosti različitih mogućih heterogenosti unutar telekomunikacijskih mreža i važnosti algoritama QoS kontrole. U svakom slučaju, važno je istaknuti potrebu za pružanjem QoS usluga od izvora do odredišta, tj. izravno do korisnika. Na slici 16 je prikazana heterogena mreža sastavljena od radijskih, satelitskih i kablovskih dijelova.




**Slika 15**. Heterogenost mreže, [37]

Heterogenost pristupnih mreža omogućuje krajnjem korisniku da zatraži specifičnu QoS razinu, bez mijenjanja signalizacije i korištenjem osnovne povezanosti lokalnog pružatelja usluga.




**Slika 16**. End-to-end QoS usluga kroz heterogene dijelove mreže, [37]

Čak i ako je krajnji cilj pružanje *end-to-end* QoS svakog pojedinog korisnika ili grupe korisnika, problem QoS preko heterogenih mreža može se podijeliti u različite korake:

1. QoS zahtjevi (SLS-ovi) trebaju prolaziti cjelokupnu mrežu od izvora do odredišta kroz dijelove koji implementiraju različite tehnologije (kabel, bežična mreža, sateliti) te protokole za transport, mrežu i aplikacije.

2. QoS zahtjevi trebaju biti primljeni i razumljivi određenim dijelom (QoS mogu imati drugačije značenje i interpretaciju ovisno o korištenom protokolu i mreži).

3. SLS zahtjevi trebaju biti mapirani na specifičnoj tehnologiji stoga dijela aktiviranjem kontrolnih mehanizama pogodnih za cilj.

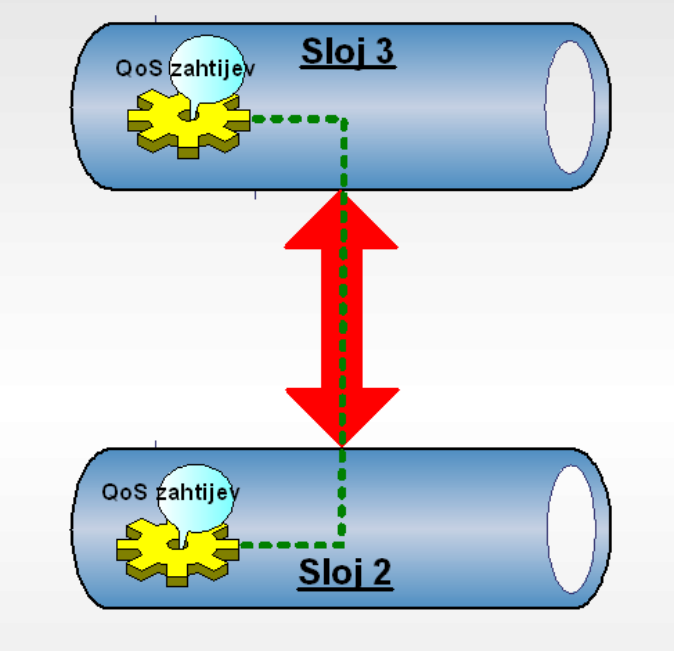
4. Svaki pojedini sloj sastoji se od slojevitih arhitektura, a svaki sloj mora imati određenu ulogu u QoS pružanju.

Ideja je da svaki pojedini dio zaslužuje specifično QoS orijentirano rješenje, no ovaj koncept mora biti potpuno transparentan krajnjim korisnicima. Teoretski, cjelokupni problem QoS međusobnog djelovanja može biti strukturiran u dva različita područja:

- vertikalno QoS mapiranje, što uključuje korake 3 i 4.

- horizontalni QoS mapiranje, što uključuje korake 1 i 2.

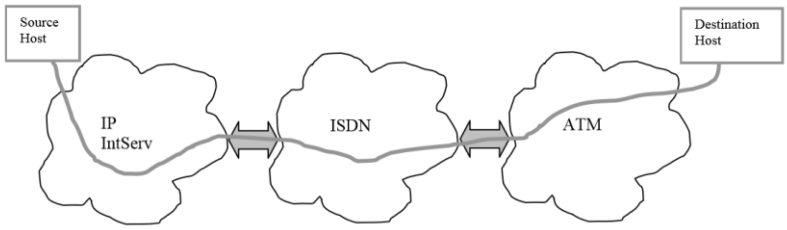
Koncept vertikalnog QoS mapiranja zasniva se na ideji da se telekomunikacijska mreža sastoji od funkcionalnih slojeva i da svaki sloj mora imati ulogu s kraja na kraj QoS pružanja. Ukupan QoS ovisi o QoS ostvarenom na svakom sloju mreže, a temelji se na funkcijama koje se izvode na slojnim sučeljima. Slika 17 prikazuje ideju koja se fokusira na sučelje između slojeva 2 i 3, što se očituje dvostrukom strelicom: čak i ako sloj 3 provodi učinkovite QoS mehanizme, isto tako za očekivati je da sloj 2 može osigurati specifičnu uslugu sloju 3, inače implementacija složenih QoS mehanizama na sloju 3 je beskorisna. QoS zahtjevi usmjeravaju okomito i trebaju biti primljeni, razumljivi i zadovoljni donjim slojem, [37].




**Slika 17**. Vertikalno mapiranje

Izvor: [37]

Koncept horizontalnog QoS mapiranja, prikazan je na slici 18 gdje je potrebno osigurati QoS zahtjeve između različitim dijelovima mreže koji implementiraju vlastite tehnologije i protokole. Tri različite mreže prikazane su na slici 18 i koriste tri različite QoS tehnologije, IP DiffServ, ISDN i ATM.




**Slika 18**. Horinzontalna QoS mapiranja, [37]

*Host* koji generira vezu mora primiti određenu kvalitetu temeljenu na SLS-u. Povezanost, prikazana sivom krivuljom na slici 18, prolazi kroz tri različita dijela mreže, koji su zapravo Autonomni sustavi (*Autonomous Systems* - ASes). Kada se različiti autonomni sustavi susreću (strelice), važno je mapirati zahtjev kvalitete s jedne mreže na drugu tako da konačni korisnik može transparentno dobiti traženu kvalitetu. Zadatak je težak, a njegovo rješenje podrazumijeva uvođenje dodatnih hardvera i/ili softvera i signalnih protokola. To podrazumijeva učinkovitu implementaciju vertikalnog mapiranja, ali i dodatne značajke, [37].

## 5.3. Načini međusobnog povezivanja mreža

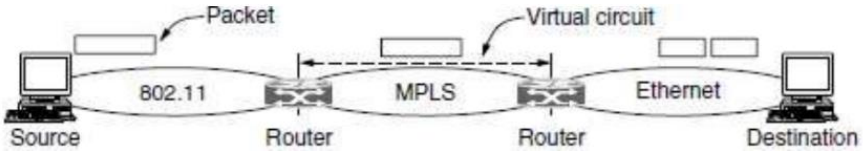
Postoje dva osnovna načina da se povežu raznolike mreže: mogu se dodati uređaji koji prevode (konvertiraju) pakete iz svake mreže u pakete za svaku drugu vrstu mreže, ili se doda posrednički sloj koji je zajednički za obje raznolike mreže. U oba slučaja moraju biti postavljeni odgovarajući uređaji na granicama mreža.

Isto tako postoje različiti uređaji za povezivanje mreža, kao što su pojačala *(engl. repeater),* koncentratori (engl. *hub),* preklopnici (engl. *bridg)*, usmjerivači i *gatewei*. Pojačala i koncentratori samo prebacuju bitove sa jednog kabla na drugi i to su uglavnom analogni uređaji koji ne znaju ništa o protokolima viših slojeva (oni samo regeneriraju signale). Korak više u sloju veze podataka su *bridgevi*. Oni se mogu iskoristiti za izgradnju mreža, ali samo uz manje prevođenje između protokola u procesu, na primjer, između 10, 100 ili 1000 Mb/s Ethernet preklopnika. Ovdje su uređaji koji rade na nivou mrežnog sloja, a to su usmjerivači.

*Gateway* su uređaji za povezivanje mreža koji rade na višem nivou. Prvo će se razmotriti na visokom nivou kako se raznolike mreže mogu povezati preko zajedničkog mrežnog sloja.

Na slici 19 prikazana je heterogena mreža koju čine standard za bežičnu lokalnu mrežu 802.11, MPLS i Ethernet mreže. Pretpostavka je da je izvorno računalo iz standarda 802.11 mreže želi poslati paket koji se nalazi u Ethernet mreži. S obzirom da su u pitanju različite tehnologije, a povrh toga, razdvaja ih treća vrsta mreže (MPLS), potrebna je dodatna obrada na granicama između mreža.

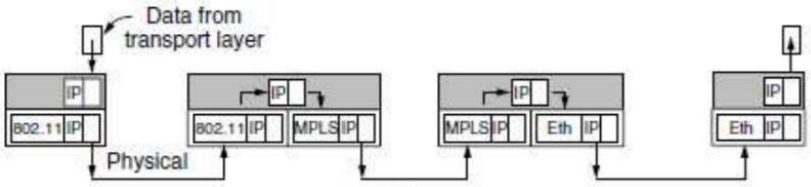
U različitim mrežama uglavnom se koriste različiti načini adresiranja, paket nosi adresu za mrežni sloj pomoću koje se može identificirati svako računalo u 3 mreže. Prva granica na koju paket stiže je kada prelazi iz standarda 802.11 u MPLS mrežu. Mreže tipa standarda 802.11 rade bez uspostavljanja direktnih veza, dok MPLS mreža radi sa uspostavljanjem direktnih veza. To znači da se mora uspostaviti virtualni put kroz tu mrežu te nakon toga stiže do Ethernet mreže. Na toj granici, paket može biti prevelik da bi se mogao dalje prenositi jer standard 802.11 mreže rade s većim paketima od Ethernet mreža. Kao rješenje tog problema, paket se razdvaja na manje dijelove i svaki dio se šalje zasebno. Kada dijelovi izvornog paketa stignu na odredište, oni se sklapaju i tada je paket završio svoje putovanje, [38].




**Slika 19**. Prikaz slanja paketa kroz različite mreže [38]

Proces obrade paketa tijekom tog putovanja prikazan je na slici 20. Izvor prima podatke iz transportnog sloja i generira paket sa zaglavljem koje je zajedničko za sve mreže, što je u ovom primjeru IP zaglavlje. Mrežno zaglavlje sadrži konačnu odredišnu adresu na osnovu čega se utvrđuje da paket treba poslati kroz prvi usmjerivač. Paket se zato enkapsulira u standardu 802.11 okvir čije je odredište prvi usmjerivač i prosljeđuje dalje. U usmjerivaču paket se izdvaja iz polja za podatke okvira, a zaglavlje standarda 802.11 okvira se odbacuje usmjerivač sad ispituje IP adresu paketa i traži tu adresu u svojoj tablici rutiranja, na osnovu te adrese, usmjerivač usmjerava paket prema sljedećem usmjerivaču. U tom dijelu puta uspostavlja se MPLS virtualni put prema drugom usmjerivaču, a paket se dopunjava s MPLS zaglavljima dok putuju tim putem. Na drugom kraju puta, MPLS zaglavlje se odbacuje i ponovno se ispituje mrežna adresa da bi se utvrdilo koji je sljedeći skok u mrežnom sloju. U ovom primjeru, to je istovremeno i konačno odredište paketa. Budući da je paket prevelik da bi se mogao proslijediti kroz Ethernet mrežu usmjerivač ga razdvaja na dva dijela, svaki dio se stavlja u polje za podatke Ethernet okvira i prosljeđuje na odredišnu adresu u Ethernet mreži. Na odredištu iz svakog

okvira se uklanja Ethernet zaglavlje a sadržaji okvira se spajaju. Paket je konačno stigao na svoje odredište, [38].




**Slika 20**. Proces obrade paketa [38]

Treba obratiti pozornost da postoji razlika između situacije sa usmjerivača i preklopnika. Usmjerivač vadi paket iz okvira i na osnovu adrese u paketu odlučuje kuda ga dalje proslijediti. Preklopnik prosljeđuje cijeli okvir na osnovu MAC adrese u okviru.

Povezivanje mreža je veoma uspješno rješenje za izgradnju velikih mreža, ali je izvodljivo samo ako postoji mrežni sloj koji je zajednički za sve povezane mreže. Vremenom je razvijeno mnogo mrežnih protokola. Osim protokola IP, koji je danas gotovo univerzalni mrežni protokol, još su primjer (*Nternetwork Packet Exchange* - IPX), (*System Network Architecture* - SNA) i AppleTalk.

Usmjerivač koji razumije više protokola zove se višeprotokolarni usmjerivač (engl. *multiprotocol router*) a njegova zadaća je prevođenje protokola i održavanje veze za protokol višeg sloja. Nijedno rješenje ne zadovoljava potpuno. Povezivanje na nivou višeg sloja, na primjer, pomoću TCP, zahtijeva da sve mreže podržavaju TCP (što možda nije uvijek slučaj). Osim toga time je upotreba u svim mrežama ograničena isključivo na aplikacije koje koriste TCP (što ne obuhvaća brojne aplikacije koje rade u realnom vremenu).

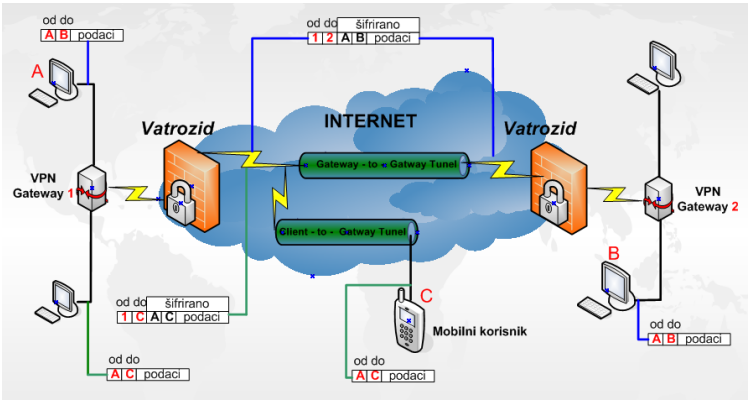
Druga mogućnost je prevođenje paketa između mreža. Međutim, ako formati paketa nisu bliski „rođaci“ istih polja za informacije takva preslikavanja uvijek će biti nepotpuna i često osuđena na neuspjeh. Na primjer, internetski protokol verzije 6 (*Internet Protocol verson6* - IPv6) adrese duge su 128 bita, one se ne mogu uklopiti u 32-bitno internetski protokol verzije 4 (*Internet Protocol verson4* - IPv4) polje za adresu, bez obzira koliko se usmjerivač trudi. Postizanje da IPv4 i IPv6 rade u istoj mreži pokazalo se kao glavna prepreka širenju IPv6. Još veći problemi mogu se očekivati pri prevođenju između suštinski različitih protokola, kao što su protokoli u mrežama s direktnim uspostavljanjem veza i onih mreža koje rade bez uspostavljanja direktnih veza. Zbog tih problema, pokušaji konverzije su rijetki.

## 5.4. Tuneliranje

Pronalaženje općeg rješenja za povezivanje dvije različite mreže u jedinstvenu, kombiniranu mrežu, izuzetno je teško. Međutim, postoji čest specijalan slučaj koji je rješiv, čak i ako je riječ o različitim mrežnim protokolima. To je slučaj kada su izvorište i odredište u mrežama istog tipa, dok se između njih nalazi druga mreža. Rješenje je tzv. tuneliranje (eng. *Tunneling*).

Tuneliranje predstavlja tehniku prijenosa podataka namijenjenu jednoj mreži preko neke druge mreže. Podaci koji se šalju mogu biti okviri (ili paketi) od nekog drugog protokola. Protokol, kojim se implementira tuneliranje, enkapsulira originalnom okviru posebno oblikovano zaglavlje. Takvo zaglavlje sadrži dodatne podatke (za usmjeravanje) kako bi enkapsulirani paket stigao kroz mrežu koja služi za prijenos do odredišta. Enkapsulirani podaci se tada šalju između krajnjih točaka tunela, prikazano na slici 21.

Tunel je logički put kroz koji enkapsulirani podaci prolaze kroz mrežu koja služi kao medij za prijenos. Kada takav okvir dođe do svog odredišta podaci se ekstrahiraju i zatim se šalju na ciljno odredište. Tuneliranje uključuje čitav navedeni proces (enkapsulacija, prijenos i ekstrakcija).




**Slika 21**. Tuneliranje kroz VPN mrežu

Izvor: [38]

## 5.5. Rutiranje u heterogenoj mreži

Rutiranje u heterogenoj mreži ima dodatne probleme u odnosu na one koji se javljaju kod rutiranja kroz jedinstvenu mrežu. Mreže mogu koristiti različite algoritme rutiranja paketa i to može predstavljati problem u procesu odabira najefikasnije putanje paketa kroz mrežu.

Mreže različitih operatera uvode još ozbiljnije probleme. Različiti operateri mogu imati različite zamisli o tome što je dobra putanja kroz mrežu. Poslovna politika jednog operatera može biti da pakete prosljeđuje uz najmanje moguće kašnjenje, dok drugi možda želi najjeftiniju putanju. Posljedica toga je da operateri koriste različite parametre za izračunavanje cijena najkraćih putanja (npr. milisekunde kašnjenja nasuprot cijena izraženih u novcu). Kako mjere nisu usporedive između mreža, u kombiniranoj mreži se ne mogu precizno definirati najkraće putanje.

Kombinirana mreža može biti znatno veća od svake mreže koja je njen dio i zato može zahtijevati algoritme za rutiranje paketa koji dobro skaliraju ako se koristi hijerarhijsko usmjeravanje, usprkos tome što hijerarhija nije potrebna ni u jednoj od pojedinačnih mreža.

Sve navedeno dovodi do algoritma za usmjeravanje paketa u dva nivoa. Unutar svake mreže, za usmjeravanje se koristi unutardomenski protokol ili unutrašnji protokol za prolaženje (engl. *interior gateway protocol*). Između mreža koje čine kombiniranu mrežu, koristi se međudomenski ili vanjski protokol za prolaženje (engl. *exterior gateway protocol*). Svaka mreža može koristiti različite unutardomenske protokole, ali sve moraju koristiti isti međudomenski protokol. [38].

# 6. PROMETNO INŽINJERSTVO I KVALITETA USLUGE

## 6.1. Osnovni mehanizmi QoS-a

Govoreći o višeuslužnim mrežama prvenstveno se misli na Internet. Internet je mreža koja je prvotno dizajnirana da podrži tzv. *Best Effort* posluživanje. Karakteristike takvog načina su da se ne pravi nikakva razlika između usluga i korisnika što je dobro za elastični promet kao što je e-mail, web promet i prijenos datoteka i takve usluge nemaju velike zahtjeve za QoS. Osim takvih usluga prijenosa podataka, pojavile su se i usluge koje su mnogo naprednije ali i koje su osjetljivije na parametre QoS-a, kao što su videokonferencije, VoIP i video na zahtjev. Takve aplikacije imaju striktne zahtjeve koje su vezane uz parametre kvalitete, odnosno uz gubitak paketa, kašnjenje, kolebanje kašnjenja i širinu prijenosnog pojasa. Kako bi parametri pojedinih usluga ostali u zadovoljavajućim omjerima, QoS ima vlastite mehanizme koji to omogućavaju. Ti mehanizmi koriste razne funkcije kao što su rezervacija zahtijevanog prijenosnog pojasa, tablice rutiranja, identifikacije klase usluga, rutiranje s prioritetom itd. U načelu postoje dva mehanizma koji mogu biti upotrijebljeni za osiguravanje dopuštenih ili ugovorenih vrijednosti parametara kvalitete usluge. Jedan se temelji na IntServ modelu, a drugi na DiffServ modelu.

### 6.1.1. IntServ mehanizmi

IntServ mehanizmi su temeljeni na (*Resource Reservation Protocol* - RSVP) protokolu koji se koristi za rezervaciju resursa za pojedini tok paketa ili za višestruke tokove paketa. Za osiguravanje resursa se koristi poruka pomoću koje se najavljuje zahtjev za rezervacijom resursa (eng. *path message*), te poruka pomoću koje se rezervacija obavlja (eng. *resv message*). Kada kontrola pristupa omogući toku ulazak u mrežu, dodjeljuje mu se zahtijevani kapacitet i osiguravaju mu se vrijednosti parametara kvalitete (slika 22).

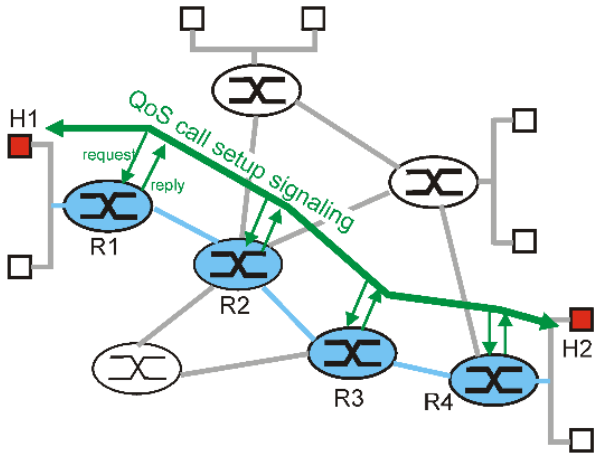
Prema IntServ konceptu definirane su dvije klase usluga i to:

- jamčene usluge (*Guaranteed Service* -GS) i
- usluge s kontroliranim opterećenjem (*Controlled Load Service* - CLS).

Jamčene usluge namijenjene su vremenski osjetljivim aplikacijama. Ove usluge definiraju najveće dopušteno kašnjenje i minimalnu propusnost na elementima mreže od jednog do drugog kraja mreže.

Usluga s kontroliranim opterećenjem namijenjena je uslugama koje su osjetljive na preopterećenje. Ove uslugu omogućuju dijeljenje zajedničkog propusnog opsega između više prometnih tokova u uvjetima velikog mrežnog opterećenja.

S ovim mehanizmom postiže se precizno definiranje zahtjeva te realizacija tražene razine QoS-a. Također, unosi se veliko dodatno opterećenje zbog čuvanja i ažuriranja stanja svakog toka u svim usmjerivačima. Zbog toga se ne preporuča primjena ovog mehanizma u velikim mrežama, [39].




**Slika 22**. IntServ mehanizam, [40]

### 6.1.2. DiffServ mehanizmi

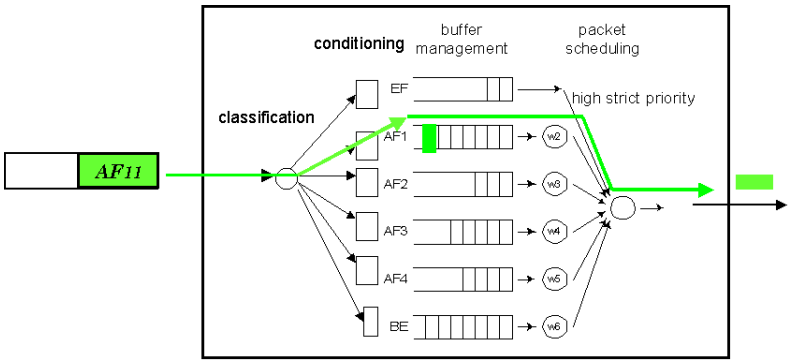
DiffServ modeli se temelje na pretpostavci da je Internet skup neovisnih mreža koje su upravljane, administrirane od jednog ISP-a. Glavni cilj razvoja ovoga modela je osiguranje QoS-a za korisnike mreže. DiffServ arhitektura se sastoji od mnogo elemenata kao što su krajnji elementi i elementi jezgrene mreže. Temelji se na jednostavnom modelu gdje se promet, koji prolazi kroz DiffServ mrežu, klasificira u različite klase usluga te označava na granicama mreže. Nakon što se paketi klasificiraju na granici mreže, prosljeđuju se kroz čvorove mreže prema (*Per-Hop Behavior* - PHB). PHB se implementira u čvorove jezgrene mreže i definira kako se tretira promet koji pripada određenoj skupini. Posluživanje paketa temelji se na informacijama koje se nalaze u polju IP zaglavlja čija lokacija ovisi o verziji IP protokola (*Differentiated Service Code Point* - DSCP). Paketi koji imaju isti tretman odnosno istu DSCP vrijednost i putuju istim smjerom, formiraju skupinu prema kojoj se jednako ponaša. Takav način ne zahtjeva mnogo resursa i obrade podataka kao što je to primjer kod IntServ arhitekture.

Postoje dva tipa PHB koje definira DiffServ arhitektura:

- PHB s ubrzanim prosljeđivanjem (*Expedited Forwarding* - EF) i
- PHB sa sigurnim prosljeđivanjem (*Assured Forwarding* - AF).

PHB s ubrzanim prosljeđivanjem određenoj klasi usluge garantira visoki protok neovisno o drugim klasama usluga.

PHB sa sigurnim prosljeđivanjem dijeli promet u četiri AF klase gdje se svakoj klasi dodjeljuje određeni kapacitet (*linka*, međuspremnika). Nakon dodjeljivanja klase svakom paketu, određuje se „prioritet“ odbacivanja, odnosno koji se paketi u slučaju zagušenja na mreži odbacuju prvi kako bi se oslobodili kapaciteti, [41]. Struktura tipičnog DiffServ čvora prikazana je na slici 23.




**Slika 23**. Čvor s DiffServ mehanizmom kvalitete usluge [42]

# 7. ANALIZA PERFORMANSI MEHANIZAMA ZA OSIGURANJE KVALITETE USLUGE

Fiksne i mobilne usluge danas predstavljaju jednu od ključnih usluga koju osiguravaju ISPs. Stoga je vrlo bitno osigurati njihovu kvalitetu i prijenos. S obzirom da se mreže često međusobno znatno razlikuju, prenošenje paketa iz jedne mreže u drugu nije uvijek tako jednostavno, tako se u novim generacijama mreža nastoji uvesti zajednička infrastruktura te integracija usluga za fiksne i mobilne mreže. Zajednička infrastruktura se temelji na TCP/IP modelu mreže koja omogućuje mrežama nove generacije prijenos svih usluga na modelu Best Effort.

Kvalitete usluge i pojmovi koji je opisuju (parametri, mjere, upravljački mehanizmi) imaju vrlo važnu ulogu jer bez nje ne bi bilo moguće ostvariti očekivanja korisnika, niti bi rad mreža uopće bio moguć. Razumijevanje osnovnoga koncepta kvalitete i upravljanja kvalitetom je osnova za profesionalno upravljanje QoS-om u telekomunikacijama.

Kako je u ovom radu opisano uvođenje prometnog inženjerstava u višeuslužnim mrežama, kvaliteta usluge i njezinih parametara, pristupilo se analizi jednostavne mreže u kojoj su simulirana dva slučaja BestEffort i DiffServ.

Poglavlje koje slijedi obuhvaća analizu simulirane mreže koja se sastoji od 3 čvora uz pomoć koje će se izvršiti usporedba FCFS i DiffServ mehanizama usmjeravanja paketa (slika 24) te su rezultati prikazani kroz grafove. Grafovi obuhvaćaju usporedbu prosječnih vremena čekanja za različite duljine paketa u BestEffort i DiffServ mreži, distribuciju čekanja paketa, akumuliranje čekanje u BestEffort i DiffServ mreži te čekanje pojedinih paketa pomoću Paket ID-a koji je jedinstven i dodijeljen svakom paketu u mreži.

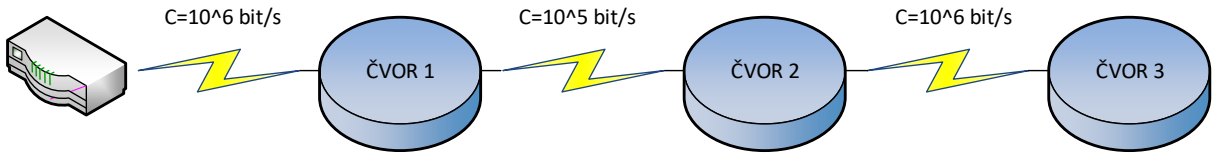
Simulacija je odrađena u programu Microsoft Excel koja je za početak zahtijevala definiranje 3 osnovna parametra kako bi se mogli izvršiti daljnji izračuni.

Prvi korak koji je odrađen je generiranje slučajnih brojeva u razmaku od 0-1000ms koji predstavljaju vremena dolaska paketa u čvor za ukupno 29 paketa. Paketi su podijeljeni u tri klase na temelju njihove prosječne duljine koja je također određena nasumičnim generiranjem. Klasa 1 sadrži 11 paketa duljine 1200 bita, klasa 2 sadrži 9 paketa duljine 8000 bita dok klasa 3 sadrži također 9 paketa ali duljine 14500 bita. Kapaciteti linkova između čvorova se razlikuju što je vidljivo na slici 24, dolazni link u čvor 1 ima kapacitet $10^6$ bit/s, link između čvora 2 i 3 ima brzinu $10^5$ bit/s što predstavlja „usko grlo“ dok link između čvora 2 i 3 ima kapacitet $10^6$ bit/s.

Na temelju simuliranih i određenih parametara izračunato je vrijeme posluživanja svakog paketa prema formuli (2) gdje se prosječna duljina paketa izražena u bitima dijeli sa kapacitetom (C) a množenje označava pretvaranje vremena iz sekundi u milisekunde.

Pomoću izračunatog vremena posluživanja (Ts) i njegovim zbrajanjem sa vremenom dolaska paketa u čvor ($T_1$) dobiveno je vrijeme završetka posluživanja paketa ($T_2$) što je vidljivo u formuli (3).

Na kraju izračunato je vrijeme čekanja paketa prema formuli (4) gdje je od vremena završetka posluživanja paketa ($T_2$) oduzeto vrijeme dolaska paketa u čvor ($T_1$) i vrijeme posluživanja Ts.




**Slika 24**. Čvorovi u simuliranoj mreži

Glavni parametar po kojem će se raditi usporedba je Tw odnosno vrijeme čekanja paketa u čvoru mreže jer je to najbolji pokazatelj što se s paketom događa u mreži. Formule po kojima se računa koliko je vrijeme čekanja paketa su slijedeće:

Vrijeme posluživanja paketa:

$$Ts = \frac{p}{c} \cdot 1000 \qquad (2)$$

Vrijeme završetka posluživanja paketa:

$$T_2 = T_1 + Ts \qquad (3)$$

Vrijeme čekanja paketa:

$$Tw = T_2 - T_1 - Ts \qquad (4)$$

p = duljina paketa [bit]

c = kapacitet linka [bit/s]

$T_1$ = vrijeme dolaska paketa u čvor

$T_2$ = vrijeme završetka posluživanja paketa

Ts = vrijeme posluživanja paketa

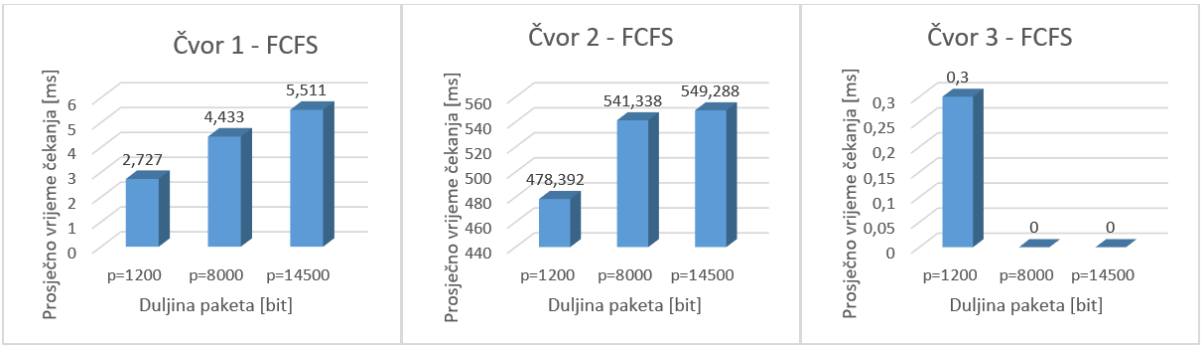
Tw = vrijeme čekanja paketa

## 7.1. Prosječno vrijeme čekanja paketa u BestEffort i DifServ mreži

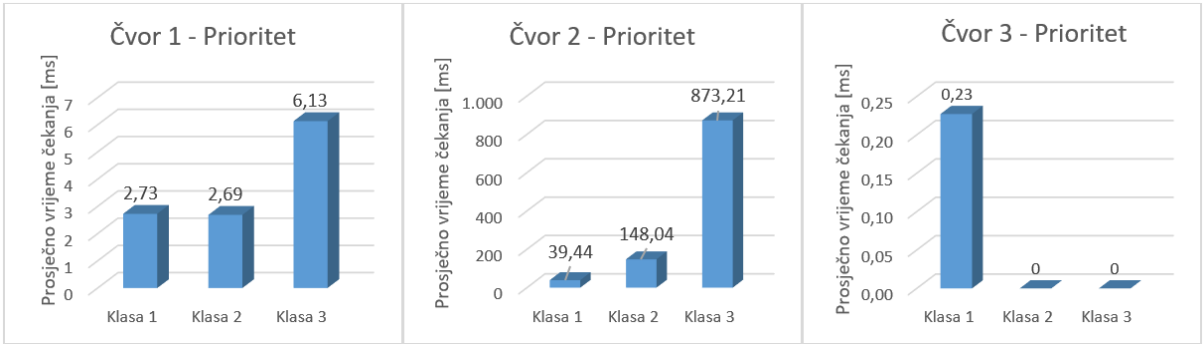
Na sljedećim slikama prikazani su grafovi prosječnog vremena čekanja paketa za određeni čvor i određenu duljinu paketa odnosno klasu prometa. Prva klasa prometa predstavlja prioritet i u ovoj analizi prvu klasu predstavljaju paketi koji pripadaju glasovnim pozivima, druga klasa pripada video pozivima dok je treća klasa pridružena prijenosu podataka.

Iz grafova se može uočiti da prva klasa prometa ima najmanje čekanje dok treća klasa ima najveće čekanje što je u ovom slučaju bitno jer preveliko čekanje paketa prve klase bi moglo uzrokovati gubitak paketa što bi se odrazilo na kvalitetu razgovora odnosno riječi bi bile isprekidane. Za prijenos podataka nije toliko bitna brzina već točnost, odnosno da svi podatci stignu na odredište.

Također u usporedbi grafova Best Effort mreže (FCFS) i DiffServ mreže uočava se da je ipak čekanje paketa veće u FCFS mreži što daje prednost DiffServ mreži u osiguranju određene razine kvalitete usluge.




**Slika 25**. Prosječno vrijeme čekanja paketa u BestEffort mreži

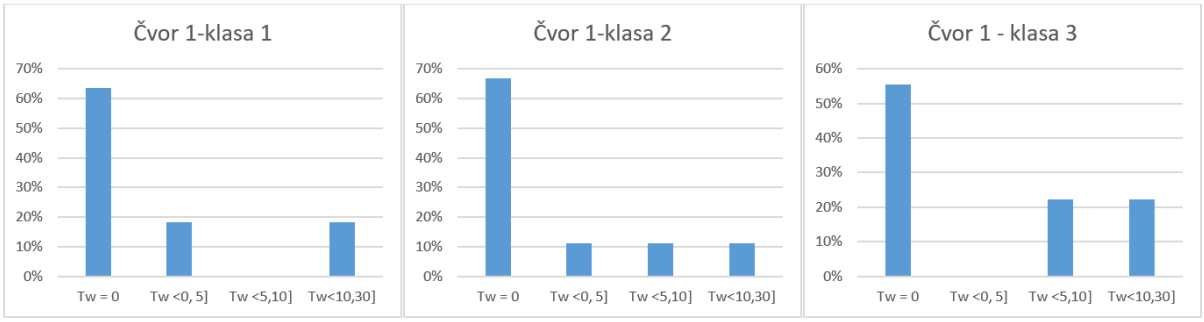



**Slika 26**. Prosječno vrijeme čekanja paketa u DiffServ mreži

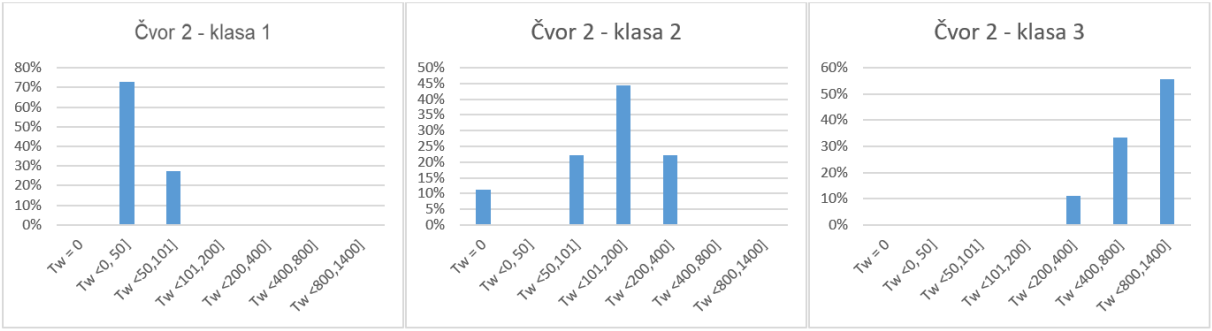
## 7.2. Distribucija čekanja paketa

U slijedećem dijelu analize prikazani su grafovi distribucije čekanja paketa odnosno postotak koliko paketa čeka u određenom vremenskom razredu. Iz priloženog se može uočiti kako je čekanje u 2. čvoru najveće zbog smanjenja kapaciteta linka između 1. i 2. čvora te kako 3. klasa prometa ima najveće čekanje.

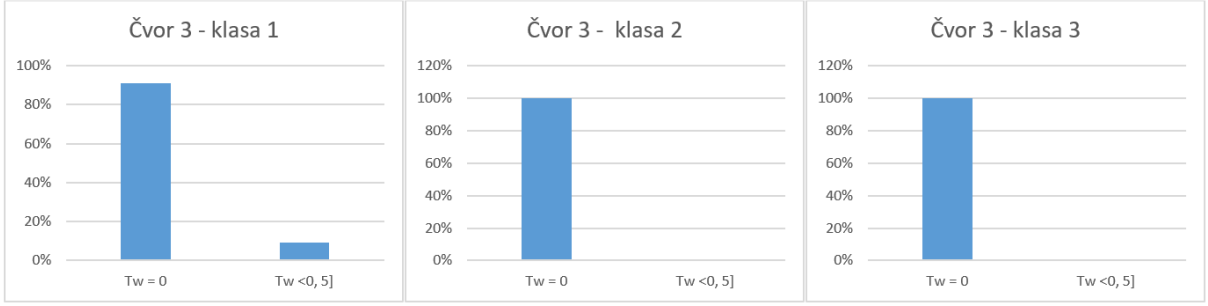
Na slici 29 se vidi da se čekanje paketa drastično smanjilo odnosno jako mali postotak paketa mora čekati iz razloga što je kapacitet linka između 2. i 3. čvora ponovno dovoljno porastao.




**Slika 27**. Postotak paketa koji moraju čekati u 1. čvoru




**Slika 28**. Postotak paketa koji moraju čekati u 2. čvoru

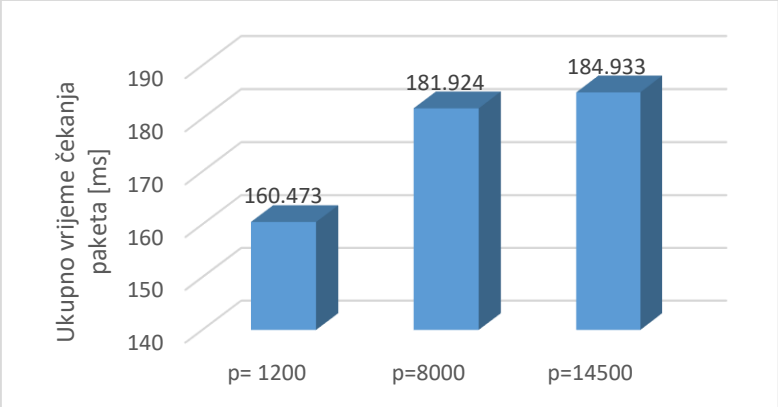



**Slika 29**. Postotak paketa koji moraju čekati u 3. čvoru

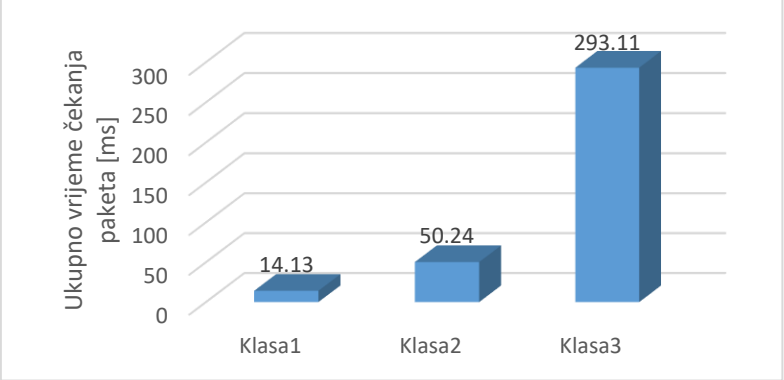
## 7.3. Akumulirano čekanje

S obzirom da su u ovoj simuliranoj mreži svakoj klasi pripada uvijek ista duljina paketa u sva tri čvora može se jednostavno izračunati ukupan prosijek čekanja paketa pojedine klase odnosno duljine paketa što je prikazano u slikama 30 i 31.

Iz slika se može uočiti kako je vrijeme čekanja znatno manje u DiffServ mreži čime se ponovno potvrđuje njezina prednost u odnosu na BestEffort mrežu i samim time bolji odabir jer omogućava osiguranje određene kvalitete usluge.




**Slika 30**. Ukupno prosječno čekanje u BestEffort mreži



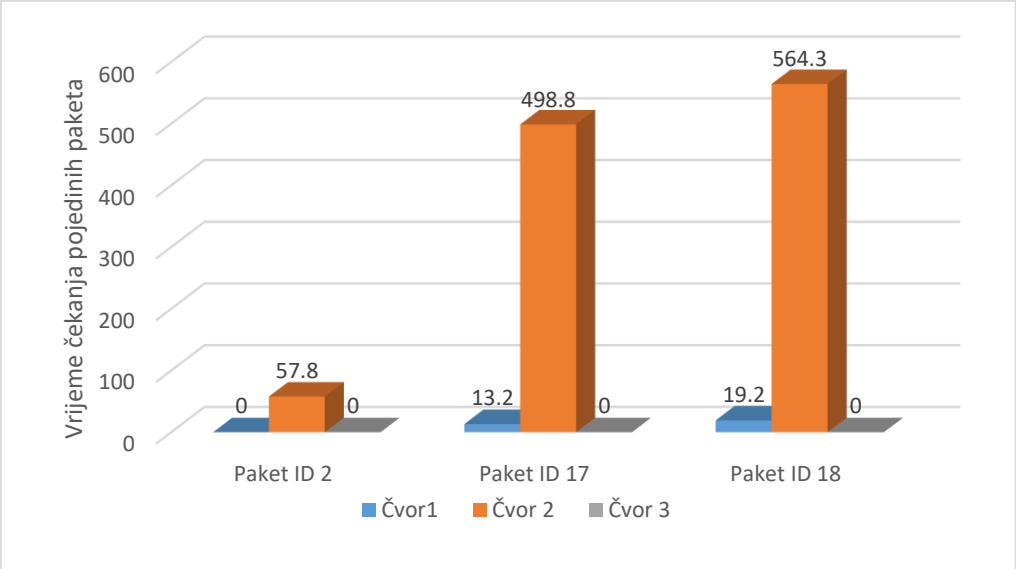

**Slika 31**. Ukupno prosječno čekanje u DiffServ mreži

## 7.4. Čekanje pojedinih paketa

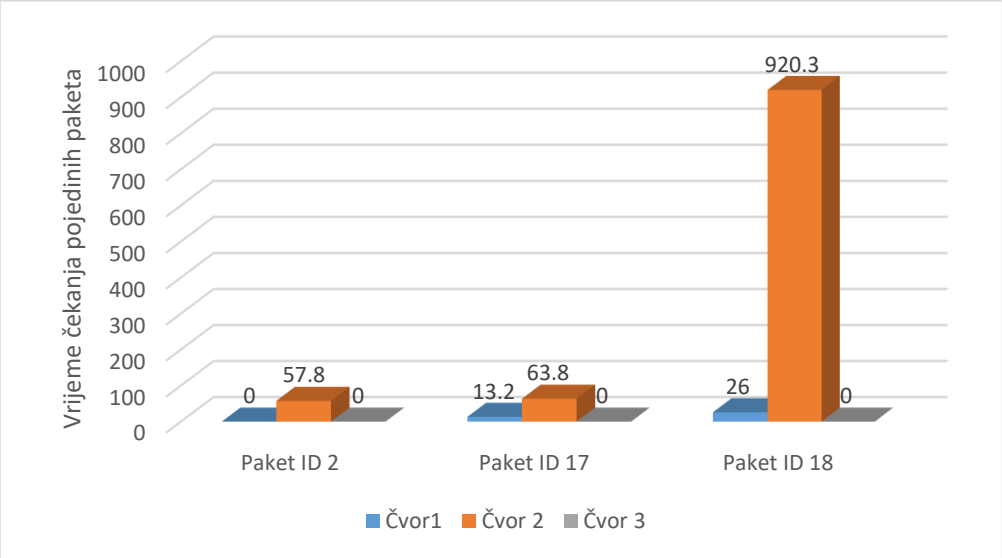
U zadnjem djelu analize prikazano je čekanja pojedinih paketa, slike 32 i 33. Kod početnog računanja svakom paketu je dodijeljen jedinstveni ID paketa što je omogućilo da se svaki paket može pratiti kroz sva tri čvora u mreži i time prikazati interesantne slike koje slijede.

Odabir paketa koji će biti prikazani u analizi su određeni po kriteriju da im se vrijeme čekanja mijenja u sva tri čvora odnosno da nije uvijek 0 što ne bi bilo interesantno za analizu.

Paket ID 2 pripada 1. klasi prometa, paket ID 17 pripada 2. klasi prometa, a paket ID 18 pripada 3. klasi prometa te se na slijedeće dvije slike (32 i 33), potvrđuju tvrdnje iz prethodnih slika (30 i 31) da paketi 3. klase imaju najveće vrijeme čekanja.




**Slika 32**. Čekanje pojedinih paketa u BestEffort mreži




**Slika 33**. Čekanje pojedinih paketa u DiffServ mreži

# 8. ZAKLJUČAK

Višeuslužne mreže pružaju više vrsta usluga putem jedinstvene prijenosne infrastrukture neovisno o prijenosnom mediju, najpoznatija takva mreža je Internet. Više uslužne mreže temeljene su na Internet protokolu tako da je korisnicima dostupno mnogo usluga, pristup različitim aplikacijama i mogućnostima koje svakodnevno koriste. Upravo zbog mnogo aplikacija, nije bilo moguće implementirati mreže koje bi bile namijenjene samo za jednu vrstu usluge jer bi to zauzimalo previše prostora i kapaciteta i bilo bi iznimno skupo i komplicirano za održavanje. Iz tih razloga moralo se je krenuti u razvoj, tj. modeliranje mreže koja bi preko jedne infrastrukture omogućila promet različitih aplikacija, a s obzirom na heterogenost današnjih vise uslužnih mreža.

Kvaliteta usluge postala je važno područje istraživanja jer predstavlja ključni faktor konkurencije jednog operatora nad drugim. Da bi se osigurala određena razina kvalitete usluge pred davateljima usluga postavljeni su visoki zahtjevi u smislu dimenzioniranja mreže, proučavanja ponašanja aplikacija te zadovoljavanje korisnika isporučenom uslugom.

Mreže današnjice su heterogene što predstavlja problem kod osiguranja kvalitete usluge jer svaka mreža koristi više različitih protokola i zbog toga je važno provoditi istraživanja koja će pronaći najbolji odgovarajući model za povezivanje takvih mreža i zagarantirati komunikaciju od kraja do kraja.

U ovom radu odrađena je analiza performansi BestEffort i DiffServ mehanizama upotrebom Excel alata pomoću kojeg je simulirana mreža sa 3 čvora kroz koje se prati prolazak paketa i analizira vrijeme čekanja paketa. Analiza dovodi do zaključka da upotreba DiffServ mehanizama poboljšava kvalitetu usluge odnosno omogućava da se promet klasificira i time odredi prioritet pojedinoj vrsti prometa.

Zbog povećanog rasta broja povezanih uređaja u mreži radi se na razvoju mrežne arhitekture, tehnologije i mehanizama pete generacije (5G) što će u bliskoj budućnosti omogućiti znatno veći kapacitet , brzinu prijenosa i smanjiti kašnjenje a samim time povećati kvalitetu usluge  i osigurati ju od kraja do kraja što je jedan od glavnih ciljeva u razvoju mreža.

# LITERATURA


[1] Bošnjak, I.: Tehnologija telekomunikacijskog prometa II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2001., str 33.

[2] http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=426645 (studeni 2017.)

[3] http://www.e-tutes.com/lesson13/networking_fundamentals_lesson13_3.htm (studeni 2017.)

[4] Popović, Ž.: Od telegrafskih do paketnih komutacijskih sustava, Ericsson Nikola Tesla REVIJA 17 (2), 2004., str. 10-11

[5] Bošnjak, I.: Tehnologija telekomunikacijskog prometa II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2000

[6] http://mreze.layer-x.com/s010100-0.html (studeni 2017.)

[7] https://sysportal.carnet.hr/node/352 (studeni 2017.)

[8] http://mreze.layer-x.com/s010100-0.html (studeni 2017.)

[9] http://searchnetworking.techtarget.com/definition/TCP-IP (kolovoz 2018.)

[10] https://networklessons.com/cisco/tcpip-stack-tutorial/ (studeni 2017.)

[11] Bažant, A., Car, Ž., Gledec, G., Jevtić, D., Ježić, G., Kunštić, M., Lovrek, I., Matijašević, M., Mikec, B., Skočir, Z.: Telekomunikacije – tehnologije i tržište, Element, Zagreb, 2007.

[12]http://estudent.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija_telekomunikacijskog_prometa/Materijali/5_predavanje.pdf (siječanj 2018.)

[13] http://www.cisco.com/c/en/us/products/ios-nx-os-software/quality-of-service-qos/index.html (siječanj 2018.)

[14] ITU-T - P.800.1: “Recommendation ITU-T P.800.1 - Mean Opinion Score (MOS) terminology ,” (ožujak 2018.)

[15] Subjective performance assessment of telephone-band and wideband digital codecs, ITU-T P.380 (lipanj 2018.)

[16] Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures, ITU-R BT.500-8 (lipanj 2018.)

[17] http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com09/docs/tutorial_opavc.pdf (lipanj 2018.)

[18] Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs, ITU-T P.862 (lipanj 2018.)

[19] http://www.opticom.de/technology/pesq.php (PESQ, lipanj 2018.)

[20] http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com09/docs/tutorial_opavc.pdf (lipanj 2018.)

[21] http://www.mdpi.com/2224-2708/1/1/3/htm (siječanj 2018.)

[22] http://www.svgroup.hr/SV-Group/services/sla/ (Ugovor o razini usluge, siječanj 2018.)

[23] http://compnetworking.about.com/od/speedtests/a/network_latency.htm (Introduction to Latency on Computer Networks, Bradley Mitchell, siječanj 2018.)

[24] https://networklessons.com/cisco/ccnp-route/bandwidth-delay-product/ (siječanj 2018.)

[25] http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/voice/voice-quality/18902-jitter-packetvoice.html (UnderstandingJitterinPacketVoiceNetworks (Cisco IOS Platforms) (siječanj 2018.)

[26] http://revo-brain.blogspot.hr/2015/08/jitter-delay-throughput-packet-loss-in-qos.html (siječanj 2018.)

[27] https://en.wikipedia.org/wiki/Packet_loss (siječanj 2018.)

[28] http://revo-brain.blogspot.hr/2015/08/jitter-delay-throughput-packet-loss-in-qos.html (veljača 2018.)

[29] https://en.wikipedia.org/wiki/Bandwidth_(computing) (Bandwidth (computing), (veljača 2018.)

[30] https://www.posluh.hr/novosti/kako-procijeniti-koliki-je-bandwidth-potreban-za-optimalan-rad-web-stranice (veljača 2018.)

[31] https://whitelassiblog.wordpress.com/ (lipanj 2018.)

[32] http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/WAN_and_MAN/QoS_SRND/QoS-SRND-Book/QoSIntro.html#pgfId-46256 (Qualityof Service Design) (lipanj 2018.)

[33] https://www.itu.int/rec/T-REC-G.1010-200111-I!!PDF-E.pdf (kolovoz 2018.)

[34] http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/WAN_and_MAN/QoS_SRND/QoS-SRND-Book/QoSIntro.html#pgfId-46256 (Qualityof Service Design (lipanj 2018.)

[35] http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=606583 (studeni 2017.)

[36] End-user multimedia QoS categories, ITU-T G.1010 (srpanj 2018.)

[37] https://www.researchgate.net/publication/271525860 (srpanj 2018.)

[38] http://www.mikroknjiga.rs/store/prikaz.php?ref=978-86-7555-382-3 (Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall, „Računarske mreže“, prevod petog izdanja, Mikro knjiga Beograd, 2013.) (srpanj 2018.)

[39] http://www.cs.columbia.edu/techreports/cucs-003-00.pdf (Internet Qualityof Service: anOverview, WeibinZhao, David OlshefskiandHenningSchulzrinne) (srpanj 2018.)

[40] http://www2.ic.uff.br/~michael/kr1999/6-multimedia/6_07-intserv.htm (srpanj 2018.)

[41] http://www.redbooks.ibm.com/redbooks/pdfs/gg243376.pdf (srpanj 2018.)

[42] http://web.stanford.edu/class/ee368c/Projects/project06/figures/GIF/DiffServNode.gif (srpanj 2018.)

# POPIS KRATICA

| | |
|---|---|
| AF | (Assured Forwarding) PHB sa sigurnim prosljeđivanjem |
| ASes | (Autonomous Systems) autonomni sustav |
| ATM | (Asynchronous Transfer Mode) asinkroni transferni mod, protokol podatkovnog sloja OSI/ISO modela, |
| BER | (Bit Error Rate) mjerna jedinica za izražavanje smetnji u kanalu |
| CLS | (Controlled Load Service) usluge s kontroliranim opterećenjem |
| DiffServ | (Differentiated Services) mehanizam diferencijacije usluga |
| DSCP | (Differentiated Service Code Point) razlikovana točka kod usluge |
| DSCQS | (Double Stimulus Continuous Quality Scale) dvostruko simulacijski postupak ocjene kvalitete slike |
| EF | (Expedited Forwarding) PHB s ubrzanim prosljeđivanjem |
| FR | (Frame Relay) komutacija okvira |
| FCFS | (First Come First Served) disciplina posluživanja, prvi došao-prvi poslužen |
| FTP | (File Transfer Protocol) standardni mrežni protokol koji se koristi za kopiranje datoteka s jednog računala na drugi |
| GS | (*Guaranteed Service*) jamčene usluge |
| HTML | (HyperText Markup Language) prezentacijski jezik za izradu web stranica |
| IntServ | (Integrated Services) mehanizam integriranih usluga |
| ISP | (Internet Service Provider) pružatelj Internet usluga |
| IP | (Internet Protocol) internetski protokol |
| IPX | (Nternetwork Packet Exchange) mrežni protokol |
| ISPs | (Internet Service Providers) pružatelj internetskih usluga |
| IPv4 | (Internet Protocol verson 4) Internet protokol verzije 4 |
| IPv6 | (Internet Protocol verson 6) Internet protokol verzije 6 |
| ISO | (International Organization for Standardization) međunarodna organizacija za standardizaciju |
| ISDN | (Integrated Services Digital Network) digitalna mreža s integriranim uslugama |
| ITU | (International Telecommunications Union) Međunarodna unija za telekomunikacije |
| ITU-R | (International Telecommunication Union – Radiocommunications standardization Sector) dio ITU za standardizaciju u radijskim komunikacijama |

| | |
|---|---|
| ITU-T | (International Telecommunications Union- Telecommunications) dio ITU za standardizaciju u telekomunikacijama |
| LAN | (Local Area Network) lokalna mreža |
| MAN | (Metropolitan Area Network) mreža koja se prostire preko područja jednog grada |
| MSE | (Mean Square Error) srednje kvadratna pogreška |
| MSN | (Multi Service Network) višeuslužna mreža |
| MOS | (Mean Opinion Score) srednja ocjena korisničkih doživljaja |
| MPLS | (Multiprotocol Label Switching) više-protokolarno prospajanje labela |
| NGN | (Next Generation Networks) mreže nove generacije |
| OSI | (Open Systems Interconnection) referentni model za otvoreno povezivanje |
| OSI RM | (Open Systems Interconnection/Reference Model) referentni model za povezivanje otvorenih sustava |
| PAN | (Personal Area Network) osobna računalna mreža |
| PEAQ | (Perceptual Audio Quality Measure) metoda za mjerenje audio kvalitete |
| PESQ | (Perceptual Evaluation of Speech Quality) metoda za ispitivanje kvalitete govornih signala |
| PSNR | (Peak Signal to Noise Ratio) postupak za određivanje kvalitete video signala |
| PHB | (Per-Hop Behaviors) |
| POP3 | (Post Ofice Protocol ) protokol elektroničke pošte |
| PSTN | (Public Switched Telephone Network) klasična telefonska mreža |
| PQ | (Priority Queuing) prioritetno čekanje |
| RSVP | (Resource Reservation Protocol) signalizacijski protokol koji se koristi za rezervaciju resursa |
| SDH | (Synchronous Digital Hierarchy) sinkrona digitalna hijerarhija |
| SLA | (Service Level Agreement) ugovor o razini usluge |
| SNA | (System Network Architecture) IBN mrežni protokol |
| SNMP | (Simple Network Management Protocol) protokol za nadzor i upravljanje |
| SMTP | (Simple Message Transfer Protocol) standard z aprijenos elektroničke pošte na internetu |
| SONET | (Sychronous Optical Network) sinhronizirana optička mreža |
| TCP | (Transmission Control Protocol) protokol prijenosnog sloja |

| | |
|---|---|
| TCP/IP | (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) paket komunikacijskih protokola koji se koriste za međusobno povezivanje mrežnih uređaja na internetu |
| UDP | (User Data Protocol) protokol prijenosnog sloja |
| VoIP-a | (Voice over IP) glas preko Internet protokola |
| VPN | (Virtual Private Network) virtualna privatna mreža |
| WAN | (Wide Area Network) mreža širokog područja |
| QoE | (Quality of Experience ) subjektivno testiranje iskustvene kvalitete usluge |
| QoS | (Quality of Service) kvaliteta usluge |

## POPIS SLIKA

**Slika 1**. Paketski bazirana višeuslužna mreža, [3]

**Slika 2**. OSI referentni model, [6]

**Slika 3**. Povezivanje slojeva modela, [7]

**Slika 4**. TCP/IP model, [8]

**Slika 5**. Odnos OSI modela i TCP/IP arhitekture, [8]

**Slika 6.** Prikaz skale za određivanje kvalitete zvuka, [15]

**Slika 7**. Prikaz subjektivne mjerenje kvalitete kod videa, DSCQS metoda, [17]

**Slika 8**. Vizualna kvaliteta i odnos vršnog signala i buke (PSNR) nakon gubitka paketa, [21]

**Slika 9**. Prikaz povratnog vremena pri prijenosu govora putem satelita, [24]

**Slika 10**. Slikoviti prikaz kolebanje kašnjenja paketa, [26]

**Slika 11**. Nepravilan prikaz slike nakon izgubljenih paketa, [28]

**Slika 12**. Slikovna usporedba propusnosti s autocestom, [31]

**Slika 13**. Povijesni razvoj ITU, [33]

**Slika 14**. Dozvoljeno kašnjenje prema ITU-T, G.114, [35]

**Slika 15**. Heterogenost mreže, [37]

**Slika 16**. End-to-end QoS usluga kroz heterogene dijelove mreže, [37]

**Slika 17**. Vertikalno mapiranje Izvor: [37]

**Slika 18**. Horinzontalna QoS mapiranja, [37]

**Slika 19**. Prikaz slanja paketa kroz različite mreže [38]

**Slika 20**. Proces obrade paketa [38]

**Slika 21**. Tuneliranje kroz VPN mrežu [38]

**Slika 22**. IntServ mehanizam, [40]

**Slika 23**. Čvor s DiffServ mehanizmom kvalitete usluge [42]

**Slika 24**. Čvorovi u simuliranoj mreži

**Slika 26**. Prosječno vrijeme čekanja paketa u DiffServ mreži

**Slika 27**. Postotak paketa koji moraju čekati u 1. čvoru

**Slika 28**. Postotak paketa koji moraju čekati u 2. čvoru

**Slika 29**. Postotak paketa koji moraju čekati u 3. čvoru

**Slika 30**. Ukupno prosječno čekanje u BestEffort mreži

**Slika 31**. Ukupno prosječno čekanje u DiffServ mreži

**Slika 32**. Čekanje pojedinih paketa u BestEffort mreži

**Slika 33**. Čekanje pojedinih paketa u DiffServ mreži