

# Kvaliteta usluge u mobilnim mrežama pete generacije

---

**Hrsto, Matea**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:509613>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-30**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -  
Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

**ZAVRŠNI RAD**

**KVALITETA USLUGE U MOBILNIM MREŽAMA PETE  
GENERACIJE**  
**QUALITY OF SERVICE IN FIFTH GENERATION MOBILE  
NETWORKS**

Mentor: doc. dr. sc. Marko Matulin

Studentica: Matea Hrsto

JMBAG: 0135246126

Zagreb, veljača 2022.

Zagreb, 22. srpnja 2021.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**  
Predmet: **Tehnologija telekomunikacijskog prometa I**

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 6141

Pristupnik: **Matea Hrsto (0135246126)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Kvaliteta usluge u mobilnim mrežama pete generacije**

### Opis zadatka:

Opisati koncept kvalitete usluge (Quality of Service) te povezanost s holističkim pristupom evaluaciji kvalitete telekomunikacijskih usluga, poput iskustvene kvalitete usluge (Quality of Experience). Analizirati osnovne značajke mobilnih mreža pete generacije, te ponudu usluga i njihovih zahtjeva po pitanju mrežnih performansi. Povezati različite aspekte kvalitete usluge QoS i QoE u kontekstu 5G tehnologija i inovacija koje ta tehnologija unosi u mrežno okruženje.

Mentor:



---

doc. dr. sc. Marko Matulin

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

## SAŽETAK

Tema završnog rada je kvaliteta usluge u mobilnim mrežama pete generacije. Detaljno je definirana kvalitete usluge te su prikazani njeni parametri. Predstavljani su i načini mjerenja kvalitete usluge i iskustvene kvalitete. Nadalje, ovaj rad nudi opis značajki mobilne mreže pete generacije te ponude usluga spomenute mreže. Prikazani su i odnosi QoS-a (*Quality of service*) i iskustvena kvaliteta usluge QoE-a (*Quality of Experience*) u mobilnoj mreži pete generacije. Cilj ovog rada je prikazati kvalitetu usluge, opisati što ona znači, kako se mjeri, uz to i upoznati se sa mobilnom mrežom pete generacije.

**Ključne riječi:** 5G mobilna mreža; kvaliteta usluge; iskustvena kvaliteta; QoS parametri; mjerenje QoS-a; mjerenje QoE-a; slučajevi uporabe 5G

## SUMMARY

The topic of the final paper is the quality of service in fifth generation mobile networks. The quality of the service is defined in detail and its parameters are presented. Ways of measuring service quality and Quality of Experience are presented as well. Furthermore, this paper offers a description of the features of the fifth generation mobile network and the offer of services of the mentioned network. The relationships between QoS (quality of service) and QoE (experiential quality of service) in the fifth generation mobile network are also presented. The aim of this paper is to show the quality of service, describe what it means, how it is measured, and to get acquainted with the fifth generation mobile network.

**Key words:** 5G mobile network; quality of service; quality of experience; QoS parameters; measuring of QoS; measuring of QoE; use cases 5G

## Sadržaj

1. Uvod .....	2
2. Koncept kvalitete usluge u mobilnim mrežama.....	4
2.1. Kvaliteta usluge (QoS) .....	5
2.1.1 Propusnost .....	8
2.1.2. Kašnjenje.....	9
2.1.3. Varijacija kašnjenja.....	9
2.1.4. Gubitak paketa.....	10
2.2. Metoda mjerenja QoS-a.....	11
2.2.1. Subjektivna metoda mjerenja QoS-a .....	11
2.2.2 Objektivna metoda mjerenja QoS-a.....	13
3. Značajke mobilnih mreža pete generacije .....	17
3.1. Arhitektura mobilnih mreža pete generacije .....	19
3.2. 5G Network slicing.....	24
4. Ponuda usluga 5G mreže .....	26
5. QoS i QoE u 5G mrežama .....	30
6. Zaključak .....	34
Popis literature .....	35
Popis kratica .....	39

## 1. Uvod

U posljednje vrijeme u telekomunikacijskoj industriji dogodio se značajan porast broja terminalnih uređaja koje posjeduju korisnici te se svakodnevno razmjenjuje velika količina informacija što je sve dovelo do značajnog i ubrzanog razvoja telekomunikacija. Kroz vrijeme oblici komunikacije su se izmjenjivali; krenulo je od glasa, a zatim slanja pisama. Dolazak telefonske komunikacije predstavljalo je izniman napredak u komunikacijskom sustavu. Međutim, ključni napredak je mogućnost korištenja Internet mreže.

Cilj razvoja mobilne mreže pete generacije je osigurati velika unaprjeđenja u komunikaciji te pružiti potpuno zadovoljstvo korisniku, u kontekstu korištenja mobilne mreže. Naime, inovacijom tehnologije pružit će se mogućnost povezivanja virtualne stvarnosti zajedno s fizičkom. Osim što se Internet mreža neprestano koristi u privatne svrhe i u svrhu zabave, povećavat će se korištenje Internet mreže u svrhu poslovnog svijeta te će se rad na daljinu početi sve više upotrebljavati, što je postalo očito već tijekom aktualne pandemije SARS-CoV 2 virusa.

Razvojem telekomunikacijskih usluga, najviše se težilo povećanju razine kvalitete usluge koja je neophodna korisnicima i tome kako posljedično povećati razinu iskustvene kvalitete. Cilj ovog rada je bio približiti termine kao što su kvaliteta usluge, iskustvena kvaliteta i mobilna mreža pete generacije, te se ovaj rad sastoji od sljedećih poglavlja:

1. Uvod
2. Koncept kvalitete usluge u mobilnim mrežama
3. Značajke mobilnih mreža pete generacije
4. Ponuda usluga 5G mreže
5. QoS i QoE u 5G mrežama
6. Zaključak.

U uvodu se spominje ukratko, razvoj telekomunikacija, te cilj razvoja mobilne mreže.

U drugom poglavlju prikazan je koncept kvalitete usluge u mobilnim mrežama. U poglavlju je prikazan odnos QoS (eng. *Quality of Service*) i QoE (eng. *Quality of Experience*), definicija kvalitete usluge. Spominju se i parametri kvalitete usluge, te metode mjerenja kvalitete usluge koji se dijele na dva načina, a to su objektivna i subjektivna metoda mjerenja.

U trećem poglavlju detaljno su opisane značajke mobilnih mreža pete generacije. Spomenute su tehnologije koje se aktivno koriste u mrežama pete generacije. Uz to prikazana je i arhitektura 5G mreže, i objašnjene male ćelije.

U četvrtom poglavlju nalaze se ponude usluga 5G mreže. Opisani su slučajevi uporabe te tipovi usluga u mrežama pete generacije.

U petom poglavlju opisan je odnos QoS-a i QoE-a u 5G mrežama. Opisana je iskustvena kvaliteta te subjektivna metoda mjerenja iskustvene kvalitete. Konačno, u šestom poglavlju bit će iznijet zaključak na cjelokupan rad te će biti ponuđena prognoza razvoja kroz rad navedenih sustava.

## 2. Koncept kvalitete usluge u mobilnim mrežama

Samom operatoru je iznimno važno povećati razinu zadovoljstva krajnjeg korisnika. Naime, operatori moraju biti osposobljeni razumjeti korisničke zahtjeve, mogućnost prepoznavanja, razumijevanja i kontroliranja kvalitetom usluge (QoS) kao i iskustvenom kvalitetom usluge (QoE). Usluga mora imati sve bitne elemente kako bi krajnji korisnik mogao bez poteškoća odrađivati svakodnevne radove u poslovnom ili privatnom okruženju.

QoS klasa određuje prioritet i propusnost za promet koji odgovara pravilu QoS politike. Može se koristiti pravilo QoS profila za definiranje QoS klasa. Postoji do osam definiranih QoS klasa u jednom QoS profilu. Osim ako nije drugačije konfigurirano, prometu koji ne odgovara QoS klasi dodjeljuje se klasa 4.

QoS prioritetni red čekanja i upravljanje propusnošću QoS-a, temeljni mehanizmi konfiguracije QoS-a, konfigurirani su unutar definicije klase QoS. Za svaku klasu QoS-a može se postaviti prioritet (u stvarnom vremenu, visok, srednji i nizak) te maksimalnu i zajamčenu propusnost za odgovarajući promet. QoS prioritetni red čekanja i upravljanje propusnošću određuju redoslijed prometa i način na koji se prometom upravlja pri ulasku u mrežu ili napuštanju mreže, [1].

Usluga, neovisno o lokaciji, mora biti isporučena na vrijeme bez poteškoća i kašnjenja. U današnje vrijeme mobilni terminalni uređaji koriste se svakodnevno i korisnici provode sve više vremena na njima kako u privatnom tako i u poslovnom segmentu života i rada. U poslovnom svijetu sve više se počela koristi opcija rada u vlastitom domu što je jedna od reperkusija aktualne pandemije, stoga je kvaliteta usluge podignuta na viši nivo kako bi rad od kuće bio produktivniji i bez poteškoća. S obzirom na povećanu količinu korištenja usluge, korisnici različito doživljavaju uslugu; dok su jedni potpuno zadovoljni, drugi pak zahtijevaju dodatna unaprjeđenja. Upravo iz tih razloga dolazi do analize iskustvene kvalitete za koju je zadužen operator kako bi pružio što bolju i kvalitetniju uslugu svom krajnjem korisniku, [2].

Pojam iskustvene kvalitete usluge (QoE) podrazumijeva subjektivno doživljavanje usluge od strane krajnjeg korisnika, kao razinu kvalitete telekomunikacijske usluge. Sukladno tome, očekivanja su iznimno visoka od usluge koja se isporučuje krajnjem korisniku. Bitnu važnost u svemu tome preuzima operator koji je zadužen za konstantno unaprjeđivanje usluge kako bi povećao razinu kvalitetu usluge.



Prethodno spomenuta iskustvena kvaliteta uvelike je bliska, ali se isto tako jasno razlikuje od kvalitete usluge (QoS). Kvaliteta usluge prilikom razmatranja odnosi se direktno na objektivne podatke, koji se dakako tiču mobilne mreže i aplikacije. Ona se odnosi na tehničke podatke koji su vezani za aplikativna rješenja, kao i uz mrežnu vezu.

Telekomunikacijska industrija najviše je usredotočena na krajnjeg korisnika. Pružatelji telekomunikacijskih usluga, u ranijim razdobljima su bili najviše usredotočeni na same generacije mobilne mreže koja se u to vrijeme koristila. Kako bi se moglo odgovoriti na zahtjeve koji krajnji korisnik zatraži, operator mora biti usmjeren najviše na krajnjeg korisnika. Zbog povećanog razvoja telekomunikacijske industrije i povećanom broju raznovrsnih i brojnih pružatelja usluge, pružatelji usluge moraju konstanto razrađivati načine kako da na pravi način odgovore na sve zahtjeve svojih krajnjih korisnika. Iz tih razloga došlo je do pojave velike konkurencije, u smislu pružanja telekomunikacijske usluge, te krajnji korisnici mogu sami birati koji pružatelj najbolje odgovara njihovim zahtjevima, [3].

Praćenje rada davatelja usluga i operatora, usmjereno je na tehnički ključne pokazatelje performansi (KPI eng. *Key Performance Indicators*). Smatra se da je praćenje iskustvene kvalitete koju pruža krajnji korisnik od veće važnosti bez obzira na mogućnost mjerenja kvalitete usluge. Kako je prethodno navedeno, iskustvena kvaliteta je značajno vezana uz kvalitetu usluge jer nije moguće postići zadovoljavajuću razinu iskustvene kvalitete ukoliko kvaliteta usluge na mrežnoj razini nije odgovarajuća. Jedna od primarnih značajki koja će utjecati razmjerno na sveukupan razvoj mobilne mreže je iskustvena kvaliteta. Dakako, operatori koriste još niz pokazatelja uspješnosti telekomunikacijskih usluga. Međutim, u današnje vrijeme sve je usmjereno prema krajnjem korisniku i njegovim zahtjevima, zato je potrebna potpuna reorganizacija mrežnih pokazatelja koji se tiču zahtjeva krajnjih korisnika, [2].

## **2.1. Kvaliteta usluge (QoS)**

Nosiva usluga koju pružaju mrežni operatori, učestalo se obavlja korištenjem IP protokola što dovodi u pitanje koja je razina osiguravanja QoS potrebna zbog karakteristike takvog prijenosa. Pojam QoS u literaturi je često rabljen, međutim mnogi autori ističu njegovu nedefiniranost, [4].

Iznimno važnu riječ u procesu unaprjeđenja inovativnijih i novih telekomunikacijskih usluga vode pružatelji usluga. Oni svoje usluge pružaju na različite načine, npr. mogu pružiti osnovni paket usluge i, dakako, mogu pružiti dodatni paket u kojem se nalaze sve usluge telekomunikacijskog operatora. Naime, ti paketi ovise o željama i potrebama samog korisnika te pružatelj usluge njima omogućuje najisplativiji paket po njihovim preferencijama. Pod skupinu telekomunikacijskih usluga pripadaju telefoniranje, omogućavanje videa na zahtjev, usluge multimedijskog sadržaja, omogućavanje pristupa Internet mreži, televizijske usluge i brojne druge. Sve navedene usluge su znatno unaprjeđene zbog korištenja Internet mreže i sve navedene usluge mogu se izvršavati pod tom jedinstvenom mrežom (Internet mrežom). Pružatelj usluga naplaćuje svoje usluge na mnoge načine, a cijene prilagođava mogućnostima korisnika.

Kvaliteta usluge telekomunikacijskih tehnologija obuhvaća raznovrsne alate i tehnike koji su neophodni za upravljanjem resursima unutar mobilne mreže, a rezultat je isporuka podataka na odgovarajuće mjesto, iznimne kvalitete i u odgovarajuće vrijeme. Moguće je krajnjem korisniku pružiti raznovrsne usluge te je samim time različit način tretiranja tih istih usluga. Upravo je QoS neizostavan element u razvoju i unaprjeđenju više uslužnih mreža, [5].

Općenita definicija kvalitete usluge, prema ISO 8402, glasi „*ukupnost karakteristika entiteta koje se odnose na njegovu sposobnost da zadovolji iskazane i implicirane zahtjeve*“, [6]. Zatim, u ISO 9000 kvaliteta usluge definirana je kao „*stupanj do kojeg naslijeđene karakteristike ispunjavaju zahtjeve*“, [7]. ITU (eng. *International Telecommunication Union*) po preporuci E.800, [8], definira kvalitetu usluge kao „*združeni efekt performansi usluge koji određuje razinu zadovoljstva korisnika tom uslugom*“, [9], dok je prema preporuci X.902, QoS „*skup zahtjeva u pogledu kvalitete kolektivnog ponašanja jednog ili više objekata*“, [10].

QoS se u ATM leksikonu (eng. *ATM Lexicon*) definira kao „*termin koji se odnosi na skup parametara za opis ATM performansi koje karakteriziraju promet na promatranom virtualnom putu*“. QoS parametri se donose većinom na protokole nižeg sloja i obuhvaćaju parametre kao što su broj pogrešnih ćelija, razina pogrešno ubačenih ćelija, razina gubitka ćelija, kašnjenje u transferu ćelija, varijacija kašnjenja u transferu ćelija itd. Postoji pet klasa usluga koje se odnose na QoS parametre.

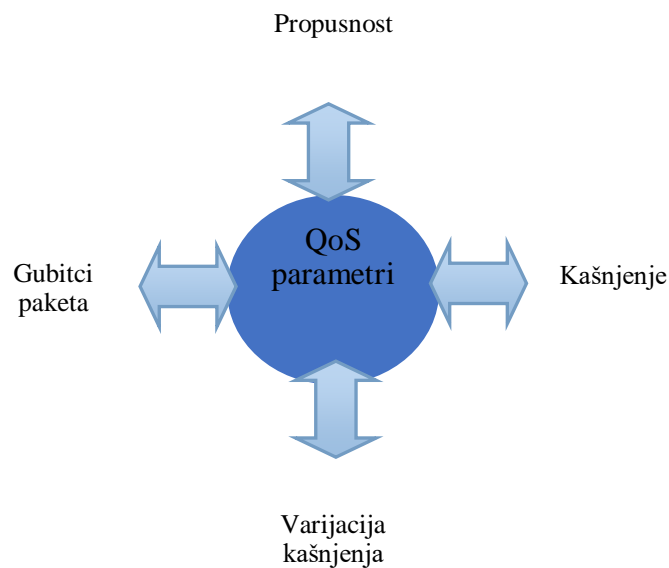
Još jedna od mnogih definicija QoS-a može se naći u [11], a glasi ovako: „*QoS predstavlja skup takvih kvalitativnih i kvantitativnih karakteristika distribuiranog multimedijskog sustava koji je potreban za realiziranje željene funkcionalnosti aplikacije*.“

SLA (eng. *Service Level Agreement*) je ugovor koji predstavlja razinu cjelokupne telekomunikacijske usluge. S tim ugovorom postignuto je povećanje razine razumijevanja usluga na strani korisnika i pružatelja usluga. Također, postignuto je razumijevanje u isporuci telekomunikacijskih usluga na relaciji pružatelja usluge i krajnjeg korisnika. SLA ugovor se može razmatrati s dva različita aspekta, a to su proces i proizvod. Kao proces, SLA ugovor predstavlja formalni definirani ugovor s kojim se postiže izrada dugotrajnih odnosa, očekivanja koja se tiču kvalitete razine, unaprijeđenije razine komunikacije i same telekomunikacijske usluge između dviju ili više strana.

Dakako, s tim ugovorom dogovoreni su koraci koji su neophodni za kvalitetan odnos između uključenih strana te je ugovorena i razina odgovornosti koja se tiče tih istih strana. S druge strane, SLA ugovor koji se razmatra kao proizvod odnosi se na formalni definirani dokument između krajnjih korisnika i pružatelja usluge, gdje su obje strane neophodne za izvršavanje svojih određenih zadataka zbog usmjerenosti prema zajedničkom cilju, [12].

SLA ugovorom omogućene su i sljedeće stavke: bolje razumijevanje potreba krajnjih korisnika od strane pružatelja usluge, povećana razina mobilnosti sudionika unutar poslovnih procesa, olakšano planiranje i osiguravanje sredstava koji se tiču resursa, bolje razumijevanje prioriteta krajnjih korisnika, poboljšano upravljanje resursima u kontekstu kapitala, poboljšano korištenje tih istih resursa, optimizacija poslovnog procesa, povećanje prednosti u kontekstu konkurencije s onim pružateljima usluga koji u svojoj poslovnoj praksi ne koriste SLA ugovore.

Svaka klasa usluge (vrsta aplikacije) ima različite mrežne zahtjeve koji se izražavaju QoS parametrima. Navedeni parametri prikazani su na slici 1. QoS parametri izravno utječu na zadovoljstvo krajnjeg korisnika sa željenom uslugom i označavaju tehničku interpretaciju korisničkih zahtijeva za određenom kvalitetom te iste usluge.



Slika 1. QoS parametri

### 2.1.1 Propusnost

Parametar propusnosti može se definirati kao najveća brzina prijenosa podataka koja se može postići između mrežnih završetaka. Mjerna jedinica koja se koristi za brzinu prijenosa jest bit po sekundi (bit/s). Ukoliko propusnost nije zadovoljavajuća to znači da ni brzina prijenosa nije zadovoljavajuća te da dolazi do kašnjenja zbog toga što se stvaraju redovi čekanja unutar mrežnih uređaja te posljedično dolazi do dužeg čekanja isporuke paketa. U slučaju da se dogodi veliko zagušenje prometa te je propusnost u toj mobilnoj mreži neodgovarajuća, tada dolazi do gubitka paketa. Rezultat odbacivanja paketa dolazi zbog toga što su redovi čekanja prenatrpani i više nema dovoljno mjesta za pohranjivanje nadolazećih paketa.

Kako se razvijaju mreže i usluge tako dolaze i novi izazovi pred operatore, a ti novi izazovi podrazumijevaju veću razinu kvalitete usluge. Kako bi kvaliteta usluge bila na dosljednoj razini, operatori moraju osigurati potrebnu propusnost komunikacijskih kanala. Propusnost ovisi o količini tokova podataka i o kapacitetu kanala. Propusnost je mjerljiva na

dva načina, [13]. Obično se za mjerenje propusnosti broji ukupna količina poslanog i primljenog prometa u određenom vremenskom razdoblju. Rezultirajuća mjerenja se zatim izražavaju kao broj po sekundi.

Druga metoda mjerenja propusnosti je prijenos datoteke ili nekoliko datoteka poznate veličine i praćenje koliko dugo traje prijenos. Rezultat se pretvara u bit/s dijeljenjem veličine datoteka s količinom vremena potrebnog za prijenos

### **2.1.2. Kašnjenje**

Parametar kašnjenja ima i drugi naziv koji glasi latencija, te se definira na više načina. Prva definicija kašnjenja odnosi se na proteklo vrijeme od trenutka slanja samog zahtjeva za određenom uslugom, do primitka informacija nakon uspostave sa uslugom, [13]. Druga definicija glasi da je kašnjenje vremenski period koji je potreban da paket od izvora stigne do odredišta. Parametar kašnjenja dijeli se na dva tipa kašnjenja, a to su fiksno i promjenjivo kašnjenje. U najvećem broju slučajeva, zagušenje uzrokuje kašnjenje u mreži, odnosno, vremenski period u kojem se paketi nalaze unutar mrežnih uređaja. Fiksno kašnjenje odnosi se na elemente poput kodiranja i dekodiranja, [13].

Naime, parametar kašnjenja ovisi o puno čimbenika, a to su vrijeme potrebno za međusobno slanje paketa između mrežnih čvorišta, zatim obrada adrese i obnova paketa u prijemu te vremenski period koji je potreban za obradu paketa. Još od čimbenika o kojem ovise, parametar kašnjenja je vremenski period koji prođe dok se paket nalazi u redovima čekanja, što ovisi o prometnom opterećenju mreže, o načinu upravljanja redova čekanja te o načinu posluživanja paketa u već određenom čvorištu. Također, uz sve navedeno parametar ovisi i o vremenskom periodu koji je potreban za prostiranje signala kroz adekvatan medij, što ovisi i o vrsti medija, [14].

### **2.1.3. Varijacija kašnjenja**

Varijacija kašnjenja ili *jitter* je parametar koji se odnosi na vremenske razlike koje se pojavljuju u kašnjenju susjednih paketa koji se pritom nalaze unutar tog istog prometnog toka. S matematičke strane, to je mjera apsolutne vrijednosti zasebno izmjerenih kašnjenja. Postoje

aplikacije koje ne reagiraju dobro na varijaciju kašnjenja te se same moraju pobrinuti i poduzeti mjere kako bi smanjile ili potpuno otklonile varijacije kašnjenja. Način na koji se rješava varijacija kašnjenja je povećanje kapaciteta međuspremnik unutar prijemnika. Na taj način veći broj paketa može biti u redovima čekanja, te se paketi šalju dalje redoslijedom kako su i došli, [15].

#### 2.1.4. Gubitak paketa

Gubitak paketa je parametar koji se odnosi na količinu paketa koji nikada nisu dosegili određeno mjesto. Količina paketa koji su izgubljeni izražava se u postocima. Gubitak paketa događa se prilikom oštećivanja paketa, zagušenja u mreži zbog neodgovarajuće propusnosti ili zbog neke pogreške u mreži. Osim gubitka paketa, može se koristiti i parametar pouzdanosti koji predstavlja obrnuto proporcionalan odnos količine paketa u nekom zadanom vremenu promatranja.

U zagušenju unutar mreže, parametar gubitak paketa uzrokuje odbacivanje pojedinih paketa jer je kapacitet međuspremnik mrežnog uređaja preopterećen. Ako dođe do prekoračenja zadane vrijednosti graničnog kašnjenja, paket će također biti odbačen. Isto tako, unutar transmisijskih sustava prijenos paketa može prouzrokovati gubitak paketa prilikom greške usmjerenja paketa. Degradacija nastaje kao posljedica korištenja različitih načina kodiranja sadržaja, što se koristi da bi se postigao bolji prijenos informacija, [16].

Postoje, dakako, različite smetnje i interferencije u kanalima na nižim slojevima te one uzrokuju gubitke paketa nižih slojeva. Udio pogrešno prenesenih bitova u ukupnom broju prenesenih bitova, koje su prethodno navedene, mogu se izračunati formulom 1. To je omjer između količine pogrešno prenesenih bitova unutar zadanog vremenskog intervala i ukupne količine prenesenih bitova unutar tog istog vremenskog intervala te se taj parametar naziva BER (eng. *Bit Error Rate*) .

$$BER = \frac{\text{broj pogrešnih bitova}}{\text{ukupan broj bitova}} \quad (1)$$

Učestalost grešaka ovisi o tome koliko često se pogrešno zaprimaju blokovi ili bitovi u odnosu na njihov ukupni broj unutar zadanog vremenskog intervala. Parametar BER isključivo se koristi u prva dva sloja mreže, dok u ostalim slojevima mreže greške na paketima promatraju se kao na suštinskim jedinicama te dolazi do različitosti u odabiru parametra, [17].

Veliku ulogu u kvaliteti usluge ima gubitak informacija prilikom isporuke korisniku. Kako bi kvaliteta bila iznimno visoke razine, prilikom isporuke informacija bitno je da postoji iznimno visoka razina osiguranja da će se (eventualno) dogoditi samo mali gubitci podataka te obratiti pažnju na vremenske razmake između gubitka informacija. Pomoću vremenskog perioda u većini slučajeva se može otkriti uzrok nastanka gubitka paketa. Korištenjem mehanizama koji su zaduženi za kontrolu nastanka zagušenja na mrežnom ili transportnom sloju, moguće je smanjiti pojavu gubitka paketa, [16].

## **2.2. Metoda mjerenja QoS-a**

Svakom krajnjem korisniku tijekom korištenja telekomunikacijske usluge iznimno je važna kvaliteta usluge, bez obzira o kojem tipu telekomunikacijske usluge se radi, bila to podatkovna, glasovna ili video usluga. Krajnji korisnik nije u mogućnosti znati je li kvaliteta usluge smanjena, koliko paketa se izgubilo tijekom prijenosa, postoji li kašnjenje te kojom brzinom se prenosio paket, već su za to zasluženi operatori. Krajnji korisnik jedino može primijetiti ukoliko dođe do većeg odstupanja razine kvalitete usluge, međutim, ne može znati točan iznos odstupanja. Stoga su definirane dvije zasebne metode mjerenja kvalitete usluge u telekomunikacijama, a to su subjektivna i objektivna metoda mjerenja QoS-a.

Metode mjerenja kvalitete su neophodne pružateljima usluge i operatorima koji su odgovorni za funkcioniranje mreže, kako bi mogli spriječiti i uočiti na vrijeme odstupanja. Operator posjeduje alate koji mu to omogućuje te ima uvid u stanje mreže.

### **2.2.1. Subjektivna metoda mjerenja QoS-a**

Kod subjektivne metode mjerenja QoS-a, rezultati su zasnovani na subjektivnom doživljaju kvalitete krajnjeg korisnika. Subjektivna metoda se izvodi na način da se određenom broju korisnika emitira zvuk ili video na određeno vrijeme i u određenim uvjetima, a korisnik nakon tog određenog vremena ocjenjuje zvuk ili video koji mu je emitiran. Pod uvjetima se smatraju okolina u kojoj se nalazi određeni korisnik i različita stanja mreže u kojoj se nalazi korisnik. Subjektivnom metodom želi se ispitati kako različite usluge reagiraju u različitim situacijama, tj. kakva je kvaliteta usluge u različitim uvjetima okoline i mreže.

Najpoznatije mjerilo kvalitete je MOS (eng. *Mean Opinion Score*) i ono je u početku služilo za mjerenje zvuka. Srednja vrijednost ocjena (MOS) je brojčana mjera ukupne kvalitete događaja ili iskustva po ljudskoj procjeni. U telekomunikacijama, srednja vrijednost ocjena je rangiranje kvalitete glasovnih i video sesija.

Srednja vrijednost ocjena koje se najčešće rangiraju na ljestvici od 1 (loše) do 5 (izvrsno), prosječne su vrijednosti brojnih drugih individualnih parametara koje su ocijenili korisnici. Iako su izvorno prosječne ocjene vrijednosti izvedene iz anketa stručnih promatrača, danas se MOS često mjeri metodom objektivnog mjerenja koja se približava ljudskom rangu, [18]. Svaki korisnik se nalazi u zasebnoj odvojenoj sobi prilikom izvršavanja srednje vrijednosti ocjena, a te se sobe nalaze vrlo blizu centra za kontrolu. Sobe u kojima se izvršava metoda MOS, prema ITU-T P.830 preporuci, ne smiju biti manje od 20 m<sup>3</sup>, odjek unutar sobe ne smije biti veći od petsto milisekundi, a buka unutar soba ne smije biti veća od trideset decibela. Korisnici prolaze više testova i svaki od tih testova razlikuje se po zasebnim uvjetima. Postoje tri skupine testova u kojima se izvršava radnja govora, radnja slušanja i radnja u koju korisnici izvršavaju dok su pri zadanom scenariju. Nakon provedenog testa, korisnici ocjenjuju kvalitetu usluge na način da biraju ocjene od jedan do pet, pri čemu jedinica označava izrazito lošu kvalitetu usluge, a petica označava odličnu kvalitetu usluge, [19]. U tablici 1 prikazana je skala ocjenjivanja testova.

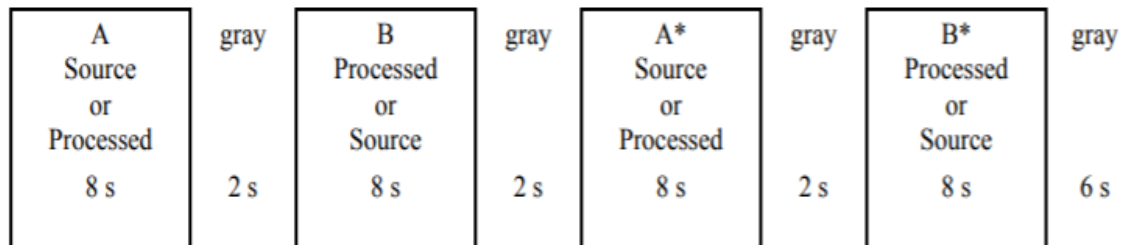
Tablica 1. Prikaz skale ocjenjivanja kvalitete usluge

MOS	Kvaliteta usluge	Značenje
1	Loše	Jako iritantno
2	Slabo	Iritantno
3	Pošteno	Malo iritantno
4	Dobro	Primjetno, ali ne iritantno
5	Odlično	Neprijetno

Dakako, osim za mjerenja kvalitete zvuka, postoji i subjektivna metoda za mjerenje kvalitete video sadržaja, a naziva se DSCQS (eng. *Double Stimulus Continuous Quality*



Scale). Metoda DSCQS smatra se da je najpouzdanija subjektivna metoda u mjerenju kvalitete video sadržaja. Metoda je prikazana slikom 2.



Slika 2. Prikaz metode DSCQS

Izvor:[20]

Korištenjem DSCQS metode, korisnicima se prikazuju dvije različite verzije istog videa, a označene su slovima A i B. Dok se izmjenjuju verzije A i B, moguće su pojave nekih vrsti smetnji, kao npr. izostavljanje detalja, nedovoljna oštra slika, loša boja u video zapisu i drugo. Korisnik po vlastitom doživljaju ocjenjuje video zapis te ocjenjuje kvalitetu prikazanih video ocjenama po skali od jedan do pet, i nakon toga se opet može izračunati MOS .

Isto kao i u prethodno navedenoj metodi, jedinica predstavlja jako lošu kvalitetu video zapisa dok petica predstavlja odličnu kvalitetu video zapisa, [20].

## 2.2.2 Objektivna metoda mjerenja QoS-a

U objektivnoj metodi upotrebljavaju se različiti algoritmi i programi te se njima određuje kvaliteta usluge. U ovoj metodi mogu se vidjeti razlozi zbog kojih je lošija kvaliteta usluge, međutim ne može se vidjeti razina zadovoljstva krajnjeg korisnika. Korištenjem ovih metoda moguće je izračunati kašnjenje, broj izgubljenih paketa, gubitke u mreži i propusnost.

U telekomunikaciji metoda za mjerenje audio kvalitete naziva se PEAQ (eng. *Perceptual Audio Quality Measure*) te ta metoda spada u skupinu objektivnih metoda. PEAQ metoda se koristi za mjerenje razine kvalitete zvuka. Modeli PEAQ u pojedinim izvedbama upotrebljavaju široko područje percepcijskih transformacija prezentirajući signal u uvjetima pobude, sporog mijenjanja pojačanja, modulacije, ekvalizacije, specifične glasnoće i pobude ekvalizirane za linearno filtriranje, [21].

PESQ (eng. *Perceptual Evaluation of Speech Quality*) je algoritam objektivne metode koji služi za mjerenje kvalitete telekomunikacijske usluge. Metoda se primjenjuje u svrhu predviđanja kvalitete govornih signala sa subjektivnog aspekta. Korištenjem ove metode, dolazi se do rezultata koji govore koliki je učinak izobličenja govornog signala i koliki je utjecaj šuma na informaciju u jednosmjernoj komunikaciji. Usporedbom izvornog signala zajedno s degradiranim signalom, PESQ algoritam izvršava svoj rad. Degradirani signal smatra se signalom koji je rezultat prijenosa izvornog signala određenim komunikacijskim kanalom. On je idealan upravo zato jer ne ovisi o komunikacijskom sustavu. Prilikom izvođenja postupka testiranja potrebno je poduzeti korake od strane PESQ algoritma. Ti koraci su, [22]:

- a) kako bi testiranje prošlo kvalitetno potreban je referentni signal koji traje osam sekundi i unaprijed je pripremljen
- b) u svrhu određivanja razine uspješnosti PESQ algoritma koristi se prethodno navedeni signal
- c) potrebni su raznovrsni korisnici koji izgovaraju poruke
- d) prilikom postupka izgovora poruke, bitno je uključivanje raznolikosti u jeziku
- e) nužna je i pauza
- f) poruke načinjene od određenih rečenica/riječi
- g) na različitim porukama postupak mjerenje se izvršava više puta
- h) postupak modeliranja slušnog sustava, a odnosi se na krajnjeg korisnika
- i) kognitivno modeliranje; postupak modeliranja u kojem se vrši prepoznavanje razine kvalitete govornog signala
- j) postupak u kojem se uspoređuje izvorni signal s degradiranim signalom
- k) prethodnom navedenom usporedbom u kojoj se ocjenjuje kvaliteta govornog signala dobije se rezultat koji se prenosi posredstvom komunikacijskog sustava.

U skupini objektivnih metoda mjerenja kvalitete telekomunikacijske usluge nalazi se i metoda pod nazivom PSNR (eng. *Peak Signal to Noise Ratio*). Sa PSNR metodom omogućeno je definiranje razine kvalitete te se ta kvaliteta odnosi na video signal. PSNR metoda izvršava postupak uspoređivanja, odnosno logaritamski omjer u koji uvrštava vršni iznos signala. Taj signal je ekvivalent kvadratu koji se odnosi na najvišu moguću vrijednost dijela slike i snagu šuma koja je ekvivalent srednjem iznosu kvadrata pogreške koji nastaju između dijelova standardiziranog, izvornog, promijenjenog i obnovljenog slikovnog sadržaja.

Rezultat koji se dobije iz prethodno navedenog logaritamskog omjera je ocjena. Ona se odnosi na kvalitetu signala, odnosno, na razinu promjenjivosti sadržaja koji se promatra, [23].

$$PSNR_{dB} = 10 \log \frac{(2^n - 1)^2}{MSE} \quad (2)$$

U formuli (2) vidljivi su neophodni elementi logaritamskog omjera koji su ključni za dobivanje rezultata kvalitete promatranog sadržaja primjenom PSNR metode. Formula sadrži oznaku  $n$  što označava broj bitova koji su upotrijebljeni prilikom izvršavanja postupka kodiranja na izvornoj slici. Formula sadrži još i oznaku MSE (eng. *Mean Square Error*) što označava srednje kvadratne pogreške.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n} \quad (3)$$

Formula (3) omogućuje izračunavanje MSE, odnosno srednje kvadratne pogreške. Pogreška koja je nastala između originalnih dijelova slike  $x_i$  te kodiranih dijelova slike  $y_i$  označava srednje kvadratnu pogrešku. Broj bitova korištenih prilikom kodiranja izvorne slike označeni su oznakom  $n$ .

MSE pruža mogućnost definiranja razine kvalitete koja se odnosi na rekonstruiranu, točnije, obnovljenu sliku za razliku od izvorne slike i predstavlja mjernu veličinu. Ovom formulom je omogućen uvid u srednje kvadratne pogreške koje se odnose na dva okvira ili dvije slike, [24].

Pod nazivom SSIM (eng. *Structural Similarity Index*) se nalazi još jedan postupak koji pripada u objektivnu metodu mjerenja kvalitete usluge. Indeks koji se spominje u nazivu okarakteriziran je izrazito visokom razinom podudarnosti sa subjektivnim oblikom rezultata. On se, naime, odnosi na izvršavanje postupka ocjenjivanja sadržaja slike. Ovaj postupak je specifičan po tome što se uzima u obzir korisnikovo djelovanje, točnije, uzima se njegov vizualni sustav. Oblik sustava je specificiran razinom osjetljivosti na izobličenja, konkretnije, na promjene koje se tiču strukturalne informacije te na promjene koje nastaju unutar promatranog slikovnog sadržaja, a one se tiču promjena svjetlosti i kontrasta. Promjene koje se tiču razine kvalitete te njihove svjetline i kontrasta na promatranom slikovnom sadržaju, promatraju se postupkom koji obuhvaća mjerenje trideset struktura u sustavu, [25].

$$SSIM(x, y) = l(x, y)c(x, y)s(x, y) \quad (4)$$

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + c_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1} \quad (5)$$

$$c(X, Y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + c_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2} \quad (6)$$

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + c_3}{\sigma_x\sigma_y + c_3} \quad (7)$$

Formulom (4) dolazi se do rezultata koji pokazuju izražavanje kvalitete promatranog slikovnog sadržaja posredstvom SSIM indeksa kvalitete. Postupkom uspoređivanja svakog od elementa izvornog slikovnog sadržaja te izobličeneog slikovnog sadržaja, dobiva se rezultat SSIM indeksa slike, odnosno mape. Oznaka  $y$  označava kodirane signale, a oznaka  $x$  originalne signale. Oznake  $\mu_x$  i  $\mu_y$  označavaju sredstva izvorne i kodirane slike, a  $\sigma_x$  i  $\sigma_y$  označavaju kovarijancu dviju slike i te se oznake nalaze u formulama (5) za parametar svjetline, (6) za parametar kontrasta i (7) za parametar strukturalne informacije.

Konstante koje se za 8-bitnu slike sive boje od  $L=2^8=256$  razina sive boje računaju kao  $C_1=(K_1L)^2$ ,  $C_2=(K_2L)^2$  i  $C_3=C_2/2$ , gdje je  $K_1=0,01$  i  $K_2=0,03$ , označene su  $C_1$ ,  $C_2$  i  $C_3$ . U slučaju kada je  $C_1=C_2=0$ , metrika se svodi na univerzalni indeks kvalitete. Parametre koji se odnose na razinu svjetlosti, razinu kontrasta te strukturalne informacije promatranog sadržaja obuhvaća indeks. Svaki od navedenih parametara ima zasebnu formulu kako bi se moglo što točnije i preciznije doći do željenih rezultata te kako bi došli do rezultata indeksa kvalitete SSIM, [25].

Postoje još dvije metrike naziva MSAD (eng. *Mean Sum of Absolute Differences*) i MSU *Blurring Metric*. S jedne strane, MSAD omogućuje izražavanje vrijednosti koja se odnosi na boje u pojedinim referentnim točkama i apsolutnu srednju vrijednost komponenata. S druge strane, MSU *Blurring Metric* omogućuje usporedbu razine zamućivanja između dviju slika, [26].

### 3. Značajke mobilnih mreža pete generacije

Najbitnije značajke u mobilnoj mreži pete generacije su velika brzina prijenosa podataka, visoka pouzdanost i vrlo malo kašnjenje signala, odnosno mala latencija. 5G mreža nudi teorijski procijenjene brzine do 10 Gb/s, što je stotinjak puta brže u odnosu na postojeću 4G mrežu. Tako je primjerice preuzimanje cijelog filma moguće u samo nekoliko sekundi. Većina aplikacija će se moći koristiti u oblaku te neće biti potrebe za njihovim preuzimanjem na pametnom uređaju. Rad na daljinu će biti ostvariv puno lakše, što obuhvaća npr. upravljanje strojevima na daljinu, rad od kuće, udaljeni nadzor pacijenta, dijagnostiku i slično.

Aktualna pandemija i masovna zatvaranja diljem svijeta doveli su do trajnih promjena u svakodnevnom životu. Glavna među njima je, nedvojbeno, ubrzani pomak prema online rješenjima. Konvencionalni načini komunikacije i dijaloga, kao što su sastanci u uredu ili predavanja u nastavi, sve se više zamjenjuju njihovim virtualnim inačicama (npr. Zoom pozivi). Takva promjena predstavlja značajno oslanjanje na internetske veze. Doista, mrežna veza je sada postala neizostavnom u svim segmentima javnog i privatnog života, [27].

Vjeruje se da loša povezanost na određenim lokacijama ima negativne implikacije ne samo na poslovnu produktivnost, već i na pogoršanje socio-ekonomskih razlika. Posljedično, mogućnost pružanja gotovo sveprisutnog internetskog pokrivanja ima ogroman utjecaj na poboljšanje gospodarskog razvoja i rješavanje problema nejednakosti. Doista, velik broj i državnih i nevladinih organizacija pozvali su na osiguravanje veće internetske pokrivenosti i dosljedne povezanosti diljem svijeta.

Mreže 5G tehnologije najnovije su inovacije u području komunikacija. One donose velika obećanja i privlače ogromnu razinu pažnje. Ovaj napredak omogućit će širok raspon aplikacija, uključujući autonomno vozilo i druge IoT uređaje, telemedicinu, virtualnu i/ili proširenu stvarnost. Štoviše, neke vlade te tehnologije klasificiraju kao primitivne nacionalne sigurnosti. Takva klasifikacija glasno govori o važnosti 5G mreže, [27].

5G nije nužno jedna tehnologija. Umjesto toga, prikladnije je na to gledati kao na skupinu tehnološkog napretka koji integrira prethodne generacije mobilnih sustava, dok istovremeno u potpunosti iskorištava prednosti fiksnih mreža za bežični pristup i *backhaul*. *Backhaul* sadrži posredne veze između okosnica i male podmreže na rubu mreže. Uz 5G tehnologiju, svi računalni i komunikacijski resursi, poput spektra, infrastrukture ili računalnih platformi visokih performansi, mogu biti dostupni kao usluga.

Ključna karakteristika evolucije 5G-a je zgušnjavanje mreže, posebice s obzirom na popularnost i sveprisutnost visokofrekventnih, ali loših pojaseva propagacije. Ključni izazov leži u tome kako bi se moglo definirati umrežavanje bez povećanja inter-staničnih smetnji. 5G mreže koriste visokofrekventni milimetarski valni (mmW) spektar. Dok mmW signali pate od velikih gubitaka puta u usporedbi s mikrovalnim signalima, on je sposoban omogućiti prijenos podataka od više Gb/s, iako s manjim radijusima od 100-200 m. To je zahvaljujući činjenici da takve frekvencije mogu prihvatiti mnogo više propusnosti. Stoga se pretpostavlja da će se prvenstveno koristiti za lokalne žarišne točke, što može imati implikacije na troškove implementacije, [27].

Slično drugim otmjenim inovativnim tehnologijama, postoji utrka u implementaciji i opskrbi 5G platformi. Huawei je preuzeo praktički neprikosnoveno vodstvo u 5G utrci, a navodno je započeo istraživanje 6G mreže. Jasno je da su ove sjajne inovativne tehnologije vrlo brzo komercijalno dostupne. Ostaje, međutim, pitanje može li masa doista uživati u tim velikim naprecima u skorije vrijeme. Tako je istraživački članak pod naslovom "Cijena, pokrivenost i implikacije 5G infrastrukture u Britaniji" sa Sveučilišta Cambridge otkrio da će "(5G) pokrivenost dosegnuti 90% (britanske) populacije do 2027. godine sa 50 Mb/s, iako bi konačnih 10% imalo eksponencijalno povećanje troškova zbog čega je malo vjerojatno da će tržište opsluživati ovaj udio", [27].

Zbog ove 5G tehnologije koja je, barem što se opće populacije tiče, u ranoj fazi implementacije, o njoj još uvijek nije prikladno raspravljati kao o mreži za masovne korisnike. Metode plaćanja i pristupnici istražuju i razvijaju kako bi ga učinili ugodnijim i popularnijim na tržištu. Srećom, postoji nekoliko inicijativa koje imaju za cilj da 5G dovedu do upotrebe za šire mase u vrlo bliskoj budućnosti.

Jedan primjer takvih inicijativa je projekt *FlowCom*. Grade se na dobro dokazanom poslovnom modelu *Youtubea*, *App Storea* i sličnih za usmjeravanje kapitalnih resursa od trgovaca i oglašivača za plaćanje usluga u kojima uživaju krajnji korisnici. Jedina stvar koju krajnji korisnici ili *surferi* moraju platiti je njihovo vrijeme i pozornost, npr. kroz odgovaranje na anketu ili gledanje kratkog videa trgovaca i/ili oglašivača. *FlowCom* projekt daje prilično pozitivan pogled na to kako masa može imati svoje iskustvo iz prve ruke s 5G mrežama uz male financijske troškove, [27].

### 3.1. Arhitektura mobilnih mreža pete generacije

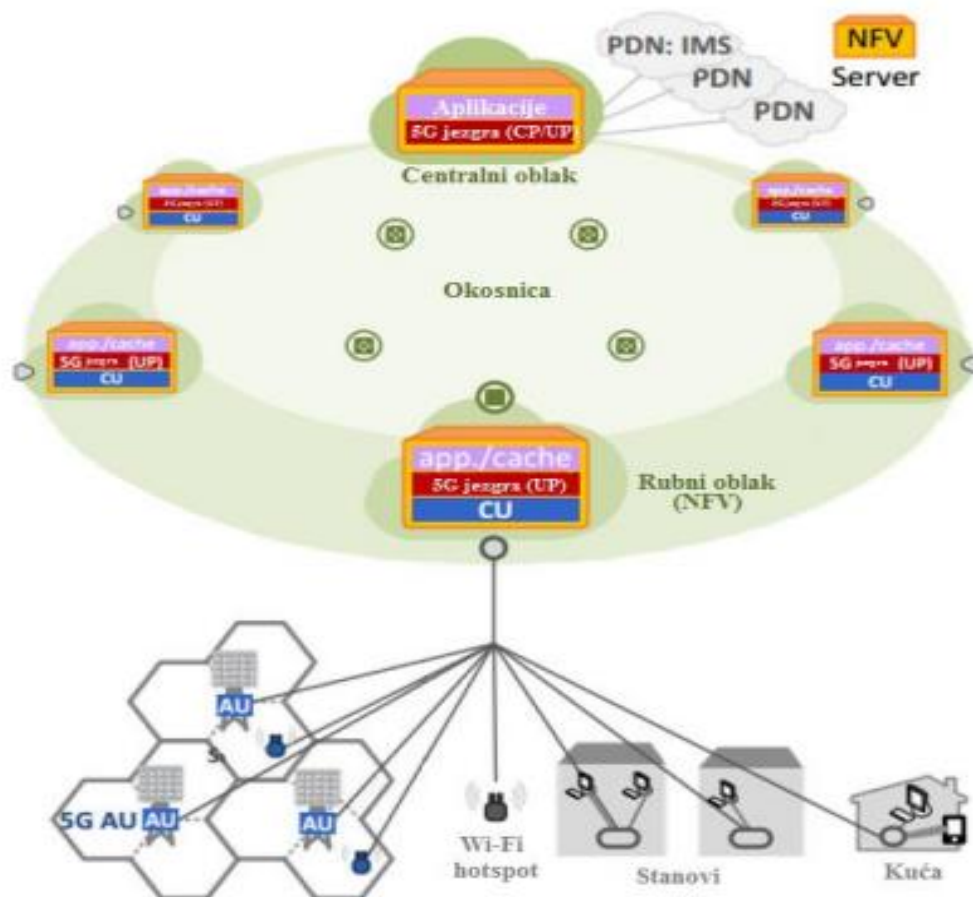
U proteklih nekoliko desetljeća, mobilna tehnologija i komunikacija je iznimno brzo uznapredovala. Počevši od prijenosa samo glasa, do današnjih „*always on*“ komunikacija. Komunikacija se trenutno obavlja vrlo jednostavno i brzo i s jednim uređajem moguće je komunicirati prema svima, bilo to prema fiksnim ili mobilnim komunikacijama, uključujući da su usluge bazirane u oblaku.

Arhitektura mobilne mreže pete generacije temelji se na računalstvu koje se nalazi u tzv. oblaku, čija je osnovna svrha isporučiti uslugu krajnjim korisnicima. Zapravo, računalstvo u oblaku podrazumijeva osigurane resurse, te se od tih osiguranih resursa očekuje da zahtijevane usluge od strane korisnika budu dostupne neovisno o vremenu i lokaciji korisnika. Korisnik mora imati pristup Internet mreži koju mu usluga naplaćuje po ugovorenoj tarifi, kako bi mogao pristupiti željenoj usluzi. Krajnji korisnik je osoba koja samostalno regulira vrijeme i stupanj vidljivosti podataka oblaka ostalim korisnicima. U slučaju da su oblaci povezani, mogu međusobno razmjenjivati podatke odnosno sadržaj, [28].

S obzirom da je 5G mreža dizajnirana da odgovori na sve postavljene zahtjeve od strane korisnika, krajnji korisnik imat će značajnu kontrolu nad svim telekomunikacijskim tehnologijama. Osnovni temelj za izgradnju i dizajniranje sveukupne arhitekture 5G mreže predstavljaju korisnički zahtjevi, [29]. Značajnu ulogu ima povećanje broja antena na baznim stanicama koje će se implementirati u sveukupnu arhitekturu 5G mreže te s tim povećanjem dolazi do povećanja brzine prijenosa i povećanja mrežnog kapaciteta.

MIMO (eng. *Multiple Input Multiple Output*) sustav predstavlja takav oblik antena u telekomunikacijama. Primjenom MIMO sustava dolazi do uštede energije zbog mogućnosti kontrole snage, što rezultira pojavom inovativne *smart grid* tehnologije. *Smart grid* tehnologija radi na način da primjenjuje unaprijeđene oblike informacijsko – komunikacijskih tehnologija, [30].

Slika 3 prikazuje aplikacije i tehnologije koje se koriste u arhitekturi 5G mreže. Tehnologije koje se koriste su M2M (eng. *Machine to Machine Communication*), D2D (eng. *Device to Device Communication System*), IoT (eng. *Internet of Things*), različite ćelije, masivni MIMO (eng. *Multiple Input Multiple Output*) itd. D2D odnosi se na izravnu komunikaciju između uređaja i omogućuje lokalnu razmjenu zrakoplovnog prometa bez prolaska kroz mrežnu infrastrukturu.

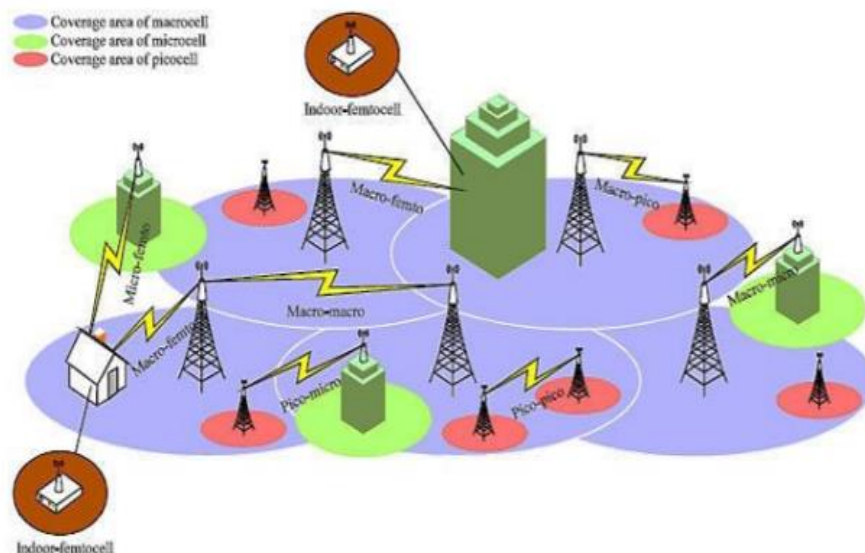


Slika 3. Arhitektura 5G mreže

Izvor: [31]

MMC (eng. *Massive Machine Communications*) osnova Internet stvari sa širokim rasponom područja primjene, uključujući automobilsku industriju, javnu sigurnost, hitne službe i medicinu. MN (eng. *Moving Networks*) na hrvatskom jeziku naziva se mreže u pokretu, povezuje zajedno potencijalno velike populacije pokretnim komunikacijskim uređajima. UDN (eng. *Ultra-dense Networks*) ili izuzetno guste mreže su glavni pokretači čiji je cilj povećati kapacitet i energiju učinkovitosti radio veza, te omogućiti bolje iskorištavanje nedovoljno iskorištenog spektra. Izuzetno pouzdane mreže ili URN (eng. *Ultra-reliable Networks*) omogućuje visoki stupanj dostupnosti, [31].





Slika 3. Prikaz ćelija 5G mreže

Izvor: [32]

Slika 4. prikazuje ćelije 5G mreže. Cjelokupna arhitektura 5G mreže se temelji na ćelijama koje omogućuju da jedna manja bazna stanica prostire više veza prema bežičnoj infrastrukturi. Implementacija takvih vrsta baznih stanica rezultira raspodjelom staničnog mjesta na više manjih dijelova. Godine 2008. uveden je pojam ćelija u sklopu specifikacije 3GPP (eng. *The 3rd Generation Partnership Project*) u izdanju 9. specifikacije 3GPP dolaze do odgovora na zahtjeve koji su postavljeni pred 5G mrežu, a ti zahtjevi se tiču značajnog povećanja kapaciteta u odnosu na 4G mrežu. Skupine ćelija dijele se na četiri podskupine ćelija, a nazivaju se, [33]:

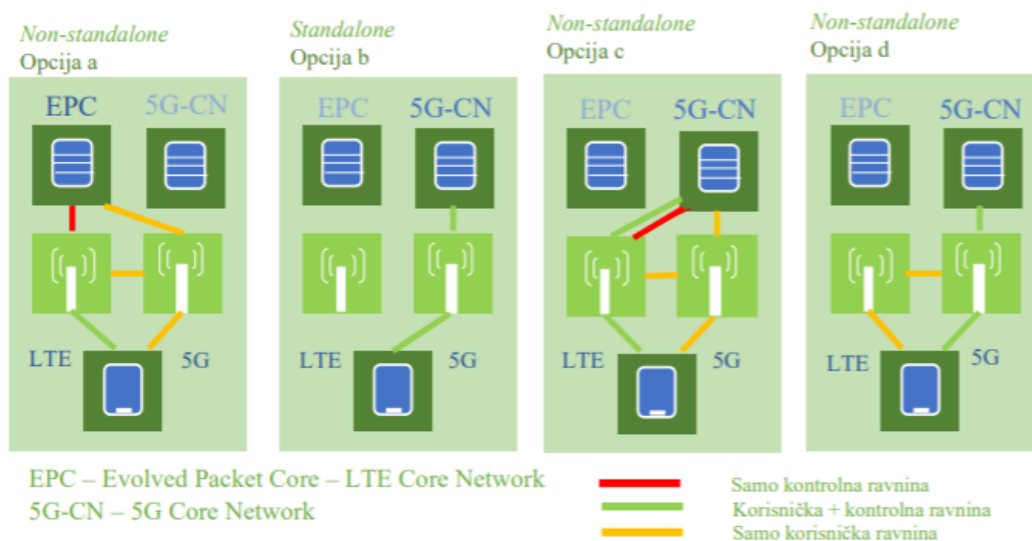
1. Femto ćelije u zatvorenom području: omogućuju pristup Internet mreži od jednog do trideset krajnjih korisnika. Svaka ćelija posjeduje poseban radijus pokrivanja, izražen u kilometrima te posebnu snagu izraženu u Wattima. Radijus pokrivanja Femto ćelija iznosi od 0,001 km do 0,1 km, a izlazna snaga kojom zrači iznosi od 0,001 W do 0,25 W.
2. Piko ćelije omogućuju pristup Internet mreži bilo na otvorenom bilo na zatvorenom području, a kapacitet krajnjih korisnika iznosi od trideset do sto krajnjih korisnika. Radijus pokrivanja je od 0,1 km do 0,2 km, dok izlazna snaga iznosi od 0,25 W do 1 W.
3. Mikro ćelije omogućuju pristup Internet mreži unutar gradskog područja, za između sto do dvije tisuće korisnika. Antene su smještene u sklopu zgrada, a

takvo postavljenje antena omogućuje pristup Internet mreži bilo to u otvorenom ili zatvorenom području, dok se korisnici kreću određenom brzinom te takav pristup odnosno mogućnost pristupa daje značajnu mobilnost korisnika 5G mreže. Radijus pokrivanja iznosi od 0,2 km do 20 km, a izlazna snaga s kojom zrači iznosi od 1 W do 10 W.

4. Makro ćelije omogućuju značajnu mobilnost korisnika iz razloga što pružaju pristup Internet mreži na otvorenom području i to za više od dvije tisuće korisnika. Takva mobilnost daje korisniku mogućnost neometanog kretanja u automobilu. Radijus iznosi od 8 km do 30 km, a zrači izlaznom snagom iznosa od 10 W do 50 W.

Arhitektura mobilnih mreža pete generacije se temelji na pružanju usluge kojim pristupaju krajnji korisnici, a postoji četiri načina na koje je to moguće izvesti. Svaka temeljno proučena izvedba dovodi do jednakog rješenja, a to je idealan odgovor na zahtjeve korisnika. Analizom mogućnosti integracije 5G mreže došlo je do poboljšanja 4G mreže. Pristupom 5G mreži krajnjim korisnicima omogućeno je korištenjem već postojeće infrastrukture od strane prethodnih generacija mobilne mreže te je ta infrastruktura, od strane pružatelja usluge, poboljšana virtualnim mrežnim funkcijama i softverski definirana te uključuje potpunu uporabu računalstva u oblaku. Takvim postupkom pružatelji usluga smanjili su troškove opreme i energije te brže pronalaze odgovore na korisničke zahtjeve.

Drugo rješenje kako bi došlo do implementacije arhitekture 5G mreže rezultiralo je samostalnošću 5G mreže što je prikazano na slici 5. Njezina arhitektura, kako bi došlo do implementacije samostalnog rada 5G mreže, omogućuje direktno povezivanje korisničkog terminalnog uređaja na baznu stanicu 5G mreže, a ta bazna stanica se izravno povezuje na jezgri dio te iste mreže. Postoji, dakako, i treće rješenje koje obuhvaća paralelno korištenje implementirane arhitekture 5G mreže s već postojećom arhitekturom prethodne generacije. Treće rješenje omogućuje da se krajnji korisnik poveže sa svojim terminalnim uređajem na baznu stanicu 4G mreže ili na baznu stanicu 5G mreže, a koje su međusobno povezane. Četvrto rješenje, ujedno i posljednje, slična je kao i u prethodnom rješenju. Dakle, terminalnim uređajem korisnik se povezuje ili na baznu stanicu 4G mreže ili na baznu stanicu 5G mreže, međutim, povezivanje na jezgri dio 5G mreže moguć je jedino ako je terminalni uređaj povezan preko bazne stanice 5G mreže, [34].



Slika 5. Prikaz načina implementacije 5G mreže

Izvor: [34]

Zasebno izvješće Globalne udruge dobavljača mobilnih usluga (GSA) pomaže u situaciji oko 5G uređaja. U svom posljednjem mjesečnom izvješću o okruženju 5G uređaja, tvrtka je izbrojala ukupno 48 najavljenih 5G uređaja od 26 različitih dobavljača, koji pokrivaju osam faktora oblika: telefone, žarišne točke, unutarnje modeme, vanjske modeme, module, ključeve/adaptore za spajanje, IoT usmjerivači i USB terminali, [35].

Tvrtka je rekla da 48 uređaja, uključujući sve njihove različite iteracije i derivacije, predstavljaju povećanje u odnosu na 33 koliko ih je tvrtka izbrojala u ožujku. Važno je da je tvrtka također brojala četiri različita dobavljača 5G čip seta: Huawei, Mediatek, Qualcomm i Samsung. Intel je nedavno ispao s tržišta. Međutim, poput Ooklinog brojanja, brojke iz GSA također uključuju dosta upozorenja, uglavnom ta da mnogi uređaji koje je izbrojao još nisu objavljeni. Jedini komercijalno dostupni 5G uređaji na GSA-ovom popisu uključuju:

- i. Huawei 5G CPE 2.0 (mmWave)
- ii. Huawei 5G CPE 2.0 (Sub-6 GHz)
- iii. Huawei 5G CPE Win
- iv. Motorola 5G Moto Mod
- v. Netgear Nighthawk M5 Fusion MR5000 (poznat i kao Nighthawk 5G Mobile Hotspot)

- vi. Nokia Fastmile 5G Gateway
- vii. Samsung SFG-D0100
- viii. Samsung Galaxy S10 5G (Europa i Azija).

Analitičarska tvrtka Ovum nedavno je izvijestila da će broj 5G korisnika na globalnoj razini premašiti tržište od milijardu 2023. godine, ali da će ta brojka predstavljati nešto više od 16% svih korisnika širokopojasnog mobilnog pristupa, [35]. Nadalje, nekoliko današnjih 5G mreža ili uređaja predstavlja nešto stvarno novo ili vrijedno pažnje. Današnje 5G mreže u osnovi predstavljaju bržu verziju 4G, a napredne značajke kao što su mobilno rubno računanje i rezanje mreže još nisu dostupne na većini lokacija. Međutim, prvi korak u bilo kojoj tranziciji tehnologije u bežičnoj industriji je zasijati tržište kompatibilnim uređajima, čime se osigurava da svim uslugama koje slijede može pristupiti baza korisnika dovoljno velika da generira značajne prihode.

Takve se situacije često svode na dilemu uzročnosti kokoši i jaja: bez kokoši nema načina da se dobije jaje, a bez jajeta nema načina da se dobije kokoš. Čini se da globalni 5G zamah istaknut u brojkama Ookle-a i GSA-a zasigurno ukazuje da je bežična industrija prošla ovu dilemu, [35].

### **3.2. 5G Network slicing**

*Network slicing* može se definirati kao mrežna konfiguracija koja omogućuje stvaranje više mreža (virtualiziranih i neovisnih) na vrhu zajedničke fizičke infrastrukture. Ova konfiguracija postala je bitna komponenta cjelokupnog 5G arhitektonskog krajolika. Svaki "slice" ili dio mreže može se dodijeliti na temelju specifičnih potreba aplikacije, slučaja korištenja ili korisnika.

Dok usluge poput pametnih parkirališnih mjerača imaju visoku pouzdanost i sigurnost, više toleriraju kašnjenja, druge (kao što su automobili bez vozača) trebaju ultra-nisku latenciju (URLLC) i veliku brzinu prijenosa podataka. Rezanje mreže u 5G podržava ove različite usluge i olakšava učinkovitu preraspodjelu resursa s jednog virtualnog mrežnog dijela na drugi. Aplikacije koje su omogućene ili poboljšane 5G mrežom zahtijevaju veću propusnost, više veza i manje kašnjenje nego što je to bilo moguće postići s prethodnim generacijama.

Svaki slučaj korištenja imat će svoje jedinstvene zahtjeve za performanse, čineći jedinstveni pristup pružanju usluga zastarjelim, [36].

Arhitektura mrežnog rezanja u 5G mreži donekle je analogna složenom sustavu javnog prijevoza. Umjesto nizova identičnih traka i automobila, neki transportni elementi (kao što su ceste i mostovi) su univerzalni. Međutim, drugi načini i vozila prilagođeni su brzini, proračunu i zahtjevima volumena korisnika. E2E mrežno rezanje (od kraja do kraja) i logička izolacija od drugih rezova središnji su vlasnici arhitekture, iako svaki jedinstveni *slice* prelazi mnoge zajedničke elemente mreže. Mrežni rezni SDN (eng. *Software-defined networking*) bitan je element arhitekture koja se koristi za upravljanje prometnim tokovima kroz sučelja aplikacijskog programa (API eng. *Application Programming Interface*) središnje upravljačke ravnine. Kontrolna ravnina konfigurira resurse za isporuku prilagođenih usluga klijentu kroz sloj aplikacije.

SDN također uključuje infrastrukturni sloj, koji sadrži osnovne mrežne usluge i odgovoran je za prosljeđivanje podataka i obradu pravila iz kontrolne ravnine. Kontroler mrežnih rezova (orkestrator) preslikava usluge i nadzire funkcionalnost između ostalih slojeva, [36]. Kroz virtualizaciju SDN-a svaka klijentska instanca može otključati i orkestrirati specifične resurse koji stvaraju odsječak s uključenim potrebnim uslugama. Ispunjavanje ovih zahtjeva je dinamička funkcija koja zahtijeva kontinuirano praćenje izvedbe i izolaciju između rezova. Rekurzija je još jedna ključna značajka mrežnog rezanja SDN-a koja omogućuje kontrolnoj ravnini da stvori više podkontrolera koji podržavaju sastav *slice*.

NFV (eng. *Network functions virtualization*) je još jedan preduvjet za rezanje. Strategija iza NFV-a je instaliranje mrežne funkcionalnosti na virtualne strojeve (VM eng. *Virtual Machine*) na virtualiziranom poslužitelju za pružanje usluga koje su tradicionalno radile na vlasničkom hardveru. NFV se također može koristiti za upravljanje životnim ciklusom mrežnih isječaka i njihovih infrastrukturnih resursa. SDN se koristi za kontrolu pružanja VM-ova koji se nalaze u rubnim ili jezgrenim oblacima. Ove tehnologije koje rade zajedno mogu pružiti čvrst temelj za učinkovito korištenje SDN i NFV mrežnih rezanja virtualnih i fizičkih resursa uključujući RAN, [36].

## 4. Ponuda usluga 5G mreže

Prije navođenja ponuda usluga nužno je spomenuti slučajeve uporabe (eng. *use case*), definirane kao tehnički pojam koji se koristi za opis određenih uvjeta prilikom korištenja nekog sustava. 5G mreža omogućila je scenarije korištenja koji su do sada ostvarili ne zadovoljavajuću kvalitetu usluge. Jedan primjer takvih scenarija je širokopojasni pristup u područjima s velikom gustoćom ljudi, npr. centri gradova, veliki događaji te komercijalne ili stambene zgrade. Takva mjesta prouzrokovala su veliku zagušenost što rezultira time da veliki broj ljudi na malom geografskom području pokušava u isto vrijeme pristupiti mobilnoj mreži. Drugi primjer predstavlja slabo pokrivanje, nenaseljeno ili slabo naseljeno područje koje se sastoji od malog broja korisnika.

Pružiti jednako korisničko iskustvo (QoE) svim korisnicima primarni je cilj 5G mreže, bez obzira na lokaciju, točnije, bez obzira gdje se korisnik nalazio dok pristupa usluzi. Brzina prijenosa koja je u okvirima današnje širokopojasne usluge, podrazumijeva 50 Mbit/s.

Razmatraju se i još napredniji scenarij mobilnosti korisnika, a to je pristup usluzi neovisno o brzini kretanja. Do sada se ova komunikacija izvodila u privatnim mrežama te su troškovi infrastrukture bili iznimno veliki. Međutim, 5G mreža pruža prioritetsnu i robusnu komunikaciju koja je prilagođena potrebama svake situacije, [37].

Osim usluga koje su usmjerene prema korisnicima, postoje i razne vrste usluga koje su usmjerene prema uređajima. Popularni mIoT (eng. *massive Internet of Things*) koncept predstavlja samostalnu komunikaciju i povezivanje velikog broja različitih uređaja. Pod uređaje podrazumijevaju se dronovi, uređaji u pametnom gradu, nosivi pametnu uređaji, senzori i drugo. Svakako, postoji velika razlika; uređaji i ljudi ne zahtijevaju jednaku uslugu te je potrebno prilagoditi ponašanje mreže i tom obliku komunikacije.

Postoji i kompleksnija stvar od svih navedenih, a to je ekstremna komunikacija u stvarnom vremenu. Bežično upravljanje virtualnim ili stvarnim objektima, takozvani taktilni Internet, predstavlja ekstremnu komunikaciju u stvarnom vremenu. Vrijeme čekanja odnosno latencija u ovoj vrsti komunikacije mora biti manja od milisekunde. Latencija zahtjeva iznimnu pouzdanost, međutim, to nije jedini scenarij koji to zahtjeva. Pouzdanost je vrlo bitna prilikom upravljanja robotima i dronovima, obavljanja operacija, udaljenog liječenja i autonomne vožnje, [38].

Ponuda usluga jedna je od najvećih razlika 5G mreže i prethodnih generacija mobilnih mreža te je temelj pri usmjeravanju razvoja nove mrežne arhitekture. Naime, kako bi svaka pojedina usluga bila u mogućnosti ostvariti svoje zahtjeve za kvalitetom usluge, oni omogućavaju preciznije upravljanje telekomunikacijskim uslugama. Mobilna mreža pete generacije omogućava tri tipa usluga, [38]:

- a. eMBB (eng. *enhanced Mobile Broadband*): poboljšani širokopojasni pristup
- b. uRLLC (eng. *ultra-Reliable Low latency Communication*): iznimno pouzdana komunikacija male latencije
- c. mMTC (eng. *massive Machine-type Communication*): masovna komunikacija uređaja.

Poboljšani širokopojasni pristup je unaprjeđeni široko pojasni pristup koji se koristi u mrežama četvrte generacije (eng. *4G broadband*). Ovaj tip usluga namijenjen je komunikaciji korisnika, odnosno namijenjen je za pristup više medijskih sadržaja (na eng. *multimedia*), podacima i uslugama. U poboljšanom širokopojasnom pristupu postoje usluge koje uključuju prijenos sadržaja iznimno visoke kvalitete (eng. *UHD streaming*). Nove usluge, s korisničke strane, zahtijevat će veće prijenosne brzine i računalske resurse u oblaku za obavljanje kompleksne obrade podataka.

Globalni cilj je u svakom trenutku i na svakom mjestu pružiti prihvatljivu kvalitetu usluge. Ostvarenje pojedinih performansa, jer povećanjem jedne značajke dovodi do smanjenje druge značajke, ostvaraje se na temelju kompromisa. Na primjer, povećanjem pokrivenosti smanjuje se brzina prijenosa. Zbog toga se za planiranje mobilne mreže uvijek nastoji odabrati tehnologija i arhitektura koja će najbolje odgovarati performansima u stvarnim situacijama. Poboljšanje usluge širokopojasnog pristupa u mreži 5G može se postići na dva načina, [38]:

1. naprednim višeantenskim sustavima koji omogućavaju oblikovanje dijagrama zračenja i masovni MIMO
2. korištenjem novih frekvencijskih pojaseva.

Nedostatak komunikacije u milimetarskom području jest osjetljivost na vremenske uvjete i mali doseg, a rješava se oblikovanjem dijagrama zračenja. Napredni višeantenski sustav omogućuje bolje iskorištenje komunikacijskih resursa, što rezultira boljim performansima i poboljšanjem kvalitete usluge. Ono što proširuje resurse korištene za

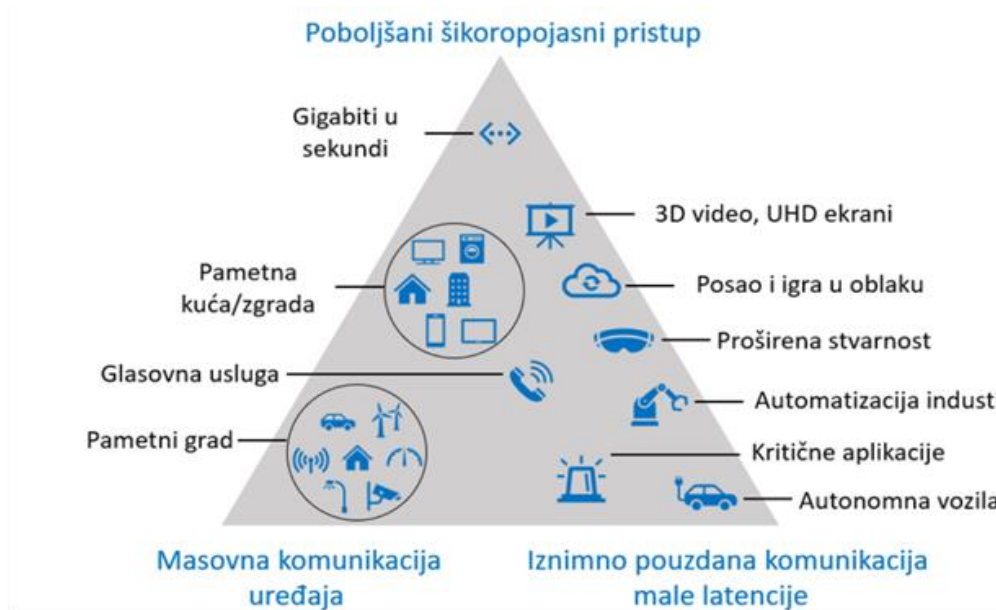
mobilne komunikacije su dodatni frekvencijski pojasevi, što posljedično rezultira boljim performansima. Milimetarski valovi u frekvencijskom području su posebno zanimljivi jer je na istim moguće ostvariti iznimno velike brzine prijenosa.

Iznimno pouzdana komunikacija male latencije je drugi tip usluga, a ona obuhvaća nove slučajeve uporabe u kojima se nalaze strogi zahtjevi za pouzdanosti i latencijom. Pod time se podrazumijeva da zahtijevane performanse imaju iznos latencije od 1 ms (milisekunde) te pouzdanost od 99,999%. Za primjer i usporedbu, u 4G mreži ostvariva latencija iznosi 10 ms, a pouzdanost se kreće oko 99%. Želja za boljim performansima nije bila potrebna, iz razloga što su većina korisnika bili ljudi koji su pristupali mreži putem pametnih telefona.

Ovaj tip usluge odnosi se većinom na korisnike u području zdravstva i sigurnosti, dok se primjena odnosi na komunikaciju uređaja. U to se podrazumijevaju uređaji koji ne dozvoljavaju greške te očekuju komunikaciju u stvarnom vremenu. Pod te uređaje ubrajaju se autonomna vozila (vozila bez vozača), napredna elektroenergetska mreža, upravljanje prometom u stvarnom vremenu, uređaji koji vode komunikaciju za vrijeme hitnih slučajeva i nesreća te industrijska komunikacija (npr. bežično upravljanje strojevima u pogonima proizvodnje), [38].

Treći, ujedno i zadnji tip usluga je masovna komunikacija uređaja koja podrazumijeva velik broj uređaja koji su povezani te povremeno šalju kratke poruke i imaju blage zahtjeve za kvalitetom usluge. Pod terminom blagi zahtjevi za kvalitetom usluge podrazumijeva se da brzina prijenosa ne mora biti značajno visoka te da je dopuštena i veća latencija jer uređaji ne ovise o razmjeni poruka u stvarnom vremenu. Bitne značajke kod samih uređaja su prihvatljiva cijena i dobra baterija koja ima duži vijek trajanja, s obzirom da su predviđeni za samostalno obavljanje funkcionalnosti bez ljudske intervencije jedan duži vremenski period. Najbolji primjer za ovaj tip usluge su pametni gradovi. Oni u sebi sadrže, primjerice, pametnu rasvjetu, parking senzore, sustave za nadzor i sl. Takav tip usluga očekuje široko pokrivanje i povezanost velikog broja uređaja bez zagušenja. Zbog toga se usmjerava razvoj mobilne mreže prema tehnikama boljeg upravljanja velikim brojem korisnika.





Slika 4. Odnos između slučajeva uporabe i tipova usluga u mreži 5G

Slika 6 prikazuje odnos između slučajeva uporaba s definiranim tipom usluga, pri čemu vrhovi trokuta prikazuju slučajeve uporabe potpuno okarakterizirane pojedinim tipovima usluga, dok ostali slučajevi uporabe imaju karakteristike više njih. Na zahtjeve za kvalitetom usluge svaki tip usluge ugovara na svoj način; širokopojasni pristup odgovara visokom brzinom prijenosa, masovna komunikacija uređaja odgovara velikom povezanosti, a iznimno pouzdana komunikacija odgovara visokoj pouzdanosti i niskoj latenciji, [38].

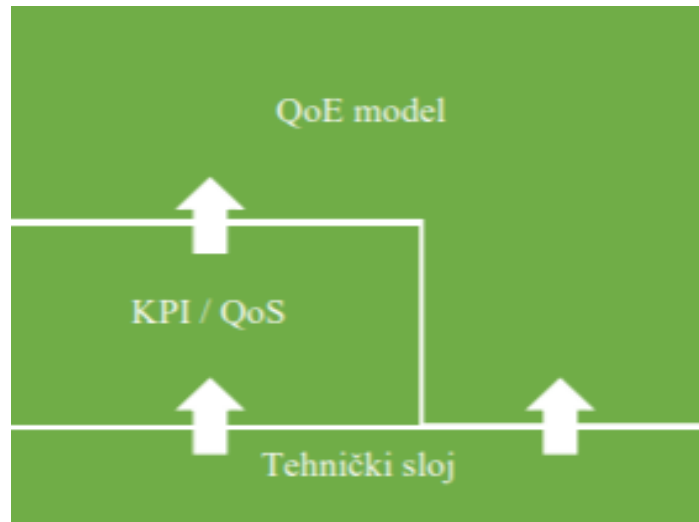
## 5. QoS i QoE u 5G mrežama

Značajan napredak, u kontekstu obrade podataka, omogućile su mobilne mreže. Bez obzira na poboljšanje mobilnih mreža i telekomunikacija, pojavili su se nedostaci u obliku malih brzina prijenosa i uskog grla kanala koje omogućuje prijenos podataka. Sukladno tome, došlo je do neprestanog rada kako bi došli do poboljšanja te smanjivanja nedostataka koji su prethodno navedeni. U posljednje vrijeme, korisnici su sve više počeli koristiti podatkovni promet od pružatelja usluge, a povećanjem korištenja te usluge uvidjeli su nedostatke, koje je bilo potrebno što prije anulirati kako bi korisnici bili zadovoljni uslugom te kako bi kvaliteta usluge ostala na dosljednoj razini.

U obliku standarda LTE-A (eng. *Long Term Evolution – Advanced*) integrirana je 4G mobilna mreža diljem svijeta. Cjelokupna telekomunikacijska industrija usmjerena je prema standardu mobilne mreže 5G. Najveći je izazov u 5G mobilnoj mreži smanjiti razinu kašnjenja na manje od jedne milisekunde, što rezultiralo velikim zadovoljstvom korisnika te dolazi do povećanja ukupnog QoE-a, [39].

Veliki broj aplikativnih rješenja koristi se i danas, zajedno sa svim popratnim KPI, QoS i QoE. Neovisno o lokaciji i vremenu, telekomunikacijske usluge će uvijek biti dostupne kada ih krajnji korisnik zatraži. Korisnikovo čekanje na zahtijevanu telekomunikacijsku uslugu svedeno je na minimum. Cjelokupni fokus usmjeren je i dalje na kvalitetu usluge te se ona odnosi na aktivni slučaj uporabe, odnosno modeli QoE bit će orijentirani i prilagođeni novo razvijenim i inovativnim aplikativnim rješenjima. U novim aplikacijama postiže se kontinuirani prijenos podataka. S tim se obuhvaća razvijenost i prihvaćenost KPI-ja i QoS parametara za interaktivnost i kontinuitet prijenosa. Nova aplikativna rješenja morat će se prilagoditi mrežnim uvjetima primjenom strojnog učenja i umjetne inteligencije, dok istovremeno QoE mora biti optimiziran, [40].

KPI i QoS ciljevi i pragovi temelje se na tehničkim potrebama za nove aplikacije. Nadalje, QoE se temelji na iskustvu korisnika, a to iskustvo se temelji na očekivanjima koje je imao korisnik. Međutim očekivanja se s vremenom sve više povećavaju pa tako i razvoj novih aplikativnih rješenja. KPI, QoS i QoE nisu ovisni o radio pristupnoj tehnologiji, međutim, KPI i QoS se prilagođavaju novim uslugama, dok QoE ovisi o očekivanjima krajnjeg korisnika koja se povećavaju paralelno s unaprjeđenjem tehnologije. Na sljedećoj slici biti će prikazan prikaz odnosa tehničkog sloja, KPI/QoS i QoE modela.



Slika 7. Prikaz odnosa tehničkog sloja, KPI/QoS i QoE modela

Izvor: [40]

Mjerenje QoE-a može se provesti korištenjem subjektivnih i objektivnih testova, [41]. Subjektivni testovi uključuju izravno prikupljanje podataka od korisnika, npr. u obliku korisničkih ocjena. Tijela za standardizaciju, kao što je ITU-T koje u svojoj preporuci ITU-T P.800 [42] predstavljala metodologiju za provođenje subjektivnih testova. Ova preporuka također definira metodu za mjerenje QoE korisnika na temelju ocjene zvane srednja vrijednost mišljenja (MOS) [42], kao što je već ranije napomenuto u poglavlju 2.2.1.

MOS se široko koristi za subjektivnu procjenu kvalitete glasa/videa. Ljudski ispitanici ocjenjuju svoje cjelokupno iskustvo u ACR (eng. *Absolute category Rating*). Ova ljestvica se obično sastoji od pet opcija, npr. "5" znači "izvrsno", "4" znači "vrlo dobro", "3", "2" i "1" znači "dobro", "prihvatljivo" i "loše". Postoji nekoliko problema koji se javljaju tijekom provođenja subjektivnih testova. Na primjer, potreban je veliki broj ispitanika da bi se dobili vjerodostojni rezultati, [43]. Ovi testovi mogu biti skupi i dugotrajni, stoga su subjektivni testovi uglavnom ograničeni na velike telekomunikacijske davatelje usluga. Osim toga, materinji jezik ljudskih subjekata možda nije isti među ispitanicima i rezultati dobiveni subjektivnim testovima mogu biti pristrani ili čak nepotpuni, [44].

Nekoliko istraživača [45] također je primijetilo probleme tijekom pridržavanja prema preporuci ITU-T P.800 za provođenje subjektivnih testova. Najveći problem MOS-a je što se tako izračunava prosjek ocjena korisnika. Matematičke operacije kao što su izračunavanje srednje vrijednosti i standardne devijacije ne mogu se primijeniti na subjektivne ocjene jer su te ocjene kategoričke prirode (npr. "izvrsno" i "prihvatljivo"). Ispitani korisnici rangiraju opcije na kategorijalnoj skali gdje se ne može znati udaljenost između tih alternativa. Dakle,

matematičke operacije ne mogu se primijeniti. Ipak, MOS je najčešće korištena metoda za procjenjivanje subjektivne ocjene i u industriji i u akademskim krugovima.

Takahashi i suradnici [46] zagovarali su razvoj objektivnih metoda procjene QoE-a za multimedijske aplikacije. Objektivne metode kao što su ITU-T E-Model, PESQ, PSQA, USI, nakon razvoja mogu se koristiti za QoE predviđanje bez potrebe za subjektivnim testovima. Većina objektivnih metoda preslikavaju svoje rezultate na MOS za određivanje QoE-a. Na primjer, ITU-T E-Model [47] izračunava R-faktor u rasponu od [0:100] za uskopojasni kodeke i [0:129] za širokopojasne kodeke. R-faktor se tada preslikava na MOS pomoću nelinearne jednadžbe za određivanje QoE korisnika između raspona od 1 i 5.

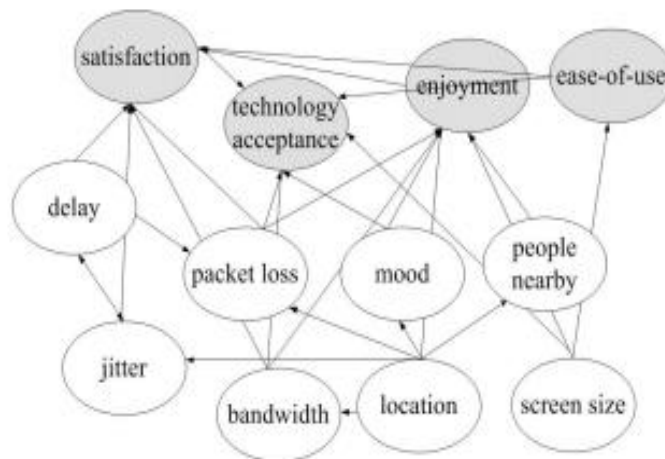
Objektivne metode je teško razviti, modelirati i primijeniti zbog velikih prostornih parametara. Nadalje, svaka izmjena trenutnih objektivnih metoda dodavanjem ili brisanjem parametara može zahtijevati nove testove za fino podešavanje trenutnih modela ili za izvođenje novih statističkih modela za QoE predviđanje, [41]. Trenutni objektivni modeli kao što su [47], [48] i [49] temelje se na pojednostavljenim pretpostavkama u pogledu predviđanja QoE-a. Npr., Fiedler i Hossfeld [49] razmatraju samo jedan do dva QoS parametra predviđanja QoE-a.

Većina metoda mjerenja i predviđanja QoE razvijena je u kontroliranim laboratorijskim okruženjima s ograničenim brojem ciljeva i subjektivnih parametara kao što su kašnjenje, *jitter*, gubitak paketa i propusnost. Moor i sur. [50], Jumisko-Pyykkö i Hannuksela [51], Ickin i sur. [52] i Mitra i sur. [53] zagovarali su QoE mjerenje i predviđanje u stvarnom životu korisničkih okruženja. Jumisko-Pyykkö i Hannuksela [51] tvrde da se QoE razlikuje u laboratorijskim i stvarnim korisničkim okruženjima. U stvarnom životu kontekst se može dinamički mijenjati dok su korisnici u pokretu. Tako na različitim lokacijama korisnika QoS može varirati. Čimbenici, kao što je vrijeme u danu, mogu pomoći u objašnjenju porasta zagušenja mreže, koje dovodi do smanjenja QoE korisnika.

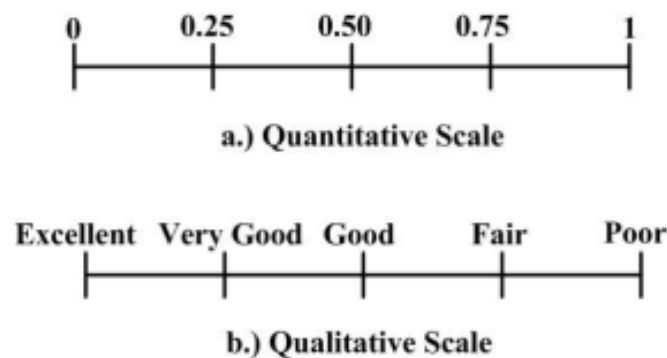
Nadalje, društveni kontekst korisnika se mijenja tijekom dana što dovodi do varijacija u QoE-u. Na primjer, QoE korisnika može biti pogođen ako se u blizini nalaze drugi korisnici. Gotovo sve objektivne metode razvijene do danas ne razmatraju grupiranje nekoliko kontekstualnih parametara kao što su lokacija korisnika, doba dana i razlučivost zaslona za predviđanje QoE-a. Brooks i Hestnes [41] raspravljali su o važnosti razmatranja subjektivnih i objektivnih metoda za mjerenje i predviđanje QoE-a. Oni su također raspravljali o važnosti mjerenja QoE-a na jednoj skali kombiniranjem nekoliko QoE parametara. Moor i sur. [50] i

Mitra i sur. [53] također su predložili kombinaciju subjektivnih i objektivnih metoda za mjerenje QoE-a.

Razvidno je da može postojati mnoštvo konteksta i QoS parametara koji utječu na QoE. Zapravo, različiti QoE parametri također mogu utjecati međusobno jedni na druge kao što je prikazano na slici 8. Nadalje, QoE parametri se mogu mjeriti na drugačijoj skali kao što je prikazano na slici 9. Izgledno je da postoji potreba za razvojem metoda koje ispravno identificiraju i modeliraju ove parametre kako bi se izmjerio i predvidio QoE jedinstvenim mjerilom. Kada se razvijaju, ove metode mogu koristiti telekomunikacijskim operaterima i krajnjim korisnicima.



Slika 8. Sivi ovali prikazuju QoE parametre, a bijeli ovali prikazuju kontekst parametrima



Slika 9. Tipične ljestvice za QoE mjerenje.

## 6. Zaključak

Uz povećan broj korisnika terminalnih uređaja povećao se i broj korisnika Internet mreže, time se i povećala količina prenesenog prometa. Kako bi spriječili zagušenja, gubitak paketa i sl., pred telekomunikacijsku mrežu su postavljeni novi zahtjevi. 5G mobilna mreža uvelike se razlikuje od prethodnih mreža. 5G mreža svojim korisnicima pruža veliku pouzdanost, malu latenciju te velike brzine prijenosa podataka. Sve to je moguće zbog korištenja širokopoljasne mreže. Ona će ujedno biti i prva mreža koja će u cijelosti pružiti sasvim nove i inovativne uslužne mogućnosti u cijelosti. Razvojem nove mreže povećava se razina kvalitete usluge i razina iskustvene kvalitete. Usporedbom s prijašnjim mrežama, dokazano je da 5G mreža pruža bolju ponudu usluga. Bez problema, korištenje većeg broja terminalnih uređaja u malom prostoru više neće stvarati zagušenja, gubitke paketa i sl. 5G mreža pruža nešto što će ljudima svakako olakšati njihovu svakodnevnicu.

Arhitektura mobilne mreže pete generacije temelji se na računalstvu koje se nalazi u tzv. oblaku, čija je osnovna svrha isporučiti uslugu krajnjim korisnicima. Zapravo, računalstvo u oblaku podrazumijeva osigurane resurse te se od tih osiguranih resursa očekuje da zahtijevane usluge od strane korisnika budu dostupne neovisno o vremenu i lokaciji korisnika. Korisnik mora imati pristup Internet mreži koju mu usluga naplaćuje po ugovorenoj tarifi kako bi mogao pristupiti željenoj usluzi. Arhitektura mrežnog rezanja u 5G mreži donekle je analogna složenom sustavu javnog prijevoza. Umjesto nizova identičnih traka i automobila, neki transportni elementi (kao što su ceste i mostovi) su univerzalni. Međutim, drugi načini i vozila prilagođeni su brzini, proračunu i zahtjevima volumena korisnika. E2E mrežno rezanje (od kraja do kraja) i logička izolacija od drugih rezova središnji su vlasnici arhitekture, iako svaki jedinstveni *slice* prelazi mnoge zajedničke elemente mreže. Mrežni reznici SDN (softverski definirana mreža) bitan je element arhitekture koja se koristi za upravljanje prometnim tokovima kroz sučelja aplikacijskog programa (API) središnje upravljačke ravnine.

Značajan napredak, u kontekstu obrade podataka, omogućavaju mobilne mreže. Bez obzira na poboljšanje mobilnih mreža i telekomunikacija, pojavili su se nedostaci u obliku malih brzina prijenosa i uskog grla kanala koji omogućuju prijenos podataka. Sukladno tome, došlo je neprestanog rada kako bi se došlo do poboljšanja te smanjivanja nedostataka koji su prethodno navedeni.

## Popis literature

- [1] QoS Classes, Preuzeto s: <https://docs.paloaltonetworks.com/pan-os/9-0/pan-os-admin/quality-of-service/qos-concepts/qos-classes.html> [Pristupljeno: 13.02.2022.]
- [2] Banović-Ćurguz N., Ilišević D. Mapping of QoS/QoE in 5G Networks. Opatija: MIPRO; 2019.
- [3] Burns S., Delany C., Clark P., Sterner D. The journey toward greater customer centricity. EYGM Limited. 2013. Preuzeto s: [https://www.acadThe\\_journey\\_toward\\_greater\\_customer\\_centricityemia.edu/11860442/](https://www.acadThe_journey_toward_greater_customer_centricityemia.edu/11860442/). [Pristupljeno: 10.08.2021.]
- [4] Matulin M.: „Procjena iskustvene kvalitete usluge prijenosa videosadržaja strujanjem“, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2014.
- [5] Cisco. Enterprise QoS Solution Reference Network Design Guide. 2014. Preuzeto s: [https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/WAN\\_and\\_MAN/QoS\\_S\\_RND/QoS-SRND-Book/QoSIntro.html](https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/WAN_and_MAN/QoS_S_RND/QoS-SRND-Book/QoSIntro.html). [Pristupljeno: 10.08.2021.]
- [6] ISO 8402 quality management and quality assurance, 1994.
- [7] ISO 9000 quality management, 2000.
- [8] ITU-T: E.800: „Definitions of terms related to quality of service“, 2008.
- [9] ITU: E.800: „Terms and definitions related to quality of service and network performance including dependability“, 1994.
- [10] ITU: X.902: „Information technology - Open Distributed Processing - Reference Model: Foundations“, 1995.
- [11] Vogel A., Kerhrve B., Bochmann G., Gecsei J.: Distributed Multimedia Applications and Quality of Service: A Survey, Preuzeto s: <http://www.informatik.uni-hamburg.de/bib/en/reports/ereport.html>, [Pristupljeno: 10.08.2021.]
- [12] Mirman E. The Ultimate Guide to Service-Level Agreements (SLAs). HubSpots. Preuzeto s: <https://blog.hubspot.com/blog/tabid/6307/bid/34212/how-to-create-a-service-level-agreement-sla-for-better-sales-marketing-alignment.aspx>. [Pristupljeno: 10.08.2021.]
- [13] Mean Opinion Score (MOS) terminology. ITU-T P.800.1.

- [14] Network latency and its effect on application performance. Noction. 2015. Preuzeto s: <https://www.noction.com/blog/network-latency-effect-on-application-performance>. [Pristupljeno: 16.08.2021.]
- [15] Understanding Jitter in Packet Voice Networks (Cisco IOS Platforms). Cisco. 2006. Preuzeto s: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/voice/voice-quality/18902-jitter-packetvoice.html>. [Pristupljeno: 16.08.2021.]
- [16] What is Packet Loss?. Forcepoint. Preuzeto s: <https://www.forcepoint.com/cyberedu/packet-loss>. [Pristupljeno: 16.08.2021.]
- [17] Frenzel L. Handbook of Serial Communications Interfaces (1st Edition). Testing considerations. Bit Error Rate. Newnes; 2016.
- [18] Mean Opinion Score (MOS), Preuzeto s: <https://www.twilio.com/docs/glossary/what-is-mean-opinion-score-mos> [Pristupljeno: 13.02.2022.]
- [19] Subjective performance assessment of telephone-band and wideband digital codecs. ITU-T P.380.
- [20] Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures. ITU-R BT.500-8.
- [21] Šalovarda M., Bolkovac I., Domitrovic H. Estimating Perceptual Audio System Quality Using PEAQ Algorithm. Znanstveni rad. Hrvatska: Conference Proceedings of the 18th ICECom 2005; 2005.
- [22] PESQ. PETICOM. Preuzeto s: <https://www.opticom.de/technology/pesq.php>. [Pristupljeno: 10.08.2021.]
- [23] PSNR. MathWorks. Preuzeto s: <https://www.mathworks.com/help/vision/ref/psnr.html>. [Pristupljeno: 10.08.2021.]
- [24] What are Mean Squared Error and Root Mean Squared Error? Vernier. 2018. Preuzeto s: <https://www.vernier.com/til/1014>. [Pristupljeno: 11.08.2021.]
- [25] Wang Z., Bovik A. C., Sheikh H. R., Simoncelli E. P. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity. IEEE transactions on image processing. 2004; 13(4): 600-611.
- [26] MSU Quality Measurement Tool: Metrics information. Everything about the data compression. Preuzeto s: [http://www.compression.ru/video/quality\\_measure/info.html](http://www.compression.ru/video/quality_measure/info.html). [Pristupljeno: 11.08.2021.]
- [27] On the Characteristics of 5G networks, Preuzeto s: <https://www.accesswire.com/620426/On-the-Characteristics-of-5G-networks> [Pristupljeno: 13.02.2022.]



- [28] What Is the Cloud? | Cloud Definition. Cloudflare. Preuzeto s: <https://www.cloudflare.com/learning/cloud/what-is-the-cloud/>. [Pristupljeno: 12.08.2021.]
- [29] About the 5G PPP. 5G PPP. Preuzeto s: <https://5g-ppp.eu/>. [Pristupljeno: 12.08.2021.]
- [30] Ngo H. Q. Massive MIMO: Fundamentals and System. 2015. Preuzeto s: <http://liu.divaportal.org/smash/get/diva2:772015/FULLTEXT01.pdf>. [Pristupljeno: 12.08.2021.]
- [31] Son H. J., M. M., Do: 5G Network as Envisioned by KT: Analysis of KT's 5G Network Architecture, Korea Communication Review, str. 31-34, prosinac, 2015.]
- [32] Gupta A., Jha R. K.: Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies, IEEE Access, Vol. 3, str. 1206 – 1232, srpanj 2015.
- [33] Small Cell Networks and the Evolution of 5G (Part 1). Qorvo. 2017. Preuzeto s: <https://www.qorvo.com/design-hub/blog/small-cell-networks-and-the-evolution-of-5g>. [Pristupljeno: 12.08.2021.]
- [34] Nokia. 5G New Radio Network. Preuzeto s: <https://onestore.nokia.com/asset/205407>. [Pristupljeno: 13.08.2021.]
- [35] Here Are All the 5G Networks & Devices Around the World – Today, Preuzeto s: <https://www.lightreading.com/mobile/5g/here-are-all-the-5g-networks-and-devices-around-the-world---today/d/d-id/751432> [Pristupljeno: 13.02.2022.]
- [36] 5G Network Slicing, Preuzeto s: <https://www.viavisolutions.com/en-us/5g-network-slicing> [Pristupljeno: 13.02.2022.]
- [37] Coriveau P. Video Quality Testing. Digital Video Image Quality and Perceptual Coding. CRC Press; 2006: 125-153
- [38] Slučajevi uporabe i tipovi usluga u mreži 5G 2021. godina Preuzeto s: <https://www.5g.hr/tehnologija/slucajevi-uporabe-i-tipovi-usluga-u-mrezi-5g/> [Pristupljeno: 16.08.2021.]
- [39] Mushtaq M. S., Fowler† S., Augustin B., Mellouk A. QoE in 5G Cloud Networks using Multimedia Services. IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Norrköping; 2016.
- [40] Berger J. QoS and QoE in 5G networks - Evolving applications and measurements. 2019. Preuzeto s: [https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-andSeminars/qos/201908/Documents/Jens\\_Berger\\_Presentation\\_1.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-andSeminars/qos/201908/Documents/Jens_Berger_Presentation_1.pdf). [Pristupljeno: 14.08.2021.]

- [41] Brooks P., Hestnes B. User measures of quality of experience: why being objective and quantitative is important. *Network, IEEE*, 24(2):8–13, March-April 2010
- [42] ITU-T Recommendation P.800. Methods for subjective determination of transmission quality. 1996.]
- [43] Rix A.W., Beerends J.G., Doh-Suk Kim, Kroon P., Ghitza O. Objective assessment of speech and audio quality-technology and applications. *Audio, Speech, and Language Processing, IEEE Transactions on*, 14(6):1890 –1901, nov. 2006.
- [44] Knoche H., De Meer H.G., Kirsh D. Utility curves: mean opinion scores considered biased. In *Seventh International Workshop on Quality of Service (IWQoS '99)*, pages 12 –14, 1999
- [45] Hwang C. L., Yoon K. P. Multiple attribute decision-making: Methods and applications. Springer-Verlag, 1981.
- [46] Takahashi A., Yoshino H., and Kitawaki N. Perceptual qos assessment technologies for voip. *Communications Magazine, IEEE*, 42(7):28 – 34, july 2004
- [47] ITU-T Recommendation G.107. Itu-t recommendation g.107, methods for subjective determination of transmission quality. 2008.
- [48] Lingfen S., Ifeachor E. C. Voice quality prediction models and their application in voip networks. *Multimedia, IEEE Transactions on*, 8(4):809–820, 2006.
- [49] Fiedler M., Hossfeld T., Tran-Gia P. A generic quantitative relationship between quality of experience and quality of service. *Network, IEEE*, 24(2):36 –41, march-april 2010.
- [50] De Moor K., Ketyko I., Joseph W., Deryckere T., De Marez L., Martens L., Verleye G. Proposed framework for evaluating quality of experience in a mobile, testbed-oriented living lab setting. *Mob. Netw. Appl.*, 15:378–391, June 2010.
- [51] Jumisko-Pyykkö S., Hannuksela M. M. Does context matter in quality evaluation of mobile television? In *Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI 2008)*, pages 63–72. ACM.
- [52] Ickin S., Wac K., Fiedler M., Janowski L., Hong J.H., Dey A.K. Factors influencing quality of experience of commonly used mobile applications. *Communications Magazine, IEEE*, 50(4):48 –56, april 2012.
- [53] Mitra K., Åhlund C., Zaslavsky A. A decision-theoretic approach for quality-of-experience measurement and prediction. In *Multimedia and Expo (ICME), 2011 IEEE International Conference on*, pages 1–4, july.

## Popis kratica

QoS	Quality of Service
QoE	Quality of Experience
ISO	International Standards Organization
ITU	International Telecommunication Union
SLA	Service Level Agreement
BER	Bit Error Rate
MOS	Mean Opinion Score
DSCQS	Double Stimulus Continuous Quality Scale
PEAQ	Perceptual Audio Quality Measure
PESQ	Perceptual Evaluation of Speech Quality
PSNR	Peak Signal to Noise Ratio
MSE	Mean Square Error
SSIM	Structural Similarity Index
M2M	Machine to Machine
IoT	Internet of Things
V2V	Vehicle to Vehicle
MIMO	Multiple Input Multiple Output
D2D	Device to Device Communication System
MMC	Massive Machine Communications
MN	Moving Networks
UDN	Ultra-dense Networks
URN	Ultra-reliable Networks

3GPP	The 3rd Generation Partnership Project
mIoT	massive Internet of Things
eMBB	enhanced Mobile Broadband
uRLLC	ultra-Reliable Low latency Communication
mMTC	massive Machine-type Communication
LTE-A	Long Term Evolution – Advanced
ACR	Absolute Category Rating
DDIS	Double Stimulus Impairment Scale
DSCQS	Double Stimulus Continuous Quality Scale
SSCQS	Single Stimulus Continuous Quality Evaluation

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je \_\_\_\_\_  
završni rad  
(vrsta rada)

isključivo rezultat mogega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom \_\_\_\_\_  
Kvaliteta usluge u mobilnim mrežama pete generacije, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, \_\_\_\_\_  
27.2.2022

Matea Hrsto, *Matea*  
(ime i prezime, potpis)