

Mjerenje QoS-a i QoE-a za aplikacije i slučajeve uporabe u 5G mreži

Mareković, Tina

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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:119:658784>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-11**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČLIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Tina Mareković

MJERENJE QOS-A I QOE-A ZA APLIKACIJE I SLUČAJEVE
UPORABE U 5G MREŽI

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**MJERENJE QOS-A I QOE-A ZA APLIKACIJE I SLUČAJEVE
UPORABE U 5G MREŽI**

**MEASURING QOS AND QOE OF 5G APPLICATIONS AND
USE CASES**

Mentor: prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Student: Tina Mareković

JMBAG: 0135241343

Zagreb, rujan 2020.

MJERENJE QoS-a I QoE-a ZA APLIKACIJE I SLUČAJEVE UPORABE U 5G MREŽI

SAŽETAK

Cilj ovog diplomskog rada je predstaviti mjerenja i njihove oblike, koji se odnose na kvalitetu usluge i iskustvenu kvalitetu aplikacija te pripadajućih slučajeva uporabe, u kontekstu mobilne mreže pete generacije. Unutar ovog rada detaljnije je definirano tehnološko unaprjeđenje i cjelokupna arhitektura 5G mobilne mreže. Nadalje, dan je pregled više definicija kvalitete usluge i iskustvene kvalitete usluge. Shodno tome, navedeni su te opisani pokazatelji, koji se odnose na kvalitetu usluge i iskustvenu kvalitetu unutar 5G mobilne mreže. Također, omogućen je uvid u inovativnu skupinu aplikacija, koje se predviđaju za razvoj unutar 5G mreže, kao i njihove slučajeve uporabe. Stoga, prikazani su zahtjevi, koje je potrebno ispuniti, kako bi se predviđene aplikacije mogle uvrstiti u skupinu novih aplikativnih rješenja mobilne mreže pete generacije.

KLJUČNE RIJEČI: 5G mobilna mreža; 5G aplikacije; 5G slučajevi uporabe; kvaliteta usluge; iskustvena kvaliteta; QoS pokazatelji; QoE pokazatelji; mjerenje QoS-a; mjerenje QoE-a

SUMMARY

This thesis aims to present measurements and their forms referring to the quality of service and quality of experience of applications along with belonging use cases, in the context of the fifth generation mobile network. Within this paper, the technological improvement and the entire 5G mobile network architecture are defined in more detail. Furthermore, an overview of multiple definitions Quality of Service as well as Quality of Experience given. Accordingly, the indicators which apply to the Quality of Service and Quality of Experience within the 5G mobile network are stated and described. Also, an insight into the innovative group of applications predicted for development within the 5G network, as well as their use cases, is provided. Therefore, the requirements that need to be fulfilled in order for the predicted applications to be included in the group of new application solutions of the fifth generation mobile network, are displayed.

KEY WORDS: 5G mobile network; 5G applications; 5G use cases; quality of service; quality of experience; QoS indicators; QoE indicators; measuring of QoS; measuring of QoE

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Tehnološka unaprjeđenja u 5G mreži.....	3
2.1. Pregled razvoja mobilnih mreža kroz generacije	5
2.2. Arhitektura 5G mreže	6
3. Novi pristupi i koncepti u definiranju kvalitete usluge i iskustvene kvalitete u 5G mreži	11
3.1. Definiranje kvalitete usluge (QoS)	13
3.1.1. Propusnost	15
3.1.2. Kašnjenje	16
3.1.3. Gubici paketa.....	16
3.1.4. Varijacije kašnjenja	17
3.2. Definiranje iskustvene kvalitete (QoE)	17
3.2.1. Mogućnost vrednovanja QoE.....	19
3.2.2. Iskustvo krajnjih korisnika	20
3.3. Međusobni odnos između QoS-a i QoE-a	21
4. Analiza pokazatelja kvalitete usluge (QoS) i iskustvene kvalitete (QoE).....	22
4.1. QoS pokazatelji.....	23
4.2. QoE pokazatelji	25
5. Značajke i zahtjevi 5G aplikacija i njihovi slučajevi uporabe.....	30
5.1. Aplikacije namijenjene za automatiziranu industriju i autonomna vozila	31
5.2. Aplikacije namijenjene za virtualnu stvarnost, proširenu stvarnost i zdravstvo	34
5.3. Aplikacije namijenjene za Internet svega i pametne gradove	37
6. Novi pristupi u mjerenju i ocjenjivanju QoS i QoE za 5G aplikacije i slučajevne uporabe	40
6.1. Metode mjerenja i ocjenjivanja QoS-a	41
6.1.1. Subjektivna metoda mjerenja QoS-a.....	42
6.1.2. Objektivna metoda mjerenja QoS-a	43
6.2. Metode mjerenja i ocjenjivanja QoE-a.....	46
6.2.1. Subjektivne metode mjerenja QoE.....	46
6.2.1.1. Metode koje se odnose na jednostruki podražaj	47
6.2.1.2. Metode koje se odnose na dvostruki podražaj	49
6.2.2. Komparacija metoda subjektivnog mjerenja QoE-a	50
7. Zaključak.....	52
Literatura	54

Popis kratica	61
Popis slika	63
Popis tablica	64
Popis grafikona.....	65

1. Uvod

Danas na cjelokupnu telekomunikacijsku industriju, u kontekstu njezinog razvoja, značajan te nezaobilazan utjecaj imaju čimbenici, koji se tiču enormnog porasta u količini terminalnih uređaja, koji posjeduju krajnji korisnici, kao i količina generiranih podataka, koja iz dana u dan ima izniman porast na globalnoj razini. Krajnji korisnici svoje uređaje koriste na svakodnevnoj osnovi, neovisno o vremenu i lokaciji na kojoj se nalaze. Naime, u samim počecima, telekomunikacijska industrija dovela je do razvoja mobilnih mreža, koje su se u pravom te jedinom smislu riječi koristile isključivo za telefonske razgovore. Prethodno navedeni razgovori, predstavljali su značajno unaprjeđenje, u kontekstu dotadašnjih oblika komunikacije. Prvotni način komunikacije, s kojim su bili upoznati ljudi, bio je prijenos glasa nakon kojega je uslijedila komunikacija pismima. Prvotni oblik telefonske komunikacije predstavlja izniman napredak u kontekstu cjelokupnog komunikacijskog sustava.

Nadalje, ključnim napretkom cjelokupne telekomunikacijske industrije smatra se razvoj, koji se tiče mogućnosti korištenja Internet mreže. Prethodno navedena mreža okarakterizirana je raznim novim aspektima, koji su krajnjim korisnicima pružili sasvim nove te inovativne mogućnosti, s kojima do tada nisu bili upoznati. Konstantnom te svakodnevnom primjenom Internet mreže, korisnici su postali sve svjesniji njezinih mogućnosti, te unaprjeđenja koja izvršavaju operatori. Korisnici započinju sa definiranjem zahtijeva te očekivanja, koje iznose operatorima u cilju maksimalnog poboljšanja mreže te njezinih performansi. Naime, krajnji korisnici počinju zahtijevati znatno veće brzine prijenosa podataka, kako bi se podatci isporučili u što kraćem vremenskom periodu na željeno odredište, znatno veće kapacitete mobilne mreže za prijenos enormne količine podataka, koju generiraju, te znatno poboljšanje u kontekstu pouzdanosti, sigurnosti i brojnih drugih aspekata mobilne mreže.

Cilj razvoja mobilne mreže pete generacije je osigurati znatna unaprjeđenja, u kontekstu potpunog zadovoljavanja potreba krajnjih korisnika, u vidu korištenja te iste mreže. Naime, cjelokupna telekomunikacijska industrija doživjet će potpuni razvoj, koji će paralelno slijediti razvoj mogućnosti prethodno navedene generacije mreža. Naime, otvorit će se sasvim novi vidici na inovativne telekomunikacijske usluge, koje će pružiti mogućnost povezivanja virtualnih te proširenih stvarnosti zajedno s fizičkom, koje do sada u prethodnim generacijama nisu bile moguće. Svakodnevno korištenje novo razvijene Internet mreže u potpunosti će promijeniti dosadašnje poznavanje načina života krajnjih korisnika. U današnje vrijeme korisnici, osim što unutar vlastitih domova neprestano koriste Internet mrežu, koriste ju i za izvršavanje većinskog dijela poslovnih funkcija. No, u bližoj budućnosti, u kontekstu kada se implementira mobilna mreža 5G, cjelokupni dosadašnji način života će još dodatno biti baziran isključivo na neprestanoj primjeni telekomunikacijskih mreža i tehnologija.

Prilikom razmatranja sasvim novog spektra telekomunikacijskih usluga, koje će biti pružene prethodno navedenom mrežom, omogućen je uvid u nove oblike telekomunikacijskog svijeta. Telekomunikacije će se sve više i više primjenjivati u svim segmentima ljudskog društva. Naime, novo razvijene telekomunikacijske usluge ili one koje predstavljaju unaprjeđene verzije postojećih, moći će pronaći svoju svrhu i primjenu u različitim granama društva, kao što su primjerice: mediji, školstvo, obrazovanje, zdravstvo, ugostiteljstvo, poljoprivreda, gospodarstvo i brojni drugi.

Nadalje, razvojem te unaprjeđenjem telekomunikacijskih usluga, težilo se povećanju razine kvalitete usluga, koja je neophodna krajnjim korisnicima. Pojam kvaliteta usluge te iskustvena kvaliteta biti će detaljnije obrađeni unutar ovog diplomskog rada, koji se sastoji od sljedećih poglavlja:

1. Uvod
2. Tehnološka unaprjeđenja u 5G mreži
3. Novi pristupi i koncepti u definiranju kvalitete usluge i iskustvene kvalitete u 5G mreži
4. Analiza pokazatelja kvalitete usluge (QoS) i iskustvene kvalitete (QoE)
5. Značajke i zahtjevi 5G aplikacija i njihovi slučajevi uporabe
6. Novi pristupi u mjerenju i ocjenjivanju QoS i QoE za 5G aplikacije i slučajeve uporabe
7. Zaključak

U drugom poglavlju prikazana su tehnološka unaprjeđenja, unutar mobilne mreže pete generacije, kako i samo ime tog poglavlja glasi. Nadalje, u poglavlju su prikazane osnovne značajke mobilnih mreža koje su prethodile 5G mreži. Detaljno je analizirana arhitektura 5G mreže koja se temelji na sustavu gusto postavljenih ćelija.

U trećem poglavlju prikazane su definicije kvalitete usluge i iskustvene kvalitete usluge, te novi pristupi u definiranju navedenih pojmova, u kontekstu mobilnih mreža pete generacije. Detaljno su opisani parametri kvalitete usluge i kakav je utjecaj degradacije njihovih vrijednosti na kvalitetu usluge. Pored navedenoga u ovom poglavlju analizirana je i opisana mogućnost vrednovanja iskustvene kvalitete usluge.

U četvrtom poglavlju opisani su pokazatelji iskustvene kvalitete usluge i kvalitete usluge. Unutar tog poglavlja prikazan je odnos između poremećaja kvalitete usluge i vrijednosti iskustvene kvalitete usluge.

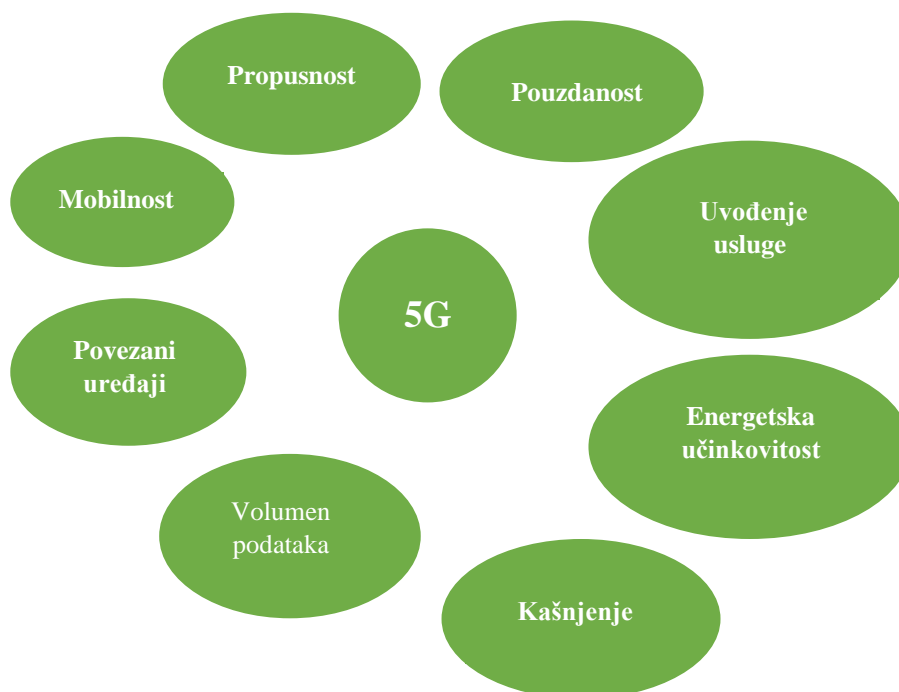
U petom poglavlju prikazane su značajke i zahtjevi 5G aplikacija te njihovih slučajeva uporabe. Za svaku 5G aplikaciju prikazan je grafički prikaz, koji se tiče zahtjeva postavljenih pred 5G mobilnu mrežu.

U šestom poglavlju opisani su novi pristupi mjerenja te ocjenjivanja kvalitete usluge i iskustvene kvalitete usluge za 5G aplikacije te pripadajuće slučajeve uporabe. Opisane su metode koje se odnose na mjerenje kvalitete usluge sa subjektivnog te objektivnog aspekta, kao i metode koje se odnose na mjerenje iskustvene kvalitete usluge sa subjektivnog aspekta.

2. Tehnološka unaprjeđenja u 5G mreži

Povijest razvoja mobilnih mreža kroz generacije ukazuje na to da se prilikom razvoja i određenog vremena korištenja svake od njih pojavljuju zahtjevi na koje je potrebno odgovoriti unaprjeđenjima koja su obuhvaćena u generacijama mobilnih mreža koje slijede. Razvoj mobilne mreže pete generacije (5G) je odgovor na zahtjeve koji su nastali prilikom korištenja mobilne mreže četvrte generacije. Naime, 4G dovela je do nastanka potražnje za većim brzinama prijenosa i kapacitetom mreže te uštede energije, kao i smanjenje vremena kašnjenja koje u telekomunikacijskom prometu poznatije pod nazivom latencija.

Nadalje, paralelno s razvojem mobilnih mreža razvijale su se usluge i aplikacije, koje korisnici koriste svakodnevno. Usluge i aplikacije također zahtijevaju povećanje brzine koja se tiče prijenosa podataka te smanjenje vremena kašnjenja, [1]. Postoji niz očekivanja koja su stavljena pred mobilnu mrežu 5G (slika 1). Svi prikazani zahtjevi navedeni su u nastavku.



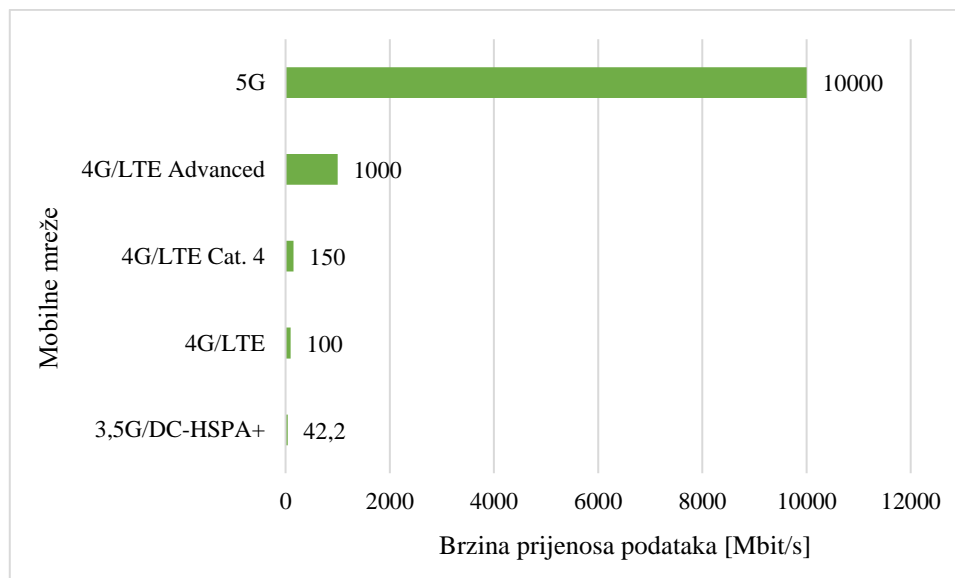
Slika 1. Očekivanja koja su postavljena pred 5G mrežu

Izvor: [2]

Prilikom razmatranja, koje su funkcionalnosti i poboljšanja potrebna za ostvarivanje zahtjeva koji su stavljani pred mobilnu mrežu pete generacije rezultiralo je sljedećim, [3]:

- povećanjem brzine prijenosa podataka na 10 Gbit/s
- bolja iskoristivost cjelokupnog raspoloživog radijskog spektra
- smanjena potrošnja energije
- povećanje razine sigurnosti u vidu komunikacije te osobnih podataka
- smanjenje vremena kašnjenja na 1 ms
- omogućavanje učinkovitije pokrivenosti cjelokupne ćelije

- mogućnost povezivanja na mobilnu mrežu do 100 puta više uređaja
- povećanje vremenskog trajanja baterije IoT uređaja do 10 godina
- 99,999% dostupnosti
- 100% pokrivenosti



Grafikon 1. Pregled rasta brzine prijenosa podataka kod mobilnih mreža
Izvor: [3]

Iz grafikona 1 moguće je vidjeti brzine prijenosa podataka, kod različitih generacija mobilnih mreža. Naime, vidljivo je da dolazi do stalnog porasta (eksponencijalnog) brzine prijenosa podataka, no iznimni porast se očekuje upravo kod implementacije 5G mreže.

Nadalje, bitnom karakteristikom 5G mreže se podrazumijeva njezina samoorganiziranost, a samim time je dobila i pod naziv kao samoorganizirajuća mreža. Naime, korisnici svakodnevno koriste mobilne terminalne uređaje te putem njih generiraju značajno veliku količinu podataka. Prethodno navedene uređaje koriste u poslovnim i u privatnim okruženjima, može se zapravo reći neprekidno. Upravo zbog korištenja uređaja u privatnom okruženju i tamo dolazi do generiranja podataka u velikim količinama. Zbog toga je neophodna implementacija gusto postavljenih ćelija unutar takvog tipa okruženja, što će dovesti do značajnog povećanja mogućnosti cjelokupne 5G mreže.

Pojam samoorganizirajuće mreže bi se ticao pojednostavljenja mreže kako bi se pružila mogućnost da korisnici samostalno vode brigu o cjelokupnom ćelijskom sustavu unutar privatnog okruženja bez potrebe za dodatnim intervencijama stručnjaka, odnosno operatora. Naime, kako bi se postiglo prethodno navedeno potrebna je i nadogradnja cjelokupnog sustava koji bi potom imao mogućnost prepoznavanja nove vrste uređaja koji posjeduje zahtjev za povezivanje sa terminalnim uređajem što bi dovelo do izvođenja programa ili aplikacija ovisno o potrebama korisnika u stvarnom vremenu.

Zbog svega prethodnog navedenog samoorganizirajuća mreža preuzima još jedan ključni sinonim, a to je pametna mreža koja samostalno prilagođava frekvencijski opseg uzimajući u obzir frekvencijski opseg susjednih mreža, što svodi na minimum mogućnost nastanka smetnje

između signala. Nadalje, karakteristika ove mreže bi bila i mogućnost vlastitog biranja visokih ili niskih frekvencija koje joj više odgovaraju, ovisno o tome kojom brzinom je potrebno prenijeti podatke, što bi rezultiralo minimiziranjem potrošnje energije te produljenjem vremena trajanja baterije, [4]. Kako bi bile jasnije prednosti koje donosi mobilna mreža 5G, u nastavku će biti prikazane osnovne značajke mobilnih mreža prethodnih generacija

2.1. Pregled razvoja mobilnih mreža kroz generacije

Ubrzani razvoj tehnologije u posljednjih nekoliko godina doveo je do bitnih promjena u svakodnevnom ponašanju korisnika mobilnih terminalnih uređaja. Danas je korisnicima nezamislivo provesti dan bez korištenja mobilnih terminalnih uređaja. U prošlosti ljudi su imali potrebu za društvom te su cjelokupnu komunikaciju, u to vrijeme, izvršavali prijenosom glasa od osobe do osobe. Iz tog oblika komuniciranja slijedio je komuniciranje isključivo putem pisama. Sredinom 20. stoljeća dolazi do nastanka ideja koje se tiču telekomunikacijskih tehnologija. Već u ranim počecima dolazi do potpune zamjene klasičnog oblika komuniciranja, s tadašnjim terminalnim uređajima. Njihovom primjenom korisnici te proizvođači terminalnih uređaja postaju svjesni nedostataka, što rezultira brojnim zahtjevima koji se tiču unaprjeđenja, a to dovodi do daljnjeg razvoja telekomunikacijskih tehnologija.

Kao i u prošlosti, tako i danas korisnici pred svoje operatore postavljaju zahtjeve na koje su operatori dužni odgovoriti. Naime, svaka generacija mobilnih mreža sa svojom pojavom na tržištu je donijela određen napredak te odgovore na zahtjeve u odnosu na prijašnje generacije. Vrsta zahtjeva te potrebe iz dana u dan napreduju kao i cjelokupna telekomunikacijska industrija, koja je dužna odgovoriti na te zahtjeve. Iz tablice 1 moguće je vidjeti pojedine značajke, koje karakteriziraju određene generacije mobilnih mreža. Pomoću te tablice omogućen je uvid u cjelokupni razvoj mobilnih mreža kroz generacije na osnovu njihovih tehnologija, frekvencijskih područja, propusnosti, načina pristupa, načina prijenosa podataka te širini kanala.

Tablica 1. Usporedba mobilnih mreža od prve do četvrte generacije

	1G	2G	3G	4G
Tehnologija	NMT	GSM	UMTS	LTE
Frekvencijsko područje [MHz]	450 - 900	900 – 1800	1900 - 2200	800 – 1800
Propusnost	14,4 kbit/s	9,6/14,4 kbit/s	3,1 Mbit/s	3 – 5 Mbit/s
Način pristupa	FDMA	TDMA	CDMA	OFDM
Način prijenosa	Analogni	Digitalni	Digitalni širokopojasni	Digitalni širokopojasni
Širina kanala	25 kHz	200 kHz	5MHz	5MHz (fleksibilna)

Izvor: [5]

Pojavom mobilne mreže prve generacije (1G), došlo je do unaprjeđenja dotadašnjeg oblika telekomunikacijske tehnologije. Predstavnik ove generacije je NMT (eng. *Nordic Mobile*

Telephony). Neka od obilježja 1G mobilne mreže su mogućnost automatiziranog prespajanja poziva, građa ćelijskog tipa te analogni prijenos podataka. Mobilna mreža 1G koristi frekvencijsko područje od 450 do 900 MHz te prijenos podataka vrši brzinom od 2,4 kbit/s, a propusnost iznosi 14,4 kbit/s. Ova mreža koristi FDMA (eng. *Frequency-division multiple access*) pristupnu tehnologiju, a širina kanala je 25 kHz, [5]. Odlika 1G mreže je korištenje mobilnih uređaja za prijenos govora, a nedostatak koji ju karakterizira je zapostavljenost prijenosa podataka, [6].

Kako je vrijeme prolazilo prilikom korištenja 1G mobilne mreže, javili su se brojni zahtjevi na koje je odgovorila mobilna mreža druge generacije (2G), čiji se razvoj temeljio upravo na nedostacima mobilne mreže 1G. Predstavnik ove generacije za europske zemlje je GSM (eng. *Global System for Mobile Communications*). Osnovne karakteristike 2G mreže su značajno povećanje kvalitete zvuka, povećanje kapaciteta, povećanje sigurnosti korisničkih poziva i digitalni prijenos informacija, [7]. Mobilna mreža 2G koristi frekvencijsko područje od 900 do 1800 MHz te prijenos podataka vrši teoretskom brzinom od 384 kbit/s, a propusnost iznosi 9,6/14,4 kbit/s. Ova mreža koristi TDMA (eng. *Time-division multiple access*) pristupnu tehnologiju, a širina kanala je 200 kHz. Odlika 2G mreže je pružanje mogućnosti prijenosa podataka i da na jednom frekvencijskom kanalu bude veći broj korisnika, a to postiže primjenom multipleksiranja s vremenskom raspodjelom, [5].

Kao i kod prethodnih generacija, i u slučaju 2G mreže došlo je do toga da su korisnici zahtijevali još veću razinu usluge te je na osnovu toga došlo do razvoja sljedeće mobilne mreže. Razvojem mobilne mreže treće generacije (3G) odgovoreno je na zahtjeve za većom brzinom prilikom prijenosa podataka te multimedijskog sadržaja između korisničkih terminalnih uređaja. U Europi, predstavnik ove mreže je UMTS (eng. *Universal Mobile Telecommunication System*), koji je koristio digitalni prijenos informacija kao i prethodna generacija mreže, [6]. Mobilna mreža 3G koristi frekvencijsko područje od 1900 do 2200 MHz te prijenos podataka vrši teoretskom brzinom od 21,6 Mbit/s, a propusnost iznosi 3,1 Mbit/s. Ova mreža koristi CDMA (eng. *Code-division multiple access*) pristupnu tehnologiju, a širina kanala je 5 MHz. Odlika 3G mreže je pružanje 3G multimedijских *streaming* usluga te omogućavanje univerzalnog pristupa na različitim tipovima terminalnih uređaja, [5].

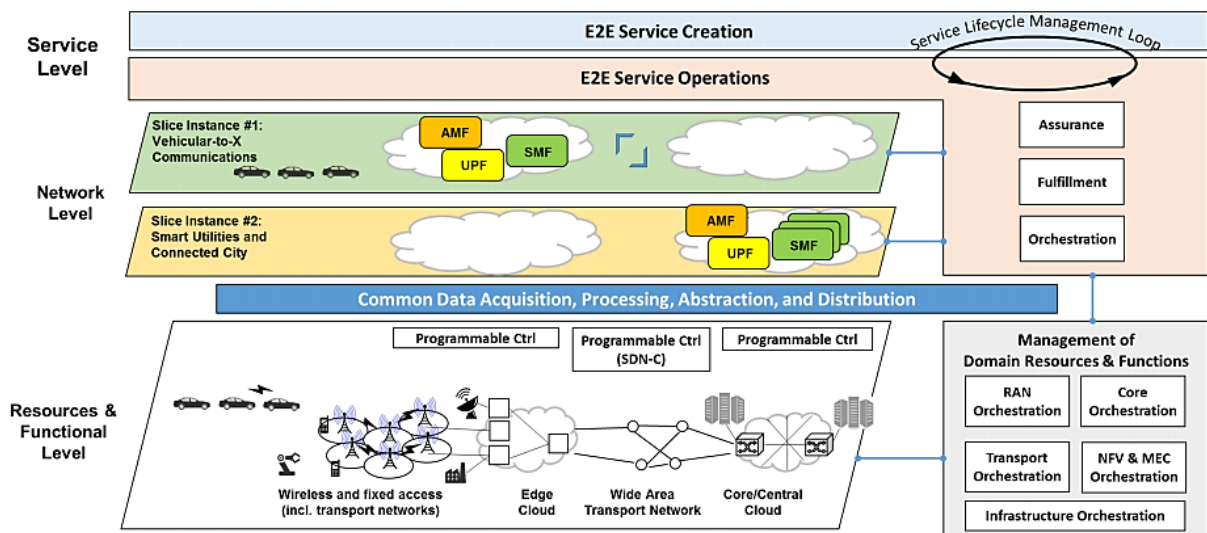
Nadalje, Internet mreža uzrokovala je veliku zainteresiranost od strane krajnjih korisnika. Zbog toga je došlo do zahtjeva da se kapacitet mreže značajno poveća, što je rezultiralo razvojem mobilne mreže četvrte generacije (4G). Predstavnik ove mreže je LTE (eng. *Long Term Evolution*). Mobilna mreža 4G koristi frekvencijsko područje od 800 do 1800 MHz te prijenos podataka vrši teoretskom brzinom od 300 Mbit/s, a propusnost iznosi od 3 do 5 Mbit/s. Ova mreža koristi OFDM (eng. *Orthogonal frequency-division multiplexing*) pristupnu tehnologiju, a širina kanala je fleksibilna te iznosi 5 MHz. Cjelokupna mobilna komunikacija izvršava se posredovanjem baznih stanica koje koriste radio valove, [5].

2.2. Arhitektura 5G mreže

Arhitektura mobilne mreže 5G temeljena je na računalstvu u oblaku, čija je osnovna namjena isporuka usluga krajnjim korisnicima. Naime, prethodno navedeni pojam računalstvo u oblaku, osigurava resurse koji krajnjim korisnicima isporučuju usluge. Nadalje, od računalstva u oblaku

očekuje se da korisnicima zahtijevane usluge budu dostupne neovisno o vremenu i lokaciji korisnika. Kako bi krajnji korisnik imao mogućnost pristupa željenoj usluzi, on mora imati pristup Internet mreži te mu se usluga naplaćuje na način da se svakom korisniku uistinu naplaćuje kontekst korištenja Internet mreže. Krajnji korisnici bi prilikom korištenja oblaka mogli samostalno regulirati cjelokupnu kontrolu tog oblaka. Upravo je krajnji korisnik osoba koja će samostalno odrediti vrijeme te stupanj vidljivosti podataka ostalim korisnicima tog istog oblaka. Postoji veći broj oblaka, koji međusobno mogu i ne moraju biti povezani. Samim time, oblaci mogu međusobno razmjenjivati sadržaj, u slučaju ako su povezani, [8]. Nadalje, zbog osiguravanja uslužnog pristupa krajnjim korisnicima, koji će neovisno o vremenu ili lokaciji, pružiti pristup podacima te aplikacijama smještenim u oblaku, rezultat će iznimnom fleksibilnosti 5G mreže.

Krajnji korisnik u mobilnoj mreži 5G imat će značajnu kontrolu nad svim telekomunikacijskim tehnologijama, iz razloga što je ta mreža dizajnirana kako bi odgovorila na sve postavljene zahtjeve od strane korisnika. Korisnički zahtjevi predstavljaju osnovni temelj za izgradnju te dizajniranje cjelokupne arhitekture 5G mreže, [9]. Naime, u kontekstu povećanja brzina prijenosa podataka te povećanja mrežnog kapaciteta, značajnu ulogu imat će povećanje broja antena na baznim stanicama koje će se implementirati u cjelokupnu arhitekturu 5G mreže. Takav oblik antena u telekomunikacijama je poznat kao MIMO sustav (eng. *Multiple Input Multiple Output*). Nadalje, primjenom prethodno navedenog sustava, doći će do uštede energije zbog ostvarene mogućnosti kontroliranja snage, što rezultira pojavom inovativne *smart grid* tehnologije, koja svoj rad izvršava na način da primjenjuje unaprijeđene oblike informacijsko – komunikacijskih tehnologija, [10].



Slika 2. Arhitektura 5G mobilne mreže, [11]

Na slici 2 prikazano je dijeljenje 5G mobilne mreže, odnosno izvođenje više instanci logičke mobilne mreže na zajedničkoj infrastrukturi, zahtijevajući kontinuirano usklađivanje SLA-ova s mrežnim mogućnostima na razini infrastrukture. Koristi se zajednička platforma na kojoj se nalaze podatci. Tim podatcima mogu pristupati svi subjekti sustava, neovisno o razini na kojoj se nalaze, koristeći skalabilno upravljanje izlaganjem podataka i mehanizmima kontrole pristupa kojima je omogućeno pružanje usluga, [11].

Kako vrijeme prolazi, tako zahtjevi krajnjih korisnika za generiranjem što veće količine podataka rastu. Danas korisnici ne generiraju samo male količine podataka, kao što su pregledavanje elektroničke pošte i web preglednika, nego preuzimaju i šalju video sadržaje, igraju interaktivne igre, pregledavaju stvarnovremeni sadržaj, što zahtijeva prijenos velike količine podataka. Shodno tome, javlja se zahtjev za razvojem mreže koja će omogućiti još veće brzine prijenosa i u uzlaznoj i u silaznoj vezi te veći kapacitet resursa koji se koriste, odnosno dolazi do potrebe za razvojem 5G mreže, [12].

U skladu s prethodno navedenim, postavljaju se zahtjevi za nadogradnjom trenutne pristupne telekomunikacijske mreže, na način da se ugrade nove tehnologije koje omogućavaju rad u vrlo visokom frekvencijskom pojasu. To bi pružilo mogućnost razvoja mobilnih terminalnih uređaja, na način da bi dimenzije uređaja ostale iste, a antene bi bile iznimno manjih dimenzija. Rezultat toga označava revoluciju mobilne industrije, koja je uzrokovana manjim dimenzijama antena i povećanjem širine frekvencijskog pojasa. Za pokrivenost nekog područja signalom, potrebna je implementacija ćelija, odnosno baznih stanica. Navedene ćelije, trebaju raditi na izrazito visokim frekvencijama te ih je potrebno postaviti na značajno manjim udaljenostima, što rezultira većom gustoćom ćelija, a ujedno i većom pokrivenosti visokim frekvencijama, [13].

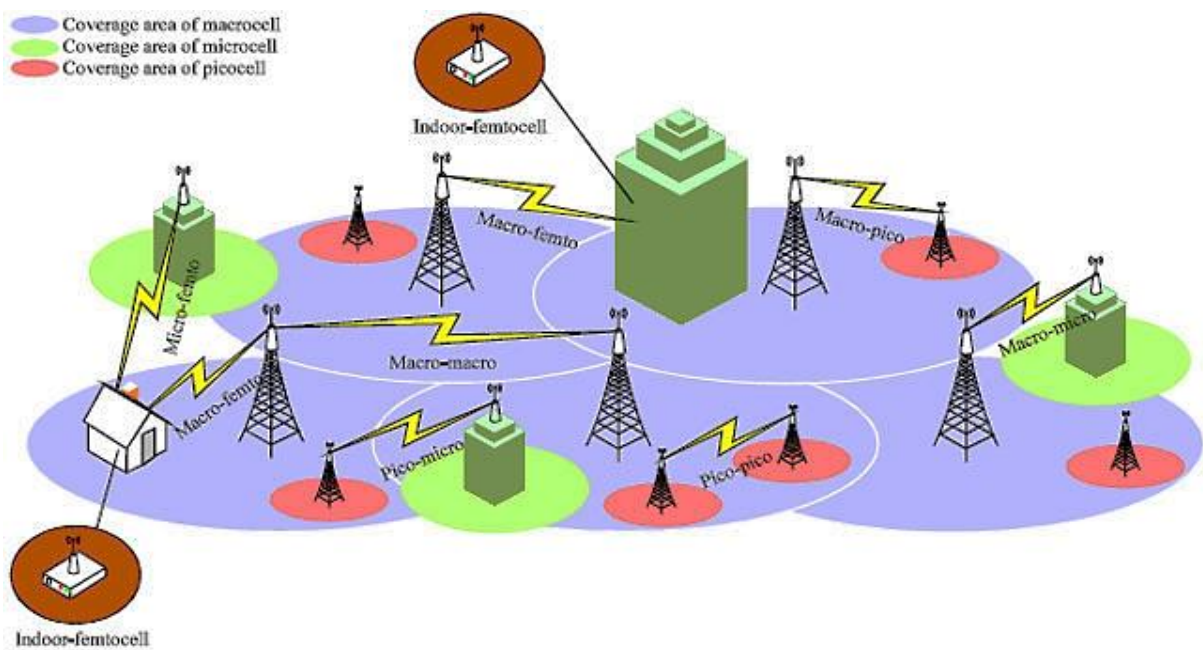
Poznato je da je cjelokupnu arhitekturu 5G mreže potrebno temeljiti na ćelijama, koje omogućuju da se od strane jedne manje bazne stanice prostire više veza prema bežičnoj infrastrukturi. Rezultat implementacije takvih vrsta baznih stanica, prouzročio je raspodjelu staničnog mjesta na više manjih dijelova. Godine 2008. uveden je pojam ćelija u sklopu specifikacije 3GPP (eng. *The 3rd Generation Partnership Project*) u izdanju 9, koje dovode do odgovora na zahtjeve koji su postavljeni pred 5G mrežu, a tiču se značajnog povećanja kapaciteta mreže, za razliku od 4G mreže. Skupinu ćelija moguće je segmentirati u četiri podskupine ćelija, a to su: *femto*, *piko*, *mikro* te *makro* ćelije, čije su karakteristike detaljnije opisane u daljnjem tekstu, [12]:

- *Femto* ćelije omogućuju pristup Internet mreži od jednog do trideset krajnjih korisnika, u zatvorenom području.. Nadalje, svaka ćelija posjeduje zasebnu izlaznu snagu izraženu u Wattima, kao i zaseban radijus pokrivanja, koji je izražen u kilometrima. Radijus pokrivanja *Femto* ćelija je od 0,001 km do 0,1 km, a izlazna snaga kojom zrači od 0,001 W do 0,25 W.
- *Piko* ćelije krajnjim korisnicima, koji broje od trideset do sto korisnika, omogućuju pristup Internet mreži na otvorenom i u zatvorenom području. Naime, ova potkategorija ćelija omogućuje pristup Internet mreži od strane većeg broja korisnika s iste lokacije, koja može obuhvaćati neki oblik poslovne zgrade i njenog okruženja. Radijus pokrivanja *piko* ćelije iznosi od 0,1 km do 0,2 km, a njezina izlazna snaga je u rasponu od 0,25 W pa sve do 1 W.
- *Mikro* ćelije omogućuju pristup Internet mreži od sto do dvije tisuće krajnjih korisnika, koji se nalaze unutar gradskog područja, gdje su antene za pružanje takvog oblika pristupa smještene u sklopu zgrada. Nadalje, ovakav princip postavljanja antena, omogućio je da korisnici Internet mreže imaju pristup mreži, u zatvorenom i na otvorenom prostoru te im također pruža mogućnost da pristupe Internet mreži

onda kada se kreću određenom brzinom, unutar automobila, što rezultira značajnom mobilnošću korisnika 5G mreže. Ova vrsta ćelija omogućava radijus pokrivanja od 0,2 km do 20 km, a zrači izlaznom snagom od 1 W do 10 W.

- *Makro* ćelije omogućuju pristup Internet mreži na otvorenom području. Naime, one pružaju pristup Internet mreži za više od dvije tisuće korisnika. Ove ćelije omogućuju značajnu mobilnost krajnjih korisnika, koja označava nesmetano kretanje korisnika u automobilima te paralelni pristup Internet mreži. Radijus pokrivanja ove ćelije iznosi od 8 km do 30 km, a izlazna snaga je u rasponu od 10 W da 50 W.

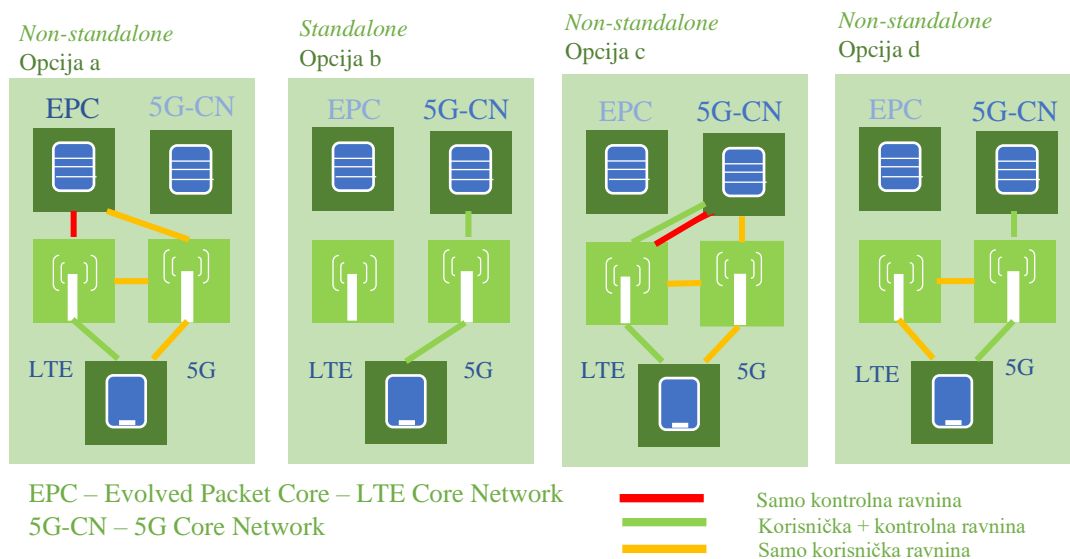
Prethodno definirane ćelije, moguće je vidjeti na slici 3. U kontekstu 5G mreže izrazito bitna činjenica je mogućnost uvođenja frekvencijskog opsega, koji se do razvoja te mobilne mreže nije koristio. Kako bi se implementirao taj neiskorišteni dio frekvencijskog opsega, nužno je korištenje milimetarskih valova. S obzirom na to, iz slike 3 je također moguće vidjeti da *makro* ćelije vode glavnu riječ u kontekstu kontrole ostalih potkategorija ćelija u koje spadaju već ranije spomenute *femto*, *piko* i *mikro* ćelije. Svakoj od tih vrsta ćelija kojom upravlja *makro* ćelija, dodijeljen je zaseban frekvencijski opseg, koji za *femto* i *piko* ćelije iznosi 60 GHz, a za *mikro* ćelije iznosi od 20 GHz do 40 GHz. Kako bi im se omogućilo korištenje prethodno navedenih frekvencijskih opsega, svakoj od potkategorija ćelija dodjeljuju se odgovarajući milimetarski valovi, [14].



Slika 3. Ćelije u 5G mobilnoj mreži, [15]

Kako bi prethodno definirane ćelije, koje su gusto raspoređene, odgovorile na zahtjeve, koji se tiču povećanja kapaciteta 5G mreže, kao i povećanje učinkovitijeg iskorištavanja frekvencijskog opsega, ćelije je potrebno detaljno proučiti. Naime, detaljnom analizom ćelija moguće je bilo uvidjeti brojne prednosti i nedostatke u slučaju različitosti prilikom njihove implementacije. Shodno tome, došlo je do razvoja te razrade isključivo dva načina koja pružaju najbolju mogućnost prilikom izvođenja takve vrste ćelija, [13].

Nadalje, kao što je već prethodno navedeno arhitektura 5G mobilne mreže temelji se na pružanju usluge pristupa krajnjim korisnicima te ju je moguće izvesti na četiri načina. Svaki od temeljno proučenih rješenja izvedbe treba pružiti jednaki rezultat, a to je potpuni odgovor na postavljene zahtjeve krajnjih korisnika. Razradom mogućnosti implementacije 5G mreže, u prvom rješenju došlo je do unaprjeđenja postojeće 4G mreže. Naime, u ovom rješenju krajnjim korisnicima je omogućen pristup 5G mreži korištenjem već postojeće infrastrukture prethodne generacije mobilne mreže, koja je od strane davatelja usluge unaprijeđena virtualnim mrežnim funkcijama, te je softverski definirana, a uključuje potpunu primjenu računalstva u oblaku. Ovim postupkom, davatelji usluga smanjuju potrošnju u kontekstu troškova opreme i energije. Nadalje, ovaj postupak također rezultira još jednim poboljšanjem za davatelje usluga, a to je brže rješavanje postavljenih korisničkih zahtjeva.



Slika 4. Rješenja implementacije 5G mobilne mreže

Izvor: [16]

Prilikom razmatranja daljnjih rješenja kod implementacije arhitekture 5G mreže (slika 4), došlo je do nastanka i drugog rješenja koje je okarakterizirano samostalnošću 5G mreže. Kako bi 5G mreža mogla samostalno biti implementirana te pružena na korištenje krajnjim korisnicima, njezina arhitektura mora omogućiti direktno povezivanje korisničkog terminalnog uređaja na baznu stanicu 5G mreže, koja se izravno povezuje na jezgri dio te iste mreže. Nadalje, treće rješenje izvođenja arhitekture 5G mreže obuhvaća paralelno korištenje dijelova već postojeće arhitekture prethodne generacije, zajedno s implementiranom arhitekturom 5G mreže. Unutar ovog rješenja omogućeno je da se krajnji korisnički terminalni uređaj izravno povezuje na baznu stanicu 4G mreže ili baznu stanicu 5G mreže, koje su međusobno povezane te se zasebno izravno povezuju na jezgri dio mobilne mreže pete generacije. Na posljepku četvrto rješenje ukazuje na to da se korisnički terminalni uređaj može povezati, kao i u prethodnom rješenju, na baznu stanicu 4G mreže ili baznu stanicu 5G mreže, no izravna povezanost s jezgri dijelom 5G mreže ide isključivo od strane bazne stanice mobilne mreže pete generacije, [16].

3. Novi pristupi i koncepti u definiranju kvalitete usluge i iskustvene kvalitete u 5G mreži

Prije samog postupka razvoja mobilne mreže pete generacije, definirani su brojni izazovi koji se očekuju od te iste mreže. Naime, definirani su izazovi koji se tiču procesa prikupljanja podataka, procesa definiranja podataka koji će se primjenjivati u različitim postupcima mjerenja te procesa koji su neophodni za izvršavanje analize određenih rezultata koji se tiču podatkovnog prometa. Prethodno navedeni procesi analize određenih podataka te procesi koji se tiču strojnog učenja, u kontekstu operacija, koje se izvršavaju unutar same 5G mreže, čine rezultat da je cjelokupna 5G mreža dizajnirana na način da je u potpunosti prilagođena krajnjim korisniku. Naime, od mreže se očekuje da se prilagodi krajnjem korisniku, a ne da se krajnji korisnik treba prilagoditi novo razvijenoj 5G mreži, [17].

Nadalje, prilikom razvoja 5G mreže bilo je potrebno voditi računa o izmjenama u kontekstu dizajna funkcionalnosti, koje se tiču krajnjeg korisnika, kao i nadzora nad cjelokupnom mrežom. Također, bilo je potrebno izvršiti različite izmjene, koje se tiču opreme namijenjene korisnicima, kao i potpune mrežne infrastrukture 5G mreže. Prethodno navedene izmjene, definirale su neophodne odgovore na pitanja koja se tiču interferencije, odnosno smetnji u novo razvijenoj mobilnoj mreži, kao i pitanja koja se tiču njezine mobilnosti. Od strane krajnjih korisnika očekuju se različite promijene u kontekstu generiranih podataka te količine uređaja, koji će biti istovremeno u primjeni, a samim time i povezani na 5G mrežu. Prethodno navedene promijene u ponašanju krajnjih korisnika uzete su u obzir prilikom razvoja 5G mreže, kod koje se moralo uzeti u obzir razvoj već postojećih tehnoloških rješenja primjenom fleksibilnog kombiniranja, razvoj inovativnih koncepata, koji se tiču radijskog dijela mreže te značajni napredak u kontekstu učinkovitosti rada 5G mreže, kao i njezine skalabilnosti. Naime, razvoj 5G mreže, zajedno s razvojem njezinih pripadajućih tehnologija te elemenata, dovest će do značajne promijene u životima krajnjih korisnika.

Kako bi se postiglo značajno povećanje brzine prijenosa podataka i količine generiranih podataka, dolazi do potrebe da se u svim dijelovima 5G mreže potrebni resursi te neophodni konteksti dijele radi bolje iskoristivosti te učinkovitosti. Prilikom definiranja zahtjeva krajnjih korisnika, ti zahtjevi operatorima uzrokuju značajan izazov u kontekstu odgovora. Naime, operatori moraju biti osposobljeni da imaju mogućnost prepoznavanja, razumijevanja te kontroliranja kvalitetom usluge (QoS), kao i kvalitetom iskustva (QoE).

Naime, za operatora je od iznimne važnosti povećati razinu zadovoljstva krajnjeg korisnika. Kako bi to postigao, operator mora voditi računa o kvaliteti usluge, koja će biti dostavljena korisniku na njegov zahtjev. Usluga mora sadržavati sve bitne elemente koji su potrebni korisniku za njegov svakodnevni rad u poslovnom ili privatnom okruženju. Usluga mu mora biti isporučena u odgovarajuće vrijeme, neovisno o lokaciji korisnika. Naime, u današnje vrijeme korisnici sve više provode vrijeme na svojim mobilnim terminalnim uređajima, kako u privatnom tako i u poslovnom okruženju. Sve veći broj korisnika svoje poslovne funkcije može izvršavati iz vlastitog doma, stoga im je za kvalitetan te produktivan rad neophodna kvaliteta usluge. Nadalje, korisnici uslugu percipiraju na različite načine, od onoga da su u potpunosti zadovoljni uslugom, do onoga da zahtijevaju dodatna unaprjeđenja. Upravo tu dolazi do analize

iskustvene kvalitete za koju je zadužen operator, u svrhu pružanja učinkovitije te unaprijeđenije usluge svojim krajnjim korisnicima, [18].

Prilikom razmatranja pojma iskustvene kvalitete usluge (QoE), taj pojam podrazumijeva subjektivno doživljavanje usluge, u kontekstu razine kvalitete telekomunikacijske usluge, od strane krajnjeg korisnika. Naime, svaki korisnik može različito percipirati kvalitetu usluge koja se realizira u iskustvenu kvalitetu korištenja telekomunikacijskih usluga, ovisno o vlastitim potrebama. Nadalje, prilikom razvoja mobilnih mreža uvijek se težilo povećanju razine iskustvene kvalitete za korisnika. Razvojem 5G mreže dolazi do jednakog slijeda događaja, samim time što dolazi do pojave brojnih unaprijeđenih usluga, koje je potrebno i dalje razvijati s ciljem povećanja kvalitete iskustva. Kao što je već prethodno navedeno, krajnji korisnici na svakodnevnoj bazi koriste različiti spektar usluga, zbog toga je potrebno značajno sudjelovanje operatora u cilju poboljšanja kvalitete iskustva krajnjeg korisnika, kako bi on i dalje koristio željenu telekomunikacijsku uslugu.

Nadalje, prethodno navedena iskustvena kvaliteta bliska je, ali se ujedno dosta razlikuje od kvalitete usluge (QoS). Pojam kvaliteta usluge se prilikom razmatranja direktno odnosi na objektivne podatke, koji se tiču mobilne mreže, kao i aplikacije. Kvaliteta usluge odnosi se na tehničke podatke vezane uz mobilnu mrežu, kao i tehničke podatke vezane uz aplikativna rješenja. Naime, prilikom razvoja mobilnih mreža, uvijek se težilo znatnom unaprjeđenju telekomunikacijskih usluga. No, razvojem 5G mreže dolazi do još intenzivnijeg rada na sveukupnom unaprjeđenju objektivnih te tehničkih aspekata usluga, u vidu raznovrsnih aplikacija. Krajnji korisnik ima iznimno visoka očekivanja od usluge koja mu se isporučuje. Naime, upravo njihova očekivanja o kvaliteti usluge, direktno su vezana uz samu uslugu, koja im se isporučuje. Shodno tome, može se prepoznati izrazito bitna važnost u kontekstu operatora, koji stalno mora unaprjeđivati postojeće usluge s ciljem povećanja razine kvalitete usluge.

Cjelokupna telekomunikacijska industrija je usredotočena isključivo na krajnjeg korisnika. Naime, u prijašnjim razdobljima pružatelji telekomunikacijskih usluga bili su direktno usmjereni generaciji mobilne mreže, koja se tada koristila. No, danas dolazi do znatne promijene u kontekstu tih istih pružatelja telekomunikacijskih usluga. Današnji pružatelji moraju biti usmjereni na krajnjeg korisnika, kako bi se moglo odgovoriti na zahtjeve koje korisnici postavljaju. Također, pružatelji prethodno navedenih usluga, moraju konstantno razrađivati načine da odgovore na zahtjeve svojih krajnjih korisnika, zbog enormnog razvoja u kontekstu telekomunikacijske industrije, na čijem području je došlo do pojave brojnih i raznovrsnih pružatelja telekomunikacijskih usluga. Zbog toga, došlo je do pojave iznimne konkurencije, u kontekstu pružanja telekomunikacijske usluge, stoga krajnji korisnici mogu samostalno odabrati koji ima pružatelj najviše odgovara. Naime, krajnji korisnik percipira kvalitetu usluge na osnovu usluge koja mu je pružena, [19].

Praćenje rada davatelja usluga i operatora, usmjereno je na tehničke ključne pokazatelje performansi (KPI). Prethodno navedenim pokazateljima omogućeno je mjerenje kvalitete usluge u kontekstu bežičnih mobilnih mreža. Bez obzira na mogućnost mjerenja kvalitete usluge, smatra se da je od veće važnosti praćenje kvalitete iskustva krajnjeg korisnika. Naime, iskustvena kvaliteta blisko je vezana uz kvalitetu usluge, jer odgovara na zahtjeve koje su postavljeni od strane krajnjih korisnika. Upravo je iskustvena kvaliteta usluge jedna od

primarnih značajki koja će utjecati razmjerno na cjelokupni razvoj mobilne mreže pete generacije. Primjenom takvog principa doći će do povećanja razine transparentnosti, dosljednosti, personalizacije te diferencijacije cjelokupnog spektra raznovrsnih usluga razvijenih u kontekstu 5G mreže. Nadalje, postoji niz pokazatelja uspješnosti telekomunikacijskih usluga, koje operatori koriste. U današnje vrijeme sve je usmjereno krajnjem korisniku, kao što je već prethodno navedeno, stoga je potrebna potpuna reorganizacija mrežnih pokazatelja koji se tiču zahtjeva krajnjih korisnika, [18].

3.1. Definiranje kvalitete usluge (QoS)

Prilikom omogućavanja pristupa Internet mreži, otvoren je sasvim novi svijet usluga namijenjenih krajnjim korisnicima. Naime, u procesu razvoja te unaprijeđenja inovativnijih te novih telekomunikacijskih usluga, iznimno važnu riječ vode davatelji usluga. Davatelji telekomunikacijskih usluga u današnje vrijeme, korisnicima svojih usluga pružaju različiti spektar odabira usluga. Oni svoje usluge segmentiraju te pakiraju na različite načine, od osnovnih do dodatnih telekomunikacijskih usluga, ovisno o željama i potrebama krajnjih korisnika. U skupinu telekomunikacijskih usluga spadaju telefonija, omogućavanje pristupa Internet mreži, televizijske usluge, usluge multimedijskog sadržaja, omogućavanje videa na zahtjev i brojne druge. Sve prethodno navedene usluge su znatno unaprijeđene zbog Internet mreže te se mogu izvršavati posredstvom te iste mreže. Davatelj takvih usluga naplaćuje korištenje tih usluga na različite načine, a cijena mora odgovarati mogućnostima krajnjih korisnika.

Nadalje, svi operatori koji pružaju usluge korištenja telekomunikacijske mreže, ujedno pružaju takozvane nosive usluge primjenom Internet protokola. Zbog mogućnosti takvog načina prijenosa sadržaja, u pitanje se dovodi potrebna razina kvalitete usluge za isporuku željenog sadržaja krajnjim korisnicima, [20]. Kvaliteta usluge telekomunikacijskih tehnologija, obuhvaća raznovrsne tehnike te alate koji su neophodni za rukovođenje resursima unutar mobilne mreže, a rezultat je isporuka podataka u odgovarajuće vrijeme na odgovarajuće mjesto te iznimne kvalitete krajnjem korisniku. Krajnjem korisniku je moguće isporučiti raznovrsne usluge, samim time različit je i način tretiranja tih istih usluga. Upravo je QoS element koji je neizostavan u kontekstu razvoja te unaprijeđenja više uslužnih mreža, [21]. Naime, prilikom razmatranja QoS-a kao pojma, on se ne može na pravilan način definirati.

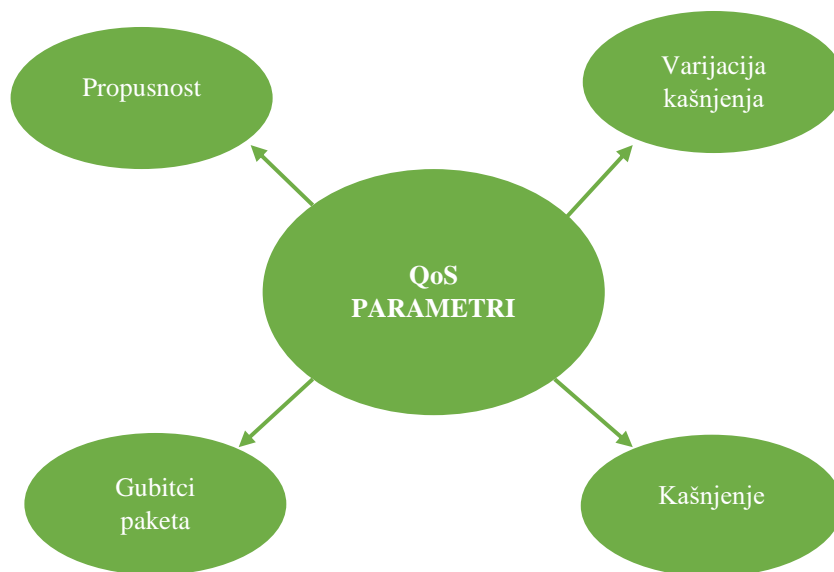
Postoji niz definicija kvalitete usluge. ISO 8402 je definirao kvalitetu usluge kao obuhvaćanje svih karakteristika određenog entiteta, koje rezultiraju njegovom mogućnosti u vidu zadovoljavanja izrečenih te implicirani zahtjeva krajnjih korisnika, [22]. Nadalje, ISO 9000 je definirao QoS kao razinu do koje je moguće odgovoriti na zahtjeve krajnjih korisnika primjenom naslijeđene karakteristike, [23]. Prema preporuci E.800 definiranoj od strane ITU-a (eng. *International Telecommunication Union*), kvaliteta usluge je izražena kao udruženi efekt svih mogućnosti telekomunikacijskih usluga, koje rezultiraju mogućnošću izražavanja razine zadovoljstva krajnjeg korisnika zaprimljenom telekomunikacijskom uslugom, [24]. U kontekstu preporuke X.902 kvaliteta usluge definirana je kao obuhvat zahtjeva koji se tiču razine kvalitete sveukupnog ponašanja određenog broja objekata, [25].

Prilikom razmatranja odnosa na relaciji krajnji korisnik te davatelj usluge, potrebno je bilo razviti način iznošenja očekivanja, koja se tiču telekomunikacijskih usluga, odnosno razjašnjavanja u kontekstu odgovornosti, kao i omogućavanje procjene, koja se tiče učinkovitosti cjelokupne usluge. Naime, upravo sve prethodno navedeno je postignuto SLA (eng. *Service Level Agreement*) ugovorom, koji predstavlja ugovor o razini cjelokupne telekomunikacijske usluge. Prethodno navedenim ugovorom, došlo je do povećanja razine razumijevanja usluga na strani korisnika, kao i davatelja usluga. Također, postignut je stupanj razumijevanja u kontekstu isporuke telekomunikacijske usluge na prethodno iznesenoj relaciji.

SLA ugovor je moguće gledati s dva različita aspekta, a to su proces te proizvod. Naime, SLA ugovor kao proces predstavlja formalno definirani ugovor, unutar kojega se postiže unaprijeđenije razine komunikacije, izrada dugotrajnih odnosa, kao i očekivanja koja se tiču kvalitete, razine te same telekomunikacijske usluge između dviju ili više strana. Nadalje, njime je dogovorena i odgovornost koja se tiče uključenih strana, kao i koraci neophodni za kvalitetan odnos između tih strana. SLA ugovor, kao proizvod, odnosi se na formalno definirani dokument na relaciji između krajnjih korisnika te davatelja usluge, gdje su obje strane neophodne za izvršavanje određenih zadataka usmjerenih zajedničkom cilju, [26].

Razina usluge je dokumentirana te standardizirana implementacijom prethodno definiranog SLA ugovora. Naime, njime je omogućeno da se na relacijama, koje su navedene u prijašnjem odlomku, izvršava mjerenje razine usluge, što rezultira mogućnošću njenog unaprijeđenja. Također, dovodi se do povećanja razine odgovornosti u kontekstu poslovnog procesa. Nadalje, SLA ugovorom omogućeni su i sljedeći elementi: olakšano planiranje sredstava koji se tiču resursa, olakšano osiguravanje tih istih sredstava, povećana razina mobilnosti sudionika unutar poslovnih procesa, optimizacija poslovnog procesa, poboljšano upravljanje resursima u kontekstu kapitala, poboljšano korištenje tih istih resursa, bolje razumijevanje potreba krajnjih korisnika od strane davatelja usluge, bolje razumijevanje prioriteta krajnjih korisnika, povećanje prednosti u kontekstu konkurencije s onim davateljima usluga koji u svojoj poslovnoj praksi ne koriste SLA ugovore.

Razvojem novih oblika mreža, razvijaju se i same usluge, odnosno povećava se spektar ponude različitih usluga. Samim time, svaka pojedina usluga ima različite zahtjeve postavljene pred mrežu, u kontekstu kapaciteta mreže te kvalitete isporuke same usluge. Svaka skupina usluga posjeduje različite vrijednosti izgubljenih paketa u prijenosu, širine potrebnog prijenosnog pojasa, kašnjenja te varijacije kašnjenja. Prethodno navedeni parametri prikazani su na slici 5, u kontekstu QoS parametara.



Slika 5. QoS parametri

Parametri, koji su navedeni u prethodnom tekstu i na slici 5, nazivaju se QoS mrežnim parametrima, koji se mogu još nazivati specifični QoS parametri. Oni izravno utječu na zadovoljstvo krajnjeg korisnika sa željenom uslugom te označavaju tehničku interpretaciju korisničkih zahtijeva za određenom kvalitetom te iste usluge.

3.1.1. Propusnost

Parametar propusnost, kao pojam može se definirati da je to maksimalna brzina prijenosa podataka između mrežnih završetaka, koja se može postići. Navedena brzina mjeri se bitovima po sekundi (bit/s). Ukoliko propusnost nije zadovoljavajuća, tada dolazi do povećanja razine kašnjenja paketa koji se prenose, iz razloga što ti paketi formiraju veće redove čekanja unutar mrežnih uređaja te samim time duže čekaju na isporuku. U slučaju kada je neka mreža vrlo zagušena i posjeduje neodgovarajuću razinu propusnosti, dolazi do potpunog gubitka paketa, umjesto povećanja vremena kašnjenja. Rezultat toga je taj što su redovi čekanja unutar međuspremnik mrežnih uređaja prenatrpani i više nema dovoljno mjesta za pohranjivanje nadolazećih paketa pa dolazi do odbacivanja paketa.

Sukladno s razvojem mreža i usluga, pred operatore se postavljaju određeni zahtjevi za razinom kvalitete usluge, koja se isporučuje krajnjim korisnicima. Za ispunjavanje prethodno navedenih QoS zahtjeva, operatori moraju osigurati potrebnu propusnost komunikacijskih kanala. Parametar propusnost ovisi o kapacitetu kanala, ali i o količini tokova podataka. Kapacitet, koji se odnosi samo na jednu vrstu toka podataka, može se izmjeriti na dva načina. Prvi način podrazumijeva da je kapacitet za uspješno prenesene pakete jednak odnosu ukupnog broja uspješno prenesenih paketa unutar nekog promatranog vremena i trajanja tog istog vremena. Drugi način podrazumijeva da je kapacitet za uspješno prenesene bajtove jednak odnosu ukupnog broja uspješno prenesenih okteta unutar nekog promatranog vremena i trajanja tog istog vremena, [27].

3.1.2. Kašnjenje

Parametar kašnjenje ili latencija, kao pojam može se definirati na više načina. Kašnjenje se može odnositi na vremenski period, koji je potreban za isporuku zahtijevane usluge, odnosno proteklo vrijeme od trenutka slanja samog zahtijeva za određenom uslugom od strane krajnjeg korisnika, do primanja specifičnih informacija nakon uspostave te usluge. Također, kašnjenje se može definirati kao vremenski period, koji je potreban da poslani paket stigne od izvora do odredišta. Naime, parametar kašnjenje može se podijeliti u dva tipa kašnjenja, a to su promjenjivo kašnjenje i fiksno kašnjenje. Zagušenje u najvećem broju slučajeva uzrokuje kašnjenje u mreži te vremenski period u kojem se paketi nalaze unutar mreže, točnije unutar mrežnih uređaja, dok čekaju u redovima čekanja na daljnju isporuku. Fiksno kašnjenje odnosi se na elemente poput propagacije kašnjenja te kodiranja i dekodiranja, [28].

Nadalje, parametar kašnjenje ovisi o mnogo čimbenika, a neki od njih su vremenski period koji je potreban za obradu paketa, koji se nalaze unutar mrežnih čvorišta, vrijeme potrebno za međusobno slanje paketa između mrežnih čvorišta, obrada adresa paketa te obnova paketa u prijemu. Također, vremenski period boravka paketa u redovima čekanja, što ovisi o zadanom načinu posluživanja paketa u određenom usmjerivaču, postavljenom načinu rukovođenja redovima čekanja te samom prometnom opterećenju mreže. Uz sve prethodno navedeno, parametar kašnjenje ovisi još i o vremenskom periodu potrebnom za prostiranje signala kroz odgovarajući medij, što ovisi o vrsti medija, [29].

3.1.3. Gubici paketa

Parametar gubitak paketa, kao pojam odnosi se na količinu paketa koji nikada ne stignu do odredišta. Navedena količina izgubljenih paketa izražava se u postotcima. Pojavu gubitka paketa uzrokuje neka pogreška unutar mreže, oštećenje samog paketa ili prilikom nastanka zagušenja u mreži, zbog neodgovarajuće propusnosti. Osim gubitka paketa, može se koristiti i parametar pouzdanosti. U tom slučaju pouzdanost predstavlja parametar obrnuto proporcionalan u odnosu na količinu izgubljenih paketa u nekom zadanom vremenu promatranja.

Kada se parametar gubitka paketa promatra s aspekta zagušenja unutar mreže, onda on uzrokuje odbacivanje pojedinih paketa, iz razloga što je kapacitet međuspremnik mrežnog uređaja preopterećen. Paket će biti odbačen i ako dođe do prelaska iznad zadane vrijednosti graničnog kašnjenja. Nadalje, prijenos unutar transmisijskih sustava također može uzrokovati pojavu gubitka paketa kao i greška prilikom usmjeravanja paketa. Za pojavu gubitka same informacije odgovorna je degradacija, koja nastaje kao posljedica korištenja raznovrsnih načina kodiranja sadržaja, kako bi se postigao bolji prijenos tih istih informacija, [30].

Nadalje, raznovrsne interferencije i smetnje u kanalu na nižim slojevima, uzrokuju pojavu gubitka paketa nižih slojeva. Prethodno navedene smetnje u kanalima mogu se izraziti s BER-om (eng. *Bit Error Rate*), odnosno omjerom između količine pogrešno prenesenih bitova unutar zadanog vremena promatranja i ukupne količine prenesenih bitova unutar tog istog vremena promatranja, kako je prikazano formulom (1). Naime, učestalost grešaka odnosi se na to koliko često se pogrešno zaprimaju bitovi ili blokovi u odnosu na njihov ukupan broj unutar zadanog vremena promatranja.

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

Parametar BER koristi se isključivo u prva dva sloja mreže, a na ostalim slojevima mreže greške na paketima promatraju se kao na fundamentalnim jedinicama pri čemu dolazi do različitosti pri odabiru samog parametra, [31].

Prilikom isporuke informacije krajnjem korisniku, gubitak informacije igra veliku ulogu u kvaliteti isporuke informacije. Za održavanjem visoke razine kvalitete prilikom isporuke informacije, potrebno je utjecati na osiguravanje da će se dogoditi samo mali gubici te pri tome obratiti pažnju na vremenske razmake između samih gubitaka. Prethodno navedeni vremenski period gubitaka, odnosi se na parametar pomoću kojeg se u velikom broju slučajeva može otkriti uzrok nastanka samog gubitka. Prilikom korištenja proaktivnih ili izravnih rješenja, moguće je donekle kompenzirati nastanak gubitka paketa. Još jedna od mogućnosti smanjenja pojave gubitka paketa predstavlja indirektno rješenje, koristeći mehanizme zadužene za kontrolu nastanka zagušenja na transportnom ili mrežnom sloju, [30].

3.1.4. Varijacije kašnjenja

Parametar varijacije kašnjenja ili *jitter*, kao pojam odnosi se na vremenske razlike prilikom kašnjenja paketa, koji se nalaze unutar istog prometnog toka. S matematičkog aspekta, ovaj parametar promatra se kao mjera apsolutne vrijednosti pojedinačno izmjerenih kašnjenja. Nadalje, vrijeme koje je potrebno za procesiranje paketa ili razlike u dužini redova čekaanja paketa uzrokuju varijacije prilikom kašnjenja tih istih paketa. Naime, postoje brojne aplikacije koje su vrlo osjetljive na varijacije kašnjenja te sukladno tome moraju samostalno poduzeti raznovrsne mjere za smanjenje ili potpuno otklanjanje varijacije kašnjenja. Shodno svemu prethodno navedenom, rješavanje varijacije kašnjenja izvršava se na način da se povećavaju kapaciteti među spremnika unutar prijemnika. Na taj način postiže se zadržavanje paketa koji su pristigli, kako bi se sačekali paketi koji imaju veću razinu kašnjenja od ostalih, [32].

3.2. Definiranje iskustvene kvalitete (QoE)

U kontekstu telekomunikacija izrazito inovativnim pojmom smatra se pojam iskustvene kvalitete (QoE). Naime, njegovim uvođenjem naglasak se dao stupnju zadovoljstva krajnjeg korisnika zaprimljenom telekomunikacijskom uslugom. QoE se kao pojam istražuje već dugi niz godina, no tek u posljednjih nekoliko dobiva smisao u primjeni istraživanja, koja su se ticala korisničkog iskustva, kao i stupnja njihovog zadovoljstva korištenjem određene telekomunikacijske usluge. Iako je iskustvena kvaliteta relativno inovativni pojam u kontekstu telekomunikacija, ona pruža izniman spektar mogućnosti za daljnje proučavanje.

Postupnim razvojem mobilnih mreža koje su krajnjim korisnicima omogućile pristup Internet mreži došlo je do potrebe za vođenjem računa o tome kako korisnici doživljavaju koju uslugu. Svaka telekomunikacijska usluga prijašnjih generacija je doživjela svoje unaprjeđenje upravo kako bi zadovoljila potrebe korisnika koje su zabilježene kao nedostatak tih usluga. Uvođenjem mobilne mreže pete generacije, u potpunosti se usmjerava potrebama krajnjih korisnika, što dovodi do znatnog naglaska na iskustvenoj kvaliteti, koja se prvenstveno odnosi na razinu korisničkog iskustva te njegovog zadovoljstva unaprijeđenom ili sasvim novo razvijenom telekomunikacijskom uslugom.

Nadaje, postupkom da se shvati na koji način krajnji korisnik percipira kvalitetu usluge, koja svoju svrhu temelji na konceptu, koji je korisnički usmjeren prema području multidisciplinarnog karaktera, dolazi do znatnog unaprjeđenja u vidu povećanja razine poboljšanja kvalitete usluge, kao i povećanja razine zadovoljstva krajnjeg korisnika u primjeni telekomunikacijske usluge. Prilikom razmatranja QoE-a, definiran je niz predloženih modela, koji se baziraju na faktorima, koji imaju mogućnost direktnog utjecaja na doživljaj QoS-a od strane krajnjeg korisnika. Naime, prethodno navedeni faktori su rezultat korisničkog korištenja telekomunikacijske usluge, [33].

Koncept koji se tiče iskustvene kvalitete usluge je razvijen u kontekstu nadopune koja se tiče kvalitete usluge, a ona je vezana uz percepciju korisničke primjene usluge. Iskustvena kvaliteta se definira kao subjektivna mjera kojom se ukazuje na razinu zadovoljstva krajnjeg korisnika koji koristi telekomunikacijsku uslugu. Upravo zbog prethodno navedene subjektivne karakteristike iskustvene kvalitete nije moguće razviti model koji bi se uvijek primjenjivao kod svih telekomunikacijskih usluga u kontekstu mjerenja QoE-a. Naime, primjenom odgovarajućih definicija te odredba pojedinih modela moguće je vrednovanje iskustvene kvalitete zasebnih telekomunikacijskih usluga, [24].

Postoje brojne definicije koje se tiču QoS, no te definicije sadrže proširenja vezana uz kvalitetu iskustva. U proširenoj preporuci od strane ITU-a iskustvena kvaliteta je definirana kao potpuna prihvaćenost telekomunikacijske usluge ili aplikativnog rješenja koju je subjektivno percipirao krajnji korisnik, [34]. Iskustvena kvaliteta od strane ETSI-a (eng. *European Telecommunications Standards Institute*) je definirana kao mjerilo razine uspješnosti prilikom korištenja usluga u kontekstu telekomunikacija kao i proizvoda koje se temelji na objektivnim te subjektivnim mjerilima sa psihološkog aspekta, [35]. Naime, nije moguće pronaći brojne definicije koje se tiču iskustvene kvalitete te je jedna od posljednjih predložena od strane COST akcija QUALINETA. Prethodno navedena istraživačka akcija je iskustvenu kvalitetu definirala kao razinu zadovoljstva ili iritantnosti krajnjeg korisnika zaprimljenom telekomunikacijskom uslugom ili aplikacijom, a iskustvena kvaliteta je rezultat korisnikovog očekivanja s aspekta korištenja te uživanja u primjenjivoj telekomunikacijskoj usluzi ili aplikaciji, [36].

U današnje vrijeme postoji niz subjektivnih faktora koji imaju izniman utjecaj u kontekstu korisničke percepcije QoS-a, no u postupcima kojima se obuhvaća ocjenjivanje kvalitete telekomunikacijske usluge od strane korisnika, prethodno navedeni subjektivni faktori se u potpunosti zanemaruju. Nadalje, krajnji korisnik kvalitetu usluge ocjenjuje sa dva različita aspekta, a to su tehničke karakteristike telekomunikacijske usluge i kvantitativno ocjenjivanje usluge. Prilikom istraživanja kvalitete usluge sva istraživanja su bila usmjerena na to kakav su utjecaj imali tehnički parametri na QoS, dok je stvarna potreba bila usmjerena na krajnjeg korisnika te kvalitetu usluge koju on zaprima svojom telekomunikacijskom uslugom koju koristi, [33]. U telekomunikacijama cjelokupna istraživanja koja su se odnosila na kvalitetu usluge ticala su se ispitivanja objektivnih mrežnih parametara kao i mjerljivih, te karakteristika koje su vezane uz telekomunikacijsku uslugu te njihovih utjecaja. Prethodno navedena mjerenja su provedena na način da su se detaljno analizirali mogući načini koji su se ticali kodiranja podataka, gubitka paketa prilikom prijenosa te kašnjenja u kontekstu pravovremene isporuke željene usluge krajnjim korisnicima. Moorsel je iznio metriku koja je vezana uz iskustvenu

kvalitetu, a unutar metrike navodi iskustvo krajnjeg korisnika prilikom primjene telekomunikacijske usluge kao i njegov doživljaj prilikom korištenja usluge, [37].

Nemogućnost prilikom mjerenja utjecaja na korisnika sa subjektivnog aspekta smatra se jednom od ključnih razlika koja se tiče kvalitete usluge te iskustvene kvalitete. Naime, u samom nastojanju da se definira iskustvena kvaliteta došlo je do pojave brojnih modela u kontekstu mjerenja iskustvene kvalitete sa strane istraživanja QoE-a kao pojma. Izrazitim pomakom u kontekstu vrednovanja kvalitete usluge sa tehničkog aspekta se smatra promjena cjelokupne perspektive usmjerene isključivo krajnjem korisniku. U konceptu koji je usmjeren krajnjem korisniku se uzimaju različiti aspekti kao što su: aspekt korištenja usluge, aspekt očekivanja od usluge. Naime, upravo ti aspekti te brojni drugi su rezultirali brojnim parametrima koji se tiču QoE-a.

Svaki korisnik prilikom zaprimanja željene usluge, percipira ju s obzirom na vlastite zahtjeve. Upravo se ti zahtjevi nastoje preduhitriti kako bi iskustvena kvaliteta krajnjeg korisnika u kontekstu percipiranja telekomunikacijske usluge bila zadovoljavajuća. Kako bi išli u korak sa zahtjevima korisnika važnu riječ vode upravo operatori prilikom kreiranja novih ili unaprjeđivanja postojećih telekomunikacijskih usluga. Idealno bi bilo kada bi operatori mogli sve nedostatke usluga odmah unaprijediti bez analize iskustvene kvalitete krajnjih korisnika, no svakodnevno korištenje telekomunikacijskih usluga od strane korisnika rezultira pojavom brojnih novih zahtjeva na koje je nužno odgovoriti dostatnim unaprjeđenjem.

3.2.1. Mogućnost vrednovanja QoE

Temelj za vrednovanje iskustvene kvalitete trebali bi biti faktori koje je moguće mjeriti, kontrolirati te izvršiti utjecaj na njih. U kontekstu razmatranja mogućnosti, koja se tiče vrednovanja iskustvene kvalitete, definirane su dvije međusobno različite metode, a to su subjektivna metoda vrednovanja iskustvene kvalitete i objektivna metoda vrednovanja iskustvene kvalitete, [38]. Prilikom izvođenja subjektivne metode vrednovanja iskustvene kvalitete, smatra se izvođenje subjektivnih ispitivanja unutar područja, koja se smatraju testnima. Načini koji se koriste najčešće za subjektivnu metodu vrednovanje QoE-a su anketiranje krajnjih korisnika kao i ispitivanja subjektivnog karaktera.

Kao što je već prethodno navedeno subjektivna metoda QoE-a se u najvećem broju slučajeva izvršava unutar testnog područja, postupcima anketiranja krajnjih korisnika, kao i izvođenja subjektivnog ispitivanja. Shodno tome, potrebno je izvesti anketiranja te ispitivanja krajnjih korisnika veći broj puta, kako bi se dobila zadovoljavajuća razina pouzdanosti rezultata istraživanja. Nepouzdanost dobivenih rezultata je izrazito česta pojava, do koje dolazi zbog toga što su uvjeti stvarnog područja i uvjeti testnog međusobno različiti. Nadalje, javlja se još jedan problem u kontekstu testnog područja, kojeg je moguće kontrolirati, a to je značajno povećanje financijskih troškova u kontekstu postizanja željenih kontroliranih uvjeta tog područja. Drugi problem s kojim se istražitelji susreću prilikom izvođenja testiranja u testnom kontroliranom području je izražena dugotrajnost tog testiranja koja im nikako ne ide u prilog, [39] [40].

Kako bi se zaobišli prethodno navedeni problemi, koji se tiču izraženih financijskih troškova te same dugotrajnosti izvedbe cjelokupne metode unutar kontroliranog područja, došlo je do primjene ispitivanja poznatijeg pod nazivom *crowdsourcing*. Takva vrsta ispitivanja se temelji

na pružanju mogućnosti vrednovanja telekomunikacijskih usluga od strane većeg broja krajnjih korisnika putem Internet mreže. Ovim ispitivanjem dolazi do značajnog povećanja razine pouzdanosti, zbog toga što se unutar njega ubraja značajan broj krajnjih korisnika. Nadalje, prilikom provedbe *crowdsourcing* ispitivanja mora se voditi računa i o dosljednosti odgovora, kako bi se iz testnog uzorka uklonili oni lažni ili pogrešni, a cjelokupni taj proces uklanjanja pogrešnih odgovora od strane krajnjih korisnika znatno utječe na razinu pouzdanosti cjelokupnog ispitivanja. U ovom kontekstu najčešće se koristi metoda, koja obuhvaća ljestvicu kvantificiranja iskustva, od strane krajnjeg korisnika, no ta metoda nije u potpunosti vjerodostojna, zbog toga što svaki krajnji korisnik sa različitog aspekta ocjenjuje iskustvenu kvalitetu usluge, stoga dodjeljuju različite ocijene za istu uslugu, [41].

Krajnji korisnici izražavaju svoje subjektivno mišljenje o korištenoj usluzi, u kontekstu iskustvene kvalitete, na način da svoje zadovoljstvo ili nezadovoljstvo uslugom iznose izjavama primjerice loše, dobro ili izvrsno. Stoga, kreira se konačna ocijene zadovoljstva korisnika sa zahtijevanom uslugom, na način da se primjenjuju raznovrsne skale odgovora, u kontekstu subjektivne iskustvene kvalitete (QoE). Nadalje, subjektivno iskustvo krajnjeg korisnika, u kontekstu razine zadovoljstva korištenom uslugom, nije jedini pokazatelj QoE, nego će se vrednovati korištenjem objektivnih modela i mjerenja. Za vrlo točan i pouzdan prikaz prethodno navedenog modela vrednovanja QoE, potrebno je koristiti također prethodno navedene mjerljive parametre, u kontekstu raznovrsnih dijelova usluge te koji su drugačiji za svaku pojedinu uslugu, a imaju direktan utjecaj na subjektivan QoE krajnjih korisnika. ITU je predložio segmentaciju QoE pokazatelja na objektivne i subjektivne. Objektivni pokazatelji odnose se na kvalitetu same usluge koja je isporučena korisnicima, a subjektivni se nazivaju još i ljudski faktori, koji su usko vezani za korisničke emocije, očekivanja, interese, zadovoljstvo i drugo, [42].

3.2.2. Iskustvo krajnjih korisnika

Kao pojam iskustvo krajnjeg korisnika je moguće sagledati od trenutka zaprimanja telekomunikacijske usluge pa tokom cjelokupnog njezinog korištenja. Naime, iskustvo je sačinjeno od različitih osjetljivih aspekata kao što je primjerice rukovanje telekomunikacijskom uslugom, stupanj razumijevanja prilikom korištenja usluge, koji se tiče njezinog načina rada, te na posljetku zaključcima vezanim uz to je li usluga dovoljno dobro razvijena da u potpunosti služi svrsi primjene kao i kontekstu njezinog funkcioniranja, [43]. Nadalje, iskustvo krajnjeg korisnika je moguće promatrati i sa tri sljedeća aspekta: kao rezultat unutrašnjeg stanja, kao karakteristika dizajniranog sustava te kao kontekst unutar kojega se izvršava cjelokupna interakcija. Ako se na taj način promatra iskustvo, onda se pod posljedicom unutrašnjeg stanja podrazumijevaju sljedeća obilježja: predispozicija, nužnost, motiv te očekivanje. Pod karakteristikom dizajniranog sustava se podrazumijevaju slijedeća obilježja: složenost, namjena, učinkovitost te uporabivost. Dok se u kontekst unutar kojega se izvršava cjelokupna interakcija podrazumijevaju područja organizacije i društva te aktivnosti zajedno sa njihovim značenjem, [44]. Iskustvo krajnjeg korisnika je od strane ISO-a (eng. *International Standards Organization*) definirano kao subjektivni doživljaj prilikom primjene telekomunikacijske usluge od strane krajnjeg korisnika, [45].

Prilikom razmatranja pojma QoE i pojma korisničkog iskustva, oni se smatraju izrazito bliskima, no detaljnim uvidom u značenja te karakteristike prethodno navedenih pojmova, došlo je do ukazivanja na to da postoje iznimno velike razlike kod njih. Naime, istraživanje tih pojmova rezultiralo je zaključkom da se osmišljeni dizajn korisničkog iskustva dovodi do iznimnog poboljšanja u vidu samog iskustva krajnjih korisnika. Postoje dvije zasebne metode, koje se koriste za vrednovanje i mjerenje te za poboljšanje razumijevanja i definiranja motivacije. Prethodno navedene aktivnosti obuhvaćaju stanje krajnjeg korisnika s emocionalnog stajališta te želje krajnjih korisnika, onda kada oni koriste telekomunikacijske usluge. Iako je definiran izniman broj metoda koje se tiču kvalitativnih aspekata, u kontekstu QoE, značajan utjecaj ipak imaju metode koje se tiču kvantitativnog aspekta, [46].

3.3. Međusobni odnos između QoS-a i QoE-a

Kvaliteta usluge se kao pojam koristi već posljednjih deset godina, od kada je krajnjim korisnicima omogućen pristup Internet mreži, čime je stavljen naglasak na kvalitetu telekomunikacijskih usluga. Taj pojam podrazumijeva pregled QoS-a s tehničkog aspekta. Naime, Internet mreža svojim korisnicima pruža široki spektar mogućnosti, u kontekstu prijenosa, preuzimanja te slanja raznolikih podataka. Upravo za sve te prethodno navedene aktivnosti potrebno je bilo razviti te unaprijediti mobilne mreže, kao i cjelokupnu arhitekturu mobilnih mreža. Kada se u pitanje dovede telekomunikacijska usluga, od izrazitog značaja je QoS, bez kojega sve prethodno ne bi bilo moguće. Naime, kao i pojava brojnih rješenja te unaprjeđenja, u kontekstu svih segmenata za kvalitetno pružanje telekomunikacijskih usluga krajnjim korisnicima, došlo je i do pojave brojnih nedostataka, a prvenstveno do nedostatka korisničke opreme. Iz tog razloga, došlo je do potrebe da se uvede pojam QoE-a.

Uloga iskustvene kvalitete je omogućiti uvid u potpunu percepciju krajnjeg korisnika zaprimljenom telekomunikacijskom uslugom. Prethodno navedenim pojmom omogućeno je opisivanje kvalitete telekomunikacijske usluge, koju doživljava krajnji korisnik te se svi elementi razvoja usmjeravaju upravo prema njemu. Također, izrazito bitnim smatra se mogućnost kvantificiranja iskustva krajnjeg korisnika sa subjektivnog aspekta, kojeg je krajnji korisnik doživio prilikom primjene te vrste usluge. Krajnji korisnik svoje doživljaje prilikom korištenja usluge može izraziti na tri načina, a to su: odlično, dobro ili loše. Upravo tim načinima korisnik može izraziti svoje mišljenje, odnosno svoj stav zadovoljstva ili nezadovoljstva zaprimljenom telekomunikacijskom uslugom ili mrežom. Sve prethodne mogućnosti, koje se tiču krajnjeg korisnika, omogućio je upravo pojam QoE, dok se pojam QoS odnosi isključivo na tehnički aspekt sagledavanja telekomunikacijske usluge.

Nadalje, na iskustvenu kvalitetu utječe značajan niz čimbenika, koji podrazumijevaju kvalitetu podataka te kvalitetu same percepcije. Kvaliteta podataka odnosi se na razinu kvalitete usluge sveukupnog rukovanja podacima, od njihovog prijenosa pa sve do njihove pohrane. Pojam kvaliteta percepcije od strane krajnjeg korisnika odnosi se na mogućnost detaljnog uvida u korisnikov opis, kao i u njegovo emocionalno stanje, koje se smatra izrazito bitnim u kontekstu odlučivanja je li krajnji korisnik sposoban samostalno ocijeniti kvalitetu zaprimljene telekomunikacijske usluge. Za dizajniranje telekomunikacijske mreže te njezino upravljanje, za operatore je izrazito bitan QoE, [47].

4. Analiza pokazatelja kvalitete usluge (QoS) i iskustvene kvalitete (QoE)

U samim začetcima razvoja mobilnih mreža, one nisu pružale mogućnost pristupa Internet mreži. Naime, te mreže bazirale su na telefoniji, a postupnim razvojem došlo je do mogućnosti iskorištavanja performansi koje su se ticale Internet mreže. Samim time, cjelokupni razvoj počeo se zasnivat na podacima te razvoju raznovrsnih telekomunikacijskih usluga, namijenjenih za potrebe krajnjih korisnika. Unaprjeđenjem telekomunikacijskih usluga trebalo je voditi računa o kvaliteti usluga, u kontekstu zadovoljstva krajnjih korisnika. Kako su usluge napredovale, rasla je i potreba za većom kvalitetom te unaprjeđenjem cjelokupnog sustava performansi. Pojavom pojma kvalitete usluge, koja se odnosila na tehničke karakteristike te aspekte telekomunikacijskih usluga, došlo je do detaljne analize pokazatelja tog pojma. Daljnjim razvojem telekomunikacijskih usluga, moralo se težiti isključivo korisniku te njegovim potrebama. Tim postupkom došlo je do detaljne analize iskustvene kvalitete, koju korisnik percipira te doživljava prilikom korištenja telekomunikacijske usluge, a samim time bilo je potrebno izvršiti detaljnu analizu pokazatelja koji su se ticali iskustvene kvalitete.

Mobilna mreža pete generacije osmišljena je da krajnjim korisnicima pruži znatno veće brzine prijenosa podataka. Nadalje, zadani su neki od tehnoloških ciljeva koji su postavljeni pred 5G mrežu poput tisuću puta veće mogućnosti generiranja podataka, povećanje brzine prijenosa do sto puta za krajnjeg korisnika, povećanje ukupnog broja korisnika 5G mreže do sto puta, povećanje vremenskog trajanja baterije korištenjem masovne komunikacije između strojeva do deset puta, smanjenje kašnjenja prilikom komunikacije između mrežnih završetaka do pet puta i drugo. 5G mreža osim što donosi povećanje brzine prijenosa podataka, povećanje cjelokupnog kapaciteta mreže te poboljšanje latencije, ona pruža mogućnost upravljanja mrežom te dijeljenje same mreže.

Upravljanje i funkcioniranje mobilne mreže 5G nužno je pojednostavljeno, iz razloga što je cjelokupni koncept orijentiran na korisnika te njegovo zadovoljstvo korištenjem telekomunikacijskih usluga i same mreže. Potrebno je izvršiti analiziranje podatkovnog prometa te primjenu tehnika, koje se tiču velikih datoteka, kako bi se omogućila kontrola nad iskustvenom kvalitetom krajnjeg korisnika, primjenom kombinacija mrežnih podataka te ponašanja samih korisnika. Prethodno navedeno analiziranje podatkovnog prometa te korištenje tehnika velikih datoteka predstavljaju iznimno važnu ulogu unutar novog načina upravljanja i funkcioniranja 5G sustava. Nadalje, kako bi krajnji korisnici istovremeno iznijeli razinu zadovoljstva zaprimljenom telekomunikacijskom uslugom, nužno je sjediniti podatke koji se tiču lokacije, što ubraja dodjeljivanje nosioca, podatke o podatkovnom prometu koji se generira, podatke o datumu, vremenu te samom ponašanju krajnjih korisnika u cjelokupnoj društvenoj zajednici, podatke o SLA ugovorima između operatora i krajnjih korisnika te drugo. Naime, prethodno nabrojanom podacima, koji su u današnje vrijeme u enormnim količinama, te njihovom brzinom i različitostima nije moguće detaljno upravljati izvršavanjem od ranije poznatog računskog pristupa, [18].

Sve prethodno navedeno, uključujući dijeljenje mreže, pruža mogućnost mobilnim operatorima da kreiraju veći broj virtualnih mreža, u sklopu jedne velike 5G fizičke mreže.

Konekcije bežičnih mreža imat će mogućnost podrške različitih slučajeva uporabe za poslovne ili privatne korisnike te će se moći isporučiti u obliku telekomunikacijske usluge. Primjerice, vozilo krajnjeg korisnika za mogućnost izvršavanja vožnje u stvarnom vremenu, izražava potrebu za dijeljenjem telekomunikacijske mreže, što rezultira uspostavljanjem izrazito brzih telekomunikacijskih veza sa smanjenom razinom kašnjenja. Nadalje, kada se u pitanje dovedu aparati unutar korisnikovog doma, oni se mogu povezati na sporije priključke, zbog toga što im povećane razine performansi mreže nisu od prevelike važnosti. Koncept Internet stvari imao bi mogućnost primjene veze koja bi pružila iznimnu razinu sigurnosti, u kontekstu distribucije podataka. U svrhu pružanja scenarija za krajnje korisnike mobilne mreže 5G, koriste se primarne karakteristike generičkih usluga. U skupinu tih generičkih usluga spadaju izraženi mobilni pristup u širokopojasnom kontekstu, masovna komunikacija u kontekstu komunikacije, koja se izvršava između strojeva te komunikacija na strojevima koja ima karakteristike visoke razine pouzdanosti te niske razine kašnjenja, [18].

Nadalje, postoji novi pristup u kontekstu definiranja ključnih pokazatelja performansi (KPI), koji imaju izrazito bolju primjenu, u kontekstu potreba, koje se tiču rada i održavanja 5G mreže. Već je od ranije poznato da će svaki krajnji korisnik za sebe prikazivati ponašanje te doživljaj o telekomunikacijskim uslugama koje koriste, neovisno o drugim krajnjim korisnicima. Za očekivati je da će u kontekstu urbanih područja biti izraženo veće zadovoljstvo korisnika zaprimljenom telekomunikacijskom uslugom, za razliku od prigradskih područja. Također, prethodno navedeno vidljivo je i u kontekstu tvrtki, koje će imati značajno veće zadovoljstvo poslovnih korisnika zaprimljenom telekomunikacijskom uslugom, za razliku od privatnih korisnika, [48]. Prilikom razmatranja QoE-a kao modela, njega je moguće prikazati za različite grupe krajnjih korisnika, no od izrazite važnosti bilo bi kreiranje QoE modela za zasebne grupe korisnika, gdje se javlja pitanje na koji način je moguće segmentirati takve skupine korisnika, [49].

4.1. QoS pokazatelji

Svaki krajnji korisnik ima mogućnost opisivanja scenarija u kontekstu telekomunikacijskih usluga, pomoću određenog spektra ocjena. U svrhu ocjenjivanja, od strane krajnjeg korisnika, definirana je podloga za dodjeljivanje ocjena koje se tiču isključivo učinkovitosti scenarija. Taj cjelokupni proces je omogućen ključnim pokazateljima performansi (KPI). Od korisnika do korisnika ovisi kako će doživjeti određenu uslugu, no postoje određeni pokazatelji koji svakom od korisnika ukazuju na kvalitetu performansi telekomunikacijskih usluga. Nadalje, krajnji korisnik može biti osoba ili terminalni uređaj, koji izvršava komunikaciju s drugom osobom ili njezinim terminalnim uređajem, u svrhu komuniciranja s kraja na kraj između dvaju korisnika putem njihovih uređaja. Upravo ti slučajevi, koji se tiču korisnika, imaju izniman učinak na KPI pokazatelje. Kao takvi, ti pokazatelji su usko vezani uz QoS te čine njegove primarne pokazatelje.

U skupinu KPI pokazatelja pripadaju sljedeći, [50] [51]:

- gustoća prometa
- propusnost
- kašnjenje
- pouzdanost
- dostupnost
- energetske učinkovitost
- sigurnost
- održivost

Svi prethodno navedeni pokazatelji posjeduju zasebne karakteristike, koje pružaju mogućnost detaljnijeg shvaćanja. Gustoća prometa prikazuje se kao odnos između podataka koji se prenose u određenom vremenu, na relaciji između terminalnih uređaja krajnjih korisnika i područja u čijoj nadležnosti se nalaze čvorovi, koji pripadaju radio pristupnoj mreži.

Pokazatelj propusnost, odnosi se na prosječnu količinu protoka podataka, koji terminalni uređaji u vlasništvu krajnjih korisnika postiže u zadanom vremenu. Cilj ovog pokazatelja je pružiti krajnjem korisniku do sto puta veću brzinu, prilikom generiranja podataka. Naime, ovaj pokazatelj izričito ovisi o okruženju te broju korisnika. Broj korisnika je izrazito bitan čimbenik, zbog toga što u današnje vrijeme svaki od njih generira iznimnu količinu podataka. Taj izniman broj korisnika, koji se nalazi u kontekstu prethodno definiranog pokazatelja, može se koristiti i kao pokazatelj stupnja zadovoljstva krajnjih korisnika zaprimljenom telekomunikacijskom uslugom.

Primjenom brojnih telekomunikacijskih usluga, krajnji korisnici razvili su brojne zahtjeve, a osim prethodno navedenog povećanja brzine prilikom prijenosa podataka, jedan od bitnih zahtjeva je smanjenje kašnjenja prilikom prijenosa podataka. Stoga se kašnjenje također ubraja u pokazatelje KPI-a, a taj pokazatelj odnosi se na značajno smanjenje prilikom prijenosa podataka, na relaciji s kraja na kraj mreže, za koji se očekuje smanjenje do pet puta u odnosu na postojeće kašnjenje prilikom prijenosa. Prethodno navedeno smanjenje latencije, odnosno kašnjenja je od izrazite važnosti, kada se u pitanje dovedu novo razvijene telekomunikacijske usluge, koje zahtijevaju prijenos u stvarnom vremenu. Zbog uvođenja brojnih novih funkcionalnosti, u kontekstu mobilnih mreža, došlo je do potrebe za smanjenjem razine kašnjenja u radio pristupnom dijelu mreže, bez obzira na to što je značajan broj uređaja uključen u vezu s kraja na kraj mreže.

Nadalje, bitnim pokazateljem se podrazumijeva i pouzdanost telekomunikacijskih usluga, koje zahtijevaju i pouzdanu vezu, kako bi usluga bila isporučena u pravo vrijeme na pravo mjesto krajnjem korisniku. Pouzdanost kao pokazatelj, odnosi se na metriku, koja se tiče mogućnosti opisivanja kvalitete, u kontekstu radijske veze kojom se postiže određena razina usluge. Ovaj pokazatelj izrazito je bitan za sve scenarije u kojima se krajnji korisnici mogu naći u svakodnevnom korištenju telekomunikacijske mreže te usluge. Naime, onda kada pouzdanost telekomunikacijske usluge dosegne razinu koja se nalazi ispod razine percepcije iskustvene kvalitete krajnjeg korisnika, dolazi do toga da ta ista telekomunikacijska usluga više nije dovoljno dobra u odnosu na zahtjeve krajnjih korisnika.

Dostupnost, s aspekta pristupa telekomunikacijskoj mreži i usluzi, se kao pokazatelj KPI-a odnosi na mjeru kojom je definirana dostupnost telekomunikacijske usluge krajnjem korisniku. Ovaj pokazatelj sadržava izrazito bitan aspekt, koji se naziva ponovnom dostupnosti, a karakterizira ga da se krajnjem korisniku omogućiti dostupnost telekomunikacijske usluge i nakon prvotnog prekida u korištenju usluge, neovisno o vremenu u kojem će krajnji korisnik ponovno uputiti zahtjev za tom istom uslugom. Prethodno definirani pokazatelj izrazito je bitan, u kontekstu svih scenarija u kojima se krajnji korisnik nalazi, kao i sa stajališta koje se tiče optimizacije cjelokupne telekomunikacijske mreže. Važnost ovog pokazatelja moguće je vidjeti u situacijama kada se krajnji korisnici kreću između raznovrsnih područja, koja su okarakterizirana različitim frekvencijama i/ ili različitim pristupnim tehnologijama.

Nadalje, u kontekstu KPI-a definiran je i pokazatelj koji se tiče energetske učinkovitosti, a rezultat je iznimnog povećanja kapaciteta resursa, koji se tiču zadovoljavanja zahtjeva u kontekstu prometnog opterećenja telekomunikacijske mreže, što dovodi do značajnog smanjenja potrošnje energije.

Neizostavnim segmentom cjelokupnog telekomunikacijskog sustava smatra se sigurnost. Stoga je razumljivo očekivanje da se sigurnost pojavi u kontekstu pokazatelja KPI. Kao pokazatelj, sigurnost je definirana kao sposobnost da se cjelokupna komunikacija, koja se odvija putem telekomunikacijske mreže, te privatni podatci korisnika zaštite od zlonamjernih čimbenika, [18].

4.2. QoE pokazatelji

Klasični SLA ugovori o uslužnim razinama, koji se sklapaju između krajnjih korisnika i operatora ili operatora i raznovrsnih davatelja OTT (eng. *Over the Top*) usluga, moraju se pregledati, iz razloga što su ti SLA ugovori raspisani primjenom QoS uvjeta, a ne pridaju važnosti za potrebnom razinom QoE za krajnje korisnike, operatore i same davatelje OTT usluga. Kada se gleda s poslovnog aspekta, za postizanje potrebne krajnje kvalitete usluge i iskustvene kvalitete krajnjeg korisnika to predstavlja iznimno težak izazov, iz razloga što postoji veliki broj različitih sudionika ubrojanih u cjelokupni lanac pružanja telekomunikacijskih usluga. U prethodno navedene sudionike poslovnog lanca za pružanje usluga uključeni su: davatelji OTT usluga, raznovrsni mobilni operatori, davatelji Internet usluga, pružatelji sadržaja, različiti dobavljači i drugi.

Nadalje, kada se dovede u pitanje postupak upravljanja iskustvom, kojeg je stekao krajnji korisnik, taj postupak zahtijeva izrazite napore u kontekstu svih komunikacijskih slojeva te mrežnih domena. Potrebno je raznovrsne funkcije prilagoditi isključivo kvaliteti iskustva krajnjeg korisnika. U kontekstu prethodno navedenih funkcija ubrajaju se sljedeće: postupak odabira načina pristupanja telekomunikacijskoj mreži, dodjela odgovarajućih resursa, QoS preslikavanje, uspostava odgovarajuće sesije te kodiranje izvora na odgovarajući način, [18].

Prilikom razmatranja cjelokupne mobilne mreže 5G, njezina komunikacija treba sadržavati uporište na raznovrsnim kontekstima. Shodno tome, postoji korisnički kontekst, koji posjeduje potkategorije konteksta, a to su:

- kontekst koji se tiče osobnog korisnika
- kontekst koji je namijenjen za svaku specifičnu aplikaciju
- kontekst koji se tiče okruženja
- kontekst koji se odnosi na uređaj
- kontekst koji je usko vezan uz telekomunikacijsku mrežu

Nadalje, prilikom razmatranja svakog od prethodno navedenih konteksta, oni sadrže zasebne karakteristike. Osobni kontekst je oblik konteksta, koji je usmjeren isključivo informacijama, koje su usko vezane uz samog krajnjeg korisnika, a te informacije se mogu iskoristiti prilikom prilagođavanja određenih telekomunikacijskih usluga kao što su: lokacija korisnika, aktivnosti krajnjih korisnika, njegovi osjećaji te prethodna iskustva na osnovu korištenih telekomunikacijskih usluga.

Kontekst koji se tiče aplikativnog rješenja, definira odgovarajući QoS u svrhu pokretanja novo razvijenih aplikacija te postojećih unaprijeđenih aplikacija, za mogućnost primjene tih aplikativnih rješenja u 5G mreži. U tu skupinu aplikacija ubrajaju se primjerice aplikacije koje omogućuju prijenos video sadržaja strujanjem, aplikacije koje pružaju mogućnost pretraživanja na Internet preglednicima, aplikacije koje su razvijene isključivo za primjenu u oblaku te brojna aplikativna rješenja koja pružaju mogućnost igranja raznovrsnih mrežnih interaktivnih igara. Nadalje, kontekst koji se tiče okruženja isključivo se odnosi na uvijete unutar kojih se pružaju telekomunikacijske usluge. Prethodno navedeni uvjeti obuhvaćaju udaljenost mobilnog terminalnog uređaja od pristupne točke, povećanje razine opterećenja podacima te pružanje mogućnosti raspoloživosti alternativnih resursa.

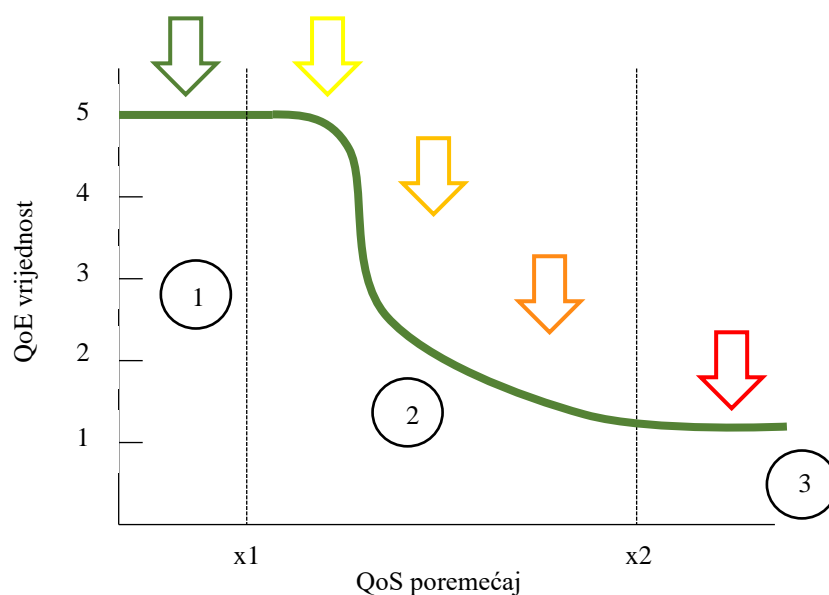
Prilikom razmatranja konteksta uređaja, on se odnosi na definirane karakteristike terminalnih uređaja, koji su u nadležnosti korištenja krajnjih korisnika. Naime, on obuhvaća snagu, koja se odnosi na bateriju, koja je implementirana unutar samog uređaja, sposobnosti koje se tiču neizostavnih procesora u vidu nesmetanog rada uređaja, specifikacije koje se nalaze na samom terminalnom uređaju i drugo.

Na posljetku postoji mrežni kontekst, koji se odnosi na sve specifikacije koje su usko vezane uz nesmetano funkcioniranje cjelokupne telekomunikacijske mreže. Prethodno navedeni kontekst obuhvaća razinu opterećenja, koja se tiče bežičnih veza, povećanje razine dostupnosti resursa koji su vezani uz telekomunikacijsku mrežu, povećanje razine pouzdanosti, koja je neophodna unutar cijelog telekomunikacijskog sustava, povećanje obujma propusnosti te pružanje mogućnosti koja se tiče dijeljenja frekvencijskog spektra, [52].

U slučaju kada se krajnji korisnik zadovolji s pruženim QoE-om i kada ga odobri, javlja se problem koji se tiče prevelikih očekivanja korisnika, na osnovu prethodnog iskustva prilikom korištenja telekomunikacijske usluge, jer postojeći QoE postaje sve kritičniji. Nadalje, mrežna učinkovitost zasniva se isključivo na QoS-u, te ne postoji mogućnost postizanja optimalnog QoE-a. Određivanje analitičkog odnosa između tehničkih aspekata QoS-a, koji utječu na QoE, i samog QoE-a nije jednostavno, iz razloga što QoE nije izravno povezan s mjerenjima, koja se tiču mreže, i nepredvidivom prirodom ljudskog ponašanja, odnosno ponašanja krajnjih korisnika.

Nadalje, QoE predstavlja kvalitativnu mjeru razine zadovoljstva telekomunikacijskom uslugom i pripadajućim aplikativnim rješenjima od strane krajnjih korisnika. QoE mora posjedovati faktore koji se odnose na samog korisnika usluge i aplikacija, na same telekomunikacijske usluge te okruženje u kojem se korisnik nalazi prilikom korištenja tih usluga. Faktor korisnika odnosi se na doživljaj telekomunikacijske usluge te prethodno iskustvo usluge, od strane krajnjeg korisnika. Faktori koji se tiču okruženja obuhvaćaju samo ono okruženje unutar kojeg telekomunikacijske usluge nesmetano rade, [18].

Ključna razlika te korak promjene sa sustava 4G mreže prema 5G mreži je prijelaz s QoS arhitekture i upravljanja mrežom na QoE usmjereno upravljanje mrežom te mrežna arhitektura koja je usmjerena prema krajnjem korisniku. Na grafikonu 2 vidljiv je odnos između poremećaja QoS-a i vrijednosti QoE-a.



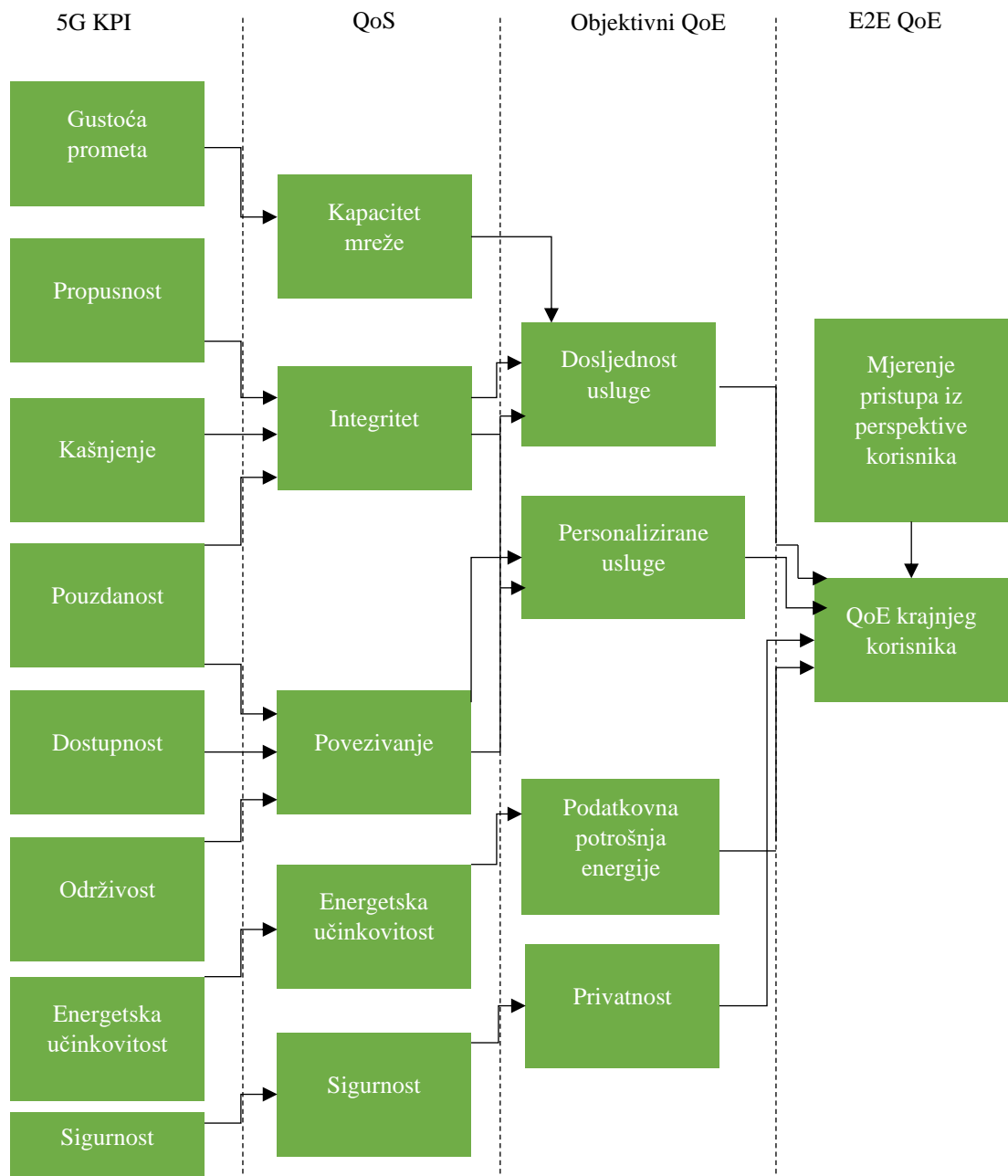
Grafikon 2. Odnos između QoS poremećaja i vrijednosti QoE-a
Izvor: [53]

Utjecaj poremećaja QoS-a na vrijednost QoE podijeljen je u tri zasebne zone. Moguće je vidjeti da unutar zone 1, gdje je niska razina QoS poremećaja, QoE poprima maksimalnu vrijednost. Nadalje, u zoni 2 vidljivo je da kako poremećaj QoS-a raste, dolazi do znatnog pada vrijednosti QoE-a, što rezultira osjećajem na strani krajnjeg korisnika da razina kvalitete usluge pada te taj isti korisnik osjeća razočaranje prema zaprimljenoj telekomunikacijskoj usluzi. Zona 3 ukazuje na to da drastičnim povećanjem poremećaja QoS-a, dolazi do drastičnog pada vrijednosti QoE-a, što rezultira da krajnji korisnik odustaje od korištenja telekomunikacijske usluge koja mu je isporučena. Naime, iz grafikona 2 moguće je zaključiti da se prilikom povećanja poremećaja QoS-a, smanjuje vrijednost QoE-a te sukladno tome korisnik ima povećanu razinu percipiranja smanjenje kvalitete telekomunikacijske usluge.

Nadalje, postoji niz faktora koji imaju naglašeni utjecaj na cjelokupni QoE, a u tu skupinu faktora ubrajaju se sljedeći: kontekst koji se odnosi na uporabu, karakteristike koje se odnose na krajnjeg korisnika, isporuka koja se odnosi na željeni sadržaj te cjelokupna cijena zahtijevane

telekomunikacijske usluge. Prilikom promatranja tehničkih čimbenika te percepcije kvalitete od strane krajnjih korisnika, između te dvije strane ne postoji neka izravna veza.

Postupak preslikavanja QoS-a i QoE-a izrazito je zahtijevan, zbog toga što na njega utječu objektivni i subjektivni čimbenici. Nadalje, QoS i QoE imaju visoku razinu preslikavanja, što znači da su snažno povezani s nadzorom nad mobilnom mrežom putem odgovarajućeg softvera. Proces preslikavanja QoE i QoS može se modelirati u samo dva koraka, a to su: QoS metrike imaju mogućnost modeliranja skupa QoE metrika te kombinacija takvih QoE metrika zapravo čini QoE krajnjeg korisnika. QoS podatci, koji su dobiveni iz osnovnog skupa KPI, prenose se u objektivni QoE. Nadalje, podatci, koji su dobiveni od strane doživljavanja krajnjeg korisnika, direktno utječu na QoE. Stoga, kombinacijom svih prethodno navedenih QoE metrika oblikuje se konačni QoE krajnjeg korisnika, [18].



Slika 6. 5G KPI-QoS-QoE model preslikavanja
Izvor: [18]

QoS podatci, koji su izvedeni iz osnovnog skupa 5G KPI-ova, prenijeti su u objektivni QoE. E2E (eng. *End-to-End*) QoE je pod utjecajem podataka, koji su dobiveni iz perspektive korisnika (subjektivni QoS koji opaža korisnik, subjektivno ispitivanje QoE-a i modeliranje kvalitete medija). Kombinacija svih prethodno spomenutih QoE metrika oblikuju QoE krajnjeg korisnika. Sve navedeno vidljivo je na slici 6.

5. Značajke i zahtjevi 5G aplikacija i njihovi slučajevi uporabe

Cjelokupni razvoj mobilne mreže 5G, slijedio je cilj da odgovori na zahtjeve, koji se tiču unaprijeđenja postojećih te razvoja novih aplikativnih rješenja i pripadajućih slučajeva uporabe. Naime, teži se razvoju novih oblika aplikativnih rješenja, što će rezultirati sasvim novim oblikom života za krajnje korisnike. Oni će moći, maksimalan broj svakodnevnih obveza te aktivnosti, izvršavati upravo putem vlastitih terminalnih uređaja, neovisno o lokacijama na kojima se nalaze. Što se tiče razvoja aplikativnih rješenja, uslijedit će razvoj iznimno velikog broja aplikacija, zajedno s novim slučajevima uporabe, no vršit će se razvoj aplikativnih rješenja, koja će se koristiti u već postojećim slučajevima uporabe. Od 5G mreže očekuje se da u punom smislu riječi bude pametna, zbog toga što će umjesto konstantnog pružanja maksimalne brzine prijenosa, pružati brzinu prema potrebama krajnjih korisnika. Ona, mora odgovoriti na niz zahtjeva, koje su pred nju postavili korisnici, kako bi se predstavila u punom svijetlu, kao do sada najunaprijeđenija mobilna mreža. Prilikom dizajniranja 5G mobilne mreže, ta mreža mora osigurati slijedeće mogućnosti, [54]:

- potpuno razumijevanje zahtjeva, koji se odnose na slučajeve uporabe
- implementacija te uvođenje 5G mobilne mreže na osnovu zahtjeva korisnika
- povećanje razine točnosti, u kontekstu 5G mobilne mreže
- povećanje razine pouzdanosti, u kontekstu 5G mobilne mreže
- prezentiranje načina rada novih telekomunikacijskih usluga, prije nego se stave u uporabu
- prezentiranje načina rada novih telekomunikacijskih tehnologija, prije nego se stave u uporabu
- uvođenje strojnog oblika učenja, u cilju procesiranja enormno velike količine podataka
- uvođenje umjetne inteligencije, u cilju procesiranja enormno velike količine podataka

Iznimno bitnom karakteristikom 5G mobilne mreže smatra se ideja o povezivanju svijeta u cijelosti. U kontekstu povezivanja iznimnog broja terminalnih uređaja, glavnu riječ ima koncept Internet stvari. Primjenom prethodnog navedenog koncepta prilikom razvoja 5G mreže, on će zbog svoje funkcionalnosti povezivanja velikog broja uređaja pružiti uvid u mogućnosti, koje se tiču razvoja brojnih novih aplikativnih rješenja. Primjeri aplikativnih rješenja s posredstvom Internet stvari su u globalnom smislu okarakterizirani riječju pametni, stoga u tu skupinu spadaju: pametni gradovi, pametna poljoprivreda, pametno gospodarstvo, pametna mjerenja i broji drugi. Cjelokupan rad pametne mreže zasnivao bi se, kao što je već navedeno, na računalstvu u oblaku, što bi rezultiralo stvaranjem dodatnih razina vrijednosti prethodno navedenog prometa.

S aspekta razvoja novih te unaprijeđenih aplikativnih rješenja, u kontekstu 5G mreže, očekuje se izniman broj aplikacija, zajedno sa sukladnim razvojem pripadajućih slučajeva uporabe. Firma Huawei je definirala prethodno navedene skupove aplikacija te slučajeva uporabe, koji se očekuju prilikom implementacije mobilne mreže pete generacije. U skupinu

rezultata, koji se tiču aplikativnih rješenja te slučajeva uporabe, koje su dobili provedbom detaljne analitičke obrade spadaju:

- aplikacije namijenjene za virtualnu te proširenu stvarnost
- aplikacije namijenjene za zdravstvene ustanove
- aplikacije namijenjene za automatiziranu industriju
- aplikacije namijenjene za autonomna vozila
- aplikacije namijenjene za pametne gradove
- aplikacije namijenjene za Internet stvari.

Sva prethodno navedena aplikativna rješenja biti će detaljnije definirana u daljnjem dijelu teksta, zajedno s pripadajućim slučajevima uporabe, [55].

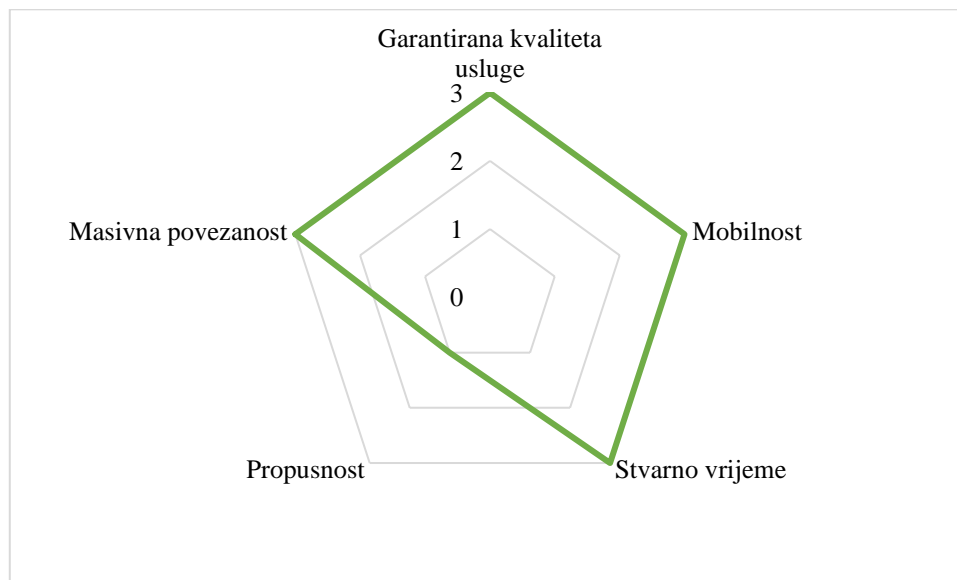
5.1. Aplikacije namijenjene za automatiziranu industriju i autonomna vozila

Danas se smatra vrlo popularnim pojam, koji se odnosi na automatizaciju industrije te robotike. Navedena automatizacija industrije i robotika su relativno novi pojmovi u telekomunikacijskoj industriji te su još uvijek u razvoju. Oni predstavljaju dinamično tržište, koje je orijentirano razvoju novih i inovativnih aplikativnih rješenja, u kontekstu automatizacije cjelokupne industrije. Sukladno svemu prethodno navedenom, pojavio se novi pojam, a naziva se Industrija 4.0. Nastanak pojma Industrija 4.0 uzrokovala je potreba za pojednostavljenjem definiranja posebne grupe različitih telekomunikacijskih tehnologija, u svrhu optimiziranja i povećanja učinkovitosti cijele trenutne industrije. Industrija 4.0 sastavljena je od raznovrsnih važnih elemenata, a neki od njih su: industrijske Internet stvari, odnosno mogućnost masivne povezanosti u prostorima pametnih tvornica te izvan njih, kontrola i upravljanje svim procesima, koji se tiču industrije, u realnom vremenu, korištenje virtualnih mreža, koje imaju mogućnost prikupljanja podataka iz okoline u realnom vremenu korištenjem senzorskih tehnologija, kompatibilnost i drugo, [56].

Definicija pojma Industrije 4.0 kaže da je to proizvodni proces organiziran tako da se sve zasniva na korištenju telekomunikacijskih tehnologija i autonomnih uređaja, a oni moraju imati mogućnost međusobne komunikacije u stvarnom vremenu. Shodno tome, dolazi do iznimne digitalizacije i automatizacije cjelokupne proizvodne industrije, gdje se fizički elementi implementiraju u sklopu telekomunikacijske mreže. To znači da se sustavi za proizvodnju umrežavaju na vertikalni način s procesorima, u kontekstu poslovanja tvrtke i same tvornice, odnosno implementirani su u organizacijskom dijelu. Nadalje, prethodno spomenuti sustavi za proizvodnju i procesi, mogu biti i horizontalno umreženi, u kontekstu vrijednosnog lanca s kojim se može upravljati u stvarnom vremenu, odnosno omogućena je povezanost u realnom vremenu s raznovrsnim dobavljačkim lancima te poslovnim partnerima. Nadalje, vrlo bitnim segmentima Industrije 4.0 smatraju se Internet stvari i Internet usluge, koje će pružiti mogućnost masivne povezanosti, [57].

Uzrok razvoja novih aplikativnih rješenja, u kontekstu robotike i automatizirane industrije, je orijentacija cjelokupne postojeće proizvodnje prema vitkoj proizvodnji, digitalizacija proizvodnje i svih proizvodnih procesa te povećanje razine fleksibilnosti. Prethodno navedena

vitka proizvodnja odnosi se na proizvodnu filozofiju iznimnog smanjenja trajanja procesa, u kontekstu korisničke narudžbe nekog proizvoda ili usluge pa do same isporuke krajnjem korisniku, gdje se u startu vrši uklanjanje mogućih gubitaka prilikom procesa proizvodnje. Da bi se takav način proizvodnje implementirao, potrebno je izvršiti korekciju i poboljšanje cjelokupne mreže te koristiti koncepte masivne povezanosti, odnosno industrijske Internet stvari, što će rezultirati optimizacijom cjelokupnog proizvodnog procesa, [55].



Grafikon 3. Zahtjevi koje aplikacije za automatizaciju industrije zahtijevaju od 5G mreže
Izvor: [55]

Na grafikonu 3 vidljiva je kategorizacija zahtjeva postavljenih pred 5G mobilnu mrežu, u koju pripadaju prijenos podataka u stvarnom vremenu, propusnost, mobilnost, garantirana kvaliteta usluge te masivna povezanost. Vidljiva je razina zahtjeva usmjerena ispunjenju očekivanja od 5G mobilne mreže, za razvoj aplikativnih rješenja, u vidu automatizacije industrije. Može se vidjeti da je za razvoj tih aplikativnih rješenja iskazana maksimalna razina zahtjeva za prijenosom podataka u stvarnom vremenu, mobilnosti, masivne povezanosti te garantirane kvalitete usluge, a za propusnost je razina zahtjeva izrazito niska. Na prethodno navedene zahtjeve, 5G mreža mora sadržavati odgovarajuća rješenja kako bi se omogućio razvoj te potpuna primjena aplikativnih rješenja za automatiziranu industriju.

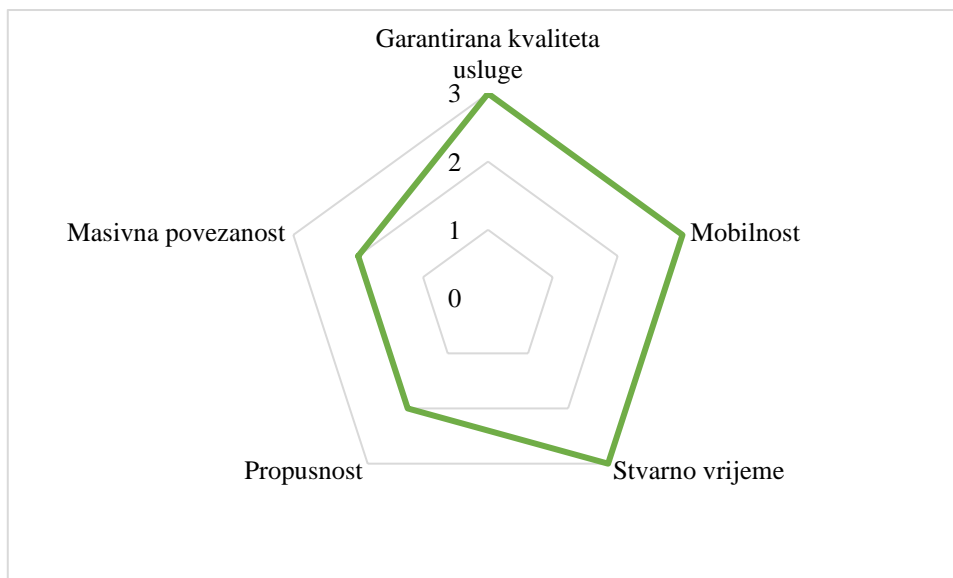
Za automatizaciju cjelokupne industrije, ključna je mogućnost masivne povezanosti. Masivnu povezanost omogućuje korištenje industrijskih Internet stvari, što u sklopu Industrije 4.0 predstavlja svođenje financijskih troškova na minimum, iz razloga što se koriste različiti senzori i mreže senzora te strojevi, koji omogućuju kvalitetniju pohranu, prijenos te obradu prikupljenih senzorskih podataka. Navedene senzorske mreže i strojevi ugrađeni su u fizičke dijelove, koji su povezani s mrežom na žični ili bežični način. Putem telekomunikacijske mreže izvršava se prijenos i procesiranje enormne količine podataka, koji se kasnije analizira, a svi fizički dijelovi samostalno prepoznaju okolinu u kojoj se nalaze i komuniciraju s njom. Da ne bi došlo do nekakvih ograničenja ili pogrešaka prilikom izvršavanja samostalne komunikacije između sustava i strojeva, kreirani su posebni komunikacijski protokoli putem kojih se izvršava cjelokupna interakcija između navedenih sustava i strojeva, [58].

Nadalje, osim automatizacije industrije, implementacijom mobilne mreže pete generacije, unaprijedit će se već postojeće tržište autonomnih vozila. To će omogućiti još bolju povezanost između samih vozila, ali i povezivanje vozila s okolinom, odnosno cjelokupnom infrastrukturom, koja se nalazi u korisničkom okruženju, u jedan jedinstven sustav. Rezultat toga biti će enormno povećanje razine mobilnosti i sigurnosti. Nadalje, za cjelokupni razvoj tržišta autonomnih vozila postavljeni su mnogi zahtjevi pred tržište. Rezultat ispunjavanja tih zahtjeva biti će stvaranje povezanosti svih vozila i okoline na globalnoj razini.

Ključnu ulogu za razvoj autonomnih vozila ima način na koji će takve vrste vozila raditi. Neki od čimbenika koji će utjecati na rad i razvoj takve vrste vozila su: korporativno okruženje, životni ciklus i održavanje tih vozila i podatci prikupljeni iz senzorskih tehnologija, koje se nalaze unutar tih vozila. Postavljeni su raznovrsni zahtjevi, koji se tiču povećanja razine pouzdanosti, sigurnosti i propusnosti same mreže, kao i zahtjevi za smanjenjem latencije. Nadalje, u bliskoj budućnosti na tržištu se očekuje iznimno povećanje broja autonomnih vozila, čija će se povezanost temeljiti na bežičnim vezama. To će rezultirati velikim brojem novih mogućnosti u vidu usluga, u kontekst smanjenja ljudskog faktora. Primjer takve vrste usluge je navigacija u sklopu autonomnih vozila, pri čemu će se iznimno smanjiti djelovanje ljudskog faktora. Iz tog razloga, doći će do iznimnog povećanja količine podataka koji se prenose i obrađuju između vozila i baza podataka, čiji se rad temelji na računalstvu u oblaku, [55].

Nadalje, aplikacije, u kontekstu autonomnih vozila, omogućavaju međusobnu komunikaciju između tih vozila, komunikaciju između vozila i odgovarajuće prometne infrastrukture, kao i međusobna komunikacija između infrastrukture i drugih aplikacija, u sklopu inteligentnih transportnih sustava. Mobilna mreža 5G mora omogućiti smanjenje latencije na minimalnu razinu, u odnosu na trenutnu generaciju mobilne mreže, koja se koristi, da bi prethodno navedene aplikacije mogle nesmetano funkcionirati. Naime, osim pružanja mogućnosti komunikacije, aplikacije za autonomna vozila moraju omogućiti nesmetan prijenos i obradu podataka na relacijama između vozila te vozila i infrastrukture. Kako bi se to moglo izvesti, potreban je rad aplikacija u stvarnom vremenu te odgovarajuća razina sigurnosti prilikom prijena podataka, kako bi podatci bili isporučeni u realnom vremenu i sigurnom okruženju. Za nesmetan rad sustava, koji se tiču sigurnosti, potrebno je smanjiti latenciju mreže da bude manja od pet milisekundi, a pouzdanost mreže mora biti veća od 99,999%, [56].

Grafikon 4 prikazuje zahtjeve postavljene pred 5G mobilnu mrežu, a to su prijenos podataka u stvarnom vremenu, propusnost, mobilnost, garantirana kvaliteta usluge te masivna povezanost. Kako bi aplikacije vezane uz autonomna vozila mogle izvršavati svoj nesmetan rad potrebna je maksimalna razina zahtjeva za prijenosom podataka u stvarnom vremenu, mobilnosti te garantirane kvalitete usluge, a za propusnost i masivnu povezanost razina zahtjeva je nešto niža.



Grafikon 4. Zahtjevi koje aplikacije za autonomna vozila zahtijevaju od 5G mreže
Izvor: [55]

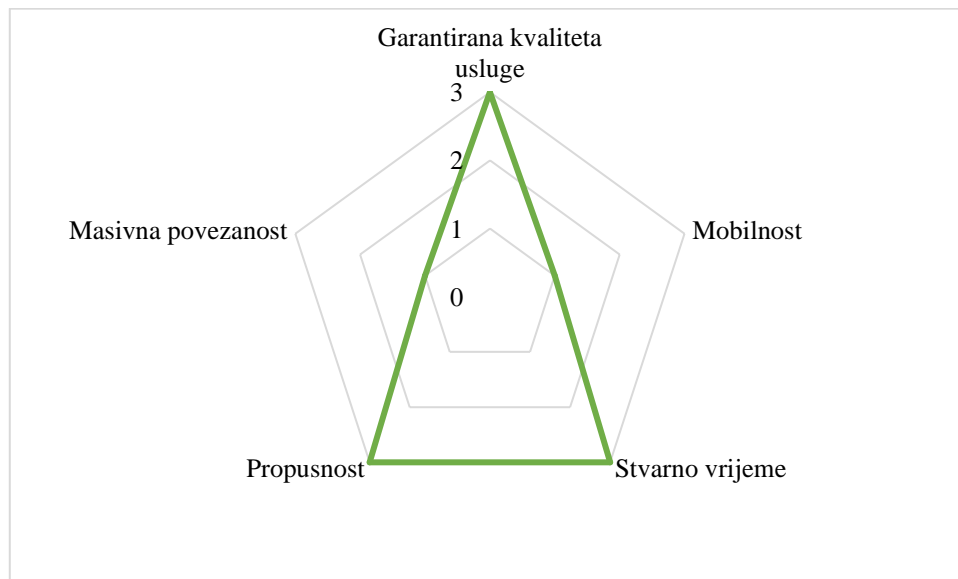
Nadalje, smatra se da će mobilna mreža 5G pružiti mogućnost povezivanja s različitim aspektata, kao i daljinsko upravljanje i izvršavanje komunikacije između vozila. Komunikacija s aspekta autonomno vozilo i prometna infrastruktura, biti će izvršavana pomoću sustava kratkog dometa, što će omogućiti mobilna mreža pete generacije. Navedeni sustavi kratkog dometa rade na frekvencijskom području od 5,9 GHz, [59].

5.2. Aplikacije namijenjene za virtualnu stvarnost, proširenu stvarnost i zdravlje

Razvojem mobilne mreže pete generacije, dolazi do paralelnog razvoja cjelokupne telekomunikacijske tehnologije. Naime, krajnji korisnici pred prethodno navedenu mrežu stavljaju niz zahtjeva, u vidu unaprjeđenja postojećih telekomunikacijskih usluga, kao i u vidu razvoja novih. Mobilna mreža 5G, svojim će korisnicima pružiti sasvim nove oblike telekomunikacijskih usluga te će time doći do značajnih promjena u svakodnevnim životima korisnika. Upravo su krajnji korisnici ti, koji su izrazili zahtjev te očekivanje usmjereno 5G mreži za povezivanje u cijelosti virtualne i proširene stvarnosti, zajedno s fizičkom, što će omogućiti korisnicima sasvim novi pogled na svijet. Prethodno navedene zahtjeve definirala je firma Ericsson, koja je provela detaljnu analizu zahtjeva krajnjih korisnika. Postavljeni zahtjevi, koji se tiču povezivanja prethodno navedenih stvarnosti u cjelinu, rezultirati će time da krajnji korisnici neće percipirati razliku, koja se odnosi na virtualnu te fizičku stvarnost, [60].

Cjelokupan rad aplikacija, koje su razvijene u svrhu virtualnih stvarnosti kao i proširenih, morat će se temeljiti na uvođenu principa rada posredstvom računalstva u oblaku. Nadalje, rezultat takvog rada je značajno smanjenje cjelokupnog asortimana terminalnih uređaja, koji će samim time postati dostupni svim korisnicima. Nadalje, ako se rad cjelokupnog telekomunikacijskog spektra preusmjeri na računalstvo u oblaku, doći će do stalnog porasta tog istog spektra, [55]. Također, očekuje se da će primjena aplikativnih rješenja, koja će omogućiti krajnjim korisnicima virtualnu te proširenu stvarnost, biti primjenjiva u svim područjima

korisničkog društva. Aplikacije će se moći primijeniti na području obrazovanja, posla, putovanja, zdravstva, medija, itd. Primjerice, u kontekstu prethodno navedenog područja medija, očekuje se da će novo razvijeni virtualni ekrani, koji pripadaju u skupinu aplikativnih rješenja virtualne stvarnosti, potpuno zamijeniti primjenu klasičnih televizijskih ekrana, [60].



Grafikon 5. Zahtjevi koje aplikacije za virtualnu i proširenu stvarnost zahtijevaju od 5G mreže

Izvor: [55]

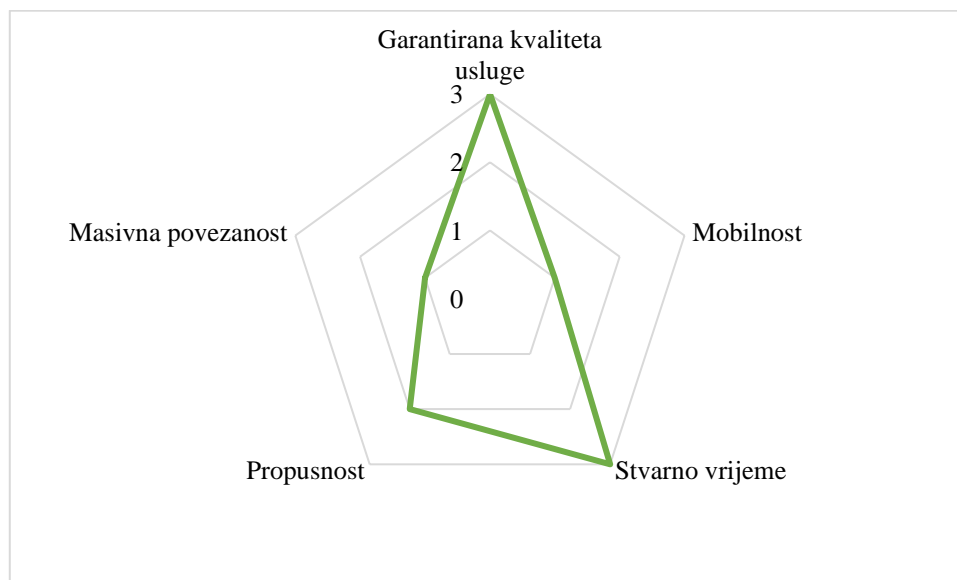
Na grafikonu 5 prikazani su zahtjevi postavljeni pred 5G mobilnu mrežu, koji moraju biti ispunjeni kako bi aplikacije vezane uz virtualnu i proširenu stvarnost mogle nesmetano raditi i razvijati se. Vidljivo je da je za razvoj tih aplikativnih rješenja iskazana maksimalna razina zahtjeva za prijenosom podataka u stvarnom vremenu, propusnosti te garantirane kvalitete usluge, a za masivnu povezanost i mobilnost je razina zahtijevanja izrazito niska.

Što se tiče tehničkih značajki, u kontekstu aplikativnih rješenja virtualne stvarnosti, od 5G mobilne mreže očekuje se da će se pružiti mogućnost obrade fizičke kretnje od strane virtualne stvarnosti, koja će biti pozicionirana u oblaku, što će rezultirati prezentiranjem prethodno navedenih fizičkih kretnji na korisničkim terminalnim uređajima unutar stvarnog vremena. Primjer prethodno navedenog aplikativnog rješenja može biti omogućavanje korisnicima igranja širokog spektra interaktivnih igrica. Nadalje, što se tiče tehničkih značajki, u kontekstu aplikativnih rješenja proširene stvarnosti, od 5G mobilne mreže se očekuje da će značajke omogućiti ponavljanje prezentiranja slike unutar oblaka, primjenom međusobne kombinacije proširene te virtualne stvarnosti, također unutar prethodno navedenog oblaka. Primjenom takvog aplikativnog rješenja podrazumijeva se učitavanje slikovnog sadržaja. U svrhu pružanja mogućnosti prethodno definiranih primjera aplikativnih rješenja, od mobilne mreže 5G očekuje se mogućnost da se signal prenosi brzinom u rasponu od 100 Mbit/s pa sve do 9,4 Gbit/s te da latencija bude u rasponu od 2 do 10 ms, [55].

Kao što je već prethodno navedeno, novo razvijena aplikativna rješenja, u kontekstu 5G mobilne mreže, moći će se primjenjivati i na područjima zdravstvenih djelatnosti. Naime, provedbom detaljnog ispitivanja djelatnika zdravstvenih ustanova, došlo se do rezultata, koji

se tiču mogućnosti implementacije novo razvijenih aplikativnih rješenja na raznovrsnim odjelima zdravstvenih ustanova. Implementacijom ovakvog spektra rješenja znatno će se olakšati rad djelatnika, no i postupci koje pacijenti moraju samostalno poduzeti u interakciji sa doktorima opće prakse. Korisnici će putem aplikativnih rješenja moći izvršiti narudžbu lijekova te uputnica, dok će im s druge strane komunikacijskog lanca tu isporuku izvršiti nadležni djelatnik. Prethodno navedeno rezultirat će iznimnom uštedom vremena korisnicima, no i djelatnicima, koji će svoje vrijeme moći iskoristiti na puno učinkovitiji način. Nadalje, zdravstveni djelatnici će putem ovakvih aplikacija moći konstantno pratiti zdravstveno stanje svojih pacijenata i drugo. Samim time, pretpostavka je da će se izrazito veliki broj djelatnosti u kontekstu zdravstva moći zamijeniti aplikacijama razvijenim u procesu razvoja 5G mobilne mreže.

Postoje definirana očekivanja, koja se tiču poboljšanja prilikom uvođenja aplikativnih rješenja posredstvom 5G mobilne mreže u razne sektore zdravstvenih ustanova. Prethodno navedeno poboljšanje očekuje se, u kontekstu smanjenja razine vremena kašnjenja te povećana razine pouzdanosti. Naime, smanjenjem kašnjenja omogućit će se da informacije, koje su izrazito važne, a tiču se pacijenata, stignu do zdravstvenih djelatnika unutar realnog vremena, što će omogućiti pravovremenu reakciju djelatnika, u slučaju potrebe. Nadalje, razina pouzdanosti je izrazito važna, kao i razina sigurnosti, iz razloga što je neophodno zaštititi informacije u prijenosu, kako ne bi došlo do zlouporabe osobnih podataka pacijenata, kao i do moguće zlonamjerne izmjene sadržaja informacije, koja se prenosi na relaciji zdravstveni djelatnik te pacijent. Shodno svemu prethodno navedenom, ovakvo unaprjeđenje u zdravstvenom sektoru omogućit će znatno povećanje razine brige o pacijentima, od strane ovlaštenih osoba, što će dovesti do povećanja razine zadovoljstva, kako i pacijenata tako i zdravstvenih djelatnika, [61].



Grafikon 6. Zahtjevi koje aplikacije za zdravstvo zahtijevaju od 5G mreže
Izvor: [55]

Grafikon 6 prikazuje kategorizaciju zahtjeva, koji moraju biti ispunjeni kako bi aplikacije za zdravstvo nesmetano funkcionirale. Zahtjevi su usmjereni, odnosno postavljeni pred

mobilnu mrežu 5G. Grafikon ukazuje na to da je iskazana maksimalna razina zahtjeva za prijenosom podataka u stvarnom vremenu te garantirane kvalitete usluge, a za propusnost je razina zahtjeva nešto niža, dok je za masivnu povezanost i mobilnost razina zahtjeva izrazito niska. 5G mreža mora odgovoriti na postavljene zahtjeve kako bi se omogućila potpuna primjena aplikativnih rješenja za zdravstvo.

Prethodno definirani zahtjevi, koji su postavljeni pred 5G mrežu, kako bi se mogao osigurati razvoj aplikativnih rješenja za zdravstvo, zapravo su rezultat zahtjeva koje su iznijeli djelatnici zdravstvenih ustanova, u kontekstu ideja za unaprjeđenje rada tih ustanova. Ideje koje su iznijeli educirani djelatnici, ticale su se mogućnosti nadzora nad pacijentima, u kontekstu njihovog zdravstvenog stanja, mogućnosti izvedbe operacija na daljinu, mogućnosti definiranja dijagnoze pacijentima i druge, a sve to bi se izvršavalo posredstvom terminalnih uređaja, [55]. Nadalje, u prvotnoj primjeni novo razvijenih aplikativnih rješenja, unutar određenog vremena, koje će biti definirano, ukazati će se na još dodatna poboljšanja koja će biti primijećena od strane korisnika tih aplikativnih rješenja, s ciljem postizanja iznimne kvalitete u kontekstu rada tih aplikativnih rješenja. Naime, za ova aplikativna rješenja iznimno je bitno osigurati sve predispozicije, koje su nužne za njihov kvalitetan rad, iz razloga što je zdravstveni sektor iznimno bitan dio unutar ljudskog društva, te je njegov kvalitetan rad neophodan.

5.3. Aplikacije namijenjene za Internet svega i pametne gradove

Internet svega odnosi se na pojam, koji povezuje stvari, ljude, podatke i procese međusobno u jedan jedinstven sustav, pri čemu se koristi Internet mreža. Naime, u samom okruženju korisnika postoje mnogobrojne stvari i sustavu, koji još uvijek nemaju mogućnost povezivanja na Internet mrežu. Stoga, pojavom mobilne mreže 5G, omogućit će se prethodno navedenim stvarima i sustavima da se povežu na Internet mrežu, čineći sustav Internet svega, odnosno neko pametno okruženje. Zbog nedostataka postojeće mobilne mreže 4G, nemoguće je uspostaviti prethodno navedeno pametno okruženje, odnosno Internet svega, jer ta mreža još uvijek nije dovoljno razvijena za omogućavanje povezivanja velikog broja terminalnih uređaja te obrade i prijenosa iznimno velike količine podataka, koje bi ti uređaji generirali. Veliki je izazov postavljen pred 5G mobilnu mrežu, koja bi trebala omogućiti prethodno navedeni zahtjev za pametnim okruženjem, [1].

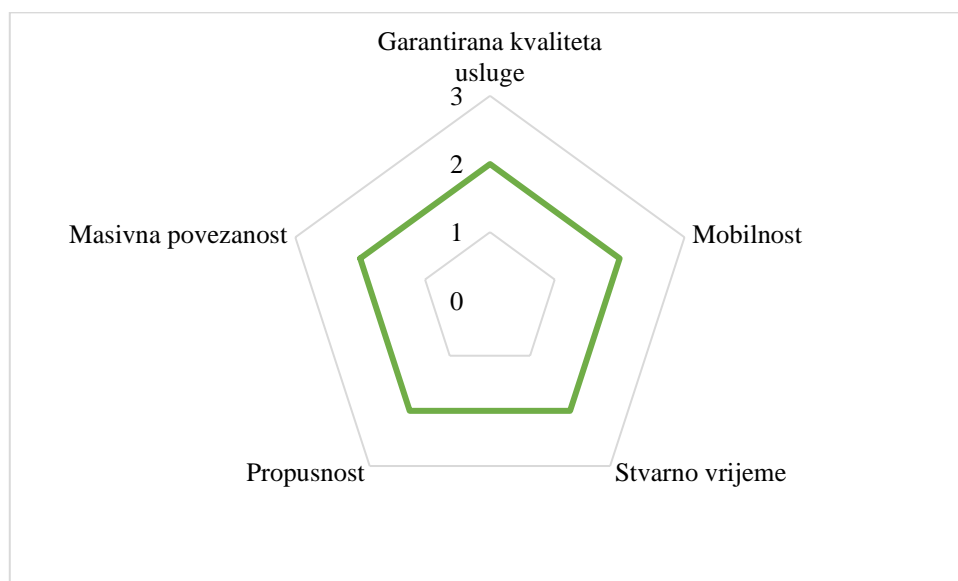
Glavna uloga koncepta Internet svega je omogućiti neometanu komunikaciju između strojeva, korisnika te međusobno između strojeva i ljudi. Također, Internet svega pružio bi mogućnost konektiranja enormno velikog broja terminalnih uređaja i samih korisnika u jedan jedinstven sustav, neovisno o vrsti terminalnih uređaja i tipova krajnjih korisnika. Za mogućnost samog pristupa konceptu Internet svega, krajnji korisnik morat će ispuniti zahtjev mogućnosti povezivanja na Internet mrežu, a svi podatci prenosit će se i obrađivati u realnom vremenu. Za razliku od današnjeg načina povezivanja krajnjeg korisnika na Internet mrežu, mobilna mreža 5G omogućit će više različitih načina povezivanja, od strane krajnjeg korisnika putem novo razvijenih 5G terminalnih uređaja, [62].

Koncept Internet stvari odnosi se na telekomunikacijsku mrežu, koja pruža mogućnost konekcije različitih fizičkih elemenata, koji se nalaze u korisnikovoj okolini, u jedinstvenu cjelinu zasnovanu na Internet protokolu. Mobilna mreža 5G omogućit će povezivanje enormno

velike količine prethodno navedenih fizičkih elemenata i jedinstven pametni sustav okruženja krajnjeg korisnika. Kreirat će se ekosustav u kojem će svi povezani uređaji tvoriti jedinstven pametni sustav. Kako bi se omogućilo stvaranje takvog ekosustava, morat će se poboljšati performanse mreže, povećati razina sigurnosti mreže te povećati razina pouzdanosti i kapacitet cjelokupne mobilne mreže 5G, [1].

Nadalje, mobilna mreža pete generacije svojom implementacijom, usporedno će izvršiti i implementaciju novih telekomunikacijskih tehnologija u sklopu trenutne prometne infrastrukture. Prethodno navedene nove telekomunikacijske tehnologije, postat će neizostavni dio gradske infrastrukture i okoline, kao što su: gradski javni prijevoz, javne garaže i parkinzi, parkovi, tržnice i sl. Naime, ovakvim konceptom pametnog grada, biti će moguće prikupljati iznimno velike količine raznovrsnih podataka, prikupljenih sa senzora i uređaja, koji će biti implementirani u gradsku infrastrukturu. Sukladno tome, za nastanak pametnog grada, potrebno je uključiti sve građane u svrhu financijskog ulaganja za implementaciju potrebne senzorske mreže i druge potrebne telekomunikacijske opreme. Svako pojedini telekomunikacijski element, koji je implementiran u pametni grad, imat će više uloga, primjerice IP kamere, čija je osnovna namjena praćenje cjelokupnog cestovnog i gradskog prometa, a može se još i koristiti za kontrolu u svrhu povećanja razine sigurnosti unutar samih gradova, [61].

Osim što će prethodno navedene IP kamere uzrokovati povećanje sigurnosti samih gradova, rezultirat će i optimiziranim iskorištavanjem resursa unutar gradova, pri čemu se postiže iznimno veća učinkovitost izvršavanja rada gradskih poduzeća, institucija i drugog. Sustav IP kamera izvršavat će kontrolu nad javnim gradskim mjestima poput trgova, parkova, bolnica, fakulteta, škola i slično. Nadalje, na taj način vršit će se kontrola i nad poslovnim okruženjima poput banaka, velikih firmi, pošta i sl., nad prometnim sustavom, nad gradskim mjestima s visokom stopom kriminala i drugo. Sukladno svemu prethodno navedenom, IP kamere moraju biti prilagođene implementaciji 5G sustava, [55].



Grafikon 7. Zahtjevi koje aplikacije za pametne gradove zahtijevaju od 5G mreže
Izvor: [55]

Grafikon 7 prikazuje kako je za nesmetan rad aplikacija, koje se tiču pametnih gradova, potrebno ispunjenje zahtijeva za mobilnošću, prijenosom podataka u stvarnom vremenu, propusnosti, masivne povezanosti te garantirane kvalitete usluge u jednakoj mjeri. Razina navedenih zahtijeva nije maksimalna, ali je potrebna u određenoj mjeri.

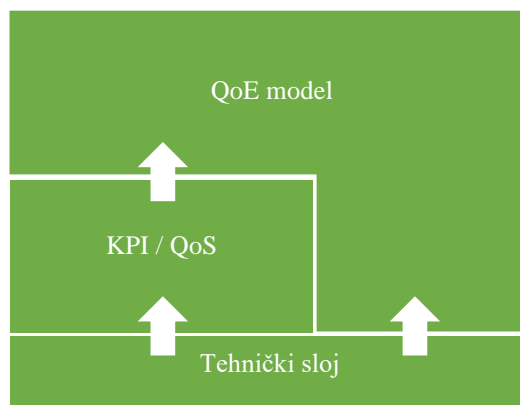
6. Novi pristupi u mjerenju i ocjenjivanju QoS i QoE za 5G aplikacije i slučajeve uporabe

Mobilne mreže, omogućavale su značajan napredak, u kontekstu obrade podataka. Kod njih je omogućena zasebna obrada glasa te zasebna obrada podataka. Iako su mobilne mreže predstavljale značajno unaprjeđenje, u kontekstu telekomunikacija, došlo je do pojave brojnih nedostataka, koji su se ticali iznimno male brzine prilikom prijenosa te iznimno usko grlo kanala, koji pruža mogućnost prijenosa. Shodno tome, došlo je do neprestanog rada u vidu unaprjeđenja prethodno navedenih nedostataka. Naime, korisnici su mogućnost korištenja podatkovne komunikacije u potpunosti prihvatili te su tokom određenog vremena oni i operatori postali svjesni nedostataka, koje je bilo nužno unaprijediti, kako bi razina kvalitete korištene mobilne mreže bila na odgovarajućoj razini.

Nadalje, krajnji korisnici su svoje svakodnevne komunikacije preusmjerili na podatkovni oblik, kako u privatnom tako i u poslovnom okruženju. Stoga, došlo je do razvoja novih oblika mobilne mreže, koje će omogućiti značajno poboljšanje, odnosno povećanje brzine prijenosa podataka, iznimno povećanje kapaciteta mreže i drugo. Unaprjeđenja nisu rezultirala dovoljnim poboljšanjem u kontekstu QoE-a. Naime, razvojem tehnologije koja je postala lako dostupna svim krajnjim korisnicima, došlo je do porasta zahtijeva usmjerenih telekomunikacijskom sustavu, od strane krajnjih korisnika, [63].

Mobilna mreža 4G u obliku standarda LTE-A (eng. *Long Term Evolution – Advanced*) implementirana je u većini zemalja svijeta. Danas se cjelokupna telekomunikacijska industrija razvija i usmjerena je prema standardu mobilne mreže 5G, koji je zaživio već u pojedinim zemljama. Najveći izazov mobilne mreže 5G je smanjiti razinu kašnjenja na manje od jedne milisekunde, što će rezultirati iznimnim povećanjem zadovoljstva krajnjih korisnika s telekomunikacijskim uslugama i aplikacijama koje koriste, odnosno doći će do iznimnog povećanja ukupnog QoE-a, [64].

Veliki broj aplikativnih rješenja te slučajeva uporabe, koji se koriste danas, nastavit će se koristiti i kada se u potpunosti uvede mobilna mreža pete generacije, zajedno sa svim popratnim KPI, QoS i QoE. Zahtijevane telekomunikacijske usluge biti će uvijek dostupne krajnjim korisnicima, neovisno o lokaciji i vremenu kada će ih korisnici zahtijevati. Također, korisnikovo čekanje na isporuku zahtijevanih usluga biti će svedeno na minimum. Nadalje, cjelokupni fokus biti će usmjeren na kvalitetu usluge, koja se odnosi na aktivni slučaj uporabe, odnosno postojeći QoE modeli biti će orijentirani i prilagođeni novo razvijenim i inovativnim aplikativnim rješenjima te slučajevima uporabe. Postizanje kontinuiranog prijenosa podataka i interaktivnosti postaje presudno za nove aplikacije i slučajeve uporabe, koje će biti realizirane u stvarnom vremenu. Prethodno navedeno obuhvaća razvijenost i prihvaćenost KPI-ja i QoS parametara za interaktivnost i kontinuitet prijenosa. Sukladno tome, nova aplikativna rješenja morat će se prilagoditi mrežnim uvjetima primjenom strojnog učenja i umjetne inteligencije te istovremeno QoE mora biti optimiziran, [63].



Slika 7. Odnos tehničkog sloja, KPI/QoS i QoE modela
Izvor: [63]

Na slici 7 prikazano je kako su KPI i QoS ciljevi i pragovi temeljeni na tehničkim potrebama za nove aplikacije, što znači da će te aplikacije biti više prilagodljive mrežnim uvjetima, za razliku od danas, zbog primjene tehnika strojnog učenja i umjetne inteligencije. Nadalje, kao što je već prethodno navedeno QoE se temelji na iskustvu, a to iskustvo se temelji na očekivanjima krajnjih korisnika, koja postaju sve veća, odnosno očekivanja se mijenjaju tijekom vremena usporedno s razvojem novih aplikativnih rješenja. KPI i QoS parametri nisu ovisni o radio pristupnoj tehnologiji, ali zato se moraju prilagođavati novim uslugama. QoE također izravno ne ovisi o radio tehnologiji, ali krajnja očekivanja povećat će se s povećanjem performansi mreže. Navedeno povećanje očekivanja krajnjih korisnika izrazito mijenja QoE, ali to se događalo i u sklopu svih dosadašnjih tehnologija.

6.1. Metode mjerenja i ocjenjivanja QoS-a

Prilikom zaprimanja telekomunikacijske usluge, svakom krajnjem korisniku je od izrazite važnosti njezina kvaliteta, neovisno o kakvom se tipu telekomunikacijske usluge radilo. Naime, svaki krajnji korisnik može koristiti glasovnu telekomunikacijsku uslugu, podatkovnu telekomunikacijsku uslugu te telekomunikacijsku uslugu prijenosa video sadržaja. Za svaku od tih usluga od presudne je važnosti, kvaliteta usluge prilikom korištenja. Nadalje, korisnik nije upućen u pojedinosti, koje smanjuju kvalitetu usluge, već su za to zaduženi operatori, koji vode računa o kašnjenju prilikom prijenosa, raspoloživoj širini prijenosnog pojasa, broju izgubljenih paketa u procesu prijenosa usluga i drugom. U telekomunikacijama definirane su dvije zasebne metode, koje se mogu koristiti u kontekstu mjerenja kvalitete telekomunikacijske usluge, a to su subjektivna te objektivna metoda mjerenja. Prethodno navedene metode međusobno se razlikuju po tome što se u kontekstu subjektivne metode krugu određenih korisnika isporučuje prijenos zvuka ili prijenos videa, koji ih nakon nekog vremenskog perioda preslušavanja ili pregledavanja ocjenjuju definiranim spektrom ocjena, namijenjenim za ocjenjivanje kvalitete telekomunikacijske usluge. Dok, objektivna metoda mjerenja kvalitete telekomunikacijske usluge postupak mjerenja izvršava primjenom fizičkih dijelova mreže u cilju dobivanja rezultata, koji se odnose na količinu izgubljenih paketa prilikom prijenosa, razinu latencije te vremena kašnjenja, kao i kolebanja kašnjenja. Ona pruža uvid i u razinu propusnosti, koja je nužna za isporuku svake telekomunikacijske usluge zasebno. Kao što je vidljivo iz prethodno definiranih metoda, subjektivna metoda svoj rad temelji na krajnjem korisniku i njegovom

percipiranju zaprimljene telekomunikacijske usluge, a objektivna metoda svoj rad temelji na karakteristikama mobilne mreže.

6.1.1. Subjektivna metoda mjerenja QoS-a

Kada se govori o subjektivnoj metodi mjerenja QoS-a, tada se dobiveni rezultati zasnivaju na subjektivnom doživljaju kvalitete usluge krajnjeg korisnika, koji ju koristi. Prilikom izvođenja subjektivne metode, uzima se određen broj ispitanika, kojima se unutar definiranog vremena i pri različitim uvjetima emitira audio ili video sadržaj. Prethodno navedeni uvjeti podrazumijevaju okolinu, odnosno stanje okoline u kojoj je prisutan korisnik prilikom izvođenja ispitivanja ili stanje mreže, koja pruža mogućnost izvođenja ispitivanja. Vršiti se ispitivanje QoS-a u raznolikim situacijama i pri različitim uvjetima unutar mreže.

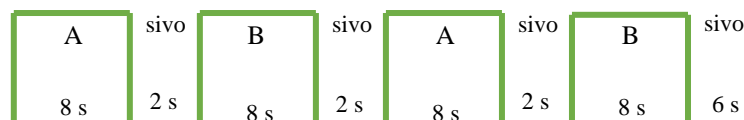
U slučaju kada se subjektivnom metodom mjeri kvaliteta zvuka, tada se ta ista metoda naziva MOS (eng. *Mean Opinion Score*). Definicija MOS-a, prema ITU-T P.800.1 preporuci, odnosi se na srednju vrijednost kvalitete telefonskog sustava, neovisno o tome je li se izvršava radnja pričanja ili slušanja, [65]. Prilikom izvršavanja ovakvog slučaja metode MOS, svaki korisnik nalazi se u zasebnoj odvojenoj sobi, koje se nalaze vrlo blizu centra za kontrolu. Prethodno navedene sobe, prema ITU-T P.830 preporuci, ne smiju biti manje od 20 m³, a odjek unutar sobe ne smije biti veći od petsto milisekundi. Uz sve prethodno navedeno, buka unutar soba ne smije biti veća od trideset decibela. Nadalje, korisnici se izlažu većem broju testova, pri čemu se svaki test izvršava pri zasebnim i različitim uvjetima. Unutar jedne skupine testova korisnik izvršava samo radnje govora, u drugoj skupini testova korisnik izvršava samo radnju slušanja, dok u trećoj skupini testova korisnici izvršavaju komunikaciju među sobom, ali pri zadanim scenarijima. Poslije svakog provedenog testa, korisnici ocjenjuju kvalitetu usluge na način da biraju ocijene od jedan do pet, pri čemu jedinica predstavlja izrazito lošu kvalitetu usluge, a petica predstavlja odličnu kvalitetu usluge, [66]. Navedena skala za ocjenjivanje kvalitete usluge može se vidjeti na tablici 2.

Tablica 2. Skala za ocjenjivanje kvalitete usluge

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

Izvor: [67]

Kako postoji subjektivna metoda za mjerenje kvalitete zvuka, tako postoji i subjektivna metoda za mjerenje kvalitete video sadržaja, a poznatija je pod nazivom DSCQS (eng. *Double Stimulus Continuous Quality Scale*). Ova metoda smatra se još i najpouzdanijom subjektivnom metodom u kontekstu mjerenja kvalitete video sadržaja, a prikazana je na slici 8.



Slika 8. Subjektivna metoda mjerenja DSCQS

Izvor: [68]

Primjenom DSCQS metode, korisnicima se emitiraju dvije različite verzije istog video zapisa, a označene su slovima A i B. Prilikom izmjenjivanja verzija A i B, moguća je pojava nekih vrsta smetnji kao što su loša boja u video zapisu, izostavljanje detalja, nedovoljno oštra slika i drugo. Ispitanik na osnovu vlastitog doživljaja emitiranih video sadržaja, ocjenjuje kvalitetu tih videa ocjenama od jedan do pet. Kao i u prethodnoj metodi, jedinica predstavlja lošu kvalitetu, a petica odličnu kvalitetu emitiranog sadržaja, [68].

6.1.2. Objektivna metoda mjerenja QoS-a

Već je prethodno navedeno kako se objektivna metoda mjerenja kvalitete telekomunikacijske usluge izvršava postupkom mjerenja fizičkih karakteristika mobilne mreže 5G. Naime, u postupku njezinog mjerenja koristi se široki spektar raspoloživih algoritama te računalnih programa, u cilju definiranja razine kvalitete telekomunikacijske usluge. Ovu metodu karakterizira sljedeće, ona ne omogućava uvid u zadovoljstvo krajnjeg korisnika, u kontekstu zaprimljene telekomunikacijske usluge, već pruža uvid u nedostatke zbog kojih ta ista telekomunikacijska usluga pruža nižu razinu kvalitete. Objektivna metoda osigurava uvid u iznose, koji se tiču gubitaka, kašnjenja, propusnosti unutar telekomunikacijske mreže, kao i iznos paketa koji je izgubljen prilikom prijenosa tom isto mrežom.

U telekomunikacijama poznata je metoda pod nazivom PEAQ (eng. *Perceptual Audio Quality Measure*), koja se ubraja u skupinu objektivnih metoda. Ova metoda se primjenjuje u kontekstu mjerenja razine kvalitete zvuka, a sastavljena je od određenog spektra pripadajućih modela. Naime, prethodno navedeni modeli PEAQ metode, omogućuju prikaz signala unutar određenih uvjeta, koji se odnose na vrstu modulacije, razinu pobude, karakteristične glasnoće, ekvalizaciju te pobudu, koja je ekvalizirana u svrhu izvršavanja linearnog oblika filtriranja, kao i usporenog mijenjanja razine pojačanja, [69].

Nadalje, u kontekstu objektivnih metoda za mjerenje kvalitete telekomunikacijske usluge, pronalazi se i algoritam pod nazivom PESQ (eng. *Perceptual Evaluation of Speech Quality*). Prethodno navedena metoda primjenjuje se u svrhu predviđanja kvalitete govornih signala sa subjektivnog aspekta. Primjenom ove vrste objektivne metode mjerenja, dobivaju se rezultati, koji se odnose na utjecaj izobličenja govornih signala na informaciju, u kontekstu komunikacije, koja se izvršava u jednom smjeru, kao i rezultati koji se odnose na razinu utjecaja šuma na informaciju, koja se prenosi također takvim oblikom komunikacije. PESQ algoritam svoj rad izvršava na način da vrši usporedbu izvornog signala zajedno s degradiranim signalom. Prethodno navedeni degradirani signal, odnosi se na signal koji je rezultat prijenosa izvornog signala određenim komunikacijskim kanalom. Prethodno navedeni algoritam, smatra se idealnim u vidu onih testiranja, koja se izvršavaju na telefonskim komunikacijama. Naime, on se smatra idealnim iz tog razloga što ne ovisi o komunikacijskom sustavu. Koraci, koje je

potrebno obuhvatit prilikom izvođenja postupka testiranja, od strane PESQ algoritma su sljedeći, [70]:

- za kvalitetnu provedbu testiranja potreban je referentni signal, koji je pripremljen unaprijed te traje osam sekundi
- prethodno navedeni signal već je bio korišten u svrhu određivanja razine uspješnosti PESQ algoritma
- nužno je sudjelovanje raznovrsnih korisnika, koji vrše postupak izgovora poruke.
- nužno je uključivanje raznolikosti, u kontekstu jezika, prilikom postupka izgovora poruke
- nužna je pauza, u kontekstu izgovorenih poruka
- poruke su sastavljene od određenih rečenica
- izvođenje postupka mjerenja više puta, na različitim porukama
- postupak modeliranja slušnog sustava, koji se odnosi na krajnjeg korisnika
- kognitivno modeliranje; postupak modeliranja, u kontekstu prepoznavanja razine kvalitete govornog signala
- postupak usporedbe izvornog signala s degradiranim signalom
- rezultat, koji se dobije prethodno navedenom usporedbom, tiče se ocjenjivanja kvalitete govornog signala, koji se prenosi posredstvom komunikacijskog sustava

Nadalje, u skupinu objektivnih metoda mjerenja kvalitete telekomunikacijske usluge ubraja se i metoda pod nazivom PSNR (eng. *Peak Signal to Noise Ratio*). Prethodno navedenom metodom omogućeno je definiranje razine kvalitete, koja se odnosi na video signal. Naime, PSNR metoda izvršava postupak uspoređivanja, odnosno logaritamski omjer u koji uvrštava vršni iznos signala, koji je ekvivalent kvadratu koji se odnosi na najvišu moguću vrijednost dijela slike, te snagu šuma koja je ekvivalent srednjem iznosu kvadrata pogreške, koji nastaju između dijelova izvornog, promijenjenog, obnovljenog te standardiziranog slikovnog sadržaja. Rezultat prethodno navedenog logaritamskog omjera je ocjena, koja se odnosi na kvalitetu video signala, odnosno razinu promjenjivosti sadržaja koji se promatra, [71].

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

Na formuli (2) vidljivi su neophodni elementi logaritamskog omjera, koji su ključni za dobivanje rezultata kvalitete promatranog sadržaja primjenom PSNR metode. Naime, ta formula obuhvaća oznaku n , koja se odnosi na broj bitova koji su upotrijebljeni prilikom izvršavanja postupka kodiranja na izvornoj slici. Također, sadrži i oznaku srednje kvadratne pogreške, koja je označena sljedećim skupom slova MSE (eng. *Mean Square Error*).

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

Formulom (3), omogućeno je izračunavanje srednje kvadratne pogreške, odnosno MSE. Srednja kvadratna pogreška označava pogrešku, koja je nastala između originalnih dijelova slike x_i te kodiranih, odnosno izobličeni dijelova slike y_i . Oznaka n predstavlja broj bitova korištenih prilikom kodiranja izvorne slike. MSE predstavlja mjernu veličinu, koja pruža mogućnost definiranja razine kvalitete, koja se odnosi na rekonstruiranu, odnosno obnovljenu

sliku, za razliku od izvorne slike. Naime, ovom formulom omogućen je uvid u iznos srednje kvadratne pogreške, koja se odnosi na dva okvira ili dvije slike, [72].

Objektivne metode za određivanje kvalitete telekomunikacijske usluge ubrajaju i postupak, koji pruža mogućnost sličnosti sa strukturalnog aspekta, a poznatiji je i pod nazivom SSIM (eng. *Structural Similarity Index*). Prethodno navedeni indeks okarakteriziran je izrazito visokom razinom podudarnosti sa subjektivnim oblikom rezultata, koji se odnosi na izvršavanje postupka ocjenjivanja sadržaja slike. Naime, karakteristika ovog postupka je ta, što se uzima u obzir korisnikovo djelovanje, u kontekstu njegovog vizualnog sustava. Iz razloga što je takav, oblik sustava je okarakteriziran razinom osjetljivosti na izobličenja, odnosno promjene koje se tiču strukturalne informacije, kao i promjene koje su nastale unutar promatranog slikovnog sadržaja, a tiču se promjene kontrasta i promjene svjetlosti. Promjene koje se tiču svjetline i kontrasta na promatranom slikovnom sadržaju, kao i njegova razina kvalitete, može se dobiti postupkom koji obuhvaća mjerenje trideset struktura u sastavu, [73].

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

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \quad (5) \text{ parametar svjetline}$$

$$c(X, Y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \quad (6) \text{ parametar kontrasta}$$

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3} \quad (7) \text{ parametar strukturalne informacije}$$

Formula (4) odnosi se na izražavanje kvalitete promatranog slikovnog sadržaja posredstvom SSIM indeksa kvalitete, koji se zapravo izračunava postupkom uspoređivanja svakog od elemenata izvornog slikovnog sadržaja te izobličenog slikovnog sadržaja, što rezultira SSIM indeksom slike, odnosno mape. Oznaka x predstavlja originalne signale, dok y kodirane signale. U formulama (5), (6) i (7) oznake μ_x i μ_y predstavljaju sredstva izvorne i kodirane slike, a σ_x i σ_y predstavljaju standardno odstupanje svakog od signala te σ_{xy} predstavlja kovarijancu dviju slika. C_1 , C_2 i C_3 su konstante koje se za 8-bitnu sliku 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 $K_2 = 0,03$. U slučaju kada je $C_1 = C_2 = 0$, metrika se svodi na univerzalni indeks kvalitete. Kao što je vidljivo, indeks obuhvaća već prethodno navedene parametre, koji se odnose na razinu svjetlosti, razinu kontrasta te strukturalne informacije promatranog slikovnog sadržaja, a svaki od navedenih parametara posjeduje vlastite formule s ciljem postizanja željenih iznosa tih parametara, kako bi se mogao izračunati indeks kvalitete SSIM, [73].

Metrikom MSAD obuhvaćeno je testiranje filtera te kodeka. Njome je omogućeno izražavanje vrijednosti, koja se odnosi na srednju apsolutnu vrijednost u vidu komponenata, koje se odnose na boje u pojedinim referentnim, odnosno standardiziranim točkama slike, [74].

Također, postoji još jedna metrika, koja pruža mogućnost izvođenja postupka usporedbe razine zamućivanja između dviju slika, a poznatija je pod nazivom MSU Blurring Metric. Naime, rezultat ove metrike ukazuje na to da što je veći iznos metrike pojedine slike, ta slika posjeduje veću razinu zamućenja u odnosu na drugu sliku, [74].

6.2. Metode mjerenja i ocjenjivanja QoE-a

Prilikom promatranja iskustvene kvalitete također se koriste dvije primarne metode ocjenjivanja QoE-a, a to su subjektivna metoda i objektivna metoda. Bitni aspekt identifikacije QoE mjernih podataka, koji su mjerodavni za promatranu telekomunikacijsku uslugu i modeliranje, je uvidjeti na koji način utječu raznovrsni QoS mjerni podatci na spomenute QoE mjerne podatke. QoE mjerenje bavi se razmatranjem iskustva pojedinog krajnjeg korisnika pri različitim scenarijima, koji se tiču određene usluge ili konteksta, a njihova kombinacija tvori subjektivnu kvalitetu korisničkog opažanja.

Prilikom subjektivnog mjerenja kvalitete, najčešće se koristi srednja ocjena mišljenja krajnjih korisnika, dok se objektivno mjerenje temelji na matematičkim i usporednim metodama za generiranje kvantitativne mjere kvalitete usluge. Nadalje, za mjerenje kvalitete telekomunikacijske usluge s korisničkog aspekta, koristi se ispitivanje QoS-a kojeg doživljava krajnji korisnik, ispitivanje subjektivnog QoE-a te modeliranje kvalitete medija. Kada se u ovakav model ubroji objektivni QoE, koji se zasniva na tehničkim KPI, tada se dobiva ukupni QoE krajnjeg korisnika, [53].

Objedinjavanje subjektivnih QoE mjernih podataka vrši se na temelju rezultata, koji su dobiveni provedenim anketama na reprezentativnim uzorcima, a to pruža mogućnost detaljnog nadzora nad performansama tijekom kratkog ili dugog razdoblja te komparacije performansi na svim pretplatničkim kanalima. Postoje raznovrsne strategije za izbor potrebne vrste mjernih podataka za pomoć pri odabiru elemenata, koje će mjeriti u interakciji sa svojim korisnicima, te pronalazak načina za poboljšanje. Stoga, telekomunikacijski operatori najčešće primjenjuju zadovoljstvo korisnika, kao direktnu mjeru za ocjenjivanje razine zadovoljstva krajnjih korisnika, [18].

6.2.1. Subjektivne metode mjerenja QoE

Prilikom mjerenja iskustvene kvalitete krajnjeg korisnika, najboljom se pokazala primjena subjektivne metode mjerenja QoE-a. Razlog tome je što ta metoda pruža najbolji uvid u percepciju, točnije doživljaj, krajnjeg korisnika korištenom telekomunikacijskom uslugom. Naime, prilikom izvođenja ovog tipa mjerenja, bitno je kreirati anketna pitanja koja će biti okarakterizirana unaprijed isplaniranim setom pitanja o telekomunikacijskoj usluzi, namijenjenih za ocjenjivanje od strane korisnika. Nakon što unaprijed definirani broj ispitanika, točnije krajnjih korisnika, ocijeni korištenu telekomunikacijsku uslugu, definira se srednja ocjena od svih iznesenih ocjena, koja se direktno odnosi na ocjenu iskustvene kvalitete krajnjeg korisnika zaprimljenom telekomunikacijskom uslugom. U kontekstu subjektivne metode, izražena je ovisnost između subjektivnih rezultata te raznovrsnih čimbenika, u koje se ubrajaju određeni uvjeti promatranja. Prethodno navedena skupina uvjeta promatranja, obuhvaća primjerice izgled prostorije unutar koje se vrši promatranje, kao i osvjetljenje prostorije, kontrast promatranog sadržaja, visina koja se odnosi na promatrani slikovni sadržaj, udaljenost, u kontekstu promatranja, te raspoloženje samog ispitanika i brojni drugi, [75].

Nadalje, u subjektivnu metodu mjerenja iskustvene kvalitete krajnjeg korisnika ubrajaju se sljedeće metode, [76]:

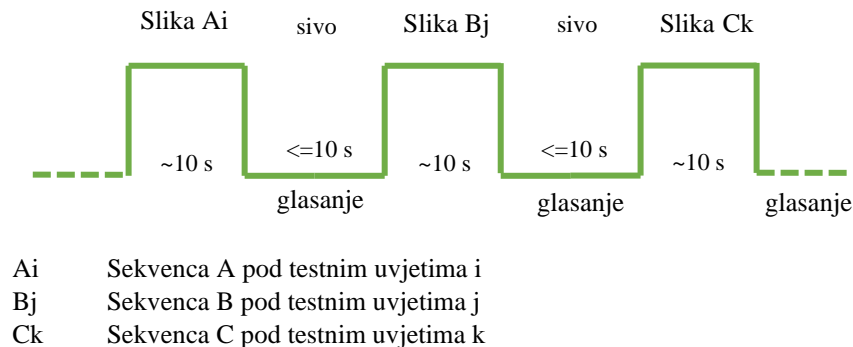
- SSCQS (eng. *Single Stimulus Continuous Quality Evaluation*), koja se odnosi na metodu, unutar koje se postupak mjerenja izvršava posredstvom jednog podražajnog postupka te apsolutne ocijene, koja se odnosi na kvalitetu promatranog slikovnog sadržaja.
- DDIS (eng. *Double Stimulus Impairment Scale*), koja se odnosi na metodu, unutar koje se postupak mjerenja izvršava posredstvom dva podražajna postupka te ocjene, koja se odnosi na izobličenje promatranog slikovnog sadržaja.
- DSCQS (eng. *Double Stimulus Continuous Quality Scale*), koja se odnosi na metodu, unutar koje se postupak mjerenja izvršava posredstvom dva podražajna postupka te ocjene, koja se odnosi na kvalitetu promatranog slikovnog sadržaja.
- ACR (eng. *Absolute Category Rating*), koja se odnosi na postupak, unutar kojeg se vrši apsolutno ocjenjivanje s kategorijskog aspekta.

Prilikom razmatranja prednosti i nedostataka subjektivne metode mjerenja iskustvene kvalitete krajnjeg korisnika, pružen je uvid u nedostatak, koji se tiče toga da se takva metoda ne može koristiti u realnim sustavima, zbog praktičnih razloga, koji se tiču njezinog dužeg vremenskog trajanja izvršavanja, kao i njezine složenosti te potrebi za pripremom mjernog područja. ITU je opisao postupke te načine, koji se tiču mjerenja prethodno navedene metode, te ih je standardizirao. Rezultat koji se tiče razine pouzdanosti mjerenja, moguće je dobiti uspoređivanjem rezultata dobivenih metodama objektivnog mjerenja, s aspekta njihove vjerodostojnosti, zajedno s rezultatima dobivenih subjektivnim metodama mjerenja. Nadalje, međunarodna telekomunikacijska unija, odnosno ITU, definirala je mogućnost kategorizacije subjektivne metode mjerenja kvalitete, koja se prema njemu može kategorizirati na praktičnu kategoriju te analitičku kategoriju. Naime, praktična kategorija, koja se odnosi na subjektivnu metodu mjerenja kvalitete, odnosi se na izvršavanje postupaka mjerenja nad cijelom kvalitetom ili nad samo pojedinim karakterističnim dijelovima kvalitete. Dok se analitička kategorija, koja se odnosi na subjektivnu metodu mjerenja kvalitete, odnosi se na princip mjerenja kod kojeg se određeni korisnički doživljaj kvalitete telekomunikacijske usluge može raspodijeliti odnosno analizirati, [77].

6.2.1.1. Metode koje se odnose na jednostruki podražaj

U skupinu metoda, koje se odnose na jednostruki podražaj, ubraja se metoda poznatija pod nazivom ACR, koja se osim metode namijenjene za apsolutnu kategorizaciju ocjena, još naziva i metoda jednostrukog podražaja. Naime, unutar ove metode vrši se zasebno prikazivanje te ocjenjivanje testiranih sekvenci, primjenom kategorične procijene. Metodom apsolutne kategorizacije ocjena definirano je da promatrači izvršavaju procjenu kvalitete prezentiranih sekvenci promatranog sadržaja iza svake prezentacije, koju promotre. Nadalje, vremenski period je manji ili iznosi deset sekundi, u kontekstu izvršavanja postupka ocjenjivanja, a taj vremenski period direktno ovisi o sadržaju, koji se prezentira krajnjem korisniku te se uzima u obzir za stalno vrijeme trajanja ocjenjivanja. Prema potrebi moguće je skratiti ili produžiti vremenski period trajanja sadržaja, koji se prezentira promatraču. Također, slici 9 moguće je

vidjeti prikaz vremenskih odsječaka, koji se odnose na prikaz sekvenci te postupak samog ocjenjivanja, [78].



Slika 9. Izvršavanje ACR metode

Izvor: [78]

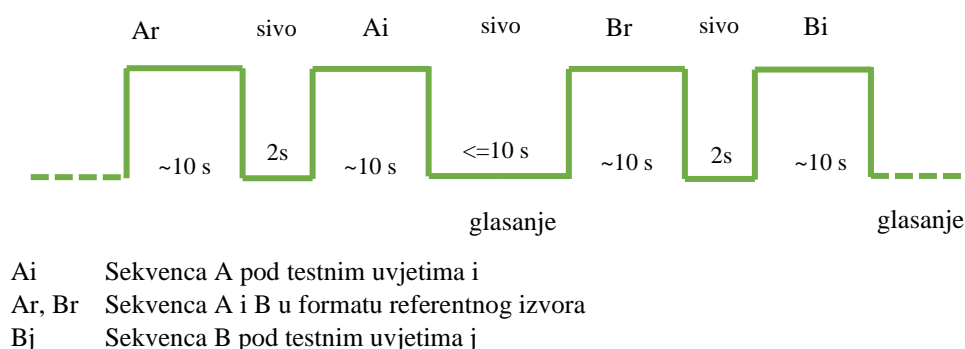
Promatračima prezentiranog sadržaja omogućeno je da ocijene od vrlo lošeg, lošeg, dobrog, vrlo dobrog do izvrsnog, ovisno o vlastitom doživljaju sadržaja. Prethodno navedene ocijene, koje su na izbor promatrača preoblikovane u ocijene od jedan do pet, kako bi se mogla izračunati srednja ocjena mišljenja, poznatija pod nazivom MOS (eng. *Mean Opinion Score*). Primjenom metode apsolutne kategorizacije, potrebno je uvrstiti neophodni broj ponavljanja, koji je postignut izvršavanjem procesa ponavljanja testiranih uvjeta u raznovrsnim točkama vremena.

Nadalje, postoji i metoda, koja se naziva metodom apsolutnog kategorijskog ocjenjivanja primjenom skrivene reference, odnosno ACR-HR (eng. *Absolute Category Rating with Hidden Reference*) metoda. Prethodno navedenu ocjenjivačku metodu karakterizira mogućnost zasebnog ocjenjivanja te prikazivanja testiranih sekvenci, koje ne ovise o kategorizacijskoj ljestvici. Jedini uvjet, koji je potreban za postojanje skrivene reference, kako stoji u punom nazivu ove metode, je referentna, odnosno mjerna verzija cijelog slijeda, kojeg je potrebno ispitati, kao i uključenost svakog neophodnog podražajnog testa unutar testne procedure. Nadalje, uzimaju se u obzir i različite srednje ocijene mišljenja, koje su poznatije pod nazivom DMOS (eng. *Difference Mean Opinion Score*), a prethodno navedene različite ocijene, koje se odnose na kvalitetu prezentiranog sadržaja, dobivaju se izračunavanjem, koje se vrši unutar vremena namijenjenog za analizu podataka, a u izvršavanje postupka računanja obzir se uzimaju adekvatne reference te testirane sekvence.

Stalno vrijeme ocjenjivanja odnosi se na vremensko trajanje, koje može biti manje od deset sekundi ili može trajati točno deset sekundi. Prezentirani sadržaj se skraćuje ili produljuje u ovisnosti o sadržaju, koji se odnosi na ispitni materijal. Prethodno navedenu metodu karakterizira nužnost, u vidu ocjenjivanja kvalitete prezentirane sekvence, koje se mora izvršavati nakon svakog prezentacijskog sadržaja. Ideja ove metode je da se koristi u kontekstu izvršavanja procesa ocjenjivanja nad video sadržajem, koji je već prethodno ocijenjen ocjenama vrlo dobar ili izvrstan, od strane osobe koja je stručnjak, [78].

6.2.1.2. Metode koje se odnose na dvostruki podražaj

Metoda dvostrukog podražaja DCR (eng. *Degradation Category Rating*), odnosno metoda ocijene degradiranih kategorija, odnosi se na ocjenu kvalitete, koja se zasniva na prezentaciji testnih sekvenci u obliku parova, pri čemu se izvorna referenca odnosi na primarni prikaz podražaja svakog od parova, dok se sekundarni podražaj s istog izvora prezentira unutar testiranog sustava. Na slici 10 vidljiv je vremenski odsječak prikaza podražaja, pri čemu ocjenjivanje mora biti manje ili jednako vremenskom trajanju od deset sekundi, u slučaju kada je definirano konstantno vrijeme trajanja ocjenjivanja. Nadalje, ovisno o sadržaju materijala, nad kojim se izvršava testiranje, trajanje prikazivanja tog sadržaja je smanjeno ili produženo. Također, ova metoda primjenjuje postupak ponavljanja identičnih testnih uvjeta za različite vremenske odsječke anketiranja, iz razloga da se dobije potrebna količina ponavljanja, [78].



Slika 10. Izvršavanje DCR metode

Izvor: [78]

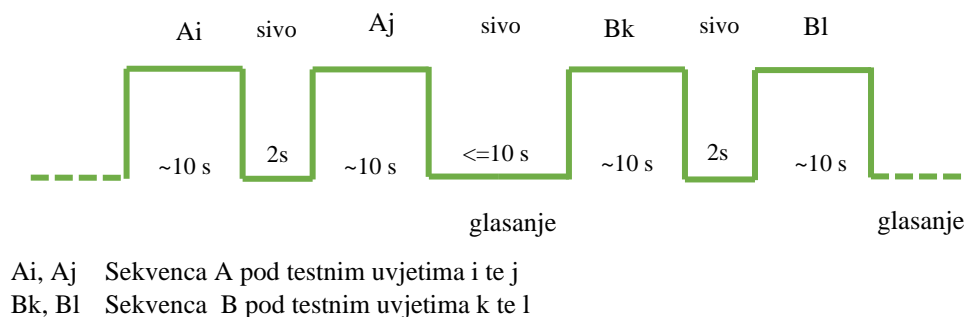
Na tablici 3 prikazana je skala ocjena, koja se primjenjuje prilikom korisničkog ocjenjivanja sadržaja, odnosno drugog podražaja, koji je pogoršan u odnosu na standardni podražaj. Može se primijetiti da je skala ocjena ista, kao i kod ocjenjivanja u sklopu QoS metoda.

Tablica 3. Skala ocjenjivanja u sklopu DCR metode

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

Izvor: [67]

Još jedna od metoda dvostrukog podražaja je metoda PC (eng. *Pair Comparison*), odnosno metoda parne usporedbe, koja se odnosi na prezentaciju sekvenci u obliku parova, koji su sačinjeni od identične sekvence, koja je prvobitno prikazana unutar sustava za ispitivanje, a zatim u drugom sustavu. Nadalje, kada se izvrše sve moguće kombinacije $n(n-1)$, tada se svi mogući parovi prezentiraju pomoću dva redoslijeda zavisno o sustavu, koji se bavi istraživanjem primjerice A, B, C pa dalje kombinacijama AB, BA, CA, itd. Nakon toga, vrši se prezentacija dva moguća redoslijeda, odnosno AB i BA, ovisno o najpoželjnijem elementu para, koji se tiče istraživanog scenarija, koji se primjenjuje u obliku temelja za procjenjivanje iza svakog pojedinog para, [78].



Slika 11. Izvršavanje PC metode

Izvor: [78]

Nadalje, slika 11 ukazuje na vremenski odsječak prikaza podražaja, pri čemu ocjenjivanje mora biti manje ili jednako vremenskom trajanju od deset sekundi, kada je definirano konstantno vrijeme ocjenjivanja. Naime, ovisno o sadržaju materijala, nad kojim se izvršava testiranje, trajanje prikazivanja tog sadržaja je smanjeno ili produženo. Također, prilikom korištenja ove metode, ponavljanja prikaza identičnih uvjeta u sklopu raznovrsnih parova se podrazumijeva, stoga nije nužno uzeti u obzir točan broj ponavljanja.

6.2.2. Komparacija metoda subjektivnog mjerenja QoE-a

Metode koje se odnose na subjektivno mjerenje QoE-a mogu se podijeliti na metode koje primjenjuju eksplicitne reference i na metode koje ne koriste eksplicitne reference. Metoda koja koristi prethodno navedene eksplicitne reference je DCR metoda, dok metode ACR, ACR-HR i PC ne koriste eksplicitne reference. Skupina metoda, koja ne koristi eksplicitne reference, ne ubraja ispitivanje transparentnosti i pouzdanosti pa se iz tog razloga izrazito važnim smatra sam odabir metode za subjektivno ispitivanje kvalitete. Nadalje, ovisno o izvornom signalu, ispitivanje pouzdanosti traži primjenu DCR subjektivne metode te predstavlja izrazito bitan čimbenik pri procjenjivanju sustava poput TV slike i HD formata s visokom razinom kvalitete. Također, prilikom izvršavanja postupka procjenjivanja sustava s izrazito visokom razinom kvalitete, mogu se koristiti i ostale subjektivne metode, ali se baš DCR metoda pokazala kao najbolja za procjenjivanje TV slike s izrazito visokom kvalitetom zahtijevane razine videokonferencije i video telefonije. U slučaju da korisnik primijeti pogreške prilikom korištenja takve vrste usluge, tada je ključno korisnikovo komentiranje u sklopu DCR skale, primjerice primjetno ili neprimjetno.

Prethodno navedena DCR metoda ima vrlo važnu ulogu, u kontekstu ispitivanja pouzdanosti, ovisno o izvornom signalu, kao i za vrijeme ispitivanja sustava s visokom razinom kvalitete, koji se tiču multimedijских usluga. Naime, u sklopu DCR skale postoji mogućnost komparacije sa standardnom razinom kvalitete te ocjenjivanje primjetnog ili neprimjetnog pogoršanja kvalitete. Nadalje, subjektivna metoda ACR označava vrlo dobro prilagođenu metodu namijenjenu za kvalifikacijska testiranja, iz razloga što se vrlo jednostavno i u kratkom vremenu može ugraditi i prikazati podražaje. ACR metoda smatra se najboljom metodom za izvedbu ispitivanja video sadržaja, koji se emitira uzastopno veći broj puta pri različitim scenarijima i uvjetima okruženja, [78].

Prilikom razmatranja ACR metode, odnosno metode automatske kategorizacije ocjena, i ACR-HR metode, odnosno metode apsolutnog kategorijskog ocjenjivanja s uključenom skrivenom sekvencom, omogućen je uvid u to da uz široki spektar prednosti, u vidu brzine te prezentacije kod ACR metode, metoda ACR-HR posjeduje još dodatni spektar prednosti. Jednu od ključnih razlika u prednosti prethodno navedenih dviju metoda, čini mogućnost uklanjanja doživljaja nastalog utjecajem videa iz subjektivnog načina ocjenjivanja. Rezultat prethodno definirane prednosti je sljedeći: smanjenje razine utjecaja, u kontekstu nekih čimbenika, koji se mogu odnositi primjerice na referentnu kvalitetu videa, na čiju razliku u konačnom rezultatu kvalitete mogu utjecati razlike u kvaliteti same kamere. Nadalje, ocjena videa od strane korisnika, u odnosu na ocjenu stručne kvalitete i drugo.

Nadalje, metoda parne usporedbe, koja je poznatija pod nazivom PC, koristi se onda kada se javi izražena potreba za metodom, koja ima značajnu razinu sposobnosti, u kontekstu izvođenja postupka diskriminacije. Prethodno navedeni postupak diskriminacije ima značajnu primjenu kada se u pitanje dovedu predmeti, koji posjeduju gotovo istu razinu kvalitete. Nadalje, karakteristika ove metode je izrazito dugotrajan vremenski period izvršavanja same metode, zbog toga što se vrši ocjenjivanje na iznimnom broju predmeta. Naime, metoda parne usporedbe koristi se samo onda kada su predmeti ocijenjeni gotovo istim ocjenama, dok se metoda ocijene degradiranih kategorija, DCR, i metoda apsolutnog kategorijskog ocjenjivanja sa skrivenom sekvencom, ACR, koriste samo onda kada su neophodne, [78].

7. Zaključak

Danas se iznimno povećao broj korisnika terminalnih uređaja, putem kojih pristupaju Internet mreži. Sukladno povećanju broja korisnika i samih terminalnih uređaja, iznimno se i povećala količina generiranih podataka, što rezultira pojavom novih zahtjeva, koji su postavljeni pred telekomunikacijske mreže. Naime, razvojem mobilnih mreža i pojavom novih zahtjeva pred te mreže, došlo je do razvoja nove mobilne mreže, odnosno mobilne mreže pete generacije. 5G mobilna mreža dosta se razlikuje od prethodnih mobilnih mreža. Ona će predstavljati evoluciju, u kontekstu širokopojasne mreže, ali ujedno će biti i prva mreža, koja će pružati nove i inovativne uslužne mogućnosti u cijelosti. To znači da će mobilna mreža 5G krajnjim korisnicima osigurati iznimno velike brzine prijenosa podataka pri također iznimno povećanoj mobilnosti. Nadalje, mobilna mreža pete generacije, u budućnosti će omogućiti povezivanje svih mogućih uređaja u jedan jedinstven sustav, koji se naziva Internet stvari. Također, zbog svoje arhitekture, koja omogućava dijeljenje mreže, mobilna mreža 5G biti će usmjerena isključivo na krajnjeg korisnika, te će svaki dio mreže pružati usluge pojedinoj skupini krajnjih korisnika, na osnovu njihovih zahtjeva i želja. Mobilna mreža 5G pružit će raznolike nove mogućnosti krajnjim korisnicima kao što su: poboljšanja u kontekstu performansi mreže, povećanje kapaciteta cjelokupne mreže, smanjenje vremena čekanja, povećanje razine mobilnosti, sigurnosti i pouzdanosti mreže.

Nadalje, kako bi navedena mobilna mreža 5G zadovoljila novopostavljene zahtjeve i izazove, vrlo bitan učinak imaju pojam kvalitete usluge (QoS) i iskustvene kvalitete (QoE). Kvaliteta usluge odnosi se na tehnički aspekt, odnosno udruženi efekt svih mogućnosti telekomunikacijskih usluga, koje rezultiraju izražavanjem razine zadovoljstva krajnjeg korisnika zaprimljenom telekomunikacijskom uslugom. Što je bolja kvaliteta usluge, to su krajnji korisnici zadovoljniji s uslugom te će ju htjeti i dalje koristiti, što je zapravo u interesu telekomunikacijskim operatorima. Naime, QoS se može promatrati s objektivnog i subjektivnog stajališta. Kada se govori o objektivnom promatranju, tada se to odnosi na promatranje određenih parametara kvalitete usluge, kao što su: kašnjenje, varijacije kašnjenja, gubitci paketa i propusnost. Kada su svi prethodno navedeni parametri zadovoljeni, tada će i kvaliteta usluge biti dobra. Također, osim parametara, postoje i razni QoS pokazatelji, koji također svojim djelovanjem utječu na kvalitetu same usluge, koja se isporučuje krajnjim korisnicima.

Osim kvalitete usluge, spomenut je i pojam iskustvene kvalitete. QoE odnosi se na subjektivnu razinu zadovoljstva krajnjih korisnika, na osnovu njihove percepcije i doživljaja korištene telekomunikacijske usluge. Ovaj pojam je izrazito bitan, jer operatori kreiraju i isporučuju usluge upravo krajnjim korisnicima, pri čemu ostvaruju svoju primarnu zaradu. Ukoliko korisnik nije zadovoljan isporučenom uslugom, on će ju prestati koristiti i tada dolazi do financijskih gubitaka za telekomunikacijske operatore, kao i gubitci klijentele. Kako do toga ne bi došlo, iznimno je važno proučavati subjektivno iskustvo krajnjih korisnika te na temelju njihovih komentara i zahtjeva, korigirati sve probleme, koji se javljaju prilikom isporuke usluga. Još jedan od problema koji se pojavljuje je taj što korisnici usporedno s razvojem novih usluga, od njih još više očekuju i postavljaju još veće zahtjeve. QoE također posjeduje određene

pokazatelje i pruža mogućnost vrednovanja, što će koristiti prilikom mjerenja QoE-a, radi rješavanja prethodno navedenog problema.

Kako bi se iznimna kvaliteta usluge i zadovoljstvo krajnjih korisnika održalo, potrebno je provoditi raznovrsna QoS i QoE mjerenja. Mjerenja, koja se tiču kvalitete usluge, mogu biti subjektivne ili objektivne prirode. Subjektivne metode tiču se isključivo subjektivnog mišljenja i ocjenjivanja telekomunikacijskih usluga od strane krajnjih korisnika. Neke od subjektivnih QoS metoda su MOS, DSCQS, itd. Druga skupina QoS metoda su objektivne metode u koje se ubrajaju: PEAQ, PESQ, PSNR, itd. Kada se govori o QoE metodama mjerenja, tada postoje samo subjektivne metode, iz razloga što sam naziv pojma kaže, to je iskustvena kvaliteta. Korisnici koriste usluge, što znači da ako oni nisu zadovoljni i nemaju dobro iskustvo s njima, tada ni usluge neće biti dobre. Stoga, postoji nekoliko subjektivnih metoda za mjerenje QoE-a, a to su: SSCQS, DDIS, DSCQS, ACR, itd., koje su opisane u završnom poglavlju, kao i QoS metode. Prilikom izvođenja nekih od metoda mjerenja, izvodi se i ocjenjivanje telekomunikacijskih usluga od strane krajnjih korisnika, što čini ključan segment.

Uz sve prethodno navedeno, implementacijom mobilne mreže 5G, otvaraju se i nove mogućnosti u sklopu razvoja novih aplikativnih rješenja i pripadajućih slučajeva uporabe. Određene su neke skupine aplikacija, koje će biti od velikog značaja za korištenje u sklopu mobilne mreže pete generacije. U prethodno navedene aplikacije pripadaju aplikacije koje su namijenjene za autonomna vozila, Industriju 4.0, virtualnu i proširenu stvarnost, zdravstvo, pametna okruženja te koncept Internet svega. Svaka od prethodno navedenih skupina aplikacija postavlja zasebne zahtjeve i izazove pred mobilnu mrežu 5G. Naime, u ovom radu uspoređeni su i grafički opisani samo neki od bitnih zahtjeva, za svaku pojedinu vrstu aplikativnog rješenja.

Literatura

- [1] Jovović I., Forenbacher I., Periša M. *Masive Machine-Type Communications: An Overview and Perspectives Towards 5G*. Odsjek za informacijsko-komunikacijski promet. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2015.
- [2] *We're building our network to deliver the full potential of 5G. Are you ready?*. Verizon. Preuzeto s: <https://www.verizonwireless.com/business/articles/business/5g-network-performance-attributes/>. [Pristupljeno: 27. 03. 2020.]
- [3] *Introducing 5G technology and networks (definition, use cases and rollout)*. Thales. 2020. Preuzeto s: <https://www.thalesgroup.com/en/markets/digital-identity-and-security/mobile/inspired/5G>. [Pristupljeno: 01. 06. 2020.]
- [4] Stamenković S. *Heterogene mobilne mreže*. Svijet telekomunikacija. Preuzeto s: <http://telekomsvet.blogspot.com/2013/03/heterogene-mobilne-mreze.html>.. [Pristupljeno: 27. 03. 2020.]
- [5] Beuk A. *Tehnike višestrukog pristupa za bežične komunikacije*, Završni rad. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2015.
- [6] *Connectivity: Wireless & Wired*. Electronicsnotes. Preuzeto s: <https://www.electronic-notes.com/articles/connectivity/>. [Pristupljeno: 27. 03. 2020.]
- [7] *Mobile networking: 1G to 4G*. Jisc. Preuzeto s: <https://community.jisc.ac.uk/library/advisory-services/mobile-networking-1g-4g>.. [Pristupljeno 27. 03. 2020.]
- [8] *What Is the Cloud? | Cloud Definition*. Cloudflare. Preuzeto s: <https://www.cloudflare.com/learning/cloud/what-is-the-cloud/>. [Pristupljeno: 30. 03. 2020.]
- [9] *About the 5G PPP*. 5G PPP. Preuzeto s: <https://5g-ppp.eu/>. [Pristupljeno: 30. 03. 2020.]
- [10] Ngo H. Q. *Massive MIMO: Fundamentals and System*. 2015. Preuzeto s: <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:772015/FULLTEXT01.pdf>.. [Pristupljeno: 30. 03. 2020.]
- [11] 5G PPP Architecture Working Group. *View on 5G Architecture*. 2019. Preuzeto s: https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2019/07/5G-PPP-5G-Architecture-White-Paper_v3.0_PublicConsultation.pdf. [Pristupljeno: 01. 06. 2020.]
- [12] *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: 30. 03. 2020.]
- [13] Rodriguez J. *Fundamentals of 5G mobile networks*. John Wiley & Sons. Ujedinjeno Kraljevstvo; 2015.
- [14] Prasad R. *5G: 2020 and Beyond*. River publishers. Danska; 2014.

- [15] *Wireless Cellular Networks. Research.* Preuzeto s: <http://mforkanuddin.buet.ac.bd/Research.htm>. [Pristupljeno: 30. 03. 2020.]
- [16] Nokia. *5G New Radio Network.* Preuzeto s: <https://onestore.nokia.com/asset/205407>. [Pristupljeno: 30. 03. 2020.]
- [17] Gacanin H., Wagner M. *Artificial Intelligence Paradigm for Customer Experience Management in Next-Generation Networks: Challenges and Perspectives.* .Nokia Bell Labs. *IEEE Magazine.*
- [18] Banović-Čurguz N., Ilišević D. *Mapping of QoS/QoE in 5G Networks.* Opatija: MIPRO; 2019.
- [19] 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/. [Pristupljeno: 04. 04. 2020.]
- [20] Matulin M. *Procjena iskustvene kvalitete usluge prijenosa videosadržaja strujanjem.* Doktorska disertacija. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2014.
- [21] 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_SRND/QoS-SRND-Book/QoSIntro.html. [Pristupljeno: 04. 04. 2020.]
- [22] *ISO 8402 quality management and quality assurance.* ISO. 1994.
- [23] *ISO 9000 quality management.* ISO. 2000.
- [24] *I. E.800, Terms and definitions related to quality of service and network performance including dependability.* ITU. 1994.
- [25] *I. X.902, Information technology - Open Distributed Processing - Reference Model: Foundations.* ITU. 1995.
- [26] 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: 04. 04. 2020.]
- [27] *What is bandwidth?.* Paessler. Preuzeto s: <https://www.paessler.com/it-explained/bandwidth>. [Pristupljeno: 04. 04. 2020.]
- [28] Mitchell B. *What is Latency?.* Lifewire. 2019. Preuzeto s: <https://www.lifewire.com/latency-on-computer-networks-818119>. [Pristupljeno: 04. 04. 2020.]
- [29] *Network latency and its effect on application performance.* Noction. 2015. Preuzeto s: <https://www.noction.com/blog/network-latency-effect-on-application-performance>. [Pristupljeno: 04. 04. 2020.]

- [30] *What is Packet Loss?*. Forcepoint. Preuzeto s: <https://www.forcepoint.com/cyber-edu/packet-loss>. [Pristupljeno: 04. 04. 2020.]
- [31] Frenzel L. *Handbook of Serial Communications Interfaces (1st Edition). Testing considerations. Bit Error Rate*. Newnes; 2016.
- [32] *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-packet-voice.html>. [Pristupljeno: 04. 04. 2020.]
- [33] Schatz R., Hoßfeld T., Janowski L., Egger S. *Data Traffic Monitoring and Analysis: From measurement, classification and anomaly detection to Quality of experience. From Packets to People: Quality of Experience as New Measurement Challenge*. svez. 7754. Springer Berlin Heidelberg; 2013.
- [34] *Recommendation ITU-T G.100 - Vocabulary for performance and quality of service*. ITU. 2006.
- [35] *Human Factors (HF); Quality of Experience (QoE) requirements for real-time communication services*. ETSI. 2010.
- [36] Callet P. L., Möller S., Perkis A. *Qualinet white paper on definitions of quality of experience*. Switzerland: Lausanne; 2013.
- [37] Guo X., Pattinson C. *Quality of Service Requirements for Multimedia Communications*. Staffordshire University; 1997.
- [38] *Recommendation ITU-T G.1011 - Reference guide to quality of experience assessment methodologies*. ITU. 2013.
- [39] Gardlo B., Ries M., Hossfeld T. *Impact of screening technique on crowdsourcing qoe assessments. 22nd International Conference. IEEE*. Radioelektronika; 2012.
- [40] Chen K. T., Wu C. C., Chang Y. C., Lei C. L. *A crowdsourcable qoe evaluation framework for multimedia content. Proceedings of the 17th ACM international conference on Multimedia*. 2009.
- [41] *Recommendation ITU-T P.800.1 - Mean Opinion Score (MOS) terminology*. ITU. 2006.
- [42] *Recommendation ITU-T G.1080 - Quality of experience requirements for IPTV services*. ITU. 2008.
- [43] Alben L. *Quality of experience: defining the criteria for effective interaction design. Interaction*. 1996; 3(3): 11-15.
- [44] Hassenzahl M., Tractinsky N. *User experience-a research agenda. Behaviour & Information Technology*. 2006; 25: 91-97.
- [45] *Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Humancentred design for interactive systems*. ISO. 2010.

- [46] Law E. L. C., Roto V., Hassenzahl M., Vermeeren A. P., Kort J. *Understanding, scoping and defining user experience: a survey approach. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems.* ACM. 2009.
- [47] Mellouk A., Hoceini S., Tran H. A. *Quality of Experience for Multimedia.* John Wiley & Sons. 2013.
- [48] Monserrat J. F., Alepuz I., Cabrejas J., Osa V., López J., García R., Domenech M. J., Soler V. *Towards user-centric operation in 5G networks. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking.* 2016.
- [49] Chen C. M. *Use cases and challenges in telecom big data analytics.* Preuzeto s: <https://www.cambridge.org/core/>. [Pristupljeno: 07. 04. 2020.]
- [50] Fallgren M., Timus B. *Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society (METIS). Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system.* Europska unija. 2013.
- [51] Kusume K., fallgren M. *Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society (METIS). Updated scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system with recommendations for future investigations.* Europska unija. 2015.
- [52] Masood H., Rizvi S., Iqbal B. M. *An overview of QoE for 5G networks. ITEE Journal.* 2016; 5(6).
- [53] Alreshoodi M., Woods J. *Survey on QoE/QoS correlation models for multimedia services. International Journal of Distributed and Parallel Systems.* 2013; 4(3).
- [54] Nokia. *Reinvent Digital Services with Nokia's digital design.* 2018. Preuzeto s: <https://onestore.nokia.com/asset/205313..> [Pristupljeno: 10. 04. 2020.]
- [55] Huawei. *5G Unlocks A World of Opportunities.* Kina: Labs Wireless; 2017.
- [56] *The road to 5G: drivers, applications, requirements and technical development.* GSA; 2015. Preuzeto s: https://www.huawei.com/minisite/5g/img/GSA_the_Road_to_5G.pdf .. [Pristupljeno: 10. 04. 2020.]
- [57] Smit J. *Industry 4.0.* Europska Unija. 2016.
- [58] Wee D., Kelly R., Cattell J., Breunig M. *Industry 4.0. How to navigate digitization of the manufacturing sector.* McKinsey & Company; 2015.
- [59] Lukšić I. *Koncept kooperativnog prikupljanja podataka u području putnog informiranja.* Diplomski rad. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u zagrebu; 2017.
- [60] *Potrošači očekuju stapanje stvarnosti.* Ericsson. 2017. Preuzeto s: <https://www.ericsson.hr/20170628-stopljena-stvarnost..> [Pristupljeno: 11. 04. 2020.]

- [61] *Kako će 5G utjecati na transportnu industriju*. AT&T Business. 2018. Preuzeto s: <https://www.business.att.com/learn/tech-advice/how-5g-will-impact-the-transportation-industry.html>. [Pristupljeno: 16. 04. 2020.]
- [62] Mitchell S., Villa N., Stewart-Weeks M., Lange A. *The Internet of Everything for Cities*, Cisco. Cisco. 2015. Preuzeto s: https://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/industries/docs/gov/everything-for-cities.pdf. [Pristupljeno: 16. 04. 2020.]
- [63] Berger J. *QoS and QoE in 5G networks - Evolving applications and measurements*. 2019. Preuzeto s: https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/qos/201908/Documents/Jens_Berger_Presentation_1.pdf. [Pristupljeno: 20. 04. 2020.]
- [64] 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.
- [65] *Mean Opinion Score (MOS) terminology*. ITU-T P.800.1.
- [66] *Subjective performance assessment of telephone-band and wideband digital codecs*. ITU-T P.380.
- [67] *Audio codec*. Snipview. Preuzeto s: http://www.snipview.com/q/Audio_codec. [Pristupljeno: 20. 04. 2020.]
- [68] *Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures*. ITU-R BT.500-8.
- [69] 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.
- [70] *PESQ*. PETICOM. Preuzeto s: <https://www.opticom.de/technology/pesq.php>. [Pristupljeno: 20. 04. 2020.]
- [71] *PSNR*. MathWorks. Preuzeto s: <https://www.mathworks.com/help/vision/ref/psnr.html>. [Pristupljeno: 21. 04. 2020.]
- [72] *What are Mean Squared Error and Root Mean Squared Error?*. Vernier. 2018. Preuzeto s: <https://www.vernier.com/til/1014>. [Pristupljeno: 21. 04. 2020.]
- [73] 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.
- [74] *MSU Quality Measurement Tool: Metrics information*. Everything about the data compression. Preuzeto s: http://www.compression.ru/video/quality_measure/info.html. [Pristupljeno: 22. 04. 2020.]

- [75] Winkler S., Mohandas P. *The Evolution of Video Quality Measurement: From PSNR to Hybrid Metrics*. *IEEE Trans.* 2008; 660-668.
- [76] Corriveau P. *Video Quality Testing. Digital Video Image Quality and Perceptual Coding*. CRC Press; 2006: 125-153
- [77] Jekosch U. *Voice and Speech Quality Perception*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2005.
- [78] *Subjective video quality assessment methods for multimedia applications*. ITU. 2008.
- [79] Burazer B. *Budućnost mobilnih komunikacija i izazovi normizacije*. Hrvatski zavod za norme. Preuzeto s: <https://www.hzn.hr/UserDocsImages/pdf/EIS-Budu%C4%87nost%20mobilnih%20komunikacija%20i%20izazovi%20normizacije.pdf>. [Pristupljeno: 27. 03. 2020.]
- [80] Warren D., Calum D. *Understanding 5G: Perspectives on future technological*. GSMA Intelligence. 2014.
- [81] *Handover (HO)*. Techopedia. 2013. preuzeto s: <https://www.techopedia.com/definition/19726/handover-ho..> [Pristupljeno: 27. 03. 2020.]
- [82] *t2mh*. t2mh.com. Preuzeto s: <http://ww1.t2mh.com/?subid1=9e1fc4c2-6dca-11ea-b749-aea40acf6721..> [Pristupljeno: 27. 03. 2020.]
- [83] *1G: Analog Transmission*. Flylib.com. Preuzeto s: https://flylib.com/books/en/2.566.1/1g_analog_transmission.html. [Pristupljeno: 27. 03. 2020.]
- [84] Mrvelj Š. *Pokretne ćelijske mreže 2. i 3. generacije*. Auditorna predavanja. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2017.
- [85] Muštra M. *Mobilne komunikacije*. Auditorna predavanja. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2017.
- [86] *LTE network architecture*. Tutorialspoint. Preuzeto s: https://www.tutorialspoint.com/lte/lte_network_architecture.htm.. [Pristupljeno: 27. 03. 2020.]
- [87] *3G UMTS network architecture*. Electronicsnotes. Preuzeto s: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/3g-umts/network-architecture.php..> [Pristupljeno: 27. 03. 2020.]
- [88] Polese M. *5G network architecture as illustrated in Public Safety Perspective*. ResearchGate. Preuzeto s: https://www.researchgate.net/figure/5G-network-architecture-as-illustrated-in-Public-Safety-Perspective-A-5G-Worldview-by_fig1_321064307. [Pristupljeno: 30. 03. 2020.]
- [89] Frenzel L. *Handbook of Serial Communications Interfaces (1st Edition). Testing considerations. Bit Error Rate*. Newnes; 2016: 229-232

- [90] Ericsson. *Ericsson radi na standardizaciji 5G sustava*. IT Biz Crunch. 2015. Preuzeto s: <https://www.itbizcrunch.com/index.php/objave/item/830-ericsson-radi-na-standardizaciji-5gsustava..> [Pristupljeno: 16. 04. 2020.]
- [91] *1G vs. 2G vs. 3G vs. 4G vs. 5G*. Net - informations.com. Preuzeto s: <http://net-informations.com/q/diff/generations.html?fbclid=IwAR2aTKl4ajQrm6TQ0j1c7puC9bgKFtcRPaLZOOqpehe5tbxIyAGdziqyQ3E>. [Pristupljeno: 04. 06. 2020.]

Popis kratica

3GPP	The 3rd Generation Partnership Project
ACR	Absolute Category Rating
ACR-HR	Absolute Category Rating with Hidden Reference
BER	Bit Error Rate
CDMA	Code-division multiple access
DCR	Degradation Category Rating
DDIS	Double Stimulus Impairment Scale
DMOS	Difference Mean Opinion Score
DSCQS	Double Stimulus Continuous Quality Scale
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FDMA	Frequency-division multiple access
GSM	Global System for Mobile Communication
ISO	International Standards Organization
ITU	International Telecommunication Union
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	Long Term Evolution – Advanced
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MOS	Mean Opinion Score
MSE	Mean Square Error
NMT	Nordic Mobile Telephony
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing
OTT	Over the Top
PAQM	Perceptual Audio Quality Measure
PC	Pair Comparison
PESQ	Perceptual Evaluation of Speech Quality
PSNR	Peak Signal to Noise Ratio
SLA	Service Level Agreement
SSCQS	Single Stimulus Continuous Quality Evaluation
SSIM	Structural Similarity Index

TDMA Time-division multiple access
UMTS Universal Mobile Telecommunication System

Popis slika

Slika 1. Očekivanja koja su postavljena pred 5G mrežu	3
Slika 2. Arhitektura 5G mobilne mreže	7
Slika 3. Čelije u 5G mobilnoj mreži	9
Slika 4. Rješenja implementacije 5G mobilne mreže	10
Slika 5. QoS parametri.....	15
Slika 6. 5G KPI-QoS-QoE model preslikavanja	29
Slika 7. Odnos tehničkog sloja, KPI/QoS i QoE modela.....	41
Slika 8. Subjektivna metoda mjerenja DSCQS	43
Slika 9. Izvršavanje ACR metode.....	48
Slika 10. Izvršavanje DCR metode.....	49
Slika 11. Izvršavanje PC metode	50

Popis tablica

Tablica 1. Usporedba mobilnih mreža od prve do četvrte generacije	5
Tablica 2. Skala za ocjenjivanje kvalitete usluge	42
Tablica 3. Skala ocjenjivanja u sklopu DCR metode	49

Popis grafikona

Grafikon 1. Pregled rasta brzine prijenosa podataka kod mobilnih mreža	4
Grafikon 2. Odnos između QoS poremećaja i vrijednosti QoE-a.....	27
Grafikon 3. Zahtjevi koje aplikacije za automatizaciju industrije zahtijevaju od 5G mreže ..	32
Grafikon 4. Zahtjevi koje aplikacije za autonomna vozila zahtijevaju od 5G mreže	34
Grafikon 5. Zahtjevi koje aplikacije za virtualnu i proširenu stvarnost zahtijevaju od 5G mreže	35
Grafikon 6. Zahtjevi koje aplikacije za zdravstvo zahtijevaju od 5G mreže	36
Grafikon 7. Zahtjevi koje aplikacije za pametne gradove zahtijevaju od 5G mreže	38