

Analiza zahtijevanih performansi za 5G aplikacije i slučajeve uporabe u različitim područjima primjene

Grabovac, Blaženka

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:119:183667>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-16**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Blaženka Grabovac

**ANALIZA ZAHTIJEVANIH PERFORMANSI ZA 5G
APLIKACIJE I SLUČAJEVE UPORABE U RAZLIČITIM
PODRUČJIMA PRIMJENE**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**ANALIZA ZAHTIJEVANIH PERFORMANSI ZA 5G
APLIKACIJE I SLUČAJEVE UPORABE U RAZLIČITIM
PODRUČJIMA PRIMJENE**

**REQUIRED PERFORMANCE ANALYSIS FOR 5G
APPLICATIONS AND USE CASES IN VARIOUS
APPLICATION AREAS**

Mentor: prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Student: Blaženka Grabovac

JMBAG: 0135235867

Zagreb, rujan 2020.

ANALIZA ZAHTIJEVANIH PERFORMANSI ZA 5G APLIKACIJE I SLUČAJEVE UPORABE U RAZLIČITIM PODRUČJIMA PRIMJENE

SAŽETAK

Cilj ovog diplomskog rada je omogućiti detaljan uvid u analizu, koja se odnosi na performanse za inovativnu skupinu aplikativnih rješenja te pripadajućih slučajeva uporabe, u kontekstu raznovrsnih područja primjene mobilne mreže pete generacije. Naime, izvršeno je definiranje mogućih izvedbi arhitekture, prethodno navedene mobilne mreže, kao i definiranje neizostavnih elemenata, koji čine potpuni ekosustav cjelokupne 5G mobilne mreže. Nadalje, unutar ovog diplomskog rada analizirane su nove skupine aplikativnih rješenja, koje se očekuju unutar 5G mobilne mreže, zajedno s pripadajućim slučajevima uporabe. Za svako pojedino aplikativno rješenje, koje se očekuje, iznijeti su i zahtjevi koje je nužno zadovoljiti u cilju razvoja aplikacija. Također, izvršeno je neophodno definiranje parametara kvalitete usluge, kao i iskustvene kvalitete za prethodno navedene aplikacije, slučajeve uporabe te usluge, koje čine sastavni dio 5G mobilne mreže.

KLJUČNE RIJEČI: 5G mreža; 5G ekosustav; 5G aplikacije; 5G slučajevi uporabe; klase korisnika; kvaliteta usluge; iskustvena kvaliteta

SUMMARY

This thesis aims to provide a detailed insight into the analysis, which relates to performance for innovative groups of application solutions and other related use cases, in the context of various areas of use of the fifth generation mobile network. Namely, defining possible implementations of the architecture was executed regarding the previously mentioned mobile network, as well as defining unavoidable elements, which form a complete ecosystem of the entire 5G mobile network. Furthermore, within this thesis, new groups of application solutions, expected within the 5G mobile network were analyzed, along with the corresponding use cases. For each expected individual application solution, the requirements that need to be fulfilled in the aim of applications' development, were presented. Also, the necessary definition of the Quality of Service parameters, as well as Quality of Experience for the previously mentioned applications, use cases of the service, which are an integral part of the 5G mobile network.

KEY WORDS: 5G network; 5G ecosystem; 5G applications; 5G use cases; user classes; Quality of Service; Quality of Experience

Sadržaj

| | | |
|----------|--|----|
| 1. | Uvod..... | 1 |
| 2. | Tehničke značajke mobilne mreže pete generacije | 3 |
| 2.1 | Značajke mobilnih mreža od 1. do 4. generacije..... | 3 |
| 2.1.1 | Prva generacija mobilnih mreža | 3 |
| 2.1.2 | Druga generacija mobilnih mreža | 4 |
| 2.1.3 | Treća generacija mobilnih mreža | 6 |
| 2.1.4 | Četvrta generacija mobilnih mreža | 7 |
| 2.2 | Arhitektura mobilne mreže pete generacije (5G) | 8 |
| 2.3 | Mobilna mreža pete generacije kao samoorganizirajuća mreža..... | 13 |
| 3. | Ekosustav 5G mobilne mreže..... | 15 |
| 3.1 | Korisnici mobilne mreže pete generacije | 16 |
| 3.2 | Korisnički terminalni uređaji mobilne mreže pete generacije..... | 18 |
| 3.3 | Značajke mobilne mreže pete generacije..... | 19 |
| 3.4 | Operatori i davatelji usluge mobilne mreže pete generacije..... | 19 |
| 3.5 | Sadržaji koji se isporučuju krajnjim korisnicima u mobilnoj mreži pete generacije. | 20 |
| 4. | Značajke prometnih zahtjeva postojećih i novih aplikacija pojedine klase korisnika | 22 |
| 4.1. | Definicija usluge u 5G mobilnoj mreži | 22 |
| 4.2. | Definicija aplikacija i slučajeva uporabe u 5G mobilnoj mreži | 24 |
| 4.2.1. | Aplikacije koje se odnose na virtualnu i proširenu stvarnost..... | 27 |
| 4.2.2. | Aplikacije koje se odnose na autonomna vozila | 29 |
| 4.2.3. | Aplikacije koje se odnose na automatiziranu industriju..... | 32 |
| 4.2.4. | Aplikacije koje se odnose na zdravstvo | 35 |
| 4.2.5. | Aplikacije koje se odnose na pametne gradove | 37 |
| 4.2.6. | Aplikacije koje se odnose na Internet svega | 39 |
| 5. | Parametri kvalitete usluge i iskustvene kvalitete za nove usluge, aplikacije i slučajeve uporabe | 42 |
| 5.2. | Kvaliteta usluge (QoS) | 44 |
| 5.2.1. | Parametri kvalitete usluge | 45 |
| 5.2.1.1. | Gubici paketa | 45 |
| 5.2.1.2. | Kašnjenje..... | 46 |
| 5.2.1.3. | Varijacije kašnjenja..... | 47 |
| 5.2.1.4. | Propusnost..... | 47 |
| 5.2.2. | Pokazatelji kvalitete usluge | 48 |
| 5.3. | Iskustvena kvaliteta (QoE) | 49 |

| | |
|---|----|
| 5.3.1. Vrednovanje iskustvene kvalitete..... | 50 |
| 5.3.2. Pokazatelji iskustvene kvalitete | 52 |
| 5.4. Odnos kvalitete usluge i iskustvene kvalitete..... | 53 |
| 6. Zaključak..... | 55 |
| Literatura | 57 |
| Popis kratica | 65 |
| Popis slika | 67 |
| Popis tablica | 68 |
| Popis grafikona..... | 69 |

1. Uvod

U današnje vrijeme ljudima je nezamislivo provesti dan bez primjene vlastitih terminalnih uređaja. Cjelokupan telekomunikacijski razvoj započeo je razvojem mobilnih mreža, koje su rezultirale značajnim napretkom, u kontekstu izvršavanja komunikacije. Sve je započelo razvojem mobilnih mreža, koje su svoju prvotnu svrhu imale u vidu izvršavanja klasičnih telefonskih komunikacija. Daljnjim razvojem mobilnih mreža, omogućio se pristup Internet mreži, koja je svojim korisnicima otvorila vrata sasvim novom svijetu. Uvođenjem Internet mreže u svakodnevnu uporabu krajnjih korisnika, rezultiralo je značajnim promjenama u njihovim svakodnevnim životima. Tijekom određenog vremena korištenja Internet mreže, korisnici su postali nezasitni zahtjevima koje su iznosili te postavljali pred takvu vrstu mreže, u cilju poboljšanja.

Nadalje, razvojem mobilnih mreža, koje su pružale mogućnost pristupa Internet mreži, imao je značajan utjecaj na cjelokupno ljudsko društvo. Korisnici su Internet mrežu počeli primjenjivati svakodnevno, kako u poslovnom, tako i u privatnom okruženju. Sve veći broj korisnika prebacio se na izvršavanje svakodnevnih aktivnosti, posredovanjem Internet mreže. Iako je postojanje Internet mreže rezultiralo brojnim prednostima za krajnje korisnike, oni su nakon svakodnevnog korištenja Internet mreže iznosili sve veći broj zahtjeva, u kontekstu dodatnih poboljšanja Internet mreže, čime je uslijedio razvoj novih mobilnih mreža kroz generacije. Prethodno navedeni zahtjevi, ticali su se prvenstveno povećanja brzine prijenosa podataka, a zatim povećanja razine propusnosti mreže, kao i njezine pouzdanosti te sigurnosti. Ti zahtjevi su posljedica iznimno velike količine podataka, koji se počeo generirati Internet mrežom. Bitan aspekt mobilne mreže je i prethodno naveden zahtjev za povećanjem razine pouzdanosti, zbog toga što korisnici putem Internet mreže prenose povjerljivi podatci, kao i vlastite podatke. Zbog toga je potrebno odgovoriti na sve zahtjeve postavljene, od strane krajnjih korisnika, u cilju poboljšanja cjelokupne Internet mreže.

Također, kao posljedica prethodno navedenih zahtjeva, smatra se i razvoj mobilne mreže pete generacije. Pred tu mobilnu mrežu postavljena su iznimno velika očekivanja, koja se tiču unaprjeđenja postojećih parametara mobilne mreže, telekomunikacijskih usluga te tehnologija, pa tako i razvoja novih elemenata, koji su ključni za pružanje sasvim novog oblika telekomunikacijskih usluga i tehnologija. Krajnjim korisnicima telekomunikacijskih usluga od iznimne je važnosti razina kvalitete usluge, za koju su zaduženi operatori, no prilikom razvoja prethodno navedene mobilne mreže cjelokupni se razvoj usmjerio iskustvenoj kvaliteti, koju percipira krajnji korisnik korištenjem telekomunikacijske usluge. Prilikom razvoja telekomunikacijskih usluga na temelju iskustvene kvalitete, došlo je i do paralelnog razvoja pripadajućih slučajeva uporabe, u kontekstu kojih se telekomunikacijske usluge koriste. Razvojem 5G mobilne mreže uslijedio je i paralelni razvoj novih telekomunikacijskih usluga za postojeće slučajeve uporabe, kao i implementacija novo razvijenih te unaprijeđenih telekomunikacijskih usluga u već postojeće slučajeve uporabe.

Glavnu riječ, odnosno cijeli rad 5G mobilne mreže, temeljit će se na primjeni koncepta, koji se odnosi na računalstvo u oblaku, koji predstavlja sasvim novi aspekt generacija mobilnih mreža. Navedena mobilna mreža, omogućit će niz poboljšanja koja se tiču mogućnosti povezivanja iznimno velikog broja korisničkih terminalnih uređaja, povećanje razine

pouzdanosti i sigurnosti, povećanje mrežnih kapaciteta i brojna druga. Tim poboljšanjima doći će do povećanja razine zadovoljstva krajnjih korisnika te samih operatora, koji su neophodan element, u kontekstu cjelokupnog razvoja mobilne mreže 5G. Stoga, mobilna mreža pete generacije ima se za pravo nazivati i pametnom mrežom, koja će cijeli svijet povezati u jednu globalnu cjelinu te će time uslijediti razvoj cjelokupnog digitalnog okruženja.

Svrha ovog rada je analizirati zahtijevane performanse novih aplikacija te slučajeva uporabe u kontekstu različitih područja primjene, za 5G mrežu. Stoga je postavljeno nekoliko ciljeva koje je potrebno ostvariti ovim radom, a to su:

- ✚ analiza tehničkih poboljšanja koja donosi mobilna mreža pete generacije i očekivanja korisnika usluga.
- ✚ pregled područja primjene evoluirajućih i novih aplikacija te slučajeva uporabe pojedinih aplikacija.
- ✚ analiza značajki pojedinih aplikacija i njihovih zahtjeva prema 5G mreži.

Diplomski rad sastavljen je od sljedećih poglavlja :

1. Uvod
2. Tehničke značajke mobilne mreže pete generacije
3. Ekosustav 5G mobilne mreže
4. Značajke prometnih zahtjeva postojećih i novih aplikacija pojedine klase korisnika
5. Parametri kvalitete usluge i iskustvene kvalitete za nove usluge, aplikacije i slučajeve uporabe
6. Zaključak

U drugom poglavlju ovog diplomskog rada, koje se tiče tehničkih značajki mobilne mreže pete generacije, opisane su glavne značajke generacija mobilnih mreža koje su prethodile razvoju mobilne mreže pete generacije. Nadalje, to poglavlje sadrži prikaz mogućnosti izvedbe arhitekture 5G mobilne mreže, kao i prikaz njezine heterogenosti te ćelija od kojih je mreža sastavljena.

Ekosustav 5G mobilne mreže prikazan je u trećem poglavlju. Ovim poglavljem omogućen je uvid u neophodne elemente ekosustava namijenjenog za ispravno funkcioniranje 5G mobilne mreže.

U četvrtom poglavlju je dan pregled sasvim nove kategorije aplikativnih rješenja s aspekta klase korisnika, do čijeg je definiranja došlo u kontekstu mobilne mreže pete generacije. Nadalje, osim pregleda i analize aplikativnih rješenja, definirani su i zahtjevi koji se odnose na očekivanja korisnika.

U petom poglavlju analizirani su parametri i pokazatelji, koji se odnose na kvalitetu usluge i iskustvenu kvalitetu za nove usluge, aplikacije i slučajeve uporabe. Pored navedenog u ovom poglavlju su prikazane vrste slučajeva uporabe, koji se očekuju prilikom razvoja 5G mobilne mreže te poboljšanja koja će 5G mreža pružiti krajnjim korisnicima, u odnosu na prethodne generacije mobilnih mreža.

2. Tehničke značajke mobilne mreže pete generacije

U prošlosti cjelokupni oblik komunikacije prvenstveno se vršio kao prijenos glasa od osobe do osobe. Razvojem tehnologije došlo je i do razvoja te unaprijeđenja tadašnjih oblika komunikacije. U današnje vrijeme komunikacija preuzima pojam uvijek dostupnih komunikacija, odnosno svi korisnici mobilnih komunikacija dostupni su uvijek neovisno o lokaciji i vremenu. Shodno tome, vidljiv je značajni napredak u vidu komuniciranja koji se u samim počecima vršio govornim putem, a danas se izvršava pomoću mobilnih terminalnih uređaja koje korisnici posjeduju te putem kojih mogu komunicirati s drugim korisnicima koji posjeduju također mobilne terminalne uređaje ili fiksne terminalne uređaje, [1].

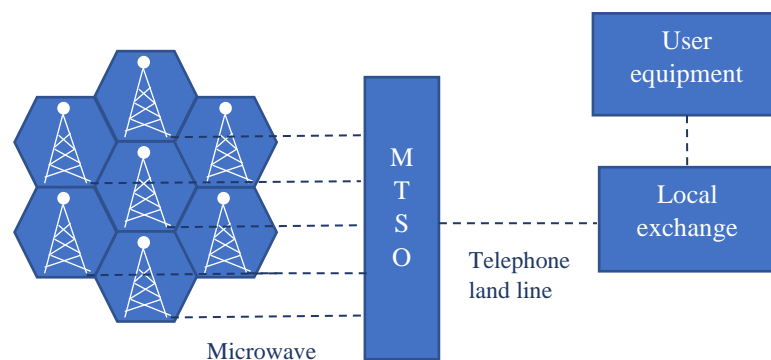
Od pete generacije mobilnih mreža (5G) očekuje se da će korisnicima pružiti značajan broj unaprijeđenih usluga, a ne samo da predstavlja isključivo unaprijeđenje širokopolasne mreže. Mobilne komunikacijske mreže značajno su evoluirale u zadnjih nekoliko desetljeća. Razvoj uređaja i mrežnih elemenata prati se kroz generacije mobilnih mreža čije osnovne značajke će biti prikazane u nastavku, [2].

2.1 Značajke mobilnih mreža od 1. do 4. generacije

2.1.1 Prva generacija mobilnih mreža

Prva generacija mobilnih mreža (1G) pojavila se kao rezultat potražnje korisnika te novih tehnologija. Ova mobilna mreža omogućavala je automatsko prekapčanje poziva te je koristila analogni prijenos signala. Handover ili prekapčanje je kao pojam u telekomunikacijama poznat u kontekstu kretanja mobilne stanice iz jedne ćelije u drugu, odnosno njezinog napuštanja područja koje je pokriveno jednom baznom stanicom i ulaska u područje koje je pokriveno drugom baznom stanicom, te pri tom prijelazu stara bazna stanica zahtijeva prekapčanje, odnosno handover, na novu baznu stanicu, [3].

Predstavnici prve generacije mobilnih mreža su sljedeći sustavi: na području Amerike AMPS (eng. *Advanced Mobile Phone System*), na području nordijskih te europskih zemalja NMT (eng. *Nordic Mobile Telephony*) i na području Ujedinjenog kraljevstva TACS (eng. *Total Access Communication System*), [4]. Kao što je već prethodno navedeno, u nordijskim zemljama 1981. godine razvijen je NMT standard koji primjenjuje frekvenciju od 450 MHz te ujedno pripada u skupinu analognih sustava. Karakteristike koje su opće poznate za prvu generaciju mobilnih mreža su te, da je posjedovala izrazito nisku razinu kvalitete glasa, kao i gustoće prometa, te je za prijenos koristila medij koji se smatrao izrazito nesigurnim. Primarna zadaća ove generacije mobilne mreže bila je prijenos govora te se prilikom njezinog razvoja zanemario prijenos podataka, [5].

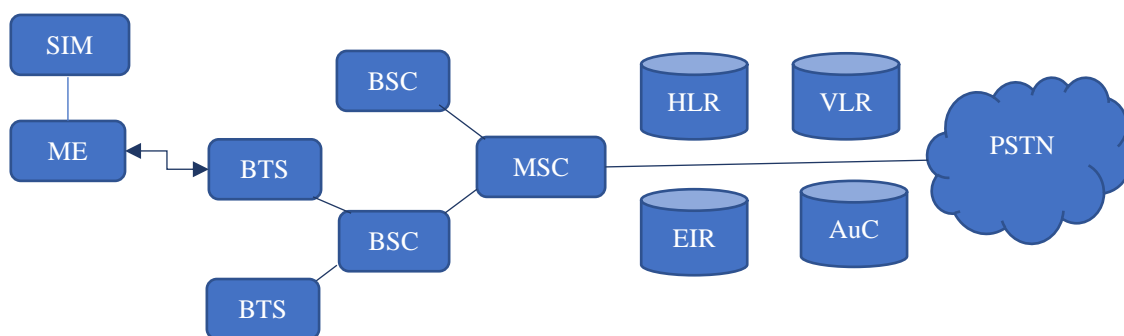


Slika 1. Arhitektura mobilne mreže prve generacije (1G)
Izvor: [6]

Na slici 1 prikazana je arhitektura prve generacije mobilne mreže koja sadrži tri glavna dijela, a to su primopredajna bazna stanica, mobilna centrala MTSO (eng. *Mobile Telephone Switching Office*) i mobilna stanica. Naime, unutar svake ćelije treba postojati bazna stanica koja služi za prijem i odašiljanje signala prema prethodno navedenoj mobilnoj stanici, a sve bazne stanice moraju biti povezane na MTSO koji je povezan žično ili mikrovalno sa PSTN-om (eng. *Public switched telephone network*) putem kojega se izvršavaju pozivi. Svaka bazna stanica služi za prijem i odašiljanje signala mobilnih stanica te svaka zasebno pokriva određeno područje, a ta područja nazivaju se ćelije. Nadaje, MTSO povezan je *mikro* valovima ili žično sa svakom baznom stanicom. Mobilna stanica šalje telefonski broj i elektronički identifikacijski broj, kada je uključena, prema primopredajnoj baznoj stanici koja na temelju jakosti signala ima mogućnost locirati udaljenost mobilne stanice od središta ćelije. U slučaju slabljenja snage signala, ta ista bazna stanica šalje upozorenje susjednim baznim stanicama da će se mobilna stanica povezati na jednu od njih. Kada u jednoj od susjednih ćelija snaga signala postane dovoljno jaka, mobilnoj stanici se dodjeljuje nova frekvencija za nesmetan rad kako ne bi došlo do pojave interferencije između kanala susjednih ćelija, [6].

2.1.2 Druga generacija mobilnih mreža

Druga generacija mobilnih mreža (2G) razvijena je u svrhu povećanja razine sigurnosti uspostavljenih poziva, mrežnih kapaciteta i kvalitete zvuka te se u ovoj mobilnoj mreži koristi digitalni prijenos signala. Za razliku od prve generacije mobilnih mreža, čije je područje pokrivanja bazne stanice bilo između 2 km do 20 km, druga generacija mobilnih mreža povećava područje pokrivanja bazne stanice do 35 km primjenom *makro*, *mikro*, *piko* ili *femto* ćelija. Predstavnici druge generacije mobilnih mreža su sljedeći sustavi: na području Amerike D-AMPS (eng. *Digital – Advanced Mobile Phone System*), na području Japana PDC (eng. *Personal Digital Cellular*) te na području Europe GSM (eng. *Global System for Mobile Communications*). Prethodno navedeni predstavnik druge generacije mobilnih mreža u Europi, radi na frekvencijskom pojasu od 900 MHz i 1800 MHz, [7].



Slika 2. Arhitektura mobilne mreže druge generacije (2G)

Izvor: [8]

Na slici 2 vidljivi su dijelovi od kojih je sastavljena GSM mreža, a to su: SIM (eng. *Subscriber Identity Module*), ME (eng. *Mobile Equipment*), BTS (eng. *Base Transceiver Station*), BSC (eng. *Base Station Controller*), MSC (eng. *Mobile Switching Centre*), HLR (eng. *Home Location Register*), VLR (eng. *Visitor Location Register*), EIR (eng. *Equipment Identity Register*) i AuC (eng. *Authentication Centre*). Svaki od prethodno navedenih elemenata ima izrazito bitnu ulogu u drugoj generaciji mobilnih mreža. SIM se odnosi na identifikaciju korisnika, ME predstavlja mobilni terminalni uređaj, BTS označava baznu stanicu koja posjeduje antenski sustav te uređaje za prijem i odašiljanje signala. BSC ima ulogu kontrole nad baznim stanicama, odnosno ovaj element upravlja radom tih baznih stanica te omogućava preuzimanje poziva između baznih stanica. Kao što je vidljivo sa slike 2 taj element povezuje elemente BTS i MSC. MSC ima ulogu komutacijskog centra u kontekstu centrala GSM mreže. Također, ovaj element upravlja radom BSC-a te usmjerava, kontrolira, upravlja, komutira i raskida pozive koji su usmjereni prema i od PSTN (eng. *Public Switched Telephone Network*) mreže. HLR, VLR, EIR i AuC predstavljaju komunikacijske elemente mreže koji imaju ulogu registracije korisničkih podataka. HLR vrši registraciju podataka o korisnicima unutar mreže, VLR vrši registraciju podataka o gostujućim te svim ostalim korisnicima, koji se nalaze na određenom lokacijskom području, koje je pod nadzorom tog istog VLR-a, a EIR i AuC vrše autorizaciju te identifikaciju mrežnih korisnika, [8].

HSCSD (eng. *High Speed Circuit Switched Data*) sustav predstavlja nadogradnju prethodno definirane mobilne mreže 2G, a karakteristika HSCSD-a je da primjenjuje četiri vremenska odsječka, a svaki pojedini odsječak pruža brzinu prijenosa od 2,6 kbit/s do 16,4 kbit/s podataka, [9].

Sustav koji predstavlja mobilnu mrežu druge generacije je nadograđeni te se on naziva GPRS (eng. *General Packet Radio Service*) sustav, koji je poznatiji pod nazivom 2,5G. Značajno povećanje količine podataka, čime sukladno raste i zahtjev za povećanjem brzine prijenosa, rezultiralo je pojavom GPRS mreže. Osim značajnog povećanja brzine prijenosa, koji doseže maksimum od 171 kbit/s, dok realno doseže od 56 kbit/s do 114 kbit/s, pojavila se i mogućnost da su krajnji korisnici uvijek dostupni te da na njihovu dostupnost jedino može utjecati način postavljanja uređaja, [10].

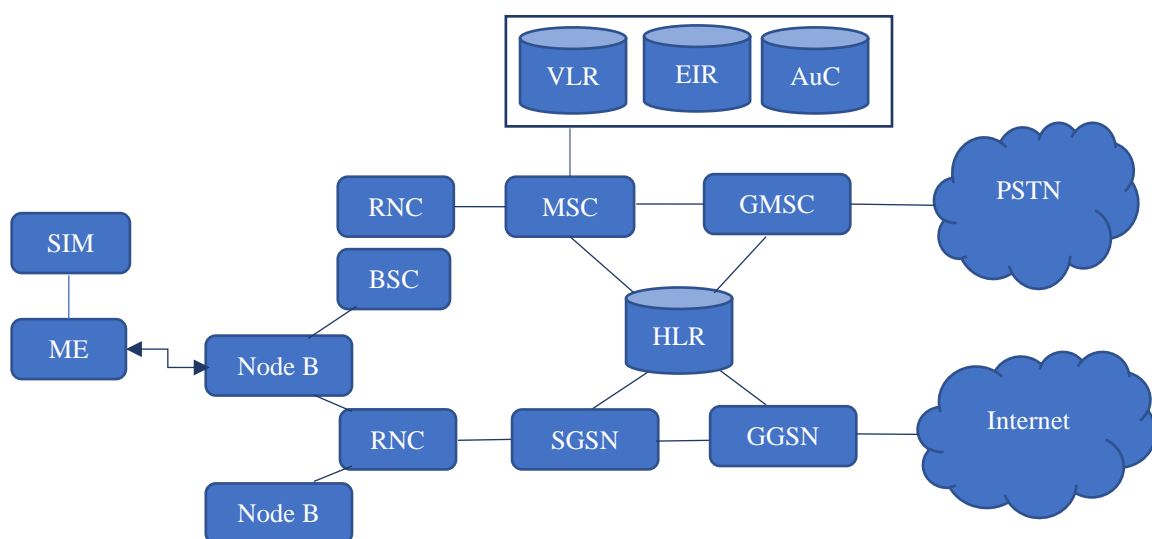
Na prethodno navedenu nadogradnju 2.5G mobilne mreže, uslijedila je i nadogradnja EDGE (eng. *Enhanced Data rates for GSM Evolution*), koja je poznatija pod nazivom 2,75G.

Prethodno navedeni sustav je razvijen u svrhu pružanja rješenja za novonastalo povećanje količine podataka. Karakteristika EDGE sustava je ta da on koristi neke metode namijenjene za kodiranje, koje rezultiraju kvalitetnijim prijenosom podataka te su one otpornije na šum. EDGE pruža mogućnost prijenosa podataka maksimalnom brzinom od 473 kbit/s, dok ona zapravo iznosi 120 kbit/s, [10].

2.1.3 Treća generacija mobilnih mreža

Treća generacija mobilnih mreža (3G) dovela je do povećanja brzina koje se tiču prijenosa informacija te je omogućen prijenos multimedijskog sadržaja između mobilnih terminalnih uređaja. Prethodne generacije nisu bile u mogućnosti odgovoriti na novonastale zahtjeve krajnjih korisnika. Također, razvojem 3G mreže pružena je mogućnost širokopojasnog pristupa Internet mreži. Predstavnik ove generacije mobilnih mreža je UMTS (eng. *Universal Mobile Telecommunication System*) koji je ujedno i europska norma. Ova mobilna mreža, kao i prethodna, koristi digitalni oblik za prijenos informacija, ali frekvencijski pojas je značajno veći te iznosi od 1900 MHz do 2200 MHz, [5].

Slikom 3 prikazana je arhitektura mobilne mreže treće generacije koja se sastoji od sljedećih elemenata: NodeB koji preuzima ulogu BTS-a iz prethodne generacije, RNC (eng. *Radio Network Controllers*) koji preuzima ulogu BSC-a također iz prethodne generacije i MSC. Nadalje, mreža se dijeli na podatkovnu mrežu i telefonsku mrežu. Podatkovni dio sadrži GGSN (eng. *Gateway GPRS Support Node*) i SGSN (eng. *Serving GPRS Support Node*) koji imaju ulogu povezivanja na Internet mrežu. Telefonski dio se sastoji od MSC-a i GMSC-a (eng. *Gateway Mobile Switching Center*) koji izvršavaju povezivanje na ISDN (eng. *Integrated Services Digital Network*) ili na PSTN mrežu. Telefonski dio obuhvaća i VLR koji ima ulogu registracije korisnika koji se nalaze izvan vlastite mreže te svih ostalih korisnika, koji se nalaze na određenom lokacijskom području, koje je pod nadzorom tog istog VLR-a, te EIR koji ima ulogu identificiranja te autoriziranja korisnika mreže. HLR je zajednička komponenta podatkovnog te telefonskog dijela, a ima ulogu registracije korisnika u vlastitoj mreži, [11].



Slika 3. Arhitektura mobilne mreže treće generacije (3G)

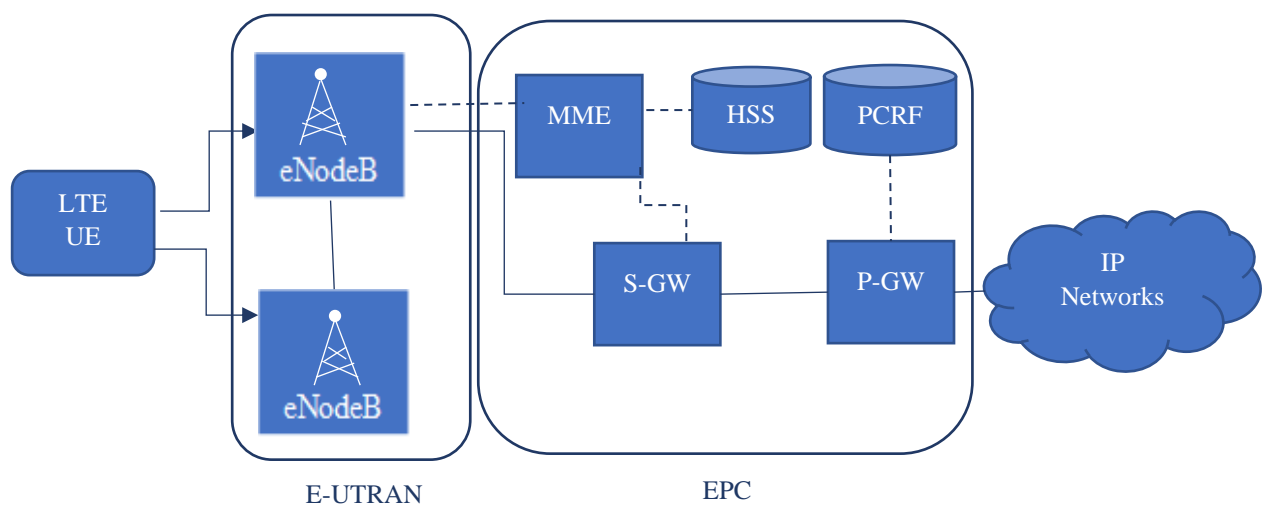
Izvor: [11]

Sustav, koji predstavlja mobilnu mrežu treće generacije, je nadograđen te se on naziva HSPA (eng. *High Speed Packet Access*), a poznatiji je pod nazivom 3.5G. Prethodno navedeni sustav omogućava znatno veće brzine prijenosa, koje iznose u silaznoj vezi do 42 Mbit/s. HSPA je također unaprijeđen u HSPA+ te su brzine prijenosa povećane na teoretsku brzinu od 84 Mbit/s, [12].

2.1.4 Četvrta generacija mobilnih mreža

Četvrta generacija mobilnih mreža (4G) pojavljuje se zbog povećanja zahtijeva krajnjih korisnika te enormnog porasta zahtijeva u kontekstu količine generiranja podataka. Prethodno navedena mobilna mreža posjeduje i drugi naziv, a to je LTE (eng. *Long Term Evolution*) te omogućava značajno veće brzine prijenosa podataka za razliku od prethodnih generacija. U kontekstu brzine prijenosa podataka sa teoretskog aspekta je 1 Gbit/s, dok je realna brzina prijenosa podataka 173 Mbit/s. Kao i prethodne generacije i ova mobilna mreža koristi digitalni prijenos signala, [13].

Slika 4 prikazuje arhitekturu mobilne mreže četvrte generacije (4G), koja se sastoji od pristupne mreže i jezgrene mreže. Pristupna mreža sadrži evoluirani čvor eNodeB, koji izvršava konekciju s korisničkom opremom, dok jezgrena mreža sadrži više logičkih čvorova. Prethodno navedeni eNodeB čvorovi mogu biti međusobno povezani, što nije bio slučaj kod prethodnih generacija. U jezgrenoj mreži povezani su s MME (eng. *Mobility Management Entity*) i S-GW (eng. *Serving Gateway*) mrežnim elementima. Pristupni dio mreže izvršava funkcije poput upravljanja radio resursima, komprimiranja zaglavlja, osiguravanja sigurnosti, pozicioniranja i osiguravanja dobre povezanosti prema MME-u i S-GW-u. Prethodno navedene funkcije nalaze se u eNodeB čvorovima, pri čemu svaki pojedini čvor ima mogućnost upravljanja većim brojem ćelija. Uloga jezgrene mreže je kontrola korisničke opreme te utvrđivanje signala nositelja. Jezgrena mreža sastavljena je od brojnih elemenata, ali neki od najvažnijih su: PDN Gateway (P-GW), S-GW, MME, HSS (eng. *Home Subscriber Server*), PCRF (eng. *Policy Control and Charging Rules Function*) i E-SMLC (eng. *Evolved Serving Mobile Location Centre*). Svaki pojedini element jezgrene mreže ima svoju ulogu, [14].



Slika 4. Arhitektura mobilne mreže četvrte generacije (4G)

Izvor: [14]

Prethodno navedena mobilna mreža četvrte generacije dobila je vlastito unaprjeđenje, u kontekstu povećanja brzina prijenosa podataka, povećanja kapaciteta cjelokupne mobilne mreže, a takva unaprijeđena verzije poznatija je pod nazivom LTE Advanced. Prednost ove tehnologije leži u tome što se koriste dva ili više nositelja, što rezultira povećanjem brzine prijenosa do 300 Mbit/s, gdje svaki od dvaju nositelja pruža brzinu prijenosa podatka od 150 Mbit/s, [15].

2.2 Arhitektura mobilne mreže pete generacije (5G)

Kao što je već prethodno navedeno, razvoj nove mobilne mreže kroz generacije, poznatiji pod nazivom 5G, rezultirat će iznimnim performansama za korisnike. Korisnicima će biti omogućeno da prenose velike količine podataka s vlastitih mobilnih terminalnih uređaja, neovisno o njihovoj lokaciji i vremenu, a to je posljedica povećanja cjelokupnog kapaciteta mreže. Njezinim razvojem doći će do smanjenja kašnjenja prilikom prijenosa što će uvelike korisnicima olakšati svakodnevnu primjenu mobilnih terminalnih uređaja u vidu rješavanja poslovnih aktivnosti. S obzirom na to da se očekuje da se mobilna mreža pete generacije primarno koristiti u poslovne svrhe, ona će biti „dužna“ svojim korisnicima pružiti neizbježnu sigurnost i pouzdanost.

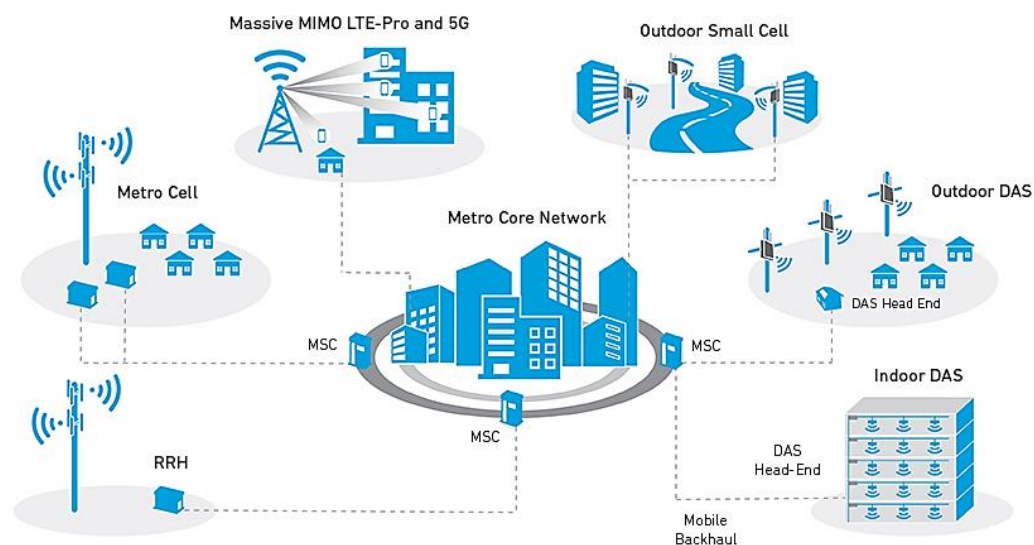
Novorazvijena mobilna mreža pružat će iznimnu razinu fleksibilnosti te će svoje djelovanje temeljiti na pružanju uslužnog pristupa. Prethodno navedeni uslužni pristup označava to da će svim korisnicima biti dostupni njihovi osobni podaci te raznovrsni alati, koji će biti smješteni u oblaku, neovisno o lokaciji korisnika te vremenu kada će korisnici zahtijevati pristup podacima ili alatima. U procesu primjene mobilne mreže pete generacije, doći će do pojave brojnih novih zahtjeva korisnika. Mreža mora biti dizajnirana na način da bude prilagodljiva na prethodno navedene zahtjeve, samim time pružajući korisnicima kontrolu nad informacijsko – komunikacijskim tehnologijama, [2].

Mobilna mreža pete generacije svoju cjelokupnu arhitekturu prvenstveno temelji na računalstvu u oblaku. Prethodno navedeni pojam, računalstvo u oblaku, svoje djelovanje temelji na omogućavanju resursa koji se tiču računalstva u vidu pružanja usluge umjesto proizvoda. Krajnji korisnik uslugu zaprima putem Internet mreže, te mu se usluga naplaćuje ovisno o stupnju korištenja. Primarni cilj računalstva u oblaku je omogućiti krajnjim korisnicima zahtijevani sadržaj u bilo koje vrijeme, neovisno o lokaciji te da jedini uvjet za preuzimanje sadržaja bude mogućnost povezivanja na Internet mrežu, [1].

Veliku važnost u kontekstu tehnologije pete generacije imaju antene koje pružaju mogućnost višestrukih ulaza i izlaza, a u telekomunikacijama su poznatije pod nazivom MIMO (eng. *Multiple Input Multiple Output*). Naime, kako bi se omogućilo povećanje brzine prijenosa podataka te povećanje cjelokupnog kapaciteta mobilne mreže pete generacije, uviđa se da je neophodno da svaka bazna stanica posjeduje iznimno veliki broj antena. Prethodno naveden značajan broj antena rezultirat će mogućnosti kvalitetnijeg posluživanja značajnijeg broja krajnjih korisnika u isto vrijeme te u sklopu istog frekvencijskog opsega. Zbog primjene izrazito olakšanog načina kontrole snage, doći će do znatne uštede u kontekstu energije. Također, u kontekstu mobilne mreže pete generacije te njezino olakšano i uspješnije upravljanje u vidu uštede električne energije, pojavila se tehnologija pod nazivom *smart grid*. Prethodno navedena

tehnologija je jedinstveno te inovativno rješenje koje svoju primjenu temelji na korištenju unaprijeđenih telekomunikacijskih tehnologija, [16].

Na slici 5 moguće je vidjeti kako u današnje vrijeme cjelokupna infrastruktura koja se tiče bežične mreže pete generacije uključuje izniman broj elemenata. Elementi koji čine bežičnu infrastrukturu su: makro bazne stanice, vanjske distribuirane antenske sustave, unutarnje distribuirane antenske sustave, metro stanice, ćelije te brojne druge elemente koji su međusobno povezani u cjelinu te na taj način zajedno izvršavaju cjelokupan rad u kontekstu heterogene 5G mreže, [17].



Slika 5. Heterogenost 5G mobilne mreže, [17]

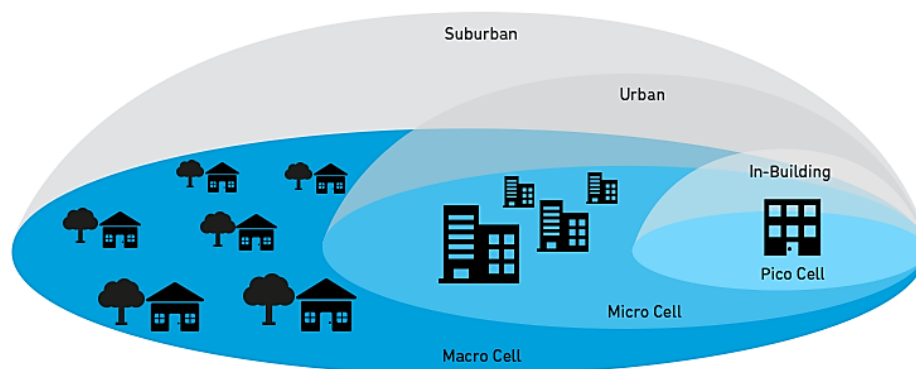
Današnji korisnici mobilnih terminalnih uređaja više ne generiraju samo male količine podataka, primjerice slanjem slika, e-pošte, pregledavanje web stranica i drugo, već korisnici zahtijevaju generiranje znatno veće količine podataka, kao što je primjerice slanje video sadržaja, igranje igara te pregledavanje stvarnovremenog sadržaja. Prethodno navedeno povećanje količine podataka rezultirao je pojavom zahtijeva za razvoj mreže, koja će pružati znatno veće brzine prilikom prijenosa podataka u silaznim i uzlaznim vezama. Zbog povećanja količine generiranih podataka došlo je do pojave zagušenja malih baznih stanica, što rezultira potrebom za razvojem nove mobilne mreže pete generacije, [17].

Kako bi se zadovoljili novonastali zahtjevi za generiranjem iznimne količine podataka javila se potreba za unaprijeđenjem postojećih pristupnih dijelova telekomunikacijske mreže u vidu nadogradnje mreže, implementacijom inovativnih tehnologija koje imaju mogućnost izvršavanja rada na izrazito visokim razinama frekvencije. Prethodno navedena tehnologija omogućit će da se u kontekstu razvoja terminalnih uređaja u njih ugrade iznimno manje antene. Takva vrsta tehnologije označit će bitnu promjenu u cjelokupnoj mobilnoj industriji te ta revolucija neće biti uzrokovana isključivo povećanjem širine frekventijskog opsega, nego i prethodno navedenim smanjenim dimenzijama antena.

Kako bi se postiglo pokrivanje cjelokupnog područja signalom, potrebno je ćelije implementirati na značajno manjim udaljenostima iz razloga što visoke frekvencije odašilju signal na izrazito kratkom dometu, koji iznosi oko jedan kilometar. Takva skupina ćelija, odnosno njihov način implementacije, rezultira time da se udaljenost od terminalnog uređaja pa sve do bazne stanice svede na minimum, [18].

Izdanje 9 specifikacije 3GPP (eng. *The 3rd Generation Partnership Project*) LTE iz 2008. godine dodao je ćelije te su unutar tog izdanja navedene specifikacije, koje se tiču LTE-a. Prethodno navedene ćelije odnose se na element zgušnjavanja mreže te njihovim uvođenjem osigurana je veća razina konekcije unutar već postojeće bežične infrastrukture.

Prethodno navedene ćelije mogu se podijeliti na osnovu snage prilikom odašiljanja signala od najjače ćelije pa sve do najslabije, a nazivi tih ćelija su sljedeći: *femto* ćelije, *piko* ćelije, *mikro* ćelije i *makro* ćelije. Ovakva tehnologija mobilnoj mreži pete generacije omogućuje povećanje mrežnih kapaciteta za tisuću puta za razliku od LTE mreže. Postojeće bazne stanice koje su već implementirane te u uporabi u kontekstu prijašnje mreže, preuzet će ulogu prethodno navedenih *makro* ćelija, a njihovo osnovno zaduženje biti će upravljanje ćelijama, [17].



Slika 6. Vrste ćelija, [17]

Iz slike 6 vidljiv je prikaz pokrivenosti područja različitim vrstama ćelija. Moguće je vidjeti da *piko* ćelije imaju mogućnost povećanja razine kapaciteta mreže na područjima gdje značajan broj korisnika ima zahtjev za pristupanjem Internet mreži. Primjer ovakvog područja može biti tvrtka, kolodvor i sl. Nadalje, moguće je vidjeti da *mikro* ćelije sadrže antene koje su neophodne za pristup Internet mreži te ih smještaju na visinu koja je niža od prosječne visine zgrade. Također, ona prikazuje da *makro* ćelija omogućava pristup Internet mreži korisnicima koji su u pokretu, primjerice onima koji se nalaze unutar automobila. Slikom 6 nije prikazana *femto* ćelija, koja omogućava pristup Internet mreži malom broju korisnika koji se nalaze u poslovnom ili kućnom okruženju.

Tablica 1. Karakteristike ćelija

| Vrsta ćelije | Izlazna snaga (W) | Radijus ćelije [km] | Broj korisnika | Lokacija |
|---------------------|-------------------|---------------------|----------------|----------------------|
| <i>Femto</i> ćelije | 0,001 – 0,25 | 0,001 – 0,1 | 1 – 30 | Interijer |
| <i>Piko</i> ćelije | 0,25 – 1 | 0,1 – 0,2 | 30 – 100 | Interijer/Eksterijer |
| <i>Mikro</i> ćelije | 1 – 10 | 0,2 – 20 | 100 – 2000 | Interijer/Eksterijer |
| <i>Makro</i> ćelije | 10 – 50 | 8 – 30 | >2000 | Eksterijer |

Izvor: [17]

U tablici 1 prikazane su karakteristike ćelija, može se vidjeti da je izlazna snaga *femto* ćelije u rasponu od 0,001 W do 0,25 W, radijus te ćelije je u rasponu od 0,001 km do 0,1 km, broj korisnika kojima pruža pokrivenost signalom je od 1 do 30 te je pokrivenost na lokaciji interijera. *Piko* ćelije posjeduju izlaznu snagu od 0,25 W do 1 W, a radijus pokrivanja je od 0,1 km do 0,2 km, pokrivenost signala je pružena od 30 do 100 korisnika, a lokacija pokrivanja može biti na području interijera ili eksterijera. Također, vidljivo je da *mikro* ćelije pružaju izlaznu snagu od 1 W do 10 W, a da je njihov radijus od 0,2 km do 20 km, broj korisnika je od 100 do 2000, a pokrivenost je omogućena interijerno i eksterijerno. Naposljetku, *makro* ćelije pružaju izlaznu snagu od 10 W do 50 W, njezin radijus iznosi od 8 km do 30 km, a pokrivenost signalom je omogućena >2000 korisnika te je lokacija njezinog pokrivanja isključivo eksterijer.

Kao što je već prethodno navedeno, visoka gustoća ćelija ima iznimno bitnu ulogu u kontekstu povećanja razine kapaciteta mobilne mreže pete generacije, kao i povećanje razine efikasnosti frekvencijskog pojasa na području pokrivanja. Detaljnim proučavanjem mogućnosti implementiranja visoke gustoće ćelija, došlo je do razvoja dvaju načina na koja se te vrste ćelija mogu implementirati. Jedan od načina je iskorištavanje mogućnosti preklapanja tehnologija koje se tiču *femto* ćelija, *mikro* ćelija te *piko* ćelija zajedno s visokom gustoćom ćelija. Drugi način se također tiče preklapanja, no u ovom slučaju radi se o preklapanju isključivo jednog sustava ćelija s raznovrsnim tehnologijama visoke gustoće ćelija, [18].

Izrazito bitan element u kontekstu razvoja usluga za mobilnu mrežu pete generacije smatra se frekvencijski pojas. Mogućnost usklađivanja već poznatog frekvencijskog pojasa zajedno s neiskorištenim frekvencijskim pojaskom, ima izniman utjecaj na potpuni uspjeh mobilne mreže pete generacije. Postupak uvođenja prethodno navedenog neiskorištenog frekvencijskog pojasa može se izvesti povećanjem širine pojasa u području milimetarskih valova. *Makro* ćelije imat će ulogu rukovođenja *femto* ćelijama, *piko* ćelijama i *mikro* ćelijama, koje će raditi na definiranom frekvencijskom pojasku. Prethodno navedeni milimetarski valovi mogu se segmentirati u dvije zasebne skupine, na osnovu frekvencijskog pojasa. S obzirom na to, milimetarski valovi dijele se u različite kategorije pa se za *mikro* ćelije koristi prva kategorija, koja se kreće u frekvencijskom području između 20 GHz i 40 GHz, a za *piko* i *femto* ćelije koristi se druga kategorija u frekvencijskom području oko 60 GHz, [19].

Suvremeni oblik života je odredio korisnicima da svakodnevno primjenjuju različite vrste terminalnih uređaja, korisnici u što većem broju koriste više od jednog terminalnog uređaja na svakodnevnoj bazi, a upravo ti uređaji za svoj rad koriste radio frekvencijski pojas za prijenos podataka. Mobilna mreža pete generacije određuje da inovativne tehnologije moraju sadržavati sustave koji će omogućiti efikasnije iskorištavanje frekvencijskog pojasa. Vidno polje je primjer prethodno navedenog sustava, koji svoje djelovanje izvršava na frekvencijskom

području do 100 GHz. Takav način rada rezultirao je značajnim smanjenjem elemenata od kojih su mobilni terminalni uređaji sastavljeni, iz razloga što rabi veći broj frekvencijskih pojaseva te ih objedinjuje u jedan frekvencijski pojas, a to rezultira efikasnijim iskorištavanjem tog istog pojasa. Kako bi se većem broju korisnika mobilnih terminalnih uređaja omogućilo nesmetano korištenje tih uređaja u isto vrijeme, neophodno je dijeljenje frekvencijskog pojasa. Prethodno navedeni postupak dijeljenja frekvencijskog pojasa, moguće je segmentirati u kontekstu prioriteta prilikom dodjele pristupa radijskom spektru na horizontalno, vertikalno te hijerarhijsko dijeljenje frekvencijskog pojasa. Horizontalno dijeljenje pruža mogućnost da prilikom pristupanja radijskom spektru svi terminalni uređaji budu ravnopravni, kod vertikalnog dijeljenja pristup radijskom spektru se izvršava na temelju dodjele prioriteta, dok hijerarhijsko dijeljenje predstavlja unaprijeđenu verziju vertikalnog dijeljenja frekvencijskog pojasa, [19].

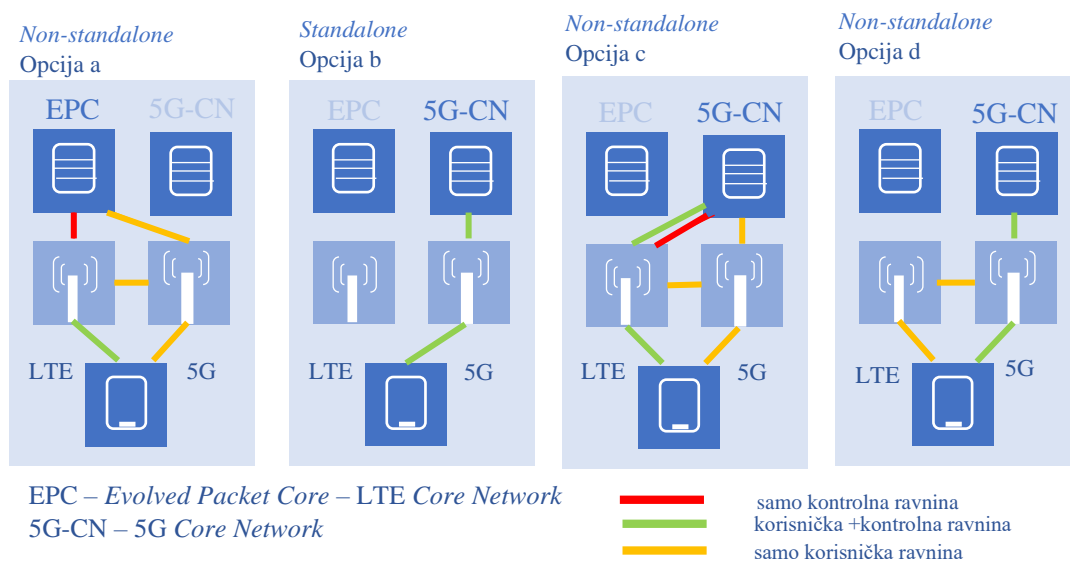
Prilikom razvoja mobilne mreže pete generacije korisnicima će biti od iznimne važnosti značajno povećanje brzine, no s tehnološkog aspekta prilikom njenog razvoja bitan naglasak se daje tome da se cjelokupni rad zasniva na virtualizaciji mrežnih funkcija, poznatiji pod nazivom NFV (eng. *Network Function Virtualisation*), te principu rada mreža koje su softverski definirane, a poznatije pod nazivom SDN (eng. *Software Defined Networks*).

Virtualizacija mrežnih funkcija podrazumijeva mogućnost da se softver odvoji od hardvera te se smatra neizostavnim konceptom mrežne arhitekture. Ovim konceptom omogućeno je da se unutar oblaka ili u softveru implementiraju mrežne funkcije, bez posredovanja novog hardvera, a to dovodi do skalabilnosti kao podrške za pružanje usluga na zahtjev. Značajnom prednošću, kod primjene virtualnih mrežnih funkcija, podrazumijeva se fleksibilnost prilikom izvođenja definiranih mrežnih funkcija koje ne ovise o lokaciji ili čvorištu, [20]. Virtualizacija mrežnih funkcija posjeduje unaprijeđenu verziju softverski definiranih mreža, koje pružaju aktivnu rekonfiguraciju cjelokupne mrežne topologije sa softverskog aspekta, što rezultira mogućnošću da se raspoloživi mrežni kapaciteti usmjere ondje gdje su neophodni. Ključna prednost mreža koje su definirane softverski je jednostavnost prilikom rukovođenja mrežom, zbog mogućnosti da se fizička mrežna infrastruktura prezentira na apstraktan način.

Prethodno navedena virtualizacija mrežnih funkcija, softverski definirana mreža i primjena oblaka pružaju mogućnost da je cjelokupnu mrežu moguće programirati, zbog izdvajanja od fizičkog dijela arhitekture. Shodno tome, omogućena je segmentacija cjelokupne mreže na logičke dijelove koji su neophodni za pružanje određenih usluga. Zbog mogućnosti dijeljenja mreže omogućena je isporuka raznovrsnih usluga s jedne fizičke infrastrukture na učinkovitiji način, [21].

Arhitektura mobilne mreže pete generacije prvenstveno se temelji na uslugama, obuhvaćajući komponente softvera i sustavnu virtualizaciju, što rezultira povećanjem razine zadovoljstva operatora zbog toga što ti operatori korisničke zahtjeve rješavaju na brži i efikasniji način. Operatoru je omogućena fleksibilnost prilikom dodjeljivanja pristupa upravo zbog korištenja mogućnosti virtualizacije te rukovođenja infrastrukturom, koja ima mogućnost kreiranja dijela mreže koji je namijenjen za određenu skupinu korisnika na osnovu njihovih potreba.

Na slici 7 moguće je vidjeti opcije koje se tiču arhitekture mobilne mreže pete generacije. Opcija a opisana je detaljnije u prethodnom tekstu, a odnosi se na to da se za korištenje mobilne mreže pete generacije mreža povezuje te koristi raspoloživu infrastrukturu te resurse postojeće mobilne mreže četvrte generacije. Nadalje, opcija b odnosi se na samostalnost mobilne mreže pete generacije, a unutar ove opcije terminalni uređaj je posredovanjem bazne stanice pete generacije direktno povezan na jezgrenu mrežu pete generacije. Opcija c pruža uvid u to da se terminalni uređaj posredovanjem bazne stanice četvrte generacije ili bazne stanice pete generacije direktno može povezati na jezgrenu mrežu pete generacije. Na kraju, opcija d ukazuje da se terminalni uređaj može direktno povezati na jezgrenu mrežu pete generacije posredovanjem bazne stanice pete generacije, a u slučaju da se terminalni uređaj prvo povezuje na baznu stanicu četvrte generacije, onda se na jezgrenu mrežu pete generacije povezuje posredovanjem bazne stanice pete generacije.



Slika 7. Arhitektura mobilne mreže pete generacije

Izvor: [22]

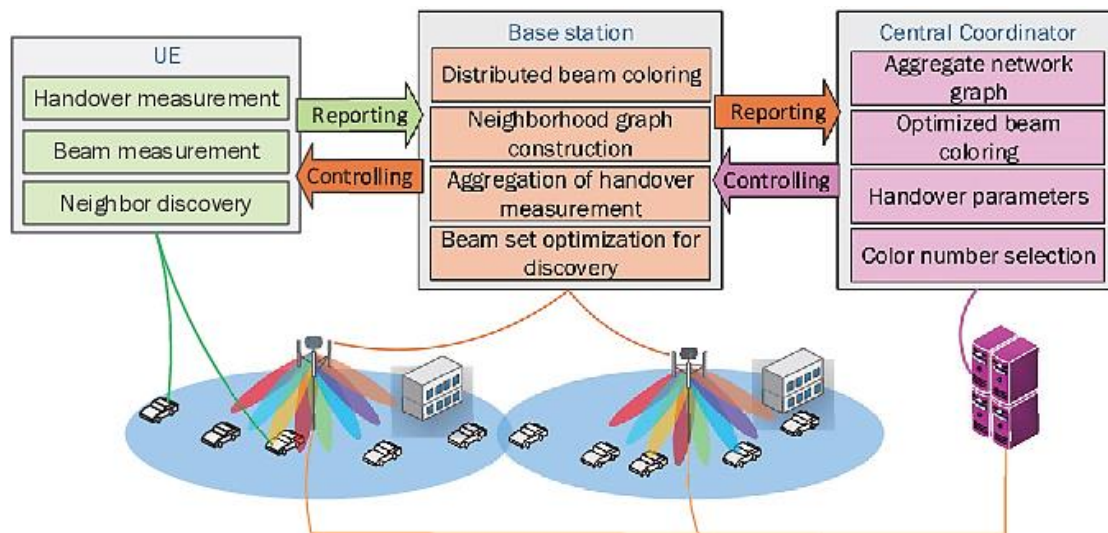
Prethodno navedene opcije na slici 7, standardizirane su od strane 3GPP-a, zasnivaju na samostalnom pristupu mobilnoj mreži pete generacije ili se usporedno vrši kombinacija s pristupnim dijelom LTE mreže koristeći njene tehnologije višestrukog pristupa. S jedne strane nesamostalno rješenje arhitekture mreže pete generacije ima prednost što je sam postupak implementacije brži jer se rabi već postojeći LTE sustav, dok s druge strane samostalno rješenje arhitekture 5G mreže ima prednost jer je postupak implementacije puno jednostavniji, [23].

2.3 Mobilna mreža pete generacije kao samoorganizirajuća mreža

Jedan od bitnih elemenata mobilne mreže pete 5G je samoorganizirajuća mreža. Porastom gustoće ćelija, rast će i mogućnost primjene ove mreže. Zbog generiranja velike količine podataka u stambenim prostorima te nesmetan prijenos te velike količine podataka, javlja se potreba za većom gustoćom ćelija unutar takvih prostora. Sami krajnji korisnici mobilnih mreža bi samostalno implementirali i brinuli se o održavanju ćelija, bez interakcije pružatelja usluge, a kako bi se to pojednostavilo mreža mora biti samoorganizirajuća. To znači da sustav ima

moćnost automatskog prepoznavanja novog uređaja koji se povezuje na terminalni uređaj i trenutno počinje s izvršavanjem aplikacije ili programa.

Samoorganizirajuća mreža još se naziva pametna mreža, odnosno ona ima mogućnost prilagoditi frekvencijski pojas s obzirom na susjedne mreže. Tako se interferencija signala svodi na minimum. Ova mreža ima mogućnost uštediti električnu energiju i vremensko trajanje baterije terminalnih uređaja, tako da samostalno bira kada će iskoristiti vrlo visoke, a kada niže frekvencije što zavisi o zahtjevima za brzinom prijenosa podataka, [24].



Slika 8. Mrežni graf temeljen na SON okviru, [25]

Potencijalni slučajevi korištenja SON (eng. *Self-Organizing Networks*) za 5G mreže su osim prethodno navedenog koji se odnosi na automatizirano upravljanje i dijeljenje spektra između RAN-ova (eng. *Radio Access Networks*) koji pripadaju različitim operaterima su:

- ✚ Udruživanje korisnika
- ✚ Optimizacija s više RAT-ova (eng. *Radio Access Technology*)
- ✚ Usmjereni pretraživanje ćelija.

U nastavku je opisana slučaj korištenja koncepta samoorganizirajuće mreže za usmjereno pretraživanje ćelija. Mrežni graf temeljen na SON okviru za dodjelu snopa prikazan je na slici 8. Korisnici su uključeni u mjerenje i izvještavanje o potencijalnim primopredajnim snopovima na baznoj stanici koja ih poslužuje. Bazna stanica stvara graf lokalnog susjedstva na temelju apstrakcija mjerenja primljenih od korisnika. Štoviše, ona prosljeđuje lokalni graf do središnjeg koordinatora, koji zatim konstruira mrežni graf. Programe samoorganiziranja mreže vodi središnji koordinatorski na stvorenom mrežnom grafu. Postoji povratna veza putem koje središnji koordinatorski kontrolira bazne stanice. On također može tražiti baznu stanicu i korisnike za mjerenja i apstrakcije. Središnji koordinatorski ima sliku sveukupna situacija s resursima u cijeloj mreži. Alternativa centraliziranom SON-u omogućenom od središnjeg koordinatorski je distribuirani SON koji je upravljani baznim stanicama. U usporedbi s centraliziranim metodom, raspodijeljeno raspoređivanje snopa je skalabilnije i lakše implementirati, [26].

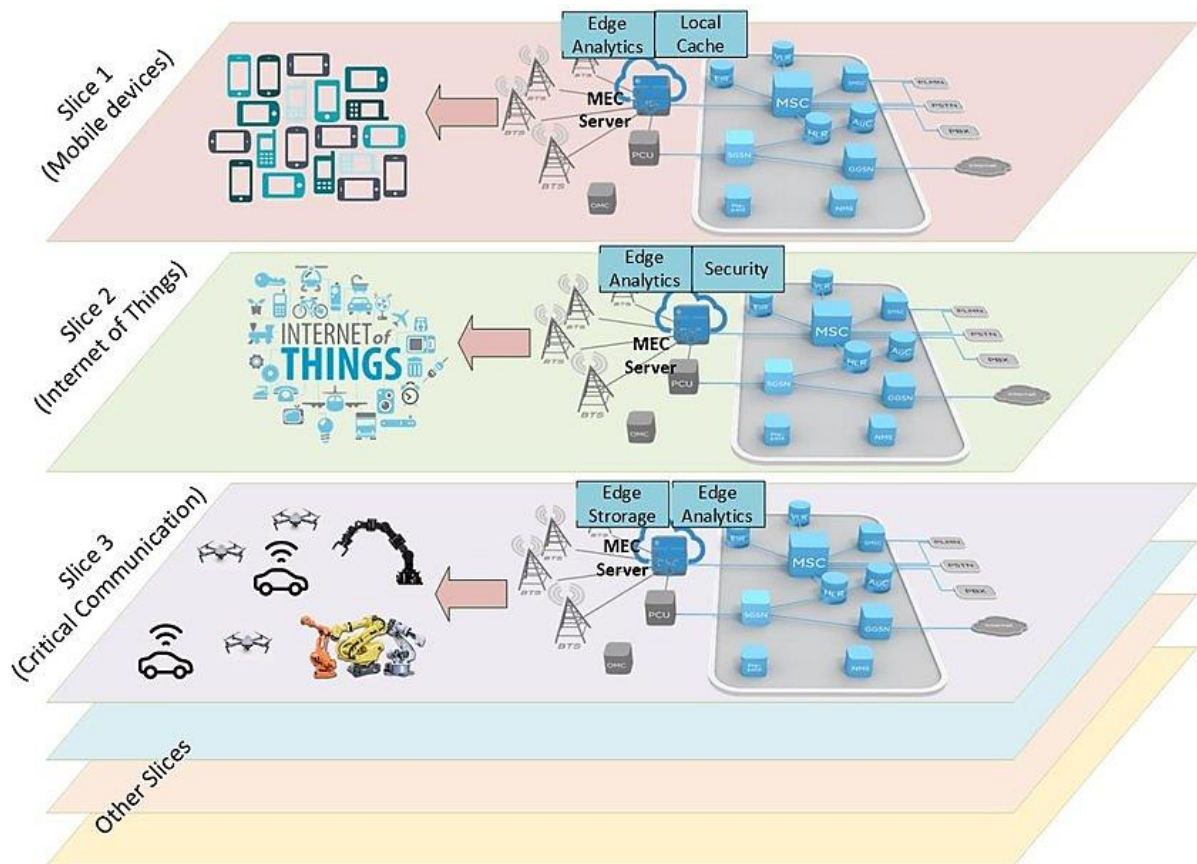
3. Ekosustav 5G mobilne mreže

Ekosustav kao pojam se može definirati s različitih aspekata društva. Osnova karakteristika srži ekosustava je skup međusobno povezanih ciklusa lančanih reakcija, odnosno funkcionalna cjelina. S poslovnog aspekta, ekosustav čine dobavljači, proizvođači te mreža kupaca bliskih usluga i proizvoda. Ekosustav s aspekta informacijsko – komunikacijske tehnologije odnosi na sustave koji imaju mogućnost samostalnog organiziranja, a u takvu skupinu sustava ubrajaju se tržišta, mreže, sadržaj, aplikacije, usluge, pravna i regulatorna tijela te drugi. Razvojem te prilagodbom informacijsko - komunikacijskog sustava dolazi do definiranja novih zahtjeva usmjerenih privatnim i poslovnim osobama te vladajućim tijelima. Cjelokupna važnost ekosustava svoj temelj pronalazi u uspješnom poslovnom razvoju.

Svaki informacijsko – komunikacijski ekosustav je moguće prikazati pomoću vrijednosnog lanca informacijsko – komunikacijskih tehnologija, kojim je omogućen detaljniji opis usluga i proizvoda te njihovih međusobnih odnosa. Vrijednosni lanac se sastoji od dva dijela koja su međusobno odvojena, ali u isto vrijeme ovise jedan o drugome. Prvi dio čini potražnja u koju spadaju krajnji korisnici. Taj dio je usko vezan s drugim dijelom koji se naziva ponuda, u koju spadaju korisnički terminalni uređaj, mreža, poslužitelj, usluge i aplikacije te na posljetku sadržaj, [27].

Arhitektura mobilne mreže pete generacije sadrži brojne neophodne značajke, a jedna od ključnih je dijeljenje mreže, koja u cijelosti uključuje potpunu javnu zemaljsku mobilnu mrežu, kolja je poznatija pod nazivom PLMN (eng. *Public Land Mobile Network*). Prema 3GPP koncept arhitekture mobilne mreže pete generacije te njenog sustava sastoji se od mrežnih odsječaka, a svaki odsječak posjeduje zadane funkcionalnosti i značajke koje čine potpunu javnu zemaljsku mobilnu mrežu, namijenjenu isporuci usluga korisničkim terminalnim uređajima. Postupak dijeljenja mreže rezultira mogućnošću izvršavanja kontrole nad cjelokupnim sustavom prethodno navedene mreže te pružanju usluga koje su neophodne za definirani slučaj uporabe. Svakom operatoru je pružena mogućnost uvođenja višestrukih te međusobno neovisnih PLMN mreža, pri čemu svaka pojedina mreža ima prilagođene funkcionalnosti i značajke ovisno o zahtjevima krajnjih korisnika, [28].

Na slici 9 prikazano je dijeljenje mobilne mreže pete generacije, što pruža mogućnost bolje raspodjele cjelokupnih resursa na pojedine mrežne odsječke, koji se temelje na željama i zahtjevima krajnjih korisnika. Također, navedeno dijeljenje mreže pruža mogućnost mrežnim uslugama da ostvare cikluse na dinamičke i kratke načine. Moguće je kreiranje inovativnih vrijednosti, u kontekstu dodjeljivanja raspoloživih resursa, između operatora mobilne mreže pete generacije, kao i aplikativnih rješenja te usluga koje su vremenski raspodijeljene. Sve prethodno navedeno rezultira enormnim smanjenjem financijskih izdataka te se povećavaju sposobnosti mreže, [29].



Slika 9. Korištenje dijeljenja mreže u različitim aspektima 5G mreže, [29]

U Barceloni, na svjetskom mobilnom kongresu, prezentirano je dijeljenje mobilne mreže pete generacije zajedno s njezinim svakodnevnim načinom rada te funkcionalnostima, a navedenu prezentaciju izvršili su Ericsson i Swisscom. Prezentacija je demonstrirana u vidu poboljšanja mogućnosti industrijskih aplikativnih rješenja, koja se tiču prijevoza te proizvodnje. Cjelokupni postupak dijeljenja mreže ima za cilj pružiti mogućnost da sve aplikacije, odnosno usluge, mogu nesmetano koristiti svoje dijelove mreže, bez negativnog učinka na rad ostalih mrežnih odsječaka, odnosno aplikacija i usluga koje koriste druge dijelove mreže. Rezultat prethodno navedenog je poboljšanje propusnosti, pouzdanosti te se osiguravaju konstantne brzine prijenosa podataka. Shodno tome, osigurane su tehnologije, bazne stanice, kvaliteta usluge i drugo, od strane prethodno navedenih Ericsson i Swisscom operatera, [30].

3.1 Korisnici mobilne mreže pete generacije

Kao što je već prethodno navedeno, krajnji korisnici su sudionici vrijednosnog lanca u obliku potrošača. Krajnjim korisnicima je pružena mogućnost korištenja raznovrsnih usluga i aplikacija, koje su razvijene za 5G mrežu, te nesmetan pristup mobilnoj mreži pete generacije. Ulogu korisnika može imati pojedinac, u kontekstu poslovnog ili privatnog korisnika, te organizacija. U vidu korištenja mobilne mreže pete generacije, korisnik ima ulogu pretplatnika, odnosno osobe koja je potpisala ugovor sa željenim pružateljem usluga, koji pruža zahtijevane usluge krajnjem korisniku. Prema definiciji, pretplatnik može biti bilo koja pravna ili fizička osoba koja je potpisala ugovor o pružanju usluga s određenim operatorom javno dostupnih elektroničkih komunikacijskih usluga, [27].

Prilikom promatranja korisnika mobilne mreže pete generacije, korisnike je moguće segmentirati na četiri različite klase, a to su, [31]:

- ✚ Ljudi, koji koriste terminalne uređaje u različitim slučajevima uporabe.
- ✚ Autonomna vozila, koja imaju mogućnost međusobne komunikacije, autonomne vožnje, povezivanja na mobilnu mrežu pete generacije te druge terminalne uređaje, itd.
- ✚ Industrija 4.0, koja uključuje pametnu proizvodnju, odnosno da se cjelokupna proizvodnja automatizira uz mogućnost primjene privatnog dijela mobilne mreže pete generacije.
- ✚ Internet stvari, koje omogućuju stvaranje pametnih gradova, pametnih domova i druge.

Svaka od prethodno navedenih klasa korisnika generira individualne uzorke podataka u mobilnoj mreži pete generacije, kao i individualne zahtjeve usmjerene prema istoj mreži. Za svaku od navedenih klasa potrebna je zasebna optimizacija performansi mreže, iz razloga što se i zahtjevi pojedine klase međusobno razlikuju, [31].

Nadalje, moguća je segmentacija klase ljudi prema životnom stilu korisnika, prema tipu korisnika, koja uključuje psihografsku analizu, te prema načinu usvajanja novih usluga od strane korisnika. Segmentacija korisnika na osnovu njihovog životnog stila obuhvaća podjelu na: generalno tržište korisnika, brendirano tržište korisnika te na posljetku specijalizirano tržište korisnika. U kontekstu generalnog tržišta korisnika, vrši se segmentacija korisnika na osnovu njihove životne dobi, dok se kod brendiranog tržišta korisnika izvršava segmentacija korisnika na osnovu zajednice kojoj pripadaju. Specijalizirano tržište korisnika izvršava zasebnu segmentaciju korisnika na osnovu konteksta.

Prema tipu korisnika moguća je segmentacija u pet kategorija, a to su: pioniri, materijalisti, društvenjaci, dostizatelji i tradicionalisti. Kategorija pioniri odnosi se na korisnike koji prvi koriste usluge razvijene za 5G mrežu, kao i novo razvijene tehnologije za 5G mrežu. Materijalisti predstavljaju korisnike koji pokazuju manju zainteresiranost od pionira za novim uslugama i tehnologijama 5G mreže, ali također se ubrajaju u prve korisnike usluga i tehnologija. Društvenjaci su korisnici koji podržavaju korištenje novih 5G tehnologija, samo onda kada 5G mreža nudi svim korisnicima jednaku korist. Dostizatelji se odnose na korisnike koji su zadovoljni tehnologijama i uslugama prijašnjih generacija, ali su voljni koristiti novu tehnologiju u svrhu zabave. Tradicionalisti predstavljaju skupinu korisnika, koji su zadovoljni trenutnom mobilnom mrežom i pripadajućim tehnologijama i uslugama te smatraju da nove tehnologije i mobilna mreža pete generacije nije potrebna, niti sigurna za primjenu.

Korisnike je moguće segmentirati i prema načinu usvajanja usluge na sljedeće kategorije: inovatori, rani usvajatelji, rana većina, kasni usvajatelji i usporeni usvajatelji. Inovatori ili tehnološki entuzijasti predstavljaju ljude koji su u potpunosti predani prihvaćanju svih inovacija koje sa sobom donosi mobilna mreža pete generacije i voljni su prvi testirati njen rad. Rani usvajatelji ili vizionari inzistiraju na prilagodbi rješenja i tehničkoj podršci u kontekstu prihvaćanja usluga 5G mreže. Rana većina ili pragmatisti prihvaćaju korištenje mobilne mreže pete generacije, ali isključivo uz dokaze o kvalitetnom te prihvatljivom funkcioniranju mreže,

kao i o pouzdanosti usluga naročito u poslovnom okruženju. Kasna većina ili konzervativci karakteriziraju korisnike koji ni u kojem pogledu ne prihvaćaju mobilnu mrežu pete generacije, kao ni njezine usluge i tehnologije. Na posljetku postoje usporeni usvajatelji, odnosno skeptici koji smatraju da mobilna mreža pete generacije nije potrebna i ne žele ju koristiti, [32].

Definicija autonomnih vozila podrazumijeva vozila koja su u mogućnosti stići do željenog odredišta bez direktnog djelovanja ljudskog faktora. S obzirom na stupanj autonomnosti, vozila je moguće segmentirati na pet razina. Razina 0 se odnosi na vozilo koje je u potpunosti upravljano od strane vozača. Razina 1 se odnosi na vozilo koje posjeduje određene automatizirane parametre, koji se tiču vožnje. Razina 2 podrazumijeva vozilo koje posjeduje minimalno dva elementa koja su automatizirana, a primjer tih elemenata mogu biti održavanje brzine, mogućnost zadržavanja kolničke trake i drugo. Razina 3 se odnosi na vozilo koje je u potpunosti automatizirano, ali uključuje upravljanje od strane vozača kada to umjetna inteligencija procijeni. Razina 4 predstavlja vozilo koje je sposobno u potpunosti upravljati samostalno, bez posredovanja vozača, čak i u situacijama kada bi vozač trebao asistirati. Razina 5 označava vozilo koje je u potpunosti automatizirano i samostalno izvodi upravljanje nad svim elementima vožnje, [33].

Industrija 4.0 podrazumijeva strojeve za proizvodnju, koji su nadograđeni senzorskim tehnologijama i mogućnošću bežičnog povezivanja na sustav, koji pruža mogućnost virtualizacije cjelokupne proizvodnje. Koncept industrije 4.0 uključuje automatizaciju razmjene velike količine podataka u proizvodnim procesima, povezivanje industrijskih Internet stvari, računalstvo u oblaku, umjetnu inteligenciju i drugo, posredovanjem privatne 5G mreže, [34].

Značajnu primjenu u kontekstu mobilne mreže pete generacije imaju Internet stvari, koje omogućuju istovremenu povezanost većeg broja uređaja, koji imaju mogućnost stvarnovremenog prikupljanja podataka unutar određenog razdoblja. Prethodno navedeno prikupljanje podataka, rezultira opterećenjem postojeće mobilne mreže, kao i na povećanu potrošnju trajanja baterije uređaja. Implementacijom 5G mreže smanjit će se opterećenje mreže i uređaja te će se produljiti životni vijek baterija uređaja u kontekstu Internet stvari. Definiran je niz proizvoda i usluga, za čije je ispravno funkcioniranje neophodan zajednički rad Internet stvari i 5G mreže, a neki od njih su: autonomna vozila, zdravstvena briga u obliku aplikativnog rješenja, logistika, pametni gradovi, proizvodnja i prodaja te drugo, [35].

3.2 Korisnički terminalni uređaji mobilne mreže pete generacije

Korisnički terminalni uređaji su također dio već spomenutog vrijednosnog lanca ekosustava 5G mreže. Prilikom segmentacije prethodno navedenih uređaja, moguće ih je podijeliti u tri različite kategorije opreme, a to su: korisnička terminalna oprema, komunikacijska i mrežna oprema te na posljetku programska oprema. Naime, bez korisničkog terminalnog uređaja cjelokupni ekosustav 5G mreže ne bi mogao funkcionirati, iz razloga jer je upravo on element kojim se korisnicima omogućuje pristup mobilnoj mreži pete generacije, [27].

Tvrtka ZTE prvi je puta 2019. godine u Shanghaiu demonstrirala seriju raznovrsnih 5G terminalnih uređaja, koji uključuju 5G pametne telefone, zatvorene usmjerivače, vanjske usmjerivače, mobilne Wi-Fi (eng. *Wireless Fidelity*) usmjerivače, 5G Ethernet kutiju i 5G

modul na svjetskoj mobilnoj konferenciji. Prethodno navedeni uređaji pokrivaju područje industrijske primjene uključujući pametnu mrežu, inteligentnu proizvodnju, emitiranje uživo i još mnogo toga. Također, uređaji pokrivaju i područje korištenja za privatne korisnike poput aplikativnih rješenja, osobne pristupne točke te širokopojasne kućne mreže, [36]. Iako su prvi 5G terminalni uređaji već predstavljani u 2019. godini, stvarna potražnja za navedenim uređajima očekuje se tek u 2021. godini, a pozitivan utjecaj kupnje uređaja tek u 2022. godini, kada se očekuje da će biti prodano preko 600 milijuna 5G uređaja. Tvrtka CCS Insight navodi da iako je tržište okrenuto prema prijelazu na mobilnu mrežu pete generacije, potrošači su i dalje okrenuti postojećim terminalnim uređajima i čak ne kupuju nove uređaje, već zadržavaju svoje pametne telefone sa značajkama koje im odgovaraju, [37].

3.3 Značajke mobilne mreže pete generacije

Kako bi se krajnjim korisnicima omogućila usluga mobilne mreže pete generacije, potreban je davatelj te iste usluge, koji je poznatiji pod nazivom mrežni operator. On predstavlja pravnu ili fizičku osobu koja posjeduje pravnu ovlast za pružanje javnih telekomunikacijskih usluga, pruža mogućnost korištenja javne telekomunikacijske mreže te povezane opreme. Mrežnog operatora moguće je podijeliti na dvije zasebne uloge, a to je operator pokretane mreže i operator nepokretne mreže, [27].

Mobilna mreža pete generacije je neizostavni element vrijednosnog lanca ekosustava 5G mreže. Ona pruža različiti spektar unaprijeđenih performansi svojim korisnicima, koje su detaljnije navedene u daljnjem dijelu teksta, [38]:

- ✚ pružanje mogućnosti da se podatci prenose brzinom do 10 Gbit/s
- ✚ povećanje razine sigurnosti te smanjenje latencije, odnosno cjelokupnog vremena kašnjenja na 1 ms
- ✚ do 1000 puta veća širina prijenosnog pojasa po jedinici površine
- ✚ do 100 puta veći broj povezanih terminalnih uređaja po jedinici površine
- ✚ krajnjim korisnicima biti će pružena 99.999 % pouzdana usluga
- ✚ 100% pokrivenosti cjelokupnog područja primjene
- ✚ povećanje vremenskog trajanja baterije za IoT uređaje male snage
- ✚ do 90% smanjenja potrošnje energije u mreži
- ✚ primjena MIMO tehnologije rezultirat će povećanjem mrežnih kapaciteta
- ✚ visoka razina mobilnosti

3.4 Operatori i davatelji usluge mobilne mreže pete generacije

Operatori su također element vrijednosnog lanca ekosustava mobilne mreže pete generacije, koji predstavljaju vlasnike poslužiteljske infrastrukture. Kao vlasnik poslužiteljske infrastrukture, operator ima mogućnost rukovođenja dostupnim komunikacijskim te računalnim sustavima, koji posjeduju određene kapacitete memorije te kapacitete namijenjene za obradu podataka. Davatelj usluga posjeduje mogućnost isporuke raspoloživih informacijsko – komunikacijskih usluga primjenom telekomunikacijskih mreža, u koje se ubrajaju fiksna mreža te mobilna mreža. Davatelj usluga ne mora posjedovati vlastitu mrežnu infrastrukturu te u tom slučaju infrastrukturu iznajmljuje od prethodno navedenih operatora. Davatelje usluga moguće je podijeliti u različite kategorije ovisno o usluzi koju pružaju, a to su: davatelji usluga,

davatelji Internet usluga, davatelji usluga koje se temelje na aplikativnim rješenjima, davatelji poslovnih usluga, te na posljetku razvijatelji aplikativnih rješenja, [27].

Tvrtka Ericsson vrši standardizaciju cjelokupnog sustava mobilne mreže pete generacije, koji je pod kontrolom Europske unije te njezinog projekta, koji je usmjeren razvoju dizajna prethodno navedenog sustava te planiranju provođenja standardizacije, a naziva se METIS-II. Sa strateškog aspekta, prethodno navedeni projekt, ima za cilj pružiti mogućnost suradnje unutar okvira 5G mreže, čija bi se infrastruktura temeljila na javno – privatnom partnerstvu. Također, projekt bi izdao preporuke koje se tiču implementacije pristupne mreže i radio spektra mobilne mreže pete generacije. Sukladno s prethodno navedenim, izvršavati će se aktivnosti koje se tiču regulatornih te standardizacijskih tijela. Nadalje, tvrtka Ericsson sudjelovat će i u projektu pod nazivom mMAGIC, čija je osnovna namjena dizajniranje i razvoj inovativnih tehnologija koje za svoj rad koriste frekvencijsko područje u rasponu od 6 GHz do 100 GHz, [39].

Razvoj brojnih aplikacija u kontekstu mobilne mreže 5G predstavlja rezultat dinamične digitalizacije brojnih grana, koje su vezane uz gospodarstvo. Razvoj prethodno navedenih aplikacija doživjet će značajan porast zbog implementacije 5G mreže u svijetu. Kada se spomene pojam digitalizacije, u kontekstu 5G mreže, taj pojam označava transformaciju u vidu poslovanja brojnih svjetskih industrija, koje će za razliku od prethodnog načina poslovanja, u novom koristiti dijelove mobilne mreže pete generacije, koji im odgovaraju.

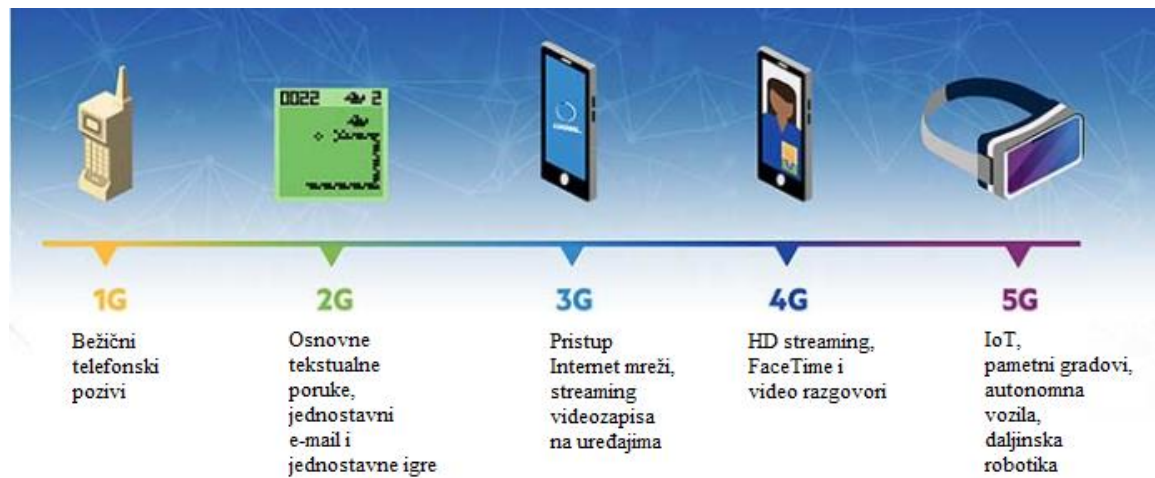
Aplikacije koje će se razvijati za primjenu krajnjim korisnicima, onda kada se implementira mobilna mreža pete generacije, imati će široki spektar primjene. Korisnicima takvog spektra aplikacija omogućit će se upravljanje određenim poslovnim segmentima na daljinu. Time će doći do smanjenja rizika kojeg sa sobom nose određene poslovne pozicije, kao što je primjerice pozicija radnika u rudniku i drugo. Implementacijom tehnologija koje se tiču 5G mobilne mreže, doći će do značajnog povećanja zadovoljstva unutar poslovnih sustava, zbog povećane razine sigurnosti cjelokupne mreže te smanjene potrošnje električne energije, koja dovodi do smanjenja financijskih izdataka te efikasnijeg načina rada uvođenjem digitalizacije, [40].

3.5 Sadržaji koji se isporučuju krajnjim korisnicima u mobilnoj mreži pete generacije

Bitan element vrijednosnog lanca ekosustava 5G mreže je sadržaj koji se isporučuje krajnjim korisnicima u obliku interaktivnih usluga, osobnih usluga, komunikacijskih usluga, usluga internetske trgovine i drugo. Prethodno navedeni sadržaj je pružen krajnjim korisnicima od strane davatelja sadržaja, koji je ujedno i njegov vlasnik. Vlasnik sadržaja ima pravo raspolagati izvornim informacijama te posjeduje autorska i komercijalna prava, [27].

Prilikom razvoja mobilnih mreža težilo se pružanju mogućnosti nesmetane komunikacije u središtu čijeg zbijanja je bio isključivo krajnji korisnik. Stoga i razvoj mobilne mreže pete generacije slijedi isti put, unutar koje će korisnik biti centar cjelokupne komunikacije, a korisnicima će putem vlastitih terminalnih uređaja biti omogućen široki spektar usluga te sadržaja. Nadalje, davatelji sadržaja biti će zaduženi za pružanje i dostupnost raznovrsnog sadržaja krajnjim korisnicima. Unaprjeđenje cjelokupnog sustava rezultirat će širokim

spektrum inovativnih mogućnosti za krajnje korisnike. Ovim postupkom će korisnici moći samostalno regulirati željeni sadržaj kao i njegovu dostupnost te vidljivost ostalim korisnicima oblaka, [2].



Slika 10. Raznovrsnost sadržaja kroz generacije mobilnih mreža, [41]

Na slici 10 moguće je vidjeti razliku sadržaja, koji se isporučuje krajnjim korisnicima, kroz generacije mobilnih mreža. Vidljivo je da se unutar mobilne mreže prve generacije isporučuje sadržaj bežičnih telefonskih poziva, dok se unutar mobilne mreže druge generacije isporučuje sadržaj koji obuhvaća tekstualne poruke, jednostavnu e-poštu te jednostavne igre. Nadalje, sadržaj koji se isporučuje u mobilnoj mreži treće generacije odnosi se na pristup Internet mreži i *streaming* videozapisa na uređajima, a unutar mobilne mreže četvrte generacije isporučuje se sadržaj koji se tiče HD *streaming*-a, *FaceTime*-a te video razgovora. Mobilna mreža pete generacije obuhvaća isporuku sadržaja koji se odnosi na IoT, pametne gradove, autonomna vozila te daljinsku robotiku.

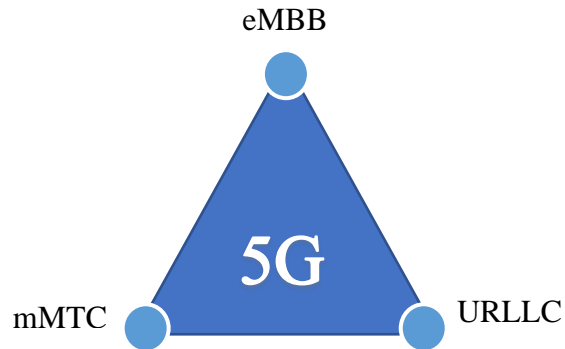
4. Značajke prometnih zahtjeva postojećih i novih aplikacija pojedine klase korisnika

Postupnim razvojem mobilnih mreža kroz generacije, krajnjim korisnicima su pružale raznovrsne mogućnosti te unaprjeđenja u kontekstu zahtjeva, koje su korisnici stavili pred njih. Značajan napredak u kontekstu mobilnih mreža smatra se mogućnost pristupa Internet mreži, čijom pojavom je došlo do razvoja raznovrsnih telekomunikacijskih usluga te aplikativnih rješenja, kojima je uslijedio značajan napredak cjelokupnog komunikacijskog sustava za krajnje korisnike. Samim time, razvoj mobilne mreže pete generacije slijedio je razvoj prethodnih mobilnih mreža, u kontekstu znatnih unaprjeđenja, s ciljem odgovaranja na zahtjeve krajnjih korisnika. Od te mreže očekivalo se da bude u globalnom smislu pametna mreža, koja će svojim korisnicima pružiti brzine prijenosa podataka na osnovu njihovih potreba, bez konstantnog pružanja maksimalne brzine. Prilikom implementacije 5G mobilne mreže, uslijediti će razvoj novih aplikacija te slučajeva uporabe, no bit će i onih novo razvijenih aplikacija koje će koristiti već postojeće slučajeve uporabe, [42].

Novi pogledi na mobilnu mrežu pete generacije, usmjereni su na kreiranje inovativnog povezivanja cijelog svijeta. Prethodno navedeno povezivanje cijelog svijeta obuhvaćalo bi cjelokupno generiranje podataka, koji bi bio konstruiran, procesiran te kontekstualiziran na odgovarajući način, a temeljio bi se na računalstvu u oblaku, pri čemu bi se stalno kreirale inovativne vrijednosti tih istih podataka. Postoji široki spektar aplikativnih rješenja, koji će pronaći svoje mjesto u pogledu razvoja unutar 5G mobilne mreže. Koncept koji se odnosi na Internet stvari, iznimno je bitan u kontekstu 5G mobilne mreže, jer 5G mreža omogućuje istovremeno povezivanje velikog broja uređaja. Primjenom koncepta Internet stvari pojavit će se brojna nova aplikativna rješenja u kontekstu 5G mobilne mreže, a primjeri tih su: pametna proizvodnja, distribucija te logistička praćenja na globalnoj razini, pametna poljoprivreda i gospodarstvo, autonomna vozila, pametna mjerenja, umjetna inteligencija i brojna druga rješenja, [43].

4.1. Definicija usluge u 5G mobilnoj mreži

U skupinu usluga u mobilnoj mreži pete generacije ubrajaju se: eMBB (eng. *enhanced Mobile BroadBand*), URLLC (eng. *Ultra-Reliable and Low-Latency Communication*) te mMTC (eng. *massive Machine Type Communication*) usluga. Slika 11 prikazuje prethodno navedene usluge, koje se u kontekstu 5G mobilne mreže podrazumijevaju kao nosive mrežne usluge.



Slika 11. Usluge koje nudi 5G mobilna mreža
Izvor: [44]

eMBB predstavlja poboljšanu mobilnu širokopojasnu mrežu, koja zahtijeva značajno veće brzine prijenosa podataka za slučajeve uporabe kao što su streaming velikih razmjera i virtualna stvarnost. Od mobilne mreže pete generacije očekuje se značajno povećanje propusnosti mreže, kao i povećanje u vidu zadovoljstva krajnjih korisnika. Cilj 5G mobilne mreže je omogućiti propusnost do 20 Gbit/s u silaznom kanalu, koji se odnosi na relaciju od bazne stanice prema korisničkom terminalnom uređaju. Kako bi se prethodno navedeni cilj ostvario, nužno je postavljanje novih frekvencijskih pojaseva, kako bi se omogućilo formiranje kanala širine pojasa do 1 GHz. Još neke od mogućnosti za postizanje izrazito visoke propusnosti su prenošenje, koje se izvršava većim brojem antena, i oblikovanje snopa. Također, ne postoji puno slobodnih prijenosnih pojaseva za niske frekvencije (<6 GHz), jer je većina već dodijeljena. Stoga, za korištenje ultra širokih kanala u 5G mobilnoj mreži primjenjuju se milimetarski valovi (npr. 28 GHz). U tom rasponu postoji poprilično puno slobodnih pojaseva, koji mogu biti dodijeljeni za pružanje mobilnih bežičnih usluga, dok se pojasevi niskih frekvencija (<1 GHz) koriste za pružanje odgovarajuće pokrivenosti mreže. Prijenos primjenom većeg broja antena je iznimno bitan u visokim pojasevima kod kojih je širenje valova izrazito ograničeno te se takvim prijenosom postiže poboljšana pokrivenost mreže, kao i spektralna učinkovitost.

mMTC predstavlja komunikaciju sa izrazito velikim brojem uređaja, u kontekstu pružanja pristupa Internet mreži mjernim, nadzornim i drugim uređajima. Obično su navedeni uređaji izrazito jeftini (<5\$). Također, karakteristika prethodno navedenih uređaja je vrlo mala potrošnja energije te mala količina prenesenih podataka. Iako je sposobnost održavanja iznimnog broja uređaja, koji prenose male pakete, i učinkovitost korisničke opreme značajka uštede energije, koja se smatra ključnim segmentom ovog područja.

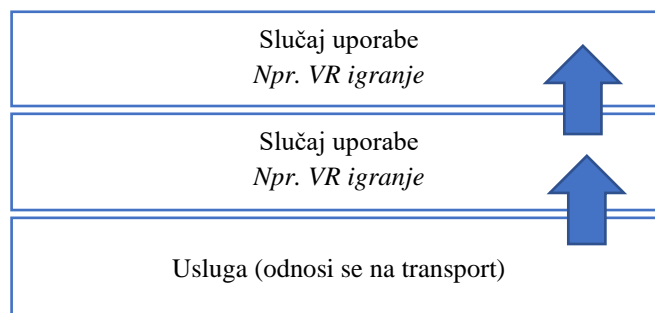
URLLC (eng. *Ultra-Reliable Low-Latency Communication*) predstavlja izrazito pouzdanu komunikaciju s malom latencijom u kontekstu kritičnih usluga i aplikacija. U skupinu kritičnih aplikacija moguće je ubrojiti slijedeće: industrijski Internet, pametne mreže, inteligentne transportne sustave i druge. Osim eMBB-a, URLLC se podrazumijeva kao ključna značajka unutar 3GPP izdanja 15 5G NR. Uvođenjem URLLC-a pružena je izrazito visoka razina pouzdanost, koja iznosi čak 99,999%, zaštita od kraja do kraja te smanjenje kašnjenja na jednu milisekundu. Prilikom dizajniranja usluga s malim kašnjenjem te izrazito visokom razinom pouzdanosti potrebno je uzeti u obzir nekoliko neophodnih komponenti kao što su: integrirana struktura okvira, izrazito brzi odgovor, učinkovita kontrola te dijeljenje podatkovnih resursa,

prijenos na uzlaznoj vezi koji se temelji na *grant-free* strategiji te napredne sheme za kodiranje kanala. *Grant-free* strategija predstavlja bespovratni prijenos, što je održivo rješenje u kojem korisnička oprema prenosi svoje podatke resursom kada stigne u međuspremnik. Korisnička oprema prenosi podatke na način dolazaka i odlaska bez slanja zahtjeva za zakazivanje (SR) i primanja raspodjele resursa (RA) od strane mreže, a s tim se kašnjenje značajno smanjuje. Prijenos je nasumičan i događa se na unaprijed definiranim resursima. Najvećim izazovom prilikom dizajniranja takve skupine usluga smatra se oblikovanje fizičkog sloja, iz razloga što istovremeno smanjenje kašnjenja te povećanja pouzdanosti nije jednostavno, [44].

4.2. Definicija aplikacija i slučajeva uporabe u 5G mobilnoj mreži

Pojavom mobilne mreže 5G, pojavile su se i nove klase korisnika te slučajevi uporabe. Shodno tome, razvijaju se nove ili unaprjeđuju postojeće aplikacije za tu istu mrežu, stoga je tvrtka Huawei provela analizu aplikacija koje će biti izrazito bitne u 5G mobilnoj mreži.

Prethodno je potrebno naznačiti kako zapravo postoji neujednačenost u korištenju termina usluga, aplikacija i slučajevi uporabe u različitim literaturnim izvorima. Može se zapravo reći da postoji „siva zona“ u definiranju odnosa njihovih odnosa. U pravilu bi se taj odnos mogao prikazati na način kako to pokazuje slika 12.



Slika 12. Odnos usluge, aplikacije i slučaja uporabe kod 5G mreže

Izvor: [31]

Odnos aplikacija i slučajeva uporabe prikazan je u tablici 2 u kojoj su ujedno pojedinim slučajevima uporabe za aplikaciju AR/VR pridružena i područja primjene.

Tablica 2. Primjeri uporabe aplikacije VR/AR u različitim područjima

| Aplikacija | Područje | Slučajevi uporabe |
|------------|-------------------------------|---|
| AR/VR | Komunikacija i druženje | uranjajući (<i>immersive</i>) VR/AR pozivi |
| | | AR/VR sadržaj koji generira korisnik |
| | | prijenos mog života u 360° |
| | Igara i zabave | igranje u proširenoj stvarnosti na otvorenom |
| | | uranjajuće (<i>immersive</i>) sportske i glazbene arene |
| | Sporta i fitnesa | statistike i mape u virtualnoj i proširenoj stvarnosti |
| | | vježbanje/osobni trener u proširenoj stvarnosti |
| | Maloprodaje i e-trgovine | AR/VR maloprodaja |
| | | stvarni pregled imanja/kuće |
| | | pronalazač proizvoda/navigacija u trgovini |
| | Industrije | potpomognuto održavanje |
| | | daljinska podrška |
| | Zdravlje i zdrav način života | daljinska njega bolesnika |
| | | potpomognuta operacija/post operativna rehabilitacija |

Izvor: [31]

U nastavku će biti korišteni predmetni termini na način kako ih koriste autori u pojedinim izvorima. Tako prethodno spomenuta analiza aplikacija tvrtke Huawei obuhvaća sljedeća aplikativna rješenja te slučajeve uporabe, [43]:

- ✚ Primjena virtualnog oblaka i proširene stvarnosti, u kontekstu igranja interaktivnih igara unutar stvarnog vremena, kao i izvršavanje postupka modeliranja.
- ✚ Mogućnost autonomne konekcije, u kontekstu vozila, koja su autonomna te izvršavanja komunikacije između vozila.
- ✚ Mogućnost pametne proizvodnje, u kontekstu daljinskog upravljanja, koje se temelji isključivo na primjeni računalstva u oblaku.
- ✚ Mogućnost energetske konekcije, u kontekstu izvođenja samostalnog napajanja potrebnom energijom.
- ✚ Mogućnost primjene bežičnog eZdravstva, u kontekstu određivanja dijagnoze pacijenata te pružanja povratnih informacija, primjenom komunikacije na daljinu.
- ✚ Primjena bežičnog interijera unutar vlastitog doma korisnika, u kontekstu pružanja mogućnosti pregledavanja UHD 8k video sadržaja te igranje interaktivnih igara, koje se temelje na računalstvu u oblaku.
- ✚ Primjena dronova, koji su međusobno povezani, u kontekstu izvršavanja nadgledanja te kontrole s profesionalnog aspekta.
- ✚ Pružanje novih mogućnosti korištenjem društvenih mreža, u kontekstu panoramskog emitiranja video signala u stvarnom vremenu pri UHD rezoluciji.
- ✚ Mogućnost korištenja osobnog asistenta, u kontekstu unaprijedene pametne kacige.
- ✚ Razvoj pametnih gradova, u kontekstu implementacije raznovrsnih inovativnih tehnologija u svim aspektima gradskog okruženja.

Prethodno navedena aplikativna rješenja, koja se tiču mobilne mreže 5G, postavljaju vrlo raznolike zahtjeve pred tu istu mrežu. Navedeni zahtjevi 5G mreže za nove i unaprijedene aplikacije obuhvaćaju potrebu za odgovarajućom razinom dopuštenog kašnjenja, osiguravanje potrebne širine prijenosnog pojasa za prijenos određene količina podataka, osiguravanje potrebne gustoće mobilnih terminalnih uređaja koji su povezani te osiguravanje izvora

napajanja uređaja. Ispunjavanjem prethodno navedenih zahtijeva, koji su postavljeni pred 5G mrežu, te ispravno dodjeljivanje mrežnih resursa, koji su potrebni za rad aplikacija, ostvarit će se potpuni potencijal mobilne mreže pete generacije. Nadalje, postoje aplikacije koje se trenutno ne mogu odgovarajuće i u potpunosti koristiti, a da pri tome bude osigurana potrebna razina kvalitete, stoga je potrebno implementirati 5G mrežu, koja će ispuniti sve postavljene zahtjeve za nesmetano izvođenje tih aplikacija. U skupinu prethodno navedenih aplikacija spadaju: aplikacije koje se odnose na virtualnu stvarnost te proširenu stvarnost, aplikacije koje se odnose na prijevoz, aplikacije koje se odnose na automatiziranje cjelokupne industrije, aplikacije koje se odnose na zdravstvo te na posljertku aplikacije koje se odnose na izgradnju pametnih gradova, [45].

Tablica 3. Vrste usluga, slučajeva uporabe i aplikacija u 5G mobilnoj mreži

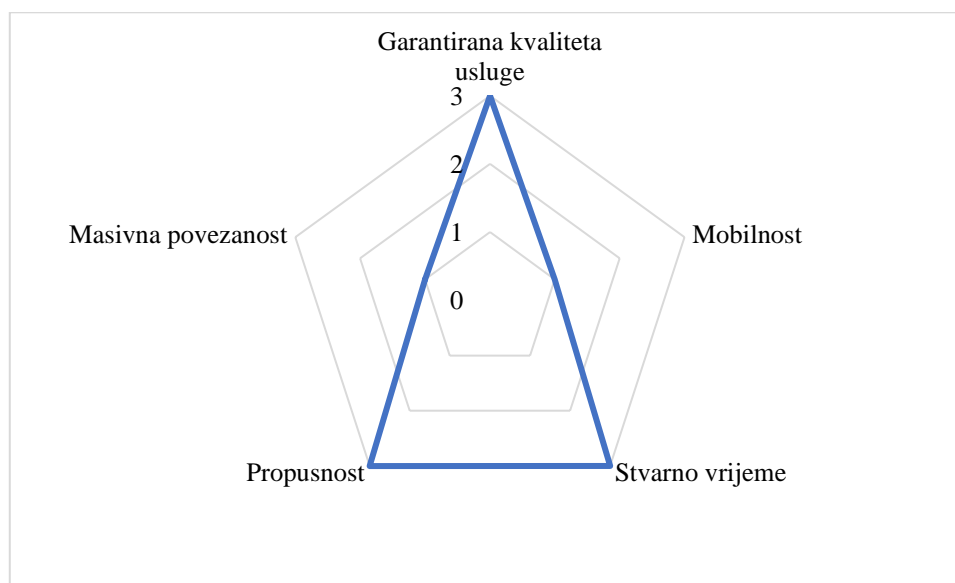
| Usluge | Komunikacija | Slučajevi uporabe | Aplikacije |
|--------------|------------------|--|---|
| eMMB | Osoba s osobom | video pozivi, virtualni sastanci | kontrola pokreta, daljinski upravljač, AR i VR aplikacije, igranje interaktivnih igara |
| | Osoba sa strojem | fiksni Wi-Fi, UGH video | |
| | Stroj sa strojem | video nadzor, mobilno računalstvo u oblaku | |
| mMTC | Osoba s osobom | nosivi terminalni uređaji, društvene mreže | industrijska kontrola, kontrola robota, strojna komunikacija, kontrola procesa, pametna energija, pametna mreža, |
| | Osoba sa strojem | pametni domovi/pametni gradovi, nadzor zdravstvene zaštite | |
| | Stroj sa strojem | pametni domovi/pametni gradovi, vozilo sa infrastrukturom, industrijska automatizacija | |
| uRLLC | Osoba s osobom | javna sigurnost | industrijska kontrola, kontrola robota, strojna komunikacija, kontrola procesa, daljinska dijagnoza, hitna reakcija, operacija na daljinu, aplikacije za pomoć vozaču, povećana sigurnost, autonomna vožnja, upravljanje prometom |
| | Osoba sa strojem | operacija na daljinu, vozilo sa pješakom, | |
| | Stroj sa strojem | vozilo sa vozilom, industrijska automatizacija | |

Izvor: [44] [46]

Tablica 3 prikazuje različite 5G aplikacije i pripadajuće slučajeve uporabe za svaku vrstu usluge. Također, moguće je vidjeti i podjelu slučajeva uporabe prema vrsti komunikacije, koja može biti između ljudi, ljudi i strojeva te samo između strojeva. Mobilna mreža pete generacije omogućit će povezivanje iznimno velikog broja uređaja, stoga će se sama komunikacija između strojeva poboljšati, kao i komunikacija s ljudima jer će stvari i ljudi biti umreženi čineći pametna okruženja. U tablici je također prikazano i koja vrsta usluge odnosno klase usluge će zadovoljiti potrebe pojedinih aplikacija i slučajeva uporabe.

4.2.1. Aplikacije koje se odnose na virtualnu i proširenu stvarnost

Prilikom razmatranja mogućnosti mobilne mreže pete generacije, uvidjelo se da ona pruža različiti spektar unaprjeđenja postojećih aplikacija te razvoja brojnih inovativnih aplikacija, koje do sada nisu postojale. Prethodno navedene mogućnosti razvoja i unaprjeđenja aplikativnih rješenja, drastično će promijeniti svakodnevne navike i sam život krajnjih korisnika. Prilikom detaljnog uvida u zahtjeve krajnjih korisnika, tvrtka Ericsson definirala je zahtjeve na način da korisnici očekuju povezivanje virtualne te proširene stvarnosti, zajedno s fizičkom stvarnosti u jednu cjelinu. Na živote krajnjih korisnika značajan učinak može imati promjena u doživljavanju stvarnosti od strane korisnika, gdje oni više neće svjesno razlikovati fizičku od virtualne stvarnosti, [47].



Grafikon 1. Zahtjevi koji su postavljeni za aplikacije virtualne i proširene stvarnosti
Izvor: [43]

Na grafikonu 1 vidljivi su zahtjevi, koji su postavljeni pred 5G mrežu, kako bi se omogućilo nesmetano izvršavanje aplikacija, koje se odnose na virtualnu stvarnost te proširenu stvarnost. Vidljivo je da je pred zahtjeve, koji se tiču stvarnog vremena, propusnosti te garantirane kvalitete usluge, zahtijevana izrazito visoka razina zahtjeva, dok je pred zahtjeve, koji se tiču mobilnosti te masivne povezanosti postavljena izrazito niska razina zahtjeva. Za nesmetano funkcioniranje aplikacija, koje se tiču virtualne i proširene stvarnosti, izrazito su bitni sljedeći zahtjevi: stvarno vrijeme, propusnost te garantirana kvaliteta usluge.

Za ispravno funkcioniranje prethodno navedenih aplikativnih rješenja, u kontekstu virtualne te proširene stvarnosti, veliki značaj ima primjena računalstva u oblaku. Prvenstveno je potrebno izvršiti obradu bitnih podataka, kao i proračunskih zadataka unutar stvarnog vremena. Nakon postupka obrade, prethodno navedene podatke i proračunske zadatke, potrebno je pohraniti unutar oblaka, koji mora osigurati dostatnu količinu mjesta za pohranu. Sve prethodno navedeno omogućit će iznimno smanjenje, u kontekstu cijene mobilnih terminalnih uređaja, što će rezultirati povećanom razinom dostupnošću tih uređaja svim kategorijama krajnjih korisnika. Cjelokupno telekomunikacijsko tržište, koje se zasniva na računalstvu u oblaku, imat će konstantan porast. U kontekstu širenja tržišta, očekuje se da će svake godine porasti broj

krajnjih korisnika za 18%. Nadalje, pretpostavka je da će u sljedećih nekoliko godina doći do prestanka u korištenju klasičnih oblika računala i mobilnih terminalnih uređaja, od strane krajnjih korisnika, te će se oni usmjeriti na korištenje uređaja, koji će svoj rad temeljiti na računalstvu u oblaku. Takvi uređaji biti će znatno unaprijeđeni, iz razloga što će svojim korisnicima pružiti mogućnost pokretanja isključivo fizičkim dodiranjem i/ili glasovnom naredbom, ovisno o željama krajnjih korisnika. Kako bi to omogućili, novo razvijeni terminalni uređaji morat će sadržavati znatno unaprijeđena sučelja. Kao što je već u prethodnim poglavljima navedeno, pred 5G mrežu postavljeni su zahtjevi, koji se tiču značajnog povećanja u kontekstu brzine prijenosa podataka, zbog enormnog porasta količine generiranih podataka. Ovim napretkom mobilna mreža 5G omogućit će pristup svim aspektima usluga, koje će svoj rad zasnivati na oblaku, [43].

Navedenom detaljnom analizom, koju je izvršila tvrtka Ericsson, ukazano je na to da krajnji korisnik neće imati osjećaj povezanih stvarnosti, u kontekstu virtualne te proširene stvarnosti zajedno s fizičkom stvarnosti, onda kada je korisnik putem kabla povezan na vlastito računalo ili onda kada korisnik nije povezan s fizičkom stvarnosti. Izrazito visoka očekivanja su postavljena pred 5G mrežu, od strane prvih korisnika virtualne te proširene stvarnosti. Prethodno navedene prve korisnike, moguće je segmentirati u dvije skupine na osnovu njihovih očekivanja, [47]. Prvi korisnici virtualne i proširene stvarnosti, čak njih 36%, predviđa da će mobilna mreža 5G pružiti mogućnost veće mobilnosti virtualne te proširene stvarnosti, korištenjem mreža, koje su brze i stabilne te rade na vrlo visokim razinama frekvencije, dok 30% prvih korisnika virtualne i proširene stvarnosti predviđa da će mobilna mreža 5G pružiti mogućnost da postojeća kablovska oprema, koja se tiče virtualne te proširene stvarnosti, postane bežična. Slika 13 prikazuje primjer korištenja virtualne stvarnosti u svakodnevnom životu primjenom VR naočala.



Slika 13. Primjer virtualne stvarnosti, [48]

Nadaje, u tekstu koji slijedi moguće je vidjeti evolucijski razvoj kroz definirane razine, a taj razvoj tiče se aplikativnih rješenja te tehničkog razvoja proširene i virtualne stvarnosti. Također, moguće je vidjeti i zahtjeve koji se postavljaju za povezivanje na ogovarajuću bežičnu mrežu, [43]:

- ✚ Aplikacije i tehničke značajke virtualne stvarnosti

- *Razina 0/1* – virtualna stvarnost na osobnim računalima omogućuje obradu te prezentaciju fizičkih pokreta na korisničkim terminalnim uređajima (primjer: simulacija interaktivnih igara), dok mobilna virtualna stvarnost omogućuje odašiljanje video signala u stvarnom vremenu te također omogućava obradu i prezentaciju fizičkih pokreta na korisničkim terminalnim uređajima (primjer: edukacija korištenjem 360° kamere)
 - *Razina 2* – oblak kao asistent virtualne stvarnosti omogućava obradu fizičkih pokreta unutar oblaka (primjer: interaktivna komunikacija)
 - *Razina 3/4* – virtualna stvarnost u oblaku omogućuje obradu unutar oblaka te prezentaciju fizičkog pokreta na korisničkim terminalnim uređajima u stvarnom vremenu (primjer: igranje interaktivnih igara)
- ✚ Aplikacije i tehničke značajke proširene stvarnosti
- *Razina 0/1* – dvodimenzionalna proširena stvarnost pruža mogućnost pregleda lokalne slike i teksta (primjer: rad na daljinu)
 - *Razina 2* – trodimenzionalna kombinacije proširene i virtualne stvarnosti omogućava učitavanje slika te multimedijske usluge, koje se temelje na računalstvu u oblaku (primjer: hologrfska vizualizacija)
 - *Razina 3/4* – kombinacija virtualne i proširene stvarnosti u oblaku omogućava ponovljen prikaz slike u oblaku (primjer: učitavanje slika)
- ✚ Zahtjevi za povezivanjem na mrežu
- *Razina 0/1* – primjena Wi-Fi i 4G prijenosa signala brzinom do 20 Mbit/s i kašnjenjem do 50 ms
 - *Razina 2* – primjena 4,5G prijenosa signala brzinom do 40 Mbit/s i kašnjenjem do 20 ms
 - *Razina 3/4* – primjena 5G prijenosa signala brzinom od 100 Mbit/s do 9,4 Gbit/s i kašnjenjem od 2 ms do 10 ms

Postoji niz sektora u kontekstu ljudskog društva, unutar kojih se očekuje primjena tehnologija, koje se tiču virtualne te proširene stvarnosti. Očekuje se primjena virtualne i proširene stvarnosti u svakodnevnom životu ljudskog društva na sljedećim područjima: u kontekstu medija, obrazovanja, posla, trgovine, putovanja i drugog. Danas je već zamjetna transformacija u kontekstu medija pa korisnici predviđaju da će virtualni ekrani, u skoroj budućnosti, u potpunosti zamijeniti televizijske uređaje i kazališta, [47].

4.2.2. Aplikacije koje se odnose na autonomna vozila

Implementacijom 5G mobilne mreže cjelokupno tržište, koje se odnosi na autonomna vozila, biti će unaprijeđeno. Naime, osim što će biti povezanost između automobila, doći će do povezivanja ostalih segmenata koji se nalaze u korisnikovom okruženju te će se korisnici povezivati u cjelinu. Shodno tome, doći će do znatnog povećanja razine sigurnosti, u kontekstu mobilnosti, kao i povećanja razine održavanja te mobilnosti. U cilju razvoja autonomnosti vozila, definirani su brojni zahtjevi, koji kada se zadovolje, rezultirat će globalnim razvojem autonomnih vozila, kao i okoline koja će biti povezana.

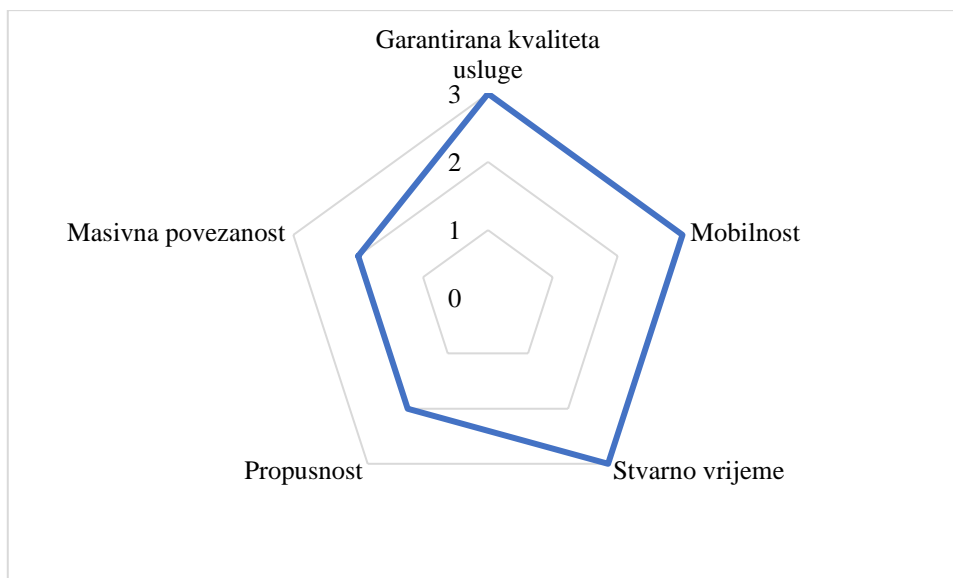
Glavnu riječ, u kontekstu revolucije autonomnih vozila, vode aspekti koji su usko vezani uz način funkcioniranja takvog tipa vozila. Primjer prethodno navedenih aspekata čine: životni

ciklus vozila, okruženje s korporativnog aspekta, održavanje vozila te senzorski podatci iz vozila. Svi ti aspekti postavljaju izražene zahtjeve u kontekstu povećanja razine pouzdanosti i sigurnosti mreže te propusnosti kanala, kao i zahtjeve u kontekstu smanjenja razine kašnjenja. ABI Research je proveo istraživanje kojim je ukazao na značajno povećanje autonomnih vozila u sljedećih nekoliko godina, točnije predviđa oko 60 miliona autonomnih vozila, koja se temelje na 5G mreži, do 2025. godine. U nadolazećem razdoblju, koje se tiče autonomnih vozila, izrazit naglasak biti će na cjelokupnoj bežičnoj konekciji. Takav princip konekcije rezultirat će i brojnim inovativnim uslugama, kod kojih će biti prepoznata smanjena razina ljudskog djelovanja. U takav tip usluga ubrajaju se primjerice sustavi u kontekstu navigacije, koji će biti ugrađeni izravno u autonomno vozilo, čime će se značajno smanjiti ljudsko djelovanje. Postupak koji se odnosi na smanjenje ljudskog djelovanja, rezultira zahtjevima usmjerenim na povećanje razine, u kontekstu razmjene podataka, na relaciji vozilo te baze podataka, koje svoj rad zasnivaju na računalstvu u oblaku, [43]. Slika 14 prikazuje primjer koji se odnosi na autonomno vozilo u svakodnevnom korisnikovom okruženju.



Slika 14. Primjer autonomnog vozila, [49]

U telekomunikacijama je poznat pojam, koji se odnosi na aplikacije koje pružaju mogućnost komunikacije na relaciji između vozila, aplikacije koje omogućuju izvršavanje komunikacije na relaciji između vozila te infrastrukture i druge aplikacije koje se odnose na ostale inteligentne transportne sustave. Sve prethodno navedene skupine aplikacija, zahtijevaju od 5G mobilne mreže znatno smanjenje kašnjenja, u odnosu na postojeću 4G mrežu. Nadalje, autonomna vozila imaju izražene zahtjeve, koji se odnose na postupke u kontekstu prijenosa podataka na relacijama između vozila te na relacijama između vozila i infrastrukture. Navedeni prijenos podataka na odgovarajućim relacijama, zahtijeva sudjelovanje stvarnovremenih sigurnosnih sustava, kako bi svi podatci bili isporučeni te zaprimljeni u stvarnom vremenu, unutar sigurnog okruženja. Prethodno navedeni sigurnosni sustavi, svoj nesmetan rad mogu izvršavati onda kada je kašnjenje unutar mreže manje od 5 ms, a pouzdanost cjelokupne mreže veća od 99,999%, [45].



Grafikon 2. Zahtjevi aplikacija koje se odnose na autonomna vozila
Izvor: [43]

Na grafikonu 2 vidljivi su zahtjevi, koji su postavljeni pred 5G mrežu, kako bi se omogućio nesmetan rad aplikacija, koje su vezane uz autonomna vozila. Vidljivo je da je pred zahtjeve, koji se tiču stvarnog vremena, mobilnosti te garantirane kvalitete usluge zahtijevana izrazito visoka razina zahtjeva, dok je pred zahtjeve, koji se tiču propusnosti te masovne povezanosti zahtijevana nešto malo niža razina zahtjeva. Za nesmetano funkcioniranje takve vrste aplikacija, koje su vezane uz autonomna vozila, izrazito su bitni svi zahtjevi prikazani na grafikonu 2, samo ne u istom intenzitetu zahtijevanja.

Kada se govori o tržištu autonomnih vozila, tržište će se iznimno proširiti, zbog velikog broja priključnih točaka, koje se nalaze na mrežnim završecima, te same financijske vrijednosti informacija, koje se prenose na relaciji između povezanih vozila te između vozila i infrastrukture. S druge strane, kada se govori o tržištu s aspekta različitih prometnih grana, koje uključuju zračni, pomorski te željeznički promet, tada se tržište odnosi na još veću cjelinu za razvitak autonomnih vozila, za razliku od aspekta promatranja prometa koji se odvija unutar gradova, [45].

Mobilna mreža 5G donosi iznimno povećanje kapaciteta mreže te unaprjeđuje tehnologiju koja se tiče umjetne inteligencije. Navedena mobilna mreža pete generacije pruža mogućnost olakšanog povezivanja javnog gradskog prijevoza s glavnim točkama unutar gradova. Primjer prethodno navedenog povezivanja je pametna javna gradska transportna mreža, koja će imati mogućnost samostalne konfiguracije, na temelju zahtijevanih kapaciteta za transport putnika, prilikom nekih javnih događanja u gradovima (nogometne utakmice, koncerti i sl.). Također, prethodno navedena pametna javna gradska transportna mreža omogućit će krajnjim korisnicima uvid u kretanje samih ljudi te protok prometa. Kako bi se izbjegla nepotrebna prometna zagušenja, centar za upravljanje prometom izvršavat će planiranje prometnih tokova na svakodnevnoj bazi te će vršiti izmjenjivanje rute u stvarnom vremenu, [50].

Predviđa se da će mobilna mreža pete generacije biti jedinstvena mreža koja će omogućiti sve aspekte povezanosti, upravljanja na daljinu te komunikaciju između autonomnih vozila. U

kontekstu izvršavanja komunikacije na relaciji vozilo i infrastruktura 5G mobilna mreža će postojeću tehnologiju moći zamijeniti sustavima kratkog dometa. Takva skupina sustava svoj rad izvršava na frekvencijama od 5,9 GHz.

U današnje vrijeme je izrazito poznat pojam dronova, koji se stručno nazivaju bespilotnim letjelicama. Njihovo ime slijedi iz toga što se unutar njih ne nalazi korisnik u ulozi pilota koja upravlja njima, već se korisnik koji izvršava upravljanje nalazi na udaljenosti te njime upravlja daljinskim putem ili putem aplikacija koje mogu biti instalirane na mobilnim terminalnim uređajima krajnjih korisnika. Ovakva vrsta letjelica je dostupna svim krajnjim korisnicima u današnje vrijeme bez znatnih ograničenja, u kontekstu posjedovanja. Ovaj tip letjelica pruža značajne mogućnosti u svrhu izvršavanja kontrole te nadzora iz zraka, upravo zato letjelice moraju sadržavati tehnologiju poznatiju pod nazivom LiDAR (eng. *Light Detection and Ranging*). Prethodno navedena vrsta tehnologije omogućuje generiranje iznimne količine podataka, koja može iznositi više od više od 200 Mbit/s, a postupak prijenosa tih podataka izvršava se putem mreže te unutar stvarnog vremena. Njezin rad se zasniva na principu mjernog instrumenta koji emitira laserske zrake koje se odbijaju od prostor na kojem se izvršava postupak skeniranja te se iste zrake vraćaju prema optičkom prijemu koji izvršava zatim postupak registriranja, [43].

4.2.3. Aplikacije koje se odnose na automatiziranu industriju

U današnje vrijeme pojam industrijske automatizacije i robotike vrlo je atraktivan. Prethodno navedeni pojmovi su u razvoju i predstavljaju aktivno tržište, koje je usmjereno razvoju aplikacija, koje se odnose na automatiziranu industriju. Shodno tome, došlo je do nastanka novog pojma, pod nazivom Industrija 4.0. Navedeni pojam Industrija 4.0 nastao je kako bi se olakšalo definiranje određenog skupa raznovrsnih informacijsko – komunikacijskih tehnologija, koje su orijentirane povećanju razine učinkovitosti te optimizaciji cjelokupne postojeće industrije. Industrija 4.0 sadrži bitne segmente kao što su: Industrijske Internet stvari, odnosno mogućnost povezivanja unutar pametnih tvornica te izvan pametnih tvornica, interoperabilnost, mogućnost nadzora i upravljanja različitim industrijskim procesima u stvarnom vremenu, primjena virtualne mreže, odnosno segmenta mreže gdje se vrši senzorsko prikupljanje podataka u stvarnom vremenu, koji se tiču fizičkog dijela tvornice, te se ti prikupljeni podatci primjenjuju prilikom izvršavanja raznovrsnih testova za provjeru rada inovativnih koncepata ili samog poslovanja pametne tvornice, [45].

Prethodno definirani pojam Industrija 4.0 odnosi se na procese proizvodnje, koji su organizirani na način da se temelje na informacijsko – komunikacijskim tehnologijama i autonomnim uređajima, koji imaju mogućnost međusobnog komuniciranja. To uključuje još veću digitalizaciju i automatizaciju industrije za proizvodnju, pri čemu se fizičke komponente ugrađuju zajedno s telekomunikacijskom mrežom. Sustavi, koji se tiču proizvodnje, su vertikalno umreženi s procesima, koji se tiču poslovanja, u tvornici i poduzeću, odnosno integrirani su u sektoru za organizaciju. Također, prethodno navedeni sustavi i procesi, horizontalno su povezani s mrežama, koje se tiču vrijednosnog lanca i s kojima se može stvarnovremeno upravljati, odnosno integrirani su kroz različite poslovne partnere i dobavljačke lance. Rezultat pojave Industrije 4.0 biti će povezanost digitalnih tehnologija, koje se tiču industrijskih proizvoda i usluga, u hibridne proizvode, koji ne moraju izričito biti roba

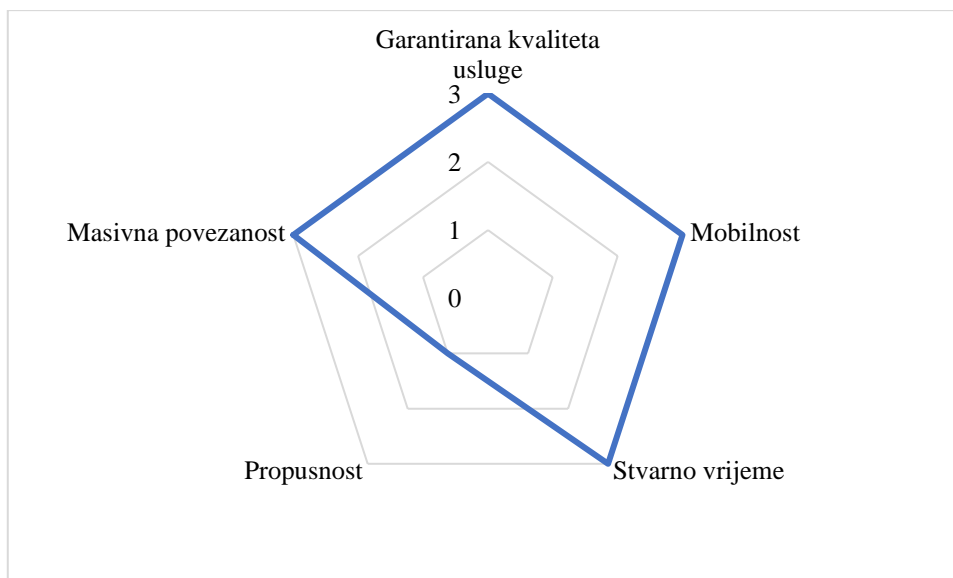
ili usluga. Industrijske Internet stvari te Internet usluge predstavljaju ključne elemente Industrije 4.0, [51]. Slika 15 prikazuje primjer automatizirane industrije.



Slika 15. Primjer automatizirane industrije, [52]

Odbor za industriju, istraživanje i energiju Europske komisije, u 2016. godini je iznio šest glavnih trendova koji se tiču Industrije 4.0. U navedene trendove pripadaju: interoperabilnost, virtualizacija, decentralizacija, mogućnosti stvarnog vremena, usmjerenost prema uslugama i modularnosti. Kada se govori o interoperabilnosti, tada se misli na sustave, koji sadrže radne podloge namijenjene za sastavljanje i proizvodnju te omogućuju ljudima i samim tvornicama da izvrše konekciju kako bi međusobno mogli komunicirati. Sljedeći trend predstavlja virtualizacija, koja se odnosi na virtualnu kopiju pametne tvornice, koja je stvorena na način da su se prikupljeni senzorski podatci spojili s virtualnim modelom same tvornice i modelom za simulaciju. Decentralizacija predstavlja sposobnost sustava da samostalno odlučuje te primjenu tog sustava u lokalnoj proizvodnji, koristeći tehnologije trodimenzionalnog printa i sl. Trend koji se tiče mogućnosti stvarnog vremena, odnosi se na stvarnovremeno prikupljanje podataka te analizu podataka, kao i mogućnost uvida u podatke također u stvarnom vremenu. Na samom kraju nalazi se trend pod nazivom modularnost, koji pruža mogućnost fleksibilnog prilagođavanja pametnih tvornica za postavljenim zahtjevima promjene, koje uključuje zamjenu ili unaprjeđenje postojećih pojedinačnih modula, [51].

Aplikacije, koje se odnose na automatiziranu industriju i robotiku, razvijaju se iz razloga što se proizvodnju želi usmjeriti prema vitkoj proizvodnji, procese koji se tiču proizvodnje te samu proizvodnju, želi se digitalizirati i postići veća razina fleksibilnosti. Kada se govori o vitkoj proizvodnji, misli se na filozofiju, u kontekstu proizvodnje, koja svojom ugradnjom znatno smanjuje vremenski period trajanja od procesa naručivanja, od strane korisnika, do isporuke gotovog proizvoda ili usluge tom istom korisniku, prilikom čega se uklanjaju svi mogući izvori gubitaka u samom procesu proizvodnje. Proizvođači će u sve većoj mjeri težiti prema prethodno navedenom načinu proizvodnje, što zahtijeva izvršavanje poboljšanja unutar mreže i primjena koncepata, u kontekstu industrijskih Internet stvari, čime se povećava učinkovitost samog procesa proizvodnje. Danas postoje različiti problemi te izazovi, koji su postavljeni pred postojeću mrežu. Proizvođači koji koriste postojeća bežična rješenja, odnosno Wi-Fi tehnologije, *bluetooth* i druge, osjete brojna ograničenja u kontekstu sigurnosti, pouzdanosti i propusnosti mreže, što će riješiti nadolazeća mobilna mreža pete generacije, [43].



Grafikon 3. Zahtjevi aplikacija koje se odnose na automatizaciju industrije
Izvor: [43]

Na grafikonu 3 mogu se vidjeti zahtjevi, koji su postavljeni pred aplikacije za automatizaciju industrije, kako bi se omogućio nesmetan rad tih istih aplikacija. Može se vidjeti da je zahtijevana vrlo visoka razina zahtjeva, koji se tiču stvarnog vremena, mobilnosti, garantirane kvalitete usluge te masivne povezanosti, dok zahtjev za propusnosti nije izrazito bitan. Za nesmetan rad takve vrste aplikacija, koje se odnose na automatizaciju industrije, izrazito su bitni svi zahtjevi prikazani na grafikonu 3, osim zahtjeva propusnosti.

Kao što je već prethodno navedeno, parametar masivne povezanosti ima vrlo visoku ulogu u automatizaciji industrije. Ključni element tog parametra je primjena Internet stvari, koje u Industriji 4.0 uzrokuju iznimno smanjenje financijskih izdataka, zbog primjene senzorskih tehnologija i strojeva za kvalitetniju i povoljniju pohranu prikupljenih podataka te prijenos i procesiranje tih podataka. Prethodno spomenute senzorske tehnologije i strojevi, implementirani su unutar fizičkih komponenata, a međusobno su povezani putem mreža, koje mogu biti žične ili bežične. Te mreže obrađuju i prenose iznimno velike količine podataka, koji se dalje šalje na računalnu analizu, a sve ostale fizičke komponente prepoznaju okolinu u kojoj se nalaze te izvršavaju međusobnu komunikaciju na potpuno samostalan način. Svi uvjeti koji su postavljeni pred industrijske Internet stvari, ispunjeni su. Najveći izazov predstavljala je sposobnost sustava, čije sučelje je u potpunosti poznato, da nesmetano funkcionira s drugim sustavima, bez pojave nekakvih ograničenja prilikom pristupa ili same ugradnje. Prethodno navedeni izazov omogućen je komunikacijskim protokolima, koji su dizajnirani na poseban način, a koriste se za izvršavanje interakcija između raznovrsnih strojeva, [53].

Četvrta industrijska revolucija započinje implementacijom, već navedenih, Internet stvari te Internet usluga unutar samog procesa proizvodnje. Rezultat toga biti će pojava jedinstvene globalne mreže, koja će uspostaviti konekciju s raznovrsnim strojevima te objektima, koji se tiču proizvodnje i skladišta, i formirati jedinstveni fizičko – virtualni sustav. Na taj način, prethodno navedeni strojevi i objekti, moći će izvršavati međusobnu komunikaciju samostalno,

kao i samo pokretanje te nadzor. Sukladno tome, omogućit će se raznovrsna poboljšanja u kontekstu samog dizajna, proizvodnje, distribucije te eksploatacije, [54].

Davatelji tehnologije, davatelji infrastrukture i industrijski korisnici smatraju se glavnim sudionicima unutar ekosustava industrije 4.0. Davatelji tehnologije imaju zadaću da osiguraju najbitnije tehnologije, koje se tiču proizvodnje, primjerice raznovrsne strojeve, robote, senzorske tehnologije i drugo. Primjer davatelja tehnologije su tvrtke poput: Siemens, Bosch, itd. Sljedeća skupina sudionika su davatelji infrastrukture. Njihova zadaća je osigurati pohranu, koja se tiče podrške u kontekstu procesiranja i pohrane prikupljenih podataka, infrastrukture računalstva u oblaku i drugo. Primjer davatelja infrastrukture su: SAP, T-Om, itd. I na samom kraju imamo industrijske korisnike, koji predstavljaju tradicionalističke tvrtke, u kontekstu proizvodnje, koje primjenjuju inovativne tehnologije za podizanje razine učinkovitosti procesa proizvodnje ili samog proizvoda. Primjer industrijskih korisnika su: tvrtke koje se bave proizvodnjom automobila, bijele tehnike, namještaja, itd., [54].

S druge strane, tvrtke koje se bave rukovođenjem energije na tržištu, koje može biti postojeće ili u razvoju, oslanjaju se na sustave s automatiziranom distribucijom energije. Ti sustavi, u kontekstu automatizirane distribucije energije, vrlo su bitni za implementaciju obnovljivih oblike energije unutar klasične energetske mreže. Ključan element, za što učinkovitiji sustav automatizirane distribucije energije, je izvršavanje nesmetane komunikacije s izrazito niskom razinom kašnjenja, a upravo to će omogućiti mobilna mreža pete generacije. Za ponudu određenih mrežnih dijelova dobavljačima energije i njihovim sustavima za automatiziranu distribuciju energije, mobilni operatori imaju mogućnost preuzimanja komplementarne uloge energetskih firmi. Shodno tome, omogućit će se primjenjivanje inteligentnog analiziranja prikupljenih podataka te stvarnovremeno poduzimanje mjera u slučaju nastanka enormne potrošnje. Rezultat toga biti će mogućnost bržeg i preciznijeg nadzora pri napajanju cjelokupne mreže. Za iznimno povećanje razine učinkovitosti rada elektrana, odgovorna je mogućnost komunikacije unutar mreže s razinom kašnjenja manjom od deset milisekundi. Iz tog razloga moći će se detektirati mjesto nastanka kvara, unutar sustava za automatiziranu distribuciju energije, u vremenskom razdoblju do sto milisekundi, [43].

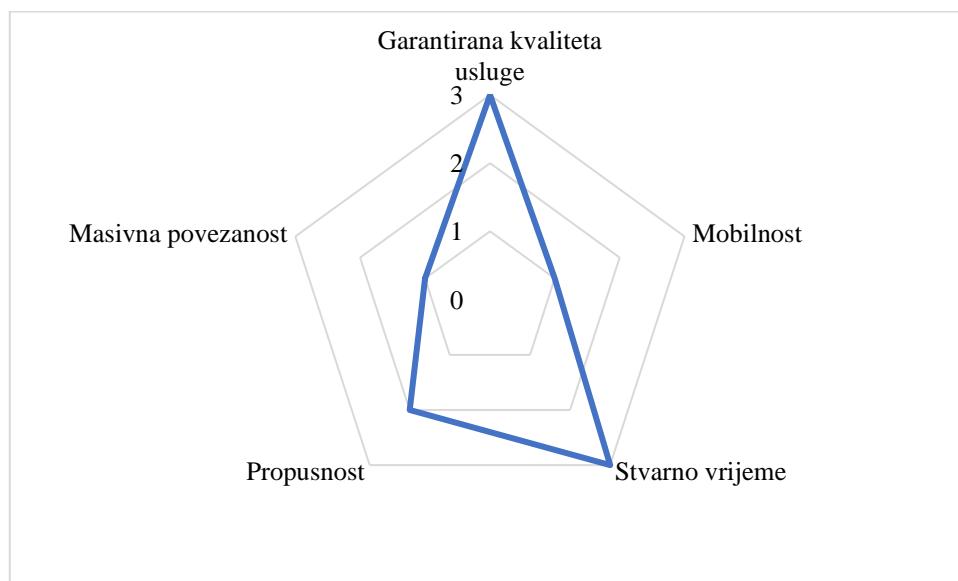
Neki od primjera aplikacija koje se tiču Internet stvari, a vezane su uz automatizaciju industrije su: upravljanje, popravak te sigurnost na prvom mjestu. Upravljanje i popravak odnosi se na senzorske tehnologije, koje su smještene u industrijskoj opremi. Te tehnologije imaju zadaću obavještavanja krajnjeg korisnika aplikacije, da je došlo do kvara u određenom dijelu industrijske opreme ili ako su neki dijelovi te iste opreme dotrajali. Sigurnost na prvom mjestu, odnosno aplikacija koja obavještava nadležno osoblje, u slučaju kada se aparat za gašenje ne nalazi na svom mjestu, ukoliko je blokiran ili ako je tlak unutar aparata prenizak. Obavještavanje nadležne osobe može se izvršiti putem elektroničke pošte ili kratkom porukom na pametni telefon nadležne osobe, [55].

4.2.4. Aplikacije koje se odnose na zdravstvo

Razvojem mobilne mreže pete generacije dolazi do razvoja širokog spektra aplikativnih rješenja. Novo razvijene aplikacije primjenjivat će se u različitim aspektima današnjeg društva, stoga će aplikacije moći biti primjenjive unutar zdravstva. Detaljnom analizom zdravstvenih

djelatnosti, utvrdila su se brojna područja unutar zdravstva, kod kojih je moguće postići značajna unaprjeđenja primjenom brojnih slučajeva uporabe. Novo razvijena aplikativna rješenja, pružit će mogućnost zamjene različitih postupaka zdravstvenih djelatnosti. Takva vrsta aplikativnih rješenja, moći će zamijeniti suvremeni oblik narudžbe lijekova, narudžbe pacijenata, praćenje pacijenata te praćenje zdravstvenog stanja pacijenata, kao i drugo. U samim počecima uporabe takvih oblika rješenja, pružit će se uvid u još bezbroj mogućnosti koje će moći biti pružene.

Daljnijim razvojem 5G mobilne mreže, kao i pripadajuće tehnologije u smjeru zdravstva, rezultirat će mogućnošću da se istraživanja provode putem novo razvijene tehnologije, na primjerice simulatorima bolesti. Razvojem takvog oblika tehnologije, pružit će se mogućnost vođenja brige nad pacijentima koji se ne nalaze unutar zdravstvene ustanove, ali njihovo zdravstveno stanje zahtijeva praćenje, kontrolu te nadzora od strane ovlaštenih zdravstvenih djelatnika. Poboljšanja do kojih će doći prilikom implementacije 5G mreže, imat će značajan utjecaj u kontekstu poboljšane primjene u zdravstvenim djelatnostima. Primjer neophodnih poboljšanja su smanjenje kašnjenja, što rezultira isporukom neophodne informacije u stvarnom vremenu, na odgovarajućoj lokaciji, te povećanjem razine pouzdanosti što također značajno utječe na cjelokupnu primjenu aplikativnog rješenja, u kontekstu zdravstvenih djelatnosti, [50].

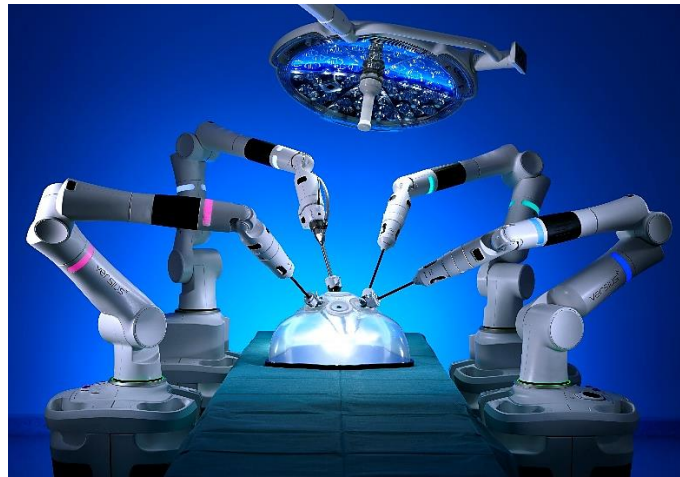


Grafikon 4. Zahtjevi aplikacija koje se odnose na zdravstvo
Izvor: [43]

Na grafikonu 4 vidljivi su zahtjevi, koji su postavljeni pred 5G mrežu, kako bi se omogućilo nesmetano izvršavanje aplikacija, koje se odnose na zdravstvene djelatnosti. Vidljivo je da je pred zahtjeve, koji se tiču stvarnog vremena i garantirane kvalitete usluge zahtijevana izrazito visoka razina zahtjeva, a pred zahtjevom za propusnosti nešto niža, dok je pred zahtjeve, koji se tiču mobilnosti te masivne povezanosti zahtijevana znatno niža razina zahtjeva. Za nesmetan rad aplikacija, koje se tiču zdravstva, izrazito su bitni sljedeći zahtjevi: stvarno vrijeme, propusnost te garantirana kvaliteta usluge.

Prethodno definirani zahtjevi izrazito su bitni, u kontekstu kvalitetnog rada novo razvijenih aplikativnih rješenja. Osobe, koje su dostatno educirane u kontekstu zdravstva, predložile su

brojna rješenja koja se tiču aplikacija za unaprjeđenje dosadašnjih zdravstvenih djelatnosti. U predložena rješenja ubrajaju se primjerice mogućnosti praćenja zdravlja pacijenata pomoću mobilnih terminalnih uređaja na daljinu, mogućnost izvršavanja operativnih zahvata na daljinu, mogućnost pružanja dijagnoze pacijentima putem audio ili video sadržaja na daljinu te brojna druga, [43]. Nadalje, u kontekstu raznovrsnih zahvata koji se izvode na pacijentima, glavnu riječ vodi povezanost između pacijenta te terminalnog uređaja, koji je zadužen za izvršavanje takvog oblika pregleda. Stoga je neophodna pravovremena te pouzdana isporuka informacije na relaciju uređaj te 5G mreža. Slika 16 prikazuje primjer korištenja suvremene tehnologije u vidu izvršavanja operativnih zahvata na daljinu.



Slika 16. Primjer mogućnosti izvršavanja operativnog zahvata na daljinu, [56]

Neki od primjera aplikacija koje se tiču Internet stvari, a vezane su uz zdravstvo su: provjeri beb, podsjetnik o uzimanju lijekova te praćenje stupnja aktivnosti. Aplikativno rješenje, koje se naziva provjeri beb, pruža mogućnost roditeljima da putem vlastitih mobilnih terminalnih uređaja imaju uvid o stanju djeteta u stvarnom vremenu. Ovim aplikativnim rješenjem pružaju se informacije, koje se tiču razine temperature, načina djetetova disanja, položaja djetetova tijela te njegovih radnji. Aplikativno rješenje, koje se naziva podsjetnikom za uzimanje lijekova, pružit će mogućnost da se pacijentima putem njihovih mobilnih terminalnih uređaja šalju obavijesti, odnosno podsjetnici, koji se tiču pravovremenog uzimanja lijekova. Ovo aplikativno rješenje funkcionirat će na način da će svaki lijek unutar svog pakiranja sadržavati bežični čip te će na osnovu čipa davatelj takve telekomunikacijske usluge, pružiti uslugu podsjetnika pacijentu. Na posljetku razvijena je aplikacija, u kontekstu praćenja aktivnosti pacijenata, koja se također može primjenjivati i na skupini starijih i nemoćnih osoba. Krajnji korisnici ovakvog tipa aplikativnog rješenja, na vlastitim mobilnim uređajima će posjedovati instaliranu aplikaciju, koja će imati mogućnost analize podataka, koji se tiču kretanja, a preuzeti su s pripadajućih senzora, [55].

4.2.5. Aplikacije koje se odnose na pametne gradove

Implementacijom 5G mobilne mreže rezultiralo je paralelnom implementacijom telekomunikacijskih tehnologija u postojeću gradsku infrastrukturu. Prethodno navedena telekomunikacijska tehnologija, postaje sastavni dio neizostavnih segmenata gradskog okruženja, kao što su primjerice javni prijevoz, pametne javne garaže, parkinzi, hitne službe i

brojni drugi. Ovakvom konstrukcijom omogućeno je prikupljanje brojnih podataka s raznovrsnih terminalnih uređaja, koji su međusobno povezani. Prethodno navedena međusobna povezanost terminalnih uređaja, rezultira jedinstvenim inovativnim sustavom, koji će omogućiti neophodne reakcije u određenim situacijama, kao i preciznije definiranje te planiranje cjelokupne situacije. Kako bi cjelokupni navedeni postupak mogao nesmetano izvršavati svoj rad, pametni gradovi iz tog razloga svoj temelj pronalaze u mrežama sačinjenim od brojnih senzorskih tehnologija, [50]. Slika 17 prikazuje elemente koji rezultiraju nastankom pametnog grada.

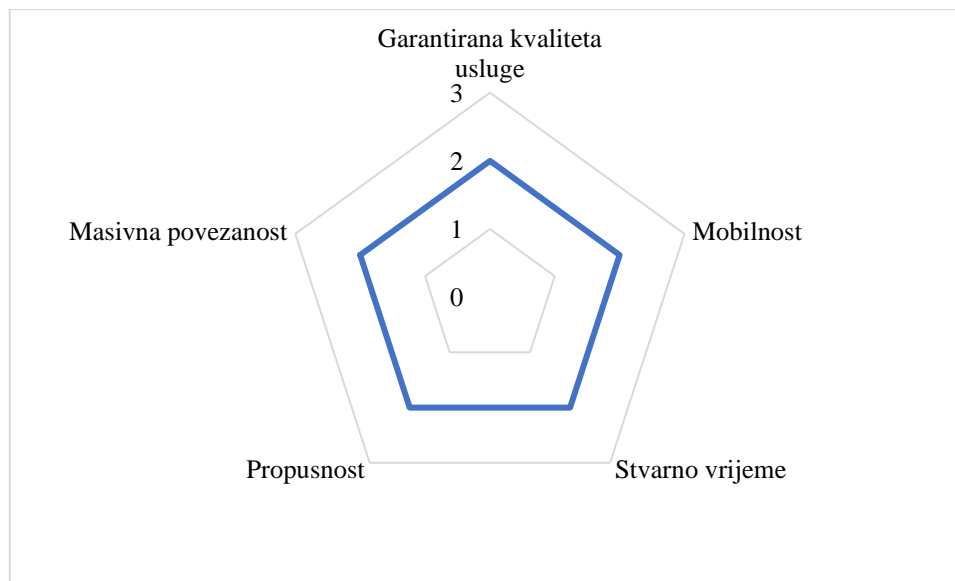


Slika 17. Primjer pametnog grada, [57]

Kako bi se iskoristio potpuni potencijal pametnog grada, potrebno je iznimno ulaganje od strane stanovnika. Naime, nije dovoljno izvršiti ulaganje samo u prethodno navedenu senzorsku tehnologiju, nego i u brojne druge aspekte telekomunikacijske opreme. Tim dodatnim ulaganjima, stanovnici bi osigurali potencijal pametnog grada koji bi im zauzvrat omogućio iznimnu te neophodnu sigurnost. Brojni elementi, koji se tiču telekomunikacijske opreme, neće biti namijenjeni samo za jednu svrhu, već će primjerice sadržavati više namjena, kao što je uloga kamere koja će za primarnu svrhu imati nadzor nad automobilskim prometom, a kao sekundarnu svrhu vršiti će nadzor koji uzrokuje povećanje razine sigurnosti pametnog grada.

Prethodno navedene kamere, u kontekstu nadzora, osim već navedenog povećanja razine sigurnosti, rezultirat će i učinkovitijim korištenjem gradskih resursa, što će također dovesti i do produktivnijeg rada, u kontekstu svih gradskih tvrtki, poduzeća, institucija i drugog. Taj sustav kamera omogućuje vršenje nadzora te praćenja sljedećih aspekata gradskog okruženja: javna mjesta kao što su gradski trgovi, državne bolnice, gradske škole i drugo, s iznimnom razinom prometa, poslovno okruženje kao što je banka, pošta, trgovački centar i drugo, područja u kontekstu transporta, kompleksna te nezaobilazna prometna križanja, mjesta s iznimno visokom razinom pojave kriminalnih aktivnosti i brojni drugi. Zato što će se uvesti sustavi kamera, sustav će zahtijevati određena unaprjeđenja kako bi mogli pratiti implementaciju 5G mreže. Postojeće kamere koje se koriste u kontekstu nadzora prometa, poznatije su pod nazivom 4 megapikselske IP kamere, a implementacijom 5G mobilne mreže, kamere će biti zamijenjene sa 6 ili 8 megapikselskim kamerama, koje posjeduju rezoluciju slike u iznosu od 4K. Nadalje, doći će do ugradnje kamera unutar samih vozila, koje će imati svrhu obavještanja potrebnih javnih

službi u slučaju nesreće, a postupak slanja obavijesti tim službama vršit će se upravo posredovanjem mobilne mreže pete generacije, [43].



Grafikon 5. Zahtjevi aplikacija koje se odnose na pametne gradove

Izvor: [43]

Na grafikonu 5 vidljivi su zahtjevi, koje je potrebno ispuniti kako bi se omogućio nesmetan rad aplikacija, koje se tiču pametnih gradova. Vidljivo je da su svi navedeni zahtjevi iste razine zahtjevanosti, a to su: stvarno vrijeme, propusnost, masivna povezanost, garantirana kvaliteta usluge i mobilnost.

Neki od primjera aplikacija koje se tiču Internet stvari, a vezane su uz pametne gradove su: aplikacija za održavanje ulica čistim, aplikacije za pronalazak slobodnog parkirnog mjesta te aplikacija za učinkovitije osvjetljenje gradskih ulica. Aplikativno rješenje, koje je razvijeno u svrhu održavanja gradskih ulica čistim, rezultat će iznimnim smanjenjem troškova, u kontekstu gradske čistoće. Rad ove aplikacije zasnivat će se na sensorima, koji će biti smješteni unutar kante za smeće, putem kojih će se javljati radnicima gradske čistoće da trebaju pokupiti smeće. Aplikativno rješenje koje će omogućiti krajnjim korisnicima uvid u slobodna parkirna mjesta na željenoj lokaciji u stvarnom vremenu, predstavljat će značajno unaprjeđenje u kontekstu smanjenja utrošenog vremena na traženje slobodnog parkinga. Rad ove aplikacije zasnivat će se na prikupljanju podataka o slobodnom parkirnom mjestu sa senzora, koji će biti postavljeni na parkingu te će se krajnjem korisniku putem novo razvijene aplikacije pružati takav oblik informacije, na vlastitim mobilnim terminalnim uređajima. Aplikacija za učinkovitije osvjetljenje gradskih ulica, smanjit će potrošnju električne energije za trideset posto unutar gradova. Rad ove aplikacije zasnivat će se na mogućnosti određivanja razine osvjetljenja, ovisno o zahtjevima i trenutačnim uvjetima u kojima se nalazi u kontekstu vremenske prognoze, [55].

4.2.6. Aplikacije koje se odnose na Internet svega

Pod pojmom Internet svega koji se još naziva i IoE (eng. *Internet of Everithing*) podrazumijeva se međusobna povezanost stvari, ljudi, podataka te procesa u cjelinu,

posredovanjem Internet mreže što je vidljivo u tablici 4. U današnje vrijeme postoji značajan broj stvari, koje se nalaze u korisnikovom okruženju, a trenutno nisu u mogućnosti izvršiti povezanost na Internet mrežu. No, u bliskoj budućnosti značajan broj prethodno navedenih stvari imat će mogućnost povezivanja na Internet mrežu, čime će se osigurati pametno okruženje krajnjeg korisnika. Danas, prethodno navedene stvari iz korisnikovog okruženja, nemaju mogućnost povezivanja na Internet mrežu, zbog toga što još uvijek nije razvijena usluga koja bi pružila mogućnost povezivanja te iznimne količine podataka u jedinstvenu cjelinu. Upravo se od 5G mobilne mreže očekuje da će pružiti i tu mogućnost krajnjim korisnicima, [58].

Tablica 4. Koncept IoE sa pripadajućim slučajevima uporabe

| Koncept IoE | Slučajevi uporabe |
|-------------|---|
| Ljudi | <ul style="list-style-type: none"> • pristup Internet mreži na veći broj različitih načina • stalan pristup Internet mreži putem većeg broja različitih inovativnih uređaja • ugradnja senzora unutar vlastite kože • ugradnja senzora u odjeću • uvid u osobne podatke korisnika i u njihovo zdravstveno stanje |
| Podatci | <ul style="list-style-type: none"> • iznimno povećanje generiranja podataka od strane ljudi i uređaja povezanih na Internet mrežu • umreženi ljudi i stvari imaju mogućnost odlučivanja o nadolazećem stanju, ovisno o prethodnom |
| Stvari | <ul style="list-style-type: none"> • mogućnost povezivanja iznimno velikog broja uređaja • komunikacija između stvari i 5G infrastrukture • razvoj pametnog okruženja |
| Procesi | <ul style="list-style-type: none"> • ispravnost rada umreženih ljudi i stvari osiguravaju punu vrijednost povezanosti • isporuka podataka na željeno odredište u odgovarajuće vrijeme i na odgovarajući način |

Izvor: [58] [59]

U tablici 4 je moguće vidjeti koncept IoE sa pripadajućim slučajevima uporabe. Primarni cilj Internet svega je osigurati mogućnost izvršavanja nesmetane komunikacije između različitih izvora, a takav oblik komunikacije bi se mogao izvršavati na različitim relacijama kao što su: relacije između strojeva, relacije između ljudi i strojeva te relacije između ljudi. Prethodno definiranim konceptom, pružila bi se mogućnost povezivanja između svih uređaja te između svih ljudi u jedinstvenu cjelinu, neovisno o kakvim se uređajima te osobama radi. Jedini uvjet koji će biti potrebno ispuniti od strane krajnjeg korisnika, kako bi imao mogućnost pristupiti konceptu Internet svega, je posredovanje Internet mreže te će se podatci koji se prenose mrežom obrađivati u realnom vremenu, [59].

Kada se govori o mogućnosti povezivanja ljudi u koncept Internet svega, korisnici će pristupati Internet mreži na veći broj različitih načina, za razliku od danas. Danas je krajnjim korisnicima omogućen pristup Internet mreži isključivo posredovanjem mobilnih terminalnih uređaja, a implementacijom 5G mobilne mreže, omogućit će se stalan pristup Internet mreži putem većeg broja različitih inovativnih uređaja, koji danas još uvijek nemaju mogućnost pristupa Internet mreži. U budućnosti se očekuje da će tehnologija biti sastavni dio krajnjeg korisnika. Kako bi krajnji korisnik mogao ići u korak s mogućnostima 5G mreže, krajnji korisnik će pristati na ugradnju senzora unutar vlastite kože ili odjeće. Putem ove skupine senzora, pružat će se uvid u osobne podatke korisnika, kao i u njegovo zdravstveno stanje, [59].

Također, mobilna mreža 5G pružit će mogućnost povezivanja iznimno velikog broja uređaja, u kontekstu Internet stvari, što će omogućiti komunikaciju na relaciji između strojeva te infrastrukture same 5G mreže. Internet stvari predstavljaju oblik telekomunikacijske mreže, koja ima mogućnost povezivanja raznovrsnih fizičkih komponenata iz okoline na temelju Internet protokola. Upravo sve prethodno navedeno te definirano biti će temelj za budući razvoj pametnog okruženja u kojem se nalazi krajnji korisnik. Sukladno tome, doći će do realizacije jedinstvenog ekosustava, unutar kojega će svi objekti predstavljati jedinstvenu cjelinu. Kako bi se krajnjim korisnicima pružila mogućnost pristupa te generiranja iznimne količine podataka, neophodne su performanse koje karakteriziraju 5G mobilnu mrežu, a tiču se povećanja razine sigurnosti, pouzdanosti te kapaciteta mobilne mreže, [58]. Neke od primjera aplikacija, koje se odnose na Internet stvari unutar korisnikovog doma su: učinkovito zagrijavanje prostorija unutar korisnikovog doma, provjera uključenosti ili isključenosti određenih uređaja unutar korisnikovog doma, putem novorazvijenih aplikativnih rješenja te brojni drugi. Slika 18 prikazuje primjer pametnog doma u korisnikovoj svakodnevici.



Slika 18. Primjer pametnog doma, [60]

Povezivanje podataka u koncept Internet svega, odnosi se na podatke koji će se generirati od strane Internet stvari i ljudi, koji su povezani na mrežu kojom će se ti podatci prenositi do zadanog odredišta. Umreženi ljudi i stvari, moći će odlučivati o nadolazećem stanju, ovisno o prethodnom stanju. Dok u kontekstu povezivanja procesa u koncept Internet svega, odnosi se na način rada ljudi, podataka te samih stvari. Izrazito je bitna značajka ispravnost procesa, koja osigurava punu vrijednost povezanosti, jer se odnosi na isporuku željenih podataka krajnjem korisniku u odgovarajuće vrijeme, na odgovarajuće mjesto te na odgovarajući način, [59].

5. Parametri kvalitete usluge i iskustvene kvalitete za nove usluge, aplikacije i slučajeve uporabe

U najranijim počecima razvoj mobilnih mreža temeljio se na omogućavanju telefonije krajnjim korisnicima. Kako su korisnici iz dana u dan sve više koristili Internet mrežu, počeli su definirati raznovrsne zahtjeve, koje su stavljali pred pružatelja Internet mreže. Zahtjevi su obuhvaćali željena unaprjeđenja, koja su se ticala primjerice povećanja brzine prijenosa podataka, kao i povećanja kapaciteta cjelokupne mobilne mreže u svrhu pružanja mogućnosti da korisnici prenose, preuzimaju te generiraju znatno veće količine podataka. Shodno tome, uslijedila je detaljna analiza mogućnosti koje mreža može pružiti od strane davatelja takve vrste usluge krajnjim korisnicima. Mobilna mreža pete generacije svoj je razvoj temeljila na prethodno navedenim zahtjevima te brojnim dugim, koji su uslijedili nakon korištenja posljednjih generacija mobilnih mreža, koje su prethodile mobilnoj mreži pete generacije.

U procesu planiranja 5G mobilne mreže, definirana su brojna očekivanja koja su postavljena pred tu istu mrežu. Točnije, teorijski su definirani određeni procesi, koji se smatraju neophodnima za kvalitetan te efikasan rad te iste mreže. U tu skupinu procesa ubrajaju se sljedeći: prikupljanje podataka, definiranje podataka te izvođenje analize. Proces koji se tiče definiranja podataka, pruža mogućnost da se ti podatci upotrijebe u različitim mjerenjima, kako bi se naknadno omogućilo izvođenje procesa, koji se tiče analize dobivenih rezultata prethodno navedenih mjerenja. Cjelokupni cilj razvoja mobilne mreže pete generacije je taj da se mreža u potpunosti prilagodi potrebama krajnjih korisnika, a ne obrnuto. Upravo su svi prethodno navedeni procesi ključni u tome, što su rezultirali oblikovanjem 5G mobilne mreže usmjerene krajnjim korisnicima, [61].

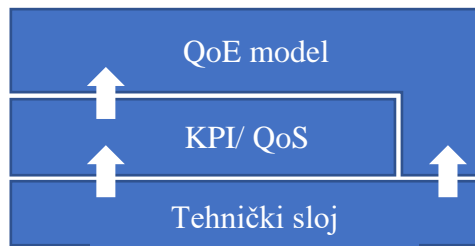
U cjelokupnom procesu razvoja mobilne mreže pete generacije, javila se potreba za definiranjem i izvršavanjem promjena, koje su se ticale različitih aspekata te mreže. Naime, javila se potreba za izvođenjem promjena, koje su se ticale funkcionalnosti, nadzora koji se izvršava nad 5G mrežom, opreme u vlasništvu krajnjih korisnika te cjelokupne infrastrukture 5G mobilne mreže. Te promijene dovele su do definiranja odgovora, koji su se ticali smetnje unutar te mobilne mreže, kao i mobilnosti te iste mreže. Također, u procesu razvoja mobilne mreže pete generacije, u obzir su uzete promjene koje se tiču ponašanja krajnjih korisnika, a te promijene se odnose na povećanje količine generiranja podataka, povećanje količine terminalnih uređaja, koji su u vlasništvu te u primjeni krajnjih korisnika, kao i iznimno povećanje broja terminalnih uređaja, koji su povezani na 5G mobilnu mrežu. Njezinim razvojem uslijedit će iznimne promijene u cjelokupnom ljudskom društvu, kao i u životima pojedinaca.

Kao što je već prethodno navedeno, primarni zahtjevi koji su postavljeni pred 5G mobilnu mrežu, tiču se značajnog povećanja brzine, u kontekstu prijenosa i generiranja podataka te mogućnosti koja se tiče povećanja količine prethodno navedenih podataka. To rezultira neophodnim izmjenama u 5G mobilnoj mreži, a te izmjene tiču se dijeljenja potrebitih resursa te konteksta, kako bi se omogućila značajna iskoristivost kao i učinkovitost cjelokupne 5G mobilne mreže. Glavnu riječ, u kontekstu povećanja razine zadovoljstva krajnjih korisnika, imaju operatori koji moraju prepoznati zahtjeve krajnjih korisnika te moraju biti u mogućnosti

odgovoriti na zahtjeve. U današnje vrijeme krajnji korisnici svakodnevno koriste svoje mobilne terminalne uređaje u privatnim i poslovnim okruženjima. Značajan napredak telekomunikacijske tehnologije rezultirao je mogućnošću da krajnji korisnici svoje poslovne obveze mogu izvršavati i unutar vlastitog doma. Stoga se javila potreba o isporuci iznimne kvalitete telekomunikacijskih usluga krajnjim korisnicima, u cilju povećanja razine iskustvene kvalitete. Od operatora se očekuje da svojim krajnjim korisnicima isporučuju telekomunikacijsku uslugu, koja će sadržavati sve bitne aspekte koje je definirao korisnik usluge, uključujući iznimnu kvalitetu takve vrste usluge u cilju povećanja iskustvene kvalitete krajnjeg korisnika. Operatori su ključni u kontekstu razumijevanja i upravljanja kvalitetom usluge (QoS) i kvalitetom iskustva (QoE), te operatori smatraju da je izrazito bitno provesti kvalitetnu te učinkovitu analizu iskustvene kvalitete, kako bi se krajnjem korisniku pružila željena kvaliteta telekomunikacijske usluge, [62].

Kada se govori o nadzoru izvršavanja funkcionalnosti pružatelja usluga i mrežnih operatora, to se vrši praćenjem ključnih pokazatelja performansi (KPI). Navedeni KPI pruža mogućnost praćenja QoS-a za isporučenu telekomunikacijsku uslugu, koja se tiče bežičnih mobilnih mreža. Iako je pružena mogućnost mjerenja kvalitete usluge i dalje se izrazito bitnijim smatra pojam koji se odnosi na iskustvenu kvalitetu, koju percipira krajnji korisnik. Kada se prethodno navedeni pojmovi detaljnije razmotre, oni pružaju uvid u to da je iskustvena kvaliteta izrazito bliska kvaliteti usluge upravo zbog pružanja odgovora na zahtjeve krajnjih korisnika. U kontekstu razvoja mobilne mreže pete generacije, voditi će se računa upravo o iskustvenoj kvaliteti koja će samim time predstavljati bitan utjecaj na razvoj te iste mreže. Primjena principa, koji se tiče iskustvene kvalitete, rezultirati će znatnim povećanjem u kontekstu dosljednosti, transparentnosti, diferencijacije i personalizacije cijelog spektra telekomunikacijskih usluga. Sve činjenice koje su prethodno navedene, a tiču se postojanja iskustvene kvalitete u kontekstu 5G mobilne mreže, ukazuju upravo na to da će se cjelokupni razvoj 5G mreže temeljiti na usmjerenosti svoga djelovanja, rada te razvoja prema potrebama i zahtjevima krajnjih korisnika, [62].

Kao što je već prethodno navedeno, mobilna mreža pete generacije, kao i ostali segmenti u kontekstu telekomunikacija, počinju se izravno orijentirati prema samom krajnjem korisniku. Do sada su se svi telekomunikacijski dionici isključivo orijentirali na mobilne mreže i pružanje kvalitetne telekomunikacijske usluge, koja se zahtijevala, ali nisu obraćali pažnju na samo doživljavanje te iste usluge od strane krajnjeg korisnika. Stoga, pojavom mobilne mreže 5G, došlo je do promjene i u tom aspektu. Danas mrežni operatori i davatelji telekomunikacijskih usluga te sadržaja promatraju zahtjeve i želje krajnjih korisnika, odnosno pokušavaju se orijentirati isključivo ka krajnjem korisniku, kako bi mogli ispuniti sve zahtjeve koji su postavljeni pred njih, od strane krajnjih korisnika. Nadalje, iz razloga što je cjelokupna telekomunikacijska industrija doživjela znatan razvoj te je došlo do pojave još većeg broja konkurentnih davatelja telekomunikacijskih usluga i sadržaja, primorani su svakodnevno tražiti nove i inovativne načine, kako bi zadovoljili postavljene želje svojih krajnjih korisnika. Kako je već navedeno, zbog iznimnog razvoja telekomunikacijske industrije, pojavili su se i brojni različiti mrežni operatori i davatelji telekomunikacijskih usluga te sadržaja pa iz tog razloga prednost dobivaju krajnji korisnici, koji mogu samostalno procijeniti i odabrati željenog operatora ili davatelja, ovisno koji najbolje ispunjava njihove želje i zahtjeve, [63].



Slika 19. Odnos između QoE modela, KPI/QoS i tehničkog sloja
Izvor: [31]

Kvaliteta usluge i KPI izravno se odnose na tehničke zahtjeve postavljene pred nove 5G aplikacije, odnosno na determinirano ponašanje mreže, u kontekstu prijenosa podataka s minimalnim gubitcima paketa, s minimalnim kašnjenjem te maksimalnom propusnošću. Stoga, nove 5G aplikacije biti će prilagođene novim mrežnim uvjetima pomoću primjene strojnog učenja i umjetne inteligencije. S druge strane QoE predstavlja subjektivnu mjeru koja uključuje percepciju, očekivanja te samo iskustvo krajnjeg korisnika s korištenom aplikacijom i performansama 5G mreže. QoE se može predvidjeti iz objektivnih mjerenja, odnosno iz određenog skupa KPI i QoS parametara. Također, sukladno poboljšanju performansi 5G mreže i razvoju novih 5G aplikacija, povećavaju se i očekivanja krajnjih korisnika, koja moraju biti zadovoljena kako bi QoE bio prihvatljiv (slika 19).

5.2. Kvaliteta usluge (QoS)

Kvaliteta usluge (QoS) odnosi se na skupinu objektivnih te tehničkih podataka, koji su vezani uz pripadajuća tehnička i objektivna aplikativna rješenja kao i uz mobilnu mrežu. Prilikom cjelokupnog razvoja mobilne mreže uvijek se nastojalo znatno unaprijediti postojeće telekomunikacijske usluge te razviti inovativnu skupinu usluga, ali u kontekstu razvoja mobilne mreže pete generacije, teži se unaprjeđenju objektivnih i tehničkih karakteristika aplikativnih rješenja u vidu telekomunikacijskih usluga. Krajnji korisnik je izrazito bitna komponenta u kreiranju same telekomunikacijske usluge, iz tog razloga što on sam određuje želje te očekivanja od samih usluga. Na zahtjeve krajnjih korisnika se očekuje odgovor od strane operatora, koji tim postupkom dovodi do znatnog unaprjeđenja cjelokupne kvalitete telekomunikacijske usluge. Takav oblik povezanosti između operatora, koji nastoji zadovoljiti potrebe te zahtjeve svojih krajnjih korisnika, može se razmatrati i kao uzročno posljedična veza. Unutar te veze uzrok za razvojem te unaprjeđenjem telekomunikacijskih usluga u kontekstu njihove kvalitete čine zahtjevi, od strane korisnika, dok posljedicu predstavljaju odgovori na te zahtjeve, od strane operatora.

Kako bi operatori mogli krajnjim korisnicima pružiti željene telekomunikacijske usluge, neophodno im je posredovanje telekomunikacijske mreže, za izvršavanje tog cilja. Operatori svojim krajnjim korisnicima pružaju nosive telekomunikacijske usluge, koje se temelje na Internet protokolu. Upravo zbog takvog spektra usluge dolazi do definiranja odgovarajuće razine kvalitete telekomunikacijske usluge, koja pruža mogućnost prijenosa željenog sadržaja na relaciji operator te krajnji korisnik, [64]. Telekomunikacijsku tehnologiju je također moguće promatrati sa stajališta kvalitete usluge, te kao takva ona objedinjava tehnike i alate koji su ključni za izvođenje procesa upravljanja nad resursima, koji se nalaze unutar telekomunikacijske mobilne mreže. Prethodno navedenim procesom upravljanja, omogućen je

prijenos te isporuka iznimno kvalitetnih podataka na pripadajućoj lokaciji krajnjeg korisnika te u odgovarajuće vrijeme. Kao što je već navedeno, cjelokupni razvoj mobilnih mreža rezultirao je pojavom raznovrsnog spektra telekomunikacijskih usluga. Raznovrsnost usluga zahtijeva i raznovrsno upravljanje te tretiranje uslugama, kako bi više uslužne mreže mogle izvršavati svoj nesmetan rad te pružati što kvalitetniju uslugu, koja se smatra bitnom odlikom takve skupine mreža, [65].

Kako bi prethodno navedeni krajnji korisnici i operatori, u potpunosti razumjeli isporučenu ili zaprimljenu telekomunikacijsku uslugu potrebno je uvesti ugovor, koji se odnosi na razinu telekomunikacijske usluge, a u telekomunikacijama je taj ugovor poznat pod nazivom SLA (eng. *Service Level Agreement*). Uvođenjem SLA ugovora u svakodnevni oblik poslovanja, pružena je mogućnost da se izraze očekivanja od telekomunikacijskih usluga, kao i definiranje odgovornosti u kontekstu krajnjih korisnika i davatelja usluge. Nadalje, ako se SLA ugovor promatra s aspekta procesa, on se odnosi na formalno definirani ugovor između dvije ili više strana, koji uključuje poboljšanje same komunikacije, sklapanje odnosa koji mogu trajati duži vremenski period te podizanje razine kvalitete zahtijevane telekomunikacijske usluge od strane krajnjeg korisnika. S druge strane, ako se SLA ugovor promatra s aspekta proizvoda, tada se odnosi na formalno definirani ugovor između davatelja usluge i krajnjeg korisnika, pri čemu i davatelj usluge i krajnji korisnik obavljaju raznovrsne funkcije, koje su orijentirane ostvarenju nekog cilja, koji pruža obostranu korist, [66].

5.2.1. Parametri kvalitete usluge

Razvoj mobilnih mreža, koje su omogućile krajnjim korisnicima pristup Internet mreži, rezultirao je razvojem širokog spektra raznovrsne ponude, u kontekstu telekomunikacijskih usluga. Izrazito bitno je razumijevanje i sljedećeg, da razvojem svake od telekomunikacijskih usluga definira određeni zahtjevi postavljeni pred mobilnu mrežu koje treba osigurati u svrhu nesmetanog rada, u kontekstu isporuke telekomunikacijskih usluga. Svaka od usluga je okarakterizirana drugačijim zahtjevima, koji se protežu od razlika, u kontekstu vrijednosti paketa koji se izgube prilikom prijenosa, zahtijevanom širinom pojasa potrebnog za prijenos, kašnjenja pa sve do varijacije kašnjenja.

Prethodno navedeni zahtjevi smatraju se i mrežnim parametrima QoS-a, u čiju skupinu se ubrajaju slijedeći: gubici paketa, kašnjenje, varijacija kašnjenja te propusnost. Svaki od prethodno nabrojanih parametara je u direktnoj vezi sa specifičnom telekomunikacijskom uslugom, stoga se još nazivaju i uslužno specifičnim parametrima QoS-a. Također, ta skupina parametara može imati ključnu ulogu kod definiranja iskustvene kvalitete, iz razloga što imaju direktni utjecaj na razinu zadovoljstva koju krajnji korisnik doživljava zaprimljenom telekomunikacijskom uslugom. Kada se navedeni parametri promatraju u kontekstu iskustvene kvalitete krajnjeg korisnika, onda se prilikom računanja parametara u izračun uzimaju samo prosječne vrijednosti parametara.

5.2.1.1. Gubici paketa

Parametar koji se odnosi na gubitke paketa označava broj paketa koji su izgubljeni na putu od izvorišta do odredišta te zbog toga nisu došli na željeno odredište. Prethodno navedeni broj paketa može se prikazati u obliku postotaka. Postoji niz uzroka, koji mogu dovesti do gubitka

paketa, a neki od njih su: oštećivanje paketa prilikom prijenosa, pojava pogreške u kontekstu telekomunikacijske mreže te nedostatak propusnosti, koji rezultira nastankom zagušenjem unutar telekomunikacijske mreže. Nadalje, osim korištenja parametra gubitak paketa, može se koristiti i obrnuto proporcionalan parametar u odnosu na prethodno navedeni, a naziva se pouzdanost.

U slučaju kada dođe do preopterećenja mrežnog uređaja u kontekstu među spremnika ili povećanja razine kašnjenja od uobičajenog, dolazi do gubitka određenih segmenata paketa, što je rezultat smanjena propusnosti mreže, odnosno zagušenje unutar telekomunikacijske mreže. Također, do pojave gubitka paketa može doći u kontekstu pojave pogreške prilikom prijenosa ili usmjeravanja paketa. Postoji mogućnost i od gubitka pojedinačne informacije, što je uzrokovano postupkom degradacije. Navedena degradacija je rezultat primjene širokog spektra postupaka koji su vezani uz kodiranje cjelokupnog sadržaja, u svrhu povećanja razine kvalitete transmisije prethodno navedenih informacija, [67]. Parametar, koji se tiče gubitka paketa, može se pojaviti i na nižim slojevima mreže, zbog toga što se na tim slojevima mogu pojaviti raznovrsni šumovi te smetnje unutar prijenosnih kanala, a izražavaju se BER-om (eng. *Bit Error Rate*). Prethodno navedeni BER predstavlja odnos između broja bitova, koji sadrže neku pogrešku u prijenosu i cjelokupnom broju bitova, koji su preneseni u istom vremenskom razdoblju, koje je unaprijed definirano. Učestalost prijema pogrešnih bitova ili drugih elemenata u odnosu na cjelokupni broj bitova u prethodno definiranom vremenu, naziva se učestalost pogrešaka. Onda kada se BER promatra s transmisijskog aspekta, tada on predstavlja broj pogrešno primljenih bitova, u odnosu na cjelokupnu količinu bitova koji su isporučeni s izvorišta. Ukoliko se BER promatra s informacijskog aspekta, tada predstavlja broj dekodiranih bitova, u odnosu na cjelokupnu količinu bitova koji su dekodirani. Kao što je već prethodno navedeno, BER se primjenjuje na nižim slojevima mreže, točnije na prva dva, dok se u drugim mrežnim slojevima parametar gubitka paketa proučava u obliku fundamentalnih jedinica, [68].

Na kvalitetu informacije, koja se prenosi krajnjem korisniku, značajan utjecaj ima mogućnost pojave gubitka te informacije. Kako bi se razina kvalitete informacije u procesu prijenosa održala na željenoj razini, potrebno je direktno utjecati na proces koji obuhvaća gubitke informacija te osigurati da se što manja količina informacija izgubi. Nadalje, potrebno je smanjiti vremenske periode između postupaka unutar kojih dolazi do prethodno navedenog gubitka informacije. Upravo primjenom tog parametra vremenskog perioda, u kontekstu gubitaka informacija, u većini je slučajeva pružena mogućnost detektiranja uzroka, zbog kojeg je došlo do gubitka informacije. Danas postoji niz mreža koje sadrže izrazito visoku raspoloživost te zbog toga kod njih ne smije doći do gubitka. Vjerojatnost pojave gubitka unutar prethodno navedene skupine mreža, ne smije biti veća od 1%. Postoji nekoliko načina koji rezultiraju smanjenjem vjerojatnosti pojave gubitka paketa, a tiču se primjene proaktivnih, izravnih te indirektnih rješenja, [67].

5.2.1.2. Kašnjenje

Parametar koji se odnosi na kašnjenje definira se na različite načine, a još se naziva i latencija. Jedna od definicija kašnjenja ili latencije je vrijeme potrebno za dostavu željene telekomunikacijske usluge krajnjem korisniku. To vrijeme podrazumijeva vremenski period koji je prošao od kreiranja zahtijeva za telekomunikacijskom uslugom, od strane krajnjeg

korisnika, pa sve do dostave povratnih informacija i podataka u kontekstu telekomunikacijske usluge, koja je isporučena. Još jedna od definicija parametra kašnjenja je vrijeme potrebno jednom paketu da prijeđe put od točke slanja do točke primanja. Kada se parametar kašnjenje ili latencija promatra s promjenjivog aspekta, tada kao posljedica nastaje produljenje čekanja paketa u redu unutar mrežnog uređaja, što uzrokuje nastanak zagušenja unutar telekomunikacijske mreže. Kada se kašnjenje promatra s fiksnog aspekta, tada predstavlja komponente koje se tiču kodiranja/dekodiranja te propagacije kašnjenja, [69].

Kao i svi ostali parametri, tako i parametar kašnjenja, zavisi o brojnim drugim čimbenicima poput vremenskog trajanja procesiranja paketa u mrežnim uređajima, vremena prijenosa određenih paketa, na relaciji između mrežnih uređaja, procesiranja adresa, koje se nalaze unutar paketa, regeneriranja paketa unutar mrežnih uređaja i na posljetku vremena koje paket provede unutar među spremnika mrežnog uređaja. Posljednji navedeni čimbenik također zavisi o načinu upravljanja redom u kontekstu čekanja, postavljenom prioritetnom posluživanju unutar mrežnih uređaja i o razini zagušenja unutar telekomunikacijske mreže. Kašnjenje ili latencija zavise o tipu medija, kojim se prenose paketi, jer o tom mediju ovisi koliko će vremena biti potrebno da signal putuje od izvorišta do odredišta tim istim medijem. Stoga, za smanjenje razine kašnjenja u zadnje navedenom slučaju, ima utjecaj odabira prigodnog kanala u kontekstu fizičke ili logičke razine, [70].

5.2.1.3. Varijacije kašnjenja

U telekomunikacijama pojam varijacija kašnjenja je poznat i kao *jitter*, a taj pojam odnosi se na razliku u vremenu kašnjenja paketa, koji su smješteni u istom toku prijenosa. Ključan čimbenik, koji rezultira varijacijama kašnjenja je vrijeme obrade paketa u čvoru te razlika u duljini redova. Vrijeme obrade odnosi se na vremenski period, koji je potreban za izvođenje procesa nad paketima. Parametar varijacija kašnjenja ima bitnu ulogu unutar sustava, koji izvršavaju procese prijenosa na transportnom sloju te se zato varijacija kašnjenja može sagledavati i kao parametar, koji se odnosi na performanse. U današnje vrijeme razvijeno je niz aplikativnih rješenja, koja se međusobno razlikuju prema osjetljivosti na varijaciju kašnjenja. Svaki od navedenih aplikativnih rješenja mora djelomično provesti određeni skup samostalnih mjera, kako bi se postiglo smanjenje ili po mogućnosti otklanjanje nastanka varijacije kašnjenja. U kontekstu cjelokupne telekomunikacijske mreže, na parametar varijacije kašnjenja utječe se postupkom povećavanja međuspremnika, koji su smješteni u prijemniku, što rezultira time da se paketi, koji su stigli do prijemnika, zadržavaju unutar međuspremnika te na taj način čekaju preostalu skupinu paketa, koji znatno kasne za onim pristiglim, [71].

5.2.1.4. Propusnost

Propusnost se u telekomunikacijama odnosi na maksimalnu brzinu, koja se može dostignuti, a kojom se vrši prijenos podataka između izvorišta i odredišta mreže. Drugo ime ovog pojma je i širina pojasa, kojim se vrši prijenos podataka, a brzina prijenosa mjeri se u mjernoj jedinici bitovi po sekundi. Postoje slučajevi kada razina propusnosti nije dostatna te se u takvim slučajevima kreiraju redovi paketa unutar uređaja u mreži, koji čekaju na prijenos kroz mrežu, što rezultira kašnjenjem paketa na odredište. No, postoje i slučajevi kada je parametar propusnosti unutar telekomunikacijske mreže izrazito nizak, što rezultira gubitkom paketa u

prijenosu, zbog nastanka zagušenja unutar mreže, jer su među spremnici unutar mrežnih uređaja već popunili svoju kvotu zapremnine paketima.

U današnje vrijeme došlo je do razvoja mobilne mreže pete generacije, koja mora svojim korisnicima osigurati željenu kvalitetu usluge. Jedan od ključnih čimbenika za pružanje iznimne kvalitete usluge je povećanje cjelokupnog kapaciteta, koji se odnosi na komunikacijske kanale. Za prethodno navedeno povećanje razine propusnosti, glavnu riječ vode operatori, koji su izvršavali postupke ugradnje fizičkog te logičkog sloja, kao i logičku organizaciju cjelokupne mreže s ciljem postizanja veće razine propusnosti. Moguće je navesti dva čimbenika koji imaju značajan utjecaj na propusnost, a to su: kapacitet kanala i broj prometnih tokova. Oni podrazumijevaju dijeljenje cjelokupne mrežne infrastrukture, koja se smatra zajedničkom, što rezultira činjenicom da je veličina prijenosnog pojasa promjenjiva. Prethodno navedenu širinu koja se odnosi na jedan karakterističan prometni tok je moguće izmjeriti sljedećim načinima, [72]:

- ✚ Odnos cjelokupne količine paketa, koji su uspješno preneseni u definiranom vremenskom periodu, i ukupnog vremenskog razdoblja jednako je iznosu propusnosti za pakete, koji su uspješno preneseni.
- ✚ Odnos cjelokupne količine okteta, koji su uspješno preneseni u definiranom vremenu, i ukupnog vremenskog razdoblja jednako je iznosu propusnosti za bajtove, koji su uspješno preneseni.

5.2.2. Pokazatelji kvalitete usluge

Kada se govori o telekomunikacijskim uslugama, moguće ih je izraziti različitim scenarijima, u kontekstu ocjenjivanja tih usluga od strane svih krajnjih korisnika, koji svaku od usluga mogu doživjeti na drugačiji način. Prethodno navedena mogućnost ocjenjivanja telekomunikacijske usluge od strane krajnjeg korisnika, rezultat je ključnih pokazatelja performansi (KPI). Ulogu krajnjeg korisnika može imati osoba ili krajnji uređaj u svrhu izvršavanja komunikacije s kraja na kraj telekomunikacijske mreže. Shodno tome, dolazi do direktne veze između ključnih pokazatelja performansi i kvalitete usluge, u kojoj pokazatelji KPI čine glavne pokazatelje QoS-a. Nadalje, u KPI pokazatelje ubrajaju se, [73] [74]:

- ✚ *Gustoća i volumen generiranih podataka* – predstavlja odnos prenesenih podataka u definiranom vremenskom intervalu između krajnjih uređaja korisnika i područja koje je pokriveno radio pristupnom mrežom. Rezultat ovog pokazatelja je iznimno povećanje razine volumena podataka, za razliku od postojećeg volumena.
- ✚ *Protok podataka* – odnosi se na prosječan iznos protoka podataka, koji se generirao na terminalnom uređaju unutar definiranog vremena. Rezultat ovog pokazatelja je znatno povećanje brzine prijenosa podataka. Na efikasnost ovog pokazatelja direktni utjecaj ima okruženje i broj krajnjih korisnika.
- ✚ *Latencija* – odnosi se na kašnjenje prilikom prijenosa podataka, a rezultat ovog pokazatelja je značajno smanjenje kašnjenja, u kontekstu generiranja podataka od izvorišta do odredišta telekomunikacijske mreže. Ovaj pokazatelj je izrazito bitan u kontekstu telekomunikacijskih usluga, koje se izvršavaju u stvarnom vremenu.

- ✚ *Pouzdanost* – odnosi se na pružanje zahtijevane razine pouzdanosti, u kontekstu telekomunikacijskih usluga. Rezultat ovog pokazatelja je isporuka zahtijevane telekomunikacijske usluge krajnjem korisniku, u pravo vrijeme te na pravoj lokaciji uz zadovoljavajuću razinu kvalitete usluge.
- ✚ *Dostupnost* – odnosi se na mjeru kojim je izražena raspoloživost zahtijevane telekomunikacijske usluge od strane krajnjeg korisnika. Rezultat ovog pokazatelja je omogućavanje krajnjem korisniku ponovno pokretanje telekomunikacijske usluge, neovisno o vremenu slanja ponovnog zahtjeva za korištenje te je li krajnji korisnik prekinuo korištenje usluge.
- ✚ *Energetska učinkovitost* – odnosi se na enormno povećanje količine resursa, u kontekstu povećanja razine kapaciteta telekomunikacijske mreže, kako bi se ispunili postavljeni zahtjevi, koji se tiču zagušenja u mreži. Rezultat ovog pokazatelja je pojava znatnog smanjenja razine potrošnje energije.
- ✚ *Sigurnost* – odnosi se na sigurnost komunikacije, koja se izvršava na relaciji između izvorišta i odredišta telekomunikacijske mreže. Rezultat ovog pokazatelja je povećanje razine sigurnosti u svim aspektima komunikacije te korisničkih osobnih podataka.

5.3. Iskustvena kvaliteta (QoE)

Pojam iskustvene kvalitete (QoE) relativno je novi pojam, u kontekstu telekomunikacijske industrije. Iskustvena kvaliteta odnosi se na razinu zadovoljstva krajnjeg korisnika sa željenom telekomunikacijskom uslugom, koju koristi. Iskustvena kvaliteta proučava se već nekoliko godina unatrag, ali primarnu ulogu poprima tek zadnjih nekoliko godina, u kontekstu korisničkog doživljaja telekomunikacijske usluge, koju koristi. Kao što je već prethodno navedeno, pojam iskustvene kvalitete relativno je nov, ali zato otvara različite nove mogućnosti u kontekstu poboljšanja pojedinih telekomunikacijskih usluga, iz razloga što se direktno dobiva povratna informacija od samog krajnjeg korisnika, koji koristi te iste usluge.

Kako bi se određene telekomunikacijske usluge nadogradile i unaprijedile, u kontekstu povećanja razine QoS-a, te kako bi krajnji korisnici imali što bolje iskustvo uslugom koju koriste, potrebno je zaključiti kako ti krajnji korisnici doživljavaju QoS, koji je zasnovan na konceptu multidisciplinarnog karaktera. Proučavanjem iskustvene kvalitete, stvorili su se predlošci različitih QoE modela, koji su temeljeni na izravnom utjecaju korisničkog doživljavanja kvalitete usluge. Prethodno navedeno posljedica je korištenja različitih telekomunikacijskih usluga od strane krajnjih korisnika, [75].

Iskustvena kvaliteta je kreirana kako bi dopunila kvalitetu usluge, koja se gleda s tehničkog aspekta, dok se iskustvena kvaliteta izričito veže uz sami doživljaj korištene telekomunikacijske usluge, od strane krajnjeg korisnika. Pojam iskustvene kvalitete je definiran kao subjektivni doživljaj, koji pokazuje razinu korisničkog zadovoljstva s željenom telekomunikacijskom uslugom, koju koristi. Nemoguće je predložiti jedinstveni model QoE-a za sve telekomunikacijske usluge, iz razloga što je iskustvena kvaliteta subjektivna mjera i različita je za svakog pojedinog korisnika, kao i za svaku pojedinu telekomunikacijsku uslugu. No, ukoliko se primjenjuje veći broj modela za određenu telekomunikacijsku uslugu, moguća je izvedba vrednovanja QoE-a za tu istu telekomunikacijsku uslugu, [76].

Danas se koriste različiti subjektivni faktori s velikim učinkom na doživljaj kvalitete usluge, od strane krajnjih korisnika. No, kada se govori o korisničkom ocjenjivanju kvalitete telekomunikacijske usluge koju koriste, tada se prethodno navedeni faktori zanemaruju u cijelosti. Kako je već prethodno navedeno, krajnji korisnici doživljavaju korištenu telekomunikacijsku uslugu na temelju njihovih vlastitih želja i zahtjeva. Iz tog razloga, davatelji usluga te mrežni operatori žele ispravno procijeniti želje i zahtjeve krajnjih korisnika, kako bi zadovoljili zahtijevanu razinu QoE od strane krajnjih korisnika, prije same isporuke telekomunikacijske usluge krajnjim korisnicima. Najbolji mogući ishod bio bi poboljšanje te uklanjanje nedostataka zahtijevanih telekomunikacijskih usluga od strane mrežnih operatora, bez potrebe za izvođenjem analize QoE-a. No, pošto krajnji korisnici koriste telekomunikacijske usluge na svakodnevnoj bazi, korisnici svakodnevno zapažaju neke nove nedostatke korištenih usluga te se pojavljuju različiti novi zahtjevi i želje od strane krajnjih korisnika. Stoga, kako bi operatori i davatelji usluga mogli odgovoriti na korisničke zahtjeve, izvršavanje analize QoE-a je neophodno.

5.3.1. Vrednovanje iskustvene kvalitete

Kada se u pitanje dovede proces, koji se tiče vrednovanja iskustvene kvalitete, za izvođenje istog dogovorene su dvije različite metode, a su objektivna te subjektivna metoda u cilju vrednovanja QoE-a. Osnovu za izvođenje procesa, koji se tiče mogućnosti vrednovanja iskustvene kvalitete čine faktori, a ti faktori moraju pružiti mogućnost mjerenja, kontroliranja, kao i izvršavanje brojnih utjecaja na njih, [77]. Kako bi se prethodno navedene metode vrednovanja iskustvene kvalitete mogle kvalitetno izvoditi, potrebno je osigurati istoimene oblike ispitivanja za svaku pojedinu metodu. Neophodnim se smatra područje unutar kojeg se vrši testiranje, a koje mora biti prilagođeno za dobivanje reprezentativnih rezultata. Uvijek kada se vrše raznolika ispitivanja, u koja su uvršteni korisnici te raznovrsna područja, dolazi do nekolicine problema, zbog primjerice ne mogućnosti usklađivanja rezultata, koji su dobiveni u testnom području te u realnom području. Do takvog oblika problematike dolazi i kod ove dvije metode koje se tiču vrednovanja iskustvene kvalitete.

Subjektivna metoda vrednovanja iskustvene kvalitete, odnosi se na provođenje anketa te ispitivanja mišljenja krajnjih korisnika unutar definiranih testnih područja. QoE subjektivna metoda koristi se u definiranom području testiranja, na način da krajnji korisnici ispunjavaju ankete ili ih se usmeno ispituje, kako bi se dobila subjektivna mišljenja krajnjih korisnika. Za ispravnu provedbu subjektivne metode QoE, prethodno navedena ispitivanja te anketiranje krajnjih korisnika, mora biti provedeno više puta, kako bi dobiveni rezultati bili pouzdani i uporabljivi. Pogrešni rezultati posljedica su različitosti definiranog testnog područja i stvarnog područja provođenja ispitivanja, stoga se vrlo često pojavljuju. Osim prethodno navedenog, unutar definiranog testnog područja, koje se nalazi pod konstantnim nadzorom i kontrolom, dolazi do povećane potrošnje financijskih izdataka, koji su uzrokovani postizanjem definiranih uvjeta testnog područja. Još jedan od problema, koji se javlja prilikom provođenja subjektivne metode QoE-a, je taj što navedeno istraživanje, u kontekstu definiranog testnog područja, traje duže nego što je to predviđeno pa samim time ima negativan utjecaj na samo izvršavanje ispitivanja, [78] [79].

Zbog prethodno navedenih problema, koji se odnose na velike financijske izdatke te dugi vremenski period izvršavanja ispitivanja subjektivne metode iskustvene kvalitete, pojavljuje se nova vrsta ispitivanja, koja se naziva *crowdsourcing*. *Crowdsourcing* odnosi se na korisničko vrednovanje različitih telekomunikacijskih usluga primjenom Internet mreže. Ova nova vrsta ispitivanja uključuje iznimno veći broj krajnjih korisnika, koji se ispituju, stoga je ujedno i izrazito povećana razina pouzdanosti. Na prethodno navedenu razinu pouzdanosti izrazito utječe korigiranje grešaka prilikom dogovaranja krajnjih korisnika, odnosno kada se *crowdsourcing* ispitivanje izvršava, neophodno je izvoditi provjeru istinitosti odgovora krajnjih korisnika, iz razloga da se pogrešni i lažni odgovori mogu odmah ukloniti. Sukladno prethodno navedenom, u velikom broju slučajeva primjenjuje se ljestvica za kvalificiranje iskustva krajnjih korisnika. Navedena ljestvica također nije najtočnija i najpouzdanija metoda, iz razloga što svaki pojedini krajnji korisnik na drugačiji način percipira iskustvenu kvalitetu pojedine telekomunikacijske usluge pa samim time ocijene za istu uslugu razlikuju se od korisnika do korisnika, [80].

Za dobivanje konačnog rezultata, koji se tiče subjektivne metode vrednovanja iskustvene kvalitete, potrebno je definirati određenu skalu, u svrhu ocjenjivanja zaprimljene telekomunikacijske usluge od strane krajnjih korisnika. Korisnici svoju razinu zadovoljstva korištenom telekomunikacijskom uslugom mogu izraziti izjavom sa subjektivnog aspekta, na način da korištenu uslugu ocjene sa loše, dobro ili odlično. Prethodno navedeno iskustvo krajnjeg korisnika u kontekstu zadovoljstva telekomunikacijskom uslugom sa subjektivnog aspekta, nije jedini pokazatelj iskustvene kvalitete, već je moguće definirati iskustvo krajnjeg korisnika i sa objektivnog aspekta. Prilikom korištenja objektivnih metoda te postupaka mjerenja, potrebno je kao i u prethodnom postupku koristiti parametre, koje je moguće izmjeriti u svrhu dobivanja točnih prikaza objektivnog modela vrednovanja iskustvene kvalitete. Bitno je napomenuti kako svaka telekomunikacijska usluga ima zasebne mjerljive parametre, koji se razlikuju od mjerljivih parametara drugih telekomunikacijskih usluga, što dovodi do izravnog utjecaja na krajnjeg korisnika, u kontekstu njihovog subjektivnog doživljavanja iskustvene kvalitete. Pokazatelji, koji se tiču iskustvene kvalitete mogu se segmentirati na objektivne pokazatelje, unutar kojih spada razina kvalitete telekomunikacijske usluge, te na subjektivne pokazatelje, koji su usko vezani uz krajnjeg korisnika i obuhvaćaju njegove emocije, interese, razinu zadovoljstva, očekivanja i drugo. Prethodno navedena segmentacija pokazatelja je izvršena od strane ITU-a (eng. *International Telecommunication Union*), [81].

U telekomunikacijama postoji pojam, koji se tiče isključivo iskustva krajnjeg korisnika. Iskustvo krajnjeg korisnika obuhvaća cjelokupni postupak, koji se odnosi na telekomunikacijsku uslugu, od kada ju korisnik zaprimi, zajedno sa cjelokupnim korištenjem usluge. Postoji niz čimbenika od kojih je korisničko iskustvo sačinjeno, a čimbenici se tiču osjetila. U prethodno navedenu skupinu osjetilnih čimbenika spadaju, primjerice postupak rukovanja telekomunikacijskom uslugom od strane krajnjeg korisnika, razumijevanja rada telekomunikacijske usluge od strane krajnjih korisnika te donošenje zaključaka, koji se tiču korištene telekomunikacijske usluge, u svrhu provjere je li usluga dovoljno dobro razvijena, u kontekstu namijenjene, [82]. Iskustvo krajnjeg korisnika moguće je promatrati i sa tri različita pogleda, koja se odnose na unutarnje stanje, karakteristike, koje se tiču dizajna cjelokupnog sustava, i interakcija cjelokupnog sustava. Svaki od prethodno navedenih pogleda posjeduje

vlastita obilježja koja ga karakteriziraju. Rezultat unutarnjeg stanja obuhvaća nužnost, motiv, predispoziciju i očekivanje, dok interakcija cjelokupnog sustava obuhvaća područja, koja su vezana uz organizaciju te društvo, zajedno s aktivnostima i značenjima, [83]. Prethodno definirani pojam iskustva krajnjeg korisnika obuhvaćen je i definicijom koju je donio ISO (eng. *International Standards Organization*), koji je naveo da se iskustvo krajnjeg korisnika odnosi na subjektivno doživljavanje, od strane korisnika, korištenom telekomunikacijskom uslugom, [84].

Iako su iskustvena kvaliteta te samo korisničko iskustvo vrlo slični pojmovi, oni se razlikuju prilikom promatranja i analiziranja karakteristika. Prethodno navedeno promatranje i analiza pojmova iskustvene kvalitete te korisničkog iskustva, ukazuje na to da koncept dizajniranja korisničkog iskustva uzrokuje vrlo pozitivnim poboljšanjima, u kontekstu doživljaja iskustva korištene telekomunikacijske usluge, od strane krajnjih korisnika. Kako bi se podigla razina motivacije i razumijevanja krajnjih korisnika te kako bi se što bolje izvršavalo mjerenje i vrednovanje iskustvene kvalitete, koriste se dvije različite metode. Prethodno navedeno odnosi se na emocionalno stanje krajnjih korisnika te postavljene zahtjeve, koji se tiču korištenih telekomunikacijskih usluga, od strane tih korisnika. Različiti izvori definirali su veliki broj kvalitativnih metoda za mjerenje QoE, ali ipak veće značenje pridaje se kvantitativnim metodama, [85].

5.3.2. Pokazatelji iskustvene kvalitete

Nad iskustvom krajnjeg korisnika moguće je izvesti postupak u kontekstu upravljanja, no to zahtijeva konstantne te izražene napore na svim komunikacijskim slojevima i domenama telekomunikacijske mreže. Kako bi se to postiglo, neophodna je prilagodba brojnih funkcija u koje spadaju: postupak koji pruža mogućnost definiranja najboljeg načina za izvršavanje pristupa telekomunikacijskoj mreži, postupak pružanja potrebitih resursa, postupak koji se tiče mapiranja kvalitete usluge, postupak uspostavljanja sesije te postupak koji se odnosi na kodiranje odgovarajućeg izvora, a sve to u svrhu postizanja željene razine iskustvene kvalitete krajnjeg korisnika, [62].

Detaljnim proučavanjem mobilne mreže pete generacije, zaključilo se da se cjelokupna 5G komunikacija mora temeljiti na različitim vrstama konteksta. Glavni kontekst je korisnički, koji sadrži različite tipove konteksta niže klase, a to su: osobni kontekst, aplikativni kontekst, kontekst okruženja, kontekst uređaja i na samom kraju kontekst telekomunikacijske mreže. Kada se svaki od navedenih konteksta proučava zasebno, može se uočiti da svaki od njih posjeduje neke karakteristike, koje su specifične za svaki pojedini kontekst, [86].

- ✚ *Osobni kontekst* – odnosi se na kontekst, kojeg karakterizira orijentiranost korisničkim informacijama. Navedene informacije pružaju mogućnost redizajniranja telekomunikacijskih usluga u svrhu prilagodbe informacija krajnjim korisnicima. U skupinu korisničkih informacija pripadaju, primjerice lokacijske informacije, informacije aktivnosti, informacije emocionalnog stanja korisnika te informacije postojećih iskustva, u kontekstu primjene telekomunikacijske usluge, od strane krajnjih korisnika.

- ✚ *Aplikativni kontekst* – odnosi se na kontekst, koji je orijentiran prilagodbi, unaprjeđenju te razvoju aplikativnih rješenja s odgovarajućom kvalitetom usluge, u svrhu korištenja aplikacija u sklopu mobilne mreže pete generacije. Neki primjeri od prethodno navedenih aplikativnih rješenja su: aplikacije za emitiranje videa strujanjem, aplikacije koje omogućuju pregledavanje te pretraživanje sadržaja putem Internet mreže, aplikacije dizajnirane za rad u oblaku, aplikacije za stvarnovremeno igranje interaktivnih igara te brojne druge.
- ✚ *Kontekst okruženja* – odnosi se na kontekst, koji je orijentiran na okruženje u sklopu kojega se telekomunikacijska usluga isporučuje. Kako bi prethodno navedeno okruženje bilo pogodno za pružanje telekomunikacijskih usluga, okruženje mora zadovoljiti postavljene uvjete. Navedeni uvjeti podrazumijevaju udaljenost, koja se odnosi na razmak između pristupne točke te samog mobilnog terminalnog uređaja, povećanje količine generiranih podataka i postojanje mogućnosti primjene alternativnih resursa, koji uvijek moraju biti na raspolaganju.
- ✚ *Kontekst uređaja* – odnosi se na kontekst, koji je orijentiran karakteristikama korisničkih terminalnih uređaja. U skupinu prethodno navedenih karakteristika ubrajaju se snaga baterije unutar korisničkog terminalnog uređaja, mogućnost nesmetanog rada terminalnog uređaja, specifikacije unutar korisničkog terminalnog uređaja, itd.
- ✚ *Kontekst telekomunikacijske mreže* – odnosi se na kontekst, koji je orijentiran na specifikacije telekomunikacijske mreže, kako bi mreža izvršavala svoj nesmetani rad. U skupinu prethodno navedenih specifikacija pripadaju: opterećenje bežičnih veza unutar telekomunikacijske mreže, povećanje raspoloživosti resursa unutar telekomunikacijske mreže, povećanje pouzdanosti u kontekstu cjelokupne telekomunikacijske mreže, povećanje razine volumena u kontekstu propusnosti telekomunikacijske mreže i raspodjela spektra unutar telekomunikacijske mreže.

5.4. Odnos kvalitete usluge i iskustvene kvalitete

U telekomunikacijama se pojam kvalitete usluge odnosi na tehnički aspekt. Do pojave tog pojma, došlo je pružanjem mogućnosti korištenja Internet mreže krajnjim korisnicima, točnije pružanje raznovrsnih telekomunikacijskih usluga putem Internet mreže, koje trebaju sadržavati neophodnu razinu kvalitete. Razvojem Internet mreže, krajnjim korisnicima je omogućen sasvim novi pogled na svijet telekomunikacija, koje su sa klasične telefonije unaprijeđene na sasvim nove oblike komuniciranja. Kako su korisnici pokazali izraziti interes za korištenjem mobilne mreže, operatori su konstantno morali unaprjeđivati postojeće telekomunikacijske usluge, kao i arhitekturu Internet mreže, te razvijati nove telekomunikacijske usluge sa značajno višom razinom kvalitete usluge. Pojam koji se odnosi na kvalitetu usluge, izrazito je bitan te bez postojanja kvalitete ne bi došlo do naglog razvoja svih aspekata telekomunikacijskog sustava. Operatori su postali svjesni kako je za razvoj kvalitetne telekomunikacijske usluge neophodan krajnji korisnik, koji definira zahtjeve za potrebnim unaprjeđenjima postojećih usluga te kreiranje novih potrebitih usluga. Zbog toga, javila se potreba da se u telekomunikacijama definira pojam poznatiji pod nazivom iskustvena kvaliteta.

Glavna zadaća pojma iskustvene kvalitete je prikazati cjelokupni doživljaj krajnjeg korisnika, u kontekstu telekomunikacijske usluge koju koristi. Također, iskustvena kvaliteta može prikazati razinu kvalitete same telekomunikacijske usluge, koju krajnji korisnik koristi, u smislu percepcije usluge od strane tog krajnjeg korisnika. Još jednu vrlo značajnu stavku predstavlja omogućavanje kvantificiranja korisničkog iskustva za vrijeme korištenja telekomunikacijske usluge, sa subjektivnog gledišta. Svaki krajnji korisnik ima mogućnost dati svoje subjektivno mišljenje o korištenoj usluzi, na način da iznese svoju ocjenu zadovoljstva u obliku izjave odlično, dobro ili loše. Upravo na taj način, krajnji korisnik izražava svoj pozitivan ili negativan stav prema isporučenoj telekomunikacijskoj usluzi ili mreži. Nadalje, sve što se odnosi na iskustvo i doživljaj krajnjeg korisnika s zaprimljenom telekomunikacijskom uslugom, tiče se isključivo iskustvene kvalitete, a sve što se odnosi na tehničke dijelove, u kontekstu telekomunikacijskih usluga i mreža, tiče se isključivo kvalitete usluge, odnosno QoS-a, [87].

Tablica 5. Granične vrijednosti za pojedine parametre kvalitete

| Vrsta usluge | Kašnjenje [ms] | Kolebanje kašnjenja [ms] | Brzina prijenosa [kbit/s] | Širina pojasa [kbit/s] | Vjerojatnost pogreške [%] |
|------------------------------|----------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|
| Web pretraživanje | <400 | Nije dostupno | <30,5 | <30,5 | 0 |
| E-pošta | Malo | Nije dostupno | <10 | <10 | 0 |
| FTP | Srednje | Nije dostupno | <10 | <10 | 0 |
| Telnet | <250 | Nije dostupno | <1 | <1 | 0 |
| Prijenos zvuka | <150 | <100 | 56-64 | 60-80 | <0,1 |
| Video prijenos (HD TV) | <150 | <50 | Nije dostupno | 4-60 Mbit/s | <0,0001 |
| Video prijenos (multimedija) | <150 | <150 | Nije dostupno | 28,8-500 | <0,001 |
| Audio konferencija | <150 | <400 | 12,2-64 | 17-80 | <1 |
| Video konferencija | <150 | <400 | 64-1920 | 80-2 Mbit/s | <0,01 |

Izvor: [88]

Na tablici 5 prikazane su granične vrijednosti za pojedine parametre kvalitete, u kontekstu telekomunikacijskih usluga koje u najvećoj mjeri koriste krajnji korisnici. Navedene parametre kvalitete potrebno je ispuniti u svrhu povećanja razine zadovoljstva krajnjeg korisnika te je za parametre nužno odrediti njihove granične vrijednosti kvalitete usluge za svaku pojedinu telekomunikacijsku uslugu.

6. Zaključak

U današnje vrijeme tehnologija sve brže napreduje, kao i razvoj mobilnih mreža. Trenutno se i dalje u većinama zemalja svijeta koristi mobilna mreža četvrte generacije, no vrlo aktualna postaje mobilna mreža pete generacije, koja je i dalje u razvoju, ali je i u primjeni u nekim zemljama. Arhitektura mobilne mreže 5G uvelike je promijenjena, za razliku od dosadašnjih mobilnih mreža, zbog zahtjeva za postizanjem željenih performansi mreže, u vidu povećanja brzine prijenosa podataka, smanjenja vremena kašnjenja i povećanja razine sigurnosti te pouzdanosti. Ključnu razliku mobilne mreže 5G predstavlja mogućnost dijeljenja mreže, što pruža mogućnost telekomunikacijskim operatorima da implementiraju višestruke i neovisne javne zemaljske mobilne mreže, pri čemu bi svaka bila prilagođena različitim zahtjevima i željama krajnjih korisnika. To znači da će operatori pružati usluge na temelju potreba svakog pojedinog korisnika.

Shodno tome, cjelokupni ekosustav mobilne mreže 5G biti će unaprijeđen. Razvojem prethodno navedene mobilne mreže, pojavila se i nova kategorizacija korisnika koji će koristiti 5G mrežu. U spomenutu kategorizaciju korisnika pripadaju korisnici, koji svoje pametne telefone koriste za različite slučajeve uporabe. Nadalje, u tu skupinu pripadaju i autonomna vozila, odnosno vozila koja će imati mogućnost samostalnog upravljanja pomoću umjetne inteligencije i strojnog učenja. Također, u novu kategorizaciju korisnika pripada i Industrija 4.0, odnosno revolucija u industriji, koja se temelji na automatizaciji cjelokupne industrije i proizvodnih procesa, kao i primjena robotike. Posljednja i najznačajnija kategorija korisnika 5G mobilne mreže je koncept Internet stvari. Internet stvari omogućit će međusobno povezivanje svega na Internet mrežu, odnosno povezivanje korisnika, strojeva, stvari, podataka i drugog. Upravo koncept Internet stvari omogućit će stvaranje pametnih domova, pametnih gradova i pametnih okruženja.

Performanse 5G mobilne mreže biti će iznimno poboljšane, u odnosu na dosadašnje mobilne mreže. To znači da će mobilna mreža pete generacije svojim implementacijom donijeti brojne prednosti kao što su: iznimno povećanje brzine prijenosa podataka, bolje iskorištavanje resursa, mogućnost istovremenog posluživanja iznimno velikog broja terminalnih uređaja, produljenje vremenskog vijeka baterije uređaja pa samim time i učinkovitija ušteda energije, povećanje razine sigurnosti i pouzdanosti, smanjenje latencije, primjena MIMO antenskih sustava, povećana razina mobilnosti, mogućnost pristupa širokopojasnoj Internet mreži, enormno povećanje količine generiranih podataka i drugo.

Što se tiče poslužitelja i davatelja usluga, mobilna mreža pete generacije temelji se na uslugama, odnosno prilagođena je potrebama krajnjih korisnika. Sukladno tome, mobilna mreža 5G pružit će mogućnost usluga, u kontekstu interakcije između čovjeka, odnosno korisnika, i povezanih Internet stvari. Nadalje, biti će omogućene usluge, u kontekstu pružanja mogućnosti doživljavanja širokopojasnog pristupa Internet mreži s bilo koje lokacije i u bilo koje vrijeme, kritičnog upravljanja udaljenim uređajima, dostupnost medijskog sadržaja na bilo kojem mjestu u bilo koje vrijeme, a najvažnije od svega biti će mogućnost pružanja usluga, koje se tiču pametnih domova, pametnih gradova i svih ostalih pametnih okruženja.

Tvrtka Huawei definirala je kategorije aplikacija namijenjenih za korištenje u sklopu mobilne mreže pete generacije te pripadajuće slučajeve uporabe. Kako bi se navedene aplikacije i slučajevi uporabe mogli primjenjivati, mobilna mreža 5G mora omogućiti potpuno razumijevanje zahtijeva za pojedine slučajeve uporabe, povećanje razine točnosti i pouzdanosti, prezentaciju funkcioniranja telekomunikacijskih usluga i tehnologija prije njihove uporabe te implementaciju strojnog učenja i umjetne inteligencije. U skupinu aplikacija, koje će se primjenjivati u mobilnoj mreži 5G pripadaju aplikacije koje se odnose na virtualnu stvarnost, proširenu stvarnost, autonomna vozila, automatizaciju cjelokupne industrije, zdravstvo, pametne gradove, Internet svega, itd. Svaka od navedenih skupina aplikacija ima zasebne zahtjeve, koji su postavljeni pred mrežu. Ti zahtjevi se u najvećoj mjeri odnose na garantiranu kvalitetu usluge, mobilnost, prijenos podataka u stvarnom vremenu, propusnost i masivnu povezanost.

Vrlo bitni pojmovi, u kontekstu 5G mobilne mreže, su kvaliteta usluge i iskustvena kvaliteta. Prethodno navedeni pojmovi odnose se na telekomunikacijske usluge, koje korisnici koriste, kao i na novorazvijene aplikacije i slučajeve uporabe za mobilnu mrežu pete generacije. Kvaliteta usluge (QoS) definira se kao obuhvat svih mogućih karakteristika određenog entiteta, koje moraju zadovoljiti postavljene zahtjeve i želje krajnjih korisnika, u vidu telekomunikacijske usluge koju koriste. Kvaliteta usluge odnosi se na tehnički aspekt, koji telekomunikacijski operatori moraju ispuniti, kako bi krajnji korisnici mogli nesmetano koristiti željene usluge. Za vrednovanje kvalitete usluge koristi se određeni skup parametara i pokazatelja, koji moraju biti ispunjeni za postizanje određenog zadovoljstva krajnjih korisnika i kako bi oni nastavili koristiti telekomunikacijske usluge tog istog operatora.

Drugi vrlo važan pojam je iskustvena kvaliteta (QoE), koja se definira kao subjektivno mjerilo, odnosno percepcija krajnjeg korisnika, u kontekstu telekomunikacijske usluge koju koristi. Korisnikovo iskustvo je ključno, iz razloga što ako je korisnik zadovoljan uslugom, on će ju i dalje koristiti. Razvojem novih telekomunikacijskih usluga i mreža, korisnička očekivanja rastu i postaju sve zahtjevnija. Stoga, potrebno je izvršavati raznovrsna ispitivanja krajnjih korisnika, u vidu iskustvene kvalitete, kako bi korisnici i dalje bili zainteresirani za nadolazeće inovativne telekomunikacijske usluge i aplikativna rješenja s pripadajućim slučajevima uporabe. Kao što se za vrednovanje QoS-a koristi određeni skup parametara i pokazatelja, tako se i QoE može vrednovati na određene načine i posjedovati razne pokazatelje, koji ukazuju na razinu zadovoljstva i korisničkog iskustva s korištenim telekomunikacijskim uslugama i mrežama.

Literatura

- [1] *What Is the Cloud? | Cloud Definition.* Cloudflare. Preuzeto s: <https://www.cloudflare.com/learning/cloud/what-is-the-cloud/>. [Pristupljeno: 25. 03. 2020.]
- [2] *About the 5G PPP.* 5gppp. Preuzeto s: <https://5g-ppp.eu/>. [Pristupljeno: 25. 03. 2020.]
- [3] *Handover (HO) pozivi.* Techopedia. Preuzeto s: <https://www.techopedia.com/definition/19726/handover-ho>. [Pristupljeno: 24. 03. 2020.]
- [4] *t2mh.* t2mh.com. Preuzeto s: <http://ww1.t2mh.com/?subid1=9e1fc4c2-6dca-11ea-b749-aea40acf6721>. [Pristupljeno: 24. 03. 2020.]
- [5] *Connectivity: Wireless & Wired.* ElectronicsNotes. Preuzeto s: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/>. [Pristupljeno: 24. 03. 2020.]
- [6] Goleniewski L., Jarrett K. W. *1G: Analog Transmission.* Flylib.com. 2007. Preuzeto s: https://flylib.com/books/en/2.566.1/1g_analog_transmission.html. [Pristupljeno 24. 03. 2020.]
- [7] *Mobile networking: 1G to 4G.* Jisc. Preuzeto s: <https://community.jisc.ac.uk/library/advisory-services/mobile-networking-1g-4g>. [Pristupljeno 24. 03. 2020.]
- [8] Mrvelj Š. *Pokretne ćelijske mreže 2. i 3. generacije.* Autorizirana predavanja. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2017.
- [9] Hmelina K. *Analiza tehnoloških promjena u mobilnim mrežama kroz različite generacije.* Završni rad. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2016.
- [10] Peraković D. *Komunikacijske tehnologije terminalnih uređaja.* Autorizirana predavanja. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2017.
- [11] Muštra M. *Mobilne komunikacije.* Autorizirana predavanja. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2017.
- [12] Muštra M. *Mobilne komunikacije.* Autprozorana predavanja. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2017.
- [13] *LTE Network Architecture.* Tutorialspoint. Preuzeto s: https://www.tutorialspoint.com/lte/lte_network_architecture.htm. [Pristupljeno: 25. 03. 2020.]
- [14] Mrvelj Š. *LTE sustavi.* Autorizirana predavanja. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2018.

- [15] Biberović M. *Zašto je 5G morao uvesti LTE Advanced?*. Podcast. 2015. Preuzeto s: <https://www.netokracija.com/hrvatski-telekom-lte-advanced-goran-toplek-110119>. [Pristupljeno: 28. 05. 2020.]
- [16] Ngo H. Q. *Massive MIMO: Fundamentals and System Designs*. Division of Communication Systems. Linköping University. 2015. Preuzeto s: <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:772015/FULLTEXT01.pdf>. [Pristupljeno: 25. 03. 2020.]
- [17] *Small Cell Networks and the Evolution of 5G*. Qorvo. 2017. Preuzeto s: <https://www.qorvo.com/design-hub/blog/small-cell-networks-and-the-evolution-of-5g>. [Pristupljeno: 25. 03. 2020.]
- [18] Rodriguez J. *Fundamentals of 5G mobile networks*. John Wiley & Sons. West Sussex. The UK. 2015.
- [19] Prasad R. *5G:2020 and beyond*. Aalborg University. Danska. River Publishers. 2014.
- [20] Burazer B. *Budućnost mobilnih komunikacija i izazovi normizacije*. Zagreb: Hrvatski zavod za norme.
- [21] *5G systems*. Ericsson. Preuzeto s: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/white-papers/5g-systems--enabling-the-transformation-of-industry-and-society>. [Pristupljeno: 26. 03. 2020.]
- [22] *5G New Radio Network*. Nokia. Preuzeto s: <https://onestore.nokia.com/asset/205407>. [Pristupljeno: 26. 03. 2020.]
- [23] *Start 5G deployment with an eye on the future*. Nokia. Preuzeto s: <https://onestore.nokia.com/asset/202255>. [Pristupljeno: 26. 03. 2020.]
- [24] Stamenković S. *Heterogene mobilne mreže*. Svijet telekomunikacija. Preuzeto s: <http://telekomsvet.blogspot.com/2013/03/heterogene-mobilne-mreze.html>. [Pristupljeno: 26. 03. 2020.]
- [25] *Mrežni graf koji se temelji na SON okviru*. Preuzeto s: <https://d3i71xaburhd42.cloudfront.net/3716b539ae685b0d621f7f667b4f8ae4ecb027fd/3-Figure1-1.png>. [Pristupljeno: 02. 07. 2020.]
- [26] Ahmed F., Deng J., Tirkkonen O. *Self-organizing Networks for 5G: Directional Cell Search in mmW Networks*. Department of Communications and Networking. Aalto University.
- [27] Peraković D., Husnjak S. *Ekosustav tržišta informacijsko - komunikacijskih usluga*. Auditorna predavanja. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2019.
- [28] Mademann F. *The 5G System Architecture*. River Publishers. 2018; 6(1): 77-86
- [29] Liyanage M., Porambage P., Ding A. Y. *Five Driving Forces of Multi-Access Edge Computing*. ResearchGate. 2018; 4

- [30] Deželić V., Tomić D. *MWC 2018: Ericsson i Swisscom demonstrirali network slicing za 4G i 5G mreže*. ICT Business. 2018. Preuzeto s: <https://www.ictbusiness.info/telekomunikacije/mwc-2018-ericsson-i-swisscom-demonstrirali-network-slicing-za-4g-i-5g-mreze>. [Pristupljeno: 31. 03. 2020.]
- [31] Berger J. *QoS and QoE in 5G networks. Evolving applications and measurements*. Singapore: QSDG Workshop; 2019. Preuzeto s: https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/qos/201908/Documents/Jens_Berger_Presentation_1.pdf. [Pristupljeno: 31. 03. 2020.]
- [32] Peraković D., Husnjak S. *Raznovrsnost podataka o korisnicima usluga i mogućnosti segmentacije*. Autorizirana predavanja. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2019.
- [33] Muštra M. *Navigacijske značajke vožnje u cestovnom prometu*. Autorizirana predavanja. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2018.
- [34] Rao S. K., Prasad R. *Impact of 5G Technologies on Industry 4.0*. SpringerLink. 2018; 145–159
- [35] Sequeira N. *What 5G Means for The Future of Internet of Things*. 5G technology world. 2019. Preuzeto s: <https://www.5gtechnologyworld.com/what-5g-means-for-the-future-of-internet-of-things/>. [Pristupljeno: 01. 04. 2020.]
- [36] *ZTE demonstrates 5G terminal devices for the first time at MWC Shanghai 2019*. TELECOM Review. 2019. Preuzeto s: <https://www.telecomreviewasia.com/index.php/news/technology-news/1575-zte-demonstrates-5g-terminal-devices-for-the-first-time-at-mwc-shanghai-2019>. [Pristupljeno: 01. 04. 2020.]
- [37] *5G terminals*. IEEE communications Society. 2018. Preuzeto s: <https://techblog.comsoc.org/tag/5g-terminals/>. [Pristupljeno: 01. 04. 2020.]
- [38] *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: 28. 05. 2020.]
- [39] *Ericsson radi na standardizaciji 5G sustava*. Ericsson. IT Biz Crunch. 2015. Preuzeto s: <https://www.itbizcrunch.com/index.php/objave/item/830-ericsson-radi-na-standardizaciji-5gsustava>. [Pristupljeno: 01. 04. 2020.]
- [40] Tomić D. *Ubrzani razvoj 5G mreža*. ICT Business. 2015. Preuzeto s: <https://www.ictbusiness.info/telekomunikacije/ubrzani-razvoj-5g-mreza>. [Pristupljeno: 01. 04. 2020.]
- [41] *What 5G will mean to the data center industry*. Data Center Frontier. Preuzeto s: <https://datacenterfrontier.com/what-5g-will-mean-to-the-data-center-industry/>. [Pristupljeno: 27. 07. 2020.]

- [42] *Reinvent Digital Services with Nokia's digital design.* Nokia. 2018. Preuzeto s: <https://onestore.nokia.com/asset/205313>. [Pristupljeno: 08. 04. 2020.]
- [43] *5G Unlocks A World of Opportunities.* Huawei. Labs Wireless, 2017.
- [44] *everythingRF.* What is URLLC. 2019.. Preuzeto s: <https://www.everythingrf.com/community/what-is-urllc>. [Pristupljeno: 03. 07. 2020.]
- [45] GSA. *The Road to 5G: Drivers, Applications, Requirements and Technical Development.* A GSA Executive Report from Ericsson, Huawei and Qualcomm. 2015.
- [46] Odini M. P. *Presentation 5G high school.* 2019. Preuzeto s: <https://www.slideshare.net/mpodini/presentation-5g-high-school>. [Pristupljeno: 06. 07. 2020.]
- [47] *Potrošači očekuju stapanje stvarnosti.* Kompanijske komunikacije Ericssona Nikole Tesle. 2017. Preuzeto s: <https://www.ericsson.hr/20170628-stopljena-stvarnost>. [Pristupljeno: 09. 04. 2020.]
- [48] Brenda L. *Singapore government to implement VR in clinical education.* MIMS Today. 2017. Preuzeto s: <https://today.mims.com/singapore-government-to-implement-vr-in-clinical-education>. [Pristupljeno: 28. 07. 2020.]
- [49] Budek K. *deepsense.ai and Volkswagen deliver breakthrough in autonomous car research.* deepsense.ai. 2019. Preuzeto s: <https://deepsense.ai/deepsense-ai-and-volkswagen-deliver-the-breakthrough-in-autonomous-car-research/>. [Pristupljeno: 09. 07. 2020.]
- [50] *How 5G will impact the transportation industry.* AT&T Business. 2018. Preuzeto s: <https://www.business.att.com/learn/page-not-found.html>. [Pristupljeno: 09. 04. 2020.]
- [51] Smit J. *Industry 4.0.* Europska Unija. 2016.
- [52] Mair R. *The ecosystem of industrial automation, IoT and industry 4.0.* Roland Berger. 2020. Preuzeto s: <https://www.rolandberger.com/nl/Point-of-View/The-ecosystem-of-Industrial-Automation-IIoT-and-Industry-4.0.html>. [Pristupljeno: 09. 07. 2020.]
- [53] M. & Company. *How to navigate digitization of the manufacturing sector.* Industry 4.0. McKinsey Digital, 2015.
- [54] Petrić J. *Industrije 4.0.* Auditorna predavanja. Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu; 2015.
- [55] Argerich L. *An Internet of Things.* Preuzeto s: <http://postscapes.com/internet-ofthings-examples/>. [Pristupljeno: 13. 04. 2020.]
- [56] *HCG Curie Manavata Cancer Centre introduces Versius® Surgical Robotic System.* CMR surgical. 2019. Preuzeto s: <https://cmrsurgical.com/hcg-curie-manavata-cancer-centre-introduces-versius-surgical-robotic-system/>. [Pristupljeno: 09. 07. 2020.]

- [57] *Gartner: Four strategies to make smart cities work for citizens*. Internet od business. Preuzeto s: <https://internetofbusiness.com/cities-smart-citizens-gartner/>. [Pristupljeno: 09. 07. 2020.]
- [58] Jovović I., Forenbacher I., Periša M. *Masive Machine-Type Communications: An Overview and Perspectives Towards 5G*. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu. Odsjek za informacijsko - komunikacijski promet. 2015.
- [59] Mitchell S., Villa N., Stewart-Weeks M., Lange A. *The Internet of Everything for Cities*. Cisco. 2015. Preuzeto s: https://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/industries/docs/gov/everything-for-cities.pdf. [Pristupljeno: 14. 04. 2020.]
- [60] *Smart home technology*. freepik. 2018. Preuzeto s: https://www.freepik.com/premium-vector/smart-home-technology_3597233.htm. [Pristupljeno: 09. 07. 2020.]
- [61] Gacanin H., Wagner M. *Artificial Intelligence Paradigm for Customer Experience Management in Next-Generation Networks: Challenges and Perspectives*. .Nokia Bell Labs. IEEE Magazine.
- [62] Banović-Ćurguz N. Ilišević D. *Mapping of QoS/QoE in 5G Networks*. MIPRO. 2019.
- [63] *The journey toward greater customer centricity*. 2013. Preuzeto s: https://www.acadThe_journey_toward_greater_customer_centricityemia.edu/11860442/. [Pristupljeno: 04. 04. 2020.]
- [64] Matulin M. *Procjena iskustvene kvalitete usluge prijenosa videosadržaja strujanjem*. Doktorska disertacija. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2014.
- [65] *Enterprise QoS Solution Reference Network Design Guide*. Cisco. 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.]
- [66] *Information technology - Open Distributed Processing - Reference Model: Foundations*. I. X.902. ITU. 1995.
- [67] *What is Packet Loss?*. Forcepoint. Preuzeto s: <https://www.forcepoint.com/cyber-edu/packet-loss>. [Pristupljeno: 04. 04. 2020.]
- [68] Frenzel L. E. *Handbook of Serial Communications Interfaces. Testing Considerations*. Newne. 2016; 229-232.
- [69] Mitchell B. *What is Latency?*. Lifewire. 2019. Preuzeto s: <https://www.lifewire.com/latency-on-computer-networks-818119>. [Pristupljeno: 04. 04. 2020.]
- [70] *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.]

- [71] *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.]
- [72] *What is bandwidth?*. Paessler. Preuzeto s: <https://www.paessler.com/it-explained/bandwidth>. [Pristupljeno: 04. 04. 2020.]
- [73] Fallgren M., Timus B. *Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society. Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system*. Europska Unija. 2013.
- [74] Kusme K., Fellgren 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.
- [75] Schatz R., Hoßfeld T., Janowski L., Egger S. *From packets to people: Quality of Experience as new measurement challenge. Data traffic monitoring and analysis: from measurement, classification and anomaly detection to Quality of Experience*. 2013; svez. 7754.
- [76] *I. E.800. Terms and definitions related to quality of service and network performance including dependability*. ITU. 1994.
- [77] *Recommendation ITU-T G.1011 - Reference guide to quality of experience assessment methodologies*. ITU. 2013.
- [78] Gardlo B., Ries M., Hossfeld T. *Impact of screening technique on crowdsourcing qoe assessments. 22nd International Conference. IEEE. Radioelektronika*. 2012.
- [79] Chen K. T., Wu C. C., Chang Y. C., Lei C. L. *A crowdsorceable qoe evaluation framework for multimedia content. Proceedings of the 17th ACM international conference on Multimedia*. 2009.
- [80] *Recommendation ITU-T P.800.1 - Mean Opinion Score (MOS) terminology*. ITU. 2006.
- [81] *Recommendation ITU-T G.1080 - Quality of experience requirements for IPTV services*. ITU. 2008.
- [82] Alben L. *Defining the criteria for effective interaction design. Interactions*. 1996; 3: 11-15.
- [83] Hassenzahl M., Tractinsky N. *User experience-a research agenda. Behaviour & Information Technology*. 2006; 25: 91-97.
- [84] *Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Humancentred design for interactive systems*. ISO. 2010.

- [85] 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.
- [86] Masood H., Rizvi S., Iqbal B. M. *An overview of QoE for 5G networks. ITEE Journal*. 2016; 5(6).
- [87] Mellouk A., Hoceini S., Tran H. A. *Quality of Experience for Multimedia*. John Wiley & Sons. 2013.
- [88] Chen Y., Farley T., Ye N. *QoS Requirements of Network Applications*. IOS Press. 2004; 4: 55-76
- [89] *Telekomunikacije*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža. Preuzeto s: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=60728>. [Pristupljeno: 24. 03. 2020.]
- [90] *What is 4G LTE and why it matters*. Verizon. 2018. Preuzeto s: <https://www.verizon.com/about/news/what-4g-lte-and-why-it-matters>. [Pristupljeno: 25. 03. 2020.]
- [91] *3G UMTS Network Architecture*. Electronicsnotes. Preuzeto s: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/3g-umts/network-architecture.php>. [Pristupljeno: 25. 03. 2020.]
- [92] Looper C. *What is 5G?*. Digital trends. 2020. Preuzeto s: <https://www.digitaltrends.com/mobile/what-is-5g/>. [Pristupljeno: 25. 03. 2020.]
- [93] Šikić M. *Modeli naplate sadržaja u mobilnim paketskim mrežama*. Magistarski rad. Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu; 2002.
- [94] Lukšić I. *Koncept kooperativnog prikupljanja podataka u području putnog informiranja*. Diplomski rad. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2017.
- [95] Azimuth. *Improving 4G Wireless Broadband Product Design through Effective Channel Emulation Testing*. 2008.
- [96] Knezović G. *5G u EU: Akcijski plan za uvođenje komercijalnih 5G usluga*. 2017. Preuzeto s: <https://mreza.bug.hr/5g-u-eu-akcijski-plan-za-uvodenje-komercijalnih-5g-usluga/>. [Pristupljeno: 16. 04. 2020.]
- [97] Ericsson. *5G deployment considerations*. 2018. Preuzeto s: <https://www.ericsson.com/assets/local/narratives/networks/documents/5gdeployment-considerations.pdf>. [Pristupljeno: 16. 04. 2020.]
- [98] Buntz B. *IoT World Today*. informa. 2017. Preuzeto s: <https://www.iotworldtoday.com/2017/09/20/top-20-industrial-iot-applications/>. [Pristupljeno: 06. 07. 2020.]

- [99] Berger J. *QoS and QoE in 5G networks*. 2019. Preuzeto s: https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/qos/201908/Documents/Jens_Berger_Presentation_1.pdf. [Pristupljeno: 08. 07. 2020.]
- [100] Harman R. *Virtual Reality Trends*. Towards Data Science. 2019. Preuzeto s: <https://towardsdatascience.com/virtual-reality-trends-2019-64003e2667ef>. [Pristupljeno: 09. 07. 2020.]

Popis kratica

| | |
|--------|--|
| 3GPP | The 3rd Generation Partnership Project |
| AGW | Access Gateway |
| AMPS | Advanced Mobile Phone System |
| AuC | Authentication Centre |
| BER | Bit Error Rate |
| BSC | Base Station Controller |
| BTS | Base Transceiver Station |
| D-AMPS | Digital – Advanced Mobile Phone System |
| EDGE | Enhanced Data rates for GSM Evolution |
| EIR | Equipment Identity Register |
| eMBB | enhanced Mobile BroadBand |
| E-SMLC | Evolved Serving Mobile Location Centre |
| GBA | Global Billing Association |
| GSN | Gateway GPRS Support Node |
| GMSC | Gateway Mobile Switching Center |
| GPRS | General Packet Radio Service |
| GSM | Global System for Mobile Communication |
| HLR | Home Location Register |
| HSS | Home Subscriber Server |
| HSPA | High Speed Packet Access |
| IoE | Internet of Everything |
| ISDN | Integrated Services Digital Network |
| ISO | International Standards Organization |
| ITU | International Telecommunication Union |
| LiDAR | Light Detection and Ranging |
| LTE | Long Term Evolution |
| ME | Mobile Equipment |
| MIMO | Multiple Input Multiple Output |
| MME | Mobility Management Entity |

| | |
|-------|--|
| mMTC | massive Machine Type Communication |
| MSC | Mobile Switching Centre |
| MTSO | Mobile Telephone Switching Office |
| NFV | Network Function Virtualisation |
| NMT | Nordic Mobile Telephony |
| PCRF | Policy Control and Charging Rules Function |
| PDC | Personal Digital Cellular |
| PLMN | Public Land Mobile Network |
| PSTN | Public Switched Telephone Network |
| RAN | Radio Access Networks |
| RAT | Radio Access Technology |
| RNC | Radio Network Controllers |
| SDN | Software Defined Networks |
| SGSN | Serving GPRS Support Node |
| SIM | Subscriber Identity Module |
| SLA | Service Level Agreement |
| TACS | Total Access Communication System |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunication System |
| URLLC | Ultra-Reliable and Low-Latency Communication |
| VLR | Visitor Location Register |
| Wi-Fi | Wireless Fidelity |

Popis slika

| | |
|--|----|
| Slika 1. Arhitektura mobilne mreže prve generacije (1G)..... | 4 |
| Slika 2. Arhitektura mobilne mreže druge generacije (2G)..... | 5 |
| Slika 3. Arhitektura mobilne mreže treće generacije (3G)..... | 6 |
| Slika 4. Arhitektura mobilne mreže četvrte generacije (4G)..... | 7 |
| Slika 5. Heterogenost 5G mobilne mreže | 9 |
| Slika 6. Vrste ćelija..... | 10 |
| Slika 7. Arhitektura mobilne mreže pete generacije..... | 13 |
| Slika 8. Mrežni graf temeljen na SON okviru | 14 |
| Slika 9. Korištenje dijeljenja mreže u različitim aspektima 5G mreže..... | 16 |
| Slika 10. Raznovrsnost sadržaja kroz generacije mobilnih mreža..... | 21 |
| Slika 11. Usluge koje nudi 5G mobilna mreža | 23 |
| Slika 12. Odnos usluge, aplikacije i slučaja uporabe kod 5G mreže | 24 |
| Slika 13. Primjer virtualne stvarnosti | 28 |
| Slika 14. Primjer autonomnog vozila | 30 |
| Slika 15. Primjer automatizirane industrije | 33 |
| Slika 16. Primjer mogućnosti izvršavanja operativnog zahvata na daljinu | 37 |
| Slika 17. Primjer pametnog grada..... | 38 |
| Slika 18. Primjer pametnog doma..... | 41 |
| Slika 19. Odnos između QoE modela, KPI/QoS i tehničkog sloja..... | 44 |

Popis tablica

| | |
|---|----|
| Tablica 1. Karakteristike ćelija..... | 11 |
| Tablica 2. Primjeri uporabe aplikacije VR/AR u različitim područjima..... | 25 |
| Tablica 3. Vrste usluga, slučajeva uporabe i aplikacija u 5G mobilnoj mreži..... | 26 |
| Tablica 4. Koncept IoE sa pripadajućim slučajevima uporabe | 40 |
| Tablica 5. Granične vrijednosti za pojedine parametre kvalitete | 54 |

Popis grafikona

| | |
|---|----|
| Grafikon 1. Zahtjevi koji su postavljeni za aplikacije virtualne i proširene stvarnosti..... | 27 |
| Grafikon 2. Zahtjevi aplikacija koje se odnose na autonomna vozila | 31 |
| Grafikon 3. Zahtjevi aplikacija koje se odnose na automatizaciju industrije | 34 |
| Grafikon 4. Zahtjevi aplikacija koje se odnose na zdravstvo | 36 |
| Grafikon 5. Zahtjevi aplikacija koje se odnose na pametne gradove | 39 |