Analiza projekcija mobilnog podatkovnog prometa

Prpić, Klaudija-Marija

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:254348

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Klaudija Marija Prpić

ANALIZA PROJEKCIJA MOBILNOG PODATKOVNOG PROMETA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 3. travnja 2018.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 4734

Pristupnik: **Klaudija-Marija Prpić (0135242291)**
Studij: Promet
Smjer: Informacijsko-komunikacijski promet

Zadatak: **Analiza projekcija mobilnog podatkovnog prometa**

Opis zadatka:

Analizirati značajke mobilnih mreža po generacijama u kontekstu njihovih sposobnosti u podržavanju različitih vrsta usluga, koje zahtijevaju različite veličine kapaciteta.
Prikazati značajke aplikacija podržanih u 4G mreži i ponašanje mobilnog podatkovnog prometa.
Analizirati trendove i predviđanja veličine podatkovnog prometa u mrežama 4G i 5G.

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZAVRŠNI RAD

ANALIZA PROJEKCIJA MOBILNOG PODATKOVNOG PROMETA

ANALYSIS OF MOBILE DATA TRAFFIC PROJECTIONS

Mentor: izv. prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Student: Klaudija Marija Prpić

JMBAG: 0135242291

Zagreb, rujan 2018.

SAŽETAK

U radu su analizirane značajke mobilnih mreža po generacijama s naglaskom na njihove sposobnosti u podržavanju različitih vrsta usluga, koje zahtijevaju različite veličine kapaciteta. Razvoj digitalnih mobilnih mreža kretao se veoma brzo, što za posljedicu ima razvoj mnogo novih mogućnosti koje aplikacije pružaju, te je došlo do novih načina uporabe mobilnih uređaja

Nadalje, u radu se prikazuju značajke aplikacija podržanih u 4G mreži i ponašanje veličine mobilnog podatkovnog prometa na globalnoj razini. Osim spomenutoga, analiza ponašanja korisnika, ovisno o vrsti tarifnog paketa (*prepaid* ili *postpaid*), provedena je na podacima prikupljanih anketom, razvijenom za potrebe ovoga rada, među studentskom populacijom Sveučilišta u Zagrebu.

Prikazani su trendovi i predviđanja veličine podatkovnog prometa u mrežama 4G i 5G.

KLJUČNE RIJEČI: mobilni podatkovni promet; korisnici 4G mreže, aplikacije 4G mreže, trendovi mobilnog podatkovnog prometa;

SUMMARY

The paper analyzes features of mobile networks by generations with an emphasis on their ability to support different types of services that require different capacity sizes. The development of digital mobile networks advanced rapidly, resulting in the development of a plethora of new features that applications provide and new ways of using mobile devices.

Moreover, the paper shows the features of applications supported in the 4G network and also shows the behavior of mobile data traffic globally. In addition to this, user behavioral analysis, depending on the type of tariff package (*prepaid* or *postpaid)*, was conducted on the data collected by the survey among the student population of the University of Zagreb, which was conducted for this paper

Trends and predictions of data transfer size in 4G and 5G networks are also shown.

Key words: mobile data traffic; 4G network users; 4G network applications; mobile data traffic trends;

SADRŽAJ

1. Uvod 1
2. Značajke mobilnih mreža po generacijama 3
2.1 Prva generacija mobilnih mreža – 1G 4
2.2 Druga generacija mobilnih mreža – 2G 5
2.3 Treća generacija mobilnih mreža – 3G 7
2.4 Četvrta generacija mobilnih mreža – 4G 10
2.5 Peta generacija mobilnih mreža – 5G 12
3. Analiza značajki podatkovnog prometa i aplikacija u 4G mreži 13
3.1 Općenito o aplikacijama unutar 4G mreže 13
3.1.1 Vrste aplikacija 4G mreže 14
3.1.2 Značajke aplikacija 4G mreže 15
3.2 Podatkovni promet aplikacija 4G mreže 16
3.2.1 Podatkovni promet aplikacija 4G mreže na svjetskoj razini 17
3.2.2 Podatkovni promet aplikacija 4G mreže prema rezultatima ankete 19
3.2.2.1 Prikupljanje podataka 19
3.2.2.2 Analiza ankete podatkovnog prometa aplikacija 4G mreže 20
4. Analiza veličina ostvarenog podatkovnog prometa i broja korisnika u 4G mreži .. 30
4.1 Korisnici 4G mreže 30
4.2 Ostvareni podatkovni promet prema broju korisnika 4G mreže 31
5. Trendovi i predviđanja veličina podatkovnog prometa u 5G mreži 34
5.1 Općenito o 5G mreži 35
5.2 Tehnička i tehnološka ostvarenja 5G mreže 35
5.2.1 Arhitektura 5G mreže 36
5.2.2 Tehnološke inovacije 5G mreže 37
5.3 Predviđeni podatkovni promet u 5G mreži 38
6. Zaključak 41
LITERATURA 42
POPIS KRATICA 44
POPIS KORIŠTENIH SLIKA 47
POPIS KORIŠTENIH GRAFIKONA 48
POPIS KORIŠTENIH TABLICA 49

1. Uvod

Mobilna tehnologija omogućava mnoge pogodnosti sudionicima na telekomunikacijskom tržištu. Prateći razvoj generacija mobilnih mreža sve je više novih korisnika. Korisnici različitih dobnih skupina, privučeni novim mogućnostima tehnologije, traže novi skup usluga koji će odgovarati njihovim potrebama. Naime, sa sve većim brojem korisnika bilježi se porast u količini generiranog prometa.

Prateći ponašanje korisnika moguće je predvidjeti koji skup usluga žele i koje aplikacije koriste. Prema tome, količinu generiranog prometa među korisnicima moguće je predvidjeti na temelju popularnih aplikacija. Kod kreiranja usluga za korisnike, bitno je utvrditi veličine generiranog prometa koje mobilnim operatorima daju smjernice potrebne pri dizajniranju mreže i usluga.

Za mreže u razvoju, poput 5G, potrebno je predvidjeti veličine generiranog podatkovnog prometa kako bi se nove usluge dizajnirale prema zahtijevanim kapacitetima mreže i kako bi se osigurala odgovarajuća kvaliteta usluge.

Svrha rada pod nazivom Analiza projekcija mobilnog podatkovnog prometa je pružanje uvida u projekcije podatkovnog prometa kojeg generiraju korisnici i aplikacije.

Cilj provedene analize rada je prikazati podatke o 4G mreži zajedno sa trendovima rasta 5G mobilne mreže prema broju korisnika i korištenih aplikacija te mobilnom podatkovnom prometu kojeg oni generiraju.

Završni rad sastoji se od šest povezanih dijelova:

1. Uvod
2. Značajke mobilnih mreža po generacija
3. Analiza značajki podatkovnog prometa i aplikacija u 4G mreži
4. Analiza veličina ostvarenog podatkovnog prometa i broja korisnika u 4G
5. Trendovi i predviđanja veličina podatkovnog prometa u 5G mreži
6. Zaključak

U drugom poglavlju opisane su značajke mobilnih mreža kroz generacije. Naglasak je stavljen na njihove mogućnosti s obzirom na usluge koje podržavaju ili su podržavale.

Analiza značajki podatkovnog prometa i aplikacija u 4G mreži prikazuje značajke aplikacija pojedine vrste, dominantno korištene u 4G mreži zajedno sa prometom koje one generiraju. U 3. poglavlju prikazani su rezultati ankete i analiza načinjena nad podacima prikupljenim anketom o tarifnim paketima korisnika i njihovoj potrošnji.

U 4. poglavlju prikazane su analizirane veličine ostvarenog podatkovnog prometa i broja korisnika u 4G mreži. Analizirani su trendovi podatkovnog prometa u mobilnoj 4G mreži, vezano uz trendove broja korisnika.

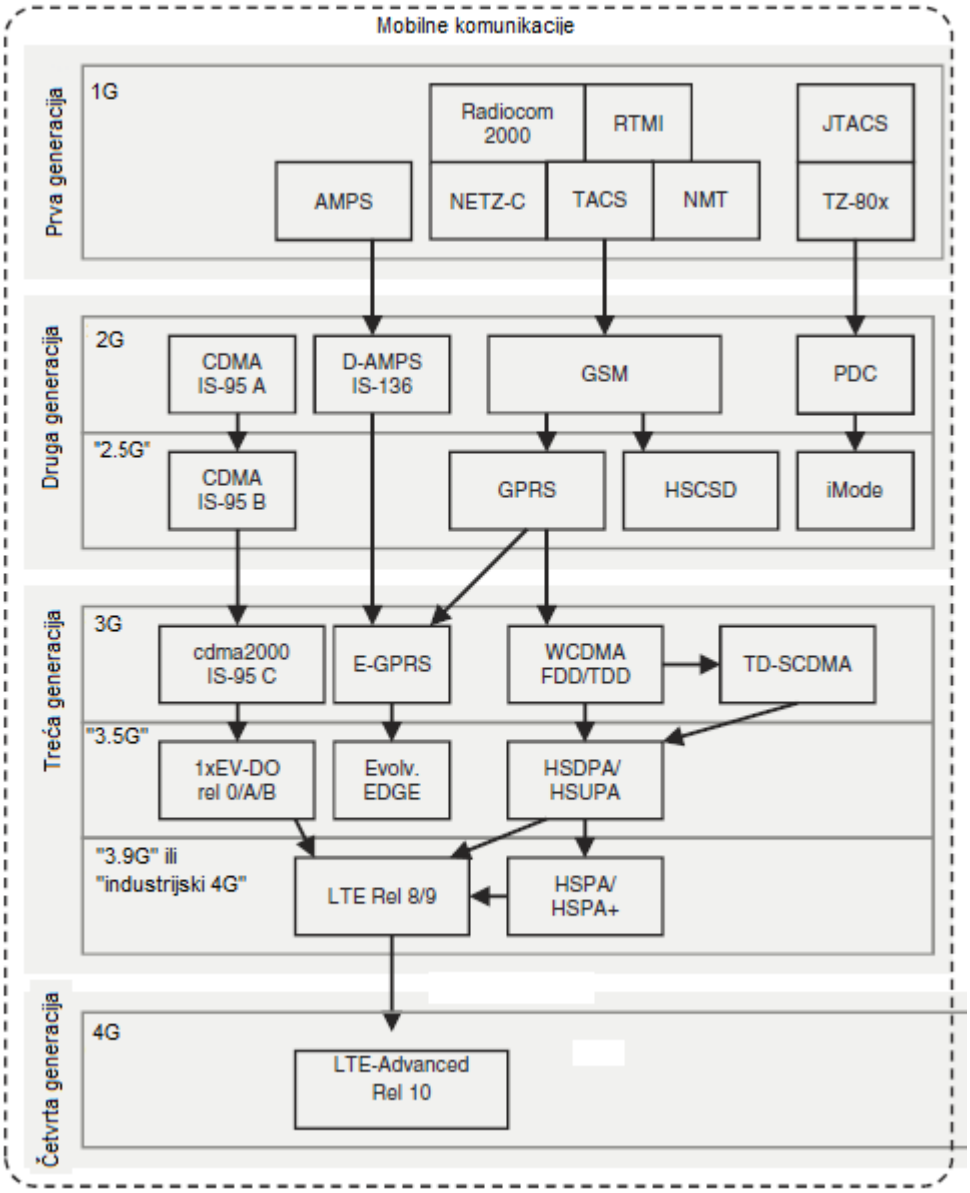
Petim poglavljem opisana su predviđanja generiranog podatkovnog prometa za petu generaciju mobilnih mreža, odnosno projekcije generiranog prometa prema broju korisnika i vrsti aplikacija.

2. Značajke mobilnih mreža po generacijama

Razvojem mobilnih mreža, ujedno i tehnologija na kojima se njihov rad zasniva, stvoren je koncept komunikacije potpunom mobilnošću korisnika. Novije mobilne mreže prate trendove i zahtjeve korisnika, kao i dostupne tehnologije koje će korisnicima osigurati željenu kvalitetu usluge. Evolucija podatkovnog prometa započela je komutacijom kanala, mrežom izvorno namijenjenom za govorni promet.

Razvoj mobilnih mreža kreće od analognih do digitalnih mobilnih generacija (slika 1). Analogne mreže primjenjuju komutaciju kanala za svoj rad koje su izvorno bile namijenjene prijenosu govora. Za prijenos podataka pogodnije su digitalne mreže. Takve mreže temelje se na komutaciji paketa i namijenjene su prijenosu podataka zauzimanjem kapaciteta linka kada postoji potreba za prijenosom. Brzine prijenosa informacija u mrežama s komutacijom paketa veće su od onih s komutacijom kanala. Razlog tome je sama mreža za komutaciju kanala, čija je infrastruktura namijenjena za govorni promet, te je pojavom podatkovnog prometa infrastrukturu kao takvu bilo potrebno prilagoditi potrebama korisnika.

Globalna internetska mreža omogućuje korisnicima pristup različitom sadržaju. Aplikacije koje prednjače u količini generiranog podatkovnog prometa su prijenos videa strujanjem, na zahtjev, unutar ili van stvarnog vremena. Kako su video aplikacije postale trend među korisnicima, pojavila se potreba za prijenosom veće količine podataka. Shodno tome, razvojem generacija mobilnih mreža rastu i brzine prijenosa istih. Promet video aplikacija dominantno se poslužuje u četvrtoj generaciji mobilnih mreža. Prema tome, četvrtu generaciju mobilnih mreža obilježava rast generiranog mobilnog prometa od strane korisnika i aplikacija. Na navedene trendove rasta nastaviti će se nova peta generacija mobilnih mreža koja je još u fazi razvoja i još nije mjerodavna za prometnu analizu [1], [2].



Slika 1. Prikaz mobilnih mreža prema generacijama
Izvor: [2]

2.1 Prva generacija mobilnih mreža – 1G

Prva generacija mobilnih mreža bazirana je na komutaciji kanala u sklopu analogne telefonije i dizajnirana je pretežito za prijenos govora. Uvode se ćelije koje uz sebe vežu pojam prekapčanja (engl. *Handover*). Korisnik prelazi iz jedne ćelije u drugu onda kada signal ćelije opada s udaljenošću na kojoj se on nalazi. Preteča 1G mobilnih mreža su mreže „nulte generacije“ koje ne koriste ćelijsku podjelu za razliku od navedene 1G, te se prekapčanje poziva izvodilo ručno u lokalnim centralama. Veličine ćelija 1G mreže su oko 30 km, što je dostatno za pokrivanje područja na kojem je omogućen prijenos glasovnog prometa. Prilikom prelaska iz jedne ćelije u drugu izvodilo se tvrdo prekapčanje. Tvrdo prekapčanje karakteristično je za mreže prve

generacije zbog različitih frekvencija susjednih ćelija što uzrokuje prekidanje već započete govorne sesije.

Sustavi 1G mobilnih mreža su:

- Nordijska mobilna telefonija (engl. *Nordic Mobile Telephony* - NMT)
- Napredni sustav mobilne telefonije (engl. *Advanced Mobile Phone Systems* - AMPS)
- Komunikacijski sustav cjelokupnog pristupa (engl. *Total Access Communications Systems* - TACS).

AMPS sustavi koristili su višestruki pristup s frekvencijskom podjelom (engl. *Frequency Division Multiple Access* - FDMA). Za prijenos govora dodijeljena su dva kanala za uzlazni i silazni prijenos.

Nedostaci analognih 1G mreža očituju se u mogućnosti preslušavanja zbog izostanka enkripcijskih metoda zaštite podataka te nedostatku kvalitete govora pogođenog izvorima interferencija. Također, sustavi 1G ograničeni su ponudom usluge. Naime, infrastruktura ograničena je komutacijom kanala, time ne nudi mogućnosti prijenosa podatkovnih jedinica komutacijom paketa na čijem se radu temelje mreže novijih generacija [3].

2.2 Druga generacija mobilnih mreža – 2G

Potrebe krajnjih korisnika za poboljšanom kvalitetom, kapacitetima i brzinama dovele su do zahtjeva za novo dimenzioniranje mreže. Nedostaci 1G mobilnih mreža u pogledu interoperabilnosti, prekapčanja, sigurnosti, analogne tehnologije i drugih predvidjeli su potrebe za razvojem digitalnog 2G standarda.

Druga generacija mobilne mreže nastavak je na prethodnu prvu generaciju. Prva 2G mreža pokrenuta je 1991. godine u Finskoj, standardizirana od strane europskog standardizacijskog instituta za telekomunikacije (engl. *European Telecommunication Standards Institute* - ETSI) koji je uvidio potrebu napretka u odnosu na američki AMPS te tako osmislio jedinstveni globalni sustav za mobilne komunikacije (engl. *Global System for Mobile Communications* - GSM). Daljnji razvitak GSM standarda nastavila je organizacija program partnerstva za treću generaciju (engl. *Third Generation Partnership Program* – 3GPP).

GSM postaje globalni standard koji je, kao nasljednik 1G mreže, zadržao govornu komunikaciju dominantnom. Infrastrukturno, sastoji se od:

- bazna primopredajna stanica (engl. *Base Transceiver Station* - BTS)
- upravljač bazne stanice (engl.*Base Station Controller* - BSC)
- komutacijsko čvorište (engl. *Mobile Service Switching Centre* - MSC)
- gostujući lokacijski registar (engl. *Visitor Location Register* - VLR)
- domaći lokacijski registar (engl. *Home Location Register* - HLR)

- mobilne stanice (engl. *Mobile Unit* – MU).

Koncept ćelija 2G mreže povezan je sa lokacijom korisnika. Korisnik registriran na mrežu unutar domene jedne ćelije dobiva svoju mrežnu lokaciju (engl. *Location Area* - LA) koja je pohranjena u VLR-u i HLR-u. Prilikom prekapčanja ili promjene ćelije, ujedno i lokacije, VLR obavještava HLR o navedenoj promjeni. Nekoliko ćelija organizirano je u jedno lokacijsko područje od strane mrežnog operatora ovisno o vrsti područja, time rješavajući problem slabljenja signala i produljujući tako vijek trajanja baterije.

Prelaskom iz jedne ćelije u drugu, između elemenata BTS, BSC i MSC odvija se prekapčanje. Unutar mrežne generacije scenariji horizontalnog prekapčanja su:

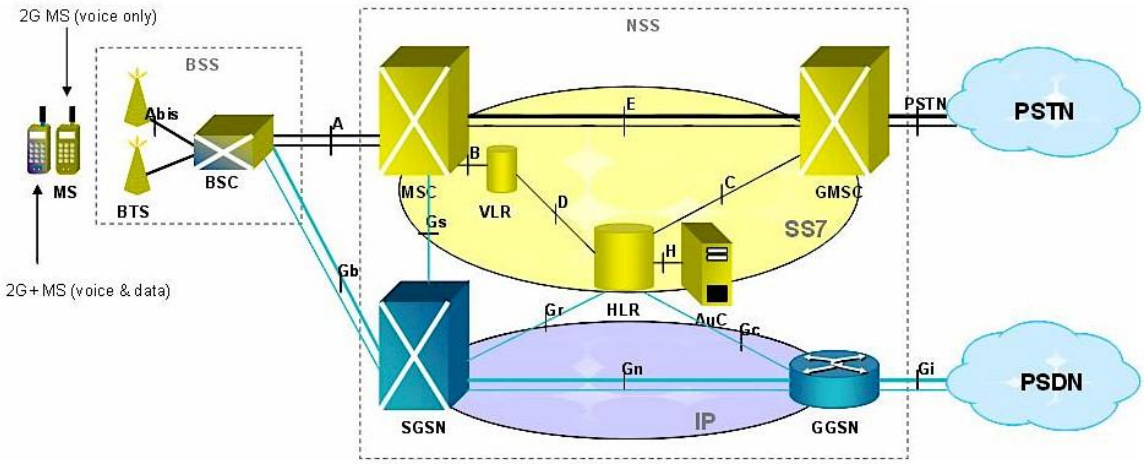
- intra-BSC prekapčanje
- inter-BSC prekapčanje
- inter-MSC prekapčanje.

GSM omogućuje prijenos podataka teoretskim brzinama od 9,6 kb/s komutacijom kanala (engl. *Circuit Switched Data* - CSD) istovremeno omogućavajući podatkovnu komunikaciju digitalnim prijenosom pomoću *dial-up* modema za prijelaz između analogne telefonske i digitalne mobilne mreže. Nadogradnja na CSD, poznata kao CSD velikih brzina (engl. *High Speed Circuit Switched Data* - HSCSD), omogućila je maksimalne brzine prijenosa do 57,6 kb/s bitne u pogledu generiranja podatkovnog prometa. Također, GSM koristi četiri frekvencijska područja od 850 MHz i 900 MHz nasljedno od prve generacije te 1800 MHz i 1900 MHz kao dodatno proširenje koje ne zahtjeva velike dimenzije ćelija, zbog manjeg prigušenja, posljedično korištenjem navedenih frekvencijskih pojasa. Od tehnika višestrukog pristupa koriste se tehnika višestrukog pristupa vremenskom raspodjelom (engl. *Time Division Multiple Access* - TDMA) i tehnika višestrukog pristupa kodnom raspodjelom (engl. *Code Division Multiple Access* - CDMA). CDMA korisniku dodjeljuje vlastiti kod proširenja kojim se informacija šifrira, isto tako i na stani krajnjeg korisnika dešifrira. Na taj način informaciju može razumjeti korisnik kome je informacija namijenjena. CDMA tehnika višestrukog pristupa smatrana je jednom od tehnika proširenog spektra koja se koristi kako bi ćelija primila što više korisnika zauzimajući iste frekvencijske kanale. Uz TDMA i CDMA koristi se i dupleksna raspodjela frekvencije (engl. *Frequency Division Duplex* - FDD) kako bi postojala silazna i uzlazna veza između terminalnog uređaja i bazne stanice [4].

Poboljšana inačica, odnosno nadogradnja GSM sustava poznata kao *GPRS* (engl. *General Packet Radio Service)* ili 2.5G (slika 2) imala je za cilj omogućiti teoretske brzine prijenosa podataka do 144 kb/s te realne brzine do 40 kb/s. Značajka 2.5G je komutacija paketa čime se prekida ovisnost o javnoj telefonskoj mreži (engl. *Public Switched Telephone Network* – PSTN) i izbacuje *dial-up* način rada. Također, GPRS proširuje infrastrukturu 2G novim elementima koji omogućavaju bolju povezivost korisnika sa internetskom mrežom. Elemente čine:

- čvor koji podržava GPRS posluživanje GPRS (engl. *Serving GPRS Support Node* - SGSN)
- prilazni GPRS potporni čvor (engl. *Gateway GPRS Support Node* - GGSN)
- jedinica za kontrolu paketa (engl. *Packet Control Unit* – PCU).

Posljednja od nadogradnji u GSM je 2.75G inačica ili poboljšane brzine prijenosa podataka za GSM (engl. *Enhanced Data rates for GSM Evolution* - EDGE). Uvodi se kako bi se postigle još veće brzine prijenosa i time bolja kvaliteta usluge. Veće brzine prijenosa ostvarene su sukladno promjenama u kodiranju i modulacijskim postupcima tako da su teoretske brzine narasle do 384 kb/s i omogućile bolje povezivanje na Internet, preuzimanje podataka i pregled multimedijskog sadržaja. EDGE inačica 2G uvedena je kao postepeni prijelaz na treću generaciju mobilnih mreža – 3G [5].



Slika 2. Prikaz GPRS sustava mobilnih mreža, [6]

2.3 Treća generacija mobilnih mreža – 3G

Treća generacija nastavak je na GPRS/EDGE nadogradnju 2G sustava. Standardizacijska organizacija 3GPP donijela je novu generaciju mobilnih mreža, to jest, univerzalni sustav mobilnih komunikacija (engl. *Universal Mobile Communication System* - UMTS). 3G mobilna komunikacijska mreža nudi veće brzine prijenosa podataka, bolju kvalitetu glasa u odnosu na onu koju nudi PSTN, korištenje video poziva i televizije pomoću internetskog protokola (engl. *IP Television* - IPTV) povrh potpuno redizajnirane zemaljske UMTS radio pristupne mreže (engl. *UMTS Terrestrial Radio Access Network* - UTRAN) koja je predstavljena u 3GPP *Release 99* zajedno sa širokopojasnim višestrukim pristupom sa kodnom raspodjelom (engl. *Wideband Code Division Multiple Access* - WCDMA).

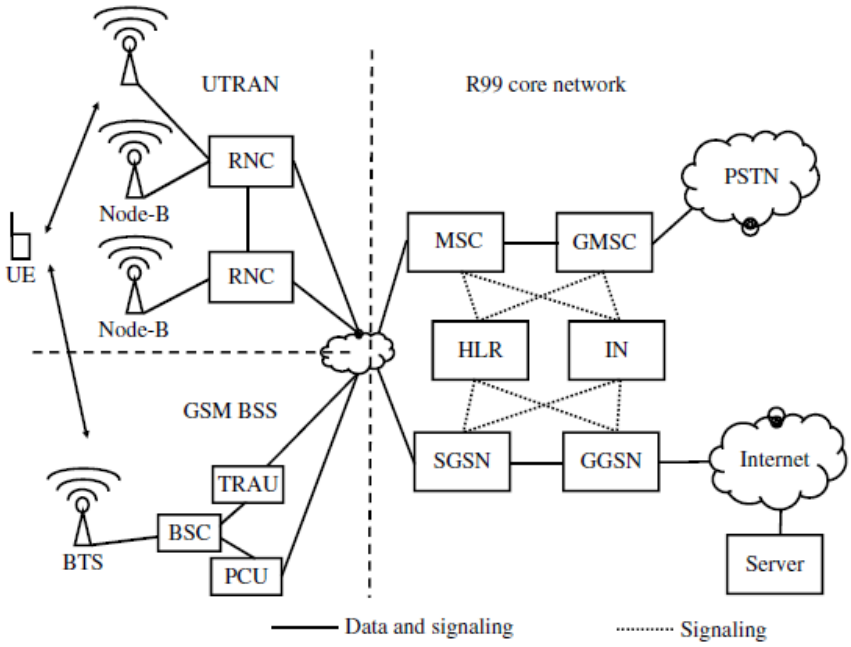
Noviji, redizajnirani dijelovi 3G UTRAN mreže, uz postojeće GPRS/EDGE dijelove, su čvor-B (*engl. Node – B*), odnosno bazna stanica i kontrolor radijske mreže (engl.

Radio Network Controller - RNC) kao novo radio sučelje koje povezuje bazne stanice sa jezgrenim dijelom mreže umjesto BSC-a korištenog u 2G.

Redizajnirana mreža UTRAN potpomaže u prekapčanju između susjednih ćelija sa kojom se eliminira prekidanje sesija. Susjedne ćelije rade na istom frekvencijskom pojasu zbog nove tehnike višestrukog pristupa. Stoga, prelaženjem između susjednih ćelija, kontroliranih od jedne bazne stanice, ne dolazi do prekidanja sesija. Navedeni oblik prelaženja (engl. *Roaming*) naziva se meko prekapčanje. Uz meko prekapčanje postoji i mekše prekapčanje koje se odvija unutar više sektora jedne bazne stanice. Mobilni uređaj pritom detektira promjenu signala unutar sektora bazne stanice.

3GPP standardizacijska organizacija postepeno je unaprjeđivala rad 3G mreža. Prema redoslijedu, realizacija se odvijala:

- 3GPP *Release 99* (slika 3):
    - UTRAN
- 3GPP *Release 4*:
    - konvergencija komutacije paketa i kanala u infrastrukturi mreže
    - prijenos IP protokolom u jezgrenoj mreži
- *3GPP Release 5*:
    - riješen problem blokiranja sesije prilikom prekapčanja iz jedne ćelije u drugu
    - primjena IP protokola u cijeloj mreži (pristupnoj i jezgrenoj) za govorne i podatkovne usluge
    - brzi paketni pristup silaznom vezom (engl. *High Speed Download Packet Access* - HSDPA) veće silazne brzine od bazne stanice do terminalnog uređaja
    - prekapčanje između mobilnih tehnologija kada se napušta 3G
- 3GPP *Release 6*:
    - brzi paketni pristup uzlaznom vezom (engl. *High Speed Uplink Packet Access* - HSUPA) – veće uzlazne brzine prijenosa od terminalnog uređaja do bazne stanice
    - konvergencija HSUPA + HSDPA u jedinstvenu mrežu brzog paketnog pristupa (engl. *High Speed Packet Access* - HSPA)
- 3GPP *Release 7*:
    - napredna mreža brzog paketnog pristupa (engl. *Evolved High Speed Packet Access* – HSPA+)
    - veće brzine prijenosa
    - kontinuirana paketna povezanost (engl. *Continuous Packet Connectivity* - CPC) produljuje vijek trajanja potrošnje energije terminalnog uređaja
    - tehnika višestrukog ulaza i višestrukog izlaza (engl. *Multiple Input Multiple Output* - MIMO)
    - kvadraturna amplitudna modulacija (engl. *Quadrature Amplitude Modulation* - QAM) [2].



Slika 3. Prikaz 3GPP *Release 99* sustava, [2]

Noviji modulacijski postupci, veća pojasna širina od 5 MHz i WCDMA tehnika višestrukog pristupa također pridonose boljem ostvarenju većih brzina. WCDMA koristi i FDD, ali i dupleksni prijenos po vremenskoj raspodjeli (engl. *Time Division Duplex*-TDD). Navedena tehnika višestrukog pristupa daje bolju iskoristivost frekvencijskog spektra, tako da susjedne ćelije mogu koristiti isti frekvencijski pojas bez interferencija. Shodno tome, za veće brzine prijenosa zaslužna je i MIMO tehnika koja kombinira više antena zajedno sa inačicama QAM modulacijskih tehnika ovisno radi li se o silaznoj ili uzlaznoj vezi [3], [7], [8].

3G mobilna mreža za cilj ima osigurati veće brzine prijenosa u situacijama:

- minimalno 144 kb/s sa propusnošću pri velikim brzinama kretanja
- minimalno 384 kb/s sa propusnošću pri srednjim brzinama kretanja
- minimalno 2 Mb/s u zatvorenim prostorima.

Novom fleksibilnom redizajniranom mrežom ostvarena je kompatibilnost i sa starijim inačicama mobilnih mreža GSM/GPRS/EDGE. Rješenja koja su ponuđena osiguravaju:

- pokrivenost što veće lokacije GSM mrežom gdje je potrebno pružiti govornu uslugu
- pokrivenost što veće lokacije GPRS/EDGE mrežom gdje je potrebno pružiti podatkovnu uslugu
- pokrivenost 3G mrežom u zonama gdje je potrebno osigurati najbolju mrežnu uslugu.

Nadogradnja na 3G je 3.5G koju donosi 3GPP *Release 6*, odnosno HSPA, spoj HSDPA i HSUPA, omogućava veće brzine prijenosa i do 14,4 Mb/s u silaznoj vezi. Zajedno sa MIMO tehnikom ostvaruje 28 Mb/s. Inačica HSPA+ 3.5G mobilne mreže nudi još veće brzine u odnosu na HSPA sa iznosima od 44 Mb/s i 22 Mb/s [2], [3].

2.4 Četvrta generacija mobilnih mreža – 4G

Broj korisnika i veličine generiranog mobilnog podatkovnog prometa dovele su do potrebe uvođenja četvrte generacije mobilnih mreža, odnosno standarda pod nazivom dugoročna evolucija (engl. *Long Term Evolution* - LTE). Trendovi u internetskoj mreži i usluge koje korisnici potražuju dovele su do porasta generiranog prometa što je iniciralo potrebu za razvojem mreže koja može podržati prijenos velike količine podataka velikim brzinama. 4G infrastruktura ostvaruje kompletan prijenos IP protokolom glasovnog, podatkovnog ili multimedijskog sadržaja u svim segmentima mreže. Širokopojasna mreža omogućila je brže procesiranje i slanje podataka, video sadržaja, mobilne televizije, video igara i drugih preko bežične mreže. Pojavio se i pojam prijenosa govora putem LTE mreže (engl. *Voice over LTE* - VoLTE). Ekvivalent VoLTE je prijenos glasa putem IP-a (engl. *Voice over IP Protocol* - VoIP). Sukladno VoLTE, svrha VoIP mreže je jedinstvena, integrirana mreža za podatkovnu, multimedijsku i glasovnu komunikaciju.

Nadogradnjom na infrastrukturu 3G nastaje unaprijeđeni UTRAN (engl. *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network* – E-UTRAN). Dijelovi E-UTRAN mreže hijerarhijski pripadaju segmentima korisničke, pristupne i jezgrene mreže. U korisnički dio pripadaju:

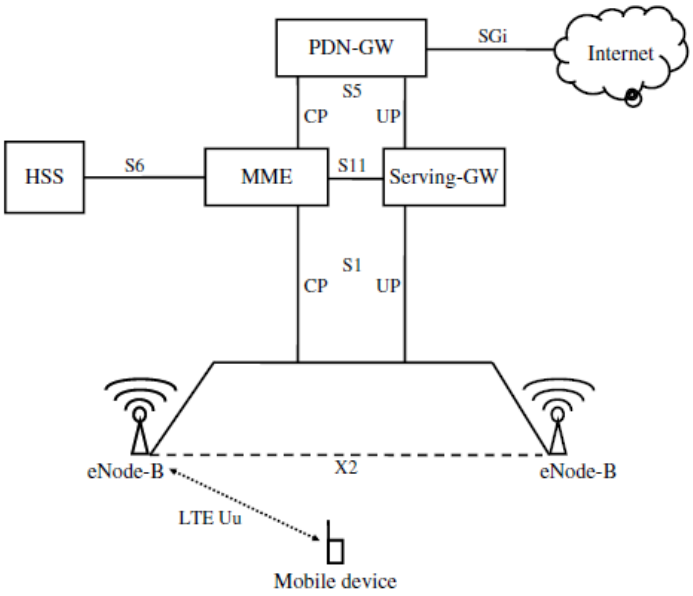
- eNode-B ili bazna stanica
- korisnički uređaj
- X2 radio sučelje između dvaju baznih stanica.

X2 sučelje obavlja X2 prekapčanje. Takvo prekapčanje koristi se unutar 4G mobilnih mreža (engl. *Intra LTE*) gdje se između dvije bazne stanice sesije predaju preko navedenog sučelja. U slučaju da X2 sučelje ne postoji, bazna stanica obavještava MME kojim preusmjerava korisnika na drugu baznu stanicu.

Pristupnu mrežu čine dijelovi koji povezuju korisnički s jezgrenim dijelom. Dijelovi pristupne mreže su:

- domaći pretplatnički poslužitelj (engl. *Home Subscriber Server* - HSS)
- entitet za upravljanje mobilnošću (engl. *Mobility Managment Entity* - MME)
- poslužujući pristupnik (engl*. Serving Gateway – SGW*).

U jezgreni dio mreže pripada pristupnik paketne mreže (engl. *Packet Data Network-Gateway* - PDN-GW) koji omogućava pristup korisnika prema Internetu. Cjelokupna arhitektura LTE mreže prikazana je na slici 4 [2], [5].



Slika 4. Prikaz LTE sustava mobilne mreže, [2]

Svojevrsni prelazak sa 3G na 4G mrežu očituje se pojavom prijenosa podataka paketskim modom velikim brzinama u OFDM pristupnoj mreži (engl. *High Speed OFDM Packet Access* - HSOPA). Umjesto WCDMA tehnike pristupa u 4G mreži koristi se tehnika višestrukog pristupa ortogonalnim frekvencijskim razdvajanjem (engl. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* - OFDMA) te ortogonalno multipleksiranje frekvencijskim odvajanjem (engl. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* - OFDM) kako bi se postigla veća otpornost signala na pogreške i vanjske smetnje, odnosno šum. OFDM se koristi u kombinaciji sa MIMO tehnikom kako bi se postigle veće brzine prijenosa preko 144 Mb/s. 4G mreže koriste i femtoćelije malog radijusa i kanale širine 20 MHz [5].

Mobilne mreže četvrte generacije potpunom integracijom te primjenom navedenih tehnologija postižu sljedeća obilježja:

- visoku spektralnu učinkovitost
- malo kašnjenje
- varijabilnu pojasnu širinu
- interoperabilnost s prethodnim sustavima
- broadcast/multicast prijenos.

Dodatno, unaprijeđeni LTE (engl. *LTE-Advanced* – LTE-A) nastavak je na 4G. Javlja se kao tranzicijski oblik četvrte generacije na petu. Nudi funkcionalnosti poput:

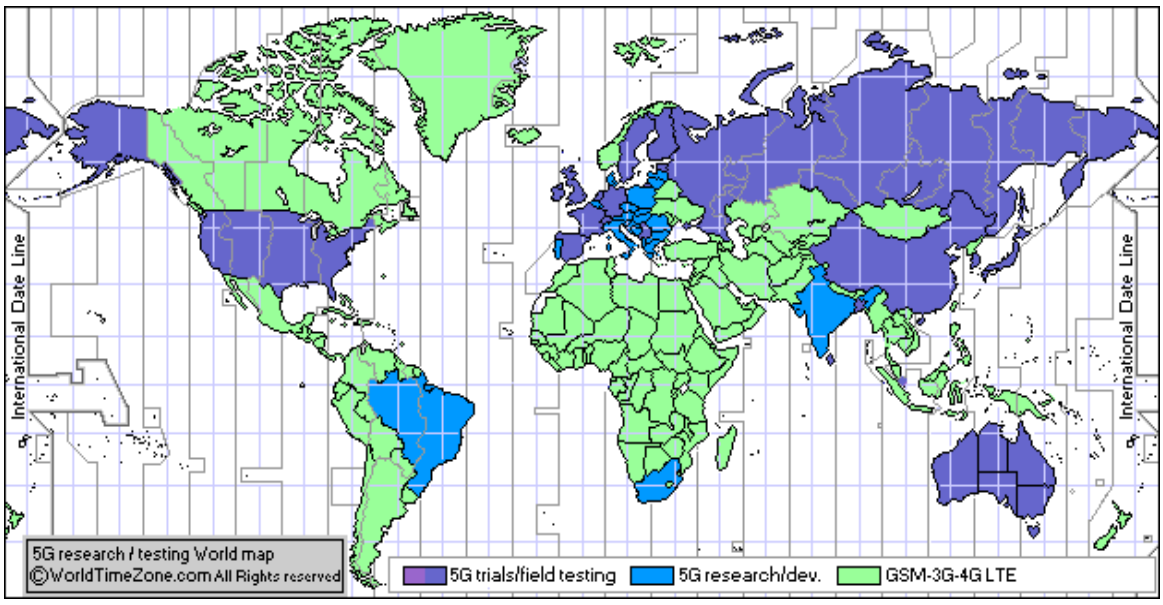
- veći omjeri podatkovnog prijenosa u silaznoj vezi (engl. *Peak Data Rates* - PDR)
- mobilnost pri velikim brzinama
- poboljšanje propusnosti ćelija MIMO tehnikom
- promjene u ćelijama [8].

2.5 Peta generacija mobilnih mreža – 5G

Peta generacija kao nastavak na četvrtu pruža mogućnosti za mnoge druge uređaje, osim mobilnih, koji će za svoj rad generirati sve veći podatkovni promet. Navedena generacija je u eksperimentalnoj i fazi razvoja i njome se potiče tzv. „pametno“ okruženje. Drugi naziv za pametno okruženje u kojem će se razvijati 5G mreža kao dugoročna evolucija LTE (engl. *Long Term Evolution of LTE* – LTE of LTE) je virtualno, odnosno okruženje u oblaku (engl. *Cloud*).

5G mreža razvila se umrežavanjem i automatizacijom industrijskih, kućanskih i drugih uređaja pod okriljem Interneta stvari (engl. *Internet of Things* - IoT). Značajke ove mreže odnose se na potrebe pohrane, procesiranja podataka, automatiziranja uređaja u industriji, direktnoj komunikaciji između uređaja (engl. *Device to Device* – D2D), smanjenju potrošnje energije.

Težnja pete generacije mobilnih mreža održava se i na inteligentno upravljanje prometom kako bi se smanjile prometne gužve automatizacijom samih vozila kao i signalizacije i drugih prometnih pomagala. S druge strane, u pogledu korištenja mobilnih podataka i trendova rasta predviđa se povećanje podatkovnog prometa u iznosu od 200 puta promatrajući period od 2010. do 2020. godine. Shodno tome, 5G mreža nudi brzine do 10 Gbit/s i kašnjenja manja od milisekunde. Za petu generaciju očekuje se potpuna standardizacija i globalna primjenjivost od 2020. godine. Na slici 5 prikazane su regije svijeta gdje se 5G mreža nalazi u razvojnoj fazi.



Slika 5. Karta stanja 5G u svijetu, [9]

3. Analiza značajki podatkovnog prometa i aplikacija u 4G mreži

Brzine podatkovnih aplikacija, napretkom tehnologije, sve su veće. U periodu između deset i dvadeset godina tehnološka industrija je velikim korakom postala dominantna u vidu brzina i ponuđenih usluga od telefonije do multimedije i višeuslužnih mreža u potpuno digitaliziranom okruženju [1].

Četvrta generacija mobilnih mreža teži osigurati korisniku dostupnost usluge neovisno o mrežnoj pokrivenosti teritorija. Usluge koje se koriste u 4G zahtijevaju brzine koje će omogućiti prijenos informacija velikim brzinama od pošiljatelja do primatelja posredstvom infrastrukture koja to omogućava [1], [10].

Prethodne generacije mobilnih mreža postale su prenapučene korisnicima gdje se pritom narušavala sama učinkovitost mreže i njena fleksibilnost u broju korisnika koje može prihvatiti. U tom smislu 4G donosi bolju spektralnu učinkovitost u frekvencijskim pojasevima od 600 MHz do 2,6 GHz za razliku od ostalih tehnologija limitiranih na jedan frekvencijski pojas ionako ograničenog kapaciteta. Isto tako, korištenjem 4G mreže bilježi se pad korištenja fiksnih mreža zbog mobilnosti koju nude mobilne mreže [11].

LTE-A mreža kombinira više frekvencijskih pojaseva unutar raspoloživog spektra kako bi postigla sve veće teoretske prijenosne brzine čak do 1 Gb/s u silaznoj vezi [12].

3.1 Općenito o aplikacijama unutar 4G mreže

Aplikacije koje dominiraju u pogledu 4G mreže pretežito su stvarno-vremenske gdje je mrežom omogućena dovoljno velika pojasna širina te brzina potrebna za njihovu kvalitetnu reprodukciju putem pametnih mobilnih uređaja.

Višeuslužne mreže, poput 3G i 4G, namijenjene za promet više od jedne vrste usluga, nude prijenos različitih sadržaja na daljinu. Takve usluge klasificirane su na:

- nosive mrežne usluge
- teleusluge
- usluge dodatne vrijednosti.

Nosive mrežne usluge prilagođavaju sadržaj, koji korisnik želi prenijeti, na transportni put. Teleusluge se temelje na nosivim uslugama. One uključuju krajnje terminalne uređaje i dijele se na četiri tipa:

- interaktivne
- usluge prijenosa poruka
- usluge pretraživanja pohranjenih poruka

- distributivne usluge.

Usluge dodatne vrijednosti obogaćuju sadržaj koji je prema usluzi, dostupan korisnicima na korištenje.

Promet aplikacija dijeli se na podatkovni, video i govorni promet. Prema podacima navedenim u [13] za razdoblje od 2016. do 2021. godine podatkovni promet obuhvaća prijenos sadržaja preko *Web-a*, e-pošte i općenito, dijeljenja datoteka, igranje video igara te video sadržaj putem Interneta. Pored toga u navedenom izvoru postoje video igre koje se dijele na online igre ili virtualne konzole. Uz video igre, od video aplikacija dominiraju kratki internetski video isječci na *YouTube* platformi, dugi video isječci, stvarno-vremensko distribuiranje videa i drugi.

Usluge koje koriste aplikacije 4G mobilne mreže su bazirane na reprodukciji video sadržaja, visokoj kvaliteti istog te prijenosu govornog i video prometa međusobno integriranih aplikacija [1].

3.1.1 Vrste aplikacija 4G mreže

Trendovi aplikacija mijenjaju se dolascima novih i poboljšanih tehnologija i inovacija na tržištu. Konkurentna okolina, u pogledu zahtjeva prema mobilnim operatorima, očekuje nove i poboljšane usluge. S druge strane, aplikacije i korisnici zahtijevaju dostupnost resursa i kompatibilnost prema standardima. Za analogne mreže karakteristična usluga je telefonija, odnosno prijenos govora fiksnim kapacitetima kanala. Pojavom digitalnih standarda mreže javlja se i komutacija paketa kao dominantan mod prijenosa podataka. Razlikuju se i drugi modovi prijenosa poput ćelije kada se govori o mobilnim mrežama [1].

Dominantna usluga koju poslužuje LTE je video. Razlikuju se stvarno-vremenski prijenos i video prijenos na zahtjev. Video aplikacije na zahtjev, prema određenim tipovima usluga koje korisnici žele, zahtijevaju određene kapacitete i prijenosne brzine. Primjer aplikacije za prijenos video sadržaja u stvarnom vremenu je *Skype*, dok je primjer aplikacije za prijenos video sadržaja na zahtjev IPTV.

Prijenos govornih usluga prenosi se povrh onih koje nude telekom operatori (engl. *Over The* Top - OTT), to jest, aplikacija poput *Whatsappa*, *Vibera*, *Netflixa* i drugih. Koriste se usluge strujanja video sadržaja u stvarnom vremenu putem popularnih aplikacija poput *Facebooka* i *Instagrama*. Inače, prelaskom sa niže na višu rezoluciju količina generiranog prometa se dvostruko povećava. Sve je manje aplikacija za jednu uslugu, odnosno proizvode se platforme za više usluga integriranih unutar jedne aplikacije. Time je omogućena razmjena podatkovnih datoteka, videa, poruka i govora. Dominantna značajka četvrte generacije mobilnih mreža je integracija govora, videa i podataka u obliku IP paketa preko iste mreže [10].

LTE mreža sve više koristi IP protokol verzije 6 (engl. *Internet Protocol version 6* – IPv6) kako bi usluge pristupa Internetu putem mobilne mreže koristilo sve više

korisnika. IPv6 počinje primjenjivati 3G mobilna mreža i nastavlja 4G mobilna mreža zbog porasta broja korisnika. Sve se više izbjegava telefonija klasičnom fiksnom mrežom zbog pojave VoIP-a. VoIP je tehnologija prijenosa govora preko širokopojasne internetske mreže. Preko mobilne mreže četvrte generacije već spomenuta tehnologija u poglavlju 2.4, naziva se VoLTE. Aplikacije koje se zasnivaju na VoLTE prenose video i audio sadržaj gdje je zastupljena sve poznatija usluga videokonferencije zbog kvalitete prijenosa sadržaja visoke razlučivosti (engl. *High Definition* – HD) te brzine kojima se isti može poslati [14], [15].

Javljaju se i virtualne platforme koje koriste računalstvo u oblaku, pojam cirkulacije velike količine podataka dostupne u svakom trenutku, zajedno sa virtualnim pomagalima kao na primjer virtualne naočale za doživljaj virtualne stvarnosti (engl. *Virtual Reality* - VR) u području igara.

3.1.2 Značajke aplikacija 4G mreže

Karakteristike i značajke aplikacija različite su s obzirom na vrstu i mobilnu komunikacijsku tehnologiju.

U prvoj, te dijelom i drugoj generaciji mobilnih komunikacijskih mreža, usluge su govorne. Karakteristike govornih aplikacija su osjetljivost na varijacije kašnjenja i kašnjenje, fiksna širina kanala, odnosno simetričnost. Naime, prijenos govora je simetričan zbog fiksnih kapaciteta linkova i usluge realizirane putem telefonske mreže.

Druga generacija mobilnih mreža podržava prijenos govora i podataka istovremeno. Karakteristike podatkovnih aplikacija su visoka tolerancija na kašnjenja i varijacije kašnjenja, usnopljenost, asimetrija u prijenosu gdje se podaci prosljeđuju odvojeno po smjerovima, različita trajanja konekcije, različita vremena nailazaka paketa, potpuna dostupnost usluga aplikacije.

U trećoj i četvrtoj generaciji mreža dominantno se koristi video promet aplikacijama uz integrirane mogućnosti govora i podataka unutar istih. Karakteristike video prometa su asimetrija prijenosa podataka, varijabilne veličine kapaciteta kanala ovisno o zahtjevima korisnika uz osjetljivost aplikacija na kašnjenje i varijacije kašnjenja. Razlikuju se tipovi video prometa, a to su:

- video na zahtjev
- videokonferencija i video-telefonija
- prijenos videa strujanjem.

Navedeni oblici ujedno sadrže karakteristike prijenosa pojedinačno. Video na zahtjev tip je video aplikacija koji sadržaj, prethodno snimljen, komprimira te sprema kako bi se kasnije odabirali željeni sadržaji. Ujedno video na zahtjev šalje se prema jednom (engl. *Unicast*) ili više odredišta (engl. *Multicast*) [1].

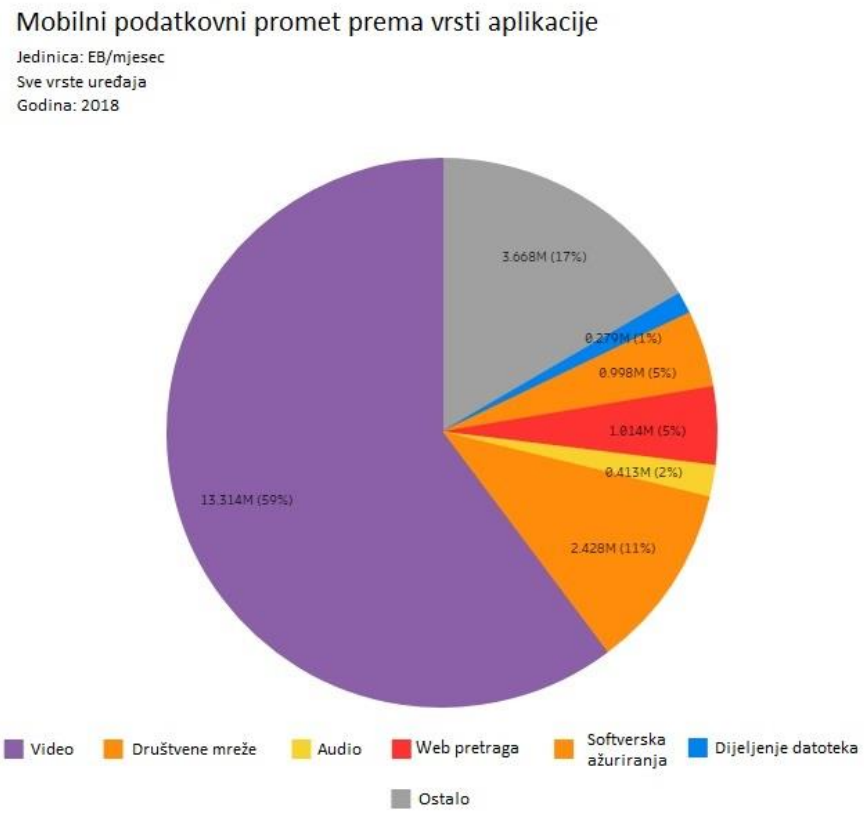
Prijenos videa strujanjem razlikuje se ovisno radi li se o video strujanju u realnom vremenu, ili izvan realnog vremena, konstantnoj brzini prijenosa ili varijabilnoj brzini prijenosa i prema jednom ili većem broju odredišta. Video strujanje se od videa na zahtjev razlikuje u vremenu distribucije. Video na zahtjev biva snimljen, komprimiran i spremljen na poslužitelj sa kojeg se na zahtjev može dobiti usluga prijenosa dok video strujanjem sadržaj biva snimljen, komprimiran i odmah reproduciran uživo prema korisnicima. Aplikacije koje koriste reprodukciju videa strujanjem i video-telefoniju zahtijevaju velike brzine i generiraju velike količine podatkovnog prometa [1].

Termin OTT se podrazumijeva kao usluga koja se koristi preko mreže koja nije ponuđena od strane mrežnog operatora. Značajka OTT usluga je ta da se baziraju na internetskom protokolu, te zbog velikih brzina prijenosa nude kvalitetan multimedijski sadržaj. OTT usluge čine integraciju usluga, koje su u 4G izdvojene kao VoLTE, *SMS*, *MMS*, poziva i drugih usluga [1], [10], [15].

3.2 Podatkovni promet aplikacija 4G mreže

Generirani promet aplikacija ovisi o brojnim čimbenicima. Neki od tih čimbenika odnose se na vrstu uređaja i operativni sustav uređaja, mobilnu generaciju, zahtjeve kvalitete aplikacije i drugima. 4G mreža poznata je po velikim brzinama prijenosa informacija kao i kvaliteti usluge koju je moguće isporučiti.

4G mobilna mreža karakteristična je po velikoj količini podatkovnog prometa generiranog od strane aplikacija namijenjenih igranju, video sadržaju i Internetu stvari za međusobno povezane uređaje. Internet stvari veže sve veći broj korisnika. Aplikacije vezane za video usluge, razmjenu poruka te društvene mreže, kao na primjer *Facebook*, vodeće su aplikacije prema količini generiranog mobilnog podatkovnog prometa i njihov trend rasta se nastavlja. Prema grafikonu 1, veći udio ukupno generiranog mobilnog podatkovnog prometa pripada video aplikacijama [16].



Grafikon 1. Generirani mobilni promet prema vrsti aplikacija

Izvor: [17]

3.2.1 Podatkovni promet aplikacija 4G mreže na svjetskoj razini

Sve je više aplikacija koje svoje usluge realiziraju preko Interneta i zahtijevaju usluge prijenosa informacija. Usluge prijenosa poruka i distributivne usluge zahtijevaju prijenos datoteka putem *HTTP* (engl*. Hypertext Transfer Protocol*) i protokola prijenosa podataka (engl. *File Transfer Protocol* - FTP) na aplikacijskom sloju internetskog složaja (engl. *Transmission Control Protocol/IP* – TCP/IP*)*. Uz prijenos datoteka naveden je i prijenos sadržaja elektroničkom poštom protokolima kao što su protokol jednostavnog prijenosa pošte (engl. *Simple Mail Transfer Protocol* – SMTP), protokol pristupa internetskim porukama (engl. *Internet Message Acces Protocol* – IMAP) i takozvani protokol poštanskog ureda treće inačice (engl. *Post Office Protocol version 3* – POP3). Ukupni godišnji promet po Internet korisniku, kako je prikazano u tablici 1 za aplikacije, poput e-maila i pretrage *Web* servisa koje funkcioniraju na TCP/IP složaju i koriste navedene protokole, porastao je za približno 38%. U sljedećim tablicama koristiti će se složena godišnja stopa rasta (engl. *Compounded Annual Growth Rate* – CAGR) koja pokazuje rast generiranog prometa. Podaci prikazani za aktualnu 2018. godinu baziraju se na predviđanjima generiranog mobilnog podatkvnog prometa.

Tablica 1. Prikaz generiranog prometa prema trendovima korištenja aplikacija u regijama

Promet *Web*, e-mail i podatkovnih aplikacija	**Godina**	**01/01/2016**	**01/01/2017**	**01/01/2018**	**CAGR:**
Mobilne *Web* i podatkovne aplikacije	Količina u PB	2,263	3,214	4,295	37,7%
Azijsko - Pacifička regija	Količina u PB	3,393	4,102	5,072	22,2%
Sjeverna Amerika	Količina u PB	2,578	2,863	3,149	10,5%
Centralna i istočna Europa	Količina u PB	1,302	1,404	1,598	10,7%
Zapadna Europa	Količina u PB	0,693	0,901	1,177	30,3%
Bliski istok i Afrika	Količina u PB	0,469	0,732	1,038	48,7%
Latinska Amerika	Količina u PB	0,624	0,68	0,831	15,4%
Ukupni promet po korisniku *Web*, e-mail i podatkovnih aplikacija	Količina u PB	9,059	10,681	12,864	19,1%

Izvor: [13]

Shodno navedenom, različite aplikacije generiraju promet različitim brzinama. 4G mobilna mreža veoma velikim brzinama može prenijeti vrlo veliku količinu podataka te je pogodna za multimedijske usluge gdje je najpoznatiji od njih video. Prema tablici 2, stopa rasta preuzimanja i pregledavanja video sadržaja na Internetu povećala se za 35,68%. Video sadržaj putem Interneta može biti distribuiran skupom usluga na TV platformama i drugim uređajima. Video na zahtjev predstavlja skupinu sadržaja koji je naplaćen u sklopu korisničke usluge. Porast integriranih usluga, preko pametnih uređaja u okružju Interneta stvari, dovodi i do godišnje stope rasta podatkovnog prometa radi dostave sadržaja preko takvih usluga za 37%.

Tablica 2. Prikaz generiranog prometa video aplikacijama putem Interneta prema regijama

Promet video aplikacija putem Interneta	**Godina**	**01/01/2016**	**01/01/2017**	**01/01/2018**	**CAGR:**
Mobilni podaci	Količina u PB	3,66	6,094	9,696	62,7%
Azijsko - Pacifička regija	Količina u PB	13,845	19,228	25,854	36,6%
Sjeverna Amerika	Količina u PB	15,254	20,114	25,778	30,0%
Centralna i istočna Europa	Količina u PB	2,527	3,35	4,369	31,4%
Zapadna Europa	Količina u PB	6,29	8,52	11,005	32,2%
Bliski istok i Afrika	Količina u PB	1,17	1,944	3,068	61,9%
Latinska Amerika	Količina u PB	2,943	3,96	5,035	30,8%
Video	Količina u PB	29,325	39,518	51,722	32,8%
Internet video i TV	Količina u PB	12,704	17,598	23,387	35,6%

Ukupni korisnički Internet video	Količina u PB	42,029	57,116	75,109	33,6%

Izvor: [13]

Zbog multimedijskih usluga realiziranih Internetom sve je manje P2P (engl. *Peer to Peer*) načina dijeljenja sadržaja. Takozvani *peer to peer* način dijeljena ne zahtjeva direktan pristup serveru nego koristi druge aplikacije za pristup željenom sadržaju i njegovo preuzimanje. Prema tablici 3, sve je manje korisnika koji sadržaj preuzimaju sa nekog od poslužitelja. Bilježi se pad korištenja aplikacija kao što su *BitTorrent*, ali povećanje pregleda video sadržaja pohranjenog na poslužitelju bez potrebe za preuzimanjem.

Tablica 3. Prikaz generiranog prometa prema načinu dijeljenja datoteka

Promet dijeljenja datoteka	Godina	01/01/2016	01/01/2017	01/01/2018	CAGR:
Mobilni podaci	Količina u PB	29	37	38	14.47%
P2P prijenos datoteka	Količina u PB	5,376	5,249	4,845	-5.07%
Prijenos drugih datoteka	Količina u PB	1,252	1,561	1,873	22.31%
Ukupno dijeljenje datoteka	Količina u PB	6,628	6,81	6,717	0.67%

Izvor: [13]

3.2.2 Podatkovni promet aplikacija 4G mreže prema rezultatima ankete

Provedena je anketa u svrhu završnog rada. Podaci koji su dobiveni koriste se za analizu aplikacija i korisnika sa veličinama prometa koji oni generiraju i općenitog rasta generiranog prometa u 4G mreži. Ključni podaci koji su prikupljeni u anketi sadržavaju informacije o tri aplikacije po vrsti i količini prometa koji generiraju, tarifne opcije korisnika, informacije o operatoru i tipu mobilnog uređaja. Analizirani podaci prikupljeni anketom vrijede isključivo za populaciju koja je pristupila popunjavanju ankete i potrebe ovoga rada.

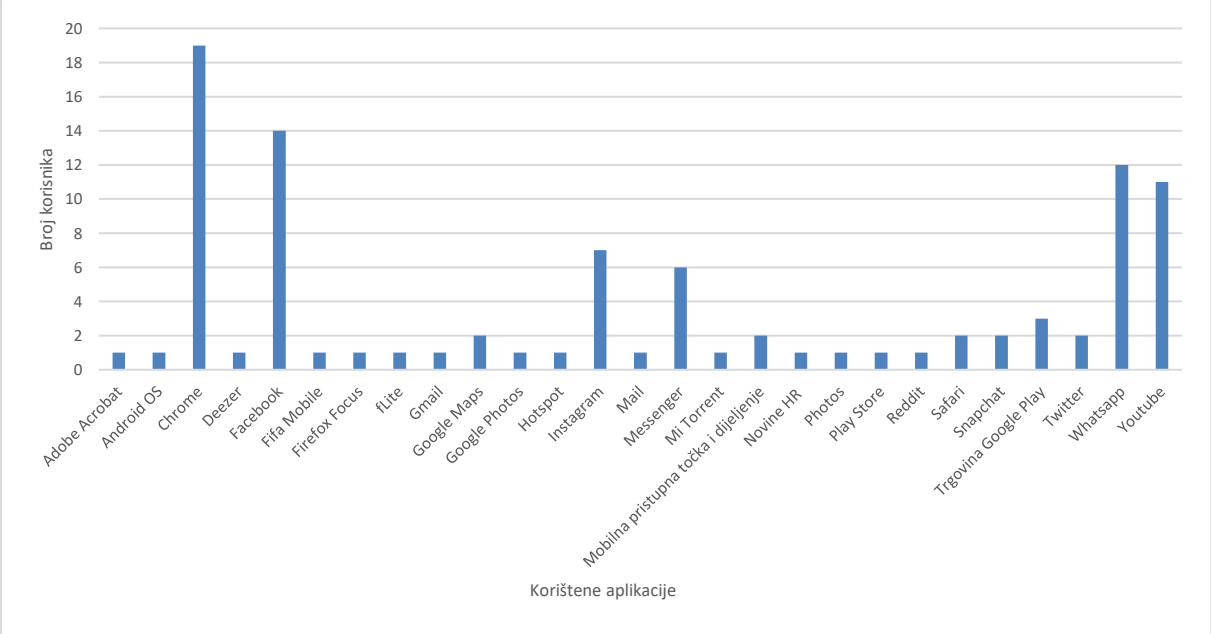
3.2.2.1 Prikupljanje podataka

Anketa o veličinama podatkovnog prometa u 4G mreži provedena je u svrhu završnog rada. Prikupljeni podaci u anketi korišteni za potrebe ovoga rada sastoje se od podataka o krajnjim uređajima koje korisnici koriste, ukupno generiranom prometu i generiranom prometu triju najučestalijih aplikacija. Podaci su prikupljeni distribucijom ankete putem društvene mreže *Facebook* i upućeni prema *Facebook* grupama studenskih populacija. Anketa je bila dostupna sudionicima grupe koji su svojevoljno pristupali ispunjavanju ankete. Anketa je sadržavala pitanja koja su sudionike, prema odgovorima, svrstavala u razrede po dobnim skupinama. Dobne skupine poslužile su kao usporedba popularnosti korištenja pojedinih aplikacija kao i prometu koje one generiraju i koliko isti utječe na ukupno generirani mobilni promet 4G mreže. Također,

sudionici ankete svrstani su prema mobilnom uređaju koji koriste, prema, operativnom sustavu mobilnog uređaja, operatoru kojem plaćaju tarifne opcije i veličini paketa u MB dostupnu unutar iste te radi li se o *prepaid* ili *postpaid* korisnicima. Prema izvoru [1], *prepaid* korisnici unaprijed uplaćuju iznos na račun i dostavom usluge on se umanjuje, dok su *postpaid* korisnici vezani formalnim ugovorom sa mobilnim operatorom te su troškovi korištenja usluge učinjeni nakon njenog dostavljanja. Analizirani su podaci predočeni putem grafikona i tablica.

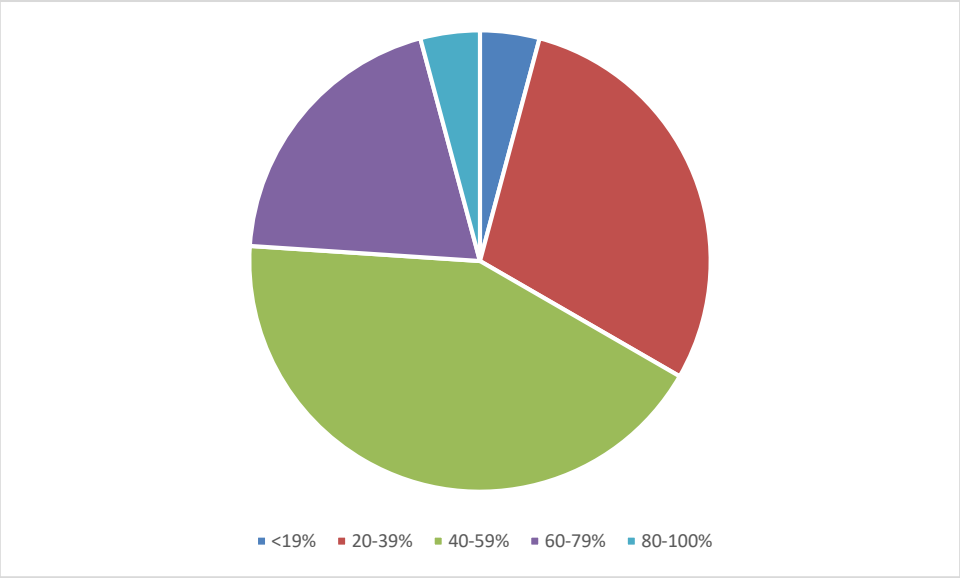
3.2.2.2 Analiza ankete podatkovnog prometa aplikacija 4G mreže

Prema anketi provedenoj za potrebe ovoga rada na studentskoj populaciji dobne skupine od 18 do 26 godina od aplikacija najviše se koriste *Web* preglednici, OTT aplikacije i društvene mreže. Prikazom na grafikonu 2, od *Web* preglednika najkorišteniji je *Google Chrome*. Od društvenih mreža, još uvijek je najpopularnija aplikacija *Facebook*. Također, ostale popularne aplikacije su *YouTube* i *Instagram* za pregled video sadržaja te *WhatsApp* i *Messenger* aplikacije za razmjenu poruka.



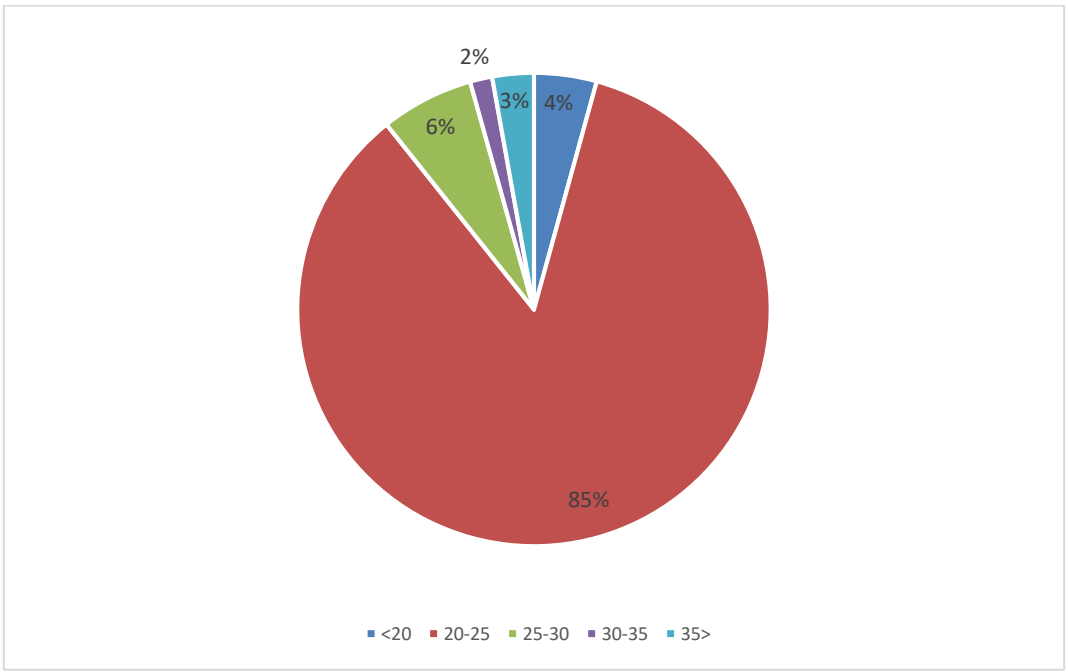
Grafikon 2. Aplikacije po zastupljenosti korištenja

Prema grafikonu 3, navedeni su postoci generiranog prometa aplikacije u omjeru sa ukupno generiranim mobilnim prometom korisnika. Velikom broju korisnika najkorištenija aplikacija generira polovinu od ukupno generiranog prometa. Iznos generiranog prometa najpopularnije aplikacije kreće se od 40% do 60% od ukupno generiranog prometa. Ostalim korisnicima iznos istog iznosi manje od 40%.



Grafikon 3. Postotak od ukupnog prometa koji ostvari korisnik s aplikacijom kojom generira najveću količinu prometa

Prema dobnim skupinama količina generiranog prometa varira. Shodno tome, 85% ispitanika pripada dobnoj skupini od 20 do 25 godina. Ostali ispitanici imaju manje od 20 godina, njih 4%, i više od 25 godina, njih 11%. Prema dobnim skupinama količina generiranog prometa varira. Na grafikonu 4 prikazano je da najveći udio prometa generira skupina od 20 do 25 godina. U toj skupini generirani promet iznosi 85%. Navedeni postotak generiranog prometa odnosi se na *prepaid* i *postpaid* korisnike zajedno.



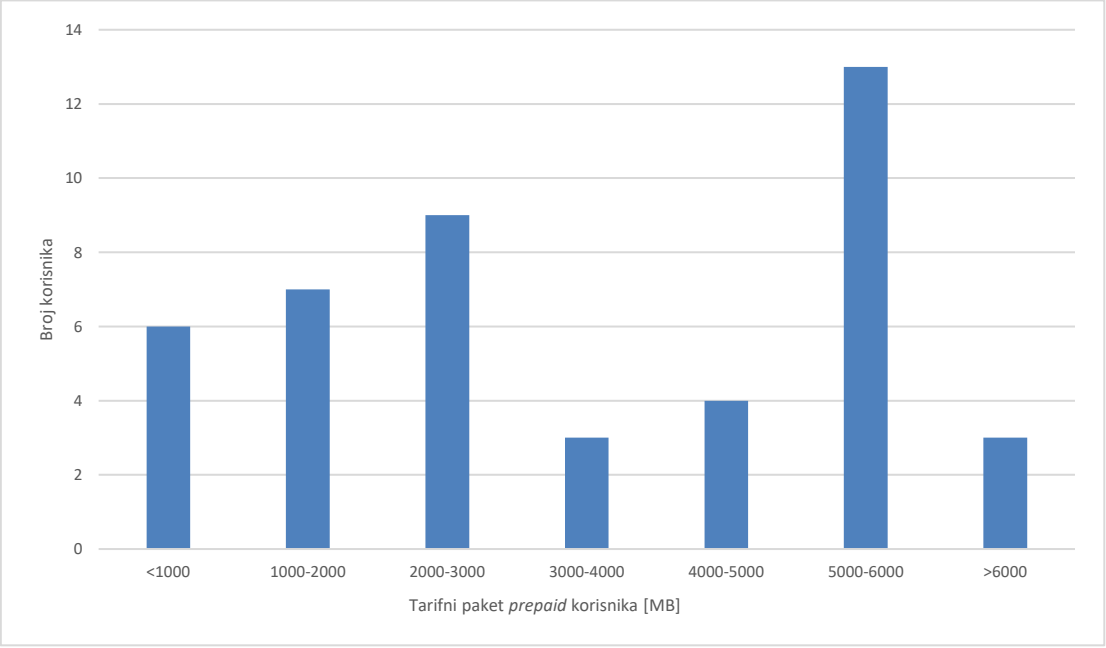
Grafikon 4. Ukupna količina generiranog prometa prema dobi ispitanika

Prema tablici 4, unutar dobnih skupina najpopularnije aplikacije su društvene mreže, a radi se o aplikacijama *Instagram* i *Facebook*. Aplikacije koje generiraju najveći udio mobilnog podatkovnog prometa su *Mobilna pristupna točka i dijeljenje*, a zatim *Instagram* i *Facebook*. *Mobilna pristupna točka i dijeljenje* nudi mogućnost dijeljena tarifnog plana drugim korisnicima tako da mobilni uređaj postane pristupna točka. Prema dobnim skupinama, većinom se radi o korisnicima između 20 i 25 te 25 i 30 godina.

Tablica 4. Aplikacije koja generiraju najveći promet prema dobi ispitanika

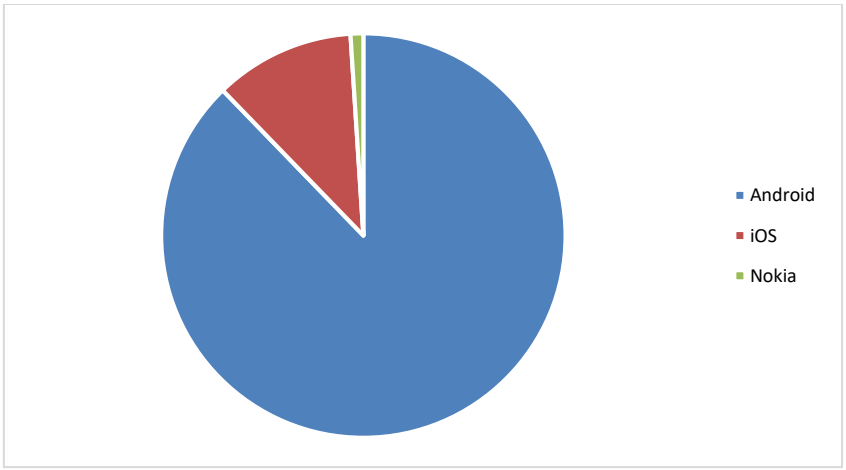
Razredi korisnika	**Aplikacija**
<20	Instagram
20-25	Mobilna pristupna točka i dijeljenje
25-30	Mobilna pristupna točka i dijeljenje
30-35	Instagram
35>	Facebook

Za određeni broj *prepaid* korisnika distribucija veličine paketa kreće se prema prikazu grafikona 5. Najveći broj korisnika, odnosno njih 13 koristi tarifne pakete veličine 5000 MB. Prema rezultatima ispitanika, najmanje korisnika, odnosno samo šestorica koriste veličine tarifnih paketa ispod 1000 MB dok tri korisnika koristi tarifne pakete od 3000 MB i druga tri korisnika veličine tarifnih paketa od 6000 do 7000 MB. Zaključno, za veliku večinu korisnika prosječna veličina tarifnog paketa je 5000 MB, a kod drugih korisnika još su u manjini oni kojima veličina tarifnog paketa prijelazi isti.



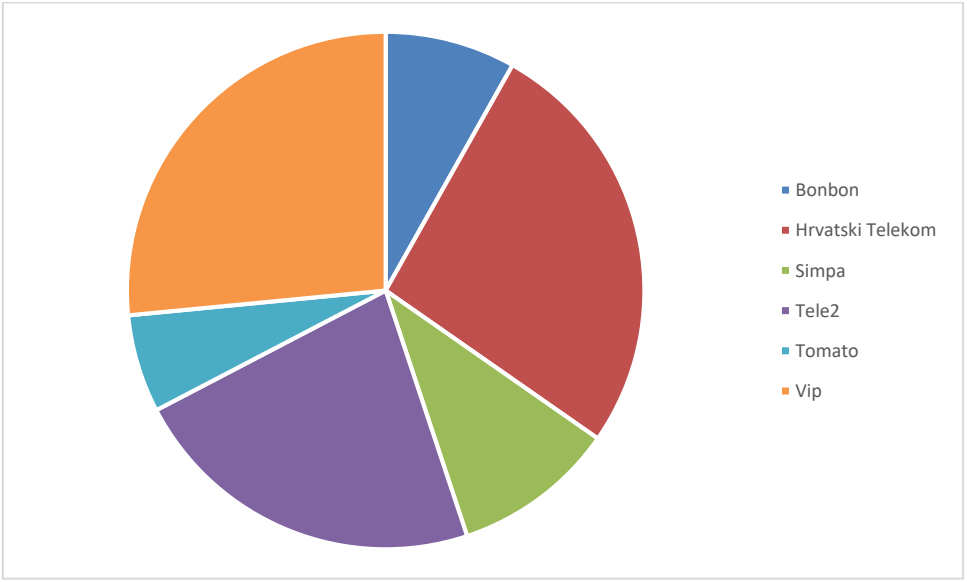
Grafikon 5. Distribucija veličina *prepaid* tarifnog paketa

Anketom su ispitani parametri vezani uz korisnike i zastupljene podatkovne pakete kao i generirani promet u 4G mreži. Na grafikonu 6, od 98 ispitanika najučestaliji su korisnici *Android*, zatim slijede korisnici *iOS* operativnog sustava i preostali ne koriste pametni mobilni uređaj.



Grafikon 6. Raspodjela operativnih sustava prema anketiranim korisnicima

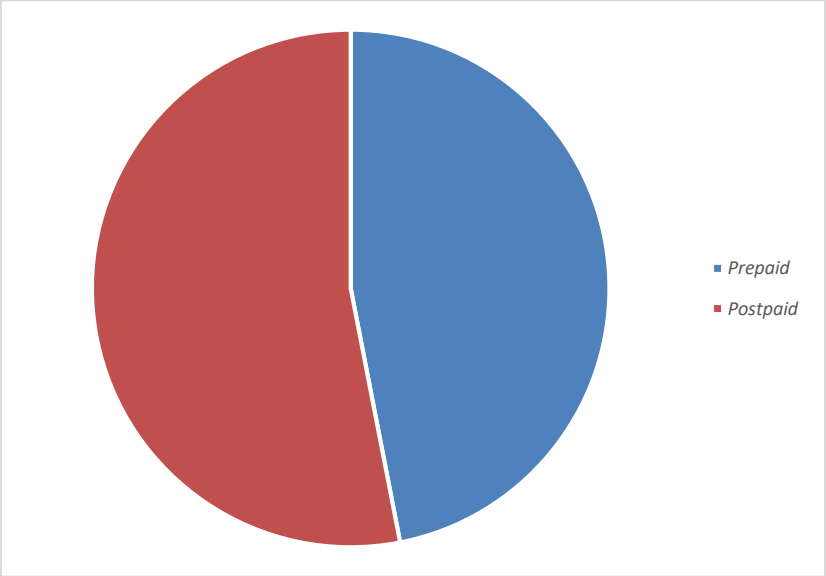
Prema grafikonu 7 prikazana je raspodjela ispitanika prema odabranim mobilnim operatorima čije usluge koriste. Korisnici žele što bolju kvalitetu usluge, ali i traže usluge mobilnih operatora za što povoljnijim, ali i većim skupom usluga, na primjer podatkovnim paketom i minutama razgovora. Prema grafikonu 7, korisnici najviše koriste usluge *Hrvatskog Telekoma*, *Vipa* i *Tele2*, dok ostale poput *Bonbona*, *Tomata* i *Simpe* nešto manje.



Grafikon 7. Distribucija korisnika prema operatorima

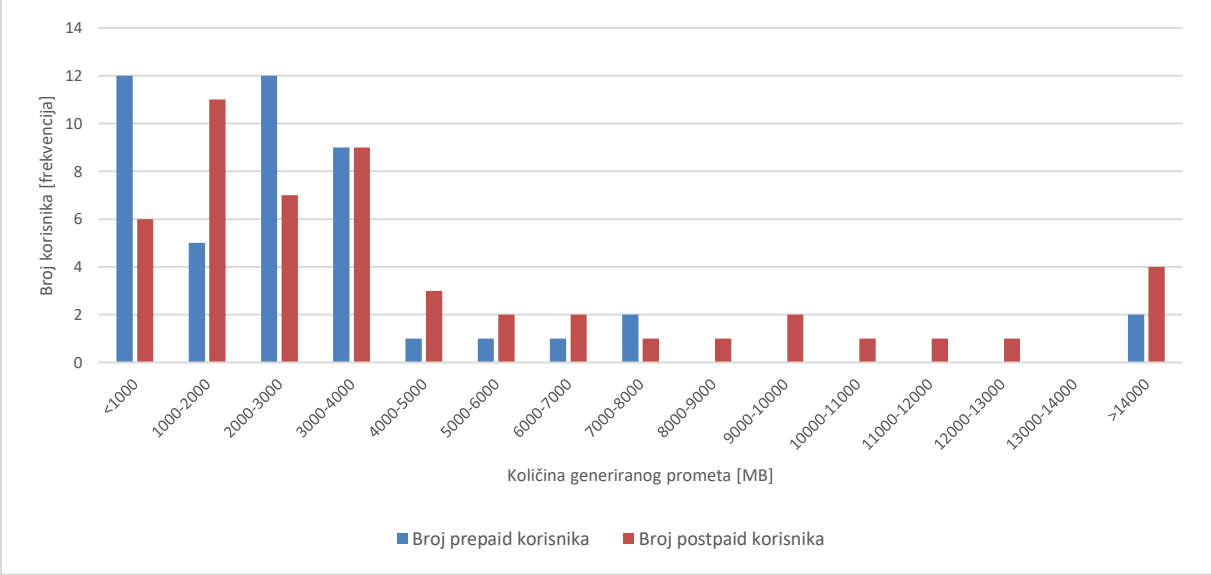
Tarifne opcije *prepaid* i *postpaid* gotovo koristi izjednačen broj korisnika. Naime, 45 ispitanika koristi *prepaid* dok njih 51 koristi *postpaid* tarifne opcije (grafikon 8). Naime, *postpaid* opcije terećenja usluga fleksibilnija je za korisnike tako da se prekoračen iznos tarifnih paketa naplaćuje nakon što je dostavljena usluga. S druge

strane *prepaid* korisnici unaprijed plaćaju traženi iznos za uslugu te ne postoji fleksibilnost ako nema dovoljno sredstava na korisničkom računu.



Grafikon 8. Raspodjela korisnika tarifnih opcija

Prema grafikonu 9, prikazani su podaci o generiranom podatkovnom prometu *prepaid* i *postpaid* korisnika. Razredi prikazani na grafikonu 9 mjereni su mjernom jedinicom MB. Najviše korisnika sa generiranim podatkovnim prometom pripada razredima od 3000 do 4000 MB, od 2000 do 3000 MB, od 1000 do 2000 MB i više od 1000 MB.



Grafikon 9. Odnos generiranog prometa između *prepaid* i *postpaid* korisnika

Na podacima prikupljenim anketom provedena je analiza kako bi se utvrdilo postoje li statistički značajna odstupanja u količini podatkovnog prometa kojeg generiraju *postpaid* i *prepaid* korisnici. Za to je korištena metoda "Testiranje hipoteze da su dva obilježja elemenata osnovnog skupa međusobno neovisna" [18].

Postavljena je hipoteza da količina generiranog prometa mjesečno ne ovisi o tome radi li se o *prepaid* ili *postpaid* korisniku. Za potrebe testiranja hipoteze u tablici 5 prikazan je usporedni prikaz frekvencija *prepaid* i *postpaid* korisnika prema količini prometa kojeg generiraju tijekom mjeseca.

Tablica 5. Usporedni prikaz frekvencija *prepaid* i *postpaid* korisnika prema razredima generiranog podatkovnog prometa

Količina generiranog podatkovnog prometa(razredi)	**Broj korisnika postpaid tarifnog paketa**	**Broj korisnika prepaid tarifnog paketa**	**Originalna frekvencija**
x_j-x_{i+1}	f_{1j}	f_{2j}	$f_{1j}+f_{2j}$
<1000	12	6	18
1000-2000	5	11	16
2000-3000	12	7	19
3000-4000	9	9	18
4000-5000	1	3	4
5000-6000	1	2	3
6000-7000	1	2	3
7000-8000	2	1	3
8000-9000	0	1	1
9000-10000	0	2	2
10000-11000	0	1	1
11000-12000	0	1	1
12000-13000	0	1	1
13000-14000	0	0	0
>14000	2	4	6
Suma	45	51	96

Za prikazani skup podataka potrebno je utvrditi očekivane teoretske frekvencije što je učinjeno i rezultati su prikazani u tablici 6. Prema koracima definiranim u korištenoj metodi [18], potrebno je odrediti razlike između stvarnih i očekivanih frekvencija te dobivene pojedinačne razlike kvadrirati i rezultat podijeliti s odgovarajućom očekivanom frekvencijom (tablica 7).

Tablica 6. Očekivane frekvencije prema zastupljenosti dostupnog tarifnog paketa

Količina generiranog podatkovnog prometa (razredi)	**Očekivane frekvencije za korisnike *postpaid* tarifnog paket**	**Očekivane frekvencije za korisnike *prepaid* tarifnog paket**
x_j-x_{i+1}	ft_{1j}	ft_{2j}
<1000	8,44	9,56
1000-2000	7,50	8,50
2000-3000	8,91	10,09
3000-4000	8,44	9,56
4000-5000	1,88	2,13
5000-6000	1,41	1,59
6000-7000	1,41	1,59
7000-8000	1,41	1,59

8000-9000	0,47	0,53
9000-10000	0,94	1,06
10000-11000	0,47	0,53
11000-12000	0,47	0,53
12000-13000	0,47	0,53
13000-14000	0,00	0,00
>14000	2,81	3,19
Suma	45,00	51,00

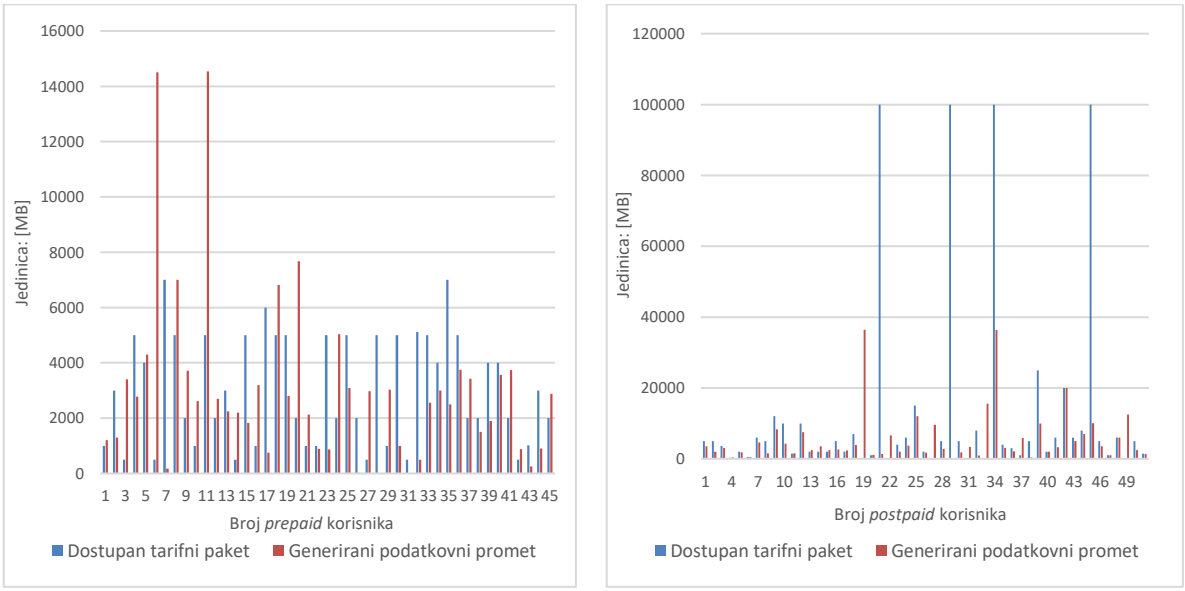
Zbroj svih vrijednosti dobivenih u zadnja dva stupca tablice 7 daje χ^2. U tablici kritičnih vrijednosti χ^2 za određeni broj stupnjeva slobode i zadanu razinu signifikantnosti potrebno je odrediti kritičnu vrijednost χ^2. Dobiveni χ^2 u tablici 7 služi za testiranje postavljene hipoteze. Za potrebe ovog rada koristiti će se razina signifikantnosti 5%. Nadalje iz skupa zadanih podataka potrebno je odrediti broj stupnjeva slobode koji se određuje prema broju obilježja i frekvencija ((broj redaka tablice-1)*(broj stupaca-1)). Ukupno je 15 razreda i 2 obilježja iz čega proizlazi da broj stupnjeva slobode iznosi 14. Dobivena kritična vrijednost iz tablice za zadanu razinu signifikantnosti i izračunati broj stupnjeva slobode iznosi $\chi^2_{\cdot 0,5} = 23{,}69$ što je veće od χ^2 dobivenog u tablici 7 ($\chi^2_{\cdot 0,5} = 23{,}69 > \chi^2 = 13{,}91$). To znači da treba prihvatiti postavljenu hipotezu da količina generiranog prometa mjesečno ne ovisi o tome radi li se o *prepaid* ili *postpaid* korisnicima. Ovdje je važno napomenuti da dobivene zaključke nije moguće primijeniti na cijelu populaciju korisnika mobilnih usluga, s obzirom na to da uzorak nije reprezentativan (nisu obuhvaćene sve dobne skupine korisnika i nisu obuhvaćene na odgovarajući način). Način kako su prikupljeni podaci je opisan u poglavlju 3.2.2.1.

Tablica 7. Parametri potrebni za provedbu χ^2 testa

Količina generiranog podatkovnog prometa (razredi)	**Razlika originalne i očekivane frekvencije *postpaid* korisnika**	**Razlika originalne i očekivane frekvencije *postpaid* korisnika**	**Kvadrat frekvencija**		**χ^2 test**	
x_j-x_{i+1}	**f_{1j}- ft_{1j}**	**f_{2j}- ft_{2j}**	**$(f_{1j}$- $ft_{1j})^2$**	**$(f_{2j}$- $ft_{2j})^2$**	**$(f_{1j}$- $ft_{1j})^2$/ ft_{1j}**	**$(f_{2j}$- $ft_{2j})^2$/ ft_{2j}**
<1000	3,56	-3,56	12,69	12,69	1,50	1,33
1000-2000	-2,50	2,50	6,25	6,25	0,83	0,74
2000-3000	3,09	-3,09	9,57	9,57	1,07	0,95
3000-4000	0,56	-0,56	0,32	0,32	0,04	0,03
4000-5000	-0,88	0,88	0,77	0,77	0,41	0,36
5000-6000	-0,41	0,41	0,17	0,17	0,12	0,10
6000-7000	-0,41	0,41	0,17	0,17	0,12	0,10
7000-8000	0,59	-0,59	0,35	0,35	0,25	0,22
8000-9000	-0,47	0,47	0,22	0,22	0,47	0,41
9000-10000	-0,94	0,94	0,88	0,88	0,94	0,83

10000-11000	-0,47	0,47	0,22	0,22	0,47	0,41
11000-12000	-0,47	0,47	0,22	0,22	0,47	0,41
12000-13000	-0,47	0,47	0,22	0,22	0,47	0,41
13000-14000	0,00	0,00	0,00	0.00	0,00	0,00
>14000	-0,81	0,81	0,66	0,66	0,23	0,21
Suma					χ^2 =13,91	

Za potrebe ovoga rada provedena je i analiza neiskorištenosti tarifnih paketa (razlika veličine tarifnog paketa izražena u MB i količine generiranog prometa tijekom mjeseca). Na grafikonu 10a i 10b, prikazane su usporedno veličine tarifnih paketa i iskorištenost tarifnog paketa izražena u MB. Stupci na grafikonu 10a čija vrijednost iznosi 100000 MB označavaju pakete koji uključuju mogućnost generiranja prometa neograničene veličine.



a. *Prepaid* korisnici

b. *Postpaid* korisnici

Grafikon 10. Komparacija veličine tarifnog paketa i iskorištenosti tarifnog paketa kod *prepaid* i *postpaid* korisnika

Postavljena je hipoteza da ne postoji razlika između *postpaid* i *prepaid* korisnika u veličini neiskorištenog tarifnog paketa. Proveden je isti postupak kako je opisano prethodno, odnosno korištena je metoda "Testiranje hipoteze da su dva obilježja elemenata osnovnog skupa međusobno neovisna" [18]. Za potrebe te analize bilo je potrebno odrediti veličine neiskorištenosti tarifnog paketa i utvrditi broj korisnika koji pripadaju određenom razredu koji označava raspon vrijednosti neiskorištenosti tarifnog paketa. Navedeno je prikazano u tablici 8.

Tablica 8. Usporedni prikaz frekvencija *prepaid* i *postpaid* korisnika prema razredima neiskorištenosti tarifnog paketa

Raspon vrijednosti neiskorištenog tarifnog paketa (razredi)	**Broj korisnika *postpaid* tarifnog paketa**	**Broj korisnika *prepaid* tarifnog paketa**	**Ukupna frekvencija uzorka**
x_j-x_{i+1}	f_{1j}	f_{2j}	$f_{1j}+f_{2j}$
<-5000	3	0	3
-5000--4000	0	1	1
-4000--3000	1	0	1
-3000-2000	4	0	4
-2000-1000	5	1	6
-1000-0	5	10	15
0-1000	9	9	18
1000-2000	9	5	14
2000-3000	3	9	12
3000-4000	3	7	10
4000-5000	1	2	3
>5000	2	7	9
Suma	45	51	96

Za prikazani skup podataka određene su očekivane teoretske frekvencije te su rezultati prikazani u tablici 9. Već spomenuti koraci, učinjeni i rezultatom prikazani u tablicama 5, 6, 7, definirani su prema korištenoj metodi [18] i korišteni za određivanje razlike između stvarnih i očekivanih frekvencija. Dobivene pojedinačne razlike kvadrirane su i rezultat je podijeljen s pripadajućim očekivanim frekvencijama što je prikazano u tablici 10.

Tablica 9. Očekivane frekvencije *postpaid* i *prepaid* korisnika prema neiskorištenosti tarifnog paketa

Raspon vrijednosti neiskorištenog tarifnog paketa (razredi)	**Očekivane frekvencije za korisnike *postpaid* tarifnog paketa**	**Očekivane frekvencije za korisnike *prepaid* tarifnog paketa**
x_j-x_{i+1}	ft_{1j}	ft_{2j}
<-5000	1,41	1,59
-5000--4000	0,47	0,53
-4000--3000	0,47	0,53
-3000-2000	1,88	2,13
-2000-1000	2,81	3,19
-1000-0	7,03	7,97
0-1000	8,44	9,56
1000-2000	6,56	7,44
2000-3000	5,63	6,38
3000-4000	4,69	5,31
4000-5000	1,41	1,59
>5000	4,22	4,78
Suma	45,00	51,00

Zbroj svih vrijednosti dobivenih u zadnja dva stupca tablice 10 daje χ^2. U tablici kritičnih vrijednosti χ^2 određena je kritična vrijednost χ^2 na temelju određenog broja stupnjeva slobode i zadane razine signifikantnosti. Dobiveni χ^2, prikazan u tablici 10, potreban je za testiranje ranije postavljene hipoteze. Za potrebe ovog rada korištena je razina signifikantnosti 5%. Zatim je iz skupa podataka potrebno odrediti broj stupnjeva slobode na već ranije spomenut način. Ukupno je 12 razreda i 2 obilježja iz čega proizlazi da broj stupnjeva slobode glasi 11. Dobivena kritična vrijednost iz tablice za zadanu razinu signifikantnosti i broj stupnjeva slobode iznosi $\chi^2_{\cdot 0,5} = 19{,}68$, što je manje od χ^2 dobivenog u tablici 10 ($\chi^2_{\cdot 0,5} = 19{,}68 < \chi^2 = 21{,}90$). To znači da treba odbaciti hipotezu da ne postoji razlika između *postpaid* i *prepaid* korisnika u veličini neiskorištenog tarifnog paketa.

Tablica 10. Parametri potrebni za provedbu χ^2testa

Raspon vrijednosti neiskorištenog tarifnog paketa (razredi)	**Razlika originalne i očekivane frekvencije *postpaid* korisnika**	**Razlika originalne i očekivane frekvencije *prepaid* korisnika**	**Kvadrat frekvencija**		**χ^2 test**	
x_j-x_{i+1}	**f_{1j}- ft_{1j}**	**f_{2j}- ft_{2j}**	**$(f_{1j}- ft_{1j})^2$**	**$(f_{2j}- ft_{2j})^2$**	**$(f_{1j}- ft_{1j})^2/ ft_{1j}$**	**$(f_{2j}-ft_{2j})^2/ ft_{2j}$**
<-5000	1,59	-1,59	2,54	2,54	1,81	1,59
-5000--4000	-0,47	0,47	0,22	0,22	0,47	0,41
-4000--3000	0,53	-0,53	0,28	0,28	0,60	0,53
-3000-2000	2,13	-2,13	4,52	4,52	2,41	2,13
-2000-1000	2,19	-2,19	4,79	4,79	1,70	1,50
-1000-0	-2,03	2,03	4,13	4,13	0,59	0,52
0-1000	0,56	-0,56	0,32	0,32	0,04	0,03
1000-2000	2,44	-2,44	5,94	5,94	0,91	0,80
2000-3000	-2,63	2,63	6,89	6,89	1,23	1,08
3000-4000	-1,69	1,69	2,85	2,85	0,61	0,54
4000-5000	-0,41	0,41	0,17	0,17	0,12	0,10
>5000	-2,22	2,22	4,92	4,92	1,17	1,03
Suma					χ^2= 21,90	

4. Analiza veličina ostvarenog podatkovnog prometa i broja korisnika u 4G mreži

Kako bi se mogle pružiti nove usluge i razviti nova infrastruktura, potrebno je analizirati skupine korisnika u 4G mreži. Broj korisnika raste sa svakom pojavom novih aplikacija i generacijama mobilnih mreža. Također, prema popularnosti, aplikacije koje prevladavaju su društvene mreže, odnosno *Facebook*, gdje je moguće pregledavati video sadržaje, razmjenjivati poruke s udaljenim korisnicima, prenositi različite sadržaje putem poruka te ostale mogućnosti [16].

S druge strane, sve je više korisnika pametnih uređaja koji osiguravaju korisnicima bolju kvalitetu multimedijskog sadržaja te široku paletu mogućnosti i aplikacija čije korištenje pametni uređaji podržavaju Također, sve je veći broj korisnika s neograničenim veličinama tarifnih paketa koje nude mobilni operatori i na taj se način mogu neograničeni tarifni paketi distribuirati putem pristupne točke prema drugim korisnicima. Veći je udio onih korisnika koji biraju *Android* operativni sustav na mobilnom uređaju. Shodno tome, operativni sustav *Android* sklon je generiranju manjeg podatkovnog prometa u odnosu na *iOS* [19].

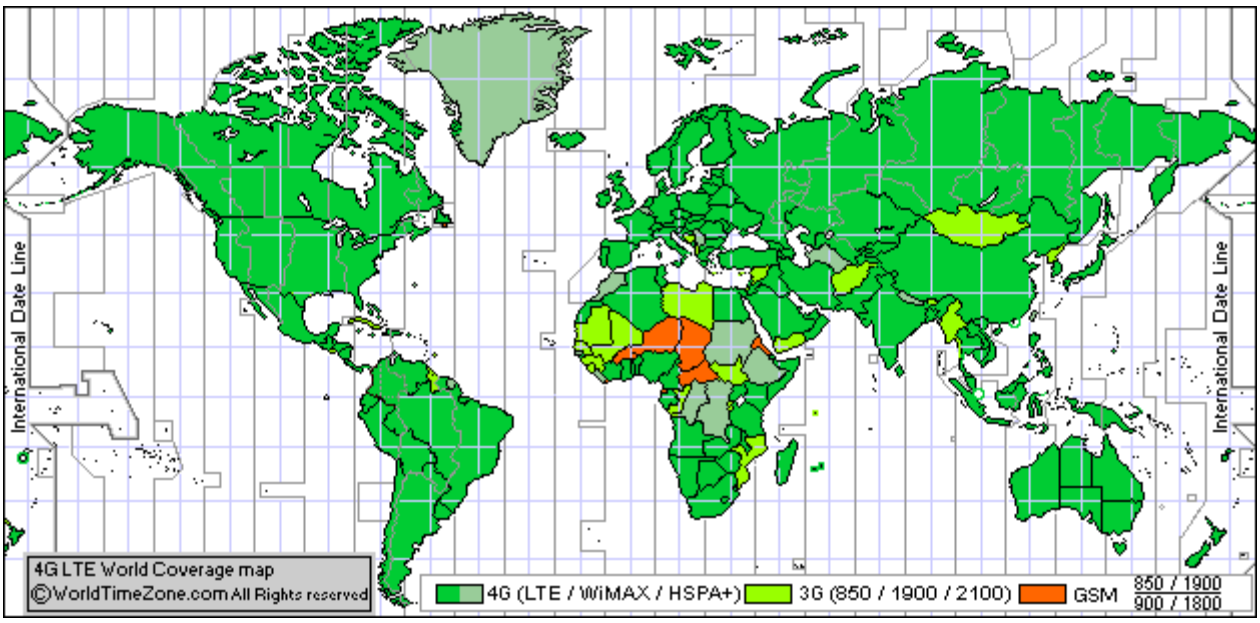
4.1 Korisnici 4G mreže

Broj korisnika 4G mobilne mreže veći je iz dana u dan. Masivno korištenje mobilne mreže doprinosi učinku ekonomije diljem svijeta, ponajviše u zemljama gdje je broj korisnika mobilne mreže veći. Isto tako, gdje je ekonomska situacija zemlje bolja, veći je i broj korisnika mobilne mreže. Svakim uvođenjem nove mobilne generacije, u uspješnijim zemljama, dolazi do velike potražnje za novim uslugama i mobilnim uređajima. U ostalim zemljama to nije slučaj zbog lošijeg ekonomskog položaja [11].

Uvođenjem nove tehnologije, na ekonomske pokazatelje utječu industrijski dionici kao posrednici u opskrbi potrebnim resursima. S druge strane, mobilni operatori moraju posjedovati licencu frekvencijskog spektra za rad pojedine generacije mobilne mreže. Kako se uvela 4G tehnologija, iz godine u godinu broj korisnika raste. U regijama sa podjednakim brojem siromašnih i razvijenih zemalja bilježi se porast korisnika 4G mreže. S obzirom na 2015. godinu, broj korisnika 4G mreže narastao je tri puta. I prema svemu navedenom, velika većina korisnika mobilnih mreža danas koristi 4G mrežu, a najviše korisnika bilježe razvijene zemlje poput Južne Koreje i Japana [12].

LTE mreža aktivirana je u raznim dijelovima svijeta krajem kao što je prikazano na slici 6. Zbog rasta broja korisnika te država u kojima je 4G aktivna mreža, u pojedinim državama ograničenja pojaseva frekvencijskog spektra navode virtualne mrežne operatore na kupovinu nekog od dijelova spektra. Pojedini operatori već posjeduju pojedine dijelove spektra, ali potrebe za proširenjem navode kupovinu nekog drugog

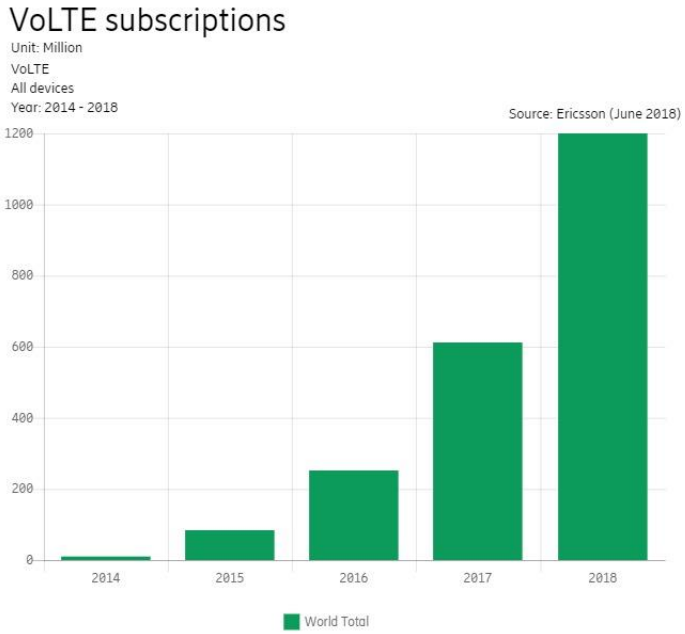
dijela istog. Stoga, cijena navedenog spektra raste. Preopterećenja mreže navode na uporabu drugih dijelova spektra kako korisnici ne bi osjetili degradacije u ugovorenim uslugama [11].



Slika 6. Pokrivenost 4G mrežom u svijetu, [20]

4.2 Ostvareni podatkovni promet prema broju korisnika 4G mreže

Broj korisnika 4G mobilne mreže čini više od 60% ukupnih korisnika mobilnih mreža. Prema [21] do 2020. godine predviđa se 1,812 milijardi korisnika mobilnih mreža od kojih se navedeni postotak pretežito odnosi na LTE mrežu. U odnosu na 4G, mobilne mreže poput 3G i 2G opadati će s obzirom na popularnost. Prema pokrivenosti 2016. godine, navedene u izvoru [21], broj korisnika LTE mreže prešao je gotovo polovicu, dok se danas taj broj povećao trostruko. Tehnološke mogućnosti prethodnih generacija nisu u rangu 4G i nadolazeće 5G mreže s obzirom na najavljene mogućnosti. Usluga kojom se zaobilazi mrežni operator, odnosno VoLTE čini okosnicu kojom se vrši distribucija video sadržaja i drugih usluga u jedno. VoLTE je distribuiran preko podsustava za multimediju pomoću IP (engl. *IP Multimedia Subsystem* – IMS) platforme kojom operatori pružaju kvalitetu podatkovnih i multimedijskih usluga preko pametnih mobitela i drugih uređaja. Prema prikazu na grafikonu 11, broj VoLTE pretplatnika raste eksponencijalno [16].



Grafikon 11. Prikaz VoLTE pretplatnika u svijetu od 2014. do 2018. godine, [17]

Uređaji koje korisnici koriste pretežito su pametni telefoni. Broja korisnika pametnih telefona ima 4,3 milijarde od kojih 95% koristi 3G i 4G mobilne mreže. Tablica 11 prikazuje da je postotak korisnika LTE mreže sa 5% narastao na 69%. Praćeni su podaci za generirani mobilni promet u odnosu na ukupni promet. Podaci mjereni za aktualnu 2018. godinu prikazuju predviđanja broja korisnika i prometa kojeg oni generiraju [16].

Tablica 11. Pokrivenost LTE mrežom u svijetu prema broju korisnika

Godina	Broj korisnika u milijunima	Postotak korisnika
2018	3342,486	69%
2017	2626,833	63%
2016	1817,524	56%
2015	1031,116	45%
2014	461,941	30%
2013	180,036	18%
2012	67,138	10%
2011	8,89	5%

Izvor: [17]

Bilježi se stalan rast pretplatnika mobilnih mreža na svjetskoj razini. Mobilni podatkovni promet generiraju korisnici zajedno sa poslovnim korisnicima. Generirani mobilni promet navedenih poslovnih korisnika i potrošačkih korisnika promatra se prema parametrima tehnologije, regija i tipa uređaja. Prema podacima, godišnja stopa rasta mobilnih pretplatnika za 2017. godinu iznosi 7,8 milijardi. Također, raste i broj korisnika pametnih uređaja sa podržanom značajkom prema LTE mreži. Broj korisnika pametnih uređaja kreće se od 4,2 milijarde za 2017.godinu. Broj pretplatnika 4G mreže 2017. godine glasi 2,7 milijardi. Raste i količina prometa kojeg generiraju korisnici po

aktivnom mobilnom uređaju sa 3,4 GB u 2017. godini. Ukupno generirani mobilni promet, globalne razine, narasti će za 39%. Za 2017. godinu on glasi 15 EB, buduće generirani mobilni promet na svjetskoj razini biti će 107 EB [16].

Veliki porast generiranog mobilnog prometa vidljiv je prema tablici 12 u zemljama Bliskog istoka i Afrike za navedeni period. Navedeni podaci proizlaze iz ukupno generiranog prometa korisnika. Prema tome, u periodu od 2016. do 2018. godine godišnja stopa rasta generiranog mobilnog prometa iznosi približno 54%.

Tablica 12. Generirani mobilni podatkovni promet od strane korisnika prema regijama

Korisnički promet	**Godina**	**1.1.2016**	**1.1.2017**	**1.1.2018**	**CAGR:**
Mobilni podaci	Količina u PB	5,953	9,345	14,029	53,51%
Azijsko - Pacifička regija	Količina u PB	27,039	35,16	44,736	28,63%
Sjeverna Amerika	Količina u PB	28,776	35,823	43,787	23,36%
Zapadna Europa	Količina u PB	11,206	14,084	17,282	24,19%
Centralna i istočna Europa	Količina u PB	4,521	5,596	6,892	23,47%
Bliski istok i Afrika	Količina u PB	1,864	2,926	4,379	53,27%
Latinska Amerika	Količina u PB	4,844	6,188	7,614	25,37%
Ukupni promet korisnika	Količina u PB	78,250	99,777	124,689	26,23%

Izvor: [13]

Prema tablici 13, mobilni podatkovni promet poslovnih korisnika prema godišnjoj stopi rasta za period od 2016. do 2018. godine iznosi približno 45%. Prema regijama, poslovni korisnici Sjeverne Amerike i Azijsko-Pacifičke regije imaju najveći rast generiranog prometa.

Tablica 13. Generirani mobilni podatkovni promet od strane poslovnih korisnika prema regijama

Promet poslovnih korisnika	**Godina**	**1.1.2016**	**1.1.2017**	**1.1.2018**	**CAGR:**
Mobilni podaci	Količina u PB	1,248	1,838	2,617	44,81%
Azijsko - Pacifička regija	Količina u PB	6,466	8,009	9,667	22,27%
Sjeverna Amerika	Količina u PB	4,872	6,444	7,935	27,62%
Zapadna Europa	Količina u PB	2,808	3,312	3,885	17,62%
Centralna i istočna Europa	Količina u PB	1,689	1,855	2,047	10,09%
Latinska Amerika	Količina u PB	0,814	0,983	1,159	19,32%
Bliski istok i Afrika	Količina u PB	1,155	1,313	1,527	14,98%
Ukupni promet poslovnih korisnika	Količina u PB	17,804	21,917	26,22	21,35%

Izvor: [13]

5. Trendovi i predviđanja veličina podatkovnog prometa u 5G mreži

Kako se razvija tehnologija i proširuje inteligencija uređaja koje korisnici svakodnevno koriste javlja se potreba za umrežavanjem uređaja, većim podatkovnim planom i mrežama koje su isto tako sposobne prenijeti veću količinu informacija. Današnji sustavi bazirani su na računalstvu u oblaku, velikim količinama podataka (engl. *Big Data*), automatizaciji uređaja i procesa te komunikaciji između uređaja (engl. *Machine to Machine* – M2M) [22].

Također, multimedijske, *best-effort* internetske i druge usluge popularne su među korisnicima mobilnih uređaja. Takve usluge generiraju velike količine podatkovnog prometa. S druge strane uređaji obrađuju, pohranjuju i koriste velike količine podataka unutar *Cloud* servisa. *Cloud* servisi zatim zahtijevaju umreženost prilikom pohrane i obrade takvih podataka. Posljedično nastaje potreba za velikim brzinama, pokrivenošću signalom, propusnošću i drugim parametrima koji će omogućiti da se velike količine podataka, dostupne preko *Cloud* servisa, prenose i obrađuju [23].

Osim pojedinih aplikacija koje generiraju velik podatkovni promet, novije mogućnosti koje predstavlja buduća mobilna komunikacijska mreža zahtijevati će velike tarifne pakete. Zajedno sa novom mobilnom komunikacijskom mrežom biti će predstavljene nove usluge koje će ekonomski nadjačati prethodnu generaciju.

Komunikacija između uređaja, ranije spomenuta kao M2M, karakterizira 5G mobilnu mrežu. Uređaji će moći međusobno komunicirati i izmjenjivati informacije. Za takvu vrstu povezanosti 5G imati će novi radio sustav, automatizirane konekcije između uređaja preko operativnog sustava u oblaku i više virtualnih mreža. Virtualne mreže moći će se kreirati na principu softverski definirane mreže (engl. *Software Defined Networking* - SDN) i virtualizacije ili povezivanja virtualnih elemenata mreže, odnosno softvera povrh fiksnih mreža, čijim dijeljenjem i stvaranjem virtualne mreže je moguće proizvesti veći kapacitet, poznate pod nazivom dijeljenje mreža (engl. *Network Slicing*) [24].

5.1 Općenito o 5G mreži

Peta generacija mobilne mreže u procesu je ispitivanja i razvoja gdje su velike kompanije i tvrtke uključene u implementaciju i razvoj samog standarda koji bi do 2020. godine nadalje bio globalno implementiran. 5G mobilna mreža biti će standardizirana od strane 3GPP organizacije, i donošenje 5G mreže kao novog standarda za mobilnu mrežu očekuje se do kraja 2018. godine [16].

Četvrta generacija mobilnih mreža bazira se porastu mobilnog podatkovnog prometa koji generiraju pametni mobilni uređaju, dok se za 5G svoj razvoj vidi u području industrije gdje će se poboljšati povezanost između različitih uređaja i dostupnost sadržaja. Općenito svaki uređaj će biti povezan sa svakim i moći će razmjenjivati podatke međusobno [16].

Standardizacija 5G predviđa se do kraja 2018.godine prema [16]. Do tada se uzima u obzir obavljanje testnih radnji i puštanje u rad. Predviđa se i povećanje broja korisnika s obzirom na proširenje spektra uređaja koji će biti međusobno povezani. Internacionalna telekomunikacijska Unija radio-komunikacijskog sektora (engl. *International Telecommunication Union's Radiocommunication Sector* – ITU-R) definira scenarije korištenja 5G mreže temeljeno na proširenju 4G mreže. Shodno tome, 5G mobilnih mreža nastoji poboljšati mobilni širokopojasni Internet i postići M2M komunikaciju u široko primjenjivom korisničkom i poslovnom okruženju [23].

Time 5G mreža nastoji povezati uređaje bez *SIM* (engl. *Subscriber Identity Module*) kartica poput tableta i pametne mobilne uređaje, poslovne uređaje, uređaje u zavisnosti o mreži na koju su povezani, multimedijske uređaje poput televizije, virtualnih naočala, kamera i sličnog. Prema tome, cilj 5G je načiniti pametno okruženje uređaja poveznih međusobno čime se dobiva pametni dom, pametne zgrade, pametni semafor i ostalo [25].

Prema svemu navedenom zadaća 5G je ostvariti ekonomičnije, sigurnije i poboljšano poslovno i kućno okruženje. Ekonomičnije poslovanje neće biti samo u privatnom i poslovnom okruženju, nego i onome prema mrežnim operatorima. Operatori će profitirati na novim digitaliziranim sustavima te uštedi energije što dovodi do razvoja poslovanja i organizacije.

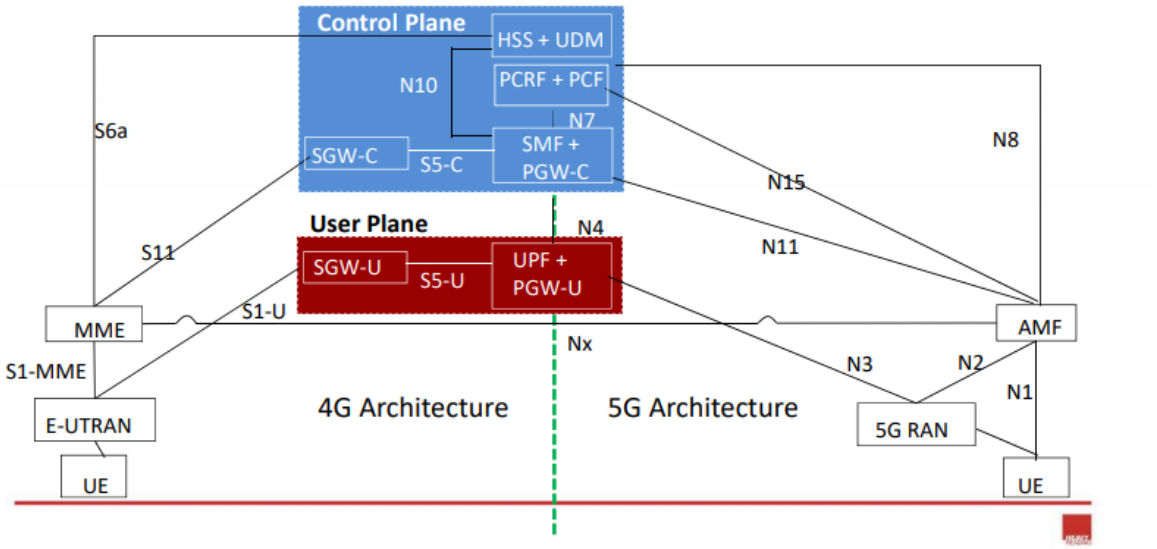
5.2 Tehnička i tehnološka ostvarenja 5G mreže

Razvojem okruženja u oblaku 5G mreža svoj razvoj temeljit će upravo na virtualnoj jezgri u oblaku. Zbog cirkulacije podataka u oblaku, dostupnih na obradu i korištenje korisnicima, 5G mreža je informacijski orijentirana (engl. *Information Centric Network* - ICN). Pristup, gdje su informacije pohranjene negdje „u oblaku“, a zapravo fizički imaju svoje mjesto, je nova paradigma 5G mreže. Arhitektura informacijski orijentirane mreže je mobilnost, sigurnost i pohrana [23].

Pojam Internet stvari evoluira Internetu svega (engl. *Internet of Everything* - IoE). Novi poslovni modeli stvaraju uređaje koji će komunicirati i izmjenjivati informacije međusobno, ali i sa korisnicima. Takvi modeli M2M, M2P i P2P budućnost su poslovanja. Uređaji koji su tip M2M komunikacije učiti će i istovremeno razvijati prema algoritmima i naučenim uzorcima ponašanja. Ujedno takva okolina zahtijeva velike kapacitete, velike udjele podatkovnog prometa, manja kašnjenja, veliku povezanost, energetsku povezanosti i brzinu kako bi sustav mogao funkcionirati. M2M je oblik povezivanja koji sve više raste. U 4G mreži popularnost imaju pametni mobilni uređaji, a u 5G mreži to će biti M2M oblik komunikacije [26].

5.2.1 Arhitektura 5G mreže

Rješenja arhitekture 5G mreže temeljit će se na prethodnoj 4G mreži (slika 7). Prema 4G mreži vršiti će se nadogradnja sustava koji će koristiti 5G sa svojim novim radio sučeljem. Prikazom na slici 7 vidljivo novo sučelje 5G mreže zasniva se na jezgri 4G mreže. Isto tako, 5G mobilna mreža koncentrira se na usluge dostupne u oblaku. Mnogobrojne usluge korištene u oblaku bazirane su na drugačijem setu standarda te će novo radio sučelje biti prilagođeno potrebama standarda i različitih tipova resursa [24].



Slika 7. Jezgrena mreža pete generacije, [24]

Unutar jezgrene mreže, korisnički dio treba podržavati veliki broj veza unutar frekvencijskog spektra istovremeno omogućavajući visoku razinu propusnosti. Frekvencijski spektar iznad 6 GHz koristiti će jer sadrži veliki kapacitet za velik broj korisnika [24].

Jezgrena mreža u novom 5G standardu biti će redizajnirana na način da će se odvojiti kontrolna razina od korisničke. Cilj jezgrene mreže je pristup bilo kojem uređaju

sa bilo kojom vrstom usluge. To će se ostvariti preko S1 i S2 sučelja koja će se koristiti ovisno o uređaju i usluzi. Također, navedena sučelja imati će zasebne IP adrese ovisno o kojoj se vrsti pristupne tehnologije radi [24].

Tehnologija koja stoji iza 5G mreže može se sažeti na područja Interneta svega, virtualizacije te nove radijske pristupne mreže koja će omogućiti velikom spektru uređaja da se međusobno priključe i komuniciraju. 5G mreža s obzirom na veliku brojnost umreženih korisnika, također mora podržavati i biti kompatibilna sa nizom različitih mrežnih uređaja. Isto tako zbog povećeg broja korisnika zahtijeva se prošireni frekvencijski spektar, ali i poboljšano pristupno radio sučelje obuhvaćeno trodimenzionalnim MIMO antenama za prihvat i odašiljanje signala podržano prema više korisnika preko jedne antene istovremeno u horizontalnim i vertikalnim smjerovima [22].

5.2.2 Tehnološke inovacije 5G mreže

5G mobilna mreža smatra se budućom prekretnicom u mobilnim komunikacijskim tehnologijama. Pogodnosti koje će biti ostvarene unutar 5G, također primjenjive u industriji i ostalim poslovnim sustavima su:

- mogućnost preuzimanja multimedijskog sadržaja HD kvalitete u samo par sekundi
- malo kašnjenje koje će odgovarati korisnicima na raznim udaljenostima
- mogućnost stvaranja virtualnih mreže pomoću dijeljenja mreža
- produljenje vijeka trajanja baterija na period od 10 godina nadalje.

Nadalje, očekivane brzine 5G mreže odvijaju se u smjeru iznad 1 Gb/s do 100 Gb/s dok sa korisničke strane, u praksi, očekuje se od 10 – 100 Mb/s. Ostali čimbenici koje 5G mreža najavljuje su:

- tri puta veća spektralna učinkovitost
- brzine prijenosa u odnosu na mobilnost od 300-350 km/h
- kašnjenja manja od 1 ms
- očekivana gustoći korisnika po km^2 – 10 000 korisnika po kilometru kvadratnom
- veća energetska učinkovitost
- produljeni vijek baterije do 10 godina
- dostupnost
- pouzdanost
- prostorna preciznost
- sigurnost – privatnost korisnika, jaka zaštita autentifikacije te mrežna sigurnost.

Navedeni zahtjevi praktičnu primjenu nalaze u poslovnim okruženima. Shodno tome, M2M komunikacija unutar poslovanja očekuje se u širokom obujmu. Primjena M2M očekuje se u prometu i kontroli prometa, kontroli aplikacija i uređaja u industriji, proizvodnji i medicini. Konfiguracije i mrežne konekcije biti će automatizirane gdje

uređaje neće biti potrebno ručno spajati na točku pristupa. Uređaji povezani M2M jedno prema drugome će se ponašati kao pristupne točke gdje se neće zahtijevati stalna veza sa baznim stanicama i pokrivenost koje one pružaju nego će uređaji biti automatski povezani međusobno (engl. *Ad Hoc*) koristeći zajednički signal. Također, uređaji će na temelju prijašnjih konekcija učiti procese pod okriljem umjetne inteligencije te tako primjenjivati naučena ponašanja [27].

Radio sučelje i virtualni jezgreni dio mreže podržavati će nove i poboljšane funkcionalnosti. Funkcionalnosti radio sučelja obuhvaćaju:

- poboljšanja u širokopojasnom Internetu - poboljšanje prometne kontrole i procesiranja od sučelja prema mreži
- praćenje snopa (engl. *Beam Tracking*) – praćenje pozicija uređaja kao pristupnih točaka kako bi se osigurala stalna povezanost na iste
- dinamički vremenski dupleks (engl. *Dynamic Time-Division Duplexing* - DTDD) – prilagođavanje resursa silazno-uzlazne veze prema potrebama prijenosa podatkovnog prometa
- gigabitni LTE – brzine prijenosa do 1 Gb/s
- masivni MIMO – funkcionalnosti MIMO tehnike u kombinaciji sa praćenjem snopa koje antene odašilju kako bi se osigurala veća propusnost i smanjila potrošnja energije
- više-korisnički MIMO – povećanje korisnosti radio spektra pomoću antena odašiljanjem podataka u istom vremenu i na istoj frekvenciji prema više korisnika
- RAN – preusmjeravanje konekcija putem radio veze prema drugim mrežama
- 5G radijsko sučelje.

S druge strane, funkcionalnosti jezgrene mreže dijele se na:

- virtualizaciju u oblaku – migracija podataka i aplikacija prema virtualnom načinu pohrane u kombinaciji sa ujedinjenom softversko-hardverskom mrežom
- povezanost domena jezgrene, transportne i pristupne mreže
- rubno korištenje mreže – podaci pohranjeni u oblaku su dostupni korisnicima u što kraćem vremenskom roku sa što kraćim kašnjenjem
- dijeljenje mreža
- virtualizacija mrežnih funkcija – dinamička raspodjela resursa u mreži
- SDN – konfiguracija i upravljanje fizičkom i virtualnom mrežnom opremom
- funkcionalnosti virtualnih mreža – optimizacija softverskih sučelja prema računalstvu u oblaku [27].

5.3 Predviđeni podatkovni promet u 5G mreži

Prema [16], broj mobilnih pretplatnika za 4G mrežu iznosi 4,3 milijardi za 2017. godinu, dok će se za razdoblje do 2022. godine taj broj povećati će se na 8,9 milijardi

koje će uključivati i korisnike pete generacije mobilnih mreža. Pretplate korisnika na 5G mobilnu mrežu donijeti će 530 milijuna novih uređaja. Već je 18 milijardi uređaja raznovrsnih uređaja koji čine skupinu uređaja Internet stvari. Aplikacije i uređaji za koje se predviđa da će dominirati 5G tehnologijom su VR igre, udaljeno upravljanje uređajima u robotskoj tehnologiji, širokopojasni Internet preko postojećih mobilnih mreža. Od video aplikacija dominantnih u 4G mreži, 75% ukupnog generiranog mobilnog prometa do 2022. odnosi se na video promet. U odnosu na 4G mobilnu mrežu, 5G pojaviti će se 2020. godine i od 2,3 milijuna korisnika već 2021. godine broj korisnika narasti će na 2,5 milijuna. Sa 5G mrežom i M2M vezama predstavlja se *Low power wide area* tip povezivanja. Njihovo korištenje 2016. godine iznosi manje od 1% dok 2021. iznosit će 9%. Podaci za 2020. i 2021. godinu izračunati su na temelju predviđanja u generiranom mobilnog podatkovnom prometu aplikacija i korisnika [13], [16].

U razdoblju od 2016. do 2022. godine promet aplikacija povećavati će se ovisno o tehnologiji i uređaju koji korisnici koriste. Video aplikacije i dalje će generirati najveći udio mobilnog podatkovnog prometa zajedno sa društvenim mrežama poput *Facebooka* i njemu sličnih. Iako se bilježi pad korištenja društvenih mreža zbog razvoja drugih OTT komunikacijskih aplikacija poput *WhatsAppa* i *Snapchata*. Ovisno o tipu uređaja, generirani promet može varirati. Korisnici tablet uređaja skloni su gledanju video sadržaja dulje u odnosu na pametne mobilne uređaje. Za gledanje video sadržaja i dalje dominira aplikacija YouTube i generira 40% do 70% od ukupnog mobilnog video prometa za sve mreže. Druga po redu po generiranom prometu video aplikacija je *Netflix*. *Netflix* generira 10% do 20% od ukupnog mobilnog video prometa. Za korisnike 5G, korištenje VR igara povećati će se 20 puta u periodu od 2016. do 2021. godine. Prema tipu uređaja, veliki udio mobilnog podatkovnog pometa i dalje generiraju pametni mobilni telefoni. Iako za nadolazeće razdoblje do 2021. godine raste i broj M2M korisnika zbog dolaska 5G mobilne mreže. Svoj pad u korištenju mobilnih podataka imaju zastarjeli uređaji koji nemaju funkcije pametnih mobilnih uređaja. Broj konekcija M2M uređaja za 2021. godinu narasti će za 31% [13].

Globalni mobilni promet unutar jedne godine, uvođenjem 5G, zabilježiti će stopu rasta od približno 40% kako je vidljivo u tablici 14. Povećanje broja korisnika 5G mobilne mreže iznositi će više od 20%. Regija koja će ostvariti najveću stopu rasta pripada Bliskom istoku i Africi.

Tablica 14. Globalni IP promet od 2020. do 2021. godine

Globalni IP promet	Godina	01/01/2020	01/01/2021	CAGR:
Globalni IP mobilni podaci	Količina u PB	34,382	48,270	40,39%
Korisnici	Količina u PB	190,474	232,655	22,15%
Poslovni korisnici	Količina u PB	37,937	45,452	19,81%
Azijsko - Pacifička regija	Količina u PB	86,068	107,655	25,08%
Sjeverna Amerika	Količina u PB	73,741	85,047	15,33%
Zapadna Europa	Količina u PB	30,971	37,393	20,74%
Centralna i istočna Europa	Količina u PB	13,781	17,059	23,79%

Bliski istok i Afrika	Količina u PB	10,941	15,490	41,58%
Latinska Amerika	Količina u PB	12,909	15,464	19,79%
Ukupni IP promet	Količina u PB	228,411	278,108	21,76%

Izvor: [13]

Prema tablici 15, korisničke aplikacije porasti će za više od 40% prema godišnjoj stopi rasta. Najveći promet i dalje bilježe video aplikacije koje uključuju kratke i duge video isječke, video nadzor, video strujanje uživo i druge. Godišnja stopa rasta video aplikacija biti će 26,47%. Povećanje ukupnog prometa Internet aplikacija po korisniku iznositi će približno 25% [13].

Tablica 15. Korisnički promet prema određenim aplikacijama i regijama

Korisnički promet aplikacija	**Godina**	**01/01/2020**	**01/01/2021**	**CAGR:**
Promet aplikacija mobilne mreže	Količina u PB	29,343	41,417	41,15%
Internet video	Količina u PB	125,853	159,161	26,47%
***Web*, e-mail i podaci**	Količina u PB	17,502	19,538	11,63%
Online igranje	Količina u PB	6,753	10,147	50,26%
Dijeljenje datoteka	Količina u PB	6,388	6,595	3,24%
Azijsko - Pacifička regija	Količina u PB	57,659	74,419	29,07%
Sjeverna Amerika	Količina u PB	48,224	56,470	17,10%
Zapadna Europa	Količina u PB	22,011	27,211	23,62%
Centralna i istočna Europa	Količina u PB	10,155	12,822	26,26%
Bliski istok i Afrika	Količina u PB	9,059	13,229	46,03%
Latinska Amerika	Količina u PB	9,387	11,288	20,25%
Ukupni Internet promet korisnika	Količina u PB	156,496	195,440	24,88%

Izvor: [13]

Generalno mobilni podatkovni promet unutar jedne godine imati će godišnju stopu rasta od približno 40%. On obuhvaća multimedijske aplikacije i promet putem Interneta, a generiran je od strane prijenosnih mobilnih uređaja. Generirani promet poslovnih korisnika 5G mobilne mreže porasti će za skoro 20%. Konekcije putem Interneta potrebnih za usluge vezane za Televiziju poput *Set-top box* porasti će za 47% za godinu uvođenja 5G mobilne mreže [13].

6. Zaključak

Današnji statistički pokazatelji ukazuju na potrebu korisnika za sve većim tarifnim paketima. Razlog tome sve je veći napredak tehnologije i novih naprednijih mogućnosti koje podržavaju nove tehnologije. Tako su se i razvili pametni mobilni uređaji koji korisnicima pružaju stalnu mobilnost i umreženost sa širokom paletom mogućnosti i usluga.

Usluge se mijenjaju i postaju raznolike. Mreže za jednu uslugu, poput PSTN-a izumiru pojavom LTE-a kao mreže koja podržava mnogo različitih usluga. Također, kvaliteta usluge koju aplikacije pružaju unaprijeđena je prema potrebama više skupina korisnika. Velike brzine prijenosa informacija preko 4G mobilne mreže na korist je korisnicima koji pretražuju multimedijski sadržaj.

Provedbom ankete na studentskoj populaciji, dobiveni podaci koristili su se kako bi se analizirale veličine ugovorenog tarifnog paketa i generiranog prometa. Prikupljeni podaci su korišteni za potrebe ovoga rada i sadrže informacije o mrežnom operatoru korisnika, vrsti uređaja i tipu operativnog sustava kojeg oni koriste. Dobiveni su i podaci o veličinama ugovorenih tarifnih paketa i uspoređeni su s količinom generiranog podatkovnog prometa, odnosno iskorištenosti tarifnog paketa. Prema tome, ispitane su hipoteze o razlikama u ponašanju *prepaid* i *postpaid* korisnika, odnosno u količini prometa kojeg generiraju mjesečno i količini neiskorištenog tarifnog paketa. Zaljučeno je da što se tiče količine generiranog podatkovnog promata mjesečno ne postoji razlika između različite skupine korisnika, dok se može zaključiti da postoji razlika među njima kada je u pitanju neiskorišteni dio tarifnog paketa.

Trend rasta broja korisnika vidljiv je prema projekcijama 5G mobilne mreže. 5G mreža ostvarit će još veće brzine, malo kašnjenje i umreženost uređaja pod okriljem Interneta stvari. Podaci pohranjeni u oblaku zahtijevaju velike veličine tarifnih paketa, stoga će generirani promet također porasti zajedno s brojem umreženih uređaja i korisnika.

Iz prikazanih trendova kretanja veličina mobilnog podatkovnog prometa, sve je veći udio generiranog mobilnog podatkovnog prometa. Prema tome, može se zaključiti da pojavom novih tehnologija raste broj korisnika, ali i količina generiranog podatkovnog prometa u ovisnosti o dostupnom tarifnom paketu.

LITERATURA

[1] Mrvelj Š.: "*Autorizirana predavnja iz kolegija Tehnologija telekomunikacijskog prometa I*", Zagreb, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, 2018.

[2] Sauter, M.: "*From GSM to LTE-Advanced Pro and 5G*", Cologne, Wiley, 2017.

[3] Khanna A., Bengani A., Bhatt A., Bhardawaj A.: "*A Critical Review of Various Generations of Mobile*", International Journal of Information & Computation Technology, svezak 4, br. 11, 2014, str. 1023-1028.

[4] Markežić I.; "*Separati s predavanja*", Zagreb, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, 2014.

[5] Pentinnen J.T.J.: "*The Telecommunications Handbook: Engineering guidelines for fixed, mobile and satellite systems*", Chichester, Wiley, 2015.

[6] Internet stranica: https://conningtech.wordpress.com/2008/05/08/mobile-network-evolution-gsm-to-umts/ (pristupljeno: rujan 2018)

[7] Internet stranica: http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/104-w-cdma (Pristupljeno: svibanj, 2018).

[8] Al Agha K., Pujolle G., Ali-Yahiya T.: "*Mobile and Wireless Networks*", Hoboken, Wiley, 2016.

[9] Internet stranica: https://www.worldtimezone.com/5g.html. (Pristupljeno: rujan, 2018).

[10] Remy J-G., C. Letamendia C.: "*LTE Services*", Wiley, 2014.

[11] Oughton E. J., Frias Z., Dohler M., Whalley J., Sicker D., Hall J. W., Crowcroft J., Cleevely D. D.: "*The strategic national infrastructure assessment of digital communications*", Digital Policy, Regulation and Governance, izdanje 20., br. 3, str. 197-210, 2018.

[12] Curwen P., Whalley J.: "*High-speed data provision by mobile networks in the Asia-Pacific region*", Digital Policy, Regulation and Governance, svezak 3., str. 225-243, 2018.

[13] Cisco: "*Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2016-2021*", 2017.

[14] Sabah N.: "*4G Technology and its applications*", International Journal of Research in Engineering, Technology and Science, br. 6, 2016.

[15] Ericsson: "*VoLTE solution brief*", 2018.

[16] Ericsson: "*Ericsson Mobility Report*", 2018.

[17] Internet stranica: https://www.ericsson.com/en/mobility-report/mobility-calculator. (pristupljeno: kolovoz, 2018)

[18] Serdar V., Šošić V.: "*Uvod u statistiku*", Zagreb, Školska knjiga, 1988.

[19] Peraković D.: "*Autorizirana predavanja iz kolegija Terminalni uređaji*", Zagreb, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, 2018.

[20] Internet stranica: https://www.worldtimezone.com/4g.html. (pristupljeno: rujan, 2018)

[21] Internet stranica: https://www.statista.com/statistics/226101/global-4g-mobile-subscriber-forecast/. (pristupljeno: rujan, 2018).

[22] Marsch P., Da Silva I., Eddine El Ayoubi S., Kaloxylas A., Rosowski T., Bulakci Ö., Boldi M., Tesanović M.: "*5G Radio Access Network Architecture – Design Guidelines and Key*", 2016.

[23] Anderson T.: "*Laying the Foundation for 5G*", Cisco, 2015.

[24] Brown G.: "*Automated 4G/5G Core Networks*", Heavy Reading, 2017.

[25] van der Meer S.: "*What do we actually manage in 5G? And what is missing?*", u *IEEE Network Operations and Management Symposium 2018*, Taipei, 2018.

[26] Wolter D.: "*Mobile Evolution to 5G - Business drivers and Technology enablers for 2020 networks*", Cisco, 2015

[27] Ericsson: "*This is 5G*", 2017.

POPIS KRATICA

3GPP – Third Generation Partnership Program

AMPS – Advanced Mobile Phone System

BSC – Base Station Controller

BTS – Base Trasnceiver Station

CAGR – Compounded Annual Growth Rate

CDMA – Code Division Multiple Access

CPC – Continuous Packet Connectivity

CSD – Circuit Switched Data

D2D – Device to Device

DTDD – Dynamic Time Division Duplex

EDGE – Evolved Data rates for GSM Evolution

ETSI – European Telecommunication Standards Institute

E-UTRAN – Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network

FDD – Frequency Division Duplex

FDMA – Frequency Division Multiple Access

FTP – File Transfer Protocol

GGSN – Gateway GPRS Support Node

GPRS – General Packet Radio Service

GSM – Global System for Mobile Communications

HD – High Definition

HLR – Home Location Register

HSCSD – High Speed Circuit Switched Data

HSDPA – High Speed Downlink Packet Access

HSOPA – High Speed OFDM Packet Access

HSPA – High Speed Packet Access

HSPA+ - Evolved High Speed Packet Access

HSS – Home Subscriber Server

HSUPA – High Speed Uplink Packet Access

HTTP – Hypertext Transfer Protocol

ICN – Information Centric Network

IMAP – Internet Message Access Protocol

IMS – IP Multimedia Subsystem

IoE – Internet of Everything

IoT – Internet of Things

IP – Internet Protocol

IPTV – Internet Protocol Television

IPv6 – Internet Protocol version 6

ITU-R - International Telecommunication Union's Radiocommunication Sector

LA – Location Area

LTE – Long Term Evolution

LTE of LTE – Long Term Evolution of Long Term Evolution

LTE-A – Long Term Evolution - Advanced

M2M – Machine to Machine

MIMO – Multiple Input Multiple Output

MME - Mobility Managment Entity

MSC – Mobile Switching Center

MU – Mobile Unit

NMT – Nordic Mobile Telephony

OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OFDMA – Orthogonal Frequency Division Multiple Access

OTT – Over The Top

P2P – Peer to Peer

PCU – Packet Control Unit

PDN-GW - Packet Data Network-Gateway

PDR – Peak Data Rates

POP3 – Post Office Protocol version 3

PSTN – Public Switched Telephone Network

QAM – Quadrature Amplitude Modulation

RNC – Radio Network Controller

SDN – Software Defined Networking

SGSN – Serving Gateway Support Node

SGW – Serving Gateway

SIM – Subscriber Identity Module

SMTP – Simple Mail Transfer Protocol

TACS – Total Acces Communications System

TCP/IP – Transport Control Protocol over IP

TDD – Time Division Duplex

TDMA – Time Division Multiple Access

UMTS – Universal Mobile Communication System

UTRAN – UMTS Terrestrial Radio Access Network

VLR – Visitor Location Register

VoIP – Voice over IP

VoLTE – Voice over LTE

VR – Virtual Reality

WCDMA – Wideband Code Division Multiple Access

POPIS KORIŠTENIH SLIKA

Slika 1. Prikaz mobilnih mreža prema generacijama 4
Slika 2. Prikaz GPRS sustava mobilnih mreža, [6]..... 7
Slika 3. Prikaz 3GPP *Release 99* sustava, [2] 9
Slika 4. Prikaz LTE sustava mobilne mreže, [2]..... 11
Slika 5. Karta stanja 5G u svijetu, [9] 12
Slika 6. Pokrivenost 4G mrežom u svijetu, [20]..... 31
Slika 7. Jezgrena mreža pete generacije, [24] 36

POPIS KORIŠTENIH GRAFIKONA

Grafikon 1. Generirani mobilni promet prema vrsti aplikacija 17
Grafikon 2. Aplikacije po zastupljenosti korištenja 20
Grafikon 3. Postotak od ukupnog prometa koji ostvari korisnik s aplikacijom kojom generira najveću količinu prometa 21
Grafikon 4. Ukupna količina generiranog prometa prema dobi ispitanika 21
Grafikon 5. Distribucija veličina *prepaid* tarifnog paketa 22
Grafikon 6. Raspodjela operativnih sustava prema anketiranim korisnicima 23
Grafikon 7. Distribucija korisnika prema operatorima 23
Grafikon 8. Raspodjela korisnika tarifnih opcija 24
Grafikon 9. Odnos generiranog prometa između *prepaid* i *postpaid* korisnika 24
Grafikon 10. Komparacija veličine tarifnog paketa i iskorištenosti tarifnog paketa kod *prepaid* i *postpaid* korisnika 27
Grafikon 11. Prikaz VoLTE pretplatnika u svijetu od 2014. do 2018. godine, [17] ... 32

POPIS KORIŠTENIH TABLICA

Tablica 1. Prikaz generiranog prometa prema trendovima korištenja aplikacija u regijama 18
Tablica 2. Prikaz generiranog prometa video aplikacijama putem Interneta prema regijama 18
Tablica 3. Prikaz generiranog prometa prema načinu dijeljenja datoteka 19
Tablica 4. Aplikacije koja generiraju najveći promet prema dobi ispitanika 22
Tablica 5. Usporedni prikaz frekvencija *prepaid* i *postpaid* korisnika prema razredima generiranog podatkovnog prometa 25
Tablica 6. Očekivane frekvencije prema zastupljenosti dostupnog tarifnog paketa . 25
Tablica 7. Parametri potrebni za provedbu $\chi 2$ testa 26
Tablica 8. Usporedni prikaz frekvencija *prepaid* i *postpaid* korisnika prema razredima neiskorištenosti tarifnog paketa 28
Tablica 9. Očekivane frekvencije *postpaid* i *prepaid* korisnika prema neiskorištenosti tarifnog paketa 28
Tablica 10. Parametri potrebni za provedbu $\chi 2$testa 29
Tablica 11. Pokrivenost LTE mrežom u svijetu prema broju korisnika 32
Tablica 12. Generirani mobilni podatkovni promet od strane korisnika prema regijama 33
Tablica 13. Generirani mobilni podatkovni promet od strane poslovnih korisnika prema regijama 33
Tablica 14. Globalni IP promet od 2020. do 2021. godine 39
Tablica 15. Korisnički promet prema određenim aplikacijama i regijama 40

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada pod naslovom **Analiza projekcija mobilnog podatkovnog prometa**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 10/09/2018

Klaudija Marija Prpić
(potpis)