

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

**Sven Maček**

**RAZVOJ I KARAKTERISTIKE MOBILNE MREŽE PETE GENERACIJE**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2016.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
**ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD**

Zagreb, 6. lipnja 2016.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**  
Predmet: **Arhitektura telekomunikacijske mreže**

## **ZAVRŠNI ZADATAK br. 2323**

Pristupnik: **Sven Maček (0135227746)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

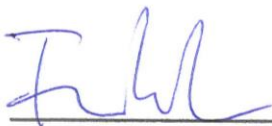
Zadatak: **Razvoj i karakteristike mobilne mreže pete generacije**

Opis zadatka:

Analizirati mobilne komunikacijske sustave treće (3G) i četvrte (4G) generacije. Objasniti transmisijske sustave u 3G i 4G mrežama. Opisati mobilnu mrežu 4.5G. Prikazati arhitekturu 5G mreža i navesti pripadajuće usluge. Objasniti strategiju uvođenja 5G mreža.

Zadatak uručen pristupniku: 4. studenog 2015.

Mentor:



dr. sc. Ivan Forenbacher

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

**ZAVRŠNI RAD**

**RAZVOJ I KARAKTERISTIKE MOBILNE MREŽE PETE GENERACIJE**

**DEVELOPMENT AND CHARACTERISTICS OF 5G MOBILE NETWORK**

Mentor:  
dr.sc. Ivan Forenbacher

Student:  
Sven Maček 0135227746

Zagreb, 2016.

# **RAZVOJ I KARAKTERISTIKE MOBILNE MREŽE PETE GENERACIJE**

## **SAŽETAK**

Svakim danom raste broj korisnika mobilnih mreža kao i potreba za većim brzinama prijenosa podataka. Današnja 3G tehnologija brzog paketskog pristupa (engl. *High Speed Packet Access* – HSPA) nametnula se kao nositelj naglog širenja širokopojasnog mobilnog pristupa Internetu. Unatoč konstantnom unaprjeđenju ove tehnologije, zbog kapacitivnih ograničenja i limitiranih mogućnosti postizanja viših performansi, razvija se današnja mreža četvrte generacije (4G) poznatija pod nazivom dugoročna evolucija - LTE (engl. *Long Term Evolution*). Nakon nje slijedi uvođenje mreže pete generacije (5G) nakon 2020. godine. 5G mreža neće biti samo evolucija širokopojasne mreže, već će korisniku pružiti potpuno nove mogućnosti s ciljem povećanja brzine prijenosa podataka, smanjenju vremena kašnjenja (latencije), računarstva u oblaku, smanjenja potrošnje energije, Interneta svega i drugih mogućnosti. Stoga, glavni cilj ovoga rada je prikazati razvoj, osnovne karakteristike i mogućnosti 5G mreže kao iduće značajne faze u pokretnim telekomunikacijama.

KLJUČNE RIJEČI: 5G; Mobilna mreža; Karakteristike; Internet svega; Standardizacija;

## **DEVELOPMENT AND CHARACTERISTICS OF 5G MOBILE NETWORK**

### **SUMMARY**

The number of mobile subscribers and need for higher data speeds is growing every day. Today's 3G technology of fast packet access (*High Speed Packet Access* – HSPA) established itself as the basis of rapid expansion of broadband mobile Internet access. Despite the constant improvement of this technology, its capacitive constraints and limited opportunities achieving higher performance are the main reasons for developing today's fourth-generation (4G) network also known as the Long-Term Evolution (LTE). 4G is being followed by the fifth generation network (5G) which will be launched after 2020. 5G network will not only be an evolution of broadband network, it will also provide to users wide array of new opportunities such as increase of data speeds, reduction of latency and energy consumption, cloud computing services and Internet of Everything (IoE) concept. Therefore, the main focus of this paper is to show development, basic features and opportunities of 5G network as the next major step in mobile telecommunications.

KEY WORDS: 5G; Mobile network; Characteristics; Internet of Everything; Standardization;

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. ANALIZA POSTOJEĆIH 3G I 4G GENERACIJA MOBILNIH MREŽA.....	3
2.1 Mobilne mreže treće generacije .....	4
2.2 Mobilne mreže četvrte generacije .....	6
3. TRANSMISIJSKI SUSTAVI U 3G I 4G MREŽAMA.....	9
3.1 Transmisijski sustav UMTS mreže .....	9
3.2 Transmisijski sustav LTE mreže.....	11
4. MOBILNA MREŽA 4.5 GENERACIJE .....	14
5. ARHITEKTURA 5G MREŽE .....	16
5.1 Glavne karakteristike 5G mreže .....	19
5.2 Razvoj manjih ćelija visoke gustoće .....	21
5.2.1 Mm valovi .....	22
5.2.2 Dijeljenje frekvencijskog opsega .....	23
5.3 Samoorganizirajuća mreža .....	24
5.4 5G – ENSURE.....	24
5.5 Machine Type Communication .....	25
6. USLUGE U 5G MREŽI.....	27
6.1 Internet ljudi.....	29
6.2 Internet stvari .....	29
6.3 Internet svega.....	31
7. STRATEGIJA UVOĐENJA 5G MREŽE .....	33
7.1 Standardizacijske aktivnosti .....	34
7.2 Perspektiva nakon 2020. godine .....	36
8. ZAKLJUČAK.....	39
LITERATURA.....	40
POPIS SLIKA .....	43
POPIS TABLICA.....	44
POPIS KRATICA .....	45

## 1. UVOD

Razvojem tehnologija, u telekomunikacijskom smislu, pojavljuju se prve mobilne mreže kao što su NMT (engl. *Nordic Mobile Telephone*), AMPS (engl. *Advanced Mobile Phone System*) i TACS (engl. *Total Access Communication System*) poznate kao mreže prve generacije (1G) zasnovane na analognom pristupu frekvencijskom podjelom (engl. *Frequency Division Multiple Access - FDMA*) i govornim uslugama, razvijane su sedamdesetih godina prošlog stoljeća, a komercijalno su pokrenute početkom osamdesetih godina.

Već kod mobilnih mreža druge generacije (2G), globalni sustav za mobilnu komunikaciju (engl. *Global System for Mobile Communication – GSM*), korištenih za digitalni prijenos govora i podataka korištenjem višestrukog pristupa s vremenskom podjelom kanala (engl. *Time Division Multiple Access – TDMA*) ili višestrukog pristupa s kodnom podjelom kanala (engl. *Code Division Multiple Access – CDMA*). Ciklus razvoja se skraćuje te započinje uvođenje paketskog prijenosa podataka u drugu generaciju mobilnih mreža (isprva prijenos podataka paketskim modom u GSM mreži (engl. *General Packet Radio Services – GPRS*)), kasnije i prijenos podataka u GSM mreži većim brzinama (engl. *Enhanced Data Rates for GSM Evolution – EDGE*).

Potreba za trećom generacijom mobilnih sustava proizašla je iz želje da se integriraju žični i bežični sustavi, uključujući i satelitske mreže, u univerzalni multimedijски širokopolasni pokretni sustav. Tako se 2001. godine u Japanu pokreće prva 3G mobilna mreža, a 2. godine kasnije i u Europi. Uspješna evolucija WCDMA (engl. *Wideband Code Division Multiple Access*) sustava omogućuje mreži treće generacije uvođenje brzog paketskog prijenosa podataka (engl. *High Speed Packet Access – HSPA*) kroz kontinuirana unaprjeđenja koja donose nova izdanja 3GPP (engl. *Third-Generation Partnership Project*) specifikacija.

Upravo je 3GPP standardizacijsko tijelo odgovorno za razvoj i nastanak dugoročne evolucije – LTE (engl. *Long Term Evolution*) kao nove tehnologije, predstavljene javnosti 2009. godine u Stockholmu, k mobilnim mrežama četvrte (4G), a kasnije i pete (5G) generacije, koja se očekuje 2020. godine. Naziv završnog rada je: Razvoj i karakteristike mobilne mreže pete generacije te se sastoji od slijedećih 8 cjelina:

1. Uvod
2. Analiza postojećih 3G i 4G generacija mobilnih mreža
3. Transmisijski sustavi u 3G i 4G mrežama
4. Mobilna mreža 4.5 generacije
5. Arhitektura 5G mreže
6. Usluge u 5G mreži
7. Strategija uvođenja 5G mreže
8. Zaključak

U drugom poglavlju će biti riječ o performansama postojećih mreža treće i četvrte generacije (engl. *Universal Mobile Telecommunications System* – UMTS i *Long Term Evolution* – LTE) te će biti opisane detaljne analize i karakteristike ovih mreža kroz verzije puštene u pogon.

Treće poglavlje obuhvaća načine prijenosa signala u mrežama treće i četvrte generacije, njihovu arhitekturu te primjenu tehnologije antenskog formiranja i njihovo značenje za navedene mreže.

Četvrto poglavlje obuhvaća opis novih funkcionalnosti i poboljšanja u mobilnim mrežama, opisuje mreže 4.5 generacije, njihovu podjelu i glavne razlike sa mrežom prijašnje generacije.

Peto poglavlje analizira arhitekturu mobilne mreže pete generacije te govori o njezinoj sigurnosti, implementaciji i razvoju malih ćelija visoke gustoće. Biti će opisana M2M arhitektura, značajke M2M komunikacije i zahtjevi vezani uz 5G mrežu.

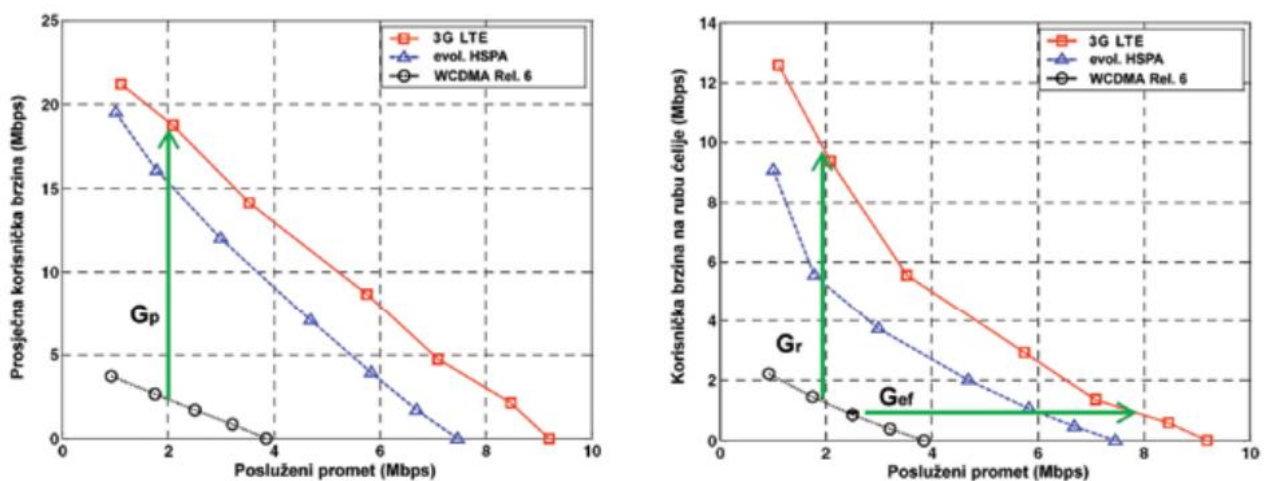
U šestom poglavlju su prikazane usluge u 5G mreži, aplikacije koje nas očekuju u IoT konceptu te glavne karakteristike koje možemo očekivati u nadolazećoj mreži.

Sedmo poglavlje obuhvaća standardizacijske aktivnosti i strategiju uvođenja 5G mreže. Opisuje kada i gdje možemo očekivati prvu komercijalnu upotrebu mreže te opisuje vremensko razdoblje od istraživanja do razvoja 5G sustava i što nas očekuje nakon 2020. godine.

## 2. ANALIZA POSTOJEĆIH 3G I 4G GENERACIJA MOBILNIH MREŽA

Performanse sustava moguće je vrednovati mjerenjem brzine prijenosa aktivne radijske veze (brzina koju prima raspoređeni korisnik) pod različitim prometnim opterećenjima. Ukoliko više korisnika dijeli kanal, tada će brzina koju dobivamo biti niža. Ovakvim mjerenjima moguće je procijeniti kvalitetu, kapacitet i pokrivenost signalom. Kako je bila sve veća potreba za podatkovnim uslugama u svakom trenutku, odnosno bilo kada i bilo gdje, nužna je bila velika brzina prijenosa podataka, te se tada počinje koristiti nova tehnologija poznata kao WCDMA predstavljena u Europi ili CDMA 2000 (engl. *Code Division Multiple Access*) sustav predstavljen u Americi, koji su ujedno 2 glavna standarda ove mobilne mreže [1].

Polazna točka svih mjerenja je WCDMA sustav zasnovan na 3GPP verziji 6, uz korištenje jednostrukog prijenosa i jedne prijemne antene. Procjena performansi ukazuje na to da se konceptom evoluirane radio pristupne mreže mogu postići i više no trostruko veće brzine prijenosa. Usporedbe kapaciteta (dobitak uslijed povećane spektralne efikasnosti) i pokrivenosti (dobitak u odnosu na brzine prijenosa na rubu ćelije) pokazuju slične rezultate. Ovi rezultati pokazuju da postoji potencijal za unaprjeđenje kvalitete, kapaciteta i pokrivenosti za pojedinog korisnika, odnosno za smanjenje ukupnog troška infrastrukture za ostvarivanje određenih zahtjeva za pokrivanjem i kapacitetom kao što je prikazano na slici 1 [1].



Slika 1: Usporedba performansi mreža 3 i 4 generacije sa WCDMA sustavom  
Izvor:[1]



## 2.1 Mobilne mreže treće generacije

Mobilna mreža treće generacije teži za unaprjeđenjem performansi nastalih uvođenjem paketskog prijenosa podataka u mrežama druge generacije. Prvi korak je postavljanje standarda od strane Međunarodne telekomunikacijske unije (engl. *International Telecommunications Union* – ITU) 1985. godine, pod imenom Međunarodni mobilni telekomunikacijski sustav 2000 (engl. *International Mobile Telecommunication 2000* – IMT-2000) ili UMTS (engl. *Universal Mobile Telecommunications System*) koji definira rad pokretnih sustava s multimedijским uslugama u frekvencijskom području 2000 MHz, te je prema [2], sadržavala sljedeće karakteristike: pristup Internetu sa brzinama prijenosa do 2 Mbps unutar građevina te za mobilne stanice brzine manje od 10 km/h, 384 Kbps za terminalne uređaje koji se kreću brzinom do 120 km/h i 144 Kbps u nenaseljenim područjima i u slučaju gibanja bržeg od 120 km/h; usluge u stvarnom vremenu (npr. prijenos slike, zvuka ili video zapisa) te istodobno korištenje više usluga; globalni roaming; visoki stupanj zaštite prijenosnih podataka i prijelaz bez prekida sa druge na treću generaciju.

Današnji unaprijeđeni 3G sustavi moraju uključivati i funkcionalnosti kojima će se povećati trenutačno dostupne performanse sustava. Potrebe novih za visokim brzinama prijenosa podataka kao i zahtjevi krajnjih korisnika potiču evoluciju. Evoluirani WCDMA sustav podržava i unaprjeđuje širokopojasni pristup – usluge koje podržava sustav zasnovan na R99 (engl. *Release99* – prva specifikacija UMTS sustava, puštene u pogon 2001. godine) s ciljem poboljšanja u verzijama 5 i 6 (engl. *Release 5 & 6*) 3GPP specifikacija.

Prvi korak u evoluciji WCDMA sustava predstavlja uvođenje paketnog prijenosa velikim brzinama u silaznoj vezi - HSDPA (engl. *High Speed Downlink Packet Data Access*). HSDPA pruža poboljšane performanse u usporedbi sa prijašnjim generacijama. Prema [1], za ne garantirane (engl. *best effort*) usluge vezane uz paketski prijenos:

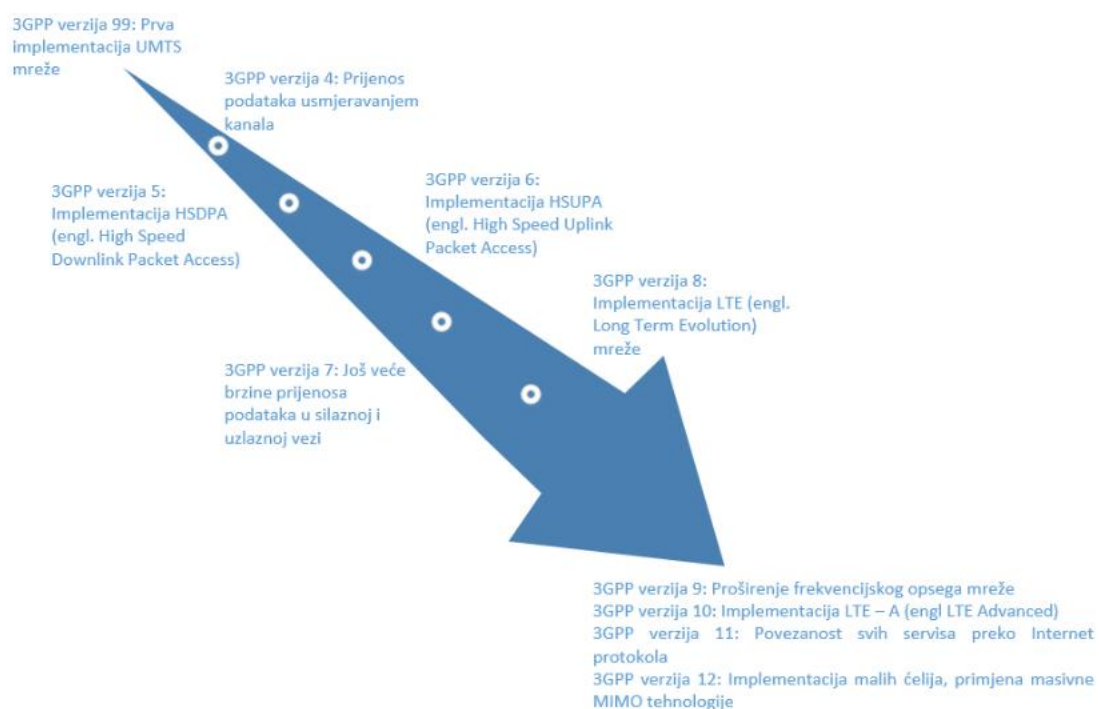
- Unaprijeđenu kvalitetu komunikacije s kraja na kraj (engl. *end-to-end*), čime se znatno ubrzava vrijeme potrebno za preuzimanje podataka (engl. *download*)
- Veće vršne brzine prijenosa – do 14 Mbps
- Smanjeno vrijeme čekanja (latencija) za 50 % (prosječno 75 ms)
- 3 do 4 puta veći kapacitet sustava u odnosu na prvu specifikaciju UMTS mreže

Iako je kod razvoja HSDPA tehnologije naglasak prvenstveno stavljen na usluge bez garantirane razine kakvoće, očito je da se i drugi tipovi usluga (npr. engl. *streaming*) mogu koristiti poboljšanjima koja nisu vidljiva samo u radijskoj pristupnoj mreži, već i u performansama koje opaža krajnji korisnik uslijed poboljšane interaktivnosti s npr. TCP/IP (engl. *Transfer Control Protocol/Internet Protocol*) protokolom.

Slijedeći korak u evoluciji WCDMA sustava dolazi s verzijom 6 (engl. *Release 6*) prema 3GPP (engl. *Third – Generation Partnership Project*) specifikaciji, uz uvođenje poboljšane uzlazne veze (engl. *Enhanced Uplink – E-UL*), tehnologije poznate i pod nazivom paketni prijenos velikim brzinama u uzlaznoj vezi (engl. *High Speed Uplink Packet Access - HSUPA*), a koji podržava:

- Veće vršne brzine prijenosa u uzlaznoj vezi – do 5.8 Mbps
- Smanjeno vrijeme čekanja – do 50 ms
- Povećan kapacitet uzlazne veze: 50 – 100%

HSDPA i E-UL, zajedničkim nazivom označeni kao paketni prijenos velikim brzinama (engl. *High Speed Packet Access – HSPA*) značajno povećavaju kapacitet sustava, što omogućava podršku za veći broj istovremenih korisnika uz veće brzine prijenosa kao što je vidljivo na slici 2 [1].



Slika 2: Evolucija 3G mobilne mreže

Izvor: [12]

Daljnja unaprjeđenja koja dolaze s verzijom 7 (engl. *Release 7*) 3GPP specifikacija, u potpunosti mogu iskoristiti potencijal HSPA sustava:

- Silazna veza (engl. *Downlink*):
  - Vršna brzina – najmanje 40 Mbps
  - Prosječna korisnička propusnost – najmanje 10 Mbps
  - Propusnost na rubu ćelije – najmanje 3 Mbps
- Uzlazna veza (engl. *Uplink*):
  - Vršna brzina – najmanje 10 Mbps
  - Prosječna korisnička propusnost – najmanje 4 Mbps
  - Propusnost na rubu ćelije – najmanje 1.5 Mbps

Za ostvarivanje ovih ciljeva nužna pretpostavka je upotreba modulacije višeg reda kao i tehnologije višestruki ulaz – višestruki izlaz (engl. *Multiple Input – Multiple Output - MIMO*), a postoji i mogućnost izvedbe na više nositelja, npr. u frekvencijskom opsegu od 10 MHz [1].

## 2.2 Mobilne mreže četvrte generacije

Prvi ključni korak razvoja LTE (engl. *Long Term Evolution*) standarda predstavljalo je odobravanje specifikacija fizičkog sloja zasnovanog na OFDMA (engl. *Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*) pristupu. Krajem 2008. godine konačno je odobreno zamrzavanje<sup>1</sup> LTE standardiziranih funkcionalnosti kao 8. dijela izdanja (engl. *Release 8*) 3GPP specifikacija, čime su one postale dovoljno stabilne za komercijalnu izvedbu. Niz operatora pokazao je veliku opredijeljenost za upotrebu LTE tehnologije pa je efikasan i brz ciklus razvoja novog standarda, od svega 5 godina, omogućio realizaciju planova rane implementacije već krajem 2009. godine. Ovdje je bitno naglasiti da po prvi puta postoji prilika da zaživi jedan globalni telekomunikacijski standard. Naime, čak i operatori koji koriste 3G tehnologije izvan 3GPP svijeta (npr. CDMA2000 u Americi i Aziji ili TD-SCDMA u Kini) prihvaćaju LTE kao tehnologiju za evoluciju svojih mreža.

---

<sup>1</sup> Zamrzavanje označava nemogućnost bilo koje promjene specifikacije, odnosno finalnu verziju specifikacije

Ključni ciljevi s aspekta performansi koje 3GPP stavlja pred LTE, prema [1] su:

- Visoke brzine prijenosa – vršne brzine prijenosa podataka preko 100 Mbps u silaznoj vezi, odnosno 50 Mbps u uzlaznoj vezi, te ostvarivost 2-3 puta većih brzina na rubu ćelije u odnosu na HSPA verziju 6
- Smanjenje vremena čekanja – niska latencija (ispod 10 ms) u korisničkoj ravnini, kao i smanjenja kašnjenja povezanog s procedurama u kontrolnoj ravnini (npr. uspostava sesije ispod 100 ms)
- Visoka spektralna efikasnost – 2-3 puta veća u odnosu na HSPA verziju 6
- Umjerena potrošnja snage u terminalima
- Fleksibilnost upotrebe različitih frekvencijskih opsega uz široku mogućnost izbora širine pojasa (1,4; 3; 5; 10; 15 ili 20 MHz) te izbor između FDD (engl. *Frequency Division Duplex*) i TDD (engl. *Time Division Duplex*) moda rada
- Pojednostavljena arhitektura – manje čvorova, a time i manje signalizacije
- Pojednostavljeno održavanje – podrška za samo-organizirajuće mreže (engl. *Self Organising Networks* – SON), npr. mogućnost automatske konfiguracije
- Isplativa migracija sa trenutnih mreža – mogućnost ponovnog korištenja dosadašnjih mreža

Početak 2010. godine 9 verzija (engl. *Release 9*) 3GPP specifikacija uvodi nove funkcionalnosti, uglavnom vezane uz održavanje mreže i proširenje upotrebe frekvencijskih opsega (npr. Europa od 900 do 2100 MHz, a kasnije 800 MHz). Problem upotrebe nižih frekvencijskih opsega javlja se zbog upotrebe analogne televizije (800 MHz) koja je u upotrebi bila do nedavno u susjednim zemljama<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Analogna televizija ugašena 2014. godine u Republici Srbiji te 2015. godine u Republici Bosne i Hercegovine

	Verzija 8	Verzija 8	Verzija 9	Verzija 10
<b>Brzina prijenosa podataka u silaznoj vezi</b>	150 Mbps	300 Mbps	600 Mbps	1000 Mbps
<b>Brzina prijenosa podataka u uzlaznoj vezi</b>	50 Mbps	75 Mbps	150 Mbps	500 Mbps
<b>Modulacijska tehnika</b>	OFDM	OFDM	OFDM	OFDM
<b>Antenska konfiguracija</b>	2×MIMO	4×MIMO	4×MIMO	8×MIMO
<b>Frekvencijski opseg</b>	Do 20 MHz	Do 20 MHz	20 + 20 MHz	100 MHz

Tablica 1: Evolucija 4G mobilne mreže  
Izvor: [4]

3GPP verzija 10 (engl. *Release 10*) predstavlja napredni LTE standard (engl. *LTE Advanced*) te među značajnim karakteristikama, vidljive u tablici 1, i zahtjevima, prema [5], su sljedeći:

- Vršne brzine prijenosa podataka za silaznu vezu 1 Gbps, a za uzlaznu vezu 500 Mbps
- Dvostruko veća brzina podataka na rubu ćelije u odnosu na LTE
- Prosječna brzina prijenosa podataka po korisniku 3 puta veća u odnosu na LTE
- Frekvencijsko područje 70 MHz za Downlink i 40 MHz za Uplink

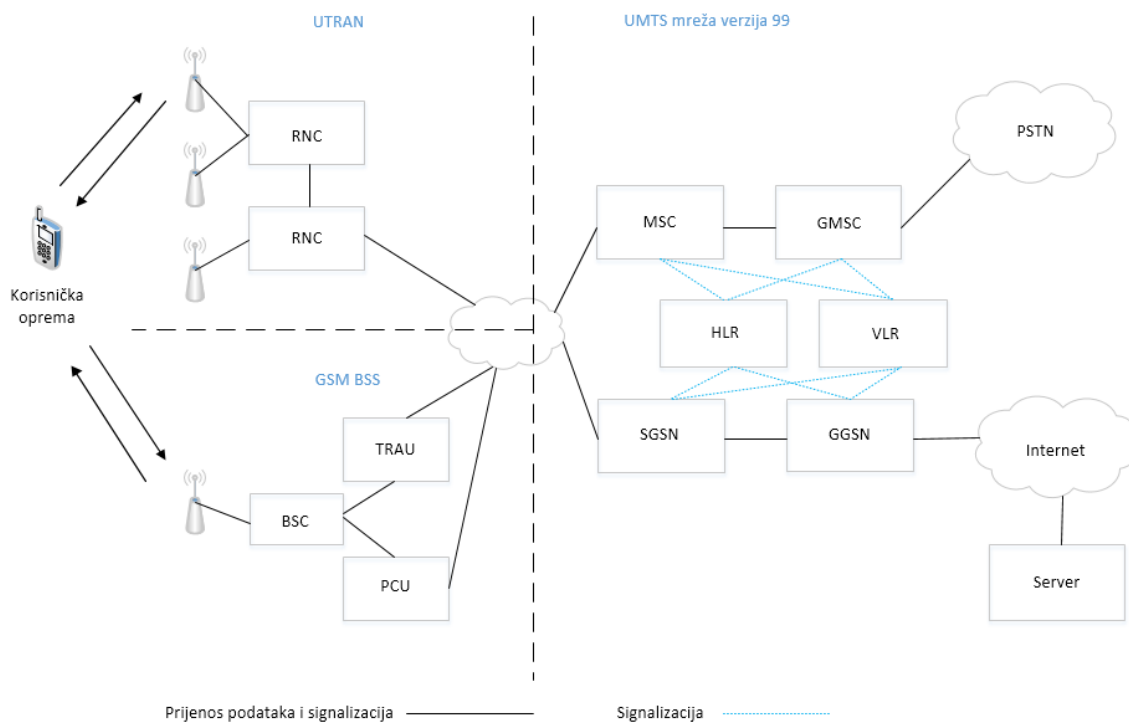
Četvrta generacija (4G) mobilnih mreža nastala je zahvaljujući sve većoj potražnji za paketnim prijenosom podataka koji ne spada pod klasičnu glasovnu telefoniju, pa je tako glavna razlika između mreža treće i četvrte generacije, odnosno UMTS-a i LTE-a, brzina prijenosa podataka, metoda prijenosa, pristupna tehnologija, kvaliteta usluge i zaštita korisnika mobilne mreže.

### 3. TRANSMISIJSKI SUSTAVI U 3G I 4G MREŽAMA

Kako bi se osigurala dugoročna konkurentnost 3G sustava, 3GPP je pokrenuo istraživanje nazvano Evoluirana UMTS zemaljska radijska pristupna mreža (engl. *UMTS Terrestrial Radio Access Network - Evolved UTRA and UTRAN*) čiji je cilj istražiti mogućnosti ostvarivanja značajnog napretka performansi, prvenstveno povećanja brzine prijenosa i smanjenja vremena čekanja (latencije), a koji bi omogućili poboljšano pružanje usluga, kao i manje troškove za korisnike i operatore. U početnoj fazi na UMTS sustavu, samo je FDD način rada bio strogo definiran, dok TDD je dodan kasnije za neuparene frekvencijske raspone kako bi sustav bio u potpunosti iskorišten. Maksimalne brzine prijenosa u silaznoj i uzlaznoj vezi povećavaju se korištenjem više antenskih rješenja, kako na osnovnoj postaji, tako i u terminalnim uređajima. To uključuje metode višeslojnih prijenosa, odnosno, višestruki ulaz – višestruki izlaz (MIMO). Uz kombinaciju navedenih elemenata, implementirana je modulacijska tehnika koja se zasniva na upotrebi ortogonalnog multipleksiranja frekvencijskim odvajanjem (engl. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM*) s OFDMA (engl. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) višestrukim pristupom u silaznoj vezi te višestrukog pristupa s frekvencijskom raspodjelom na jednom nositelju (engl. *Single Carrier Frequency Division Multiple Access – SC-FDMA*) u uzlaznoj vezi. Time su ispunjeni zahtjevi koji se stavljaju pred mreže četvrte generacije (4G) [4].

#### 3.1 Transmisijski sustav UMTS mreže

Kod treće generacije mobilnih mreža primijenjeno je WCDMA (engl. *Wideband Code Division Multiple Access*) zračno sučelje koje radi unutar frekvencijskog spektra od 5 MHz. Mobilni uređaj se uključuje u sustav putem UTRAN (engl. *UMTS Terrestrial Radio Access Network*) pristupne mreže koja sadržava nove elemente kao što su, čvor-B (engl. *Node-B*) i kontroler radijske mreže (engl. *Radio Network Controller - RNC*). Jezgrena mreža je podijeljena na analogni dio, tzv. „*circuit switched*“ i na paketni dio, kao i kod GPRS mreže te zajednički dio (engl. *Equipment Identity Register – EIR, Authentication Center – AU, Home Location Register – HLR*) kao što je vidljivo na slici 3 [5].



Slika 3: UMTS mreža  
Izvor: [3]

Koncept raspodjele baznih stanica i kontrolera radijske mreže preuzet je iz GSM mreže, gdje BTS i BSC (engl. *Base Transciever Station* i *Bace Station Controler*) predstavljaju Node-B i RNC. UE (engl. *User Equipment*) predstavlja terminalne uređaje spojene na UMTS mrežu.

Nadogradnja postojeće mreže i uporaba HSDPA sustava omogućava korisniku vršnu brzinu prijenosa od 14.4 Mbps u silaznoj vezi, uz primjenu 2x2 antenske konfiguracije. Takva konfiguracija označava 2 prijamne i 2 odašiljačke antene postavljene na svim primopredajnim uređajima.

HSPA primjenjuje unaprijeđenu MIMO tehniku i antenskim formiranjem više prostorno odvojenih elektromagnetskih dijagrama zračenja (engl. *Beam-Forming*) postiže vršne brzine prijenosa podataka do 42 Mbps. Na strani od mobilne prema baznoj stanici (uzlazna veza) HSUPA postiže brzinu prijenosa do 5.8 Mbps.

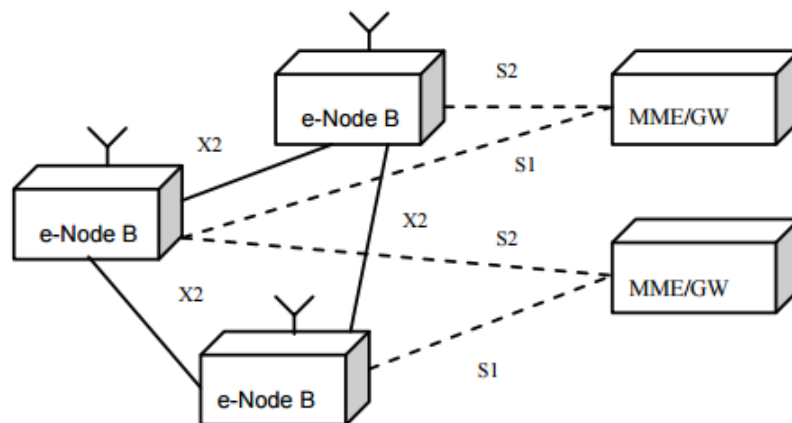
Slijedeća stepenica u razvoju mreže treće generacije predstavlja HSOPA (engl. *High Speed OFDM Packet Access*) koji koristi frekvencijski spektar od 1.25 do 20 MHz i postiže vršne brzine prijenosa u silaznoj vezi od 200 Mbps i 100 Mbps u uzlaznoj vezi. OFDM

tehnologija predstavlja zadnju evoluciju mobilne mreže treće generacije (3G) i početak nove, četvrte generacije (4G) [5].

### 3.2 Transmisijski sustav LTE mreže

LTE mrežu čini nova i pojednostavljena arhitektura radijske i jezgrene mreže koja sadržava samo dva glavna elementa: razvijeni čvor-B (engl. *Evolved Node-B* – eNode-B) i jedinicu za upravljanje mobilnošću (engl. *Mobility Management Entity/Gateway* – MME/GW). Kontroler radijske mreže (RNC) je maknut, a njegove funkcije su uključene u razvijeni čvor-B i time je znatno smanjeno kašnjenje signala. Sva sučelja (S1 i X2) su temeljena na Internet protokolu IP (engl. Internet Protocol).

LTE arhitektura, vidljiva na slici 4, sadržava i dva logička pristupna elementa, S-GW (engl. *Serving Gateway*), koji opslužuje mobilni uređaj primajući i šaljući pakete i P-GW (engl. *Packet Gateway*), koji predstavlja sučelje prema vanjskim paketnim mrežama te provodi i dodatne funkcije kao što su dodjeljivanje adresa, filtriranje i usmjeravanje paketa [6].



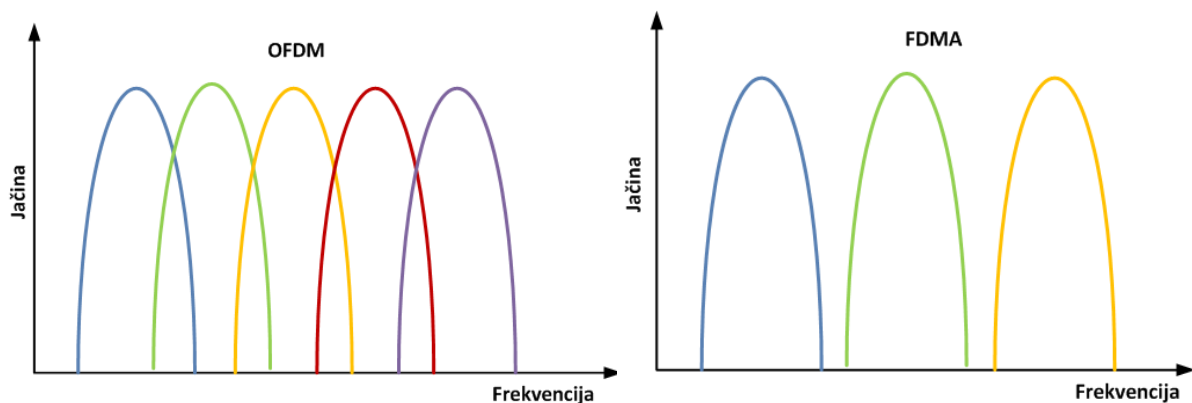
Slika 4: Osnovna arhitektura LTE mreže

Izvor: [5]

Izbor OFDM tehnologije za LTE omogućava prilagodbu prijenosnih parametara sustava u frekvencijskoj domeni, zadovoljavajući za spektralnom efikasnosti, a prikladna je i za neusmjereno ili grupno odašiljanje (engl. *Broadcast ili Multicast*).



OFDM je modulacijska tehnika izrazito otporna na frekvencijski selektivno slabljenje (engl. *Fading*) i stoga pokazuje dobre performanse u visoko vremenski disperzivnim radijskim okruženjima<sup>3</sup>. Sveukupni tok podataka razdvaja se u veliki broj tokova koji se potom prenose na zasebnim podnositeljima, prikazano na slici 5. Budući da svaki podnositelj ima nisku brzinu prijenosa simbola, njihovo trajanje je produženo. Svakom korisniku dodijeljena je različita frekvencija, a signali putuju paralelno po komunikacijskom linku podijeljeni po frekvencijama. Samim time smanjen je i utjecaj među simbolne interferencije (engl. *Inter Symbol Interference* – ISI). Kako su podnositelji postavljeni tako da svi ostali imaju vrijednost nula u trenutku uzrokovanja pojedinog podnositelja, ostvarena je njihova potpuna ortogonalnost<sup>4</sup> [4].



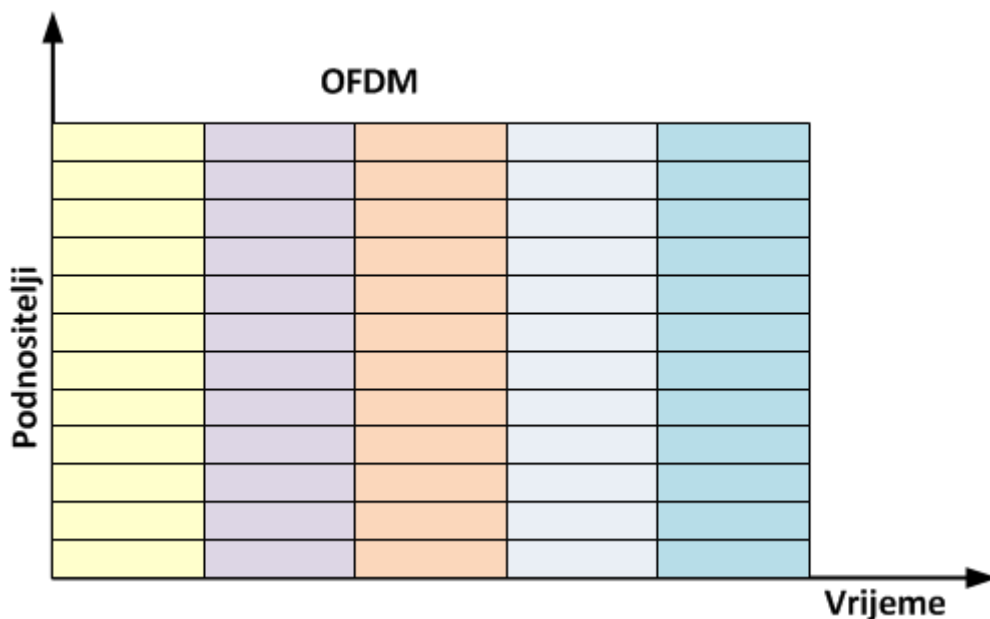
Slika 5: Usporedba OFDM i FDMA sustava

Svaki od podnositelja nosi jedan OFDM simbol koji sadrži informacijske bitove modulirane QPSK (engl. *Quadrature Phase-Shift Keying*), 16 QAM (engl. *Quadrature Amplitude Modulation*) ili 64 QAM modulacijom, što znači da imamo 2, 4 ili 6 bita po simbolu. Mijenjanjem broja podnositelja moguća je podrška za različite pridjeljenje širine frekvencijskog pojasa, koji kod LTE mreže iznosi od 1,4 do 20 MHz.

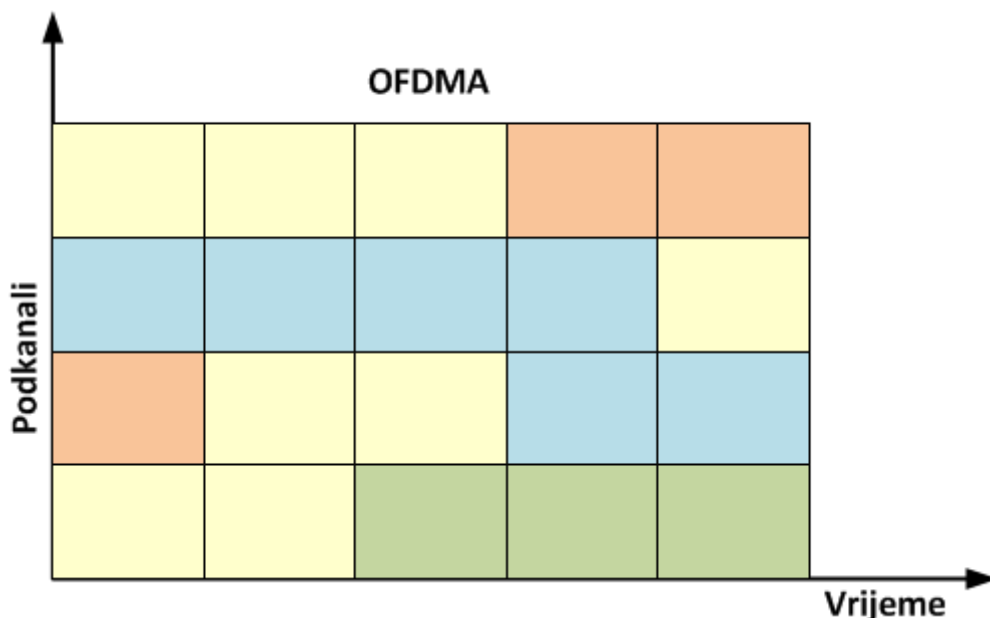
Budući da kod OFDM sustava, samo jedan korisnik može slati podatke preko svih podnositelja u bilo kojem vremenskom intervalu, OFDMA tehnika multipleksiranja je rješenje koje dozvoljava većem broju korisnika istovremeno slanje podataka na različitim podnositeljima, prikazano na slici 6 i 7. Moguće je dodjeljivanje određenog broja podnositelja određenom korisniku u određenom vremenskom intervalu. Takvo udruživanje podnositelja naziva se podkanal [4].

<sup>3</sup> Označava urbano okruženje u nekom gradu

<sup>4</sup> Dvije funkcije (signali) su ortogonalne ako je površina funkcije koja je rezultat njihovog umnoška na intervalu (a, b) jednaka nuli



Slika 6: OFDM sustav



Slika 7: OFDMA sustav

Maksimalne brzine prijenosa podataka u silaznoj i uzlaznoj vezi ovise o konkretnoj konfiguraciji – povećavaju se korištenjem složenijih MIMO konfiguracija (umjesto 2 predajne i prijemne antene, koriste se 4 ili 8 antena), korištenjem modulacija višeg reda (64 QAM) i u uzlaznoj vezi te povećanjem širine pojasa (kombiniranjem više pojasa ili širenjem pojasa do 100 MHz). Time su ispunjeni zahtjevi koji se stavljaju pred mreže četvrte generacije (4G), a doneseni su 10 i 11 verzijom (engl. *Release 10 & 11*) 3GPP specifikacija LTE-Advanced tehnologije koja se ubraja u prvu četvrtu generaciju [3].

## 4. MOBILNA MREŽA 4.5 GENERACIJE

Glavne razlike koje mrežu 4.5 generacije (4.5G) čine naprednijom od mreže četvrte generacije su povećanje brzine prijenosa podataka u uzlaznoj i silaznoj vezi, smanjenje troškova održavanja, povećanje vršne propusnosti na krajevima ćelija te vrlo velikoj učinkovitosti uporabe frekvencijskog spektra. Prosječne brzine prijenosa podataka u uzlaznoj vezi bi trebale biti 2 do 3 puta veće u odnosu na mrežu četvrte generacije, a kapacitet mreže od 3 do 5 puta veći. Vrijeme čekanja, odnosno latencija, biti će manja za više od 50 %, pa tako od pritiska na tipku download, do početka skidanja datoteke neće biti potrebno 12 ms kao u dosadašnjim mrežama, već svega 5 do 6 ms [13].

Mreže 4.5 generacije imaju tendenciju postati pametnim mrežama na način da se prilagođavaju promjenama u okolini, pa bi se tako tijekom vršnih prometnih sati njihova snaga pojačavala, a kada bi promet bio u mirovanju, snaga bi se smanjivala bez utjecaja ljudskog faktora.

Relativno jednostavan način za povećanje prijenosa podataka svakog korisnika mreže 4.5 generacije je proširenje pojasne širine koja iznosi 20 MHz. Kao primjer, kombinacijom konfiguracija širine spektra LTE2600 (Širina prijenosnog kanal 2600 MHz) i LTE1800 (Širina prijenosnog kanala 1800 MHz) u jednu pojasnu širinu koja bi tada, teoretski, iznosila 40 MHz u silaznoj vezi. Takvo spajanje pojasnih širina naziva se sakupljanje nosioca signala (Carrier aggregation). Trenutno, ovakva konfiguracija mreže u Europi nije moguća zbog relativno malog frekvencijskog opsega koji je ponuđen mrežnim operaterima na tržištu [3].

Kako nova generacija mreža zahtjeva i novu generaciju terminalnih uređaja, kao podrška sakupljanju nosioca signala i novim MIMO konfiguracijama, definirane su 3 nove kategorije uređaja prema [3]:

- 6 kategorija – prikuplja nosioce signala iz dva frekvencijska područja širine 20 MHz sa 2x2 MIMO antenskom konfiguracijom u silaznoj vezi.
- 7 kategorija – uređaj u silaznoj vezi ima potpuno iste karakteristike kao u 6 kategoriji uz poboljšanja na uzlaznoj vezi tako da podržava frekvencijsko područje širine 20 MHz sa 2x2 MIMO antenskom konfiguracijom
- 8 kategorija – uređaj u silaznoj vezi prikuplja nosioce signala iz dva frekvencijska područja širine 20 MHz sa 8x8 MIMO antenskom konfiguracijom i 4x4 u uzlaznoj vezi

Mobilnim mrežama 4.5 generacije smatramo GiGA LTE i napredni LTE (engl. *LTE Advanced*) verzija 12 i 13 (engl. *Release 12 & 13*).

GiGA LTE je mobilna mreža 4.5 generacije kojoj je cilj približiti svijetu skori dolazak mreža pete generacije, svojim impresivnim performansama. MIMO tehnologija korištena u naprednom LTE standardu, u kombinaciji sa sakupljanjem nosioca signala bio je prvi korak k stvaranju ove mobilne mreže. Prva ovakva mreža pokrenuta je u Južnoj Koreji sredinom 2015. godine.

GiGA LTE omogućuje korisniku prijenos podataka do 1.17 Gbps u silaznoj vezi što ovu mrežu, trenutno, čini najbržom na svijetu. Za postizanje ovako visokih brzina prijenosa, zaslužen je sakupljanje nosioca signala iz tri različita frekvencijska područja LTE mreže u kombinaciji sa frekvencijskim područjem Wi-Fi (engl. *Wireless-Fidelity*) sustava vidljivo na slici 8. Takvo korištenje frekvencijskog spektra i vrlo velika pojasna širina daju prosječnu brzinu prijenosa podataka od 600 do 700 Mbps.



Slika 8: GiGA LTE  
Izvor: [6]

LTE – U (engl. *LTE – Unlicensed*) predstavlja nelicencirani LTE standard koji je kombiniran sa frekvencijskim područjem od 5 GHz na kojem radi Wi-Fi tehnologija.

Do 2020. godine očekujemo porast podatkovnog prometa do 1000 puta, razvoj novih tehnologija kao što je 8k video (video od 8000 piksela) i pojavu holograma. Takve tehnologije nose vrlo velike količine podataka te zahtijevaju još veću brzinu podatkovnog prometa stoga nam je potrebna nova generacija mobilnih mreža kao bi mogla odgovoriti na dane zahtjeve [6].

## 5. ARHITEKTURA 5G MREŽE

Tijekom proteklih desetljeća, mobilne komunikacije su napredovale od isključivo prijenosa glasa, do današnjih „*always on*“ komunikacija. Velik napredak je vidljiv i u individualnim komunikacijama. U ranim danima ona se mogla isključivo obavljati od čovjeka do čovjeka, a danas je moguće komunicirati s jednim mobilnim uređajem prema svima, odnosno prema fiksnim ili mobilnim (autonomnim ili upravljanim od strane ovlaštene osobe) komunikacijama, uključujući usluge bazirane u oblaku.

Percepcija mobilnih uređaja u potpunosti se promijenila. U nastajanju mobilnih mreža, težilo se da korisnik bude u centru odvijanja komunikacija, a danas je to slučaj sa sadržajem. Sadržaj je u centru odvijanja komunikacija te nam može ponuditi mnogo usluga vezanih uz naš terminalni uređaj. Glavni izazov svih mobilnih operatera u stvaranju mobilne mreže pete generacije (5G) upravo će biti postavljanje sadržaja potrebnog korisnicima u oblak. Takav način komunikacije bi korisnicima dao potpuno nove mogućnosti u korištenju mobilne mreže.

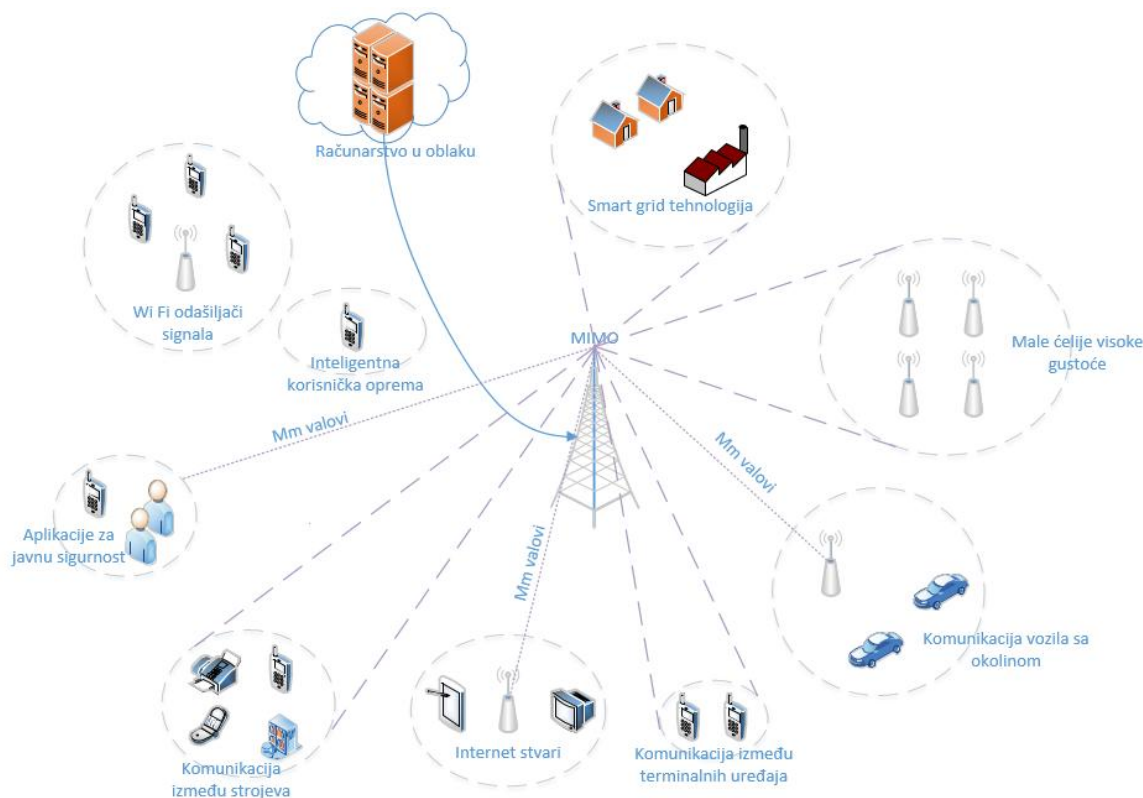
Mobilna mreža pete generacije neće biti samo evolucija širokopojasne mreže, već jedinstvena mreža sa potpuno novim uslužnim mogućnostima. Kao prvo, osigurati će korisniku vrlo velike brzine prijenosa podataka u slučaju visoke mobilnosti (npr. vožnja automobilom po autoputu) ili u područjima manje naseljenosti, novim tehnologijama. Kasnije, novim verzijama i nadogradnjama, 5G mreža će biti ključ u povezivanju svih uređaja u jednu cjelinu, zvanu Internet stvari (engl. *Internet of Things – IoT*).

5G mreža pružiti će korisniku niz poboljšanja performansi u smislu povećanja kapaciteta mreže, manjeg vremena čekanja (latencije), više mobilnosti te povećanje pouzdanosti i sigurnosti mreže. Omogućiti će puno veću simultanu povezanost terminalnih uređaja na istu baznu stanicu, produljit će vijek trajanja baterija terminalnih uređaja i pomoći korisnicima u upravljanju vlastitim podacima.

Dizajn mreže osiguravati će veliku fleksibilnost, a sama mreža biti će temeljena na uslužnom pristupu (engl. *service approach*), što znači da će svi podaci i alati biti pohranjeni u

oblaku<sup>5</sup> i uvijek biti dostupni korisniku na bilo kojem mjestu. Mreža će se brzo prilagođavati raznim zahtjevima korisnika pružajući mogućnost kontrole bilo kojeg resursa iz područja IT (engl. *Information Technology*) tehnologija.

Arhitektura 5G mreže, prikazana na slici 9, drastično će se promijeniti u usporedbi sa prijašnjim generacijama, u cilju postizanja željenih performansi, osobito smanjenja vremena kašnjenja i pouzdanosti te podrži novim poslovnim modelima. Arhitektura će težiti podrži širokom opsegu aplikacija kao što je mobilni Internet visokim brzinama (engl. *multi-Giga-bit-per-second*) pa sve do direktne komunikacije između dva ili više susjedna terminalna uređaja (engl. *Device to Device – D2D*) ili komunikacije vozila sa okolinom (engl. *Vehicle to X or Vehicle to Vehicle – V2X or V2V*) što će uvelike pomoći pri izbjegavanju zagušenja u prometu, nezgoda na cesti i smanjenju ispušnih plinova [7],[8].



Slika 9: Arhitektura 5G mreže  
Izvor: [8]

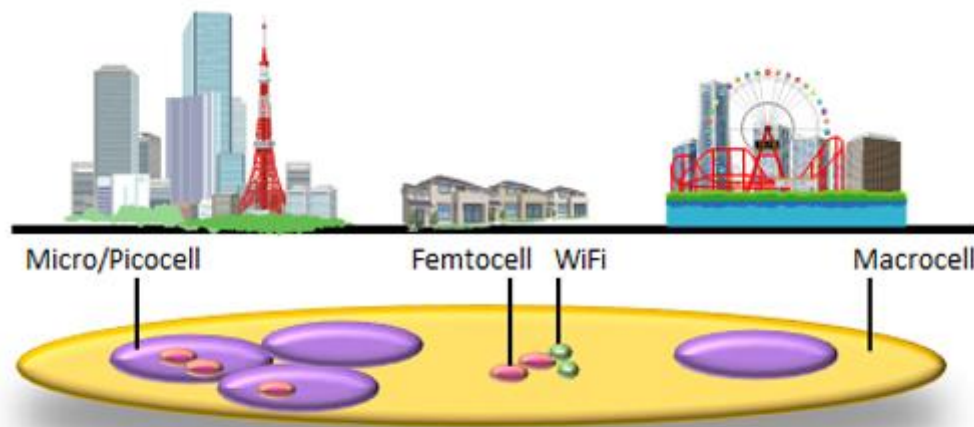
<sup>5</sup> Oblak je termin koji se koristi u opisu Interneta, odnosno koncept koji nudi pristup osobnim podacima ili aplikacijama, a da oni nisu smješteni na osobnom računaru

Računarstvo u oblaku (engl. *Cloud computing*) temelji se na pružanju računalnih resursa kao usluge umjesto kao proizvoda. Usluga se krajnjim korisnicima dostavlja preko Interneta, a korisnik plaća uslugu onoliko koliko je koristi. Osnovna ideja ovog servisa je pružanje računalnih sadržaja po potrebi u bilo koje vrijeme na bilo kojem mjestu, uz jedini uvjet, Internet vezu. Glavna karakteristika ovog servisa je pružanje usluge na zahtjev, što omogućuje veliku elastičnost mreže. Dijeljenje sadržaja pohranjenog u oblaku može se odvijati isključivo iz jednog oblaka ili više oblaka koji su povezani, udruživanjem resursa. Stupanj i vrijeme dostupnosti svakog privatnog sadržaja u oblaku kontrolira korisnik te postavlja sigurnosne postavke kome će taj sadržaj biti vidljiv, a kome ne. [8].

MIMO antenske konfiguracije su nužne za tehnologiju pete generacije. U svakoj baznoj stanici implementirati će se masivna MIMO tehnologija (engl. *Massive MIMO technology*) što znači da će svaka bazna stanica sadržavati vrlo velik broj antena u svrhu povećanja brzine podataka i kapaciteta mreže. Masivna MIMO tehnologija omogućiti će posluživanje puno većeg broja korisnika istovremeno u istom frekvencijskom opsegu uz znatnu uštedu energije, uporabom jednostavne sheme upravljanja snagom. Smart grid tehnologija je još jedna u nizu zanimljivih aplikacijskih rješenja predviđenih za 5G, a temelji se na upotrebi naprednih informacijskih i telekomunikacijskih tehnologija koje omogućuju lakše i učinkovitije upravljanje električnom energijom u smislu uštede [21].

Predviđa se nadogradnja postojećih pristupnih mreža sa potpuno novom tehnologijom, koja radi u iznimno visokim frekvencijama. Takva tehnologija će omogućiti revoluciju u mobilnoj industriji, ne samo zbog velike širine slobodnog frekvencijskog pojasa, nego i mogućnosti smanjenja veličine antena koje se ugrađuju u terminalne uređaje. Visoke frekvencije su vrlo kratkog dometa (oko 1 kilometar), pa se ćelijske konstrukcije moraju postaviti na manjoj udaljenosti kako bi cijelo područje prekrivanja bilo prekriveno signalom. Takav način postavljanja ćelija naziva se razvoj manjih ćelija visoke gustoće (engl. *Hyperdense small-cell deployment*) te smanjuje udaljenost bazne stanice od terminalnog uređaja na minimum. Manje ćelije se još dijele na: mikro ćelije, piko ćelije i femto ćelije, poredane po veličini snage raspršivanja signala, od najjače prema najslabije. Razvoj tehnologija poput ove, omogućuje mreži pete generacije izvršenje svog cilja k povećanju kapaciteta od 1000 puta u odnosu na prethodnu mrežu. Uobičajene bazne stanice, poput

današnjih, dobit će ulogu makro ćelija i biti će zadužene za upravljanje nad manjim ćelijama kao što je vidljivo na slici 10 [8].



Slika 10: Razlike u snazi signala različitih veličina ćelija  
Izvor: [9]

Ljubičastom bojom označena je snaga mikro i piko ćelije, crvenom bojom snaga femto ćelije i žutom bojom snaga makro ćelije.

## 5.1 Glavne karakteristike 5G mreže

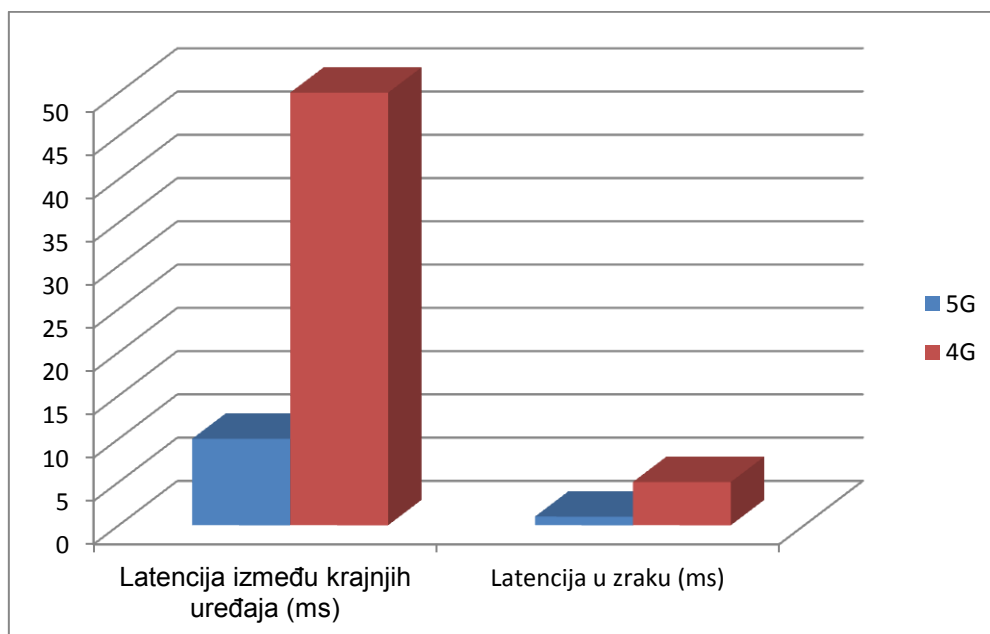
Svakom novom generacijom mobilnih mreža, brzina prijenosa podataka se minimalno udvostručuje s obzirom na prethodnu generaciju. Pa tako glavni zahtjevi koji se stavljaju pred 5G mrežu su povećanje brzine prijenosa podataka, povećanje kapaciteta mreže, smanjenje vremena kašnjenja (latencije) i ušteda energije. Ugradnja novih usluga i aplikacija jednako je bitna kao i povećanje brzine prijenosa podataka ili smanjenja latencije, ali i obrnuto, jer što su aplikacije zahtjevnije, potrebna je i veća brzina prijenosa podataka [16].

Glavna očekivanja od pete generacije mobilnih komunikacija, prema [5] i [16], mogu se sažeti u sljedeća poboljšanja ili nove funkcionalnosti:

- Prosječna brzina prijenosa podataka u pokretu oko 1 Gbps
- Veća učinkovitost upotrebe radijskog spektra



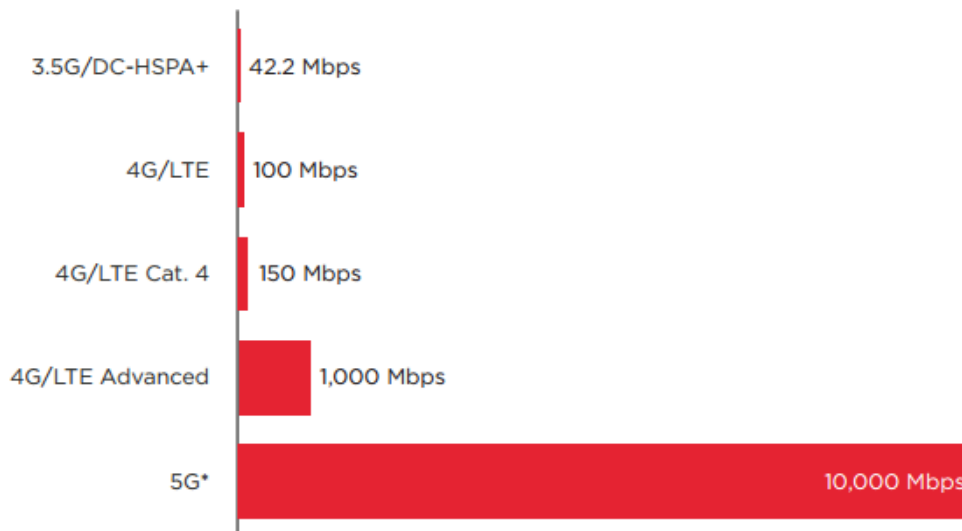
- Poboljšana komunikacijska sigurnost, posebno zbog primjene pametnog radija
- Manje dimenzije i puno duže trajanje baterije, odnosno veća energetska učinkovitost
- Bolja rubna radijska pokrivenost i veća brzina podataka reda 10 Gbps po ćeliji
- Ukupno vrijeme kašnjenja (latencija) od 1 ms
- Mogućnost raspodjele podataka prilikom slanja i primanja kroz dva različita komunikacijska kanala, odnosno dvije različite pristupne mreže
- Za povećanje kapaciteta mreže primjenjivat će se MIMO tehnologija prostornog multipleksiranja radio signala pomoću većeg broja prijemnih i odašiljačkih antena
- Bežični Internet koji će omogućiti širokopojasnu komunikaciju i masovnu primjenu multimedijskog sadržaja
- Pouzdanost usluge od 99.999 %
- Sposobnost posluživanja 1 bilijuna IoT terminalnih uređaja
- Podrška mobilnosti do 500 km/h za promet odvijan na tlu



Slika 11: Razina latencije između 4G i 5G mreža

Izvor: [16]

Grafički prikaz 2 prikazuje odnos latencije između 4G i 5G generacije. Prikazana je latencija u zraku koja za 4G iznosi 10 ms, a za 5G 1 ms i latencija između krajnjih uređaja, koja za 4G iznosi 50 ms, a za 5G 5 ms [16].



Slika 12: Usporedba brzina prijenosa podataka između 5G i ostalih mreža  
Izvor: [19]

Na slici 14 prikazane su brzine prijenosa podataka mobilnih mreža te je vidljivo da će se u petoj generaciji ona drastično povećati na čak 10 Gbps. Kako bi se ispunili zahtjevi stavljeni pred 5G mrežu, potrebno je unaprijediti arhitekturu u nekoliko područja. Ta područja uključuju razvoj ćelija visoke gustoće, razvoj mm valova, dijeljenje frekvencijskog opsega, razvoj samoorganizirajuće mreže, 5G – ENSURE projekt i komunikaciju između strojeva (engl. *Machine Type Communication*).

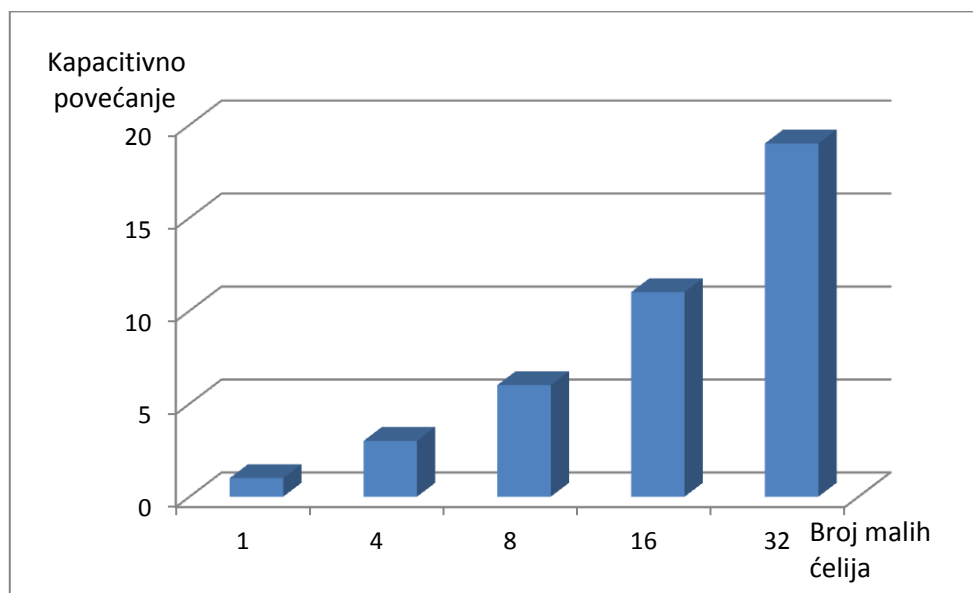
## 5.2 Razvoj manjih ćelija visoke gustoće

Razvoj manjih ćelija visoke gustoće (engl. *Hyperdense small-cell deployment*) je obećavajuće rješenje u cilju postizanja povećanja kapaciteta mreže pete generacije (5G). Ovo inovativno rješenje može značajno utjecati na povećanje spektralne efikasnosti u području djelovanja ćelija. Postoje dva načina postavljanja manjih ćelija visoke gustoće, a to su prema [8]:

- Preklapanjem postojećih ćelijskih sistema manjim ćelijama visoke gustoće i iste tehnologije kao što su mikro, piko i femto ćelije

- Preklapanjem manjim ćelijama visoke gustoće različitim tehnologijama u odnosu na jedan ćelijski sustav (npr. HSPA, LTE, LTE- A i dr.)

Qualcomm, trenutno vodeća kompanija u dostizanju cilja povećanja kapaciteta mreže od 1000 puta u odnosu na prethodnu mrežu, predstavila je i demonstrirala kako dodavanje manjih ćelija visoke gustoće može gotovo linearno povećati kapacitet mreže, odnosno da se kapacitet udvostručuje svaki puta kada udvostručimo broj malih ćelija, vidljivo na grafičkom prikazu 1.



Slika 13: Rast kapaciteta mreže usporedno sa dodavanjem malih ćelija  
Izvor: [8]

### 5.2.1 Mm valovi

Frekvencijski spektar je glavni čimbenik u razvoju mobilnih usluga. Uspjeh mreže pete generacije (5G) temeljit će se na uporabi slobodnog frekvencijskog spektra viših frekvencija u kombinaciji sa danas korištenim frekvencijskim spektrom. Dodjeljivanje novog frekvencijskog spektra, koji će zadovoljiti sve potrebe nove mreže je krucijalan čin u nastajanju 5G tehnologija. To je moguće jedino proširenjem pojasne širine u iznad visoke frekvencije koje se nazivaju milimetar valovi (engl. *mm Waves*). Ćelije koje će raditi na iznad visokim frekvencijama su mikro, piko i femto ćelije, a sve će biti upravljane makro ćelijom.

Mm valovi mogu biti podijeljeni u dvije različite kategorije, prema [10]:

- Mm valovi u frekvencijskom opsegu od 20 do 40 GHz namijenjeni mikro ćelijama
- Mm valovi na frekvenciji od 60 GHz namijenjeni piko i femto ćelijama

Sa porastom broja mobilnih uređaja, porastao je i broj korištenog frekvencijskog spektra. Ta činjenica vodi do dva važna faktora: zahtijevanje frekvencijskog spektra i zagušenje frekvencijskog spektra, koji će biti krucijalni u nadolazećim mobilnim mrežama. Istovremeno, želja korisnika za većim brzinama podataka i korištenje sve većeg frekvencijskog opsega, učiniti će u budućnosti nestanak slobodnog frekvencijskog opsega [10].

### 5.2.2 Dijeljenje frekvencijskog opsega

Zahtjevi korisnika za multimedijским sadržajem i raspolaganjem informacijama, servisima kao što su e-učenje, e-zdravlje i sl. čini svakodnevno povećanje terminalnih uređaja u mreži. Svi terminalni uređaji zahtijevaju korištenje određenog frekvencijskog opsega kako bi prijenos podataka bio moguć pa se teži što učinkovitijem korištenju. U tehnologije nove generacije implementirati će se sustavi za učinkovitije korištenje spektra. Kao primjer takvog predstavljen je sustav „vidno polje“ (engl. *Line Of Sight* – LOS). Radi na frekvencijama do 100 GHz, te smanjuje veličinu komponenti u terminalnom uređaju koristeći više frekvencijskih opsega, spajajući ih u jedan. Takvim načinom spajanja frekvencijskih opsega postiže se veća učinkovitost upotrebe spektra.

Dijeljenje frekvencijskog opsega načinjeno je od tri dimenzije: frekvencije, vremena i lokacije te može biti korišteno od strane više korisnika istovremeno. Neki od primjera dijeljenja frekvencijskog opsega su ponovna upotreba frekvencija u FDMA, a kasnije u TDMA sustavima. Metode za dijeljenje frekvencijskog opsega možemo podijeliti u 3 kategorije, bazirane po prioritetima pristupanju u radijski spektar, prema [10]:

- Horizontalno dijeljenje frekvencijskog opsega: svi terminalni uređaji imaju jednaka prava pri pristupu spektru
- Vertikalno dijeljenje frekvencijskog opsega: primarni korisnici dodjeljuju prioritete pristupa spektru

- Hijerarhijsko dijeljenje frekvencijskog opsega: napredna opcija vertikalnog dijeljenja spektra

### 5.3 Samoorganizirajuća mreža

Samoorganizirajuća mreža (engl. *Self-Organising Network* – SON) je još jedna ključna komponenta 5G mobilne mreže. Kako će rasti broj malih ćelija visoke gustoće, ova mreža će imati sve veću ulogu. U prosjeku, oko 80 % bežičnog prometa odvija se unutar zatvorenog prostora zgrada ili kuća, a kako bi prijenos velike količine podataka bio moguć, potrebne su nam male ćelije visokih gustoća u takvim objektima. Postavljanje ćelija i održavanje biti će isključivo od strane korisnika mobilne mreže, ne uključujući davatelja usluge. Kako bi se korisniku olakšalo postavljanje i korištenje takvog sustava, mreža mora biti samoorganizirajuća, što znači rad na principu „uključi i radi“ (engl. *plug and play*)<sup>6</sup>.

Nadalje, samoorganizirajuća mreža je ujedno i pametna mreža, pa će tako nakon uključivanja znati odrediti prikladan frekvencijski spektar u odnosu na susjedne mreže kako bi interferenciju signala svela na minimum. Kao primjer, manja ćelija se samostalno sinkronizira sa mobilnom mrežom, izvrši provjeru susjednih mreža te postavlja svoj frekvencijski spektar.

Samoorganizirajuća mreža će odlučivati kada koristiti frekvencije iz iznimno visokog spektra, a kada koristiti niže frekvencije, ovisno o potrebi brzine prijenosa podataka, što dovodi do uštede električne energije i baterije terminalnih uređaja spojenih na takvu mrežu [9].

### 5.4 5G – ENSURE

5G – ENSURE (engl. *Enablers for Network and System Security and Resilience*) označava projekt u sklopu pete generacije mobilnih mreža u kojem se nastoji povećati sigurnost i elastičnost mreže. Potreba za novom sigurnosnom arhitekturom mreže proizlazi iz činjenice da će 5G platforma biti značajno više razdvojena od hardvera i fizičke kontrole

---

<sup>6</sup> Osobina sustava da automatski prepozna novi uređaj umetnut ili spojen na terminalni uređaj te odmah započinje sa radom programa ili aplikacije

mreže. Svrha 5G – ENSURE projekta je osigurati reference sigurnosne arhitekture za mrežu pete generacije uz sljedeće korake, prema [11]:

- autorizacijom korisnika
- privatnost
- povjerenje
- sigurnosno nadgledanje
- upravljanje mrežom

Glavni cilj ovog projekta je postaviti temelje za sve buduće projekte vezane uz sigurnost 5G mreže. Kako bi ovaj projekt bio uspješan, moraju se zadovoljiti sljedeći zahtjevi, prema [11]:

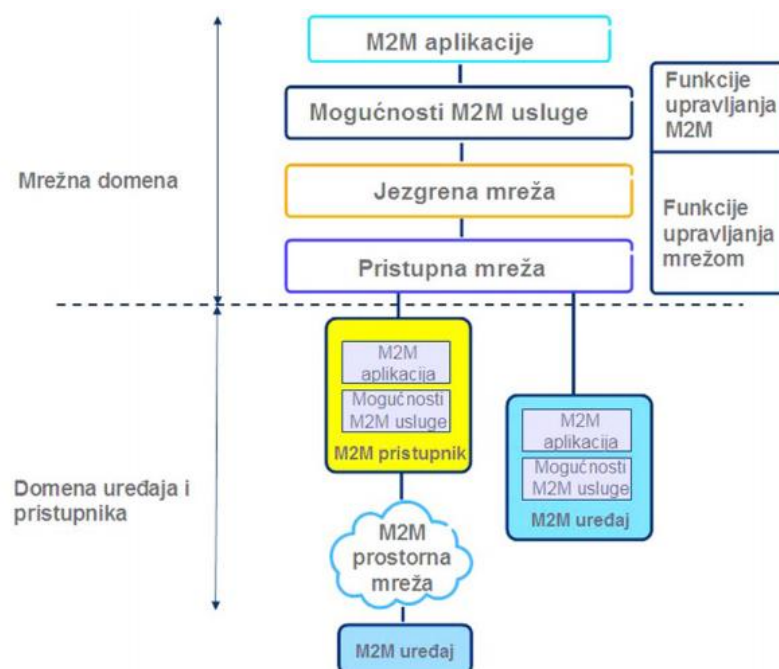
- prikupiti, analizirati i po prioritetu postaviti sigurnosne zahtjeve
- definirati sigurnosnu arhitekturu 5G mreže
- odrediti, razviti i testirati sigurnosne aspekte mreže
- demonstrirati potencijal mreže široj javnosti
- reklamirati i predstaviti rezultate projekta

## 5.5 Machine Type Communication

Broj umreženih strojeva stalno raste, mijenjajući percepciju uobičajene komunikacije prema mrežama koje su neovisne o ljudskoj interakciji. Komunikacija između strojeva (engl. *Machine to Machine* – M2M) je nastala kao nova komunikacijska paradigma koja omogućava da strojevi međusobno komuniciraju bez ljudske intervencije. M2M komunikacije su potaknule veliku raznovrsnost aplikacija uključujući prometna mjerenja, udaljeno praćenje zdravstvenog stanja, upravljanje vozilima i praćenje vozila, udaljeni nadzor i druge aplikacije. Ovo zahtjeva razvoj novih rješenja za učinkovito posluživanje velikog broja uređaja, što će omogućiti 5G mreža. Komunikacija između strojeva omogućiti će usluge vezane uz javnu sigurnost kao što su rješenja koja adresiraju potrebe poput transporta, komunalnih službi i zdravstva [14].

M2M aplikacije primjenjive su u mnogo segmenata industrije i mogu biti prilično različite. Tipične aplikacijske domene su automatizacija u industriji, transport i logistika, upravljanje sredstvima, komunalne službe i zdravstvo. Dodatno se, zbog naglog porasta broja potrošačke elektronike s ugrađenom mogućnošću povezivanja i uslugama, može i potrošačka elektronika smatrati kao aplikacijska domena. Primjeri potrošačke elektronike su električni čitači knjiga (engl. *e-reader*), izvođači mp3 datoteka i digitalni foto okviri imaju praktično iste karakteristike kao i tradicionalni uređaji za M2M komunikaciju iako svojim izgledom slične pametnim telefonima. Zbog takvih karakteristika, potrošačka elektronika je svrstana u novu kategoriju umreženih uređaja. Prema procjenama istraživačkih kuća, broj umreženih uređaja potrošačke elektronike bi trebao doseći brojku od 4 milijarde do 2020. Godine [14].

Veliki tržišni potencijal komunikacijskih sustava umreženih strojeva javlja se kao posljedica brojnih primjena i slučajeva uporabe, ali i dostupnosti različitih pristupnih tehnologija koje se mogu iskoristiti u njihovoj implementaciji. Takvi sustavi moraju biti pouzdani, skalabilni, sigurni i upravljivi. Najjednostavniji način za postizanje toga je prilagodba korištene prijenosne tehnologije (npr. javne pokretne mreže) specifičnim zahtjevima M2M komunikacije (velik broj umreženih uređaja, različiti tipovi uređaja, niska potrošnja energije itd.). To se postiže standardizacijom, u okviru koje se velika pažnja posvećuje razmatranju arhitekture mreže za M2M komunikacije, prikazane na slici 11 [14].



Slika 14: Arhitektura M2M komunikacija  
Izvor: [14]

## 6. USLUGE U 5G MREŽI

Intenzivna digitalizacija raznih gospodarskih grana predstavlja prvi korak prema uslugama 5G mreže, a taj će se proces u sve većoj mjeri nastaviti i u bliskoj budućnosti kako 5G mreža bude širom svijeta prihvaćena za novi globalni standard povezivosti. Ključ digitalizacije leži u načinima na kojima će različite industrije koristiti 5G za transformaciju poslovanja. Tako će razni poslovni sustavi koristiti dijelove mreže usklađene sa specifičnim zahtjevima svake industrije. 5G radio pristup, jezgrene mreže i upravljanje kompleksnim IT (engl. *Information Technology*) sustavima poduprijet će raznovrsne slučajeve korištenja ove tehnologije te nam omogućiti korištenje njenog punog potencijala.

Od širokopojasne povezanosti u područjima s velikim brojem ljudi do udaljene automatizacije rada kritičnih strojeva u opasnim radnim okruženjima, poput rudnika, 5G već ima korisničke slučajeve koji mogu pomoći u poslovanju te su spremni za buduće potrebe. Među glavnim prednostima 5G tehnologije su sigurnost mreže i niska potrošnja energije što će poslovnim sustavima omogućiti efikasnu i troškovno učinkovitu digitalizaciju [15].

Usluge koje očekujemo u 5G mobilnoj mreži, prikazane na slici 12, prema [15], su:

- Interakcija između čovjeka i Internet stvari (engl. *Internet of Things – IoT*)
- Doživljaj širokopojasnog pristupa bilo gdje i u bilo koje vrijeme
- Kritično upravljanje udaljenim uređajima
- Pametna vozila, transport i infrastruktura
- Medijski sadržaji bilo gdje



Slika 15: Usluge u 5G mreži  
Izvor: [15]



Interakcija između čovjeka i Internet stvari će povezivati korisnika 5G mreže sa stvarima poput računala, strojeva, raznih senzora i ostalih uređaja koji će biti spojeni na Internet. Usluga će biti namijenjena svim osobama u želji povećanja javne sigurnosti, zdravstvene skrbi i korištenja u svakodnevnom životu.

Doživljaj širokopojasnog pristupa bilo gdje i u bilo koje vrijeme omogućiti će pristup mobilnom Internetu pete generacije u napučenim područjima, javnom prijevozu i u slučaju velikog skupa ljudi na malom prostoru bez zagušenja. Omogućavati će visoku kvalitetu usluge u otvorenim i zatvorenim prostorima, kao i u zahtjevnim mrežnim uvjetima. Usluga će biti dostupna svim korisnicima mreže.

Kritično upravljanje udaljenim uređajima će omogućiti korisniku usluge daljinskog upravljanja teškim strojevima, praćenja rada tvornica/procesa u realnom vremenu i slične usluge namijenjene sektoru proizvodnje, zdravstvene skrbi i radu u rudniku. Ova usluga povećava učinkovitost i smanjuje troškove te komunikacijske sabirnice zamjenjuje bežičnim linkovima.

Pametna vozila, transport i infrastruktura je usluga namijenjena autoindustriji u svrhu povezivanja i komunikacije između svih prijevoznih sredstava u cilju smanjenja zagušenja prometa, uštede energije i povećanja sigurnosti u prometu. Usluga će koristiti senzore postavljene u cestama, željezničkim prugama i pistama koji će komunicirati međusobno s vozilima. Takav način komunikacije naziva se MTC (engl. *Machine Type Communication*).

Medijski sadržaj bilo gdje je Cloud bazirana usluga koja će omogućavati korisniku pristup medijskom sadržaju na bilo kojem mjestu u bilo koje vrijeme uz pristup Internet vezi. Usluga omogućava transformaciju industrije na „all IP“ (engl. *Internet Protocol*) te pruža korisniku vrhunsku video kvalitetu (4K, 8K, HDR (engl. *High Dynamic Range*), HFR (engl. *High Frame Rate*)) [15].

## 6.1 Internet ljudi

Pojam Internet ljudi (engl. *Internet of People* - IoP) obuhvaća osobnu elektroničku opremu sa pristupom Internetu i javlja se početkom 2000. godine pojavom mreže treće generacije. Pojam se ubrzano širi kako i raste broj korisnika mobilnih uređaja, tableta i ostalih terminalnih uređaja povezanih na mrežu. IoP je prvenstveno koncept osmišljen za dizajn, testiranje i implementaciju inovativnih strategija koje vode organizacije do potpuno nove paradigme. Organizacije će morati staviti ljude u centar inovacijskih strategija kao snaga kolektivne inteligencije. Više od samih pametnih aplikacija i gradova, prava vrijednost IoP koncepta leži u ljudima. Kao produkt IoP-a te zahvaljujući novim materijalima i načinima proizvodnje elektroničkih uređaja, sve su više prilagođeni čovjeku (npr. pametni satovi, Google naočale i sl.) [18].

## 6.2 Internet stvari

Mobilna mreža pete generacije omogućiti će kompletnu implementaciju IoT (engl. *Internet of Things* – IoT) koncepta, od komunikacije između strojeva do same mrežne infrastrukture (preduvjet za masivnu komunikaciju između strojeva (engl. *Masive Machine Communication* – MMC)). Internet stvari je informacijsko komunikacijski koncept mreže, gdje su objekti (stvari) iz različitih okruženja povezani na mrežu zasnovanu na Internet protokolu. Ovaj koncept mreže čini osnovu k razvoju pametnog okruženja kao što su pametni domovi, ceste, tvornice, gradovi i slično. Kao rezultat, svi povezani objekti činiti će jedan zajednički ekosustav.

IoT spaja u jednu cjelinu podatke dobivene od određenog senzora sa aplikacijama vezanih uz analizu tih podataka ili poslovnih aplikacija u svrhu povećanja produktivnosti, proizvodnje i tržišta. Neki od glavnih izazova koji se stavljaju pred implementaciju IoT koncepta su sigurnost, privatnost i povjerenje te ograničeni kapaciteti mreže zbog potrebe za prijenosom vrlo velike količine podataka kako bi se osiguralo korisniku korisnu uslugu ili pristup informacijama [16].

Primjeri aplikacija vezanih uz IoT, prema [17], su:

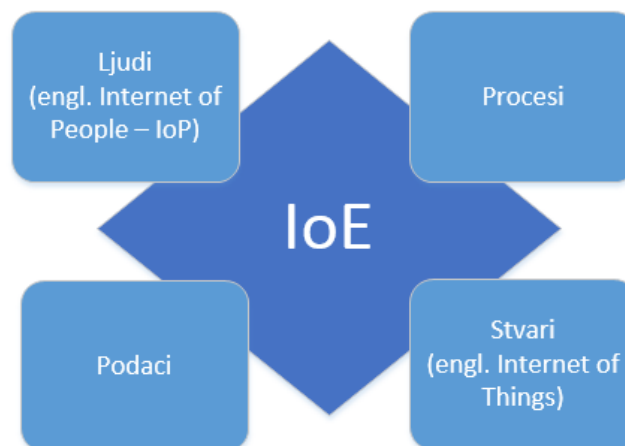
- Aplikacije vezane uz zdravlje:
  - Provjeri bebu - ova aplikacija će omogućavati pregled informacija o njihovom djetetu u realnom vremenu na pametnom telefonu. Pratiti će disanje djeteta, temperaturu kože, položaj tijela i aktivnost.
  - Podsjetnik o uzimanju lijekova - bežičnim čipom, postavljenog na pakiranje lijeka, davatelji ove usluge obavještavati će korisnika lijekova o redovnom uzimanju, slanjem poruke na pametni telefon.
  - Praćenje stupnja aktivnosti - koristeći vlastiti pametni telefon povezan na Internet mrežu i uporabom aplikacija koje koriste senzore za kretanje.
- Aplikacije vezane uz pametne domove:
  - Efikasno zagrijavanje doma - upotrebom pametnog termostata sa ugrađenim senzorom, praćenjem vremenske prognoze u realnom vremenu i stvarne aktivnosti provedene u kući, ova aplikacija uštediti će do 30 % energije na mjesečnoj upotrebi
  - Budite sigurni da je pećnica ugašena - pametni uređaji dopustiti će trenutno uključivanje ili isključivanje svih uređaja uključenih na gradsku mrežu, sa bilo kojeg mjesta.
  - Održi biljke na životu - uporabom senzora u blizini biljaka i povezanosti na Internet, ova aplikacija prati rast biljaka i savjetuje korisnika o hranjenju
- Aplikacije vezane uz pametne gradove
  - Ulice održi čiste - aplikacije poput ove, upotrebom senzora u kantama za smeće, javljati će komunalnim službama kada se kanta treba isprazniti. Ova aplikacija drastično može smanjiti broj nepotrebnih vožnji i troškove svesti na minimum.
  - Nalazak parkirnoga mjesta - sensorima postavljenim u gradske prometnice i uporabom pametnih telefona povezanih Internetom, aplikacija će nam u realnom vremenu prikazivati prazna parkirna mjesta u blizini.
  - Efektivnije osvjetljenje ulica - pametan sustav rasvjete, omogućiti će reguliranje razine svjetla gradske rasvjete ovisno o potrebama i vremenskim

uvjetima. Upotrebom ove aplikacije, gradovi će moći uštedjeti do 30 % energije.

- Aplikacije vezane uz industriju:
  - Upravljanje i popravak - senzori postavljeni unutar industrijske opreme, javljati će korisniku aplikacije u slučaju dotrajalih dijelova ili kvara određenog dijela.
  - Pretanak nagađanja - upotrebom kamera postavljenim u dućanima, korisnik aplikacije će znati dali trgovina posjeduje ono što želi ili ne, a vlasnik trgovine uvid u skladište i proizvode dostupne kupcima.
  - Sigurnost na prvome mjestu - ova aplikacija javlja nadležnima ukoliko je aparat za gašenje blokiran, ne nalazi se na svome predviđenome mjestu ili je tlak unutar aparata prenizak. Obavijest može biti poslana e-mailom ili porukom na pametni telefon.

### 6.3 Internet svega

Internet svega (engl. *Internet of Everything* – IoE) uključuje povezanost ljudi, stvari, podataka, i procesa u jednu cjelinu, prikazanu na slici 13, preko mreže zasnovane na Internet protokolu. Istraživanjem obavljenog od strane Cisco System Inc. Corporation, 99,4 % fizičkih objekata koji će jednog dana biti dio IoE koncepta, trenutno nisu povezani ni u kojem smislu, pa tako nisu ni dio IoT (engl. *Internet of Things*) koncepta. Primarni razlog ne povezanosti objekata je što trenutno ne postoji takva usluga koja bi mogla toliku količinu informacija spojiti u cjelinu [16].



Slika 16: IoE koncept  
Izvor: [16]

Osnovni koncept Interneta svega je povezati sve uređaje koji rade neovisno jedni o drugima u jednu cjelinu, odnosno povezati različite tipove komunikacija poput M2M (engl. *Machine to Machine*), P2M (engl. *People to Machine*) i P2P (engl. *People to People*) u svrhu povezanosti svih uređaja sa ljudima i povezanosti svih uređaja sa ostalim uređajima. Primjena IoE koncepta biti će moguća svakome tko je povezan na Internet, a podaci će se obrađivati u stvarnom vremenu [22].

- Povezanost ljudi u IoE - ljudi će biti u mogućnosti povezati se na Internet na puno više načina nego što je to danas moguće. U današnje vrijeme većina ljudi povezuje se na Internet pomoću svojih uređaja kao što su osobno računalo, tablet, pametni telefon i slično. Evolucijom Interneta, odnosno novom generacijom 5G i uporabom IoE koncepta, povezanost na Internet će biti stalna (npr. senzori postavljeni na koži ili u odjeći koju nosimo obrađivati će podatke i davati informacije o vitalnom stanju osobe)
- Povezanost podataka u IoE - stvari (objekti) povezani na Internet moći će slati podatke ili informacije višeg stupnja, odnosno donositi će odluke na temelju prethodnog stanja i sami odlučivati o sljedećem ishodu.
- Povezanost stvari u IoE - ova skupina se sastoji od fizičkih predmeta kao što su senzori, korisnički uređaji i slično. U IoE konceptu služiti će kao ispomoć ljudima i strojevima u donošenju važnih odluka (npr. pametni senzori postavljeni u građevinama ili senzori za jednokratnu upotrebu postavljeni u ambalažama za piće)
- Povezanost procesa u IoE - procesi imaju vrlo važnu ulogu u načinu kako ljudi, podaci i stvari (objekti) rade. Sa pravilnim procesom, povezanost dobiva na vrijednosti jer je informacija dostavljena pravoj osobi, u prihvatljivo vrijeme na najbolji mogući način [22].

## 7. STRATEGIJA UVOĐENJA 5G MREŽE

Početak komercijalnog razvoja 5G sustava očekuje se od 2020. godine pa nadalje, sljedeći faze istraživanja i razvoja (engl. *Research and Development* – R&D), standardizacije i fazu regulacije. Japan se ističe kao prva država koja bi mogla u upotrebi imati 5G sustav i predstaviti ga na Olimpijskim igrama 2020. godine. U Europi, očekuje se nešto kasnija implementacija 5G sustava zbog nedostataka frekvencijskog opsega, pa se predviđa početak komercijalne upotrebe između 2020. i 2025. godine [7].

Tablica 2 prikazuje kronologiju događaja od istraživanja do razvoja 5G mreže.

<b>2014-2015</b>	Istraživačka faza kako bi shvatili detalje vezane uz 5G sustav i prepoznali najvažnije funkcije u stvaranju arhitekture i mogućnosti tehnologija u cilju postizanja zadanih performansi. Aktivnosti se temelje na prethodnim istraživanjima u industriji, kao i globalnim aktivnostima u različitim regijama i različitim standardizacijskim tijelima
<b>2015-2017</b>	Detaljno istražen sustav i razvoj vezan uz sve pristupe, od kostura mreže do jezgrene mreže (uključujući računarstvo u oblaku i ostalu programsku opremu)
<b>2016-2018</b>	Detaljna optimizacija sustava, procjenjujući sve ključne zahtjeve i ograničenja sustava. Prepoznavanje i analiza frekvencijskih opsega predviđenih 5G komunikacijama. Podržavanje regulacijskih tijela za alokaciju i upotrebu novih frekvencijskih opsega. Novi frekvencijski opsezi trebali bi biti dostupni oko 2020. godine. Finalna optimizacija i definicija 5G sustava.
<b>2017-2018</b>	Istraga, prototipovi, prve verzije tehnologije i pokretači operacija upravljanja mrežom, usluga baziranih u oblaku i velikih podataka za mrežne operacije. Detaljni proces standardizacije, baziran na postojećim konceptima sustava, u svrhu testiranja i simulacije kako bi mrežu približili javnosti.
<b>2018-2020</b>	Demonstracije, probe i testovi skalabilnosti različite kompleksnosti ovisno o dostupnosti komponenti i spremnosti standarda
<b>2020</b>	Dostupni će biti novi frekvencijski opsezi. Očekuje se prva komercijalna upotreba mreže.

Tablica 2: Od istraživanja do razvoja 5G sustava  
Izvor: [7]

## 7.1 Standardizacijske aktivnosti

Industrija će odigrati važnu ulogu u infrastrukturi 5G mreže sa neophodnim dugoročnim ulaganjem u standardizaciju na globalnoj razini i integracijom tehnologija u kompleksne interoperabilne<sup>7</sup> sustave. Rezultati 5G PPP (engl. *Private Partnership Project*) infrastrukturnog projekta biti će prikladni za globalnu standardizaciju u sučeljima poput 3GPP (engl. *Third-Generation Partnership Project*), IEEE (engl. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*), IETF (engl. *Internet Engineering Task Force*) i ostale standarde u IT (engl. *Information Technology*) domeni [7].

Razvoj 5G mobilne mreže značajno će utjecati na ekonomiju, posebno na privatni sektor. To će se dogoditi zbog simultanog razvoja 5G objekata (stvari), usluga i aplikacija. Predviđanja su da povezivanjem trenutno nepovezanih objekata se može ostvariti ukupni profit od 19 milijardi američkih dolara, od toga 14.4 milijardi samo u privatnom sektoru. Povezanost objekata omogućiti će nova mreža uporabom funkcionalnosti poput komunikacije između strojeva (engl. *machine type communication*), komunikacije ljudi sa strojevima (engl. *People to Machine – P2M*), komunikacije između vozila (engl. *Vehicle to Vehicle – V2V*) i izravnom komunikacijom između uređaja (engl. *Device to Device – D2D*) [17].

5G PPP program planira se organizirati u 3 ili 4 faze, prema [11]:

- Faza obuhvaćanja i istraživanja (trenutno aktivna)
- Faza optimizacije (aktivnost od 2016. do 2017.)
- Testiranja velikih razmjera (aktivnost od 2019. do 2020.)

Prva faza obuhvaćanja i istraživanja se sastoji od 19 projekata, sa uključenih 165 organizacija koji sudjeluju u istraživanju. S ciljem razvoja 5G mreže 2020. godine, potrebno je do te godine razviti inovativnu tehnologiju koja će pratiti globalne standarde mreže i postići dogovor oko proširenja i uporabe frekvencijskog opsega [11].

Prema [12], slijedećih 19 projekata uključeno je u prvu fazu obuhvaćanja i istraživanja:

- 5G-ENSURE (engl. *Enablers for Network and System Security and Resilience*)

---

<sup>7</sup> Interoperabilnost je sposobnost sustava ili proizvoda, čija su sučelja potpuno poznata, da međusobno djeluju i funkcioniraju s drugim proizvodima i sustavima, bez ikakvih ograničenja pristupa i implementacije

- 5G-EXCHANGE (engl. *Multi-domain Orchestration for Software Defined Infrastructures*)
- 5G NORMA (engl. *NOvel Radio Multiservice adaptive network Architecture for 5G networks*)
- 5G-XHAUL (engl. *Dynamically Reconfigurable Optical-Wireless Backhaul/Fronthaul with Cognitive Control Plane for Small Cells and Cloud-RANs*)
- CHARISMA (engl. *Converged Heterogeneous Advanced 5G Cloud-RAN Architecture for Intelligent and Secure Media Access Project name*)
- COGNET (engl. *Cognitive network*)
- COHERENT (engl. *Coordinated control and spectrum management for 5G heterogeneous radio access networks*)
- EURO-5G (engl. *Supporting the European 5G Initiative*)
- FANTASTIC-5G (engl. *Flexible Air iNterfAce forScalable delivery wiThin wireless Communication networks of the 5th Generation*)
- FLEX5GWARE (engl. *Flexible and efficient hardware/software platforms for 5G network elements and devices*)
- METIS-II (engl. *Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society-II*)
- mmMAGIC (engl. *Millimetre-Wave Based Mobile Radio Access Network for Fifth Generation Integarated Communications*)
- SELFNET (engl. *Framework for Self-Organised Network Management in Virtualised and Software Defined Networks*)
- SESAME (engl. *Small cell coordination for multi-tenancy and edge services*)
- SONATA (engl. *Service Programing and Orchestration for Virtualized Software Networks*)
- SPEED-5G (engl. *Quality of Service Provision and capacity Expansion through Extended-DSA for 5G*)
- SUPERFLUIDITY (engl. *a super-fluid, cloud-native, converged edge system*)
- VIRTUWIND (engl. *Virtual and programmable industrial network prototype deployed in operational Wind park*)
- XHAUL (engl. *The 5G Integrated fronthaul/backhaul*)



Standardizaciju 5G sustava predvodi kompanija Ericsson pod koordinacijom već spomenutog projekta Europske unije METIS-II. METIS-II je projekt posvećen razvoju cjelovitog dizajna 5G sustava te izradi plana uvođenja standardizacije. METIS-II će na strateškoj razini osigurati okvir za suradnju u području 5G na način javno privatnog partnerstva u 5G infrastrukturi (5G PPP) zajedničkom procjenom koncepata 5G radio pristupne mreže i preporukom za uvođenje 5G spektra. Ovo će rezultirati i pripremom zajedničkih aktivnosti prema regulatornim i standardizacijskim tijelima [20].

Ostvarenjem ciljeva ovog projekta otvara se jedinstvena mogućnost za globalni konsenzus, konsolidaciju cjelovite slike potreba mobilnih industrija te dijeljenje rezultata s relevantnim tijelima, forumima i standardizacijskim grupama u svim regijama. Kao glavni pokretač i koordinator METIS-II projekta Ericsson će, zajedno s globalnim konzorcijem, integrirajući tehnologije razviti novi dizajn radio pristupa te osigurati platformu za zajedničke aktivnosti prema regulatornim i standardizacijskim tijelima [20].

Uz navedeno, Ericsson će biti tehnički koordinator mmMAGIC projekta koji ima za cilj razvoj i dizajniranje novih koncepata mobilne radiopristupne tehnologije u frekvencijskom spektru od 6 do 100 GHz [20].

## 7.2 Perspektiva nakon 2020. godine

Početak rada mobilne mreže pete generacije očekuje se od 2020. godine, što znači da svi standardi moraju biti predstavljeni do te godine. Trenutna mreža, napredni LTE, ne može odgovoriti na sve zahtjeve korisnika u smislu brzine prijenosa podataka, povezanosti stvari na Internet, uštede energije i smanjenja latencija, stoga će 5G mreža dati odgovore na dane zahtjeve.

Očekuje se razvoj mobilnih tehnologija, a najznačajnije prema [10] su:

- CR (engl. *Cognitive Radio*)
- BDMA (engl. *Beam Division Multiple Access*)
- Podrška za IP (engl. *Internet Protocol*) protokol verzije 6
- Potpuna podrška IP (engl. *Internet Protocol*) tehnologijama

- Sveprisutna mreža
- Spajanje više mreža u jednu
- Višeantenske konfiguracije
- Podrška za računarstvo u oblaku

CR tehnologija omogućiti će efikasnije korištenje frekvencijskog spektra u komunikacijskim sustavima pete generacije. Ova nova tehnologija dijeliti će efikasno frekvencijski spektar, pronalaženjem nekorištenog spektra i prilagodbom prijenosne podatkovne sheme, sa potrebama tehnologije koje trenutno dijele frekvencijski spektar.

BDMA je modulacijska tehnika koja ne ovisi o resursima frekvencije i vremena, kao prijašnje modulacijske tehnike poput FDMA, TDMA, CDMA i OFDM. BDMA tehnologija omogućiti će baznim stanicama da dodijeli različit frekvencijski spektar svakoj mobilnoj stanici. Bazna stanica moći će promijeniti širinu spektra, broj dijeljenih frekvencijskih opsega i smjer odašiljanja spektra, ovisno o komunikacijskom okruženju.

Podrška za IP protokol verzije 6 omogućiti će svakom mobilnom uređaju trajnu „kućnu“ adresu i brigu oko adrese, što će predstavljati njegovu stvarnu lokaciju. Ako računalo spojeno na Internet, želi komunicirati sa tim mobilnim uređajem, poslati će podatkovni paket na „kućnu“ adresu, a zatim server povezan sa „kućnom“ adresom šalje taj paket na stvarnu lokaciju. Server zatim šalje paket nazad na računalo kako bi obavijestilo računalo o stvarnoj lokaciji korisnika kako bi se omogućilo direktno slanje podataka između tih adresa. Zbog ovakve mogućnosti komunikacije, IPv6 (engl. *Internet Protocol version 6*) morati će sadržavati podršku za mobilnost.

Potpuna podrška IP tehnologijama omogućiti će prijenos svih vrsta podataka (npr. zvuk, video, slika i dr.) usmjeravanjem paketa umjesto usmjeravanjem kanala. Ovo je vrlo važna odlika sustava kako bi mrežu pete generacije učinila prihvatljivu svim vrstama tehnologija.

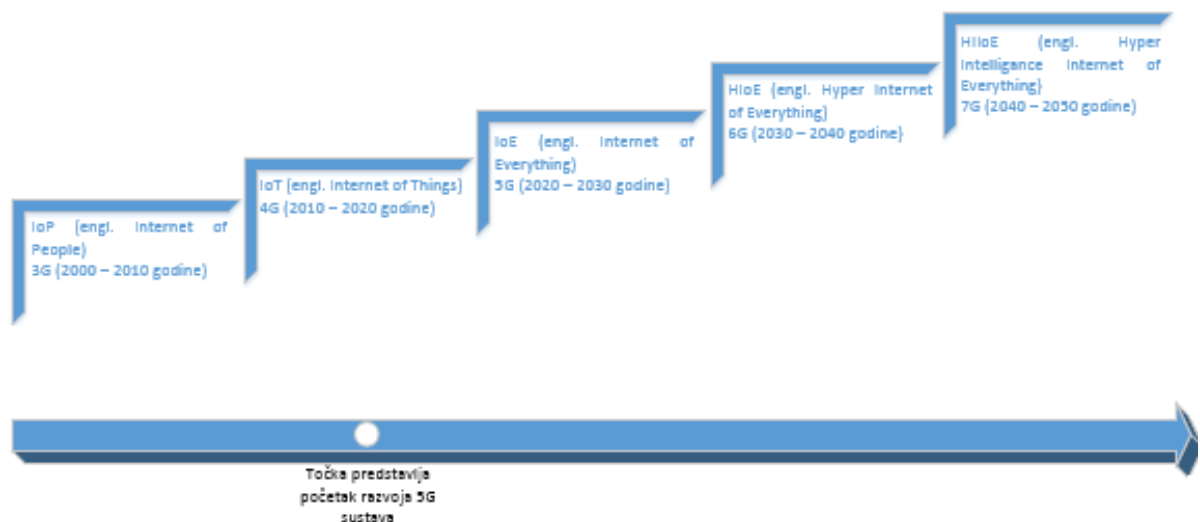
Sveprisutna mreža je naziva za tehniku koja će biti korištena u smislu povećanja pouzdanosti na Internet. Ova značajka omogućiti će korisniku istovremeno povezivanje na par bežičnih pristupa. Konfiguracija ove mreže omogućuje korisniku korištenje više IP adresa od različitih bežičnih pristupa na jednom terminalnom uređaju. U slučaju da jedan od bežičnih pristupa na koji smo spojeni zataji, imati ćemo pristup Internetu zbog ostalih.

Spajanje više mreža u jednu omogućiti će korisniku istovremeno korištenje pristupnih tehnologija od 2.5G do 5G, Wi – Fi tehnologije ili bilo koje od budućih pristupnih tehnologija, u cilju povećanja prijenosa podataka i povećanja mobilnosti.

Višeantenske konfiguracije omogućuju veću propusnost podataka i povećavaju pouzdanost mreže uporabom više antena na prijamoj i odašiljačkoj strani.

Podrška za računarstvo u oblaku omogućiti će korisniku pristup podacima poput dokumenata, aplikacija, video zapisa, glazbe i slično, od bilo kojeg mjesta u bilo koje vrijeme [10].

Na slici 15 prikazan je razvoj mobilnih sustava i što nas očekuje u budućnosti.



Slika 17: Evolucija mobilnih sustava od 2000. do 2040. godine

Izvor: [16]

## 8. ZAKLJUČAK

Zbog stalnog povećanja konkurentnosti 3G tehnologije i potreba korisnika za sve većim brzinama prijenosa podataka, postojeći standardi treće generacije evoluirali su u tehnologiju četvrte generacije koji su korisnicima donijeli veće mogućnosti. Razvoj HSPA tehnologije bio je prvi korak u smjeru tehnologija četvrte generacije. Osnovni cilj svake evolucije mobilne mreže je smanjenje korisničkih i operaterovih troškova uz poboljšanje pružanja usluga.

Glavne razlike koje mrežu 4.5 generacije čine naprednijom od mreže četvrte generacije su povećanje brzine prijenosa podataka u uzlaznoj i silaznoj vezi te vrlo velikoj učinkovitosti uporabe frekvencijskog spektra. Mobilnim mrežama 4.5 generacije smatramo GiGA LTE i napredni LTE (engl. *LTE Advanced*) verzija 12 i 13 (engl. *Release 12 & 13*) s brzinama prijenosa podataka u silaznoj vezi do 1.17 Gbps.

Mobilna mreža pete generacije imati će vrlo važnu ulogu u našim životima omogućujući neograničen pristup informacijama i prijenos podataka vrlo velikim brzinama, bilo gdje u bilo koje vrijeme. 5G je koncept mreže gdje personalizacija susreće povezanost i novu tehnologiju i sve povezuje u jednu cjelinu, što rezultira tehnologiji poput MTC (engl. *Machine Type Communication*) komunikaciji, efikasnijom uporabom frekvencijskog spektra, povećanju sigurnosti i privatnosti mreže, računarstvu u oblaku, smanjenju potrošnje energije i ostalim mogućnostima.

Arhitektura 5G mreže drastično će se promijeniti u usporedbi sa prijašnjim generacijama, u cilju postizanja željenih performansi, osobito smanjenja vremena kašnjenja i pouzdanosti. Arhitektura će težiti podršci širokom opsegu aplikacija kao što je mobilni Internet visokim brzinama (engl. *multi-Giga-bit-per-second*) pa sve do MTC komunikacije poput dva ili više susjedna terminalna uređaja (engl. *Device to Device – D2D*) ili komunikacije vozila sa okolinom (engl. *Vehicle to X or Vehicle to Vehicle – V2X or V2V*) što će uvelike pomoći pri izbjegavanju zagušenja u prometu, nezgoda na cesti, smanjenju ispušnih plinova i uštedi energije.

Početak rada 5G mreže u komercijalne svrhe očekuje se od 2020. godine pa nadalje. Japan se ističe kao prva država koja bi mogla u upotrebi imati 5G sustav i predstaviti ga na Olimpijskim igrama 2020. godine. U Europi se očekuje nešto kasniji početak rada mreže, između 2020. i 2025. godine, zbog nedostataka frekvencijskog opsega.

## LITERATURA

- [1] Blajić, T.: Evolucija radijske pristupne mreže u mobilnim sustavima treće generacije, Tesla, Zagreb, 2006. Dostupno s:  
[http://www.ericsson.com/hr/etk/revija/Br\\_2\\_2006/radijska\\_mreza.pdf](http://www.ericsson.com/hr/etk/revija/Br_2_2006/radijska_mreza.pdf) (ožujak 2016.)
- [2] Mrvelj, Š.: Pokrene ćelijske mreže 2. i 3. generacije. Dostupno s:  
[http://estudent.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija\\_telekomunikacijskog\\_prometa\\_I/Materijali/9\\_predavanje.pdf](http://estudent.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija_telekomunikacijskog_prometa_I/Materijali/9_predavanje.pdf) (ožujak 2016.)
- [3] Sauter, M.: From GSM to LTE-Advanced, John Wiley & Sons, West Sussex, The UK, 2014.
- [4] Blajić, T.: LTE – Nova tehnologija za mobilni širokopojasni pristup, Tesla, Zagreb, 2010. Dostupno s: [http://www.ericsson.com/hr/etk/revija/Br\\_1\\_2010/04.pdf](http://www.ericsson.com/hr/etk/revija/Br_1_2010/04.pdf) (ožujak 2016.)
- [5] Burazer, B.: Budućnost mobilnih komunikacija i izazovi normizacije. Dostupno s:  
<http://www.hzn.hr/UserDocImages/pdf/EISBudu%C4%87nost%20mobilnih%20komunikacija%20i%20izazovi%20normizacije.pdf> (ožujak 2016.)
- [6] Triggs, R.: South Korea's KT launches 1.17Gbps GiGA LTE. Dostupno s:  
<http://www.androidauthority.com/kt-launches-1gbps-giga-lte-617147/> (ožujak 2016.)
- [7] The 5G Infrastructure Public Private Partnership (5G PPP): The next generation of communication networks and services – 5G Vision
- [8] Rodriguez, J.: Fundamentals of 5G mobile networks, John Wiley & Sons, West Sussex, The UK, 2015.
- [9] Stamenković S.: Heterogene mobilne mreže. Dostupno s:  
<http://telekomsvet.blogspot.hr/2013/03/heterogene-mobilne-mreze.html> (travanj 2016.)
- [10] Prasad, R.: 5G:2020 and beyond, River Publishers, Aalborg, 2014.
- [11] The 5G Infrastructure Public Private Partnership (5G PPP): First Wave of Research & Innovation Projects

- [12] Šarić, S., Forenbacher, I.: Arhitektura mobilnih mreža. Dostupno s:  
[http://estudent.fpz.hr/Predmeti/A/Arhitektura\\_telekomunikacijske\\_mreze/Materijali/10\\_Arhitektura\\_mobilnih\\_mreza\\_-\\_17122015.pdf](http://estudent.fpz.hr/Predmeti/A/Arhitektura_telekomunikacijske_mreze/Materijali/10_Arhitektura_mobilnih_mreza_-_17122015.pdf) (travanj 2016.)
- [13] Tondare, S. M., S. D. Panchal, and D. T. Kushnure: "Evolutionary steps from 1G to 4.5 G." International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering 3, no. 4 2014. Dostupno s:  
[https://www.researchgate.net/post/Major\\_differences\\_in\\_4G\\_and\\_45G\\_wirless\\_networks](https://www.researchgate.net/post/Major_differences_in_4G_and_45G_wirless_networks) (ožujak 2016.)
- [14] Popović, Ž., Čačković, V., Burjan, D: Arhitektura mreže za M2M komunikacije, Tesla, Zagreb, 2012. Dostupno s:  
[http://www.ericsson.com/hr/etk/revija/Br\\_1\\_2012/01.pdf](http://www.ericsson.com/hr/etk/revija/Br_1_2012/01.pdf) (travanj 2016.)
- [15] Tomić, D.: Ubrzani razvoj 5G mreža. Dostupno s:  
<http://www.ictbusiness.info/telekomunikacije/ubrzani-razvoj-5g-mreza> (travanj 2016.)
- [16] Jovović, I., Forenbacher I., Periša M: Masive Machine-Type Communications: An Overview and Perspectives Towards 5G, 2015.
- [17] Argerich, L.: An Internet of Things. Dostupno s: <http://postscapes.com/internet-of-things-examples/> (travanj 2016.)
- [18] Harrop P., Das R: Internet of People: Technology 2015 – 2025, 2014. Dostupno s:  
<http://www.idtechex.com/research/reports/internet-of-people-technology-2015-2025-000388.asp> (travanj 2016.)
- [19] Warren, D., Calum, D: Understanding 5G: Perspectives on future technological advancements in mobile, GSMA Intelligence, 2014. Dostupno s:  
<https://gsmaintelligence.com/research/?file=141208-5g.pdf&download> (travanj 2016.)
- [20] Ericsson, Zagreb, 2015: Ericsson radi na standardizaciji 5G sustava. Dostupno s:  
<http://www.itbizcrunch.com/index.php/objave/item/830-ericsson-radi-na-standardizaciji-5g-sustava> (travanj 2016.)

[21] Quoc Ngo H: Massive MIMO: Fundamentals and System Designs, Linköping, 2015.  
Dostupno s: <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:772015/FULLTEXT01.pdf> (svibanj 2016.)

[22] Mitchell, S., Villa, N., Weeks, M.S., Lange A: The Internet of Everything for Cities, Cisco, 2013. Dostupno s: [http://www.cisco.com/c/dam/en\\_us/about/ac79/docs/loE/loE-AAG.pdf](http://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/loE/loE-AAG.pdf) (svibanj 2016.)

## POPIS SLIKA

Slika 1: Usporedba performansi mreža 3 i 4 generacije sa WCDMA sustavom	3
Slika 2: Evolucija 3G mobilne mreže	6
Slika 3: UMTS mreža	11
Slika 4: LTE mreža	12
Slika 5: Sveukupni tok podataka u OFDM sustavu i zasebni podnositelji u FDMA sustavu	13
Slika 6: OFDM sustav	14
Slika 7: OFDMA sustav	14
Slika 8: GiGA LTE	16
Slika 9: Arhitektura 5G mreže	18
Slika 10: Razlike u snazi signala ćelija	19
Slika 11: Razina latencije između 4G i 5G mreža	20
Slika 12: Usporedba brzina prijenosa podataka između 5G i ostalih mreža	21
Slika 13: Rast kapaciteta mreže usporedno sa dodavanjem malih ćelija	22
Slika 14: Arhitektura M2M komunikacija	26
Slika 15: Usluge u 5G mreži	27
Slika 16: IoE koncept	31
Slika 17: Evolucija mobilnih sustava od 2000. do 2040. godine	38



## POPIS TABLICA

Tablica 1: Evolucija 4G mobilne mreže	8
Tablica 2: Od istraživanja do razvoja 5G sustava	33

## POPIS KRATICA

3 GPP (engl. Third – Generation Partnership Project)

AMPS (engl. Advanced Mobile Phone System)

AU (engl. Authentication Center)

BDMA (engl. Beam Division Multiple Access)

BSC (engl. Base Station Controller)

BTS (engl. Base Transceiver Station)

CDMA (engl. Code Division Multiple Access)

CP (engl. Cognitive Radio)

D2D (engl. Device to Device)

EDGE (engl. Enhanced Data Rates for GSM Evolution)

EIR (engl. Equipment Identity Register)

E – UL (engl. Enhanced Uplink)

FDD (engl. Frequency Division Duplex)

FDMA (engl. Frequency Division Multiple Access)

GPRS (engl. General Packet Radio Service)

GSM (engl. Global System for Mobile Communications)

HDR (engl. High Dynamic Range)

HFR (engl. High Frame Rate)

HLR (engl. Home Location Register)

HSOPA (engl. High Speed OFDM Packet Access)

HSDPA (engl. High Speed Downlink Packet Access)

HSPA (engl. High Speed Packet Access)

HSUPA (engl. High Speed Uplink Packet Access)

IEEE (engl. Institute of Electrical and Electronics Engineers)

IETF (engl. Internet Engineering Task Force)

IoE (engl. Internet of Everything)

IoP (engl. Internet of People)

IoT (engl. Internet of Things)

IP (engl. Internet Protocol)

ISI (engl. Inter Symbol Interference)

IT (engl. Information Technology)

ITU (engl. International Telecommunication Union)

LOS (engl. Line of Sight)

LTE (engl. Long Term Evolution)

LTE – A (engl. LTE Advanced)

LTE – U (engl. LTE Unlicensed)

M2M (engl. Machine to Machine)

MIMO (engl. Multiple Input Multiple Output)

MMC (engl. Masive Machine Communication)

MME/GW (engl. Mobility Management Entity/Gateway)

MTC (engl. Machine Type Communication)

NMT (engl. Nordic Mobile Telephone)

OFDM (engl. Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

OFDMA (engl. Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

P2M (engl. People to Machine)

PPP (engl. Private Partnership Project)

P – GW (engl. Packet Gateway)

QAM (engl. Quadrature Amplitude Modulation)

QPSK (engl. Quadrature Phase – Shift Keying)

RNC (engl. Radio Network Controller)

R&D (engl. Research and Development)

SC – FDMA (engl. Single Carrier Frequency Division Multiple Access)

SON (engl. Self Organising Networks)

S – GW (engl. Serving Gateway)

TACS (engl. Total Access Communication System)

TCP/IP (engl. Transfer Control Protocol/ Internet Protocol)

TDD (engl. Time Division Duplex)

TDMA (engl. Time Division Multiple Access)

TD – SCDMA (engl. Time Division Synchronous Code Division Multiple Access)

UE (engl. User Equipment)

UMTS (engl. Universal Mobile Telecommunication System)

UTRAN (engl. UMTS Terrestrial Radio Access Network)

V2V (engl. Vehicle to Vehicle)

V2X (engl. Vehicle to X)

WCDMA (engl. Wideband Code Division Multiple Access)

Wi – Fi (engl. Wireless Fidelity)

## METAPODACI

**Naslov rada:** Razvoj i karakteristike mobilne mreže pete generacije

**Student:** Sven Maček

**Mentor:** Ivan Forenbacher, dr.sc.

**Naslov na drugom jeziku (engleski):** Development and characteristics of 5G mobile network

**Povjerenstvo za obranu:**

- Izv.prof.dr.sc. Dragan Peraković (predsjednik)
- Dr.sc. Ivan Forenbacher (mentor)
- Dipl.ing. Ivan Jovović (član)
- Prof.dr.sc Zvonko Kavran (zamjena)

**Ustanova koja je dodijelila akademski stupanj:** Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

**Zavod:** Informacijsko komunikacijski promet

**Vrsta studija:** Preddiplomski

**Studij:** Promet

**Datum obrane završnog rada:**

**Napomena:** pod datum obrane završnog rada navodi se prvi definirani datum roka obrane.



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 **Razvoj i karakteristike mobilne mreže pete generacije**

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

Student/ica:

U Zagrebu, 21.6.2016

\_\_\_\_\_  
(potpis)