

**Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу**



**Назив студијског програма: Рачунарска техника и софтверско инжењерство**

**Ниво студија: Основне академске студије**

**Предмет: Основи телекомуникација**

**Број индекса: 555/2015**

**Кристина М. Сатарић**  
**5G технологије – развој и принципи**  
**функционисања**  
**дипломски рад**

**Комисија за преглед и одбрану:**

1. Др Мина Васковић Јовановић, доцент
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

Датум одбране: \_\_\_\_\_

Оцена: \_\_\_\_\_

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да: изврши анализу модерних мобилних комуникационих система базираних на 5G технологијама, проучи основе и принципе функционисања 5G система, размотри могућности оваквих система, упореди са претходним генерацијама мобилних комуникационих система. Изврши преглед недостатака анализираних система.

Препоручена литература:

[1] Мирослав Лукић: Принципи телекомуникација, Академска мисао, Београд 2014, ISBN 978-86-7466-504-6

[2] Andrew S. Tanenbaum, David J. Wethrall, Рачунарске мреже 5. издање, Микро књига, 2013, ISBN: 978-86-7555-382-3

[3] Александар Павић, Анализа безбедносних недостатака у 4G/ LTE мобилним комуникационим мрежама, Београд, 2017.

Крагујевац, 15. 05. 2019.

Ментор:

Др Мина Васковић Јовановић, доцент

---

## Садржај:

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| 1. Увод.....                                              | 7  |
| 2. Еволуција мобилних технологија кроз историју .....     | 9  |
| 3. Хронолошки преглед развоја мобилних мрежа .....        | 10 |
| 3.1. 1G.....                                              | 10 |
| 3.2. 2G.....                                              | 10 |
| 3.3. 3G.....                                              | 11 |
| 3.4. 4G.....                                              | 12 |
| 3.4.1. Развој LTE мрежа кроз статистичке показатеље ..... | 14 |
| 3.4.2. Стање LTE мрежа у Републици Србији.....            | 15 |
| 3.5. 5G.....                                              | 18 |
| 3.5.1. Шта је 5G? .....                                   | 18 |
| 3.5.2. Карактеристике 5G технологије .....                | 19 |
| 3.5.3. Изазови суочавања са 5G .....                      | 20 |
| 3.5.4. 5G спецификација .....                             | 20 |
| 3.5.5. Примене 5G технологије .....                       | 21 |
| 3.5.6. 5G хардвер и софтвер .....                         | 21 |
| 3.5.7. Тренутна истраживања.....                          | 22 |
| 3.5.8. Кључни концепти 5G технологије .....               | 23 |
| 4. Поређење генерација мобилних технологија.....          | 24 |
| 5. Прва 5G базна станица .....                            | 25 |
| 6. Мобилни телефони са 5G технологијом.....               | 25 |
| 7. Закључак .....                                         | 28 |
| 8. Литература.....                                        | 29 |
| 9. Списак слика .....                                     | 31 |
| 10. Списак табела.....                                    | 32 |
| 11. Списак скраћеница.....                                | 33 |

**Summary:**

Modern technology has changed the way of people communication. With the advancement in technology, the appetite of users through various requirements has grown. The main function of mobile systems in the present is mobile broadband internet access. This paper reviews and analyzes the development of mobile networks starting from 1G, where analogue voice transmission was performed, through 2G and the first data transmission, 3G with broadband internet access, up to 4G and the wireless and new world of 5G technology.

**Keywords:** WWAN (Wireless Wide Area Network), 1G, 2G, 3G, 4G, 5G

**Резиме:**

Савремена технологија је извршила револуцију у погледу комуникације људи. Са напретком у технологији, расли су и апетити корисника кроз разне захтеве. Главна функција мобилних система у садашњости је мобилни широкопојасни приступ интернету. У овом раду су извршени преглед и анализа развоја мобилних мрежа почевши од 1G, где се вршио аналогни пренос - говор, преко 2G и првим преносом података, 3G са широкопојасним приступом интернету, до 4G и бежичног, новог света 5G технологије.

**Кључне речи:** широкопојасни приступ, 1G, 2G, 3G, 4G, 5G

## Предговор

У последњих неколико деценија, мобилне бежичне комуникационе мреже доживеле су изванредне промене. Мобилна бежична генерација (G) углавном се односи на промену у природи система, брзина, технологија, фреквенција, капацитет података, латенција итд. Свака генерација има неке стандарде, различите капацитете, нове технике и нове карактеристике које се разликују од претходне. Прва генерација (1G) мобилне бежичне комуникацијске мреже била је аналогна, коришћена само за гласовне позиве. Друга генерација (2G) је дигитална технологија и подржавала је текстуалне поруке. Трећа генерација (3G) мобилне технологије обезбедила је већу брзину преноса података, повећала је капацитет и пружила мултимедијалну подршку. Четврта генерација (4G) интегрише 3G са фиксним интернетом за подршку бежичном мобилном интернету, који је еволуција мобилне технологије и превазилази ограничења од 3G. Такође, повећава пропусну ширину и смањује трошкове ресурса. 5G значи 5. генерацију мобилних технологија и представља нову револуцију на тржишту мобилних уређаја. Корисник до сада није доживео такву технологију, која укључује све врсте напредних функција. 5G технологија биће апсолутно најмоћнија у блиској будућности.

У овом раду је објашњен у основним цртама начин функционисања и сам процес развијања мобилних технологија, сама еволуција, поређење технологија, њихови недостаци и предности.

Желим да изразим велику захвалност свом ментору, професорки др Мини Васковић Јовановић на исказаном разумевању, стрпљењу, помоћи, саветима при изради дипломског рада, али и током целокупног студирања, почевши од пријемног до данас, дипломског рада.

Посебну захвалност за безграничну подршку током студирања, али и читавог живота приписујем својим родитељима и сестри, који су увек били ту, уз мене, без обзира да ли се радило о срећним или тужним тренуцима и без којих све што сам постигла не би било могуће.

Велико хвала свима.

## 1. Увод

Комуникација је један од основних друштвених процеса или појава. Она постоји између свих врста животињског света, али се људски облици комуникације битно разликују од њих, одликује их међусобно споразумевање на симболичком и појмовном нивоу.

Комуникација је људска потреба, без ње би људи били изоловани, усамљени, несрећни... Размена информација између две или више особа тј. процес преноса мишљења, жеља, идеја, осећања од једног субјекта ка другом. Краће речено, комуникација је процес слања и примања порука (информација), [1].

Еволуција људске комуникације, која је започета непосредном невербалном и знаковном комуникацијом, настанком језика се трансформише у вербалну комуникацију да би данас развојем информационо комуникационих технологија (ИКТ) довела до, у све већој мери примене посредне комуникације и с тим у вези потпуно нових начина комуницирања. Савремена комуникација заснована на ИКТ је променила из основа начин комуницирања и учесницима у комуникационом процесу донела бројне погодности у више аспеката комуницирања (масовне доступности, времена одвијања, брзине комуницирања, могућности комбиновања различитих мултимедијалних форми, лакоће комуникације, ...), али и извесне негативне ефекте у различитим аспектима комуницирања (заштита приватности, упрошћавање језичких садржаја, отуђењу људи, и др.). Како популација младих највише примењује савремене облике комуницирања то се, са становишта модерног комуницирања, отварају бројна питања, [2].

У садашњости, основни комуникациони уређај је паметан телефон, „смартфон“, који омогућава приступ широкопојасној мрежи, интернету, светском систему умрежених рачунарских мрежа који је трансформисао начин на који функционишу комуникациони системи, [3]. У данашњици је незамисливо да немамо доступну широкопојасну мрежу у сваком тренутку, где год да се нађемо. Мобилни оператери условљени све већом потражњом за квалитетним телекомуникационим системима, који омогућавају пренос података у реалном времену, принуђени су да се развијају у корак са временом. Повећање пропусног опсега и квалитета су основна начела развоја телекомуникација, [4].

Мобилни широкопојасни приступ, тј. WWAN (Wireless Wide Area Network) се дефинише као широкопојасни приступ у ћелијском окружењу који обезбеђује минимални проток од 256 kbit/s, [5]. Он обухвата широк опсег технологија, које обезбеђују бржи приступ интернету преко преносивих уређаја. Са више од 6 билиона конекција широм света, мобилна телефонија је постала највећа ICT (Information and Communication Technology) технологија у историји, [6].

WWAN мења начин на који људи широм света приступају интернету, стога је 2010. године постао и примарна метода приступа интернету. Гледајући уназад, технологије бежичног приступа пратиле су различите еволуционе путање, али увек стремећи ка истом циљу великих перформанси у мобилном окружењу. Еволуција бежичних технологија је достигла своју пету генерацију, 5G. Кренувши од 1G, која је задовољила основне захтеве преноса говора, затим 2G која уводи капацитет и покривеност, 3G се развила са захтевом преноса података велике брзине, улази у раздобље правог мобилног широкопојасног приступа, који је даље развијан у 4G/ LTE (Long Term Evolution) и 5G мреже, које се фокусирају на развој корисничких терминала, који ће имати приступ свим

бежичним технологијама истовремено и где ће вршити њихову комбинацију ради најбољих перформанси, [7].

У наставку ће бити речи о еволуцији од 1G до 5G, начинима функционисања, о анализи њихових предности, али и мана.



Слика 1 – Од 1G до 5G, [1]

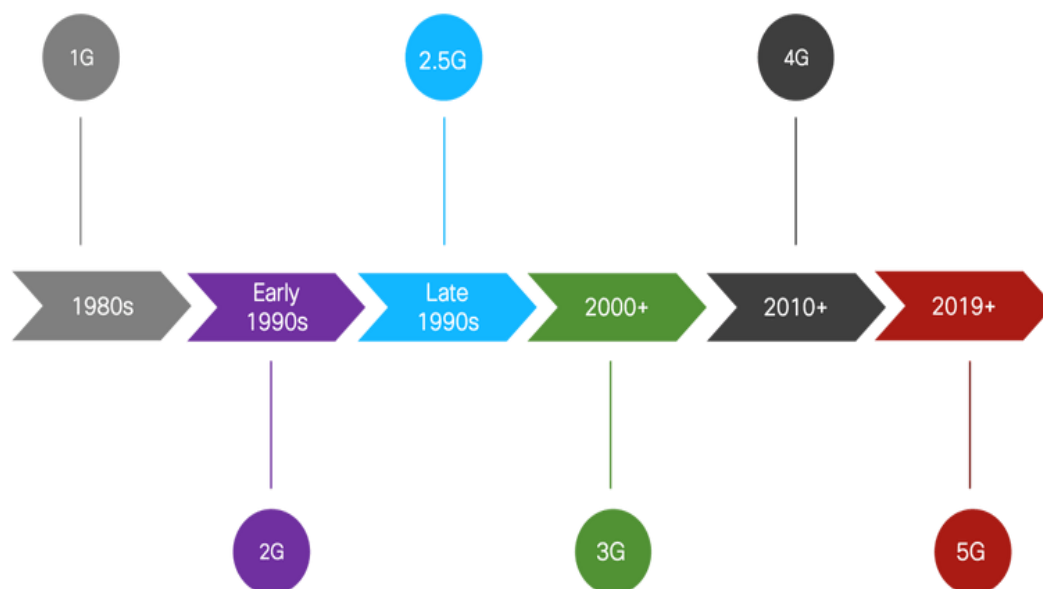
## 2. Еволуција мобилних технологија кроз историју

Савремена технологија представља скуп услуга и сервиса које су омогућене у оквиру WWAN (Wireless Wide Area Network) мрежа чији су део и мобилне технологије. Мобилна радио комуникација захтева да бар један од учесника буде мобилан, тј. у покрету. Телекомуникације су почеле своју еволуцију половином 19. века тестирањем првог телефонског система у Сједињеним америчким државама. За овај догађај се везује настанак и почетак електричних комуникација. Из области бежичних комуникација, 1897. године Маркони (Marconi) је регистровао проналазак који се односи на бежичну телеграфију. Мобилна технологија се врло рапидно развија, за непуних пола века досегла је до 5. генерације, [4].

Срж за почетак анализе огледа се у Шеноновом закону који описује ограничења и саме могућности преноса података.

$$C = W \cdot n \cdot \log_2(1 + SNR),$$

где:  $C$  представља капацитет канала преноса,  $W$  ширину канала,  $n$  коефицијент добитка антене,  $SNR$  представља однос сигнал/шум. Једначином можемо описати све параметре који утичу на капацитет преноса у односу на искоришћење спектра и карактеристику антене, [2]. На слици 2 приказана је еволуција система мобилних телекомуникација хронолошки кроз време, почевши од 1G до 5G.



Слика 2 – Еволуција мобилне технологије, [8]

### 3. Хронолошки преглед развоја мобилних мрежа

#### 3.1. 1G

Системи 1G су увели аналогни хелијски пренос гласа, али нису били у могућности да функционишу између земаља, [9].

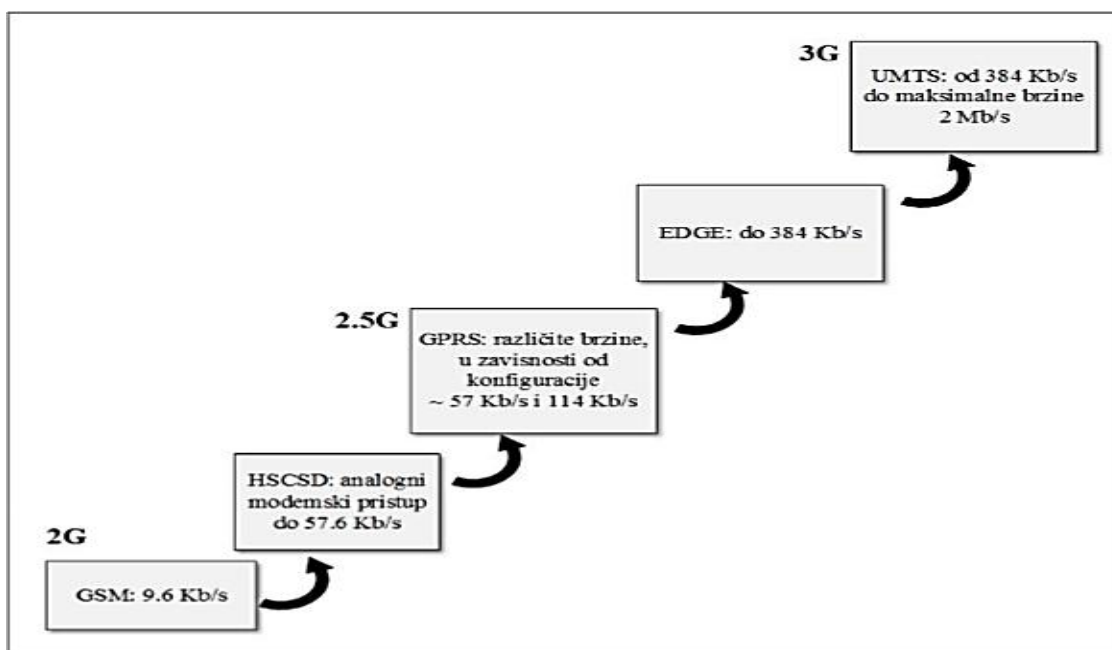
1G мобилна комуникација била је усмерена на глас, заснована на аналогним и хелијским технологијама. Комерцијално 1G мобилна комуникација је била доступна 1980-их. Имали су врло ограничен капацитет и опслуживали су само тржиште као што су војска, владине агенције и славне личности. У то време није постојао универзални стандард мобилне комуникације и већина земаља је развила сопствене моделе 1G комуникације, што значи да би мобилни уређај престао да ради када путујете из једне земље у другу, [8].

#### 3.2. 2G

Еволуција до 2G, током раних 1990-их, дала нам је две велике предности. Прво је ширење тржишта, тј. могућност да мобилна доступност дође до масовне употребе. Друго, дошло је до унапређења технологије, од аналогног до дигиталног, [10]. Први мобилни бежични приступ постаје доступан 1991. године, као део мобилног система 2G. 2G уводи пренос података мале брзине. У односу на 1G, 2G користи технологије вишеструког приступа тј. TDMA (Time Division Multiple Access) и CDMA (Code Division Multiple Access), које су увеле већу спектралну ефикасност, пренос података, [7].

Развијен је и уникатан систем за стандардизацију 2G технологије мобилне комуникације, како би се решили проблеми интернационалног roaming-a, тзв. GSM (Global System for Mobile Communications) систем. Базирано на GSM платформи, пренос података у 2G почиње са GSM CSD (Circuit Switched Data), где је проток био 9.6 kbit/s., слика 3, [7].

Крајем 1990-их тржиште 2G постало је зрелије, али и захтевније. Жестока конкуренција резултирала је губитком прихода за провајдере мобилних услуга. Пружаоци услуга су веровали да је будућност мобилног повезивања у пружању *мултимедијских услуга* путем интернета. Јапански NTT Docomo (највећи светски оператер у то време), преузео је водећу улогу у реализацији 3G-а новом WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) технологијом. Била је то иновација за провајдере, а већина њих је користила GSM технологију засновану на TDMA. GSM оператери су у почетку увели GPRS, а касније и EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution) технологију као пут миграције до 3G. Ово је постало познато као 2.5G. Технологије 2.5G омогућиле су GSM оператерима да пружају једноставне услуге на малим брзинама, што би на крају било побољшано у 3G технологији, [8].



Слика 3 – Корак по корак до UMTS мрежа, [7]

Развитком EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution) технологије почиње мобилни широкопојасни приступ, брзине иду до 384 kbit/s. EDGE користи GSM/GPRS мрежу уз мале измене, али зато уводи напредније кодовање. Уз тај развитак се повећава ефикасност самог преноса података у времену, али и брзина преноса која је већа када су радио услови бољи. Стандарди за развој мреже су били различити у различитим деловима света, па се дошло до констатације да мобилна мрежа треба да обезбеди сервисе независно од технолошке платформе, чији стандарди морају да буду јединствени на глобалном нивоу, [7].

### 3.3. 3G

Сервисни провајдери, тј. даваоци услуга, почели су са усвајањем 3G почетком 2000-их. ITU (International Telecommunication Union) је дефинисала основни концепт за 3G системе у пројекту IMT-2000, са минималним захтевима по питању протока:

- Ограничена мобилност корисника (брзина мања од 10 km/h): минимални проток 2 Mbit/s у ограниченом отвореном простору, унутар објекта;
- Потпуна мобилност корисника (брзина мања од 120 km/h): минимални проток 384 kbit/s у урбаном окружењу;
- Висока мобилност корисника (брзина ~ 120 km/h) : минимални проток 144 kbit/s у руралном окружењу, [10].

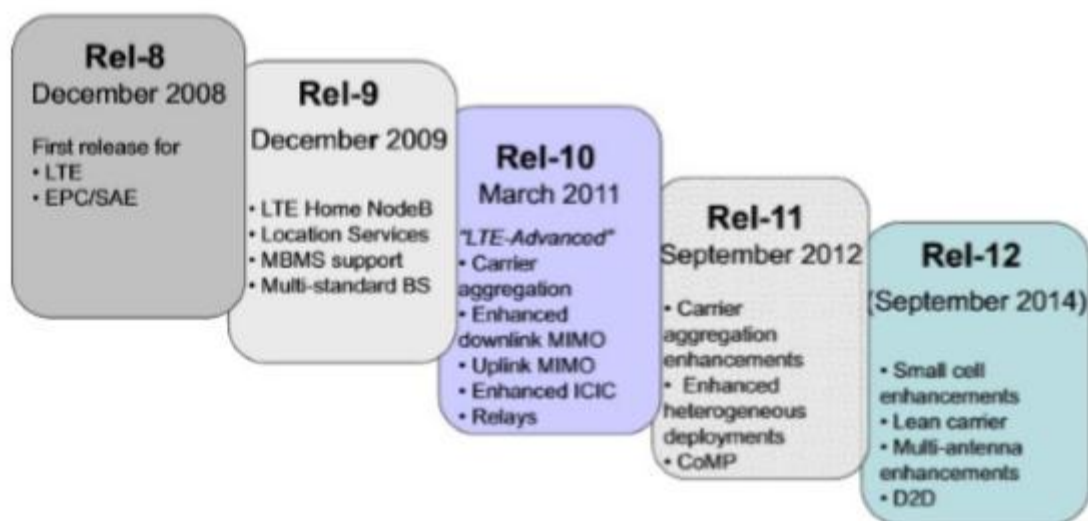
Трећа генерација спаја више различитих стандарда који су дефинисани од стране ITU, у оквиру партнерског пројекта 3GPP (3rd Generation Partnership Project), [11].

3GPP је дефинисала мобилни систем који задовољава захтеве IMT-2000. ITU је усвојила UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) као званичну технологију за реализацију мобилног система 3G. Због подршке великим протоцима UMTS је у радио домену реализован као широкопојасни систем који користи WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) приступну технологију и ради у фреквенцијском FDD (Frequency Division Duplex) или временском TDD (Time Division Duplex) дуплексу, [7]. WCDMA-FDD се користи за веће покривање квалитетнијим сервисом, док за мање локалне зоне се користи WCDMA-TDD. Контролу транспорта врши ATM (Asynchronous Transfer Mode) протокол, [4].

WCDMA и CDMA2000 су били почетне технологије које покрећу 3G. 3G је пружио значајна побољшања у капацитетима података. WCDMA је касније еволуирала у HSPA (High Speed Packet Access) да би одговарала брзини коју нуди CDMA2000. Први је HSDPA (High Speed Download Packet Access) који је дефинисан у оквиру 3GPP Release 5 и HSUPA (High Speed Upload Packet Access) развијен у оквиру издања 3GPP Release 5. HSDPA терминали се могу поделити у 12 категорија са протоцима од 0.9 Mbps до 11.4 Mbps, HSUPA уводи низ побољшања у односу на HSDPA, као што је боља покривеност за пренос података већим брзинама, до 5.7 Mbps, [12].

### 3.4. 4G

4G, мобилне мреже четврте генерације су резултат потражње за већим могућностима у погледу самог капацитета преноса података и приступа широкопојасном интернету. ITU (International Telecommunication Union) је у својим издањима, почевши од 2008. године почела спецификацију мобилних мрежа четврте генерације, [4].



Слика 4 – Спецификација захтева за LTE мреже, [13]

У Јужној Кореји, 2009. године је успостављен први 4G функционални систем комуникација, који је најавио брзу имплементацију нових технологија на глобалном

нивоу. Мобилне мреже четврте генерације у складу са захтевима ИТУ од 2008. године треба да омогуће следеће:

- Свеобухватну IP (all IP) мобилну подршку;
- Приступ са више различитих врста уређаја, као што су телефон, лаптоп, таблет, рачунар
- IP телефонија
- Qos (Quality of Service)
- Компатибилност са претходним генерацијама мобилних мрежа
- Брзина преноса од 100 Mbps за кориснике који се крећу великим брзинама до 1 Gbps за стациониране кориснике
- Динамичка расподела ресурса због подршке великом броју корисника
- Променљива ширина канала од 5-20 MHz, опционо до 40 MHz
- Непрекидна конекција за мрежу (handover, roaming)
- Мултимедијални сервиси високог квалитета, [4].



Слика 5 – 4G илустрација, [14]

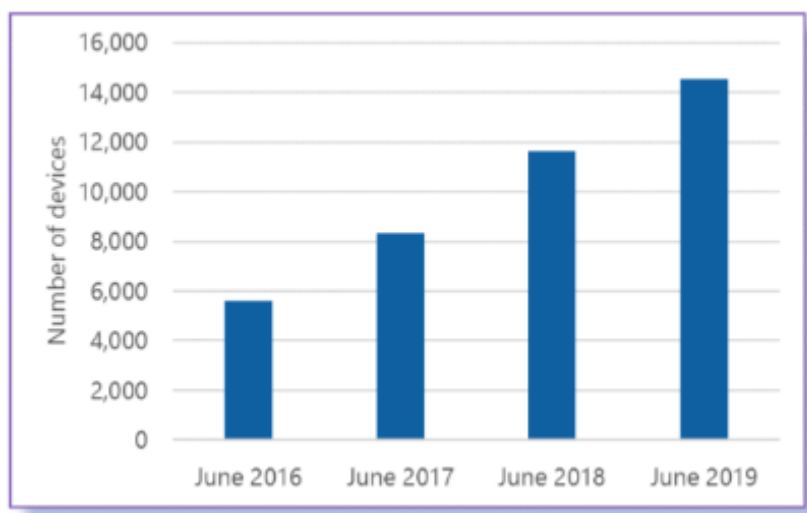
Мобилне мреже четврте генерације развијене су у два правца: WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) и LTE (Long Term Evolution).

WiMAX је серија стандарда IEEE 802.16 и први пут је имплементиран 2007. године, у Јужној Кореји. LTE је наставио развој система који већ постоје, а то су: GSM, EDGE, UMTS, HSPA. Развијен је нови интерфејс E-UTRA (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access) који представља приступни део EPS (Evolved Packet System). EPS је базиран на

all-IP принципу. Сервиси у реалном времену, такође и они који нису осетљиви на време, преносе се путем IP протокола. Алокација IP адреса се врши када се терминал упали, док се ослобођење врши по његовом гашењу. Две наведене технологије, WiMax и LTE, нису заправо 4G мреже, из разлога што су омогућавале мање протоке од 1 Gbps, зато се називају и 3.9 мобилним мрежама. Да би се постигли захтевани стандарди развијен је програм IMT-Advanced (International Mobile Telecommunications-Advanced) који је обухватио Mobile WiMAX Release и LTE Advanced. Јапанска компанија NTT DoCoMo је предложила стандардизацију LTE Advanced и стандардизација је реализована 2011. од стране 3GPP. LTE Advanced функционише у фреквенцијским опсезима 800, 900, 1800, 2100, 2600 MHz. Такође је дефинисана могућност коришћења опсега 450 и 3600 MHz, са каналима ширине 5-20 MHz, али и могућношћу проширења на 40 MHz, [4].

#### 3.4.1. Развој LTE мрежа кроз статистичке показатеље

Развој LTE мрежа и повећање броја корисника најбоље се може представити кроз број уређаја који пружају подршку 4. генерацији мобилних мрежа. Тренутно у употреби има преко 14 000 уређаја који се користе у LTE мрежи, што указује на милионски број корисника. На слици 6, која је преузета са сајта [gsacom.com](https://gsacom.com) представљен је раст броја уређаја од јуна 2016. до јуна 2019. године. Раст броја уређаја из године у годину је енормно већи, што само указује на раст тржишта, [4].



Слика 6 – Приказ раста броја LTE уређаја <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Преузето са <https://gsacom.com/>

### 3.4.2. Стање LTE мрежа у Републици Србији

У извештају Покривености сигнала мобилне телефоније у Србији, које издаје Регулаторна агенција за електронске комуникације и поштанске услуге (РАТЕЛ) можемо анализирати стање у мобилним мрежама четврте генерације, [15].

Услуге мобилне телефоније у Републици Србији пружају три оператора: Предузеће за телекомуникације Телеком Србија а.д. (mts), Теленор д.о.о, Вип мобајл д.о.о., [15].



Слика 7 – Мобилни оператори у Србији

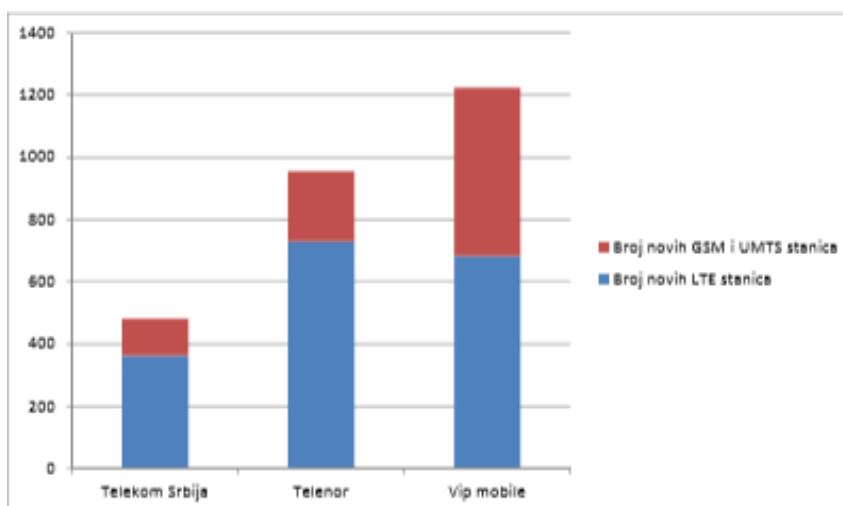
Сва три оператора поседују лиценце за јавну мобилну телекомуникациону мрежу и услуге јавне мобилне телекомуникационе мреже на технолошки неутралној основи. Оператори поседују појединачне дозволе за коришћење радио-фреквенција у следећим радио-фреквенцијским опсезима:

- 791-821/832-862 MHz,
- 890-915/935-960 MHz,
- 1710-1780/1805-1875 MHz,
- 1900-1915 MHz,
- 1920-1965 MHz/ 2110-2155 MHz, [15].

Оператори користе GSM (2G), UMTS (3G) и LTE (4G) технологију.

|                | Укупан број активних базних станица |           |          |
|----------------|-------------------------------------|-----------|----------|
|                | GSM (2G)                            | UMTS (3G) | LTE (4G) |
| Телеком Србија | 2160                                | 2243      | 567      |
| Теленор        | 2541                                | 3673      | 949      |
| Вип мобајл     | 2282                                | 1602      | 1085     |

Табела 1 – Укупан број активних базних станица, [15]

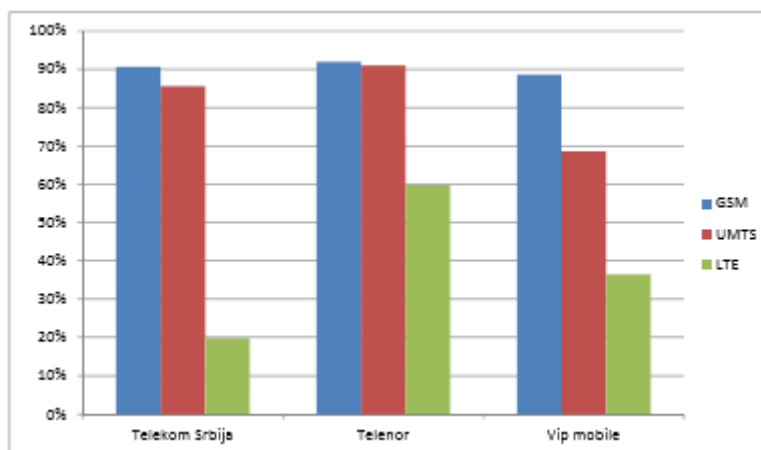


Слика 8 – Број нових базних станица на територији Републике Србије у периоду 2018/19, [15]

Из извештаја РАТЕЛ-а се види да оператери имају различити приступ начину покривања територија базним станицама. Једни се фокусирају на локације где је насељено већински становништво, док други покривају главне путне правце, шира подручја ван самих градских места. На основу извештаја о покривности територија Регулаторне агенције за електронске комуникације и поштанске услуге, [15], може се видети сам проценат покривености територије:

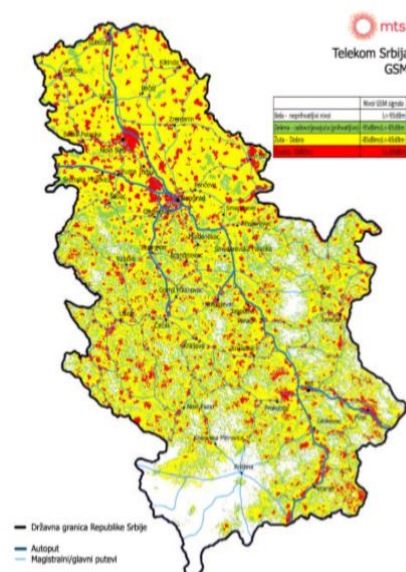
| Проценат покривености територије Републике Србије |                                |                                  |                                 |
|---------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
|                                                   | GSM (2G)<br>(за RSRP > -95dBm) | UMTS (3G)<br>(за RSRP > -105dBm) | LTE (4G)<br>(за RSRP > -110dBm) |
| Телеком Србија                                    | 90,62%                         | 85,59%                           | 19,81%                          |
| Теленор                                           | 91,90%                         | 91,02%                           | 59,85%                          |
| Вип мобајл                                        | 88,60%                         | 68,60%                           | 36,50%                          |

Табела 2 – Проценат покривености територије Републике Србије, [15]

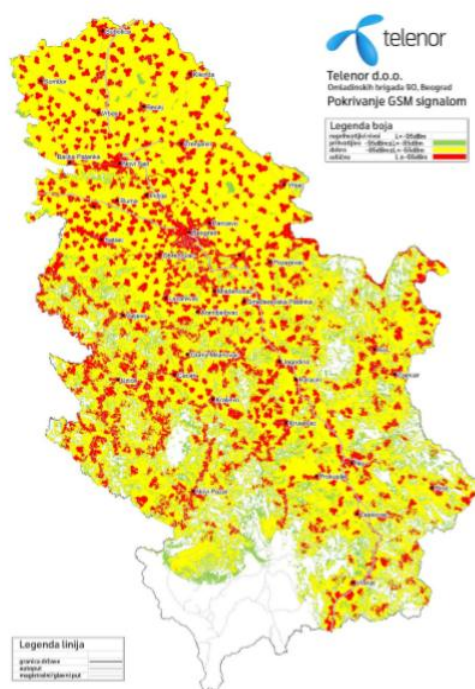


Слика 9 – Проценат покривености на територији Републике Србије, [15]

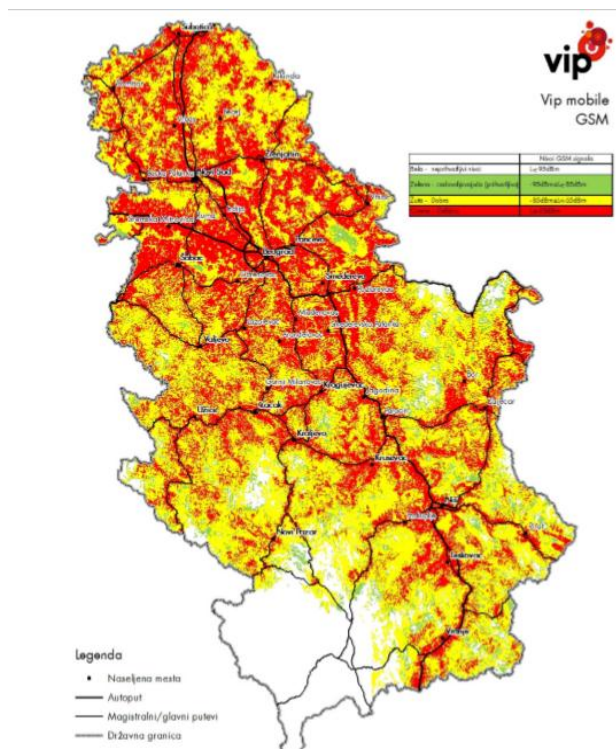
У наставку су мапе покривања територије GSM сигналом, које су РАТЕЛ-у доставили оператери.



Слика 10 – Процент покривености Републике Србије - Телеком Србија, [15]



Слика 11 – Процент покривености Републике Србије - Теленор, [15]



Слика 12 – Процент покривености Републике Србије - Вип, [15]

### 3.5. 5G

#### 3.5.1. Шта је 5G?

5G технологија означава мобилну технологију 5. генерације. 5G технологија има изванредне могућности по питању капацитета података и има могућност повезивања неограничене количине позива и бесконачног емитовања самих података унутар најновијег мобилног оперативног система. 5G технологија има светлу будућност, јер се може носити са најбољим технологијама и понудити својим клијентима телефон изузетних могућности. 5G технологија преузима светско тржиште. Функционисање рутера и свича, која се користи у 5G мрежи, пружа високу повезаност. Пета генерација мобилне технологије пружа и пружаће мобилни телефон који је попут PDA-a (Personal Digital Assistant), цела канцеларија ће бити у телефону. 5G технологија пружа могућност преузимања филма у HD резолуцији за свега 6 секунди, док у претходној генерацији, 4G треба 7 минута, а 3G технологији за исти садржај за преузимање потребно је више од сат времена. Такође, видео позиви ће бити толико импресивни да ће се осећати као да можемо посегнути и додирнути другу особу директно кроз екран. 5G је пакетни бежични систем са широко појасним приступом и високом пропусношћу. 5G бежична мрежа користи OFDM и милиметарске бежичне уређаје и омогућава пренос података брзином од 20 Mbps и фреквенцијски опсег 2-8 GHz. 5G систем комуникације је замишљен као стварна бежична мрежа, која може да подржава wireless World Wide Web (WWWW), [16].

### Кључни циљеви 5G мрежа:

- Значајно веће брзине података: Тренутно су 4G мреже способне постићи врхунско преузимање брзине од једног гигабита у секунди, мада у стварној пракси то никада није тако брзо. Са 5G, ова брзина повећала би се на 10 Gbps.
- Изузетно ниска латенција: „Латенција“ се односи на време потребно једном уређају да пошаље пакет података другом уређају. Код 4G, латенција износи око 50 милисекунди, али 5G ће то смањити на око једне милисекунде. Ово ће бити веома важно за индустријске примене и аутомобиле без возача.
- Више „повезани свет“: Очекује се да ће интернет ствари ( The Internet of Things ) (паметни кућни апарати, повезани аутомобили итд.) експоненцијално расти током наредних 10 година, а за то ће бити потребна мрежа која може имати капацитет за милијарде повезаних уређаја. 5G ће обезбедити капацитет и ширину појаса за потребе корисника.
- Технологија је још увек „далеко“ од стварности, али има потенцијал да у потпуности промени начин на који се комуницира са бежичним уређајима, од паметног телефона у цеповима до кућа, аутомобила итд., [16].

### 3.5.2. Карактеристике 5G технологије

Тренутни тренд 5G технологије има следеће карактеристике:

- 5G технологија омогућава брзину повезивања до 25 Mbps.
- 5G технологија нуди високу резолуцију за кориснике мобилних телефона и двосмерну велику пропусност.
- 5G технологија омогућава велико емитовање података у гигабитима, што подржава скоро 65.000 веза.
- Брзина преузимања и отпремања 5G технологије додирује врхунац. Брзина преузимања је 2.5 Gbps , док брзина отпремања износи 1.25 Gbps.
- 5G технологија такође подржава виртуелну приватну мрежу.
- У 5G-у, свака мрежа ће бити одговорна за руковање мобилношћу корисника, док ће терминал вршити коначан избор између различитих пружалаца услуга бежичне/мобилне приступне мреже за дату услугу. Такав избор ће се заснивати на отвореном интелигентном софтверу у мобилном телефону.
- Даљински приступ уређајима је одлична функција коју нуди 5G, а кроз коју корисник може имати боље и брже решење за одређени проблем, [16].

### 3.5.3. Изазови суочавања са 5G

Интеграција различитих стандарда:

Један од највећих изазова са којим се суочава 5G је стандардизација. Више група које раде на достизању стандарда око интероперабилности, компатибилности са старијим технологијама (4G, 3G) пазећи на мрежу која се користи и која ће користити се у будућности.

Изградња инфраструктуре:

То је огроман задатак, због проблема око спектра и инсталирања нових антена, из тих разлога 5G ће се вероватно ослањати, бар делимично, на појачане фреквенције. На високим фреквенцијама, сигнали не могу да путују онолико далеко колико могу преко фреквенција коришћених за 4G, што резултира лошом везом.

Препреке:

Зграде, дрвеће и чак лоше време могу проузроковати сметње. Да би се то надокнадило, дистрибутери ће морати да инсталирају више базних станица, како би се осигурала боља покривеност и користила технологија попут MIMO, [16].

### 3.5.4. 5G спецификација

5G је пета генерација мобилне мрежне технологије. Индустријска асоцијација 3GPP дефинише било који систем који користи 5G NR (5G New Radio) технологију као 5G. Дефиниција је у општу употребу дошла крајем 2018. године. 5G NR је нова радио приступна технологија развијена од стране 3GPP, дизајнирана у намери да буде глобални стандард за пету генерацију мобилних мрежа. 5G технологија прати претходне генерације 2G, 3G и 4G и њихове припадајуће технологије (као што су GSM, UMTS и друге), [17].

Типични параметри за 5G стандард могу обухватати, по препоруци организација, следеће перформансе, [16]:

| 5G Wireless карактеристике (предложено)             |                            |
|-----------------------------------------------------|----------------------------|
| Параметри                                           | Перформансе                |
| Капацитет мреже (Network capacity)                  | 10 000 пута тренутна мрежа |
| Максимална брзина преноса података (Peak data rate) | 10 Gbps                    |
| Брзина података (Cell edge data rate)               | 100 Mbps                   |
| Кашњење (Latency)                                   | <1 ms                      |

Табела 3 – 5G бежичне перформансе (предложено), [16]

### 3.5.5. Примене 5G технологије

Примене 5G су ипак и даље изван наше маште. Корисник никада раније није доживео тако „високу“ технологију која укључује све врсте напредних функција. Неке од апликација 5G, које се могу очекивати, су:

- Можемо напунити мобилни телефон користећи сопствени пулс.
- Можемо измерити ниво шећера наше баке помоћу мобилног телефона.
- Можемо знати тачно време рођења детета у нано секунди.
- Наши мобилни телефони звоне у складу са нашим расположењем.
- Можемо гласати са мобилног телефона.
- Можемо живо визуелизовати све планете и универзум.
- Можемо осетити цунами или земљотрес, пре него што се догоди.
- Можемо приступити нашој радној површини, преносном рачунару, аутомобилу, бициклу, помоћу мобилног телефона.
- Наш украдени мобилни телефон можемо пронаћи у року од наносекунде, [16].

### 3.5.6. 5G хардвер и софтвер

#### 3.5.6.1. 5G хардвер

- **Ултра широкопојасне мреже (Ultra wideband networks (UWB))**

Системима као што је WPAN потребна је радио технологија кратког домета, што помаже у постизању веће веће брзине (око 4000 Mbps), али при ниским нивоима енергије (UWB мрежа), за преношење података од главних уређаја до уређаја у непосредној близини, тј. удаљености од отприлике 10 метара. Ово је готово 400 пута брже од данашњих бежичних мрежа. Свака мрежа ће бити одговорна за руковање мобилношћу корисника, док ће кориснички терминал вршити коначан избор између различитих давалаца услуга бежичне/мобилне приступне мреже, [16].

- **Паметне антене:**

Антиена са преклопљеним снопом:

- подржава радио позиционирање помоћу угла наилазак (AOA – Angle of arrival);
- информације се прикупљају са оближњих уређаја.

#### Адаптивни низови антена:

- побољшава капацитет бежичних система, пружајући побољшану сигурност;
- одбија сметње кроз просторно-променљиву позицију кроз различита мерења;
- развија побољшане моделе канала помоћу мерења звука канала под углом наиласка, [16].

#### ➤ **CDMA** (Code Division Multiple Access) техника:

Ова техника претвара аналогни улазни сигнал у дигиталне сигнале (ADC) у комбинацији са технологијом проширеног спектра. Сигнал се преноси помоћу модулације, према неком унапред дефинисаном коду (обрасцу) и демодулира се користећи исти образац, иако може бити неколико билиона образаца кодова који могу пружити приватност и довољну сигурност, [9].

#### 3.5.6.2. 5G софтвер

5G ће бити јединствени IP стандард различитих бежичних мрежа и комбинација широкопојасних мрежа, укључујући бежичне технологије, као што су IEEE802.11, LAN, WAN, PAN и WWW, [16].

#### 3.5.7. Тренутна истраживања

Постоји неколико кључних области које су теме истраживања. Оне укључују:

#### ➤ Милиметарске таласне технологије:

Употреба много виших фреквенција у фреквенцијском спектру отвара више могућности, а такође пружа и могућност широке пропусности канала, 1-2 GHz. Међутим ово поставља нове изазове за развој слушалица, код којих су максималне фреквенције око 2 GHz, а тренутно се користе опсези 10-20 MHz. За 5G су разматране фреквенције веће од 50 GHz и то ће представљати стварне изазове у погледу дизајна кола, технологије, као и начина на који се систем користи јер сигнали на тако високим фреквенцијама не могу да путују тако далеко и готово потпуно апсорбују кроз препреке.

#### ➤ Будући PHY/MAC (PHysical Layer/Medium Access Control):

Ово подручје пружа бројне могућности коришћења нових типова модулација, укључујући GFDM (Generalized Frequency Division Multiplexing), генерализовано фреквенцијско мултиплексирање, као и FBMC (Filter Bank Multi-Carrier), UFMC (Universal Filtered Multicarrier) и друге модулације за управљање. Све ово, наравно, треба развити.

➤ Масивни MIMO:

У многим апликацијама, од LTE до Wi-Fi, користи се MIMO. Коришћење фреквенција микроталаса отвара могућност употребе више десетина антена на једном уређају, [16].

### 3.5.8. Кључни концепти 5G технологије

Свет мобилних бежичних комуникација се брзо развија. 5G технологија ће бити нова мобилна револуција на тржишту мобилних уређаја. Постоје многе нове технике и технологије у којима ће се користити нови 5G ћелијски или мобилни телекомуникациони систем.

Кључни концепти 5G бежичне комуникације су:

- Dynamic Adhoc Wireless Network (DAWN), у основи је иста као мобилна адхок мрежа MANET (Mobile adhoc network), бежична мрежа WMN (Wireless Mesh Network) или бежичне мреже Wireless grids, у комбинацији са паметним антенама и флексибилним модулацијама.
- Системи стратосферске платформе за велике висине, HAPS (High-altitude platform station).
- Концепт мреже усмерене на корисника, уместо на оператера (као у 3G), или сервис (као у 4G) , [16].

#### 4. Поређење генерација мобилних технологија

| Технологија                | 1G                                                                  | 2G                                                                            | 3G                                                                                              | 4G                                                                               | 5G                                                                                                    |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Почетак/<br/>Развој</b> | 1970-80                                                             | 1990-2004                                                                     | 2004-10                                                                                         | 2010-2019                                                                        | 2019-                                                                                                 |
| <b>Проток<br/>података</b> | 2 Kbps                                                              | 64 Kbps                                                                       | 2 Mbps                                                                                          | 1 Gbps                                                                           | Више од 1 Gbps                                                                                        |
| <b>Технологија</b>         | Аналогна                                                            | Дигитална                                                                     | CDMA 2000, UMTS, EDGE                                                                           | Wi-Max, Wi-Fi, LTE                                                               | WWWW                                                                                                  |
| <b>Основна<br/>мрежа</b>   | PSTN                                                                | PSTN                                                                          | Packet N/W                                                                                      | Интернет                                                                         | Интернет                                                                                              |
| <b>Приступна<br/>мрежа</b> | FDMA                                                                | TDMA/CDMA                                                                     | CDMA                                                                                            | CDMA                                                                             | CDMA                                                                                                  |
| <b>Тип<br/>switching-a</b> | Circuit                                                             | Circuit, Packet                                                               | Packet                                                                                          | All Packet                                                                       | All Packet                                                                                            |
| <b>Примарна<br/>услуга</b> | Аналогни<br>телефонски<br>позиви                                    | Дигитални<br>телефонски<br>позиви и<br>поруке                                 | Мобилни<br>позиви,<br>поруке,<br>подаци                                                         | All-IP сервис<br>(укључујући<br>гласовне<br>поруке)                              | Велика<br>брзина,<br>висок<br>капацитет и<br>обезбеђено<br>велико<br>емитовање<br>података у<br>Gbps  |
| <b>Кључна<br/>разлика</b>  | Мобилност                                                           | Безбедност,<br>масовно<br>прихватање                                          | Боље<br>интернет<br>искуство                                                                    | Бржи<br>широкопојасни<br>интернет,<br>мање кашњење                               | Боља<br>покривеност<br>и без<br>прекида<br>позива,<br>много мање<br>латенције,<br>боље<br>перформансе |
| <b>Недостатак</b>          | Лоша<br>спектрална<br>ефикасност,<br>велико<br>сигурносно<br>питање | Ограничене<br>брзине<br>података,<br>мала подршка<br>за потражњу<br>Интернета | Реалне<br>перформансе<br>не<br>одговарају<br>типу,<br>неуспех<br>WAP за<br>приступ<br>Интернету | Потрошња<br>батерије је<br>већа, потребан<br>је<br>компликован и<br>скуп хардвер | ?                                                                                                     |

Табела 4 – Поређење свих мобилних технологија, [16]

## 5. Прва 5G базна станица

Повећање квалитета свакодневног живота, мање трошкове пословања, увођење нових послова и предузетништва, већа брзина преноса података, једном речју велики утицај на привреду и економију очекује се увођењем 5G технологија. То није једноставан посао. Очекује се велика улога државе да створи услове за развој високопојасне инфраструктуре. Такође, велики значај имаће оператери, индустрија (високотехнолошке компаније). Да би све функционисало добро потребна су јасна правила, како ће се инфраструктура користити. Ту је велика улога државе која треба да донесе закон о електронским комуникацијама. Очекује се да ће 2020. година бити кључна што се тиче развоја 5G мреже и да је то технологија будућности. У Научно-технолошком парку Београд, 21. јуна 2019. године, пуштена је у пробни рад прва 5G базна станица у Србији, захваљујући којој 5G окружење од тог дана могу да користе компаније, предузетници. итд, [18].

## 6. Мобилни телефони са 5G технологијом

5G је инвестиција у будућност, мада може се рећи и у наредну деценију. Искуство са претходним технологијама указују да се највеће промене могу очекивати неколико година након представљања нове технологије. Показатељ је 4G технологија, тренутно актуелна. Први 4G телефони су се појавили 2010. године, али у ширу употребу су ушли тек 2012. године. Уколико се прекопира тај шаблон, 5. генерација ће бити у пуном сјају 2022. године. Пета генерација мобилних мрежа прво ће заживети у САД-у, а произвођачи телефона су углавном фокусирани на њихово тржиште, [19].

За сада постоји неколико 5G телефона:

- Motorola Moto Z3 са 5G Moto mod-ом

Моторола је избацила на тржиште први 5G телефон, Motorola Moto Z3 са 5G Moto mod-ом. Није креиран апсолутно нов телефон, већ захваљујући модуларности, креиран је нови модул који даје 5G подршку. Motorola Moto Z3 је 4G телефон средње класе и прихватљиве цене (480 долара), који је у сарадњи са Verizon-ом добио и 5G Moto mod. Овај телефон је на располагању корисницима Verizon-а од 13. априла ове године. Његова дебљина је око 8 mm, а у себи садржи Snapdragon 855 процесор, Qualcomm X50 модем и додатну батерију од 2000 mAh. Mod користи софтвер Z3 телефона, камере, екрана, као и све остале хардверске компоненте које нису имплементирани у њему, [19].

- Samsung Galaxy S10 5G

Samsung Galaxy S10 5G прво ће бити доступан за кориснике Verizon-а. S10 5G користи Qualcomm X50 модем и изгледа као „набилдован“ Galaxy S10+. Има исти динамички

AMOLED екран као на поменутом моделу, али је дијагонала екрана 6,7 инча, већа него код S10+. Телефон има 4 камере, на леђима и две на предњој страни. Захваљујући Qualcomm Snapdragon 855 процесору, телефон има одличне перформансе, а опремљен је са 8 GB RAM-а и 256 GB смештајног простора, који се нажалост не може проширити (не постоји MicroSD слот). Батерија од 4500 mAh обећава дугу аутономију, [19].

➤ Samsung Galaxy Note 10 5G

Још увек није у продаји, али најављено је да стиже до краја 2019. године. Подржаваће 5G мрежу ниских фреквенција и већег домета. Телефон има дијагоналу екрана 6.4 инча, са резолуцијом 1440×3040 пиксела, 4 камере, процесор Snapdragon 855, 12 GB RAM-а и Samsung's S Pen stylus оловку, [19].

➤ LG V50 ThinQ 5G

Мобилни телефон покреће Snapdragon 855 чипсет, има дијагоналу екрана 6,4 инча, са резолуцијом 3120×1440 пиксела, 6 GB RAM-а и 128 GB простора за смештај података (проширивих путем, MicroSD картице). Телефон има батерију капацитета 4000 mAh. Најлепше код овог модела је што је по димензијама не одскаче од обичних мобилних телефона. На предњој страни налазе се 8 MP стандардна камера, којој је придодата широкоугаона камера са углом захватања 90 степени и резолуцијом 5 MP. Главна задња камера има резолуцију 12 MP, а придодате су јој 16 MP камера са суперширокоугаоним објективом и 12 MP камера са 2x оптичким зумом. И овај телефон користи Qualcomm X50, [19].

➤ Xiaomi Mi Mix 3 5G

У односу на претходно поменуте мобилне телефоне, који су првенствено намењени америчком тржишту, циљ Xiaomi Mi Mix 3 5G је европско и азијско тржиште. Телефон поседује 6,39 инча AMOLED екран. Две предње камере (24 MP и 2 MP) скривене иза слајдера, који подиже задњи део телефона око центиметар изнад екрана. На тој задњој страни налази се и задња дуал камера са сензорима од по 12 MP, као и скенер отиска прста. Унутрашњост телефона је слична као код конкуренције: Qualcomm Snapdragon 855 чипсет са X50 модемом заменили су Snapdragon 845 чипсетом који је имплементиран у оригиналном Mi Mix 3. Xiaomi тврди да ће Mi Mix 3 5G бити способан да обезбеди брзине података које су 10 пута веће него на 4G LTE мрежи. Компанија је већ остварила партнерства с великим бројем мобилних оператера у Европи, а највећи су Orange, Vodafone, TIM и Three. Иницијална цена за телефон је 599 евра и он је већ доступан код партнерских оператера од маја ове године, 2019. По свему судећи, овај телефон је најјефтинија пропусница у 5G свет, [19].

➤ OnePlus 5G

Телефон ће бити доступан крајем текуће 2019. године и то ексклузивно преко ЕЕ оператера из Велике Британије. Он још увек званично није нигде представљен. Први пут је виђен на Qualcomm-овом штанду на MWC19 сајму, али је био упакован у кутију због које се видео само део екрана, [19].

➤ Huawei Mate X 5G

Због забрана у САД-у, Huawei неће бити присутан на америчком тржишту. Али, кинеска фирма је представила импозантан мобилни 5G телефон. Huawei Mate X представља преклопни телефон који је у склопљеном режиму поседује екран дијагонале 6,6 инча са резолуцијом 2480×1148 пиксела. Дијагонала задњег дисплеја је 6,48 инча. Када се отвори, Mate X је таблет с дијагоналом екрана 8 инча и резолуцијом 2480×2200 пиксела. Када је склопљен, телефон је дебео 11 mm, а расклопљен (у таблет режиму) 5,4 mm. Сканер отиска прста уграђен је у Power тастер, на бочној ивици самог телефона. Huawei тврди да је Mate X најбржи преклопни 5G телефон, али за сада је једини, тако да ни нема конкуренцију. Перформансе Mate X су врло добре – заснован је на Kirin 980 процесору, а за 5G функционалност заслужан је Balong 5000 5G модем са четири антене. Модем може да обезбеди брзине преузимања података 4 Gbps, што значи да фајл величине 1 GB може да се пренесе за 2-3 седунде. Капацитет батерије је 4500 mAh, а захваљујући SuperCharge технологији, она може да буде напуњена до 85 процената за пола сата. Huawei Mate X 5G биће доступан у продају крајем ове године по цени од око 2300 евра, [19].



Слика 13 – Huawei Mate X 5G, [19]

## 7. Закључак

У садашњости, основни комуникациони уређај је паметан телефон, који омогућава приступ широкопојасној мрежи. Просто је незамисливо да немамо доступну широкопојасну мрежу у сваком тренутку, где год да се нађемо. Мобилни телефони су постали неизоставан део наше свакодневице. У овом раду су описане генерације мобилних бежичних технологија, њихове перформансе, предности и недостаци једне генерације у односу на друге. Почевши од 1G, где се вршио аналогни пренос - говор, преко 2G и првим преносом података, 3G са широкопојасним приступом интернету, до 4G и бежичног, новог света 5G технологије, коју ће сви у будућности користити. Пета генерација мобилне технологије пружа прави бежични свет, без икаквих ограничења у питању приступа. Корисник може да се повеже истовремено на неколико технологија бежичног приступа и неометано креће између њих. 5G уствари представља више „повезани свет“, очекује се да ће интернет ствари (The Internet of Things) (паметни кућни апарати, повезани аутомобили итд.) експоненцијално расти током наредних 10 година, а за то ће бити потребна мрежа која може имати капацитет за милијарде повезаних уређаја, а то ће бити 5G мрежа, која има потенцијал да у потпуности промени начин на који се комуницира са бежичним уређајима, од паметног телефона у џеповима до кућа, аутомобила итд.



Слика 14 – "Технологије на длану", [1]

## 8. Литература

- [1] Друштвени медији – друштвени феномен, Развој каријере, Приступљено: 20.09.2019. године, линк: [http://www.razvoj-karijere.com/media/files/Drustveni\\_mediji-drustveni\\_fenomen.pdf](http://www.razvoj-karijere.com/media/files/Drustveni_mediji-drustveni_fenomen.pdf)
- [2] М. Крстић, А. Скоруп, Методологија истраживања интерперсоналне комуникације младих базиране на савременој технологији, Приступљено: 20. 09.2019. године, линк: <http://trendovi.indmanager.org/index.php/tp/article/view/136>
- [3] Интернет, Википедија, Приступљено: 20.09. 2019. године, линк: <https://sr.wikipedia.org/sr-ec/%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B5%D1%82>
- [4] Александар Павић, Анализа безбедносних недостатака у 4G/ LTE мобилним комуникационим мрежама, Београд, 2017, линк: <https://singipedia.singidunum.ac.rs/izdanje/42747-analiza-bezbednosnih-nedostataka-u-4g-lte-mobilnim-komunikacionim-mrezama>
- [5] ITU: Definitions of World Telecommunication, ICT Indicators, Geneva, 2010
- [6] “The State of Broadband 2013: Univerzaling Broadband 2013”, Broadband Commission, 2013.
- [7] М. Рајковић, Љ. Марковић, М. А. Краковић, М. Јанковић, Регулаторна агенција за електронске комуникације и поштанске услуге, ПРЕГЛЕД ТЕХНОЛОГИЈА МОБИЛНОГ ШИРОКОПОЈАСНОГ ПРИСТУПА И КОНВЕРГЕНЦИЈА КА ALL-IP БЕЖИЧНИМ МРЕЖАМА, Приступљено: 20. 09.2019. године, линк: <http://postel.sf.bg.ac.rs/simpozijumi/POSTEL2014/RADOVI%20PDF/Telekomunikacioni%20saobracaj,%20mreze%20i%20servisi/1.%20M.%20Rajkovic,%20Lj.%20Markovic,%20M.%20Arsekic-Krakovic,%20M.%20Jankovic.pdf>
- [8] Nikhil Vyakaranam, Dilip Krishna S: 5G: Evolution of mobile technology, Приступљено: 15.8.2019. године, линк: <https://www.netmanias.com/en/post/blog/13285/5g/5g-evolution-of-mobile-technology>
- [9] Overview of 3GPP Release 99, ETSI Mobile Competence Center, 2004.
- [10] Andrew S. Tanenbaum, David J. Wethrall, Рачунарске мреже 5. издање, Микро књига, 2013. ISBN: 978-86-7555-382-3
- [11] Мирослав Лукић: Принципи телекомуникација, Академска мисао, Београд 2014, ISBN 978-86-7466-504-6
- [12] M.R. Bhalla, A.V. Bhalla, Generations of Mobile Wireless Technology, IJOCA, 2010. Приступљено: 22.6.2019. године, линк: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.206.5216&rep=rep1&type=pdf>

- [13] ME. Dalham, S. P., 4G: LTE/ LTE- Advanced for Mobile Broadband, Oxford: Elsevier ,2014.
- [14] М:тел пустио 4G мрежу, Слика, НН, 2019., Приступљено: 20.09.2019. године, линк: <https://www.nezavisne.com/nauka-tehnologija/internet/mtel-pustio-4G-mrezu/532161>
- [15] Покривеност сигналом мобилне телефоније у Србији, РАТЕЛ, Београд, 2017, Приступљено: 22.6.2019. године, линк: <https://www.ratel.rs/upload/Mobilna%20Q1%202017.pdf>
- [16] Ms. Lopa J. Vora, A.V. Bhalla, Evolution of mobile generation technology: 1G to 5G and review of upcoming wireless technology 5G, IJMTER, 2017. Приступљено: 22.6.2019. . године, линк: <https://pdfs.semanticscholar.org/4dfd/40cc3a386573ee861c5329ab4c6711210819.pdf>
- [17] 5G, Wikipedia, Приступљено: 20.09. 2019. године, линк: <https://en.wikipedia.org/wiki/5G>
- [18] Пуштена у рад прва 5Г базна станица у Србији, Министарство трговине, туризма и телекомуникација, 2019, Приступљено: 20.09. 2019. године, линк: <https://mtt.gov.rs/slider/pustena-u-rad-prva-5g-bazna-stanica-u-srbiji/>
- [19] First 5G phones, Techradar, Приступљено: 20.09. 2019. године, линк: <https://www.techradar.com/news/5g-phones-what-are-the-first-5g-phones>

## 9. Списак слика

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Слика 1 – Од 1G до 5G, [1].....                                                                    | 8  |
| Слика 2 – Еволуција мобилне технологије, [8].....                                                  | 9  |
| Слика 3 – Корак по корак до UMTS мрежа, [7] .....                                                  | 11 |
| Слика 4 – Спецификација захтева за LTE мреже, [13].....                                            | 12 |
| Слика 5 – 4G илустрација, [14].....                                                                | 13 |
| Слика 6 – Приказ раста броја LTE уређаја .....                                                     | 14 |
| Слика 7 – Мобилни оператери у Србији.....                                                          | 15 |
| Слика 8 – Број нових базних станица на територији Републике Србије у периоду<br>2018/19, [15]..... | 16 |
| Слика 9 – Проценат покривености на територији Републике Србије, [15].....                          | 16 |
| Слика 10 – Проценат покривености Републике Србије - Телеком Србија, [15].....                      | 17 |
| Слика 11 – Проценат покривености Републике Србије - Теленор, [15].....                             | 17 |
| Слика 12 – Проценат покривености Републике Србије - Вип, [15] .....                                | 18 |
| Слика 13 – Huawei Mate X 5G, [19] .....                                                            | 27 |
| Слика 14 – "Технологије на длану", [1] .....                                                       | 28 |

## 10. Списак табела

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Табела 1 – Укупан број активних базних станица, [15] .....              | 15 |
| Табела 2 – Проценат покривености територије Републике Србије, [15]..... | 16 |
| Табела 3 – 5G бежичне перформансе (предложено), [16].....               | 20 |
| Табела 4 – Поређење свих мобилних технологија, [16].....                | 24 |

## 11. Списак скраћеница

WWAN – Wireless Wide Area Network  
ICT – Information and Communication Technology  
LTE – Long Term Evolution  
TDMA – Time Division Multiple Access  
CDMA – Code Division Multiple Access  
CSD – Circuit Switched Data  
GSM – Global System for Mobile Communications  
EDGE – Enhanced Data for GSM Evolution  
ITU – International Telecommunication Union  
3GPP – 3rd Generation Partnership Project  
UMTS – Universal Mobile Telecommunications System  
WCDMA – Wideband Code Division Multiple Access  
FDD – Frequency Division Duplex  
TDD – Time Division Duplex  
HSDPA – High Speed Download Packet Access  
HSUPA – High Speed Upload Packet Access  
Qos – Quality of Service  
WiMAX – Worldwide Interoperability for Microwave Access  
IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers  
E-UTRA – Evolved UMTS Terrestrial Radio Access  
EPS – Evolved Packet System  
PATEЈ – Регулаторна агенција за електронске комуникације и поштанске услуге  
IMT- Advanced – International Mobile Telecommunications- Advanced  
RSRP – Reference Signal Received Power  
PDA – Personal Digital Assistant  
HD – High Definition  
PHY/MAC – PHysical Layer/Medium Access Control  
MIMO – Multiple-input and multiple output  
UWB – Ultra wideband networks  
AOA – Angle of arrival  
GFDM – Generalized Frequency Division Multiplexing  
FBMC – Filter Bank Multi-Carrier  
UFMC – Universal Filtered Multicarrier  
DAWND – Dynamic Adhoc Wireless Network  
MANET – Mobile adhoc network  
WMN – Wireless mesh Network  
HAPS – High-altitude platform station  
ToF – time-of-flight