

# Pregled i analiza komunikacijskih tehnologija u 5G pokretnim mrežama

---

**Filipović, Franjo**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:631160>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-30**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij**

**PREGLED I ANALIZA KOMUNIKACIJSKIH  
TEHNOLOGIJA U 5G POKRETNIM MREŽAMA**

**Završni rad**

**Franjo Filipović**

**Osijek, 2019.**

# Sadržaj

1. UVOD .....	1
1.1. Zadatak završnog rada .....	1
2. RAZVOJ POKRETNIH MREŽA .....	2
3. KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE 5G POKRETNIH MREŽA...5	
3.1. Arhitektura 5G mreže.....	6
3.2. 5G NR (New Radio) .....	7
3.2.1. Male ćelije (small cells) .....	8
3.2.2. Milimetarski valni spektar (mmWave) .....	9
3.2.3. Massive MIMO i beamforming.....	9
3.3. 5GC mreža.....	12
3.3.1. SDN (Software-Defined Networking).....	12
3.3.2. NFV (Network Function Virtualization) .....	13
3.3.3. Slaganje mreže (network slicing) .....	14
3.4. Slučajevi primjene (use cases) .....	16
3.4.1. eMBB .....	16
3.4.2. URLLC .....	17
3.4.3. mMTC .....	18
4. BUDUĆNOST 5G MREŽA .....	19
4.1. D2D komunikacija.....	19
4.2. Autonomna vožnja.....	19
4.3. V2X komunikacija.....	20
4.4. Internet stvari (IoT).....	21
4.5. Sateliti.....	23
5. ZAKLJUČAK.....	24

LITERATURA .....	25
Popis i opis upotrijebljenih oznaka i kartica .....	28
Sažetak.....	30
Abstract .....	31
Životopis.....	32

# 1. UVOD

Današnje razvijeno društvo, uvelike ovisno o razvoju tehnologije za napredak u poslovnom pogledu, ali i u privatnom životu pojedinaca, zahtijeva učestala poboljšanja u tehnologiji. Sve više uređaja dolazi u obliku koji je moguće povezati s ostalim uređajima u mrežu i zbog sve većeg broja takvih mreža i povećanja prijenosa podataka unutar i između njih pojavljuju se uvijek prisutni zahtjevi za većom brzinom prijenosa, većim kapacitetom, smanjenim kašnjenjem i manjom potrošnjom energije. Peta generacija mreža predstavlja odgovor na te zahtjeve, pritom nailazi na velik broj novih pitanja u realizacijskom planu, razvoju tehnologija koje ju trebaju podržavati i arhitekturi 5G mreže.

Informacijske i komunikacijske tehnologije kao što su 5G NR (engl. *New Radio*), Massive MIMO, IoT, SDN/NFV i mnoge druge koriste se u realizaciji 5G mreža i one se implementiraju unutar mnogih procesa kao što su radijske komunikacije i primjena milimetarskog valnog spektra, softversko umrežavanje, polje velikog broja antena, izravna komunikacija između uređaja, internet stvari itd.

## 1.1. Zadatak završnog rada

Pokretne mreže se kontinuirano razvijaju nastojeći ispuniti rastuće zahtjeve, prije svega u pogledu pokrivenosti, brzine prijenosa podataka i smanjenja latencije. S tim ciljem pokretne mreže pete generacije (5G) kombiniraju i integriraju cijeli niz različitih komunikacijskih tehnologija. U završnom radu potrebno je dati pregled, sustavnu analizu i usporedbu različitih komunikacijskih tehnologija koje svoju primjenu nalaze u 5G mrežama. Osim pregleda trenutnog stanja (u pogledu tehnologije i postupka standardizacije), potrebno je istaknuti i smjernice budućeg razvoja.

## 2. RAZVOJ POKRETNIH MREŽA

Pokretne bežične mreže pojavljuju se i počinju razvijati s pojavom prvih mobilnih telefonskih uređaja 1979. godine i tijekom 80-ih godina kada se koristi prva generacija mobilnih mreža (1G) kao skup analognih telekomunikacijskih standarda. Analogne mreže koriste se do pojave 2G digitalnih mobilnih mreža 1991. godine baziranih na GSM standardu koje donose novine i pogodnosti digitalne telekomunikacije kao što su bolje mogućnosti povezivanja i bolja spektralna učinkovitost te pojava SMS poruka. Od generacija koje slijede svaka donosi bitna unaprjeđenja u odnosu na prethodnu čime pokušavaju istovremeno zadovoljiti potrebe korisnika koje postaju sve brojnije ali i otvoriti neke nove ideje, stvoriti nove vrste upotrebe i prostor za napredovanje mobilnih mreža.

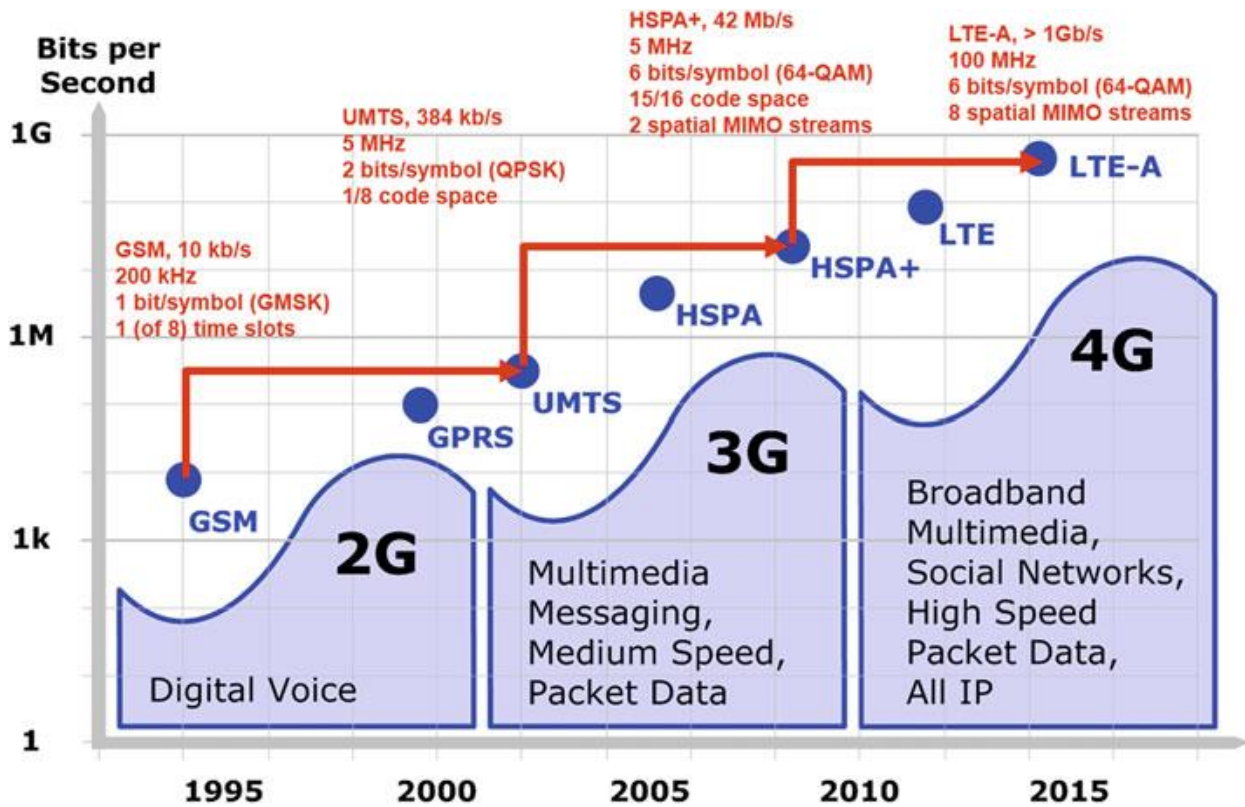
**1G** - Prva generacija kao što je spomenuto započinje 1979. godine kada se pojavljuje nekoliko analognih sustava kao što su AMPS i NMT koji postaju prvi standardi pokretnih mreža i omogućavaju upotrebu mobilnih telefona razvijanih prethodno desetljeće. Mreža je imala mnogo ograničenja ali je bila revolucionaran korak u razvoju telekomunikacija. Omogućavala je isključivo analognu glasovnu komunikaciju, bila je niske spektralne efikasnosti, a uređaji su bili nepraktični i nespretni gledajući iz kasnije perspektive.

**2G** – Druga generacija pokrenuta je u Finskoj 1991. godine, podloga joj je bio GSM standard i javlja se kao prva digitalna mreža te je omogućavala kvalitetniji prijenos signala i zvuka, bolju učinkovitost spektra i slanje SMS i MMS poruka. Kasnije se pojavljuje GPRS standard koji koristi komutaciju paketa (engl. *packet-switched*) u odnosu na komutaciju kanala običnog GSM-a što je smanjilo cijene usluga i predstavilo takozvani 2.5G. 2003. godine predstavljena je EDGE tehnologija također zasnovana na GSM standardu kao nadogradnja na GPRS, implementirajući 8PSK modulaciju, metode inkrementalne redundancije kao rješenje za učinkovitije ispravljanje pogrešaka kanala, povećan je frekvencijski opseg i mogućnost četiri puta većeg podatkovnog prometa od GPRS-a.

**3G** – Nadogradnja GPRS standarda događala se konstantno te se 1998. godine predstavlja kao mobilna mreža treće generacije s povećanjem širine pojasa i minimalne brzine prijenosa podataka od 200 kbit/s pa do nekoliko Mbit/s. 2001. godine u primjenu ulazi UMTS standard koji je zahtijevao nove bazne stanice i dodjelu novih frekvencija s još većom spektralnom učinkovitošću i brzinama prijenosa podataka, a nakon toga javljaju se HSPA (WCDMA) i HSPA+ standard s brzinama do 42 Mbit/s. Multimedijaska podrška podiže se na novu razinu i mobilni internet postaje jedna od bitnijih značajki novoga sustava s mogućnostima kao što su GPS, video pozivi, mobilna televizija i sl.. HSPA+ predstavlja i nove tehnologije antenskih nizova kao što su beamforming i MIMO bitne i u daljnjem razvoju telekomunikacija.

**4G** – Sljedeći korak prema novoj generaciji mreža napravio je WiMAX IEEE 802.16e standard upotrebom OFDMA modulacije i mnogih drugih poboljšanja ali se konkurentni LTE standard kao rješenje dominantnog 3GPP-a plasirao na šire tržište i razvojem LTE-A standarda temeljenog na prijašnjim GSM i HSPA tehnologijama dostigao norme 4G mreže (Slika 2.1.). Četvrta generacija pruža nove brzine od 1 Gbit/s, širokopojasni bežični mobilni internet, pozive preko IP-a, dinamički pristup podacima, HD mobilnu televiziju, video pozive visoke kvalitete i povezivanje više uređaja međusobno u mrežu kao koncept interneta stvari (IoT).

**5G** – Peta generacija pokretnih mreža predložena je kao novo rješenje zbog sve većeg broja korisnika smartphone uređaja koji ih koriste svakodnevno i velik dio dana koncentriran je na pristup mobilnom internetu i povezanost bilo gdje i bilo kada. Ideje kao što su internet stvari, upravljanje svim podacima i uređajima s jednog mjesta, umrežavanje vozila međusobno i s ostalim uređajima te veliki broj novih pametnih uređaja daju nove horizonte i ciljeve u stvaranju nove vrste pokretnih mreža. 5G mreže zato zahtijevaju novu arhitekturu i tehnologiju za implementaciju, s većim brojem malih baznih stanica, boljom povezanošću i pokrivenošću te višom kvalitetom usluga pri velikim brzinama tijekom prijevoza.



Sl. 2.1. Evolucija digitalnih pokretnih mreža i promjene brzina prijenosa podataka [1]



### 3. KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE 5G POKRETNIH MREŽA

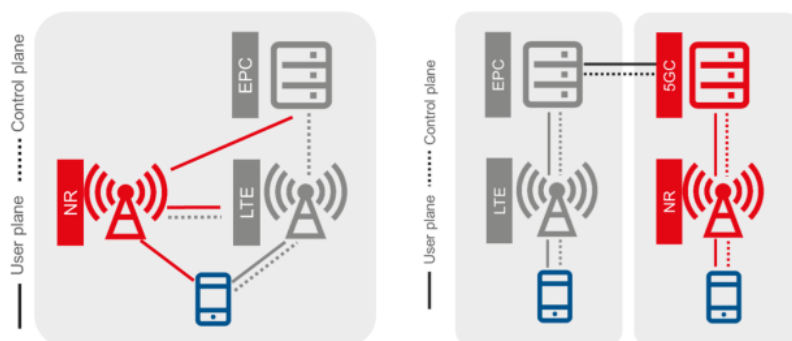
Petu generaciju pokretnih mreža definira nova metoda povezivanja mreže 5G NR (engl. *New Radio*) koju je razvila 3GPP organizacija zaslužna za sve prijašnje digitalne mreže. Prethodno je ITU - agencija UN-a specijalizirana za informacije i komunikacijske tehnologije 2015. godine izdala popis zahtjeva tj. standard za 5G mreže pod nazivom IMT-2020. Zahtijevane karakteristike vezane su za izvedbu i performanse koje bi 5G mreže trebale zadovoljavati, a to su svakako značajna povećanja brzina prijenosa podataka, povećanje spektralne efikasnosti, poboljšanja kapaciteta, gustoće mreže i pokrivenosti te smanjenje latencije (Tablica 3.1.). Prva komercijalna 5G mreža pokrenuta je u travnju 2019. u Južnoj Koreji u NSA (engl. *non-standalone*) verziji s LTE (4G) podlogom za prijenos signala sa spektrom od 3.5 GHz i testiranim brzinama 193-430 Mbit/s. Prve SA (engl. *standalone*) mreže s potpunom 5G podrškom i jezgrom očekuju se 2020. godine [2].

Tab. 3.1. Neki od značajnijih zahtjeva IMT-2020 standarda [3].

Parametri	Zahtijevane performanse
Vršne vrijednosti brzine prijenosa podataka (engl. <i>Peak data rate</i> )	Barem 20 Gbit/s za downlink i 10 Gbit/s za uplink po mobilnoj baznoj stanici
Gustoća povezanosti	1 milijun povezanih uređaja po km <sup>2</sup>
Mobilnost	0-500 km/h - pristup vozilima pri velikim brzinama
Energetska efikasnost	Radijska sučelja energetski učinkovita pod opterećenjem i prilagodljiva na brzi prijelaz u režim niske potrošnje energije kada nisu u upotrebi
Spektralna efikasnost	30 (bit/s)/Hz za downlink i 15 (bit/s)/Hz za uplink
Brzina prijenosa podataka u realnom okruženju (engl. <i>Real-world data rate</i> )	Po korisniku download brzina 100 Mbit/s i upload brzina 50 Mbit/s
Latencija	Maksimalno 4 ms

### 3.1. Arhitektura 5G mreže

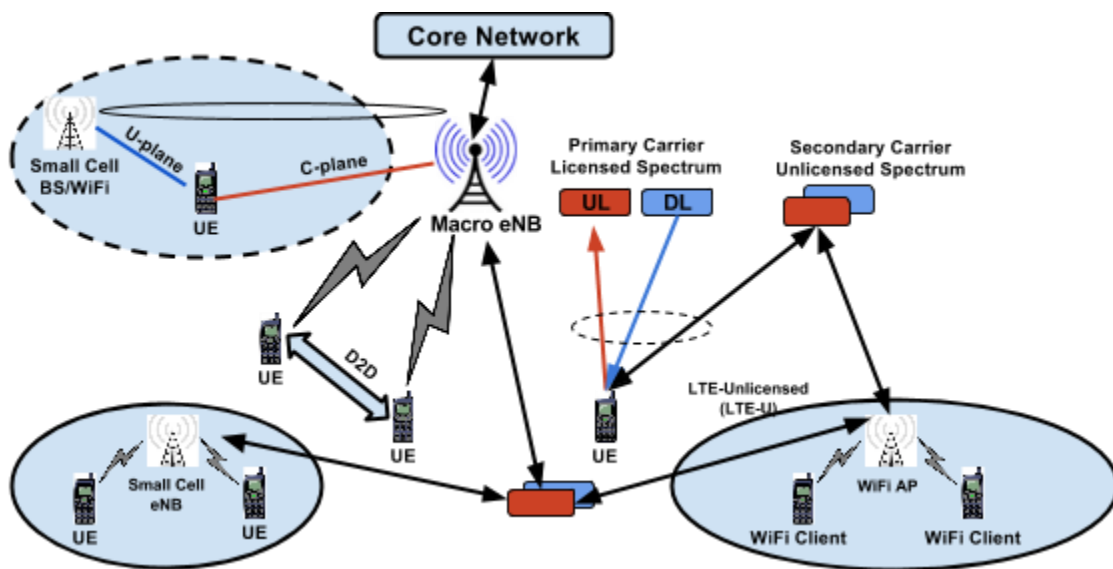
Ključni dio prelaska na 5G pokretne mreže je arhitektura koja unosi velike promjene u odnosu na prijašnje sustave. Glavni dijelovi arhitekture su 5GC mrežna jezgra koja je u osnovi povezana s oblakom tj. središnjim oblakom i implementiranim principom rubnih oblaka čime se sam oblak i informacije u njemu približuju krajnjem korisniku uz manje kašnjenje i veće brzine. Jezgra je povezana s pojedinim korisničkim sučeljem preko 5G NR heterogene radijske pristupne mreže koja je glavna komponenta 5G mreža s dosad neizvedenim nizom kombiniranih tehnologija poput malih ćelija važnih za milimetarski valni spektar, Massive MIMO-a – velikim brojem antenskih jedinica na jednom uređaju i beamforming usmjeravanju među onim najbitnijima. 5GC mreža također donosi upotrebu naprednih tehnologija i principa vezanih za virtualizaciju, mrežne funkcije, usklađivanje i upravljanje mrežom poput SDN i NFV metoda koje čine virtualnu paketnu mrežu (VEPC) te mrežnim slaganjem (engl. *network slicing*) i rubnom obradom podataka (MEC – engl. *Multi-access Edge Computing*). Sve te sastavnice nove arhitekture doprinose tzv. elastičnosti mreže s dinamičnim i optimalnim iskorištavanjem resursa, alokacijom, velikim kapacitetom i stabilnošću. S obzirom na dugotrajan proces realizacije potpunog 5G sustava, izvedba prvih je u NSA verzijama s dvije generacije radio-pristupne tehnologije (4G LTE i 5G). NSA opcija 3 (Slika 3.1.) već je standardizirana i lako izvediva s obzirom da zahtijeva male modifikacije postojeće 4G mreže i to da uređaji podržavaju 5G NR, međutim izostaje 5GC mreža koja će omogućavati tri glavna slučaja uporabe 5G mreže, a to su eMBB, mMTC i URLLC [4].



Sl. 3.1. Arhitektura NSA opcije 3X (lijevo) i SA opcije 2 (desno) [4]

### 3.2. 5G NR (New Radio)

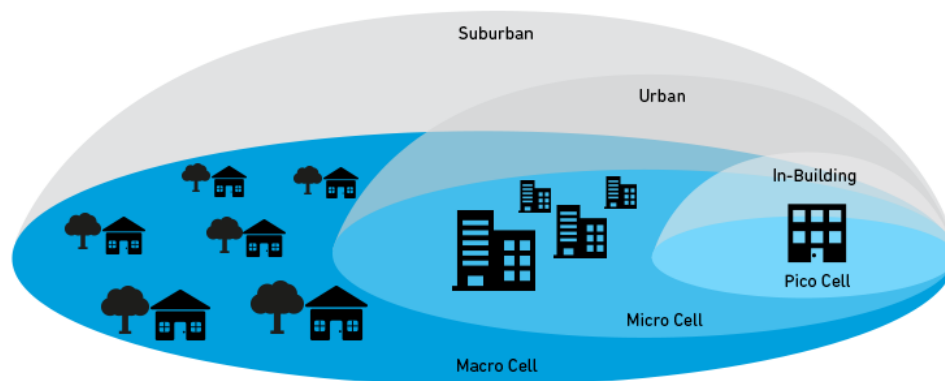
Nova radijska pristupna mreža odlikuje se fleksibilnošću pod zahtjevima različitih osobina, od manjih mreža poput interneta stvari do mreža s velikom količinom podataka, pokretne ili fiksne upotrebe i razne druge. Zbog više vrsta pristupnih čvorova potrebna je heterogena arhitektura mreže kako bi objedinila tehnologije piko, mikro i makro ćelija (Slika 3.2.). Zbog korištenja širokog spektra 5G NR podijeljen je na dva frekvencijska pojasa od kojih je prvi FR1 definiran za frekvencije ispod 6 GHz, najčešće pojas od 3.5 GHz u dosad realiziranim 5G mrežama i s maksimalnom propusnošću kanala od 100 MHz, a drugi FR2 pojas za milimetarski valni spektar definiran propusnošću od minimalnih 50 MHz do maksimalnih 400 MHz i korištenjem frekvencija do 300 GHz.



Sl. 3.2. Primjer heterogene mreže [5]

### 3.2.1. Male ćelije (small cells)

Kako se spektar visokih frekvencija i uporaba milimetarskih valova dovela u širu primjenu, omogućen je prijenos mnogo većih količina podataka uz velike brzine i malu latenciju dok je s druge strane kratak domet i osjetljivost milimetarskih valova na prepreke i kišu zahtijevao upravo velik broj blisko postavljenih malih ćelija u heterogenoj mreži s međusobnom povezanošću, od makro ćelija, metro ćelija, sustava distribuiranih antena (DAS) pa sve do piko i femto ćelija za upotrebu u zgradama i s dometom do nekoliko metara (Slika 3.3.).



Sl. 3.3. Vrste baznih stanica [6]

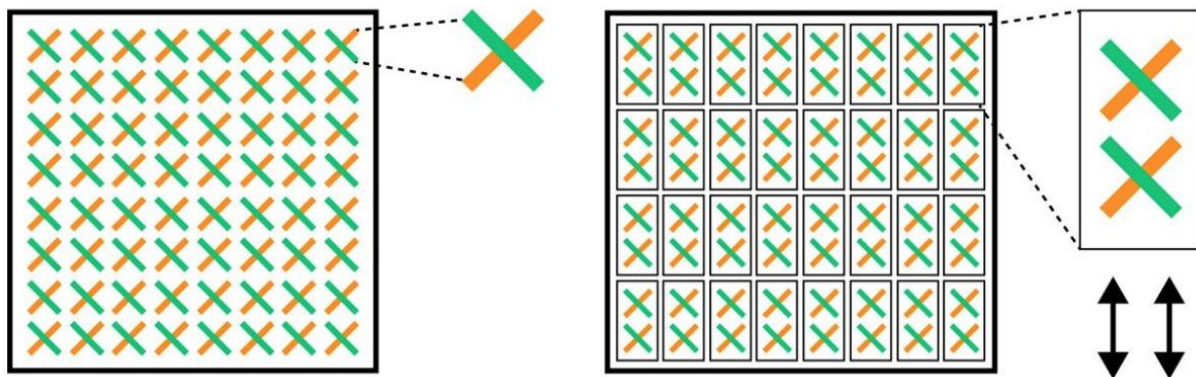
Mala ćelije predstavlja baznu stanicu razgranatu u sitne dijelove s velikim brojem putanja dosega izvornog signala za razliku od velikih baznih stanica koje predstavljaju jedinstveni izvor. Male ćelije donose mogućnost približavanja jedne bazne stanice malom broju korisnika čime se optimizira iskoristivost mreže i na mjestima velikih koncentracija ljudi poput trgovačkih centara, sportskih dvorana, stadiona, koncerata i mnogih drugih. Rezultat toga je općenito povećanje pokrivenosti i gustoće mreže, dugoročno smanjenje cijena i smanjenje potrošnje baterija mobilnih uređaja [6].

### 3.2.2. Milimetarski valni spektar (mmWave)

Frekvencijski spektar do 6 GHz sve se više zagušuje zbog povećanja broja uređaja i 5G nastoji riješiti taj problem milimetarskim valnim spektrom poznatim kao EHF (engl. *Extremely High Frequency*) od 30 GHz do 300 GHz. Poznato je i već spomenuto da su valovi tih veličina slabe propagacije i osjetljivi su na lošije vremenske prigode. Njihova primjena unatoč tome je ključna i problemi milimetarskih valova riješeni su navedenom uporabom malih ćelija na razmacima do nekoliko stotina metara, velikim brojem antena malih dimenzija na antenskim stativima i odašiljačkom tehnikom usmjerenih snopova (engl. *beamforming/beamsteering*).

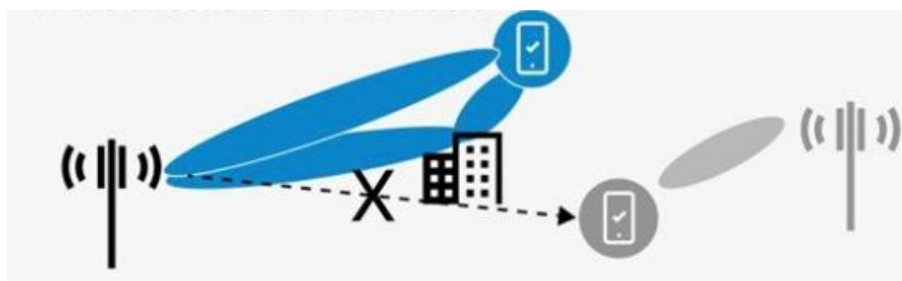
### 3.2.3. Massive MIMO i beamforming

MIMO (engl. *multiple-input and multiple-output*) je tehnika korištenja višestrukog broja antena na odašiljačkom ili prijemnom uređaju i koristi se već duže vrijeme u sustavima kao što su LTE i Wi-Fi. Massive MIMO s velikim brojem antena omogućen je predstavljanjem milimetarskog valnog spektra i malih ćelija. Višestruke antene (Slika 3.4.) omogućuju značajke poput antenske raznolikosti (engl. *diversity*) koja daje čvrstoću i otpornost od fedinga radijskog kanala i poboljšava pouzdanost veze, dobitka antenskog niza (engl. *array gain*), smanjenja interferencije i prostornog multipleksiranja koje u principu može biti SU-MIMO kada jedan korisnik pristupa višestrukome toku podataka i MU-MIMO za pristup većeg broja krajnjih korisnika. Trenutna arhitektura mreža podržava desetak antena na pojedinoj baznoj stanici ali će se 5G male bazne stanice moći opremiti i sa stotinu malih antena koje istovremeno odašilju signale s čim dolazi do problema značajne interferencije valova, zato je važna tehnika usmjeravanja valova u obliku snopa (engl. *beamforming*) kojim se precizno šalju signali direktno prema pojedinom uređaju, sprječava se interferencija i prijenos signala je znatno efikasniji (Slika 3.5.). Uloga tehnika višestrukih antena različita je za određene frekvencijske pojaseve. U niskom frekvencijskom pojasu značajnije su tehnike prostornog multipleksiranja kojim se efikasnije iskorištavaju radijski resursi i suzbijanje interferencije koje poboljšava komunikaciju više ćelija i korisnika svođenjem smetnji na termalni šum.



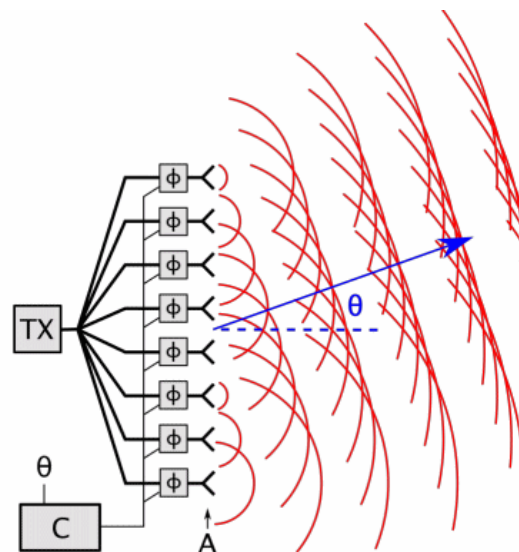
Sl. 3.4. Antenski niz tipičnog izgleda s dvostruko polariziranim elementima (lijevo) i u izvedbi s podnizovima (desno) [7]

Pri niskim frekvencijama veličine antena su ipak veće zbog proporcionalnosti s kvadratom valne duljine ali poboljšanja su postignuta na području tehnologija antenskih nizova i mogućnostima digitalnog upravljanja većeg broja elemenata niza te unaprjeđenjima višeantenskih tehnologija korištenih u LTE mrežama. Za visoke frekvencije koje se prvi puta koriste u 5G mrežama bitnije je ipak očuvati jačinu signala i pokrivenost tehnikama usmjeravanja i praćenja snopova signala. S velikim brojem antena u antenskim nizovima i smanjivanjem njihovih veličina signali se usmjeravaju kombiniranjem više elemenata istovremeno odašiljući usmjerene signale čime se ostvaruju dobici niza i povećanje prosječnog odnosa signal-šum a ostvaruju se i dobici antenske raznolikosti koji rezultiraju povećanjem trenutnog odnosa signal-šum tako što se smanjuje ukupni utjecaj fedinga komponiranjem antena s različitim razinama fedinga.



Sl. 3.5. Generalizirani prikaz usmjeravanja snopa signala [7]

Beamforming se u konačnici postiže odgođenim odašiljanjem valova susjednih antena što se u uskopojasnim sustavima realiziralo kao progresivni fazni pomak (Slika 3.6.), a na prijemnoj strani konstruktivno zbrajanje signala. Ta ideja usmjeravanja uparena s propagacijom u slobodnom prostoru postiže optimalne učinke povećanja odnosa signala i šuma s dobicima niza proporcionalnim s brojem antenskih elemenata u nizu, no u većini slučajeva višestazne propagacije pojavljuje se velik fading pa je stoga korištenje konstruktivnog dodavanja signala s više različitih putova propagacije na prijemnoj strani jedno od rješenja tog problema. Kombinacija pomaka amplitude i faze u višestaznom prijenosu ostvaruje se predkodiranjem na odašiljačkoj strani, a na prijemnoj strani kombiniranjem antena [8].



Sl. 3.6. Usmjeravanje valova faznim pomakom antenskog niza [9]

### 3.3. 5GC mreža

Mrežna jezgra nove generacije pravi razliku između nesamostalne i samostalne izvedbe 5G mreže i daje ogromne razlike i vrijednost cijeloj mreži. Razlika je u odnosu na prethodne mreže velika ovisnost o virtualizaciji i korištenju oblaka. Najbitnije što će donijeti osim poboljšanog mobilnog širokopojsnog pristupa je komunikacija niske latencije i velike pouzdanosti i masivna komunikacija strojnog tipa. S gledišta kvalitete usluge (QoS) koncept slaganja mreže (engl. *network slicing*) osnova je 5GC mreže i omogućit će ponudu i primjenu različitih QoS usluga za različite slučajeve upotrebe. Pojedini mrežni sloj moguće je izdvojiti za posebnu primjenu s različitim karakteristikama mreže u ovisnosti o zahtjevima primjene. Ključne su SDN i NFV tehnologije koje bi trebale smanjiti troškove i cijene mreže tako što se otvara mogućnost operaterima za pružanje usluge mreže bilo koje veličine i kapaciteta s virtualiziranom platformom i mrežom baziranom na oblaku [10].

#### 3.3.1. SDN (Software-Defined Networking)

Softversko upravljanje mrežnom jezgrom koncept je koji vuče korijene iz 1990-ih. Korištenjem umjesto hardverske podloge, softversko upravljanje daje mreži veću fleksibilnost i učinkovitost. Zasniva se na fizičkom odvajanju upravljačkog područja/ravnine (engl. *control plane*) od područja/ravnine prosljeđivanja (engl. *forwarding plane*) što je poboljšalo kontrolu toka paketa u odnosu na prijašnje mreže kod kojih se ona zasnivala na statičnim pravilima i informacijama zaglavlja paketa pa se javljao problem zagušenosti pojedinih dijelova mreže uz istovremenu nedovoljnu iskorištenost drugih dijelova [11]. SDN arhitektura postiže veću dinamičnost, upravljivost, iskoristivost i prilagodljivost mreže te ju čini pogodnom za širokopojsne i dinamične primjene suvremene tehnologije. Ostvarena je mogućnost centraliziranog upravljanja i izravnog programiranja, vrlo brzo i efektivno prilagođavanje mrežnog prometa različitim zahtjevima i mogućnost primjene otvorenih standarda i softvera prilagođenih po potrebi i željama operatera [12].



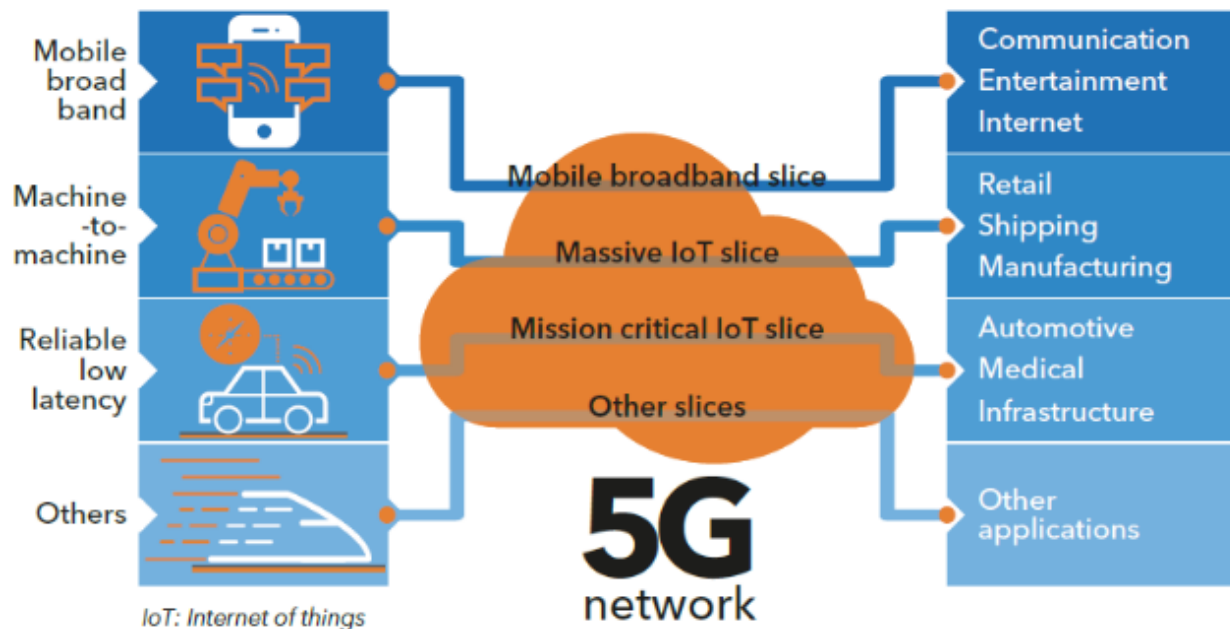
### 3.3.2. NFV (Network Function Virtualization)

Virtualizacijom mrežnih funkcija moguće je pokretanje i odvijanje različitih funkcija isključivom primjenom različitog softvera na rekonfiguriranoj hardverskoj podlozi koja ga podržava. Donosi velike promjene troškova i praktičnosti upravljanja mrežnim funkcijama, mreža više ne ovisi o odvojenom hardveru za posebne primjene nego se temelji na upotrebi funkcija kao virtualnih strojeva ili servera na hardverskim podlogama opće namjene. NFV pruža brzo izvođenje i kontrolu virtualizacijom, rješava pitanje otpornosti centralizirane logike i služi za dijeljenje resursa na razini platforme. NFV kao i SDN koncept podržava sučelja otvorenog tipa koja smanjuju složenost centralizirane inteligencije u složenim mrežama [11]. NFV se sastoji od nekoliko elemenata od kojih su VNF virtualizirane mrežne funkcije koje predstavljaju softver različitih mrežnih funkcija, one se izvode na NFVI infrastrukturi odnosno hardverskoj podlozi i softverskoj podršci koje zajedno čine prilagođeno okruženje za izvođenje pojedine mrežne funkcije, treći element je NFV-MANO Architectural Framework koji se sastoji od različitih funkcijskih blokova koji omogućuju razmjenu informacija, skladištenje, upravljanje i pokretanje mrežnih funkcija i njihove infrastrukture.

Iako su SDN i NFV usko vezani i krivo interpretirani kao sinonimi, bitno se razlikuju. SDN se odnosi na zamjenu standardiziranih mrežnih protokola centraliziranom kontrolom toka podataka pomoću softvera, smanjuje složenost koju su pružali distribuirani upravljački protokoli korištenjem jednostavnijeg programibilnog upravljačkog područja mreže i tako znatno poboljšava fleksibilnost i učinkovitost implementacije i pokretanja mrežnih usluga, dok NFV optimizira te mrežne usluge zamjenom velikog broja funkcija ovisnih o hardveru posebne namjene s onim opće namjene i omogućuje izvođenje većeg broja mrežnih funkcija kao virtualnih strojeva na tom hardveru te pruža veću fleksibilnost za djelovanje, izmjene i ažuriranja [13].

### 3.3.3. Slaganje mreže (network slicing)

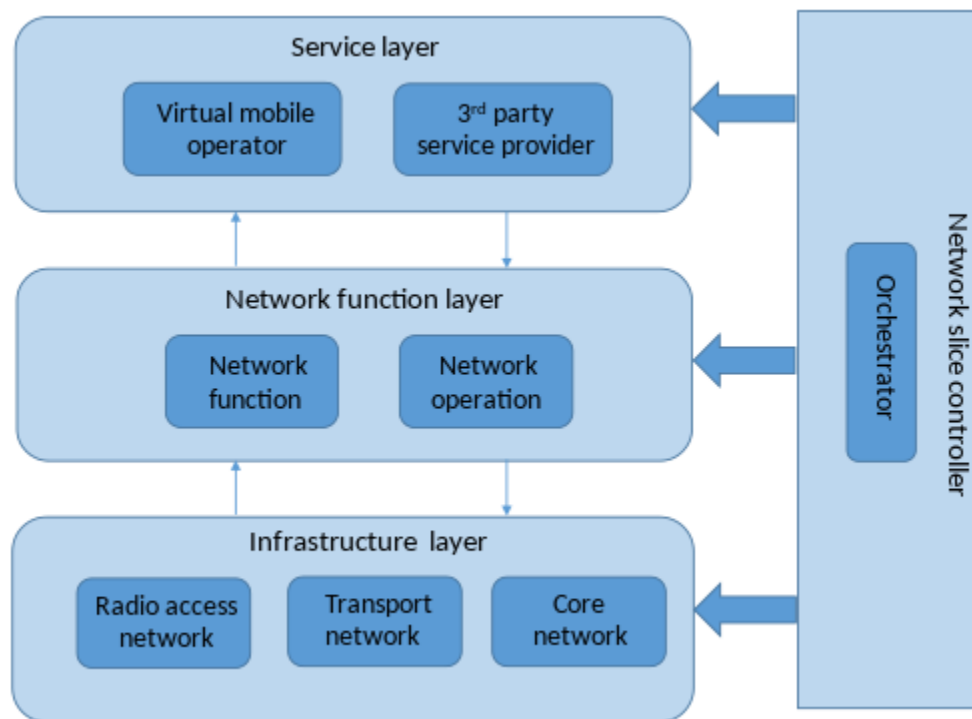
Vrlo bitna mrežna tehnika koja je našla primjenu u 5GC mreži je tzv. network slicing. S obzirom na veliki broj različitih potreba korisnika i zahtjeva za različitim vrstama mreže, podjelom mreže u slojeve omogućeno je pružanje posebnih vrsta mreža za specifične slučajeve primjene upotrebom različitog softvera na istoj hardverskoj podlozi (Slika 3.7.). Usko vezane metode za slagane mreže upravo su SDN i NFV. Omogućeno je stvaranje više virtualnih mreža na zajedničkoj fizičkoj infrastrukturi, svaki korisnik dobiva točno ono što mu je potrebno od karakteristika mreže i time se ostvaruje bolja efikasnost, prilagodljivost i ušteda na nekoliko razina.



Sl. 3.7. Karakteristike i primjene različitih mrežnih slojeva [14]

Mobilni operateri dobivaju pravo administracije nad slojevima mreže koje mogu prilagođavati i organizirati kao usluge posebne primjene krajnjim korisnicima. Glavne tehnike slaganja mreže su mrežne funkcije, virtualizacija i orkestracija. Mrežne funkcije koriste se kao blokovi za izradu slojeva i svaka predstavlja osnovne funkcionalnosti koje pojedini sloj mreže zahtijeva. Virtualizacija se realizira pomoću NFV arhitekture i pokretanjem određenih mrežnih funkcija preko različitih virtualnih servera na zajedničkom hardveru. Orkestracija se odnosi na

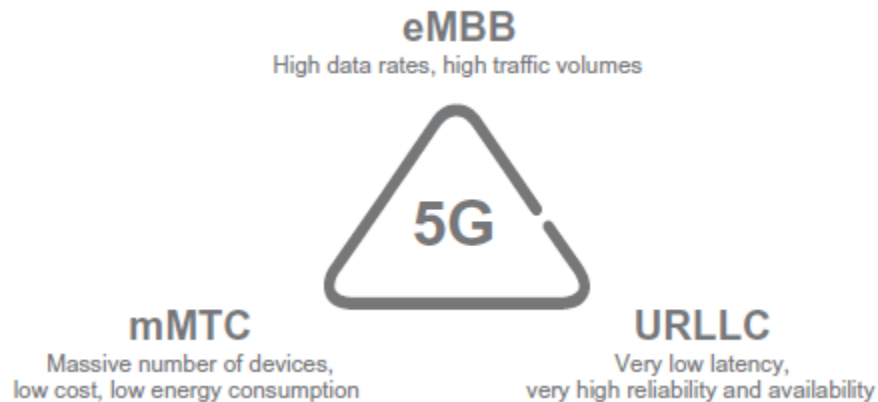
upravljanje i koordinaciju svih dijelova pojedinog sloja mreže te se za učinkovitu konfiguraciju sloja, fleksibilnost i dinamičnost koristi SDN. Poopćena arhitektura sloja mreže može se zamisliti kao dvodijelni sustav s blokom vezanim za primjenu sloja i blokom za upravljanje slojem i konfiguraciju (Slika 3.8.). Prvi blok sastoji se od tri dijela: Sloja usluge (engl. *Service layer*) koji je izravno povezan s MVNO virtualnim mobilnim operaterom i neovisnim pružateljem usluga te djeluje pomoću SLA zahtjeva za određenim uslugama, sloja mrežnih funkcija (engl. *Network Function layer*) koji kreira pojedini mrežni sloj koristeći potrebne mrežne funkcije koje povezuje u lanac ovisno o vrsti potrebne usluge i koje izvršavaju mrežne operacije sve dok je sloj potreban, treći dio je sloj infrastrukture (engl. *Infrastructure layer*) koji predstavlja određenu fizičku topologiju mreže s kojom povezuje pojedini kreirani sloj i njegove funkcije preko fizičkih komponenti kao što su podatkovni centri, routeri, bazne stanice itd. Drugi blok predstavlja orkestrator mreže tj. upravljački dio mrežnog sloja koji omogućuje bolje i efikasnije korištenje sloja za vrijeme njegovog životnog vijeka s mogućnošću rekonfiguracije u slučaju promjene zahtjeva i mnogim drugim.



Sl. 3.8. Poopćeni prikaz formiranja sloja 5G mreže [15]

### 3.4. Slučajevi primjene (use cases)

5G mreže dolaze s tri značajne kategorije slučaja primjene a to su eMBB (engl. *enhanced mobile broadband*), URLLC (engl. *ultra-reliable and low-latency communication*) i mMTC (engl. *massive machine-type communication*) (Slika 3.9.). eMBB predstavlja poboljšani širokopojasni pristup, a mMTC i URLLC primjenu u komunikaciji strojnog tipa. Ovi slučajevi primjene u širu upotrebu doći će tek sa SA samostalnim verzijama 5G mreža jer za svoju potpunu funkcionalnost zahtijevaju 5GC mrežnu jezgru.



Sl. 3.9. Klasifikacija 5G slučajeva primjene [16]

#### 3.4.1. eMBB

Poboljšani širokopojasni mobilni pristup prirodna je nadogradnja na prethodnu generaciju mreža koja osigurava brži prijenos podataka i veće količine prometa. Time se poboljšavaju i mogućnosti VR i AR aplikacija, streaminga visoke rezolucije i mnogih drugih opcija. eMBB bi trebao pružiti veliki kapacitet za nesmetan pristup internetu na mjestima velikih koncentracija ljudi kao što su središta gradova, javna mjesta, stadioni, koncerti konferencijske dvorane i poslovni objekti. Na hotspot mjestima kapacitet podatkovnog prometa bi trebao biti 10 Mbit/s po m<sup>2</sup> uz brzine prijenosa podataka do 1 Gbit/s i vršnim vrijednostima od nekoliko desetaka Gbit/s. Bolja povezanost općenito te veća mobilnost korisnika i kvalitetna veza pri

vožnji automobilom, u javnom prijevozu, vlakovima i zrakoplovima nešto je bitnija od kapaciteta tako da i širokopojasni mobilni pristup ima različite zahtjeve korisnika koje treba zadovoljiti. Iznosi latencije trebali bi se smanjiti na oko 1 ms, a gustoća povezanosti bi trebala podržavati do milijun konekcija po četvornom kilometru. Mobilnost pri velikim brzinama također treba doživjeti velika poboljšanja u kvaliteti korisničkog iskustva, u brzim vlakovima do 500 km/h i zrakoplovima do 1 000 km/h [17].

### 3.4.2. URLLC

Potreba za ultra-pouzdanim komunikacijama s niskom latencijom pojavila se u mnogim okruženjima gdje je bitna konstantna povezanost zbog prijenosa velike količine informacija u stvarnom vremenu. Sigurnosni sustavi u prometu, automatizacija upravljanja i tvorničke proizvodnje neki su od primjera koji zahtijevaju upravo takve karakteristike mreže. URLLC je također bitan za V2X komunikaciju s vozilima i za D2D komunikaciju među uređajima te za velik broj autonomnih sustava kojima je nužno minimalno kašnjenje zbog velike količine podataka koje obrađuju. Neki od izazova za URLLC su veća razina sigurnosti i sinkroniziranost svih uređaja na istu vremensku bazu kako bi se latencija svela na minimum tako da se i oblikovanje podatkovnog prometa (engl. *traffic shaping*) odvija s vremenskom osjetljivošću. Dizajn s malim kašnjenjem i velikom pouzdanošću sadrži nekoliko sastavnica kao što su integrirana struktura okvira, nevjerojatno brzo procesiranje, učinkovita kontrola i razmjena podatkovnih resursa, slobodan uplink prijenos i napredno kodiranje kanala. Pogodnosti koje URLLC donosi ubrzat će mnoge procese, maknuti posredničke strukture u njima i omogućiti široku primjenu automatiziranih sustava na području prometa, zdravstva, proizvodnje i svakodnevnog života.

### 3.4.3. mMTC

Slučaj primjene 5G mreže također vezan za strojnu komunikaciju je mMTC tj. komunikacija između ogromnog broja uređaja, najčešće raznih senzora i aktuatora niske cijene i potrošnje energije. Takva mreža uređaja koji ne generiraju i ne prenose velike količine podataka ne zahtijeva URLLC tip mreže ali je bitna mogućnost povezivanja od nekoliko tisuća pa i do nekoliko milijuna takvih uređaja, zato su dobra pokrivenost na širokom području, dobro prodiranje u zatvorenim prostorima i skalabilna povezanost od iznimne važnosti. Najbolji primjeri korištenja mMTC-a su IoT okruženja, internet stvari u budućnosti možemo projicirati na širok spektar društvenih i ekonomskih primjena, veliki broj pametnih sustava s ogromnim količinama mjernih uređaja naći će mjesto u mnogim aspektima društva, u službi upravljanja i optimizacije procesa, održavanja kućanstava i praćenja podataka imovine s pametnim sustavima, pametnog osvjetljavanja, pametnog zbrinjavanja otpada i mnogih drugih.

## **4. BUDUĆNOST 5G MREŽA**

Nova generacija pokretnih mreža nije još niti zaživjela u većini zemalja ali mnogo obećava. Stvari koje će se razvijati nakon predstavljanja 5G mreže u ostatku svijeta pa tako i u Hrvatskoj već dugo su bile samo djela filmskih redatelja i futurista, trebat će još neko vrijeme za značajnije promjene ali se otvorilo mnogo već jasnih ideja i projekata koji čekaju svoj ostvarenje. Jaka i gusta povezanost na urbanoj i široj razini stvara mogućnosti za razvoj pametnih gradova, daje se na izbor drugačiji životni stil, pametni domovi, razvoj autonomnih vozila i sigurniji promet mogu promijeniti svakodnevicu ali i donijeti nove izazove koje će trebati riješiti.

### **4.1. D2D komunikacija**

Komunikacija među uređajima odsad će biti moguća izravnim međusobnim povezivanjem uređaja bez posredne veze s baznom stanicom. Ova značajka 5G mreže svoju primjenu će naći u komunikaciji pametnim telefonima na manjim udaljenostima bez potrebe za korištenjem mrežnih resursa što povećava efikasnost spektra mreže, jedan od scenarija je pronalazak unesrećenih prilikom katastrofe ili kriminala izravnim povezivanjem s policijskim službenikom no primjena je mnogo više. Takva vrsta komunikacije nije doduše naročito sigurna i iziskuje veće sigurnosne mjere za zaštitu od prisluškivanja ili preusmjeravanja podataka.

### **4.2. Autonomna vožnja**

Sastavni dio dana prosječne odrasle osobe je prijevoz od točke A do točke B i iako se ustrajno radi na sigurnosnim standardima u razvoju vozila i u prometu, svakodnevno se događa velik broj prometnih prekršaja pa tako i nesreća s velikim brojem stradalih. S druge strane evolucija električnih motora i baterija omogućila je električnim automobilima izlazak na šire tržište uz niže cijene i bolje izvedbe, a upravo na to se nadovezuje koncept autonomne vožnje

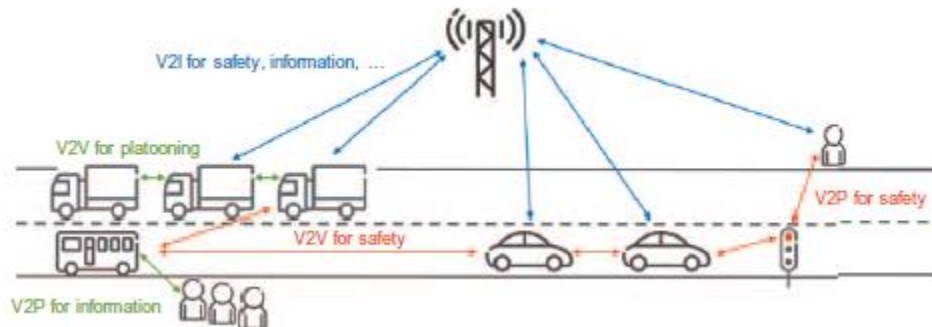
kao sljedeći korak u autoindustriji i prometu. 5G mreže pružit će sve potrebno za realizaciju tog koncepta a najbitnija je komunikacija vozila s okolinom i konekcija pametnih sustava u vozilima. Autonomija vožnje razvija se već neko vrijeme i nekoliko rješenja već je duže u ponudi a to su asistencija u vožnji, djelomična, uvjetna, visoka i potpuna automatizacija vožnje [18]. Krajnji cilj je naravno potpuna automatizacija i vožnja bez potrebe za vozačem a za to su najvažnija testiranja sustava za samostalnu vožnju, konstantno unaprjeđivanje i poboljšavanje te prilagođavanje sustava neočekivanim situacijama i uvjetima, stoga se takvi sustavi temelje na umjetnoj inteligenciji i strojnom učenju koje sve više napreduje i postiže nove visine. Uz sustave sa strojnim učenjem i autonomnim upravljanjem veže se ogromna količina podataka i usklađenost svih komponenti sustava. 5G mreže i sva tehnologija koja ih predstavlja teži prema povezivanju svih uređaja koji se mogu korisno povezati s velikim kapacitetom mreže, malim kašnjenjem i velikim brzinama prijenosa podataka a važan krajnji projekt je izgradnja infrastrukture pametnih gradova i prometnica. Za autonomnu vožnju međusobna komunikacija između vozila, razmjena relativnih informacija, povezivanje s infrastrukturom i ostalim uređajima u okolini najbitnije su usluge koje 5G omogućuje svojim poboljšanjima spektra, brzine prijenosa i mrežne strukture.

### **4.3. V2X komunikacija**

V2X (engl. *vehicle-to-everything*) komunikacija predstavlja povezivanje vozila sa svime u okolini što bi moglo pridonijeti boljem iskustvu vožnje i većoj sigurnosti (Slika 4.1.). V2X komunikacija sastoji se od mnogo podvrsta a najznačajnije su V2V (engl. *vehicle-to-vehicle*) komunikacija između dva ili više vozila, V2N (engl. *vehicle-to-network*) komunikacija vozila s mrežom, V2I (engl. *vehicle-to-infrastructure*) komunikacija s cestovnom i prometnom infrastrukturom, V2P (engl. *vehicle-to-pedestrian*) komunikacija vozila s pješacima i V2D (engl. *vehicle-to-device*) komunikacija vozila s bilo kojim uređajem eventualno povezanim s vozilom. Glavni razlozi komunikacije vozila s uređajima u neposrednoj okolini je povećanje sigurnosti, bolja efikasnost prometa i ušteda energije. V2X komunikacije dijele se i po načinu povezivanja ovisno o vrsti tehnologije koju koriste pa tako imamo povezivanje preko WLAN konekcije i povezivanje preko baznih stanica (C-V2X). Trenutnom konekcijom V2X pruža



moogućnosti poput izbjegavanja sudara, upozorenja o promijeni trake i o mrtvom kutu, elektroničkog svjetla za kočenje, asistencije na raskrižju, vožnje u organiziranom vodu (engl. *platooning*) pogodne za uštedu troškova prijevoza kamionima, upozorenja o radovima na prometnici, sustava s informacijama o prometu i pomoći na cesti.

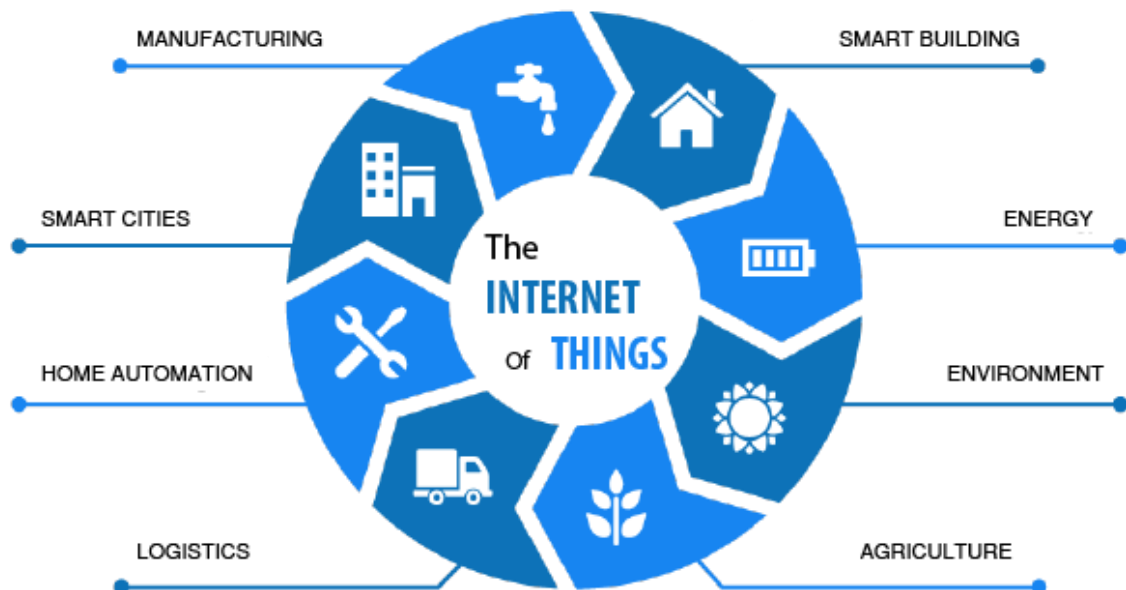


Sl. 4.1. Prikaz V2V i V2X komunikacije [19]

#### 4.4. Internet stvari (IoT)

IoT (engl. *Internet of Things*) predstavlja sustav uređaja povezanih u mrežu s vrlo brzim pristupom informacijama s bilo kojeg kontrolnog uređaja kao što je pametni telefon ili računalo. Za mnoge tvrtke ovaj koncept znači proizvodnju velikog broja novih pametnih uređaja od kojih će mnoge biti izazov osigurati i upravljati zbog velike različitosti u standardima i operacijskim sustavima. Pitanje koje se javlja kod osobne upotrebe interneta stvari je ono sigurnosno, a također i koliko je netko spreman dati informacije o sebi i svojim navikama sustavu koji bi mu s druge strane pružio mnoge pogodnosti. S internetom stvari još dosta toga se mora posložiti da bi ideja zaživjela u privatnoj i poslovnoj upotrebi no već duže vremena koriste ju razne industrije ponajprije zahvaljujući SCADA sustavu i robotizaciji što je pridonijelo razvoju tzv. industrijskog IoT-a. Dijeljenje podataka za potrebe održavanja i rada čini industrijsku opremu mnogo osjetljivijom i korisnijom, a stvara i mnogo sigurnije radno okruženje. Poljoprivreda je još jedno područje u kojem se IoT uvelike koristi - sadnja, navodnjavanje, žetva, pa čak i nadzor tla postali su centralizirani zahvaljujući visoko preciznoj

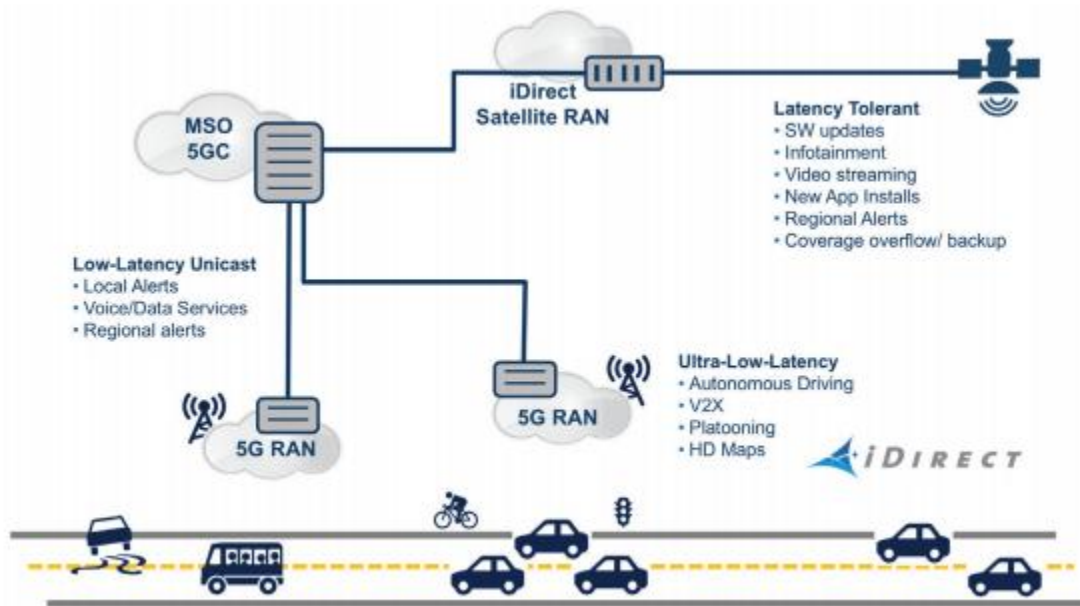
GPS tehnologiji, senzorima tla i drugim sustavima koji su povezani u IoT mrežu [20]. Ostale predviđene aplikacije interneta stvari odnose se na zdravstvo, telemedicinu, nadzor okoliša i pametna mjerenja. Važan dio su bežične senzorske mreže (WSN) koje daju mogućnost potpune ad hoc arhitekture. Bežična konekcija omogućuje senzorima nasumičnu raspodjelu kako bi pokrili određeno područje dok su u početnim fazama razvoja određeni principi povezivanja i usmjeravanja. Jedan od izazova vezan za bežične senzore je njihovo napajanje, iako je ono moguće pomoću solarnih ćelija i baterija, energetska učinkovitost i dalje zahtijeva razvoj na tom području. Senzorski sustavi bit će primjenjivi u prikupljanju podataka iz okoliša, u svrhu sprječavanja požara i poplava, kod nadzora pomoću dronova, kod automobilskih uređaja kao dio V2X komunikacije i nosivih uređaja vezanih za praćenje zdravstvenih podataka. Aplikacije se kreću od boljeg nadzora potrošača do pametnije raspodjele energije, posebno kod alternativnih izvora energije (Slika 4.2.) [21].



Sl. 4.2. Internet stvari i njegove primjene [22]

## 4.5. Sateliti

U budućnosti sateliti neće više činiti zasebnu, samostalnu mrežu te bi umjesto toga trebali postati standardno radijsko sučelje unutar multi-radijske arhitekture 5G mreže. U naprednijim fazama 5G mreža sateliti imaju potencijal dobiti središnju ulogu u globalnoj komunikacijskoj infrastrukturi (Slika 4.3.). Prilagođavanje satelita za besprijekoran rad sa zemaljskom mrežom i mrežom 5G ćelija dat će krajnjim korisnicima veće mogućnosti s konzistentnom i pouzdanom mrežom visokih performansi na bilo kojem mjestu [23].



Sl. 4.3. Prikaz plana uključivanja satelita u 5G mrežu tvrtke iDirect [23]

Najznačajniji napredak tehnologije satelita postiže tvrtka SpaceX koja na područje telekomunikacija unosi nova rješenja ne nužno vezana za 5G tako da je u svibnju 2019. godine realizirala lansiranje 60 Starlink satelita za precizno usmjeravanje interneta korisnicima, u planu za sredinu 2020. godine je lansiranje do 800 satelita prije pokretanja mreže za širokopojasni pristup internetu, krajnji cilj je mreža od 12 000 satelita s brzinama od 1Gbit/s [24]. SpaceX predstavlja kvalitetnu konkurenciju konzistentnom i predviđenom razvoju mreža ali ne treba odbaciti buduću suradnju i dodatno povezivanje svih tehnologija u svrhu optimizacije globalnih komunikacija.

## 5. ZAKLJUČAK

Mnoge tehnologije 5G mreže nisu po prvi put predstavljene i koriste se individualno već neko vrijeme u drugim oblicima i aplikacijama ali zajedno čine revolucionaran sustav koji donosi jako puno rješenja za dosadašnje probleme i izazove. Metode virtualizacije i mrežne funkcije čine sve mnogo jednostavnijim i efikasnijim, cloud i edge computing približava nam sve podatke unutar najbližeg životnog radijusa, nevjerojatna arhitektura mreže, broj uređaja i tehnike povezivanja mogle bi promijeniti velik dio svakodnevice, omogućiti velik broj novih djelatnosti i zaposlenja, povećati industrijske aktivnosti zemalja s trenutnim manjkom potencijala i povećati kontrolu i zaštitu okoliša i prirode, ali svakako promjene se pojavljuju i u drugom svjetlu s problemima sigurnosti, zaštite privatnosti, vojne i obavještajne tehnologije, političkih, socijalnih te mnogih drugih aspekata. Dosad se svakom većom promjenom tehnologije u društvo donijela i promjena u načinu života i za nju vezani izazovi no uvijek su se nekako otklonili veći problemi i ostvaren je pozitivan pomak. 5G tehnologije tek će doći do tih izazova i novih pomaka u razvoju. Postavljen je poligon za nove ideje i tehnologije čemu pomaže i svijetla budućnost električnih automobila i razvoja svemirske tehnologije te se možemo nadati da će sve to biti usmjereno u dobrom pravcu, čovječanstvu u korist i napredak umjesto u nazadovanje, za individualni razvoj svakog pojedinca i bolje živote milijuna ljudi kako onih u danas razvijenom svijetu tako i onih koji žive u vrlo lošim uvjetima.

## LITERATURA

- [1] B. Badic, C. Drewes, I. Karls, M. Mueck, „Rolling Out 5G“, Apress, 2016
- [2] „Korea 5G far ahead“, Wireless One, 2019., dostupno na: <http://wirelessone.news/10-r/1401-250-000-5g-signups-in-korea-3-690-bases-added-one-week>
- [3] „5G Mobile Wireless Technology“, YTD2525, 2018., dostupno na: <https://ytd2525.wordpress.com/2018/11/18/5g-mobile-wireless-technology/>
- [4] S. Ondrusova, „5G Implementation Guidelines“, GSMA, 2019., dostupno na: <https://www.gsma.com/futurenetworks/wiki/5g-implementation-guidelines/>
- [5] „Heterogeneous 5G Networks“, OpenAirInterface, dostupno na: [https://www.openairinterface.org/?%20page\\_id=458](https://www.openairinterface.org/?%20page_id=458)
- [6] T. Nguyen, „Small Cell Networks and the Evolution of 5G“, Qorvo, 2017., dostupno na: <https://www.qorvo.com/design-hub/blog/small-cell-networks-and-the-evolution-of-5g>.
- [7] „Advanced antenna systems for 5G networks“, Ericsson, 2018., dostupno na: <https://www.ericsson.com/en/white-papers/advanced-antenna-systems-for-5g-networks>
- [8] A. Zaidi, F. Athley, J. Medbo, U. Gustavsson, G. Durisi, Xiaoming Chen, „5G Physical Layer: Principles, Models and Technology Components“, Elsevier, 2018., str. 199-204
- [9] "Phased array animation with arrow", dostupno na: [https://en.wikipedia.org/wiki/Phased\\_array#/media/File:Phased\\_array\\_animation\\_with\\_arrow\\_10frames\\_371x400px\\_100ms.gif](https://en.wikipedia.org/wiki/Phased_array#/media/File:Phased_array_animation_with_arrow_10frames_371x400px_100ms.gif)
- [10] S. Teral, „5G best choice architecture“, IHS Markit, 2019., dostupno na: [https://res-www.zte.com.cn/mediare/zte/Files/PDF/white\\_book/5g-best-choice-architecture.pdf](https://res-www.zte.com.cn/mediare/zte/Files/PDF/white_book/5g-best-choice-architecture.pdf)
- [11] C. Larsson, „5G Networks“, Elsevier, 2018., str. 1-7
- [12] „Software-Defined Networking (SDN) Definition“, dostupno na: <https://www.opennetworking.org/sdn-definition/>

- [13] „What is NFV: network functions virtualization basics“, dostupno na: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/data-networks/nfv-what-is-network-functions-virtualization-basics.php>
- [14] P. A. Smith, „Why end-to-end network slicing will be important for 5G“, ITUNews, 2017., dostupno na: <https://news.itu.int/why-end-to-end-network-slicing-will-be-important-for-5g/>
- [15] X. Foukas, G. Patounas, A. Elmokashfi, M. K. Marina, „Network Slicing in 5G: Survey and Challenges“, IEEE, 2017.
- [16] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Sköld, „5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology“, Elsevier, 2018., str. 3-4
- [17] S. Kavanagh, „What is enhanced Mobile Broadband (eMBB)“, 5g.co.uk , dostupno na: <https://5g.co.uk/guides/what-is-enhanced-mobile-broadband-emb/>
- [18] „Dude, Where’s My Autonomous Car? The 6 Levels of Vehicle Autonomy“, Synopsys, dostupno na: <https://www.synopsys.com/automotive/autonomous-driving-levels.html>
- [19] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Sköld, „5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology“, Elsevier, 2018.,str. 55
- [20] J. Gold, „What is IoT? How the internet of things works“, Network World, 2017., dostupno na: [https://www.networkworld.com/article/3207535/what-is-iot-how-the-internet-of-things-works.html#tk.nww\\_rs](https://www.networkworld.com/article/3207535/what-is-iot-how-the-internet-of-things-works.html#tk.nww_rs)
- [21] C. Larsson, „5G Networks“, Elsevier, 2018., str. 349
- [22] „What is the Internet of Things?“, 2017., dostupno na: <http://www.starproperty.my/index.php/articles/property-news/what-is-the-internet-of-things/>
- [23] „The 5G Future and the Role of Satellite“, iDirect, 2018., dostupno na: <https://www.idirect.net/wp-content/uploads/2019/01/The-5G-Future-and-the-Role-of-Satellite-White-Paper-2019.pdf>

[24] „Elon Musk: Here are SpaceX's first 60 Starlink internet-beaming satellites“, ZDNet, 2019., dostupno na: <https://www.zdnet.com/article/elon-musk-here-are-spacexs-first-60-starlink-internet-beaming-satellites/>

## Popis i opis upotrijebljenih oznaka i kratica

3GPP	3rd Generation Partnership Project
5G	5th generation
5G NR	5th generation New Radio
5GC	5th generation Core
8PSK	8 phase-shift keying
AMPS	Advanced Mobile Phone System
AR	Augmented reality
C-V2X	Cellular V2X
D2D	Device-to-device
DAS	Distributed antenna system
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EHF	Extremely high frequency
eMBB	Enhanced Mobile Broadband
FR1	Frequency Range 1
FR2	Frequency Range 2
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
HD	High-definition
HSPA	High Speed Packet Access
HSPA+	Evolved High Speed Packet Access
IMT-2020	International Mobile Telecommunications-
IoT	Internet of Things
IP	Internet protocol
ITU	International Telecommunication Union
LTE	Long-Term Evolution
LTE-A	LTE Advanced
MEC	Multi-access edge computing
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output
MMS	Multimedia Messaging Service
mMTC	Massive Machine-Type Communication
MU-MIMO	Multi-user MIMO
MVNO	Mobile virtual network operator
NFV	Network Function Virtualization
NFVI	Network functions virtualization
NMT	Nordic Mobile Telephone
NSA	Non-standalone
OFDMA	Orthogonal frequency-division multiple
QoS	Quality of Service
SA	Standalone
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SDN	Software Defined Networking
SLA	Service-layer agreement



SMS	Short Message Service
SU-MIMO	Single-user – MIMO
UMTS	Universal Mobile Telecommunications
URLLC	Ultra-Reliable Low-Latency Communication
V2D	Vehicle-to-device
V2I	Vehicle-to-infrastructure
V2N	Vehicle-to-network
V2P	Vehicle-to-pedestrian
V2V	Vehicle-to-vehicle
V2X	Vehicle-to-everything
VEPC	Virtualized Evolved Packet Core
VFN-MANO	VFN management and orchestration
VNF	Virtualized network functions
VR	Virtual reality
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave
WLAN	Wireless local area network
WSN	Wireless sensor network

## **Sažetak**

5G pokretne mreže došle su u realizaciju i prvi koraci su ostvareni te očekujemo konstantni razvoj. Zahtjevi poput većih brzina, bolje povezanosti i pokrivenosti zadovoljeni su u mnogim državama s dosad postavljenim sustavima, no još uvijek postoji mnogo prostora za popuniti kako bi peta generacija ispunila svoju potpunu svrhu. Slijede procesi osamostaljivanja 5G mreže od arhitekture prijašnjih generacija, uklapanje novih slučajeva upotrebe s 5GC jezgrom mreže nakon čega se otvara niz mogućnosti. Male ćelije, proširenje spektra, usmjeravanje snopova signala uređajima s mnogostrukim antenama, virtualizacija i poboljšanja programske osnove mreža tehnologije su koje su dale fleksibilnost, smanjenje potrošnje i bolju iskoristivost. Internet stvari, komunikacija u prometu, autonomna vožnja, pametna okruženja u osobnom i poslovnom životu neke su od stvari koje će tek biti prezentirane i dovedene u širu upotrebu. Uvijek postoje problemi i pitanja tijekom razvoja i evolucije tehnologije kao što su zaštita privatnosti, sigurnosne značajke, cijene i zaštita okoliša i zdravlja, ali život kakav vidimo u budućnosti dobiva nove dimenzije koje možemo iskoristiti za opće dobro.

**Ključne riječi:** 5G mreže, tehnologije pokretnih mreža, internet stvari, autonomna vožnja

## **Abstract**

### Survey and Analysis of Communication Technologies in 5G Networks

5G mobile networks have come to fruition as the first steps have been achieved and we expect constant development. Requirements such as higher data rates, better connectivity and density have been met in many of the countries with systems in place so far, but there is still plenty of space for the fifth generation to fulfill its full purpose. The next aim is freeing the 5G network from the former architecture, integrating new use cases with the 5G Core network and opening up a number of possibilities. Small cells, spectrum expansion, beamforming with MIMO based equipment, virtualization and software-defined networking have all added flexibility, reduced power consumption, and improved usability. The Internet of Things, vehicle-to-vehicle communication, autonomous driving, smart environments in personal and business life are just some of the things that are yet to be presented and brought to wider use. There are always problems and questions during the development and evolution of technology such as privacy and security issues, pricing, and environment and health protection, but life as we see it in the future takes on new dimensions that we can use for general benefit.

**Key words:** 5G networks, mobile network technologies, Internet of Things, autonomous driving

## **Životopis**

Franjo Filipović rođen je 12. prosinca 1995. godine u Beču u Austriji te se nakon nekoliko mjeseci obitelj seli u Hrvatsku. U Vinkovcima 2002. godine polazi u Osnovnu školu Bartola Kašića i po završetku upisuje opći smjer Gimnazije Matije Antuna Reljkovića u Vinkovcima 2010. godine. Tijekom srednjoškolskih dana zanima se za više smjerova društvenih i prirodnih znanosti i prisustvuje na natjecanjima iz geografije, fizike i matematike, ali nakon položene državne mature 2014. godine pri upisu odabire Elektrotehnički fakultet u Osijeku, današnji FERIT na kojemu odabire smjer Komunikacije i informatika sveučilišnog preddiplomskog studija elektrotehnike.