

Telekomunikacijski sustavi 5. generacije

Džaja, Josip

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:206658>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-31**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Fakultet informatike

JOSIP DŽAJA

**TELEKOMUNIKACIJSKI SUSTAVI 5.
GENERACIJE**

Diplomski rad

Pula, 2021.

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Fakultet informatike

JOSIP DŽAJA

**TELEKOMUNIKACIJSKI SUSTAVI 5.
GENERACIJE**

Diplomski rad

JMBAG: 0303063286, redoviti student

Studijski smjer: informatika, nastavni smjer

Predmet: Računalne mreže

Znanstveno područje: Društvene znanosti

Znanstveno polje: Informacijske i komunikacijske znanosti

Znanstvena grana: Informacijski sustavi i informatologija

Mentor: Mario Radovan

Pula, 2021.



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani _____, kandidat za magistra ekonomije/poslovne ekonomije ovime izjavljujem da je ovaj Diplomski rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Diplomskog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student

U Puli, _____, _____ godine



IZJAVA

o korištenju autorskog djela

Ja, _____ dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj diplomski rad pod nazivom _____ koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, _____ (datum)

Potpis

Sadržaj

Uvod.....	1
1. Povijest prethodnih generacija mobilnih mreža.....	2
1.1. 1G (prva generacija).....	2
1.2. 2G (druga generacija).....	3
1.3. 3G (treća generacija).....	3
1.4. 4G (četvrta generacija).....	4
1.5. 5G (peta generacija).....	5
1.5.1. Prednosti i nedostaci 5G tehnologije.....	5
2. Sveukupna arhitektura 5G tehnologije.....	6
2.1. Mobilne mreže.....	7
2.2. Objekti za fizičko umrežavanje i računanje.....	8
2.3. Upotreba softverskih solucija mreže i mogućnost programiranja.....	9
2.4. Upravljanje uslugama i infrastrukturom te orkestracija.....	11
2.4.1. Kontrola i upravljanje više usluga (engl. Multi-service Control and Management).....	11
2.4.2. Arhitektura s više domena (engl. Multi-domain Architecture).....	12
2.4.3. Mrežna sigurnost.....	12
2.5. Hosting i postavljanje (engl. Hosting and deployment).....	13
3. Fizička arhitektura 5G mreže.....	15
3.1. Glavne komponente.....	15
3.2. Mreža za pristup radiju (engl. Radio Access Network – RAN).....	17
3.3. Mobilna jezgra (engl. mobile core).....	21
4. Tehnologija 5G telekomunikacijskog sustava.....	23
4.1. Mjerila za globalno 5G iskustvo.....	25
4.1.1. Top 10 5G država: brzina.....	26
4.1.2. Top 10 5G država: iskustvo.....	27
4.1.3. Top 10 5G država: poboljšanja.....	28
4.1.4. Top 10 5G država: opseg.....	29
5. Pokrivenost i mrežni operateri 5G mreže u Hrvatskoj.....	30
5.1. Hrvatski telekom.....	30
5.2. A1 Hrvatska.....	31
5.3. Telemach Hrvatska.....	32

6. Dezinformacije povezane sa 5G tehnologijom	33
7. 5G i Internet of Things (IoT)	35
Zaključak	41
POPIS IZVORA	42
POPIS SLIKA.....	44
POPIS TABLICA.....	45
SAŽETAK.....	46
SUMMARY	46

Uvod

Unazad nekoliko godina Internet je postao ključna stvar u životima većine ljudi na svijetu. Sama potreba za internetom dovela je do sve većeg razvoja mobilnih tehnologija te mobilnih telekomunikacija. Tako kroz povijest imamo nekoliko generacija mobilnih tehnologija, često nazvanih i mobilnih bežičnih tehnologijama, koje su svojim dolaskom poboljšale uvijete tzv. „surfanja“ Internetom na našim mobilnim uređajima. Do danas nam je poznato 5 generacija, zaključno sa generacijom koju ću ja obraditi u svom diplomskom radu. Također, obuhvatiti ću kroz prijašnje generacije u povijesti mobilnih telekomunikacijskih tehnologija, na čemu se temelji i na koji način funkcionira 5G tehnologija te neke od osobina koje se najviše ističu pri spomenu 5G tehnologije. Kao i sve u svijetu, tako je i 5G donio neke pretpostavke oko kojih se definitivno ne slažu svi. Tako se, na primjer, 5G tehnologiju okrivljava za nastanak korona virusa u svijetu, koji je danas vrlo aktualna tema, kao i to da zračenje koje proizvodi dovodi do povećanja oboljenja od raka. Kako nekome to stvara nedoumice, pokušat ću obuhvatiti obje strane i na taj način pokušati razjasniti radi li se stvarno o lošoj stvari ili je ipak sve to jedna velika teorija zavjere. No, više o tome u nastavku rada gdje ću se detaljno osvrnuti na sve navedene teme.

1. Povijest prethodnih generacija mobilnih mreža

1.1. 1G (prva generacija)

1G odnosi se na prvu generaciju mobilne telekomunikacijske tehnologije. To su analogni telekomunikacijski standardi uvedeni 1979. godine. Ovu tehnologiju prvu je pokrenula tvrtka Nippon Telegraph and Telephone koja je predstavljena stanovnicima Tokija. Do 1984. godine, ova tehnologija je bila zastupljena u cijelom Japanu te je tako postala prva država koja je na cijelom svom teritoriju imala 1G mobilnu mrežu. U Sjedinjenim Američkim Državama ova tehnologija predstavljena je tek 1983. godine, 4 godine nakon predstavljanja u Japanu. Iako je prototip mobitela izrađen još 1973. godine (čak 10 godina prije nego je u SAD uveden 1G), Motorola je 1983. godine javnosti predstavila prvi komercijalno dostupan mobitel – DynaTAC. Nadimka „cigla“ Motorola DynaTAC je koštao oko 3.995\$ što je danas otprilike 10.300\$. Iako je bio nezgrapnan, glomazan i neugodan telefon za upotrebu, prodaja DynaTAC-a bila je veća nego što se to očekivalo. Samo tijekom prve godine, Ameritech je prodao oko 1.200 ovih telefona. Do 1998. mobiteli i slične usluge činili su dvije trećine prihoda Motorole.



Slika 1 Motorola DynaTAC bio je težak blizu 1kg, omogućavao je oko 30 minuta razgovora te je trebalo 10 sati da se napuni (izvor: <https://www.cengn.ca/wp-content/uploads/2020/09/DynaTAC-1G.png>)

Iako je u tadašnje vrijeme bio revolucionarna tehnologija, 1G je pretrpio velike nedostatke današnjih standarda. Slušati nekog preko 1G mreže bilo je izrazito teško s obzirom na lošu kvalitetu zvuka. Pokrivenost mrežom je također bila loša, s velikim količinama statičke buke i pucketanja u pozadini. Također, nije bila pružena niti roaming podrška. Sigurnost nije postojala na 1G kanalu jer nije bilo šifriranja, što znači

da je svatko tko ima radio skener mogao svraćati na poziv. Brzina preuzimanja preko 1G mreže također je, u usporedbu sa današnjim brzinama, bila nevjerojatno spora i dosegala je maksimalno 2,4kbps. Iako napredan za svoje vrijeme, 1G je imao puno prostora za rast i razvoj. Prema Wikipediji, Rusija i danas ima jedinu 1G staničnu mrežu koja još uvijek radi.

1.2. 2G (druga generacija)

Nakon relativno dobrog uspjeha 1G mreže, 2G je pokrenut na Globalnom sustavu za mobilne komunikacije (engl. Global System for Mobile Communications – GSM) u Finskoj tijekom 1991. godine. 2G je pružio značajna poboljšanja u mobilnom razgovoru uvodeći šifrirane pozive (tako više nitko nije mogao navratiti na vaš neželjeni poziv). Također, poboljšanja su se mogla čuti u području zvuka, smanjujući tako statične i pucketajuće zvukove pri razgovoru. Brzine preuzimanja 2G mreže su se isto tako povećale u usporedbi sa brzinama 1G na oko 0,2 Mbps, iako i dalje nevjerojatno spora za današnje standarde. 2G mreža je u svoje vrijeme omogućila prijenos bitova podataka s jednog telefona na drugi, omogućujući tako pristup medijskim sadržajima na mobitelima kao što su melodije zvona. Budući da su se tada mogli prenositi podaci, 2G je pružio i neke osnovne funkcije današnjih inačica pametnih telefona. Međutim, to nije bila najsuvremenija prednost koju je pružala ova značajka prijenosa podataka. Ono što je zapravo postalo novina je da je prijenos podataka potpuno promijenio način na koji smo mogli komunicirati te se tako uvode tekstualne poruke (engl. short message service – SMS) te multimedijски poruka (engl. multimedia messaging service – MMS) kao potpuno novi oblik komunikacije. Koristeći iste kontrolne kanale kao razgovori, SMS i MMS poruke šalju se u paketima podataka s vašeg mobitela na toranj, a zatim na telefon vašeg prijatelja. Kako su slanje SMS-ova, preuzimanje melodija zvona i razgovori putem telefona postajali popularniji, 2G mreža dovela je do masovnog usvajanja mobitela i na potrošačkoj i na poslovnoj strani. Ipak, kako je sve više i više ljudi počelo koristiti mobitele, potražnja za podacima je postala puno veća.

1.3. 3G (treća generacija)

Predstavljen u Japanu 2001. godine od strane kompanije NTT DoCoMo, 3G se usredotočio na standardizaciju mrežnog protokola dobavljača. Zauzvrat, korisnici su mogli pristupiti podacima s bilo kojeg mjesta, što je omogućilo početak usluga međunarodnog roaminga. Za usporedbu s 2G, 3G je imao i do 4 puta veće mogućnosti prijenosa podataka, dosežući u prosjeku do 2Mbps. Zbog ovog porasta, prijenos (engl.

streaming) video zapisa, video konferencije, video chat uživo (npr. Skype) postali su stvarnost. E-pošta je također postala još jedan od standardnih oblika komunikacije putem mobilnih uređaja. Ono što je 3G učinilo revolucionarnim je sposobnost surfanja Internetom (u to vrijeme to su bile osnovne HTML stranice) i slušanje glazbe na mobitelima putem raznih aplikacija. Iako je 2G ponudio iste značajke, nije bio toliko napredan kao što je imao 3G u pregledu brzine preuzimanja. Kako se 3G era nastavljala, vršena su poboljšanja u mreži, povećavajući brzinu i podršku. Samo u Kanadi brzine su išle i do 6Mbps. Iako su preklopni telefoni bili izrazito popularni odabiri tijekom 3G ere, pametni telefoni su bili potpuna novina. Ova nova tehnologija korisnicima je omogućila da na svojim mobilnim uređajima slušaju glazbu, pozive, tekstualne poruke te ono najbitnije, pretraživanje putem Interneta. U to su vrijeme bila dva glavna konkurenta za pametne telefone – BlackBerry i Apple. BlackBerry 2002. godine u prodaju pušta svoj prvi mobilni telefon – BlackBerry 5810. Tek 2007. kada je u prodaju pušten prvi iPhone, nije trebalo dugo da preuzme potpunu dominaciju na tržištu mobitela kao i pametnih telefona. Tako je do 2017. godine udio BlackBerry uređaja na tržištu pao na 0%.

Kako su novi uređaji postajali sve popularniji, potreba za bržim prijenosom podataka te povećanim mrežnim mogućnostima bila je iza ugla.

1.4. 4G (četvrta generacija)

Predstavljen za komercijalnu upotrebu u Norveškoj pred kraj 2009. godine, 4G ponudio je današnje standardne usluge. Počevši sa najmanjom brzinom od 12,5Mbps, 4G je pružao visokokvalitetni prijenos video zapisa / chat, brzi mobilni web pristup, HD videozapise i mrežne igre. U usporedbi s jednostavnim prebacivanjem SIM kartice s 2G na 3G, mobilni uređaji trebali su biti posebno dizajnirani da podržavaju 4G. No, kada je 4G prvi put započeo sa radom, to zapravo nije bio „pravi“, današnji 4G. Kada je ITU-R (engl. International Telecommunication Union – Radiocommunication Sector) postavio potrebne minimalne brzine za 4G od 12,5Mbps, tada to nije bilo moguće postići. Kao odgovor na količinu novca koju tehnološki proizvođači ulažu u postizanje ovog cilja, ITU-R je odlučio da LTE (engl. long-term evolution) može biti označen kao 4G. Jedini postavljeni uvjet je bio da mora omogućiti značajno poboljšanje u odnosu na 3G. Ukratko, kada je 4G prvi put izašao, ono što je to zapravo bilo je 3.9G ili 3.95G.

Danas to, ipak, nije problem. Sredinom 2011. godine Kanada je zahvaljujući Otomu pokrenula svoju prvu LTE bežičnu mrežu u Ottawi u državi Ontario. Izdanje je nudilo brzine malo manje od 12,5Mbps označavajući ga kao 4G LTE. Danas su te brzine puno veće, te je zanimljiv podatak da je samo u 2018. godini najbrža kanadska brzina preuzimanja na 4G mreži bila malo ispod 20Mbps. Tijekom vladavine 4G mreže, najprodavaniji mobiteli uključivali su iPhone 6 sa 22,4 milijuna prodanih uređaja te Samsung Galaxy S4 sa oko 80 milijuna jedinica širom svijeta.

1.5. 5G (peta generacija)

Južna Koreja je prva država koja je predstavila 5G tehnologiju u ožujku 2019. godine. Petu generaciju mobilnih mreža predstavile su KT, LG Uplus i SK Telecom – svi južnokorejski pružatelji telekomunikacijskih usluga. No, s druge strane, 5G je već bio predstavljen u Kanadi. Prema nekim stručnjacima, 5G je trenutno oko 20 puta brži od brzina koje je nudio 4G. Ono što je zapanjujuće je to da je prosječna brzina 5G mreže u Kanadi sada 169,46Mbps što je povećanje od čak 205% u usporedbi sa 4G mrežom. Ono što je razlika u usporedbi ove dvije mreže je njihova latencija i veličina u kojoj, očito, prednjači 5G. Latencija je tako na 5G mreži nevjerojatno smanjena, što je povećalo brzine preuzimanja i prijenosa podataka. Uspoređujući 4G i 5G, 4G ima prosječnu latenciju od oko 50 milisekundi, dok 5G s druge strane ima latenciju oko 10 milisekundi te postoji mogućnost da ta brojka padne i do 1 milisekunde. 5G isto tako ima i veću veličinu propusnosti (engl. bandwidth) koja iznosi između 30GHz i 300GHz, podržavajući tako više tehnologija i više uređaja. 5G je tako postao osnovni zahtjev za postavljanje IoT (engl. Internet of Things) uređaja te je potreban za pametne gradove i ostalu sličnu industriju. No, koliko god to sve dobro zvučalo, opet su se pojavile određene špekulacije o štetnosti pete generacije no više o ovoj tehnologiji i svemu ostalome u nastavku rada.¹

1.5.1. Prednosti i nedostaci 5G tehnologije

Prednosti:

- 5G će biti znatno brži od 4G. To znači da će produktivnost biti veća na svim sposobnim uređajima, jer će teoretski brzina preuzimanja biti 10,000 Mbps.

¹ CENGN [online], *Timeline from 1G to 5G: A brief history on cell phones*, CENGN. Dostupno na: <https://www.cengn.ca/timeline-from-1g-to-5g-a-brief-history-on-cell-phones/> [02. travnja 2021.]

- Propusnost za 5G biti će veća, stoga će brže preuzimati podatke i korisnici će moći pokretati složenije aplikacije za mobilni Internet.

Nedostatci:

- Vrlo je skupa implementacija 5G tehnologije. U novije mobitele vjerojatno će biti ugrađen 5G, pa će se tako stariji uređaji smatrati zastarjelima.
- Ovisno o broju uređaja na jednom kanalu koji je povezan na bežičnu internetsku vezu, mogao bi se pokazati pouzdanim. Međutim, s obzirom na novu 5G tehnologiju, postoji rizik od prenapučenosti frekvencijskog opsega.
- Uvođenje 5G tehnologije imat će problema jer njeni prethodnici, 4G i 3G koju su također imali problem (konkretno 4G), još uvijek ne mogu pristupiti nekim područjima u Velikoj Britaniji (postoje slični slučajevi i u Republici Hrvatskoj). Ova pitanja još uvijek nisu riješena do danas, pa se i od 5G tehnologije očekuje da je nedosljedna.²

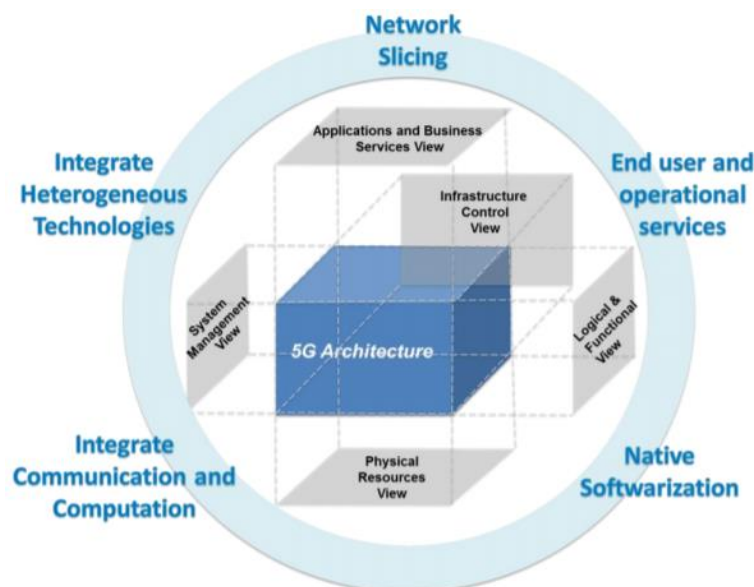
2. Sveukupna arhitektura 5G tehnologije

Peta generacije mobilne tehnologije zahtjeva vrlo kompleksnu arhitekturu za svoj rad. U ovom ću se odjeljku dotaknuti ključnih komponenti koje su nužne pri radu ove mobilne mreže koja uvelike mijenja svijet već sada. Tako ću se dotaknuti mobilne mreže kao takve, objekata za fizičko umrežavanje i računanje, upravljanje uslugama, menadžmentom i orkestracijom te sustava za hostiranje (engl. hosting) i postavljanje. 5G mreža zamišljena je kao izuzetno fleksibilna E2E (end-to-end) infrastruktura za povezivanje i računanje koje su aplikacijski i uslužno osviještene, kao i vremenski, lokacijski te kontekstualno osviještene. Ova mobilna mreža tako predstavlja:

- Evoluciju u smislu kapaciteta, performansi i pristupa spektru u segmentima radio mreže; i
- Evoluciju pretvorbe izvorne fleksibilnosti i programabilnosti u svim ne radijskim 5G mrežnim segmentima

² Fox, M. (2018.) *5G Network* [online]. Dostupno na: <https://www.scribd.com/document/405226687/5G> [31. svibnja 2021.]

Arhitektura 5G tehnologije omogućuje nove poslovne prilike koje udovoljavaju zahtjevima velikog broja različitih slučajeva korištenja, te isto tako omogućava da 5G bude budući dokaz putem provedbe rezanja mreže (engl. network slicing) na isplativ način, obraćanja i krajnjim korisnicima i operativnim uslugama, integriranje komunikacije i računanja i integriranje heterogenih tehnologija (uključujući bežične i fiksne tehnologije). Kako bi se mogle postići ove mogućnosti, potrebni su pomaci paradigme te novi mehanizmi u svim mrežnim domenama (tj. Radio pristupna mreža (engl. radio access network – RAN), prometna mreža i jezgra). Jednako je važno da 5G mreža zahtjeva novi pristup načinu organiziranja, postavljanja i upravljanja uslugama u 5G mrežama. Ono što 5G nudi je visoka razina fleksibilnosti koja doprinosi raznolikim vrstama komunikacije – npr. između ljudi, strojeva, uređaja i senzora – s različitim svojstvima izvedbe. Isto tako se provodi i potreban stupanj fleksibilnosti, gdje i kada je to potrebno, s obzirom na sposobnost, kapacitet, sigurnost, elastičnost i prilagodljivost. Daljnje se prednosti pojavljuju u područjima upravljanja, kontrole sustava i resursa. 5G mreže omogućuju jedinstveno upravljanje i upravljanje operacijama koje postaju dio dinamičnog dizajna softverskih arhitektura. Isto tako, mogu ugostiti izvršenja usluga u jednom ili više dijelova (engl. slices).



Slika 2 Arhitekturni pogledi 5G mreže (izvor: <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5G-PPP-5G-Architecture-WP-July-2016.pdf>)

2.1. Mobilne mreže

Razvoj arhitekture mobilnih mreža potaknut je potrebom za pružanje komunikacijskih usluga za više aplikacija. Uz to, rezanje mreže (engl. network slicing) važan je dio

ukupne 5G arhitekture koja se postavljanjem više logičkih mreža bavi kao neovisnim poslovnim operacijama na zajedničkoj fizičkoj infrastrukturi. U tu bi se svrhu „dio“ (5G slice) sastojao od zbirke 5G mrežnih funkcija (engl. network functions) i specifičnih postavki tehnologije radio pristupa (engl. radio access technology – RAT) koje se kombiniraju za određeni slučaj upotrebe (engl. use case) i/ili poslovni model. Nadalje, budući da je koncept mrežnog rezanja u početku predloženo da ga usvoji 5G mrežna jezgra (engl. core network – CN), NGMN (engl. Next Generation Mobile Networks Alliance) koristi izraz „cjelovito rezanje mreže (E2E)“ (engl. end-to-end network slicing) kako bi se uputio na cjelokupni koncept dizajna sustava, uključujući oba CN i RAN aspekte. U tom kontekstu, mrežni rezovi moraju ispunjavati niz zahtjeva kao što je potreba za dijeljenjem i učinkovitim ponovnom uporabom resursa (uključujući radio spektar, infrastrukturu i prometnu mrežu); diferencijaciju prometa po rezu (engl. slice), vidljivost rezova, zaštitne mehanizme između rezova (tzv. slice isolation) i podršku za upravljanje specifičnim dijelovima. Podrška za rezanje mreže E2E čini se jednim od ključnih zahtjeva u 3GPP-u (engl. 3rd generation Partnership Project) te se raspravlja o tome kako bi točno rezanje mreže utjecalo na RAN, kako na pristupnoj mreži tako i na korisničkoj opremi (engl. user equipment), iako se to koncepti još istražuju.

2.2. Objekti za fizičko umrežavanje i računanje

Kako bi se udovoljilo ogromnom rastu mobilnog podatkovnog prometa, tradicionalne bežične mreže makro-stanica trebaju se transformirati u arhitekture koje se sastoje od velikog broja malih stanica nadopunjenih makro-stanicama za sveprisutno pokrivanje. Tradicionalni RAT-ovi, gdje su osnovne opsežne jedinice (engl. Base Band units – BBU) i radio jedinice smještene, imaju nekoliko ograničenja. S ciljem rješavanja ovih ograničenja predloženo je stvaranje Cloud radio pristupne mreže (engl. Cloud Radio Access Networks – C-RANs) sa mogućnošću fleksibilnijeg obrade rezova. Zahtjevi daljinske obrade za operativne mrežne svrhe (C-RAN), zajedno s potrebom da se podrži širok spektar računarskih skladišnih usluga krajnjih korisnika, uvodi se potreba za širokopojasnom transportnom povezanošću, sa strogim zahtjevima za kašnjenje i sinkronizaciju između radio jedinica i udaljenih računskih i skladišnih resursa. Uz to, elastična raspodjela resursa u prometnoj mreži postaje presudna za ostvarivanje statističkih dobitaka multipleksiranja.

2.3. Upotreba softverskih solucija mreže i mogućnost programiranja

Iako su ove dvije stvari zasebno definirane, ovi prijedlozi nisu u potpunosti neovisni. Ključne stavke u svakom području povezane su sa stavkama u drugom području (engl. plane). Međutim, područja su dovoljno neovisna da pojednostave rasuđivanje o kompletnim sistemskim zahtjevima. Međudjelovanje između područja očituje se skupinama sučelja (tj. referentnim točkama) koje bi se koristile za razmjenu informacija i/ili kontrole između zasebnih (pod) sustava koji dijele granice. Predviđene odvojenosti u različitim područjima su:

- Područje aplikacijskog i poslovnog servisa
- Područje upravljanja više usluga
- Područje integriranog upravljanja mrežom i operativnim planovima
- Područje upotrebe softverskih solucija infrastrukture
- Područje kontrole
- Područje prosljeđivanja i podataka

Ključne funkcije za razlikovanje sustava u okviru upotrebe softverskih solucija mreže i mogućnosti programiranja mreže:

- 5G područje konvergiranih podataka sa funkcijom distribuiranja na rubove zajedničke jezgrene mreže što rezultira stvaranjem raspodijeljene ravne mreže (engl. flat network). Područje kontrole koje ima funkcije odgovorne za upravljanje mobilnošću, kontrolu QoS-a (engl. quality of service), usmjeravanje korisnikovog prometa da se agnostički servira na pristupne mreže na koje je povezan, te integriranje heterogenih tehnologija
- Područje upotrebe softverskih solucija infrastrukture odgovorno za vizualizacija mreže, virtualizaciju funkcija, mogućnost programiranja, itd.). U svim segmentima 5G mreže omogućuje učinkovitu integraciju komunikacije i računanja.
- „Mreža (virtualnih) funkcija“ podržana kao jedinica umrežavanja u 5G mreži.
- Mogućnost razvijanja i mijenjanja mrežne arhitekture umjesto potpune zamjene.

Mrežni okvir (engl. framework) upotrebe softverskih solucija mreže i mogućnost programiranja temelji se na razdvajanju u različitim područjima:

Područje aplikacijskih i poslovnih usluga – definira i implementira poslovne procese usluga duž određenih lanaca vrijednosti. Usluga u kontekstu 5G je softver koji izvodi jednu ili više funkcija, pruža jedan ili više API-a (engl. Application Programming Interface) aplikacijama ili drugim uslugama istog ili različitog područja kako bi iskoristile te funkcije te vratio jedan ili više rezultata. Usluge se mogu kombinirati s drugim uslugama ili ih serijski pozivati da bi se stvorila nova usluga. Aplikacija u kontekstu 5G dio je softvera koji koristi osnovne usluge za izvršavanje funkcije. Operacija aplikacije može poprimiti više parametara, na primjer, proslijeđivanjem određenih argumenata u vrijeme poziva, ali ona treba biti samostalni softver; aplikacija ne nudi sučelje za druge programe ili usluge.

Područje upravljanja više usluga – funkcije i sučelja u ovom području koriste se za postavljanje i upravljanje skupinama mrežnih instanci i/ili čvorova. Točnije, postavka se sastoji od stvaranja / instaliranja / uređenja NF-ova (engl. Network function – NF) i sučelja u skladu s dostupnim fizičkim i virtualnim resursima. Sadrži i skup funkcija povezanih s mrežnim operacijama, poput upravljanja kvarovima, upravljanje performansama i upravljanja konfiguracijom. Dalje uključuje funkcije Slice – Service Mapper, resurse, funkcije orkestracije domena i usluga, funkcije upravljanja informacijama o uslugama i funkcije otkrivanja mrežnih mogućnosti. Također uključuje upravljanje životnim ciklusom pojedinih mrežnih funkcija i primjeraka mobilne mreže u cjelini. U trenutnim mobilnim mrežama ovu ulogu često obavlja sustav za operativnu podršku (engl. Operation Support System – OSS). Ideja je omogućiti stvaranje, rad i kontrolu više mreža namjenskih komunikacijskih usluga koje se izvode na vrhu 5G E2E infrastrukture.

Područje integriranog upravljanja mrežom i operacijama – omogućuje stvaranje, rad i kontrolu namjenskih funkcija upravljanja koje rade na vrhu 5G E2E infrastrukture; i prikupljanje resursa potrebnih za upravljanje cjelokupnim radom pojedinih mrežnih uređaja. Dalje uključuje upravljanje E2E mrežnim segmentima, FCAPS informacijama, operacije nadgledanja, upravljanje mrežnim informacijama, obradu podataka i operacija u mreži i operacije upravljanja više domena.

Područje upravljanje softverskim solucijama infrastrukture – omogućuje pružanje i rad softvera i uslužnih mreža. Olakšava rad heterogenih mreža i distribuiranih platformi u oblaku (engl. cloud), uključujući fizičke i logičke resurse i uređaje. Sadrži

softver za projektiranje, implementaciju, postavljanje, upravljanje i održavanje mrežne opreme, mrežnih komponenata i/ili mrežnih usluga programiranjem. Softver koristi značajke poput fleksibilnosti i brzine tijekom cijelog životnog ciklusa mrežne opreme / komponenata / usluga kako bi stvorio uvjete koji omogućuju redizajn mrežne i uslužne arhitekture, optimiziranje troškova i procesa, omogućuje samoupravljanje i donose dodanu vrijednost mrežnoj infrastrukturi. Dalje uključuje pružanje softverskih i uslužnih mreža, uslugu upravljanja softverskim solucijama aplikacijski vođenu, S/W (engl. software – S/W) mogućnost programiranja, dinamičku implementaciju mrežne i upravljačke usluge (tj. Koje se mogu izvršiti u podacima, kontroli, upravljanju, uslužnom planu), izloženost mrežnim mogućnostima, pružanje i upravljanje E2E odsječkom u softverskim mrežama.

Područje kontrole infrastrukture – zbirka funkcija odgovornih za upravljanje jednim ili više mrežnih uređaja. Područje kontrole daje instrukcije mrežnim uređajima, mrežnim elementima i mrežnim funkcijama sa poštivanjem prema procesiranju elementarnih podatkovnih jedinica (paketa, okvira, simbola, bitova, itd.) korisnika / podataka / područja prosljeđivanja. Kontrola (virtualnih) mrežnih funkcija uključuje kontrolu nad mrežnim funkcijama upravljanja softverskim solucijama, kontrolu nad funkcijama orkestracije, kontrolu nad funkcijama upravljanja mobilnosti, funkcije upravljanja oblakom, Mobile Edge Control funkcijama i adaptere za različite funkcije provedbe. Kontrola (virtualnih) mrežnih funkcija općenito je primjenjiva na 5G i one su odvojene od kontrolnih i izvršnih funkcija koje su specifične za mrežni segment. Upravljačko područje djeluje prvenstveno s ciljem prosljeđivanja i, u manjoj mjeri, s područjem upravljanja.

Područje prosljeđivanja / podatkovno područje – prikupljanje resursa na svim mrežnim uređajima odgovornim za prosljeđivanje prometa.

2.4. Upravljanje uslugama i infrastrukturom te orkestracija

2.4.1. Kontrola i upravljanje više usluga (engl. Multi-service Control and Management)

Područje upravljanja sa više usluga (engl. Multi-service management plane) odgovorno je za stvaranje, rad i kontrolu više namjenskih usluga komunikacijske mreže koje se izvode na vrhu zajedničke infrastrukture. Funkcionalnost ovog područja uključuje:

apstrakciju infrastrukture, otkrivanje infrastrukturnih mogućnosti, kataloge i spremišta, veliki broj orkestracija usluga i resursa poput plug-in – ova, funkcionalnost upravljanja informacijama i omogućuje automatsku re – konfiguraciju izvršenih usluga (tj. Područje integriranog upravljanja). Ovo područje tako surađuje sa područjem aplikacijskih i poslovnih usluga koje održava funkcije povezane sa 5G podržanim aplikacijama, organizirane u repozitorijima, te DevOps alate neophodne za stvaranje i implementaciju usluga. Funkcionalnosti za ovo područje uključuje DevOps funkcionalnosti: katalogi, alate za nadzor podataka za analizu, alate za testiranje, alati za pakiranje, urednici (engl. editors) za mogućnost programiranja usluga i aplikacija.

2.4.2. Arhitektura s više domena (engl. Multi-domain Architecture)

Orkestracija s više domena odnosi se na automatizirano upravljanje uslugama i resursima u višetehnološkim okruženjima (više domena koje uključuju različite tehnologije oblaka i umrežavanja) i višeoperacijskim okruženjima (više administrativnih domena) što uključuje rad preko legalnih operativnih granica. Opseg područja upravljanja E2E arhitekture s više domena i orkestracije uključuje razne koncepte. Taj opseg predstavlja referentni arhitektonski okvir za organiziranje komponenata i međusobnih sučelja uključenih u E2E upravljanje i orkestraciju u arhitekturi s više domena. Na nižem području nalaze se domene resursa koje izlažu apstrakciju resursa na sučelju I5. Organizatori domena izvode orkestraciju resursa i/ili orkestraciju usluga iskorištavajući apstrakcije izložene na I5 od strane domena resursa.

2.4.3. Mrežna sigurnost

Pri prelasku sa 4G na 5G, mobilni će korisnici dobiti veću brzinu prijenosa podataka, što će posljedično značiti da će površna izloženost biti znatno veća kada se kombinira s procijenjenim eksponencijalnim rastom broja uređaja koji koriste 5G mrežu. Sigurnost 5G mreže se sada analizira i definira kao skup kvalitativnih aspekata kao što su:

- Novi modeli poslovanja i povjerenja, uključujući modele s više domena i više usluga gdje treba razmotriti ponovnu upotrebu 5G tehnologije izvan telekomunikacijskog sektora (npr. industrijska kontrola, javna sigurnost,

komunalne usluge itd.) gdje će prisutnost novih aktera, među bezbroj drugih čimbenika, čak redefinirati što su zapravo „operater“, „korisnik“ i „uređaj“.

- Novi modeli pružanja usluga koji se temelje na virtualizaciji, rezanju mreže (engl. network slicing) i drugim „aaS“ (engl. associate of Applied Science) tehnologijama.
- Korisnike treba razmatrati znatno drugačijima s obzirom na ono što smo naučili od prethodnih generacija mobilnih mreža; pouzdanost među korisnicima danas se ne može uzimati zdravo za gotovo.
- Zabrinutost o privatnosti korisnika je veća nego ikad, npr. nakon navoda o masovnom nadzoru.
- Okruženje prijetnji i rizika s kojim se suočava sustav koji podržava kritične infrastrukture usluge uvelike se razlikuje od sustava koji nudi javne glasovne / internetske usluge; poticaj za cyber-napad je mnogo veći, a posljedice uspješnih napada mnogo su dalekosežnije.
- Treba razmotriti lakše i brže sustave i algoritme šifriranja kako bi se suočili sa značajnim zahtjevima kašnjenja.

Ažurirana sigurnosna razmatranja ne bi trebala podrazumijevati samo nove modele povjerenja, gdje mobilnu infrastrukturu dijeli više pružatelja virtualnih mobilnih telekomunikacija, već i uzeti u obzir nove tehnološke pristupe kao što su rezanje mreže, virtualizacija mreže i druge nove tehnologije povezan sa 5G arhitekturom, koje bi mogle predvidjeti nove vrste prijetnji specifične za 5G mrežu. Zbog toga je ključno kontrolirati površni izloženosti takvim napadima i osigurati pro-aktivne mehanizme za zaštitu od njih. Autonomne mogućnosti samozaštite u 5G mreži koje bi mogle obraniti korisnike od napada na infrastrukturu (poput distribuiranog denial-of-service napada), kao i pružanje mogućnosti samo-izlječenja 5G mreže, ključni su aspekti mrežne inteligencije koja je očekivana u novoj 5G tehnologiji.

2.5. Hosting i postavljanje (engl. Hosting and deployment)

Kada su u pitanje usluge poslužitelja (engl. hosting), potrebno je da se ispituju svi problemi izvedbe. Dostupni resursi ponuđeni za hosting virtualnih funkcija trebaju biti pažljivo dodijeljene. Dijeljenje resursa nekada može biti komplicirano i čimbenik koji dovodi do pogoršanja performansi. Osim toga, hosting okruženja treba podržavati i

udovoljavati zahtjevima u vezi s podacima, raspodjelom resursa, ovisnostima, dostupnošću i ostalim atributima. Kao takve, osnovne hardverske karakteristike (npr. arhitektura procesora, propusnost memorije, brzina) duboko utječu na izvedbu virtualnih funkcija. Okruženje hosting-a također utječe na međusobno povezivanje funkcija (npr. funkcije na istim fizičkim poslužiteljima ili LAN-ovima). U tom slučaju, problemi povezanosti se povećavaju. Štoviše, treba težiti ukupnoj učinkovitosti mreže. Na primjer, treba izbjegavati lošu ponovnu upotrebu softverskih komponenata (postavljenih i konfiguriranih jednom za određeni poslužitelj). Okruženje bi trebalo biti fleksibilno, kako bi se omogućilo brzo stvaranje / puštanje / izvršavanje virtualnih funkcija jer je postavljanje i konfiguriranje softvera složena i skupa operacija.

Cijena i fleksibilnost uvođenja definitivno su važni čimbenici 5G mreže, što zahtjeva pomak prema implementacijama temeljenim na softveru i tehnologijama virtualizacije. Na primjer, treće strane mogu dinamički implementirati funkcionalnosti, dok platforma (npr. bazna stanica ili poslužitelj povezan s njom) može istodobno raditi te tako istovremeno pružati izolaciju putem tehnologije za virtualizaciju. Cilj je pronaći odgovarajuću raspodjelu resursa za funkcije u okruženjima hosting-a. Štoviše, oni se mogu rasporediti na različite načine, a svaki način ima svoje prednosti i nedostatke. Funkcije izvršene na golom metalu odlikuju se predvidljivim performansama, ali izolacija resursa ili sigurnost tako mogu biti ugroženi. Osim toga, u ovom se slučaju softver može smatrati ovisnim o operacijskom sustavu. S druge strane, da bi se postigla laka implementacija, sam softver bi trebao smanjiti ovisnost o kodu jezgre operacijskog sustava, međuopreme i hardvera. Također se mogu iskoristiti hibridne implementacije, gdje dio usluga pruža fizički hardver.³

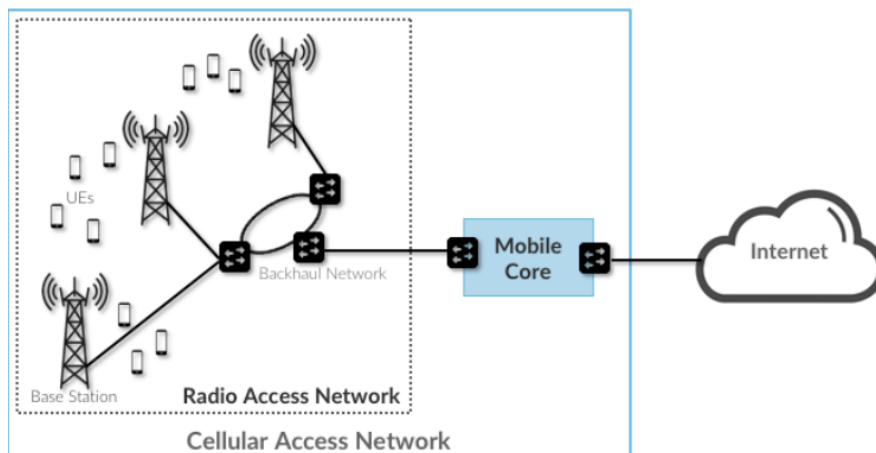
³ 5G PPP Architecture Working Group (2016.) *View on 5G Architecture. Version 1.0.* Dostupno na: <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5G-PPP-5G-Architecture-WP-July-2016.pdf> [07. travnja 2012.]

3. Fizička arhitektura 5G mreže

U ovom poglavlju predstaviti ću osnovne komponente fizičke arhitekture 5G mreže. Fokusira se na komponente koje su zajedničke i 4G i 5G mreži te kao takve uspostavljaju temelje za razumijevanje naprednih značajki 5G predstavljenih u kasnijim poglavljima.

3.1. Glavne komponente

Celularna mreža (engl. cellular network) pruža bežičnu vezu s uređajima koji su u pokretu. Ovi uređaji koji su još poznati kao *korisnička oprema* (engl. *user equipment*) tradicionalno odgovaraju pametnim telefonima i tabletima, ali će ubuduće sve više uključivati automobile, dronove, industrijske i poljoprivredne strojeve, robote, kućanske uređaje, medicinske uređaje itd.



Slika 3 Stanične mreže sastoje se od mreže za radio pristup (engl. radio access network – RAN) i mobilne jezgre (engl. mobile core) (izvor: <https://5g.systemsapproach.org/images/Slide01.png>)

Kako je prikazano na slici 3, celularna mreža sastoji se od dva glavna podsustava: mreže za radio pristup (RAN) i mobilne jezgre (mobile core). RAN upravlja radio spektrom, vodeći računa da se on učinkovito koristi i udovoljava zahtjevima usluge svakog korisnika. Odgovara distribuiranoj kolekciji baznih stanica (engl. base station). Kao što je već spomenuto, 4G su (donekle kriptično) nazvani eNodeB (ili eNB) što je skraćeno od evoluiranog čvora B (engl. evolved node B). U 5G poznati su kao gNB (g označava „sljedeću generaciju“).

Mobilna jezgra skup je funkcionalnosti (za razliku od uređaja) koja služi u nekoliko svrha:

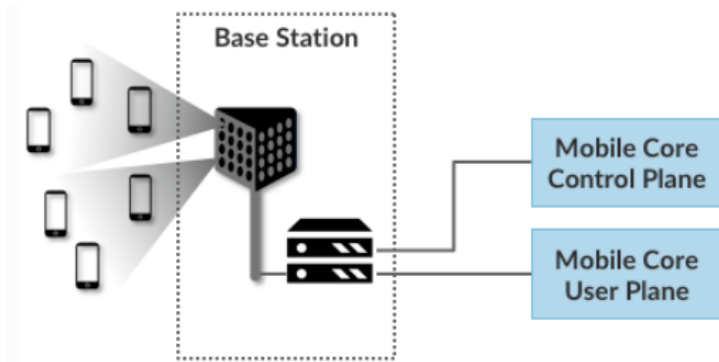
- Pruža internetsku (engl. internet provider) povezanost i za podatkovne i za govorne usluge
- Osigurava da ova povezanost ispunjava obećane QoS zahtjeve
- Prati mobilnost korisnika kako bi osigurao nesmetanu uslugu
- Prati upotrebu pretplatnika za naplatu

Treba imati na umu da je mobilna jezgra primjer generičkog pojma. U 4G se to naziva Evolved Packet Core (EPC), a u 5G jezgra sljedeće generacije (engl. Next Generation Core – NG-Core).

Iako ima riječ „jezgra“ u svom nazivu, s internetske perspektive, mobilna jezgra je i dalje dio pristupne mreže koja učinkovito pruža vezu između RAN-a u nekom zemljopisnom području i većeg IP-baziranog Interneta. 3GPP pruža značajnu fleksibilnost u geografskom raspoređivanju mobilne jezgre, ali za naše svrhe pretpostavka je da je svaki primjerak mobilne jezgre u gradskom području dobar radni model. Odgovarajući RAN tada bi obuhvaćao nekoliko desetaka (ili čak stotine) ćelijskih tornjeva (engl. cell towers).

Pogledamo li malo bolje sliku 3, vidimo kako Backhaul mreža povezuje bazne stanice koje implementiraju RAN s mobilnom jezgrom. Ova je mreža obično ožičena, može ili ne mora imati topologiju prstena prikazanu na slici, a često je izrađena od robnih komponenata koje se mogu naći negdje drugdje na Internetu. Na primjer, pasivna optička mreža (engl. Passive Optic Network – PON) koja implementira Fiber-to-the-Home glavni je kandidat za implementaciju RAN backhuala. Backhaul mreža je očito nužan dio RAN-a, ali to je izbor implementacije i nije propisan standardom 3GPP. Iako 3GPP navodi sve elemente koji implementiraju RAN i mobilnu jezgru u otvorenom standardu – uključujući podslojeve koji još nisu uvedeni – mrežni operateri su u prošlosti kupovali vlasničke implementacije svakog podsustava od jednog dobavljača. Ovaj nedostatak implementacije otvorenog koda pridonosi uočenoj „neprozirnosti“ mobilne mreže općenito, a posebno RAN-a. Premda je istina da implementacija eNodeB sadrži sofisticirane algoritme za zakazivanje prijenosa na radio-spektru – algoritme koji se smatraju vrijednim intelektualnim vlasništvom dobavljača opreme – postoji značajna prilika za otvaranje i razdvajanje RAN-a i mobilne jezgre. U nastavku opisat ću svaki od ove dvije komponente zasebno.

No prije toga, u nastavku slika 4 ponovno prikazuje komponente sa slike 3 kako bi se bolje istaknule dvije važne razlike.



Slika 4 Mobilna jezgra podijeljena na plan upravljanja i plan korisnika (engl. Control plane, User Plane), arhitektonska značajka poznata kao CUPS: razdvajanje upravljačkog i korisničkog plana (engl. Control and User Plane Separation) (izvor: https://5g.systemsapproach.org/_images/Slide02.png)

Prvo što je bitno naglasiti je to da bazna stanica ima analognu komponentu (prikazanu antenom) i digitalnu komponentu (prikazanu procesorskim parom). Drugo, mobilna jezgra je podijeljena u upravljački plan i korisnički plan, što je slično podijeli upravljačkog i korisničkog plana koju može prepoznati netko tko je upoznat s Internetom. U nastavku slijedi zašto je ova podjela bitna za 5G mrežu.

3.2. Mreža za pristup radiju (engl. Radio Access Network – RAN)

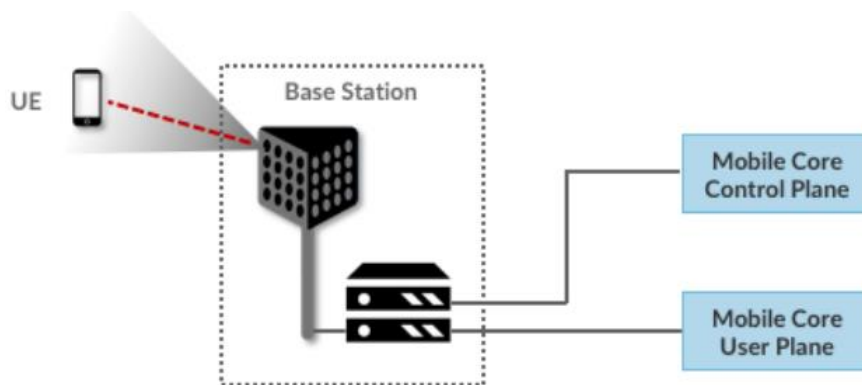
U nastavku će biti opisan RAN kroz skiciranje uloge koju svaka bazna stanica ima.

RAN se sastoji od nekoliko raznih vrsta objekata, uključujući male ćelije (engl. small cells), tornjeve, jarbole (engl. masts) i namjenske sustave u kući te kućne sustave koji povezuju mobilne korisnike i bežične uređaje s glavnom jezgrom mreže. Male ćelije glavna su značajka 5G mreže, posebno na novim milimetarskim valnim frekvencijama (engl. mmWave) gdje je domet veze vrlo kratak. Kako bi se osigurala kontinuirana veza, male ćelije bit će raspoređene u klustere, ovisno o tome gdje korisnici trebaju vezu koja će nadopuniti makro mrežu koja pruža pokrivenost širokog područja.

5G makro ćelije koritit će MIMO (engl. multiple input, multiple output) antene koje imaju više elemenata ili veza za istovremeno slanje i primanje više podataka. Korist za korisnike je ta da se više ljudi istovremeno može povezati na mrežu i istovremeno

održavati visoku propusnost mreže. Tamo gdje MIMO antene koriste vrlo velik broj antenskih elemenata, često se nazivaju „masivnim MIMO“ (engl. massive MIMO), međutim, fizička veličina slična je postojećim 3G i 4G antenama baznih stanica.⁴

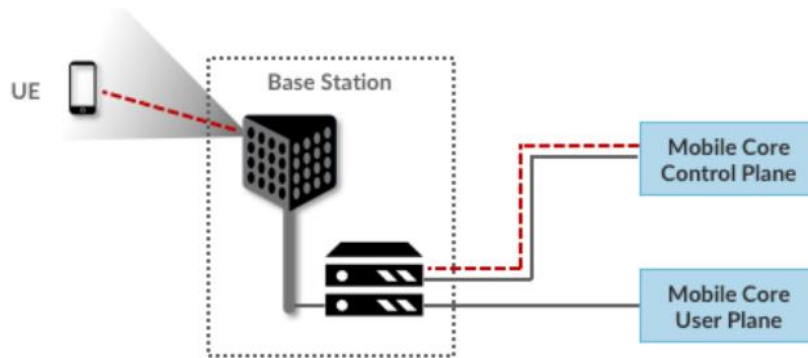
Svaka bazna stanica uspostavlja bežični kanal za pretplatnikovu korisničku opremu (kasnije u tekstu UE – engl. User Equipment) nakon uključivanja UE. Ovaj se kanal oslobađa kada UE ostane neaktivan unaprijed određeno vrijeme. Koristeći 3GPP terminologiju, za ovaj se bežični kanal kaže da pruža uslugu prijenosa podataka. Pojam „nositelj“ (engl. bearer) u povijesti se koristio u telekomunikacijama (uključujući rane žičane tehnologije poput ISDN-a) za označavanje podatkovnog kanala, za razliku od kanala koji prenosi signale informacije.



Slika 5 Bazna stanica detektira (i spaja se) na aktivan UE (izvor: https://5g.systemsapproach.org/_images/Slide03.png)

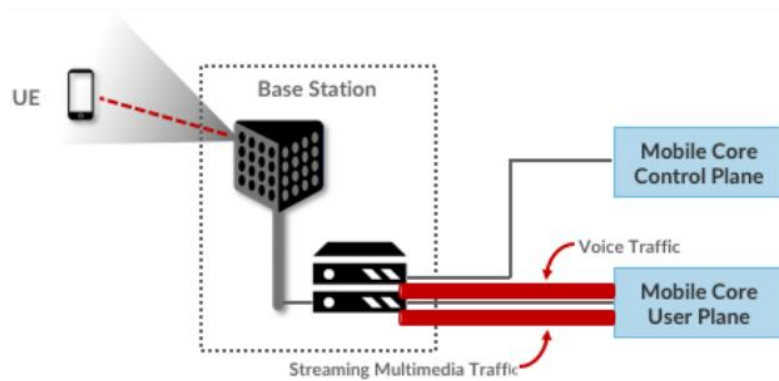
Nadalje, svaka bazna stanica uspostavlja „3GPP Control Plane“ vezu između UE i odgovarajuće komponente upravljačkog plana (engl. Control plane) i prosljeđuje signalni promet između njih. Ovaj promet signalizacije omogućuje UE provjeru autentičnosti, registraciju i praćenje mobilnosti.

⁴ EMF Explained (2019.-2020.) *5G Explained – How 5G Works* [online], EMF Explained. Dostupno na: <http://www.emfexplained.info/?ID=25916> [08. travnja 2021.]



Slika 6 Bazna stanica uspostavlja povezanost upravljačkog plana između svakog UE i mobilne jezgre (izvor: <https://5g.systemsapproach.org/images/Slide04.png>)

Za svaki aktivni UE bazna stanica uspostavlja jedan ili više tunela između odgovarajuće komponente korisničkog plana (engl. user plane) mobilne jezgre.

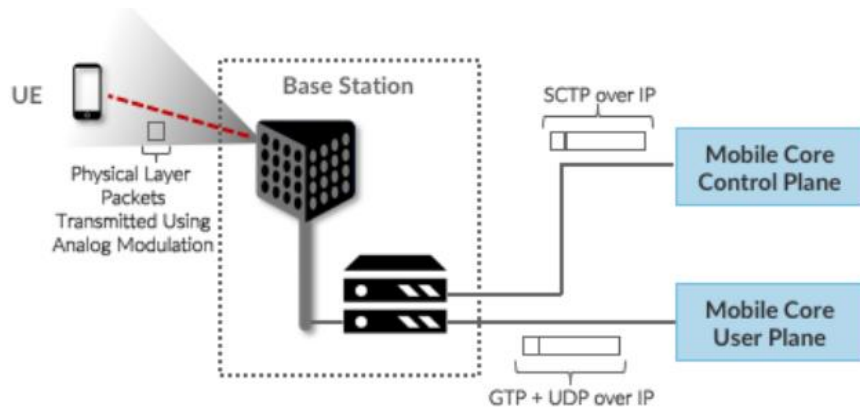


Slika 7 Bazna stanica uspostavlja jedan ili više tunela između svakog UE-a i korisničkog plana mobilne jezgre (izvor: <https://5g.systemsapproach.org/images/Slide05.png>)

Bazna stanica nakon toga prosljeđuje paket upravljanja i korisničkog plana između mobilne jezgre i UE. Ti su paketi tunelirani preko SCTP/IP, odnosno GTP/UDP/IP. SCTP (engl. Stream Control Transport Protocol) alternativni je pouzdani transport do TCP-a (engl. Transmission Control Protocol), napravljen za prijenos signalnih (kontrolnih) informacija telefonske usluge. GTP (ugniježđena kratica koja odgovara protokolu tuneliranja (engl. General Packet Radio Service)) protokol je tuneliranja specifičan za 3GPP dizajniran da radi preko UDP-a (engl. User Datagram Protocol).

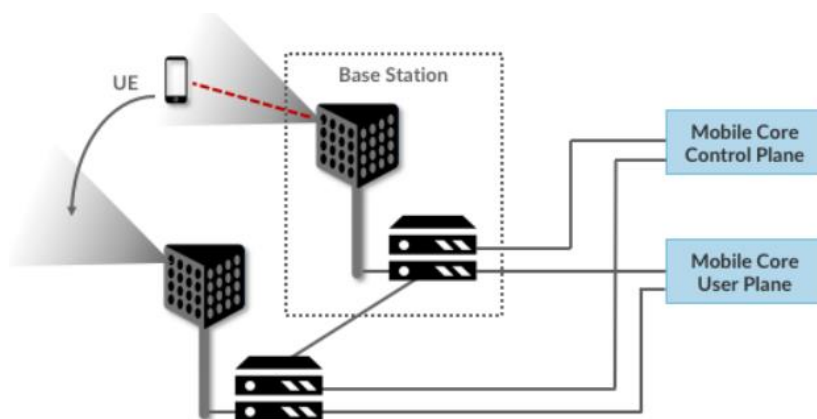
Osim toga, valja napomenuti da se povezanost između RAN-a i mobilne jezgre temelji na IP-u. ovo je uvedeno kao jedna od glavnih promjena između 3G i 4G. Prije 4G,

unutrašnjost ćelijske mreže temeljila se na krugovima, što nije iznenađujuće s obzirom na to da je potiče od glasovne mreže.



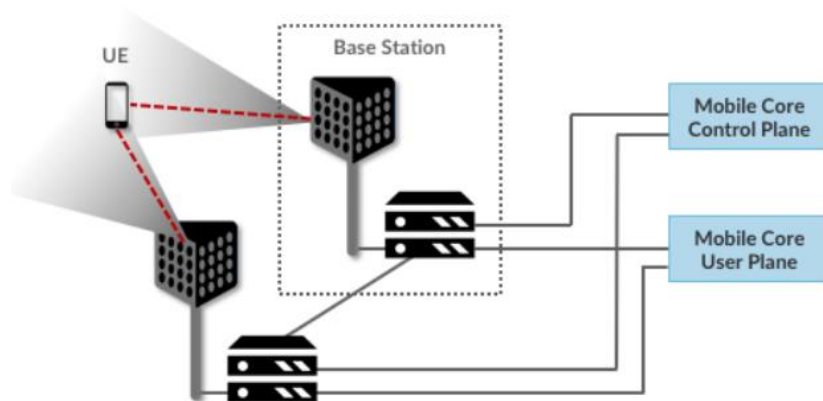
Slika 8 Bazna stanica prema mobilnoj jezgri kontrolnog plana tunelirana preko SCTP / IP i korisnički plan tuneliran preko GTP / UDP / IP (izvor: https://5g.systemsapproach.org/_images/Slide06.png)

Nadalje, svaka bazna stanica koordinira primopredaju UE sa susjednim baznim stanicama, koristeći izravne veze od stanice do stanice. Baš kao poveznica stanica – jezgra prikazana na prethodnoj slici, ove veze koriste se za prijenos paketa i upravljačkog plana (SCTP preko IP) i korisničkog plana (GTP preko UDP / IP).



Slika 9 Bazne stanice surađuju na provedbi predaje UE (izvor: https://5g.systemsapproach.org/_images/Slide07.png)

Sljedeće, bazne stanice koordiniraju bežični prijenos u više točaka na UE iz više baznih stanica, što može ili ne mora biti dio primopredaje UE s jedne bazne stanice na drugu.



Slika 10 Bazne stanice surađuju na provedbi višestrukog prijenosa (agregacija veza) na UE (izvor: https://5g.systemsapproach.org/_images/Slide08.png)

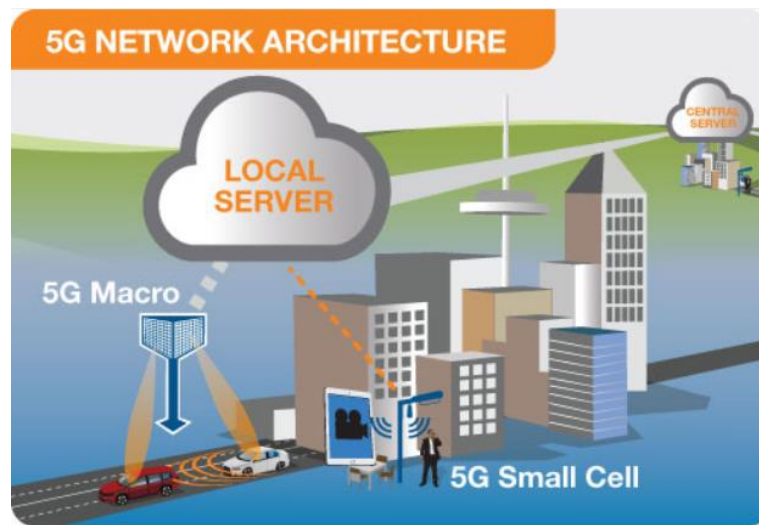
Glavna poteškoća je što se bazna stanica može gledati kao specijalizirani špediter. U smjeru Interneta do UE fragmentira odlazne IP pakete u segmentu fizičkog sloja i raspoređuje ih za prijenos preko dostupnog radio spektra, a u smjeru UE do Interneta segmente fizičkog sloja okuplja u IP pakete i prosljeđuje ih (preko GTP / UDP / IP tunela) do korisničkog plana mobilne jezgre. Također, na temelju opažanja kvalitete bežičnog kanala i pravila po pretplatniku, odlučuje hoće li: a) prosljeđivati odlazne pakete izravno na UE, b) neizravno prosljeđivati pakete na UE putem susjedne bazne stanice ili c) koristiti više puteva za doseganje UE. Treći slučaj ima mogućnost širenja fizičkog tereta preko više baznih stanica ili na više prijenosnih frekvencija jedne bazne stanice (uključujući Wi-Fi).⁵

3.3. Mobilna jezgra (engl. mobile core)

Jezgra mreže je podatkovna mreža za razmjenu koja upravlja svim mobilnim glasovima, podatkovnim i internetskim vezama. Za 5G, jezgra mreže preuređena je kako bi se bolje integrirala s Internetom i uslugama temeljenim na oblaku (više u nastavku teksta), a također uključuje distribuirane poslužitelje širom mreže, poboljšavajući vrijeme odziva (smanjujući tako kašnjenje). Mnogo naprednih značajki 5G, uključujući virtualizaciju mrežnih funkcija i rezanje mreže za različite aplikacije i usluge, upravljat će se u jezgri mreže. Slika 11. prikazuje na koji način to funkcionira, te kao primjer vidimo poslužitelje koji preko oblaka korisnicima pružaju brži sadržaj

⁵ Peterson, L. i Sunay, O. (2019.-2020.) *5G Mobile Networks: A System Approach* [online]. Dostupno na: <https://5g.systemsapproach.org/index.html> [08. travnja 2021.]

(streaming filma) i aplikacije koje imaju malo kašnjenje kao što je sustav za izbjegavanje sudara u vozilima.



Slika 11 5G mrežna arhitektura (izvor: <http://www.emfexplained.info/site/misc/image/Fullsize/11284.jpg>)

Glavna funkcija mobilne jezgre je pružanje veze s vanjskom paketnom podatkovnom mrežom (tj. Internetom) mobilnim pretplatnicima, istodobno osiguravajući njihovu autentičnost i opažene kvalitete usluge da zadovoljavaju njihove pretplatničke SLA-ove (engl. Service Level Agreement). Važan aspekt mobilne jezgre je taj da mora upravljati mobilnošću svih pretplatnika vodeći evidenciju o njihovom posljednjem boravištu u granularnosti uslužne bazne stanice. Činjenica je da mobilna jezgra prati pojedinačne pretplatnike – nešto što jezgra Interneta ne čini – stvara veliku složenost u svojoj arhitekturi, posebno s obzirom na to da se ti pretplatnici kreću okolo po gradu ili negdje drugdje. Iako ukupna funkcionalnost ostaje uglavnom ista pri prelasku s 4G na 5G, mijenja se način na koji se ta funkcionalnost virtualizira i računa u pojedinačne komponente. 5G mobilna jezgra pod velikim je utjecajem koraćanja cloud tehnologije prema arhitekturi koja se temelji na mikro uslugama (engl. cloud native services). Taj je prelazak na izvorne usluge oblaka dublji nego što se to čini na prvu, dijelom i zato što otvara vrata za prilagodbu i specijalizaciju. Umjesto da podržava samo glasovno i širokopojasno povezivanje, 5G mobilna jezgra može se razviti tako da podržava, na primjer, masovni IoT (engl. Internet of Things), koji ima bitno drugačije zahtjeve za kašnjenje i obrasce korištenja (tj. Mnogo više uređaja s mogućim

prekidima). Ovo naglašava – ako ne i prekida – jednoznačni pristup upravljanju sesijama.

Rezanje mreže (engl. network slicing) je mrežna arhitektura koja omogućuje multipleksiranje virtualiziranih i neovisnih logičkih mreža na istoj fizičkoj mrežnoj infrastrukturi. Svaki je odsječak izolirana E2E mreža skrojena da udovolji različitim zahtjevima koje zahtjeva određena aplikacija.⁶ Isto tako, omogućuje pametan način segmentiranja mreže za određenu industriju, tvrtku ili aplikaciju. Na primjer, hitne službe mogu raditi na mrežnom odsječku neovisno od ostalih korisnika.⁷

4. Tehnologija 5G telekomunikacijskog sustava

Ono što sam već naglasio u radu, u osnovi 5G mreža radi kao i dosadašnje mreže pokretnih komunikacija (2G, 3G ili 4G) – bazna postaja odašilje radiofrekvencijski signal i komunicira s mobilnim uređajem. 5G mreža se razvija postupno, kroz nadogradnju postojećih mreža na postojećim lokacijama.

Frekvencijski pojasevi koji se u Republici Hrvatskoj primarno upotrebljavaju za 5G mrežu su 700MHz i 3,6GHz, te će se također u kasnijoj fazi koristiti i frekvencija od 26GHz. U budućnosti će se i dio pojaseva koji se danas koriste za 2G, 3G i 4G koristiti za 5G, kao i dodatni novi frekvencijski pojasevi.

S obzirom na očekivane velike brzine prijenosa podataka i veliki kapacitet 5G mreža, broj baznih postaja će se povećati, pogotovo novopostavljenih tzv. malih ćelija (engl. small cells) koji će pokrivati područja koja nisu dostatno pokrivena osnovnim baznim postajama. Također, iz istog razloga će se bazne postaje međusobno morati povezati agregacijskim mrežama velike propusnosti (kapaciteta) i niske latencije, što će se u najvećem broju slučajeva ostvariti izgradnjom svjetlovodne mreže. Radiofrekvencijski pojasevi koji će se primarno koristiti za 5G u usporedbi s 2G/3G/4G:

⁶ Wikipedia (2021.) *5G Network Slicing* [online], Wikipedia. Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/5G_network_slicing [08. travnja 2021.]

⁷ EMF Explained (2019.-2020.) *5G Explained – How 5G Works* [online], EMF Explained. Dostupno na: <http://www.emfexplained.info/?ID=25916> [08. travnja 2021.]

Tablica 1 Usporedba radio frekvencija 2G/3G/4G sa 5G mrežom (izvor: <https://www.hakom.hr/hr/tehnologija-386/386>)

2G/3G/4G	5G
800 MHz	700 MHz
900 MHz	3,6 GHz
1800 MHz	26 GHz
2,1 GHz	
2,6 GHz	

Frekvencijski pojas 700 MHz (694-790 MHz) će se prvenstveno koristiti za što veće geografsko pokrivanje područja u ruralnim i udaljenim sredinama. Usklađeni tehnički uvjeti su propisani Odlukom (EU) 2016/687, odnosno ECC/DEC(15)01.

Pojas 3,6 GHz (3,4-3,8 GHz) će se većinom upotrebljavati za ostvarivanje što većeg kapaciteta u urbanim sredinama. Usklađeni tehnički uvjeti su propisani Odlukom (EU) 2019/235, odnosno ECC/DEC/(11)06 za bazne postaje s neaktivnim antenskim sustavima (ne-AAS) i s aktivnim antenskim sustavima (AAS).

Pojas 26 GHz (24,25-27,5 GHz) će se u početku koristiti za nepokretni bežični pristup (engl. fixed wireless access – FWA) velikog kapaciteta. Usklađeni tehnički uvjeti su propisani Odlukom (EU) 2019/784, odnosno ECC/DEC(18)06

Pokrivanje velikih geografskih područja u mrežama pokretnih komunikacija postiže se makro baznim postajama koje se postavljaju na antenske stupove i krovne nosače. U slučaju potrebe za dodatnim kapacitetom u mreži ili pri instalacijama izvedenim u zatvorenom prostoru, postavljaju se tzv. pristupne točke malog dometa (engl. small cell) manje izračene snage. Mogući tipovi takvih instalacija uključuju bočne prihvate na postojeće građevine, prometnu infrastrukturu, reklamne panoe, rasvjetna tijela i općenito uličnu infrastrukturu. S obzirom na to da se implementacijom 5G mreža

očekuje povećanje broja takvih postaja, na razini Europske unije planira se propisivanje tehničkih karakteristika takvih baznih postaja za koje se predviđa pojednostavljena zakonska procedura postavljanja. Riječ je o pristupnim točkama malog dometa manjih dimenzija (volumena do 30 l), koje rade s malim izračenim snagama (EIRP do 10 W), a postavljat će se bliže malim i mikro ciljanim područjima pokrivanja. Tehničke karakteristike tih malih ćelija i način postavljanja sukladan je europskom standardu EN 62232:2017. 5G bazna postaja mora podržavati gigabitne brzine prijenosa, za što je potrebno osigurati i izgraditi agregacijsku mrežu velike propusnosti i niske latencije. Predviđa se kako će se u najvećem broju slučajeva za to izgraditi svjetlovodna mreža.⁸

4.1. Mjerila za globalno 5G iskustvo

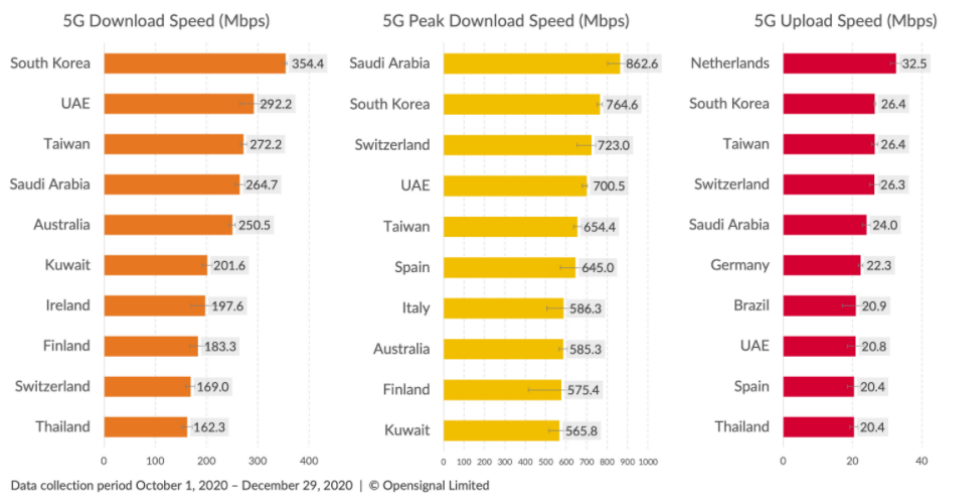
5G je još uvijek blizu početka svoje desetljetne ere. Niti jedna mobilna tehnologija ne možete samo stati, tako da je potrebno nastaviti analizirati iskustvo iz stvarnog svijeta i vidjeti kako se ono mijenja i poboljšava. Opensignal, neovisni globalni standard koji se bavi razumijevanjem stvarnog stanja svjetskih mobilnih mreža temeljen na mjerenjima stvarnih korisničkih iskustava, analizira i identificira vodeće zemlje te kvantificiraju njihova 5G mobilna iskustva. Tako su u većini zemalja operateri lansirali svoje verzije 5G standarda koristeći jedan bežični 5G frekvencijski opseg. S druge strane, operateri nekih zemalja nude 5G na više opsega spektra ili koriste mmWave tehnologije za nuđenje izuzetno visoke brzine prijenosa.

U prvom su se desetljeću vidjela velika poboljšanja u tehnologiji 4G. Kako bi se razumjeli događaju li se slični skokovi naprijed s 5G, potrebno je pratiti kako se razvija stvarno 5G iskustvo. U 2021. godini, više operatera se nada pokretanju 5G na dodatnim frekvencijskim opsezima, namjerava se dodatni izuzetno brza 5G mreža temeljena na mmWave-u, a sve više operatera nastoji lansirati novije verzije 5G standarda i ponuditi korisnicima potpuno 5G iskustvo prelaskom sa ne samostalnog pristupa (engl. non-standalone access – NSA) na samostalni 5G (engl. standalone access – SA).

⁸ HAKOM (2020.) *Elektroničke komunikacije* [online], HAKOM. Dostupno na: <https://www.hakom.hr/hr/tehnologija-386/386> [19. svibnja 2021.]

Kako bi 5G bio relevantan za uobičajene mobilne korisnike, najnovija mobilna tehnologija mora ponuditi izvrsno i vrhunsko iskustvo mobilne mreže. U ovoj analizi kvantificirani su podaci o tome koliko dobro može biti 5G iskustvo. No, postoje velike razlike u kvaliteti 5G iskustva na globalnoj razini. U nastavku, globalni čelnici 5G zemalja navode što je već moguće i koja je krajnost po pitanju 5G mreže.

4.1.1. Top 10 5G država: brzina



Slika 12 Top 10 brzina preuzimanja i učitavanja (engl. download, upload) u svijetu (izvor: https://www.opensignal.com/sites/opensignal-com/files/images/202101_5gcountries_slide1a.jpeg)

Južnokorejski korisnici vode u svijetu u brzinama preuzimanja 5G mreže s rezultatom od 354,4 Mbps. Korisnici u šest zemalja imaju brzine prijenosa sa preko 200 Mbps – Australija, Saudijska Arabija, Tajvan te Ujedinjeni Arapski Emirati – dok su korisnici u svih deset zemalja primjetili prosječne brzine preuzimanja 5G od preko 150 Mbps, što predstavlja mnogo veće brzine nego što je to bilo na 4G mreži.

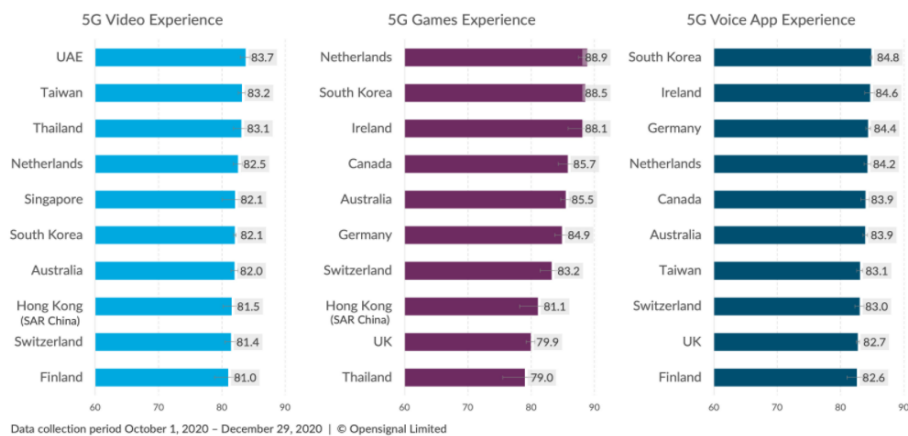
Brzina preuzimanja 5G predstavlja prosječnu brzinu korištenjem aktivne 5G mreže. Na prvi se pogled ove brzine možda neće činiti osobito brze, jer je povremeno moguće da 4G tehnologija pruži individualan test brzine koji je puno brži. No, nečuveno je da je prosječno iskustvo korisnika 4G mreže u stotinama megabita u sekundi u bilo kojoj zemlji na globalnoj razini.

Kada pogledamo najveću brzinu preuzimanja 5G – prosječnu brzinu koji iskusi gornjih 2% korisnika ove mreže – vidimo još brže iskustvo. Najviša brzina za prvih deset 5G zemalja na globalnom nivou kreće se od 862,6 Mbps do 575,4 Mbps. Saudijska Arabija

prednjači ispred Južne Koreje u najvećoj brzini preuzimanja 5G mreže. Švicarska i Italija se također pomiču prema gore na tablici.

Nizozemska je na vrhu poretka brzine prijenosa 5G brzinom od 32,5 Mbps. Opet, Južna Koreja zaostaje, a Tajvan i Švicarska kotiraju visoko na tablici. Sve ove zemlje imaju koristi i od uvođenja 5G, ali i od snažnih mrežnih temelja s visokokvalitetnom rekonstrukcijom ćelijskih tornjeva (engl. cell towers) – koja se dijeli između 4G i 5G tehnologije – i učinkovite jezgrene mreže (engl. core network). Većina trenutnih implementacija 5G koristi nesamostalni pristup, pri čemu se cjelokupno 5G iskustvo korisnika još uvijek jednim dijelom oslanja na mogućnosti 4G mreže jer će se 5G pametni telefon spojiti na 4G spektar istovremeno kada pametni telefon ima aktivnu 5G vezu.

4.1.2. Top 10 5G država: iskustvo



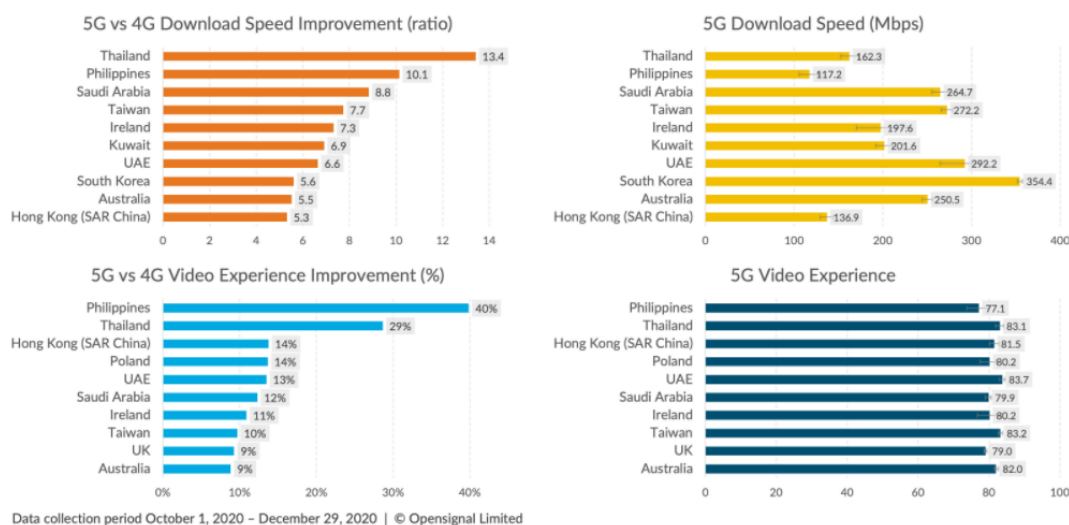
Slika 13 Top 10 država sa najboljim iskustvom korištenja 5G mreže u određene svrhe (izvor: https://www.opensignal.com/sites/opensignal-com/files/images/202101_5gcountries_slide2a.jpeg)

Što se tiče multiplayer mobilnih igara, očekivanja u industriji su bila izuzetno velika jer se operatori nadaju da će nagovoriti igrače na nadogradnju na 5G mrežu. Za sada, samo 5 zemalja ocjenjuje se izvrsnim u Opensignalovoj mjeri iskustava igara u 5G mreži s ocjenom većom od 85. Ali ovo će biti područje koje treba promatrati kako sve veći broj operatora postavlja 5G jezgrene mreže i samostalni 5G, gdje imaju cilj znatno poboljšati kašnjenje (engl. latency). Suprotno tome, u svih deset najbolji zemalja za 5G video iskustvo korisnici su uživali u „izvrsnom“ iskustvu na stopostotnoj ljestvici s rezultatima preko 80.

Nuđenje velikih brzina nije dovoljno da bi korisnici mobilnih uređaja uživali u izvrsnom iskustvu. Primjerice, ponekad će operatori prigušiti određene vrste mobilnog

podatkovnog prometa – često video streaming – što može imati učinak omogućavanja rezultata vrlo dobrih testova brzine, ali nudeći pri tome korisnicima loše video iskustvo (loša rezolucija slike, pre dugo vrijeme učitavanja, itd.). Opensignal tako testira niz mobilnih iskustava, uključujući „Video Experience“, iskustvo igranja multiplayer mobilnih igara i iskustvo korištenja aplikacija za razgovor u stvarnom vremenu koristeći pri tome popularne komunikacijske aplikacije.

4.1.3. Top 10 5G država: poboljšanja

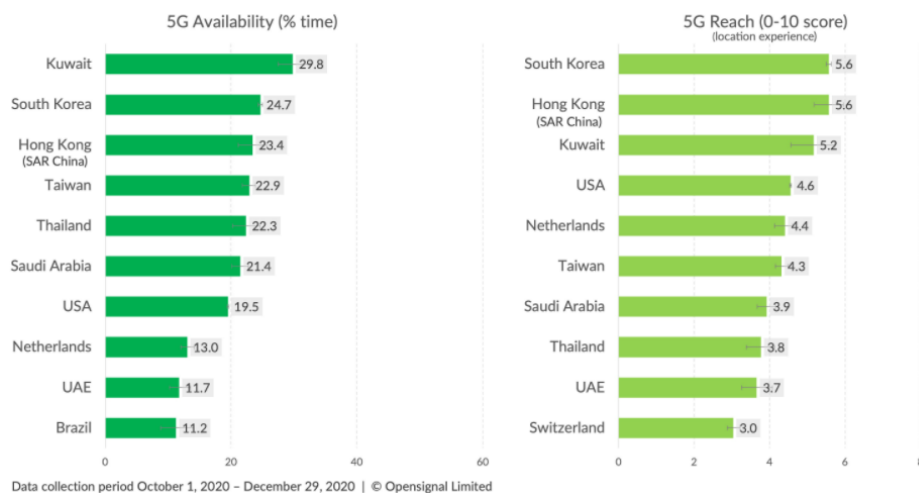


Slika 14 Top 10 država sa najboljim poboljšanjima u raznim područjima (izvor: https://www.opensignal.com/sites/opensignal-com/files/images/202101_5gcountries_slide3a.jpeg)

Tržišta u razvoju bilježe neke od najvećih skokova u mobilnom iskustvu s 5G-om. Na Tajlandu mobilni korisnici vide brzinu prijenosa 5G mreže 13,4 puta brže od brzine preuzimanja od brzine preuzimanja 4G mreže – najveći porast na svijetu – dok su na drugom mjestu Filipini s povećanje od 10,1 puta, te sa Saudijskom Arabijom na trećem mjestu. U tri najbolje države sa najboljim brzinama preuzimanja na 5G mreži – Južna Koreja, Ujedinjeni Arapski Emirati i Tajvan (slika 12. gore) – također se vidi veliki skok u brzina 5G mreže s rezultatima 5,6 , 6,6 i 7,7 puta.

Za video iskustvo, prva dva mjesta su obrnuta. Filipini vide 5G video iskustvo 40% bolje nego što je to bilo na 4G mreži, Tajland je drugi sa 29% boljim iskustvom, dok je Hong Kong treći s poboljšanjem od 14%. U osam od deset najboljih zemalja za poboljšanje 5G video iskustva u usporedbi sa 4G je veće od 10%.

4.1.4. Top 10 5G država: opseg



Slika 15 Top 10 država sa najboljim poboljšanjem dostupnosti i doseg 5G mreže (izvor: https://www.opensignal.com/sites/opensignal-com/files/images/202101_5gcountries_slide4a.jpeg)

Ne postoji jedinstveni način mjerenja opsega neke mobilne mreže. Opensignal je tako razvio dvije mjere za opseg 5G mreže koje nude komplementarne perspektive. Dostupnost 5G i doseg 5G mreže mjere stvarno iskustvo mreže kako je vide naši korisnici, kamo god krenuli, gdje god provodili vrijeme, u zatvorenom ili otvorenom prostoru, u svako doba dana. Opensignal se tako ne oslanja niti na vanjske izvore podataka koji se rijetko ažuriraju poput popisnih podataka o tome gdje ljudi žive, niti mjere koriste neke matematičke procjene širenje mreža. Opensignal mjeri stvarno iskustvo korisnika.

Dostupnost 5G mreže mjeri udio vremena koje korisnici 5G – oni koji imaju i model 5G pametnog telefona i plan usluge 5G – provode povezani s aktivnim 5G signalom. Kad pogledamo deset najboljih zemalja na globalnoj razini, u šest zemalja korisnici provode više od petine svog vremena povezani s 5G gdje je Kuvajt najbolje rangiran sa 29,8%.

Opensignal isto tako proučava mjesta na kojima je pristupa 5G mreža. 5G doseg mjeri korisničko iskustvo uvođenja 5G mreže operatera. 5G doseg daje prosječni udio lokacija na kojima su se korisnici 5G povezali na 5G mrežu od svih lokacija koje su korisnici posjetili izmjereno na skali od 1 do 10. Na tri mjesta – Južna Koreja, Hong Kong i Kuvajt – može se vidjeti ocjena veća od 5 na skali do 10, što ukazuje na širok doseg 5G mreže. Istaknuto je da su Sjedinjene Američke Države visoko na skali mjerenja doseg 5G, dijelom i zbog upotrebe spektra niskih frekvencija za 5G od strane sva tri američka mobilna operatera. Međutim, SAD je neobičan jer su većina

zemalja u prvih deset za doseg 5G mreže manje zemlje u kojima je operaterima lakše pokrivati široki dio zemlje uslugom 5G.⁹

5. Pokrivenost i mrežni operateri 5G mreže u Hrvatskoj

Operatori mreža pokretnih komunikacija implementirali su 5G tehnologiju u Republici Hrvatskoj upotrebom dinamičkog dijeljenja spektra (engl. Dynamic Spectrum Sharing – DSS). DSS omogućava operatorima da upotrebljavaju isti radiofrekvencijski spektar, odnosno isti frekvencijski nosilac za pružanje 5G i 4G (LTE) usluga. Dijeljenje resursa između 4G i 5G tehnologije ovisi o prometnim potrebama korisnika za pojedinom tehnologijom na određenom području gdje se resursi dinamički raspoređuju tijekom vremena. DSS omogućuje pokrivanje 5G signalom koristeći postojeći „4G“ spektar te postojeću radijsku opremu i lokacije, bez investiranja u novu 5G infrastrukturu. Na taj se način 5G usluga može brzo i efikasno uspostaviti, bez potrebe za dodjelom novog spektra. Za pružanje 5G usluga dovoljna je softverska nadogradnja postojećih baznih postaja, čime se omogućava efikasnija uporaba spektra dodijeljenog operaterima.

S obzirom na to da se u RH radiofrekvencijski spektar primarno namijenjen za 5G planira dodijeliti tijekom prve polovice 2021. godine, uporaba DSS-a čini 5G tehnologiju dostupnom krajnjim korisnicima i prije te dodjele. Uporaba DSS-a u klasičnim 4G pojasevima će doprinijeti bržoj implementaciji 5G tehnologije.

U Hrvatskoj danas 5G mrežu pružaju 3 operatera: Hrvatski telekom, A1 Hrvatska i Telemach (trenutno u fazi implementiranja 5G mreže).¹⁰

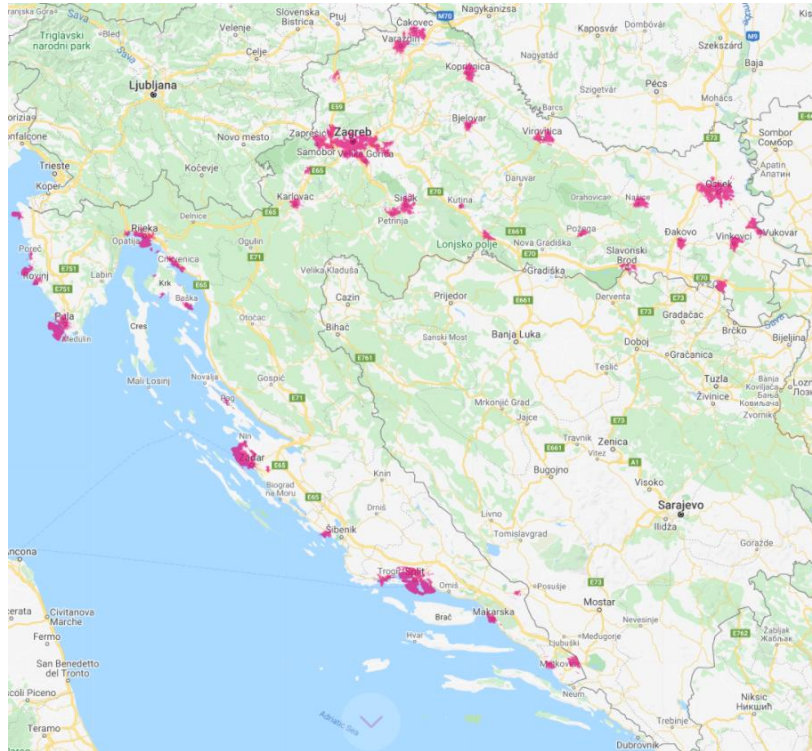
5.1. Hrvatski telekom

Hrvatski telekom trenutno (od svibnja 2021. godine) nudi usluge 5G mreže u 45 hrvatskih gradova te je prva mreža koja je pustila u rad komercijalnu 5G mrežu (listopad 2020. godine). HT je krenuo sa 5G implementacijom u siječnju 2018. godine kada je donosena odluka o implementaciji 5G mreže. Prvo testiranje 5G mreže od strane HT-a odvijalo se u gradu Samoboru u ožujku 2019. godine, a nekoliko mjeseci kasnije, na otoku Krku, izmjerene su prve gigabitne brzine 5G mreže na nekom otoku.

⁹ Fogg, I. (2021.) *Benchmarking the global 5G experience* [online], Opensignal. Dostupno na: <https://www.opensignal.com/2021/02/03/benchmarking-the-global-5g-experience> [19. svibnja 2021.]

¹⁰ HAKOM (2020.) *5G mreža u Hrvatskoj* [online], HAKOM. Dostupno na: <https://www.hakom.hr/hr/5g-mreza-u-hrvatskoj/392> [24. svibnja 2021.]

Isto tako, HT je implementirao 5G mrežu kada je Hrvatska predsjedala EU u siječnju 2020. godine. U veljači iste godine, HT je sa Fakultetom elektrotehnike i računarstva dogovorio pokretanje prve privatne 5G mreže pod nazivom Campus Network u Zagrebu.¹¹



Slika 16 Pokrivenost 5G mrežom u Hrvatskoj od strane Hrvatskog telekoma (izvor: <https://www.hrvatskitelekom.hr/5g>)

5.2. A1 Hrvatska

A1 Hrvatska trenutno 5G mrežu nudi u 2 Hrvatska grada, Zagrebu i Osijeku. U Zagrebu je to trenutno na nekoliko lokacija, dok se u cijelom Osijeku provodi testiranje 5G mreže, njene stabilnost i brzine.

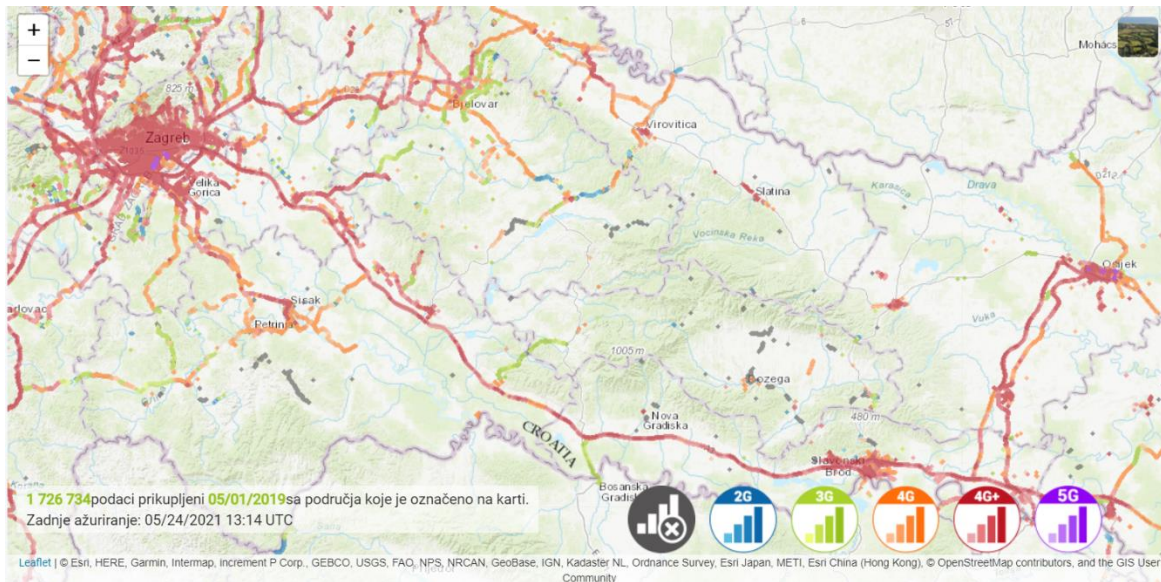
Ono što A1 nudi kroz 5G mrežu je:

- Brzina – upload i download velikih količina podataka sa brzinom od čak 10000 Mbit/s
- Kapacitet – istovremeno spajanje milijun uređaja na jednom kvadratnom kilometru

¹¹ Hrvatski Telekom (2021.) 5G [online], Hrvatski Telekom. Dostupno na: <https://www.hrvatskitelekom.hr/5g> [24. svibnja 2021.]

- Latencija – drastično smanjivanje kašnjenja signala do gotovo neprimjetne razine
- Efikasnost – veća pouzdanost mreže i stabilna veza bez pucanja
- Internet stvari (Internet of Things – IOT) – povezivanje pametnih uređaja u kućanstvu i na poslu za olakšavanje svakodnevnog života

Kako navode na svojoj internetskoj stranici, A1 se intenzivno priprema i radi na razvoju 5G mreže. U drugoj polovici 2021. godine očekuje se da će Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti (HAKOM) provesti postupak dodjele frekvencijskog spektra za 5G, čime se ostvaruju preduvjeti za početak komercijalne ponude usluga putem 5G mreže.¹²



Slika 17 Pokrivenost 5G mrežom u Hrvatskoj od strane A1 Hrvatska (izvor: <https://www.nperf.com/hr/map/HR/-/161490.A1-Mobile/signal/?ll=45.5101964275078&lg=17.227661367505792&zoom=9>)

5.3. Telemach Hrvatska

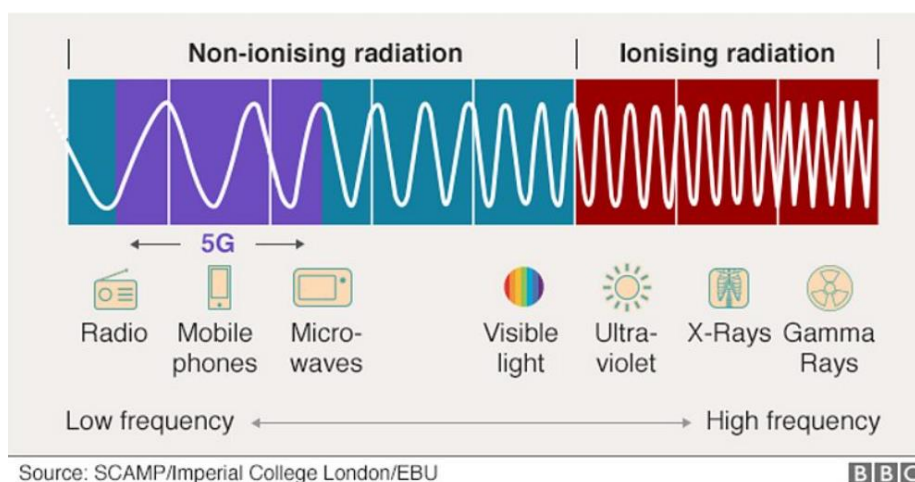
Mrežni operater Telemach u Hrvatskoj trenutno je u testnoj fazi implementiranja 5G mreže te gradi sve jaču, pametniju i pouzdaniju mrežu. Stalno ulaže u fiberizaciju te se priprema za uvođenje 5G mreže.

¹² A1 Hrvatska (2021.) *5Genijalnih primjera* [online], A1 Hrvatska. Dostupno na: <https://www.a1.hr/5g#5genijalnih-primjera> [24. svibnja 2021.]

6. Dezinformacije povezane sa 5G tehnologijom

Dezinformacije se šire uvijek kada je u pitanju neka nova tehnologija ili izum kada se u isto vrijeme dogodi nešto što zadesi većinu svjetske populacije, kao što se dogodilo i sa aktualnom pandemijskom krizom izazvanom virusom Covid-19. Naime, kako svijet već polako preuzimaju razne društvene mreže, tako su se i na jednoj od njih, TikTok-u, pojavili razni videi sa nekoliko desetaka, pa čak i stotina, tisuća pregleda u kojima ljudi šire razne „teorije zavjere“ po pitanju 5G tehnologije. Kompanije velikih društvenih mreža počele su poduzimati mjere kako bi zaustavile širenje ovih tvrdnji. Tako na primjer Youtube uklanja sve video zapise koji promoviraju lažne priče koje povezuju 5G mrežu sa širenjem koronavirusa, dok WhatsApp ograničava koliko se puta popularna prosljeđena poruka može dalje prosljeđivati. No, čak i tim radnjama, „teorije zavjere“ prelele su se iz internetskog svijeta u stvarni. Izvještaji o požarima na odašiljačima (koji nose 5G signale) diljem Velike Britanije i drugim aktima vandalizma pokazuju stvarne posljedice uzimanja lažnih priča kao istinitim.

No zašto se to događa? Zabrinutost oko 5G tehnologije postojala je i prije izbijanja koronavirusa u svijetu. 5G koristi radio valove za prijenos mobilnih podataka putem svojih mreža, baš kao što je slučaj i kod 4G odnosno 3G mreže. Koristi frekvenciju na donjem kraju elektromagnetskog spektra, što znači da valovi nisu dovoljno jaki da oštete ljudske stanice. Frekvencije na višem kraju spektra mogu biti štetne za ljude, poput rendgenskih zraka ili ultra-ljubičaste svjetlosti. Međutim, 5G je znantno ispod ove razine, a mjerenja pokazuju da je 66 puta ispod sigurnosne granice za štetno zračenje koje je postavljeno prema međunarodnim smjernicama.



Slika 18 Razina zračenja 5G mreže u usporedbi sa ostalim vrstama zračenja (izvor: <https://ichef.bbci.co.uk/images/ic/832xn/p089s8z7.jpg>)

Kod elektromagnetskih valova postoje 2 vrste zračenja: ionizirajući i neionizirajući. Kada čujemo pojam zračenje odma dobijemo negativno značenje tog pojma, ali se to u ovom slučaju odnosi na frekvenciju elektromagnetskog vala. Ionizirajuće zračenje (ono na jako visokim frekvencijama koje se ne koristi za bežičnu komunikaciju) posjeduje dovoljno energije za ionizaciju molekula u ljudskom organizmu te može doći do oštećenja stanica i nasljednih informacija sadržanih u kromosomima (naravno o tome ovisi i razina izloženosti). Primjer ionizirajućeg zračenja, kao što vidimo na slici 18. su gama zrake ili rendgenske zrake. Na frekvencijama koje rabimo u bežičnim komunikacijama energijski su kvanti puno, puno manji (više od milijun puta) pa se smatra da nema ionizirajućeg efekta. Zato se takvo zračenje naziva neionizirajućim, izjavio je profesor Gordan Šišul sa zagrebačkog Fakulteta elektrotehnike i računarstva koji radi na zavodu za radiokomunikacije u intervjuu za Telegraf.

Lažne teorije koje povezuju 5G s koronavirusom obično postoje u 2 vrste:

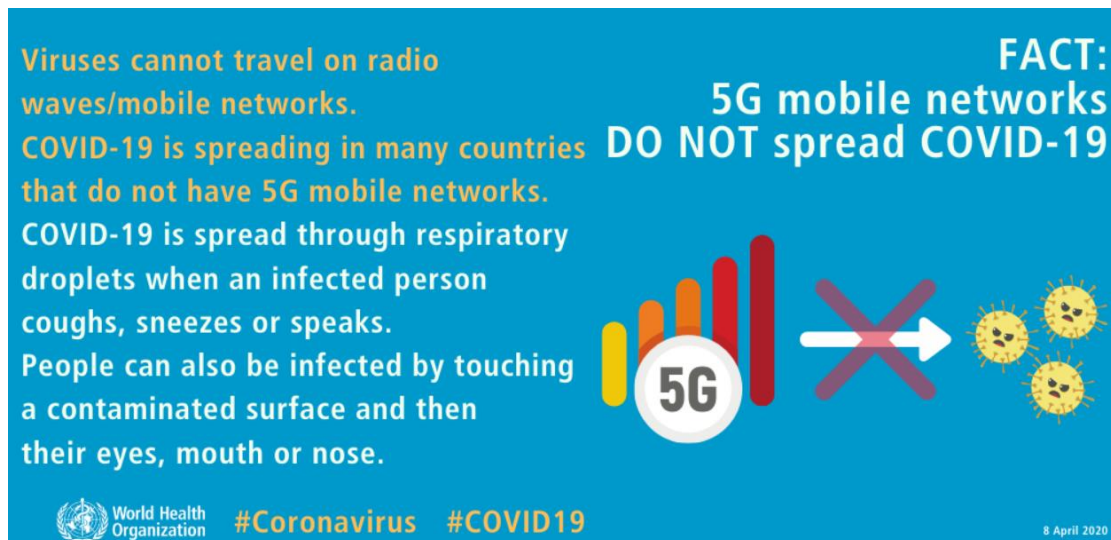
- 5G slabi imunološki sustav, što nas čini ranjivijim na hvatanje virusa
- Virus se može prenijeti putem 5G mreže

Kod prve teorije je već viđeno kako znanstvenici vjeruju da 5G nije dovoljno jak da šteti našim stanicama (slika 18.) ili ima negativan učinak na naš imunološki sustav, poput loše prehrane ili nedostatka sna, ali 5G nije jedan od njih.

Druga teorija ima još manje smisla kad pogledamo neke osnovne činjenice. Koronavirus je virus koji se može širiti prenošenjem od zaraženih njime na ostatak populacije, od kašlja, kihanja i bliskog kontakta. Elektromagnetski valovi koji pomažu prenošenju 5G potpuno su različiti od virusa i ne postoji način na koji bi mogli proširiti virus – to je fizički nemoguće! Wuhan, središte epidemije koronavirusa u Kini, jedno je od prvih mjesta u zemlji koje je isprobalo 5G tehnologiju, a neki su pogrešno povezali dva nepovezana događaja. Međutim, zemlje bez 5G mreže, poput Irana, prijavile su ogroman broj slučajeva koronavirusa. U Velikoj Britaniji također postoji niz područja bez pokrivanja 5G mreže koja imaju slučajeve koronavirusa, tako da niti ova teorija nema smisla.¹³

¹³ BBC (2020.) *5G and coronavirus: Debunking the fake news stories* [online], BBC. Dostupno na: <https://www.bbc.co.uk/bitesize/articles/zbw492p> [28. svibnja 2021.]

Svjetska zdravstvena organizacija (engl. World health organization – WHO) kaže kako nije moguće da virus putuje preko radio valova / mobilne mreže. Kao način prijenosa virusa, uz kašljanje, kihanje i govor, navodi se i još jedan, a to je ako osoba dotakne zaraženu površinu ili osobu te onda rukama dira oči, usta ili nos.¹⁴



Slika 19 Slikovni dokaz da 5G NE PRENOSI korona virus (izvor: [https://www.who.int/images/default-source/health-topics/coronavirus/myth-busters/web-mythbusters/eng-mythbusting-ncov-\(15\).png?sfvrsn=a8b9e94_4](https://www.who.int/images/default-source/health-topics/coronavirus/myth-busters/web-mythbusters/eng-mythbusting-ncov-(15).png?sfvrsn=a8b9e94_4))

7. 5G i Internet of Things (IoT)

Trenutno postoje bezbroj studija koje pokušavaju kvantificirati i predvidjeti materijalni utjecaj pete generacije, odnosno 5G mreže, i Interneta stvari (IoT). Neki od njih usredotočuju se na aspekt troškova, a drugi na vrijednost za društvo. Međutim, čak i dok su ove studije u tijeku, očito je da će 5G mreža potaknuti inovacije u mnogim industrijama i pružiti platformu koja omogućava da nove tehnologije poput IoT-a postanu sastavni dio našeg gospodarstva i načina života.

5G je temelj za ostvarenje punog potencijala IoT-a. Iako je 5G postavljen za komercijalnu dostupnost negdje oko 2020. godine, industrija već radi na razvoju novih globalnih standarda i pre-5G proizvoda kako bi koristila industrijama svugdje. Najnovije

¹⁴ World Health Organization (2021.) *Coronavirus disease (COVID-19) advice for the public: Mythbusters* [online], World Health Organization. Dostupno na: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/myth-busters#5g> [28. svibnja 2021.]

izvješće o mobilnosti Ericssona AB ističe da će 2022. godine biti 550 milijuna pretplata na 5G mrežu, a Azijsko-pacifička regija bit će druga regija s najbržim rastom s 10% svih pretplata na 5G u 2022. godini.

Prva generacija mobilne mreže (1G) odnosila se samo na glas. 2G se odnosio na glas i slanje poruka; 3G se odnosio na glas, slanje poruka i podatke; 4G je bio 3G, ali brže; a 5G će biti još brži. Bit će dovoljno brz da u sekundi preuzmete cjelovit HD (engl. high-definition) film. Ali 5G je puno više od pukog preuzimanja; njegova jedinstvena kombinacija brze povezanosti, vrlo malog kašnjenja i sveprisutne pokrivenosti podržat će pametna vozila i prometnu infrastrukturu poput povezanih automobila, kamiona i autobusa, gdje bi kašnjenje u djeliću sekunde moglo značiti razliku između nesmetanog protoka prometa i sudar iz četiri smjera na raskrižju ulica. 5G će nam omogućiti daljinski nadzor više uređaja u aplikacijama gdje su mrežne performanse u stvarnom vremenu ključne, poput daljinskog upravljanja teškim strojevima u opasnim okruženjima, čime se poboljšava sigurnost radnika, pa čak i daljinska operacija. Kako bi saznao više o mogućnostima koje će stvoriti 5G, Ericsson je napravio detaljno istraživanje sa više od 650 donositelja odluka iz osam ključnih industrija. To je donijelo neke zanimljive uvide. Na primjer, značajna većina ispitanih zdravstvenih rukovoditelja (73%) očekuje da će im mobilne mreže sljedeće generacije (5G) omogućiti primjenu novih usluga i proizvoda koji će poboljšati kvalitetu života opće javnosti. 5G obećava da će medicinsku njegu na daljinu pretvoriti u stvarnost – i da će biti agent promjena u budućnosti industrije.

Dvije tvrtke, Imaginalis i El.En, surađuju sa Ericssonom na korištenju stručnosti i tehnologija kako bi operacija bila preciznija, jeftinija i smanjila nuspojave za pacijente. Jedna od prvih planiranih aktivnosti je pomoć Imaginalisu u unaprijeđivanju daljinske dijagnoze poboljšanjem mobilne povezive veze i kompresije podataka za prijenos slika i izvođenje daljinske analize. Uz 5G bežičnu vezu, čitav tijek rada mogao bi postati jednostavan i intuitivan, što omogućava izvođenje unaprijed planirane operacije od strane stručnog kirurga u Cambridgeu ili Bostonu, kada su sustav i pacijent negdje drugdje. Za zemlju poput Indije ona može pružiti neusporedive isplative i bolje daljinske zdravstvene usluge.

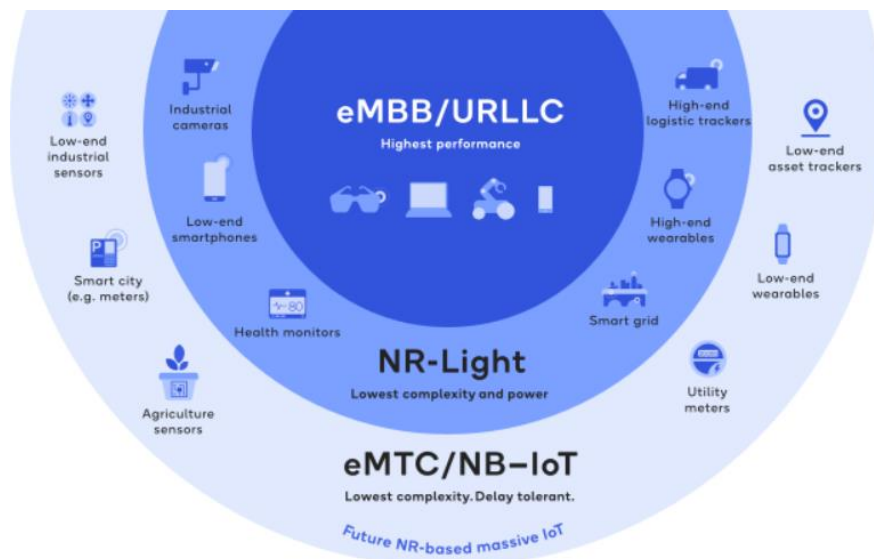
S povezivanjem u središtu industrijske transformacije, 5G će imati ključnu ulogu – ne samo u evoluciji komunikacije, već i evoluciji poduzeća i društva u cjelini. Na putu

prema 5G, operateri će morati učiniti više od pukog razvoja mreža; morat će transformirati svoje poslovanje kako bi otvorili nove mogućnosti. Operateri su se istakli u povezivanju telefona, tableta i drugih uređaja, ali profitabilno povezivanje i upravljanje sve većim brojem automobila, brojila, senzora strojeva i potrošačke elektronike zahtjevat će inovativne poslovne modele. Danas velika većina operatorovih IoT prihoda dolazi od povezivanja, ali u sljedećih 5 godina prihod će dolaziti i od platformi, aplikacija i usluga. Operateri sposobni za stvaranje i upravljanje ekosustavom uslužnih partnera, pročišćavanjem podataka sa njihovih IoT platformi i pretvaranjem skupnih podataka u pametne podatke moći će stvoriti dodatnih prihod na temelju vrijednosti podataka, a ne samo na njihovoj količini.

Telia Co. AB i Telenor Connexion AB primjeri su operatera koji IoT-u već dodaju vrijednost osim povezivanja pružanjem inteligentnih platformi, olakšavanjem suradnje ekosustava, pa čak i postajanjem transformacijskim partnerom drugim industrijama. Ericsson već surađuje s više od 27 vodećih mobilnih operatera u svijetu na 5G umrežavanju i slučajevima korištenja (engl. use cases), uključujući i terenska ispitivanja 5G mreže.

IoT pruža operaterima i industrijama polodno tlo za inovacije i nove načine angažiranja krajnjih kupaca. Ključni čimbenici uspjeha bit će sposobnost pokretanja novih usluga s kratkim vremenom izlaska na tržište od ideje do komercijalne ponude u kombinaciji s pravim poslovnim modelima i pristup bogatom nizu komplementarnih ponuda partnera iz ekosustava.¹⁵

¹⁵ Collela, P. (2017.) *5G and IoT: Ushering in a new era* [online], Ericsson. Dostupno na: <https://www.ericsson.com/en/about-us/company-facts/ericsson-worldwide/india/authored-articles/5g-and-iot-ushering-in-a-new-era> [28. svibnja 2021.]



Slika 20 Budući NR-bazirani (engl. NR-based) masivni IoT (izvor: https://www.qualcomm.com/sites/ember/files/styles/optimize/public/blog/managed-images/image-5_sized_6.jpg?itok=5zUzim3i)

Na slici 20. vidimo kako će se, i u kojim područjima korelacija između 5G mreže i IoT-a najviše koristiti. Najveće performanse i korisnost imat će u robotici te mobilnim i računalnim tehnologijama, dok se taj utjecaj smanjuje kako idemo prema npr. pametnim gradovima i poljoprivrednim sensorima koji se koriste za bolju kontrolu i praćenje biljnih vrsta.

Kako i u medicini, korelacijom između IoT-a i 5G tehnologije radi se na tome da se učenicima i studentima olakša obrazovanje. IoT se tako može koristiti kako bi se personaliziralo iskustvo učenja za učenike prilagođavajući im lekcije studentskom ritmu i stilu učenja svakog pojedinca te prikupljajući tako više podataka o čimbenicima koji povećavaju njihovu izvedbu sa svakom lekcijom. Jedna od takvih aplikacija je rezultat IBM-ovog partnerstva s izdavačem udžbenika Pearson u SAD-u za stvaranje softvera koji studentima omogućava postavljanje pitanja, pruža korisne povratne informacije studentima i omogućuje redovnu povratnu informaciju nastavnicima o radu njihovih studenata te njihovom napretku. Problem koji nastaje iz ovoga je taj da takve, ali i druge slične aplikacije, zahtijevaju veze širokopojasne širine koje često nisu dostupne ili su konzistentne u nekim četvrtima s nižim prihodima diljem SAD-a. Neka od IoT-ovih obrazovnih rješenja mogu potencijalno pridonijeti živahnijim i robusnijim školskim okruženjima za učenje, što uključuje nešto od sljedećeg:

- Interaktivne ploče u učionama,
- E-knjige,

- Tablete i mobiln uređaje,
- 3D pisaae,
- Studentske iskaznice i
- Sustave za praćenje učenika.

IoT tehnologija također može proširiti mogućnosti za ono što i gdje studenti uče. Koristeći IoT, učenici mogu surađivati jedni s drugima te učiteljima u stvarnom vremenu bez obzira na udaljenost između njih. Na primjer, koristeći slušalice s virtualnom stvarnošću, učenici na udaljenim mjestima mogu se premjestiti u učionicu sa svojim vršnjacima ili „prevesti“ učitelje i studente bilo gdje u svijetu (ili svemiru) do kojeg ih kurikulum vodi, od unutar ljudskog tijela do dalekih krajeva Sunčeva sustava. Za sve učenike u digitalno povezanim školama ove tehnologije mogu značajno utjecati na obrazovne ishode. Uz ove mogućnosti u učionicama, neke škole uključuju i IoT aplikacije za:

- Umetnute RFID čipove u osobne iskaznice kako bi nastavno osoblje moglo pratiti prisutnost učenika, omogućujući tako praćenje kašnjenja i izostanke kao i evidentiranje prisutnosti učenika / studenata u kampusu
- Primjena GPS sustava za autobuse gdje se rute mogu pratiti kako bi i roditelji i administratori u bilo kojem trenutku mogli znati gdje se nalazi određeni bus u određeno vrijeme. Studenti također mogu biti obaviješteni kada je autobus u blizini mjesta njihova preuzimanja kako bi se izbjega duga čekanja i kašnjenja autobusa

Iako ove aplikacije mogu raditi i preko današnjih 4G LTE mreža, predviđa se pristupačnost, skalabilnost i dostupnost 5G mreže kako bi takvi alati postali još učinkovitiji i precizniji.

Uz do sad navedene funkcionalnosti, što u medicini što u školstvu, 5G mreža će također moći podržavati šire usvajanje čiste energije omogućavanjem pametnih mreža (engl. grids) koje integriraju vjetar, solarnu energiju te druge obnovljive izvore u već postojeće mreže. Budući da su energija vjetra i sunca decentraliziranija i ovisna o vremenskim prilikama, električim će mrežama trebati brza i pouzdana komunikacija putem 5G mreža za dinamičko prebacivanje izvora energije na temelju dostupnosti. Pametne mreže mogu proširiti pristup obnovljivim izvorima energije svim kupcima

električne energije bez povećanja cijena povezanih s kupcima iz mreže, što nesrazmjerno utječe na siromašnije zajednice s manjim prihodima.¹⁶

Ono zbog čega je 5G već, može se tako reći, predodređen za IoT je to što doseže nove dimenzije u svim svojim aspektima. Protok podataka u novoj mreži trebao bi doseći do 20 gigabita u sekundi i omogućiti kraće vrijeme odziva. Za pikantnu usporedbu, prvi mobitel s 1G mrežnom povezanošću osam je milijuna puta manja od mrežne povezanosti 5G mreže. S 5G će također biti moguće prenositi podatke u stvarnom vremenu. To znači da bi istovremeno bilo dostupno 100 milijardi uređaja širom svijeta. Drugim riječima, gustoća veze od približno milijun uređaja po kvadratnom kilometru. Istodobno, nova tehnologija donosi povećanje relativne brzine kretanja. To znači da će kvaliteta veze biti puno stabilnija do brzine od 500 kilometara na sat, što će donijeti ogromne koristi, posebno za putnike u željezničkom prometu. Bez obzira na pametne telefone, povećana količina podataka neizbježna je u drugim područjima primjene. Brojke ne zvuče samo ogromno, one su ogromne. Iz ovih, a i mnogih drugih, razloga 5G IoT će postati nova ključna tehnologija povezivanja.¹⁷

¹⁶ Turner Lee, N. (2019.) *Enabling opportunities: 5G, the Internet of Things, and communities of color* [online], Brookings. Dostupno na: <https://www.brookings.edu/research/enabling-opportunities-5g-the-internet-of-things-and-communities-of-color/> [31. svibnja 2021.]

¹⁷ EMnify (2020.) *What is 5G IoT and how will it change connectivity?* [online]. Dostupno na: <https://www.emnify.com/en/resources/what-is-5g-iot-and-how-will-it-change-connectivity> [5. lipnja 2021.]

Zaključak

Peta generacije telekomunikacijskih sustava, tzv. 5G, relativno je nova tehnologija u svijetu koja se ističe u raznim aspektima. Brzina, smanjenje kašnjenja, protok mreže. 5G, u usporedbi sa prethodnom generacijom 4G LTE, je u svakom pogledu bolja mreža, što je i očekivano. Iako je 5G u nekim državama još u fazama testiranja, ova generacija telekomunikacijskih sustava polako sve više utječe na povezivanje svijeta. Tako se već koristi kao temelj za postavljanje IoT-a (Internet of Things) te omogućiti lakšu implementaciju nekih njegovih značajki. 5G tako prednjači u raznim aspektima, poput npr. mobilnim sučeljima. Sve što sada radimo na 4G mobilnim uređajima (s obzirom da je još uvijek velika većina uređaja na 4G mreži), za nekoliko godina, ako ne i ranije, ćemo to isto raditi nekoliko puta brže upravo zahvaljujući 5G mreži. S druge strane, gledanje videa (što po podacima AT&T operatera čini polovicu mobilnog prometa svakog korisnika) će biti uvelike olakšano, a sve zbog brzine koju 5G nudi i koja će izgledno biti i veća u budućnosti. Jedna od mogućnosti koja me osobno najviše veseli jest povezivanje automobila, autobusa, kamiona i ostalih prijevoznih sredstava u, mogu to tako reći, jednu cijelinu. Kako stvari trenutno stoje, sve smo bliže autonomnim automobilima koji rade na principima senzora. Povezivanjem takvih automobila pomoću 5G tehnologije uvelike će smanjiti rizične situacije, a tako i moguće nesreće, na prometnicama. Tako su već u Njemačkoj, na poznatom njemačkom Autobahnu, već testirani takvi „pametni“ automobili, što pokazuje koliko je neizbježno njihovo uvođenje na tržište. No, najbitnije od svega je unaprjeđenje sigurnosti i zdravlja. Jedan od primjera, koji se testira, jest da se koriste dronovi koji prenose npr. komplet prve pomoći ili defibrilator te oni rade sa mobilnim mrežama (konkretno 5G mrežom) kako bi se ubrzale hitne reakcije u slučaju da netko treba hitnu pomoć. Isto tako, kola hitne pomoći moći će u puno kraćem vremenu doći na mjesto nesreće tako što „komuniciraju“ sa ostalim pametnim automobilima o tome gdje je i ima li gužve na nekoj prometnici.

5G će dovesti do jedne od najvećih tehnoloških transformacija u našem životu, s neograničenim mogućnostima. Ne samo da će transformirati živote, već će im pomoći i spasiti ih optimiziranim hitnim službama i smanjenjem prometnih nesreća. U rasponu od povezanih automobila do povezanih krava, ovaj novi industrijski standard promijenit će sve.

POPIS IZVORA

1. CENGN [online], *Timeline from 1G to 5G: A brief history on cell phones*, CENGN. Dostupno na: <https://www.cengn.ca/timeline-from-1g-to-5g-a-brief-history-on-cell-phones/> [02. travnja 2021.]
2. Fox, M. (2018.) *5G Network* [online]. Dostupno na: <https://www.scribd.com/document/405226687/5G> [31. svibnja 2021.]
3. 5G PPP Architecture Working Group (2016.) *View on 5G Architecture. Version 1.0*. Dostupno na: <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5G-PPP-5G-Architecture-WP-July-2016.pdf> [07. travnja 2012.]
4. EMF Explained (2019.-2020.) *5G Explained – How 5G Works* [online], EMF Explained. Dostupno na: <http://www.emfexplained.info/?ID=25916> [08. travnja 2021.]
5. Peterson, L. i Sunay, O. (2019.-2020.) *5G Mobile Networks: A System Approach* [online]. Dostupno na: <https://5g.systemsapproach.org/index.html> [08. travnja 2021.]
6. Wikipedia (2021.) *5G Network Slicing* [online], Wikipedia. Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/5G_network_slicing [08. travnja 2021.]
7. EMF Explained (2019.-2020.) *5G Explained – How 5G Works* [online], EMF Explained. Dostupno na: <http://www.emfexplained.info/?ID=25916> [08. travnja 2021.]
8. HAKOM (2020.) *Elektroničke komunikacije* [online], HAKOM. Dostupno na: <https://www.hakom.hr/hr/tehnologija-386/386> [19. svibnja 2021.]
9. Fogg, I. (2021.) *Benchmarking the global 5G experience* [online], Opensignal. Dostupno na: <https://www.opensignal.com/2021/02/03/benchmarking-the-global-5g-experience> [19. svibnja 2021.]
10. HAKOM (2020.) *5G mreža u Hrvatskoj* [online], HAKOM. Dostupno na: <https://www.hakom.hr/hr/5g-mreza-u-hrvatskoj/392> [24. svibnja 2021.]
11. Hrvatski Telekom (2021.) *5G* [online], Hrvatski Telekom. Dostupno na: <https://www.hrvatskitelekom.hr/5g> [24. svibnja 2021.]
12. A1 Hrvatska (2021.) *5Genijalnih primjera* [online], A1 Hrvatska. Dostupno na: <https://www.a1.hr/5g#5genijalnih-primjera> [24. svibnja 2021.]

13. BBC (2020.) *5G and coronavirus: Debunking the fake news stories* [online], BBC. Dostupno na: <https://www.bbc.co.uk/bitesize/articles/zbw492p> [28. svibnja 2021.]
14. World Health Organization (2021.) *Coronavirus disease (COVID-19) advice for the public: Mythbusters* [online], World Health Organization. Dostupno na: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/myth-busters#5g> [28. svibnja 2021.]
15. Collela, P. (2017.) *5G and IoT: Ushering in a new era* [online], Ericsson. Dostupno na: <https://www.ericsson.com/en/about-us/company-facts/ericsson-worldwide/india/authored-articles/5g-and-iot-ushering-in-a-new-era> [28. svibnja 2021.]
16. Turner Lee, N. (2019.) *Enabling opportunities: 5G, the Internet of Things, and communities of color* [online], Brookings. Dostupno na: <https://www.brookings.edu/research/enabling-opportunities-5g-the-internet-of-things-and-communities-of-color/> [31. svibnja 2021.]
17. EMnify (2020.) *What is 5G IoT and how will it change connectivity?* [online]. Dostupno na: <https://www.emnify.com/en/resources/what-is-5g-iot-and-how-will-it-change-connectivity> [5. lipnja 2021.]

POPIS SLIKA

Slika 1 Motorola DynaTAC bio je težak blizu 1kg, omogućavao je oko 30 minuta razgovora te je trebalo 10 sati da se napuni (izvor: https://www.cengn.ca/wp-content/uploads/2020/09/DynaTAC-1G.png).....	2
Slika 2 Arhitekturni pogledi 5G mreže (izvor: https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5G-PPP-5G-Architecture-WP-July-2016.pdf)	7
Slika 3 Stanične mreže sastoje se od mreže za radio pristup (engl. radio access network – RAN) i mobilne jezgre (engl. mobile core) (izvor: https://5g.systemsapproach.org/_images/Slide01.png)	15
Slika 4 Mobilna jezgra podijeljena na plan upravljanja i plan korisnika (engl. Control plane, User Plane), arhitektonska značajka poznata kao CUPS: razdvajanje upravljačkog i korisničkog plana (engl. Control and User Plane Separation) (izvor: https://5g.systemsapproach.org/_images/Slide02.png)	17
Slika 5 Bazna stanica detektira (i spaja se) na aktivan UE (izvor: https://5g.systemsapproach.org/_images/Slide03.png)	18
Slika 6 Bazna stanica uspostavlja povezanost upravljačkog plana između svakog UE i mobilne jezgre (izvor: https://5g.systemsapproach.org/_images/Slide04.png)	19
Slika 7 Bazna stanica uspostavlja jedan ili više tunela između svakog UE-a i korisničkog plana mobilne jezgre (izvor: https://5g.systemsapproach.org/_images/Slide05.png)	19
Slika 8 Bazna stanica prema mobilnoj jezgri kontrolnog plana tunelirana preko SCTP / IP i korisnički plan tuneliran preko GTP / UDP / IP (izvor: https://5g.systemsapproach.org/_images/Slide06.png)	20
Slika 9 Bazne stanice surađuju na provedbi predaje UE (izvor: https://5g.systemsapproach.org/_images/Slide07.png)	20
Slika 10 Bazne stanice surađuju na provedbi višestrukog prijenosa (agregacija veza) na UE (izvor: https://5g.systemsapproach.org/_images/Slide08.png)	21
Slika 11 5G mrežna arhitektura (izvor: http://www.emfexplained.info/site/misc/image/Fullsize/11284.jpg)	22
Slika 12 Top 10 brzina preuzimanja i učitavanja (engl. download, upload) u svijetu (izvor: https://www.opensignal.com/sites/opensignal-com/files/images/202101_5gcountries_slide1a.jpeg)	26

Slika 13 Top 10 država sa najboljim iskustvom korištenja 5G mreže u određene svrhe (izvor: https://www.opensignal.com/sites/opensignal-com/files/images/202101_5gcountries_slide2a.jpeg)	27
Slika 14 Top 10 država sa najboljim poboljšanjima u raznim područjima (izvor: https://www.opensignal.com/sites/opensignal-com/files/images/202101_5gcountries_slide3a.jpeg)	28
Slika 15 Top 10 država sa najboljim poboljšanjem dostupnosti i dosega 5G mreže (izvor: https://www.opensignal.com/sites/opensignal-com/files/images/202101_5gcountries_slide4a.jpeg)	29
Slika 16 Pokrivenost 5G mrežom u Hrvatskoj od strane Hrvatskog telekoma (izvor: https://www.hrvatskitelekom.hr/5g)	31
Slika 17 Pokrivenost 5G mrežom u Hrvatskoj od strane A1 Hrvatska (izvor: https://www.nperf.com/hr/map/HR/-/161490.A1-Mobile/signal/?ll=45.5101964275078&lg=17.227661367505792&zoom=9)	32
Slika 18 Razina zračenja 5G mreže u usporedbi sa ostalim vrstama zračenja (izvor: https://ichef.bbci.co.uk/images/ic/832xn/p089s8z7.jpg)	33
Slika 19 Slikovni dokaz da 5G NE PRENOSI koronavirus (izvor: https://www.who.int/images/default-source/health-topics/coronavirus/myth-busters/web-mythbusters/eng-mythbusting-ncov-(15).png?sfvrsn=a8b9e94_4)	35
Slika 20 Budući NR-bazirani (engl. NR-based) masivni IoT (izvor: https://www.qualcomm.com/sites/ember/files/styles/optimize/public/blog/managed-images/image-5_sized_6.jpg?itok=5zUzim3i)	38

POPIS TABLICA

Tablica 1 Usporedba radio frekvencija 2G/3G/4G sa 5G mrežom (izvor: https://www.hakom.hr/hr/tehnologija-386/386)	24
--	----

SAŽETAK

Mobiteli u današnje vrijeme obilježavaju naše živote. Bez njih život bi bio potpuno drugačiji te potreba za mrežnom povezanosti je sve veća. Sa sve većom potrebom za mobilnim uređajima, dolazi i sve veća potreba za njihovom boljom povezanošću. Tako dolazi i do unaprjeđenja mobilnih mreža koje nam omogućuju komunikaciju sa drugim korisnicima. Najnovija, peta generacija, telekomunikacijskih sustava, tzv. 5G, nudi razne mogućnosti te je kao takva poboljšala komunikaciju, pretraživanje Interneta kao i razmjenu raznih sadržaja putem naših mobilnih uređaja. Tema mog diplomskog rada bazira se na ovoj, petoj, generaciji mobilne mreže. No, kako je ova tehnologija u svojoj uzlaznoj putanji, pred njom su i razni izazovi pa se radi na tome da se uz pomoć raznih drugih tehnologija (konkretno IoT – Internet of Things) uz koje 5G ide ruku pod ruku.

Ključne riječi: 5G, telekomunikacijski sustavi, mobilna mreža

SUMMARY

Cell phones are marking our lives these days. Without them, life would be completely different and the need for network connectivity is growing. With the growing need for mobile devices, comes the growing need for better connectivity. Thus, there is an improvement in mobile networks that allow us to communicate with other users. The latest, fifth generation, telecommunications systems, the so-called. 5G, offers various possibilities and as such has improved communication, Internet browsing as well as the exchange of various content via our mobile devices. The topic of my dissertation is based on this, the fifth, generation of the mobile network. However, as this technology is on its upward trajectory, it also faces various challenges, so we are working on the help of various other technologies (specifically IoT - Internet of Things) with which 5G goes hand in hand.

Keywords: 5G, telecommunication systems, mobile network