INSTITUT
za razvoj i istraživanja
u oblasti zaštite na radu
Podgorica

Broj: 03-355
Datum: 24.03.2021.

24.03.20
0102- 3844/30 - 2020

Studija o strategiji uvođenja 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori

Podgorica, mart 2021. god.

INSTITUT ZA RAZVOJ I ISTRAŽIVANJA U OBLASTI ZAŠTITE NA RADU

Studija o strategiji uvođenja 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori

Investitor: Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost

Ugovor broj: 01-1113 od 08.10.2020. god.

Projektni tim:

1. **Prof. dr Milica Pejanović-Đurišić, rukovodilac tima**
2. **Prof. dr Zoran Veljović, član**
3. **Prof. dr Enis Kočan, član**
4. **Ass. prof. Sławomir Kukliński, PhD, član**
5. **dr Uglješa Urošević, član**

DIREKTOR,

mr Branimir Ćulafić

Projektni zadatak

Projektni zadatak za izradu Studije o strategiji uvođenja 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori, definisan je Pozivom za javnu nabavku broj 0102-63844/6 od 03.07.2020. god. na stranama 8-12.

Studija o strategiji uvođenja 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori treba da u posebnim poglavljima obradi sljedeća pitanja:

1. **Stepen tehnološkog razvoja i dostupnosti mobilnih komunikacionih mreža i usluga u Crnoj Gori i perspektiva daljeg razvoja**

Opis: *U ovom poglavlju je potrebno dati analizu stepena tehnološkog razvoja postojećih mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori u odnosu na komercijalno raspoloživa rješenja na globalnom nivou, analizu stepena dostupnosti mobilnih komunikacionih usluga po kategorijama (voice, data i M2M/IoT), kao i procjenu perspektive daljeg razvoja u smislu unaprjeđenja performansi mreža i dostupnosti pojedinih kategorija usluga u narednih pet godina. Ovo poglavlje treba da pruži odgovor na pitanja: Gdje se trenutno nalazi crnogorsko tržište u pogledu tehnološkog razvoja javnih mobilnih elektronskih komunikcionih mreža i usluga? Koje su granice postojećih tehnologija (bez 5G mreža)?*

2. Opis 5G mobilnih komunikacionih sistema

Opis: *Ovo poglavlje treba da sadrži konceptualni opis 5G mobilnih komunikacionih sistema i najznačajnijih funkcionalnosti koje će biti omogućene, zatim opis opšte arhitekture 5G mobilnih komunikacionih sistema i svih njenih elemenata, detaljan opis 5G radio pristupnog dijela mreže i 5G jezgra mreže, kao i opis sistema mrežne sigurnosti. Ovo poglavlje treba da pruži odgovor na pitanja: Šta 5G omogućava i zašto je potrebna? Koje tehnološke inovacije donosi 5G u odnosu na ranije generacije mobilnih komunikacionih mreža?*

3. **Osnovne kategorije 5G usluga, područja primjene i scenariji korišćenja 5G mobilnih komunikacionih mreža**

Opis: *U ovom poglavlju potrebno je dati opis osnovnih kategorija 5G usluga (eMBB, mMTC i UR-LLC) i pregled potencijalnih područja primjene 5G mreža u raznim vertikalnim sektorima, te opisati neke od potencijalnih scenarija korišćenja (use case) 5G mobilnih mreža od strane individualnih korisnika i od strane vertikalnih sektora. Ovo poglavlje treba da pruži odgovor na pitanje: U koje svrhe se mogu koristiti 5G mreže i koje mogućnosti one pružaju?*

4. Iskustva drugih zemalja u implementaciji 5G mobilnih komunikacionih mreža

Opis: *Ovo poglavlje treba da sadrži pregled statusa aktivnosti na uvođenju 5G mobilnih komunikacionih mreža u zemljama regiona i Evropske unije, kao i pregled iskustava u uvođenju 5G mobilnih mreža u zemljama članicama Evropske unije u kojima su 5G mreže komercijalno dostupne, uključujući i ključne elemente primijenjene strategije. Ovo poglavlje treba da pruži odgovor na pitanja: Da li postoji jedinstveni pristup uvođenju 5G mobilnih mreža i koja iskustva drugih zemalja Crna Gora može primijeniti? Koje smjernice, preporuke i norme implementirane u zemljama Evropske unije treba uzeti u obzir i primijeniti prilikom implementacije 5G mobilnih mreža u Crnoj Gori?*

5. Potencijalna područja primjene i mogući scenariji korišćenja 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori

Opis: *Predmet ovog poglavlja treba da bude analiza potencijalnih područja primjene 5G mreža u vertikalnim sektorima u Crnoj Gori, sa posebnim osvrtom na turizam, poljoprivredu, energetiku, zaštitu životne sredine i javnu administraciju na državnom i lokalnom nivou, sa odgovarajućim scenarijima korišćenja. Ovo poglavlje treba da pruži odgovor na pitanja: Na koji način odgovarajući vertikalni sektori u Crnoj Gori mogu ostvariti benefite od korišćenja 5G mreže? Koje strukturne razvojne potencijale u vertikalnim sektorima u Crnoj Gori nije moguće realizovati, ili ih je izuzetno teško ostvariti, bez razvoja 5G mreža?*

6. Potencijalni benefiti i rizici za građane i privredu

Opis: *U ovom poglavlju potrebno je sagledati potencijalne benefite za građane kao korisnike javnih mobilnih komunikacionih usluga, građane kao korisnike drugih javnih usluga, privredu i društvo u cjelini od uvođenja 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori. Takođe, potrebno je sagledati i potencijalne rizike, sa posebnim osvrtom na pitanje uticaja elektromagnetnog zračenja 5G radio baznih i terminalnih stanica na zdravlje ljudi i životnu sredinu. Ovo poglavlje treba da pruži odgovor na pitanja: Šta građanima, privredi i crnogorskom društvu u cjelini mogu donijeti 5G mobilne komunikacione mreže? Da li 5G mobilne mreže mogu unaprijediti kvalitet života građana i doprinijeti izgradnji digitalne ekonomije i digitalnog društva u Crnoj Gori? Na koje potencijalne rizike u implementaciji 5G mreža treba obratiti pažnju? Da li 5G mobilne mreže, u poređenju sa mobilnim mrežama prethodnih generacija, mogu dovesti do povećanja rizika od eventualnih štetnih posljedica po zdravlje ljudi i životnu sredinu i u kojim scenarijima implementacije i korišćenja?*

7. Bezbjednost komunikacija, integritet 5G mreža, zaštita privatnosti i podataka

Opis: *U ovom poglavlju potrebno je sagledati uticaje koje uvođenje 5G mreža u Crnoj Gori može imati na bezbjednost i integritet EK mreža i komunikacija, zaštitu privatnosti korisnika usluga i zaštitu podataka. Sistemska procjena rizika, koja obuhvata tehničke i netehničke aspekte informacione bezbjednosti, je od suštinskog značaja za stvaranje i održavanje infrastrukture koja je otporna na ove vrste izazova. Akcenat staviti na usaglašenost sa standardima i najboljim praksama u industriji koji garantuju visok stepen informacione bezbjednosti i promovišu principe zaštite podataka da bi se osigurala privatnost komunikacija građana, privrednih subjekata i ograna javne uprave koji koriste 5G mrežnu opremu i usluge. Ovo poglavlje treba da pruži odgovor na pitanja: Koje nove rizike u oblasti bezbjednosti i povjerljivosti komunikacija donose 5G mreže u odnosu na do sada korišćene tehnologije? Koje smjernice, preporuke i norme u oblasti informacione bezbjednosti 5G mreža, a koje su implementirane u zemljama Evropske unije i drugim zemljama, treba uzeti u obzir i primijeniti u Crnoj Gori? Koji su osnovni principi koje trebaju zadovoljiti infrastruktura i elementi budućih 5G mreža kako bi se bezbjedonosni rizici po ljude, privredu, procese, kritičnu infrastrukturu i zaštitu podataka sveli na minimum? Koje su uloge pojedinih subjekata u ovom procesu?*

8. Potencijalni izazovi, ograničenja i barijere

Opis: U ovom poglavlju potrebno je na bazi analize odgovora na upitnike i drugih sprovedenih analiza identifikovati potencijalne izazove, ograničenja i barijere za uvođenje i održivi razvoj 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori, a koji će naročito obuhvatiti sljedeće aspekte: regulatorni okvir u oblasti elektronskih komunikacija, zahtjevi u pogledu spektra, upotreba numeracije i adresa, pristup postojećoj i izgradnja nove infrastrukture, spremnost operatora na ulaganje, struktura i odziv vertikalnih sektora, otpor javnosti zbog eventualnih rizika. Ovo poglavlje treba da pruži odgovor na pitanje: Koja regulatorna, spektralna, finansijska i strukturalna ograničenja i barijere mogu odložiti uvođenje i/ili usporiti razvoj 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori?

9. Smjernice za otklanjanje ograničenja i barijera

Opis: Predmet ovog poglavlja treba da bude predlog smjernica za otklanjanje ograničenja i barijera za uvođenje i održivi razvoj 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori identifikovanih u prethodnom poglavlju. Ovo poglavlje treba da pruži odgovor na pitanje: Koje konkretne aktivnosti treba sprovesti kako bi se omogućilo efikasno uvođenje i održivi razvoj 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori?

10. Mapa puta za uvođenje 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori

Opis: U ovom poglavlju potrebno je dati redosljed koraka (između ostalog i kompletiranje regulatornog i tehničkog okvira, otklanjanje drugih regulatornih barijera, realizacija pilot projek(a)ta, dodjela radio-frekvencija, podizanje svijesti o benefitima i rizicima), njihov opis i vremenski okvir za realizaciju, koje je potrebno sprovesti kako bi se omogućilo uvođenje 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori do kraja 2022. godine. Ovo poglavlje treba da definiše sveobuhvatnu mapu puta za uvođenje 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori u planiranom roku.

11. Komunikaciona strategija prema javnosti

Opis: Ovo poglavlje treba da definiše komunikacionu strategiju (između ostalog i informativna saopštenja, distribucija informativnog materijala, organizacija okruglih stolova i panel diskusija) prema javnosti u cilju potpune i objektivne informisanosti građana i privrede o svim aspektima uvođenja 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori.

Osim navedenih poglavlja Studija treba da sadrži i sažetak glavnih zaključaka po svim pitanjima na ne više od pet strana.

SADRŽAJ

UVOD 1

1. STEPEN TEHNOLOŠKOG RAZVOJA I DOSTUPNOSTI MOBILNIH KOMUNIKACIONIH MREŽA I USLUGA U CRNOJ GORI I PERSPEKTIVA DALJEG RAZVOJA 5
   - 1.1. Stepen tehnološkog razvoja mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori 5
   - 1.2. Stepen dostupnosti mobilnih komunikacionih mreža i usluga u Crnoj Gori 10
   - 1.3. Stepen tehnološkog razvoja i dostupnosti širokopojasnih komunikacionih mreža i usluga 14
   - 1.4. Pravci daljeg razvoja mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori 18
2. OPIS 5G MOBILNIH KOMUNIKACIONIH SISTEMA 21
   - 2.1. Kratak pregled razvoja celularnih radio standarda 22
   - 2.2. Standardizacija 5G celularnih radio sistema 26
   - 2.3. 5G funkcionalnosti 31
   - 2.4. Arhitektura 5G mreže 33
   - 2.5. Jezgro 5G mreže 61
   - 2.6. 5G radio pristupna mreža 70
     - 2.6.1. OFDM u 5G mreži 77
     - 2.6.2. Neortogonalni višestruki pristup u 5G mreži 78
     - 2.6.3. Milimetarski talasi 80
     - 2.6.4. Koncept malih ćelija 81
     - 2.6.5. Masivni MIMO 82
     - 2.6.6. Komunikacija između uređaja (D2D) 83
     - 2.6.7. Novi radio interfejs (NR) 84
3. OSNOVNE KATEGORIJE 5G USLUGA, PODRUČJA PRIMJENE I SCENARIJI KORIŠĆENJA 5G MOBILNIH KOMUNIKACIONIH MREŽA 89
   - 3.1. Osnovne kategorije 5G servisa prema ITU-R-u 92
     - 3.1.1. eMBB 94
     - 3.1.2. URLLC 97
     - 3.1.3. mMTC 98
   - 3.2. Indikatori performansi i servisni zahtjevi 5G mreža 101
   - 3.3. Faze u razvoju 5G servisa 110
   - 3.4. Primjena 5G mreža u vertikalnim sektorima i koncept Industrije 4.0 113
     - 3.4.1. Proizvodna industrija 115
     - 3.4.2. Građevinska industrija 116
     - 3.4.3. Transport 116
     - 3.4.4. Zdravstvo 117
     - 3.4.5. Pametni gradovi i zajednice 117
     - 3.4.6. Obrazovanje 118

3.4.7. Turizam 118
3.4.8. Poljoprivreda 119
3.4.9. Finansije 119
3.5. Doprinos 5G tehnologije održivoj (zelenoj) industriji 121
3.6. Scenariji primjene 5G mreža 124
3.6.1. *Indoor hotspot* 125
3.6.2. Gusti urbani scenario 125
3.6.3. Ruralni scenario 126
3.6.4. Makro urbani scenario 127
3.6.5. Scenario velike brzine 127
3.6.6. Scenario ekstremno velikog dometa pokrivanja u slabo naseljenim područijima 129
3.6.7. Scenario urbanog pokrivanja za masivne konekcije 130
3.6.8. Scenario autoputa 130
3.6.9. Scenario urbane mreže za povezani automobil 131
3.6.10. Scenario komercijalnog povezivanja vazduh-zemlja 133
3.6.11. Scenario lakih letjelica 134
3.6.12. Scenario satelitske ekstenzije zemaljskih veza 134
3.6.13. Druge klasifikacije 5G scenarija primjene 135
3.7. 3GPP primjeri servisnih zahtjeva za pojedine scenarije i vertikalne industrije 139
3.8. Trenutno stanje i perspektiva implementacije 5G mreža i Servisa 148
4. ISKUSTVA DRUGIH ZEMALJA U IMPLEMENTACIJI 5G MOBILNIH KOMUNIKACIONIH MREŽA 154
4.1. Strateški okvir za implementaciju 5G mobilnih mreža u Evropskoj uniji 154
4.1.1. Zajednički EU vremenski okvir za uvođenje 5G mobilnih mreža 155
4.1.2. Obezbjeđenje radio-frekvencijskog spektra za 5G mobilne mreže 156
4.1.2.1. Frekvencijski opsezi za početnu implementaciju 5G mreža 156
4.1.2.2. Dodatni frekvencijski opsezi 157
4.1.3. Razvoj fiksnih i bežičnih mreža sa veoma gustom mrežom pristupnih tačaka 157
4.1.4. Razvoj globalnih industrijskih standarda 158
4.1.5. 5G inovacije kao podrška privrednom rastu 160
4.1.5.1. Podsticanje digitalnih ekosistema zasnovanih na 5G povezivanju kroz eksperimente 160
4.1.5.2. Promocija rješenja zasnovanih na 5G povezivanju kroz javni sektor 161
4.1.5.3. Finansijski podsticaji inovacijama na bazi 5G 161
4.1.6. Sprovedene aktivnosti 162

4.2. Status aktivnosti na implementaciji 5G mobilnih mreža u državama članicama Evropske unije 163
4.3. Iskustva u implementaciji 5G mobilnih mreža u državama članicama Evropske unije 176
4.4. Status aktivnosti na implementaciji 5G mobilnih mreža u državama Zapadnog Balkana 189
4.4.1. Status aktivnosti u pojedinim državama 189
4.4.2. Memorandum o razumijevanju o 5G planu za digitalnu transformaciju regiona Zapadnog Balkana 196
4.5. Ključni elementi primijenjenih strategija i mogućnost primjene na implementaciju 5G mobilnih mreža u Crnoj Gori 197
5. POTENCIJALNA PODRUČJA PRIMJENE I MOGUĆI SCENARIJI KORIŠĆENJA 5G MOBILNIH KOMUNIKACIONIH MREŽA U CRNOJ GORI 199
5.1. Analiza odgovora na Upitnik po kategorijama anketiranih subjekata 199
5.1.1. Odgovori mobilnih operatora 199
5.1.2. Odgovori ICT kompanija 202
5.1.3. Odgovori kompanija iz vertikalnih sektora 204
5.1.4. Odgovori institucija iz javnog sektora 206
5.2. Analiza potencijalnih područja primjene osnovnih kategorija 5G servisa u Crnoj Gori 208
5.3. Analiza mogućih scenarija korišćenja 5G mobilnih telekomunikacionih mreža u Crnoj Gori 213
6. POTENCIJALNI BENEFITI I RIZICI ZA GRAĐANE I PRIVREDU 220
6.1. 5G ekosistem 220
6.2. Ekonomski i socijalni benefiti 223
6.3. Izazovi 227
6.4. Uloga Vlade i javne administracije 231
7. BEZBJEDNOST KOMUNIKACIJA, INTEGRITET 5G MREŽA, ZAŠTITA PRIVATNOSTI I PODATAKA 235
7.1. Napomene o bezbjednosti nesamostalnih 5G mreža 237
7.2. Napomene o bezbjednosti samostalnih 5G mreža 238
7.3. Pregled 5GS bezbjednosne arhitekture 239
7.4. Bezbjednost 5GS komponenti 241
7.4.1. Bezbjednost korisničke opreme 241
7.4.2. Bezbjednosni zahtjevi za gNB 242
7.4.3. Bezbjednosni zahtjevi za AMF 243
7.4.4. Bezbjednosni zahtjevi za SEAF 243
7.4.5. Bezbjednosni zahtjevi za UDM 244
7.4.6. Bezbjednosni zahtjevi za AUSF 244
7.4.7. Bezbjednosni zahtjevi za SBA 244
7.5. Hijerarhija 5G ključeva i autentifikacija 245
7.6. 5G bezbjednosni mehanizmi korisničke ravni 247

7.7. Bezbjednost ne-3GPP pristupa 5G jezgru 248
7.8. Bezbjednost EPC-5GC interoperabilnosti 249
7.9. Bezbjednost ne-servisnih 5GS-A interfejsa 249
7.9.1. Interfejsi zasnovani na DIEMETER-u ili GTP-u 250
7.9.2. Interni gNB interfejsi 250
7.9.3. Non-SBA interfejsi u 5G jezgru 251
7.9.4. Ostali interfejsi 251
7.10. Bezbjednosni aspekti servisnih interfejsa 5GS SA 251
7.11. Bezbjednost upravljanja mrežnim segmentima 252
7.12. Ostali bezbjednosni aspekti 253
7.12.1. Bezbjednosni aspekti DNS-a i ICMP-a 253
7.12.2. Mrežna detekcija lažnih baznih stanica uz pomoć UE 253
7.12.3. Bezbjednost i privatnost u 5G servisima lokacije 254
7.13. Širi pogled na 5G bezbjednost 254
8. POTENCIJALNI IZAZOVI, OGRANIČENJA I BARIJERE 257
8.1. Regulatorni okvir u oblasti elektronskih komunikacija 257
8.2. Izazovi u pogledu radio-frekvencijskog spektra 260
8.3. Izazovi u pogledu numeracije i adresa 266
8.4. Pristup postojećoj i izgradnja nove infrastrukture 269
8.4.1. Izgradnja radio baznih stanica na novim lokacijama 270
8.4.2. Implementacija malih ćelija 271
8.4.3. Zajedničko korišćenje telekomunikacione infrastrukture 272
8.5. Ostali izazovi 275
9. SMJERNICE ZA OTKLANJANJE OGRANIČENJA I BARIJERA 279
9.1. Smjernice koje se odnose na regulatorni okvir 279
9.2. Smjernice koje se odnose na radio-frekvencijski spektar 280
9.3. Smjernice koje se odnose na numeraciju i adresiranje 281
9.4. Smjernice koje se odnose na infrastrukturu 281
9.5. Ostale smjernice 282
10. MAPA PUTA ZA UVOĐENJE 5G MOBILNIH KOMUNIKACIONIH MREŽA U CRNOJ GORI 286
11. KOMUNIKACIONA STRATEGIJA PREMA JAVNOSTI 289
11.1. Osnovni elementi zabrinutosti javnosti na koje treba usmjeriti komunikacionu strategiju 290
11.1.1. Izloženost EMF talasima 290
11.1.2. Privatnost i bezbjednost komunikacije 291
11.2. Izgradnja povjerenja 292
11.3. Preporuke 295
SAŽETAK 298
LISTA SKRAĆENICA 303
REFERENCE 312

UVOD

Mobilne komunikacione mreže pete generacije (5G) predstavljaju jedan od najvažnijih segmenata ukupne digitalne transformacije društva zasnovane na konceptu Industrije 4.0. Značaj 5G mreža na ukupan razvoj ekonomije i društva su prepoznale sve razvijene zemlje svijeta, tako da je koordinisano uvođenje 5G mobilnih mreža u mnogim državama postalo dio strategije ukupnog društvenog i privrednog razvoja.

Nove tehnologije kao što su *cloud computing*, vještačka inteligencija (AI) i mašinsko učenje, proširena i virtuelna stvarnost (AR/VR), IoT (*Internet of Things*) i milijarde povezanih uređaja pomjeraju granice i postavljaju nove zahtjeve u pogledu konektivnosti i performansi mobilnih komunikacionih mreža. Od 5G mobilnih mreža se očekuje da omoguće ultra brzu konektivnost sa malim kašnjenjem, ne samo individualnim korisnicima, već i velikom broju povezanih objekata, kao i da kreiraju okruženje za ekspanziju tehnoloških i poslovnih inovacija u vertikalnim industrijskim sektorima (industrijska proizvodnja, energetski sektor, poljoprivreda, trgovina, finansijske usluge, zdravstvo, obrazovanje, javna bezbjednost, turizam, mediji, itd.).

Osnovni inovativni potencijal 5G mreža je u činjenici da cjelokupna infrastruktura djeluje kao kohezivna platforma za inovativne primjene i prilagođena je zahtjevima korisnika za pružanje usluga koje su u skladu sa njihovim specifičnim karakteristikama. Iako infrastruktura može da obuhvati kako diskretne komponente različitih proizvođača opreme, tako i heterogenih bežičnih mreža, ona je dizajnirana na način da bude u potpunosti programabilna, uz interoperabilni okvir kako u jezgru mreže, tako i na nivou radio pristupnog dijela mreže. Takva pametna mrežna infrastruktura značajno povećava podršku eksponencijalno rastućim zahtjevima za povezivanjem, uz omogućavanje inovativnih servisa i aplikacija u brojnim vertikalnim indistrijskim segmentima (pametni gradovi, pametna poljoprivreda, telemedicina, virtuelna realnost, autonomna vozila, pametne kuće, automatizovani industrijski procesi i slično).

Pri tome, za razliku od prethodnih generacija mobilnih komunikacionih mreža, 5G nije determinisan bilo kojom pojedinačnom tehnologijom. Kao "mreža svih mreža" namijenjena je povezivanju postojećih i budućih standarda, uključujući i trenutno impelementirane napredne LTE (4G) tehnologije. Posljedično, 5G se ne može smatrati samo evolutivnim iskorakom u odnosu na 3G i 4G mreže, već kompleksnom mrežom koja kombinuje Wi-Fi, 4G, tehnologije bežičnog pristupa i milimetarske talase. Dodatno, 5G koristi i različite napredne tehnološke aspekte koji nijesu karakteristični za prethodne generacije bežičnih komunikacionih mreža, kao što su *cloud* infrastruktura, virtuelizacija jezgra mreže i inteligentni *edge* servisi.

Zahvaljujući takvom konceptu, osim poboljšanja performansi, 5G predstavlja kohezivnu platformu za inovativne primjene koja se prilagođava

specifičnim zahtjevima korisnika. Na taj način, 5G mreže omogućavaju čitav niz novih aplikacija i korisničkih primjena. Od superbrze mobilne širokopojasne mreže bez potrebe za fiksnim mrežama, preko pametnih fabrika, komunikacije izmedju vozila, autonomno upravljanih vozila, pa do holografske tehnologije, telemedicine, globalnih IoT senzorskih mreža itd. Kroz poboljšanje performansi, fleksibilnost i individualizaciju 5G stvara uslove za brojne nove poslovne mogućnosti ne samo za tradicionalne operatore komunikacionih mreža, već i za nove provajdere servisa iz vertikalnih industrijskih sektora i ukupan IT sektor, što predstavlja radikalnu prednost u odnosu na prethodne generacije mobilnih komunikacionih mreža.

U cilju uspješne implementacije i razvoja tako složenog 5G ekosistema na nacionalnom nivou, Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost Crne Gore je inicirala izradu sveobuhvatng strateškog dokumenta sa ciljem predstavljanja karakteristika i mogućnosti 5G mreža, identifikovanja ključnih izazova i prednosti sa aspekta njihove implementacije, kao i iskustava drugih država u tom procesu, kako bi se definisala mapa puta sa odgovarajućim preporukama za blagovremeno uvođenje i razvoj 5G mobilnih mreža i postizanje maksimalnih benefita za građane i privredu Crne Gore.

Pozivom za javnu nabavku broj 0102-63844/6 od 03.07.2020., za izradu Studije o strategiji uvođenja 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori, Obrađivaču je definisan projektni zadatak kojim je određeno da Studiju organizuje u 11 glava.

Nakon ovog Uvoda u prvoj Glavi je analiziran stepen tehnološkog razvoja postojećih mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori u odnosu na komercijalno dostupna rješenja na globalnom nivou, stepen dostupnosti mobilnih komunikacionih usluga i procjena daljeg razvoja u smislu unapređenja performansi mreža i dostupnosti pojedinih kategorija servisa.

U drugoj Glavi je na osnovu opisa procesa standardizacije 5G celularnih radio sistema prikazana opšta arhitektura 5G mreža za razne scenarije korišćenja, što uključuje nesamostalne (*non standalone*) i samostalne (*standalone*) 5G arhitekture u ne-*roaming* i *roaming* okruženju, kao i arhitektura jezgra mreže i radio pristupnog dijela mreže, uz opis svih funkcionalnih elemenata mrežne arhitekture, uključujući i elemente mrežne sigurnosti i prikaz odgovarajućih 5G interfejsa kojima se pojedini mrežni elementi povezuju u 5G sistem.

Nakon toga, u trećoj Glavi su detaljno predstavljene osnovne kategorije 5G servisa (eMBB, mMTC i URLLC), područja njihove primjene, različiti scenariji korišćenja 5G mobilnih komunikacionih mreža, indikatori performansi i servisni zahtjevi koji se postavljaju pred 5G mreže, faze u razvoju 5G servisa. Između ostalog, opisana je primjena 5G mreža u vertikalnim industrijskim sektorima i njihov doprinos razvoju održive (zelene) industrije.

U četvrtoj Glavi je, polazeći od strateškog okvira za implementaciju 5G mobilnih mreža u Evropskoj uniji, prikazan status aktivnosti na implementaciji 5G mobilnih mreža u državama članicama Evropske unije, analizirana iskustva u implementaciji 5G mobilnih mreža u jednom broju država članica Evropske unije, prikazan status aktivnosti na implementaciji 5G mobilnih mreža u državama Zapadnog Balkana i analizirani ključni elementi primijenjenih strategija i mogućnost njihove primjene na implementaciju 5G mobilnih mreža u Crnoj Gori.

U petoj Glavi su opisani neki od potencijalnih scenarija korišćenja 5G mobilnih mreža od strane individualnih korisnika i od strane vertikalnih industrijskih sektora u Crnoj Gori, sa posebnim osvrtom na turizam, poljoprivredu, energetiku, zaštitu životne sredine i javnu administraciju na državnom i lokalnom nivou. Polaznu osnovu za ovu analizu predstavljali su odgovori na Upitnik koji je upućen na adrese četiri kategorije subjekata u Crnoj Gori, i to: operatorima mobilnih komunikacionih mreža, ICT kompanijama, kompanijama u vertikalnim industrijskim sektorima i institucijama iz javnog sektora.

Nakon toga u Glavi 6, na osnovu analize 5G ekosistema, predstavljeni su ekonomski i socijalni benefiti koji se mogu ostvariti pomoću 5G mreža i identifikovani izazovi koji se mogu javiti u njihovoj implementaciji. Pored toga, opisana je i uloga koju Vlada i javna administracija treba da preuzmu u procesu izgradnje i razvoja mreža pete generacije.

Glava 7 se bavi bezbjednosnom arhitekturom 5G mreže, identifikacijom bezbjednosnih izazova, mogućim procedurama verifikacije bezbjednosti opreme, kao i preporukama koje daju relevantne institucije za postavljanje sigurne mreže.

U Glavi 8 se identifikuju eventualna ograničenja u implementaciji 5G mreža u Crnoj Gori, a koja se odnose na regulatorni okvir elektronskih komunikacija, izazove u pogledu radio-frekvencijskog spektra, izazove u pogledu numeracije i adresiranja, barijere u pristupu postojećoj i izgradnji nove telekomunikacione infrastrukture, izazove u pogledu zajedničkog korišćenja infrastrukture, spremnosti operatora za nova ulaganja, razvijenosti vertikalnih industrijskih sektora, zabrinutosti javnosti u pogledu bezbjednosti angažovanog elektromagnetnog spektra i zaštite ličnih podataka.

Na osnovu prethodno izvršene identifikacije, u Glavi 9 su definisane odgovarajuće smjernice za prevazilaženje identifikovanih ograničenja/ barijera.

Sveobuhvatna analiza različitih aspekata 5G mreža, kao i uslova potrebnih za njihovu uspješnu implementaciju, poslužila je za kreiranje mape puta za implementaciju 5G mreža u Crnoj Gori, koja je data u Glavi 10.

Polazeći od potrebe potpune i objektivne informisanosti građana i privrede o svim elementima uvođenja 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori, u Glavi 11 je razrađena komunikaciona strategija prema javnosti i predloženi ključni događaji koje treba u okviru ove strategije organizovati.

Na kraju je kroz Sažetak dat kratak pregled glavnih aspekata analiza obuhvaćenih Studijom, kao i zaključaka i preporuka koji se odnose na pitanja relevantna za implementaciju 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori.

1. STEPEN TEHNOLOŠKOG RAZVOJA I DOSTUPNOSTI MOBILNIH KOMUNIKACIONIH MREŽA I USLUGA U CRNOJ GORI I PERSPEKTIVA DALJEG RAZVOJA

U ovom poglavlju Studije daje se analiza stepena tehnološkog razvoja mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori, zatim analiza dostupnosti mobilnih komunikacionih usluga po kategorijama (*voice, data* i M2M/IoT), kao i procjena perspektive daljeg razvoja mobilnih komunikacionih mreža. Takođe, dat je i pregled aktuelnog stanja u pogledu stepena razvoja i dostupnosti širokopojasnih (*broadband*) komunikacionih mreža i usluga u Crnoj Gori, sa odgovarajućim zaključcima.

1.1. Stepen tehnološkog razvoja mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori

Prema stepenu i dinamici tehnološkog razvoja i dostupnosti naprednih usluga, kao i prema stepenu tržišne konkurencije, mobilne komunikacije predstavljaju najrazvijeniji segment tržišta telekomunikacija u Crnoj Gori, [1]-[3]. Dodjelom radio-frekvencija iz opsega 800MHz i 2,6GHz i preraspodjelom resursa u opsezima 900MHz, 1800MHz i 2100MHz u postupku aukcije spektra za mobilne mreže, koji je sproveden u septembru 2016. godine, omogućen je dalji ubrzan razvoj mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori, prije svega u pravcu nacionalne *broadband* pokrivenosti.

Mreže sva tri mobilna operatora: Telenor-a, Crnogorskog Telekoma (T-*Mobile*) i Mtel-a, su zasnovane na harmonizovanim standardima druge generacije - 2G (GSM/DCS1800, uključujući i paketski segment GPRS, odnosno EDGE), treće generacije - 3G (IMT-2000/UMTS, uključujući HSPA+ i DC-HSDPA) i četvrte generacije - 4G (LTE/LTE-*Advanced*). Radio pristupni dio GSM/DCS1800 mreža realizovan je u opsezima 900MHz i 1800MHz, dok je pristupni dio UMTS mreža realizovan u opsezima 2100MHz i 900MHz. Za realizaciju radio pristupnog segmenta LTE mreža koriste se opsezi 800MHz ili 900MHz, 1800MHz i 2100MHz ili 2600MHz. Opsezi 900MHz, 1800MHz i 2100MHz za UMTS i LTE se koriste na bazi *refarming*-a spektra.

Stepen tehnološkog razvoja savremenih mobilnih komunikacionih mreža procjenjuje se na osnovu mogućnosti mreže da podrži, prije svega, širokopojasne usluge prenosa podataka. Stalna potreba korisnika za sve većim brzinama prenosa podataka i kvalitetom servisa uslovila je mobilne operatore i u Crnoj Gori da konstantno unapređuju svoje mreže i na taj način drže korak u tehnološkom razvoju sa operatorima u razvijenim evropskim državama.

Kada je riječ o podršci za pružanje *data* usluga, GPRS/EDGE je implementiran na svim GSM/DCS1800 radio baznim stanicama sva tri mobilna operatora. U pristupnom dijelu 3G mreža sva tri mobilna operatora su implementirala HSUPA tehnologiju (3GPP *Release* 6) na *uplin*k-u i HSPA+ tehnologiju (3GPP *Release* 7) na *downlink*-u. Sve 3G radio bazne stanice sva

tri mobilna operatora teorijski omogućavaju maksimalni protok od 21,1Mb/s prema korisniku i 5,76Mb/s od korisnika po kanalu širine 2x5MHz. U zavisnosti od potreba za kapacitetom, na većem broju lokacija u urbanim djelovima većih gradova implementiran je *dual-carrier* (DC) koncept, koji teorijski omogućava protok od maksimalno 42,2Mb/s prema korisniku, koristeći dva susjedna kanala širine 2x5MHz (ukupno 2x10MHz). Na globalnom nivou DC-HSDPA (3GPP *Release* 8) je trenutno posljednja komercijalno dostupna verzija IMT-2000/UMTS.

Navedene vrijednosti protoka predstavljaju teorijske maksimume, koji se u realnim uslovima najčešće ne mogu postići. Realni protoci na aplikativnom nivou zavise od mnoštva parametara, kao što su stanje na mobilnom radio kanalu, broj aktivnih korisnika u ćeliji, kapacitet veze prema jezgru mreže, a neki čak nijesu ni povezani sa performansama mreže (zagušenje u mrežama drugih operatora, brzina procesiranja servera i slično). Tipična korisnička brzina prenosa u mrežama sa HSPA+ tehnologijom se najčešće kreće u opsegu od 1-5Mb/s na *downlink*-u, odnosno od 500kb/s do 2Mb/s na *uplink*-u.

Iako teorijski omogućavaju protoke reda nekoliko Mb/s ka korisniku, UMTS mreže već od početka druge dekade XXI vijeka nijesu pružile potpunu podršku za sve zahtjevnije multimedijalne servise. Stoga je za ispunjenje znatno strožijih zahtjeva bilo neophodno implementirati sasvim novu tehnologiju pristupnog radio interfejsa. LTE, kao tehnološki nasljednik UMTS tehnologije, implementiran je u mrežama Telenor-a i T-*Mobile*-a 2012, odnosno 2013. godine, a u mreži Mtel-a nešto kasnije, 2016. godine. Bez obzira što je prema ITU nomenklaturi zvanično dio IMT-2000 familije standarda, LTE (3GPP *Release* 8) se, zbog činjenice da se zasniva na potpuno novom konceptu višestrukog pristupa (OFDMA - *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) i *all*-IP komutaciji, tretira kao 4G tehnologija. Međutim, tek sa komercijalnom ekspanzijom LTE-*Advanced* sistema (3GPP *Release* 10 i dalje), koji su specificirani prema ITU zahtjevima za IMT-*Advanced* sisteme, dolaze do potpunog izražaja sve prednosti LTE tehnologije: značajno veće brzine prenosa podataka, veća brzina odziva mreže za zahtjevane servise, veća fleksibilnost u korišćenju spektra i slično. U Tabeli 1.1 dat je pregled karakteristika 3GPP standarda, koje se odnose na LTE tehnologiju i unapređenja,[4].

LTE tehnologija, implementirana u mrežama mobilnih operatora u Crnoj Gori, omogućava maksimalne brzine prenosa od 150Mb/s na *downlink*-u i 50-75Mb/s na *uplink*-u, u kanalu širine 2x20MHz i uz primjenu 64-QAM modulacije i 2x2 MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) tehnike. Trenutno za potrebe realizacije pristupnog dijela 4G mreža mobilni operatori u Crnoj Gori koriste radio-frekvencije iz tri opsega, i to: T-*Mobile* blokove širine 20MHz u opsezima 800MHz i 1800MHz i blok širine 10MHz u opsegu 2600MHz, Telenor blokove širine 10MHz u opsezima 900MHz i 2100MHz i blok širine 20MHz u opsegu 1800MHz, a Mtel blok širine 10MHz u opsegu 800MHz i blokove širine 20MHz u opsezima 1800MHz i 2600MHz. Primjenom tehnike agregacije (CA - *Carrier Aggregation*) LTE nosilaca iz dva, odnosno tri

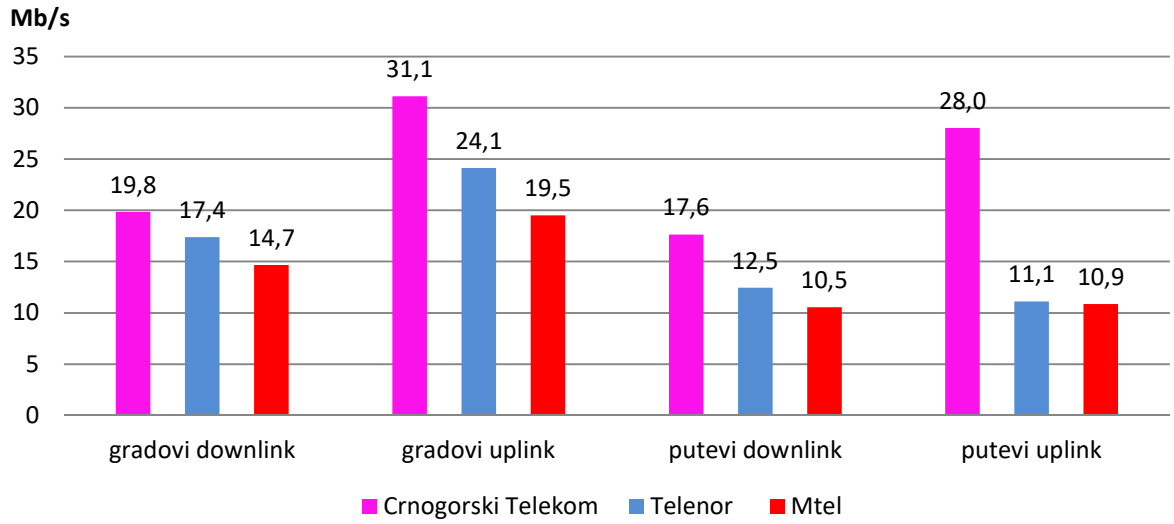
opsega, u zavisnosti od širine angažovanog spektra, na *downlink*-u se postižu srazmjerno veće brzine (konkretno, 225-300Mb/s u zoni servisa baznih stanica u kojima je implementirana 2CA tehnika, odnosno 300-375Mb/s na lokacijama gdje je implementirana 3CA tehnika). Treba napomenuti da navedene vrijednosti predstavljaju teorijski maksimalan kapacitet bazne stanice, koji se u realnim uslovima rijetko postiže. I u ovom slučaju, realni protoci na aplikativnom nivou zavise od mnoštva parametara, od kojih neki nijesu povezani sa performansama mreže, pri čemu kod LTE mreža naznačeni kapacitet dijele svi korisnici u zoni servisa bazne stanice.

Dakle, trenutni stepen razvoja mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori podrazumijeva LTE-*Advanced* sisteme (do 3GPP *Release* 12) sa maksimalnom agregacijom tri LTE nosioca i primjenom 64-QAM modulacije i 2x2 MIMO tehnike. Treba napomenuti da su Telenor i T-*Mobile* u cilju povećanja kapaciteta na nekoliko lokacija sa velikim obimom saobraćaja implementirali 4x4 MIMO tehniku. Takođe, tokom 2019. godine T-*Mobile* je uspješno testirao konfiguraciju LTE bazne stanice (3CAx20 MHz, 256-QAM, 4x4 MIMO) u cilju omogućavanja kapaciteta do 1Gb/s po ćeliji, ali je izostala komercijalna primjena.

Tabela 1.1 Karakteristike LTE standarda i unapređenja po 3GPP specifikacijama

3GPP *Release*	LTE: *Release* 8, 9	LTE-*Advanced*: *Release* 10, 11, 12	LTE-*Advanced Pro*: *Release* 13, 14
Frekvencijski opsezi	800MHz; 900MHz; 1800MHz; 2100MHz; 2300-2400MHz; 2600MHz	700MHz; 1500MHz; 3,5GHz; 3,7GHz	5GHz ISM
Agregacija spektra	jedan nosilac (1,4-20MHz), simetričan DL/UL	dvostruka konektivnost, agregacija nosilaca: do 5 CC, unutar/između opsega, ne/kontinualno, FDD i/ili TDD, kolociran/RRH, asimetričan DL/UL	masivni CA (32 CC), LAA (5GHz), LWA, SDL za CA: 2300-2400MHz
Licenciranje spektra	samo licencirani spektar	licencirani spektar, nosilac WiFi	licencirani spektar, nelicencirani spektar, DL LAA, LWA, LSA
Tip dupleksa	odvojeno FDD, TDD	FDD i TDD (na bazi CA), eIMTA	FDD fleksibilni dupleks
Modeli dijeljenja spektra/mreže	statičko (MOCN, MORAN)	statičko (MOCN, MORAN)	RSE, LSA
Refarming spektra	statički	statički	dinamički, DSA, MRAT, zajednička koordinacija

Prema rezultatima mjerenja parametara kvaliteta usluge prenosa podataka u mobilnim mrežama, koje je Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost (EKIP) sprovela krajem 2019. godine, prosječne brzine prenosa podataka u gradskim oblastima se, zavisno od mreže, kreću u opsegu od 15-20Mb/s na *downlink*-u, odnosno 20-30Mb/s na *uplink*-u. [5]. Uporedni protoci na putevima su nešto manji: 10-18Mb/s na na *downlink*-u i 11-28Mb/s na *uplink*-u. Pregled prosječne brzine prenosa podataka po FTP sesiji u mrežama mobilnih operatora u Crnoj Gori, u gradovima i duž glavnih magistralnih putnih pravaca, dat je na Slici 1.1.



Slika 1.1. Prosječna brzina prenosa podataka u mobilnim mrežama po FTP sesiji

Prema istim mjerenjima, u urbanim područjima (gradovi) je postignuti protok na *downlink*-u u mrežama T-*Mobile*-a i Telenor-a u 90% mjernih sesija bio veći od 11Mb/s, a u 50% sesija veći od 20Mb/s, odnosno 18Mb/s. U mreži Mtel-a je u 90% mjernih sesija postignuti protok na *downlink*-u bio veći od 5Mb/s, a u 50% sesija veći od 15Mb/s. Izmjerena brzina prenosa podataka na *uplink*-u je u urbanim područjima u mreži T-*Mobile*-a u 90% mjernih sesija bila veća od 19Mb/s, a u 50% sesija veća od 30Mb/s, u mreži Telenor-a u 90% mjernih sesija veća od 8Mb/s, a u 50% sesija veća od 24Mb/s, dok je u mreži Mtel-a u 90% mjernih sesija bila veća od 9Mb/s, a u 50% sesija veća od 19Mb/s. Ako se zajedno posmatraju uzorci koji se odnose na gradove i na puteve, izmjereni protok u mreži T-*Mobile*-a je u 90% sesija bio veći od 10Mb/s.

Stepen uspješno započetih i završenih sesija prenosa podataka tokom mjerne kampanje se kretao od 97,5% u mreži T-*Mobile*-a, preko 98,8% u mreži Mtel-a, do 99,3% u mreži Telenor-a, što pokazuje veoma visok stepen dostupnosti usluge.

Shodno izvještajima Agencije, u poređenju sa mjerenjima sprovedenim krajem 2018. godine, došlo je do značajnog pada prosječne brzine prenosa podataka u *downlink* smjeru, kako u urbanim oblastima, tako i duž

najvažnijih putnih pravaca u mrežama sva tri mobilna operatora. Kao ključni razlog pada prosječne brzine prenosa podataka u *downlink* smjeru Agencija navodi povećanje broja korisnika mobilnih usluga prenosa podataka i prosječnog obima saobraćaja po korisniku, što nije na adekvatan način praćeno proširenjem kapaciteta mreže.

Kada govorimo o zastupljenosti tehnologije radio interfejsa u pristupnoj mreži za pružanje usluge prenosa podataka, prema rezultatima pomenutih mjerenja LTE tehnologija dominira sa udjelom od preko 99% od ukupnog broja sesija prenosa podataka u gradovima, odnosno preko 95% na putevima u mrežama T-*Mobile*-a i Telenor-a, dok je ovaj udio u mreži Mtel-a nešto niži i iznosi oko 96% u gradovima, odnosno oko 72% na putevima. Ostatak saobraćaja podataka se realizuje kroz UMTS mreže, dok se GSM tehnologija značajnije ne koristi za prenos podataka, osim u mreži Mtel-a na putevima, gdje je tokom mjerne kampanje kroz GSM mrežu realizovano relativno visokih 8,5% od ukupnog broja sesija prenosa podataka.

Usluga prenosa govora (*voice service*) se u sve tri mobilne mreže pruža posredstvom GSM/DCS1800 i UMTS mreža, na bazi komutacije kola. VoLTE (*Voice over LTE*) tehnologija još uvijek nije implementirana, što predstavlja bitan indikator tržišta mobilnih komunikacija sa aspekta tehnološkog razvoja. Prema rezultatima mjerenja parametara kvaliteta usluge u mobilim mrežama koja je Agencija sprovela krajem 2018. godine, oko 95% od ukupnog broja govornih poziva u gradovima i oko 75% od ukupnog broja govornih poziva na putevima je obavljeno u UMTS mrežama, a ostatak u GSM/DCS1800 mrežama. Zbog proširenja pokrivenosti signalom UMTS mreža za očekivati je da je udio ove tehnologije u opsluživanju govornog saobraćaja na kraju 2020. godine bio veći.

U pogledu IoT/M2M tehnologija, samo je T-*Mobile* implementirao NB-IoT tehnologiju (specificirana u 3GPP *Release* 13) na nekoliko lokacija, uglavnom u cilju odgovora na pojedinačne korisničke zahtjeve u ograničenoj zoni servisa. NB-IoT nosilac je implementiran u zaštitnom intervalu između susjednih LTE nosilaca u opsegu 800MHz.

Kod sva tri mobilna operatora GSM/DCS1800, UMTS i LTE/LTE-*Advanced* mreže funkcionišu integralno, sa integrisanim jezgrom i zajedničkom prenosnom mrežom. U mrežama sva tri operatora omogućen je tzv. vertikalni *handover,* tj. automatsko prebacivanje konekcije sa jedne na drugu tehnologiju, čime se postiže ostvarivanje maksimalnih performansi u smislu kvaliteta prenosa i neprekidnosti veze.

Prenosni dio mreže Telenor-a i Mtel-a zasnovan je uglavnom na mikrotalasnim radio-relejnim vezama, sa još uvijek manje zastupljenim prenosom po optičkim vlaknima. Posljednjih godina identifikovani su napori da se poboljša implementacija optičkih vlakana u prenosnom sistemu ovih mreža. S druge strane, T-*Mobile* na kičmi prenosne mreže koristi optičke prenosne kapacitete, a u *last mile* dijelu se u značajnoj mjeri oslanja na mikrotalasne radio-relejne veze. U cilju obezbjeđivanja podrške za povećane

zahtjeve za širokopojasnim uslugama, kapaciteti prenosnih mreža se konstantno proširuju, širenjem kapaciteta radio-relejnih veza (na nekim trasama do tehnološkog maksimuma) i razvojem optičkih spojnih puteva u *last mile* dijelu. Važno je napomenuti i da su sva tri mobilna operatora izvršila migraciju prenosnih mreža ka *all*-IP prenosu.

1.2. Stepen dostupnosti mobilnih komunikacionih mreža i usluga u Crnoj Gori

Crna Gora se po stepenu pokrivenosti stanovništva signalom mobilnih mreža može porediti sa najrazvijenijim zemljama Evrope. Naime, prema rezultatima predikcije pokrivanja, na kraju 2020. god., kompozitna pokrivenost stanovništva GSM signalom je između 98% i 99%, dok kompozitna pokrivenost signalom UMTS i LTE mreža iznosi između 97% i 98%. Pokrivenost teritorije signalom mobilnih mreža obuhvata skoro sve naseljene oblasti (sva urbana naselja, sve suburbane oblasti i najveći dio ruralnih oblasti), glavne saobraćajnice (uključujući i tunele), turističke centre i iznosi za GSM oko 84%, a za UMTS i LTE oko 80% ukupne teritorije Crne Gore. Kompozitna pokrivenost signalom LTE mreža, u smislu dostupnosti usluge prenosa podataka sa minimalnim protokom ka korisniku od 10Mb/s, na bazi korisničkog iskustva (LTE-10Mb/s DL), ostvarena je za oko 97% stanovništva.

Imajući u vidu veoma zahtjevnu konfiguraciju terena u Crnoj Gori sa aspekta pokrivanja radio signalom, radio pristupni dio mreža sva tri operatora realizovan je sa prilično velikim brojem radio baznih stanica. Na kraju 2020. godine T-*Mobile* je imao aktivne radio bazne stanice za spoljašnje i tunelsko pokrivanje na oko 385 lokacija, Telenor na oko 420, a Mtel na oko 370 lokacija, [6].

Osim radio baznih stanica u opsegu 900MHz, koje se koriste za osnovno pokrivanje, dodatni kapacitet u 2G mrežama se obezbjeđuje i manjim brojem DCS1800 radio baznih stanica u opsegu 1800MHz. Radio pristupni dio GSM/DCS1800 mreže T-*Mobile*-a i Mtel-a je realizovan radio baznim stanicama na oko 350 lokacija, a Telenor-a na preko 400 lokacija (stanje na kraju 2020. godine). S obzirom na veoma mali udio GSM/DCS1800 tehnologije u opsluživanju govornog saobraćaja i praktično zanemarljiv udio u opsluživanju *data* saobraćaja, kapacitet GSM/DCS1800 radio baznih stanica se postepeno smanjuje, a oslobođeni spektar u opsezima 900MHz i 1800MHz se angažuje za spektralno efikasnije UMTS i LTE tehnologije.

Radio pristupni dio UMTS mreža sva tri mobilna operatora takođe je realizovan sa velikim brojem *Node* B stanica. Razvoj UMTS RAN mreže u opsegu 2100MHz upotpunjen je implementacijom ove tehnologije u dijelu dodijeljenog spektra za GSM u opsegu 900MHz, čime je pokrivenost stanovništva Crne Gore 3G signalom proširena i na ruralna i slabo naseljena područja, a komunikacija je omogućena i duž glavnih saobraćajnica. U mreži T-*Mobile*-a na kraju 2020. godine bilo je aktivno oko 300 *Node* B stanica (oko 130 u opsegu 900MHz), u mreži Telenor-a preko 400 *Node* B stanica

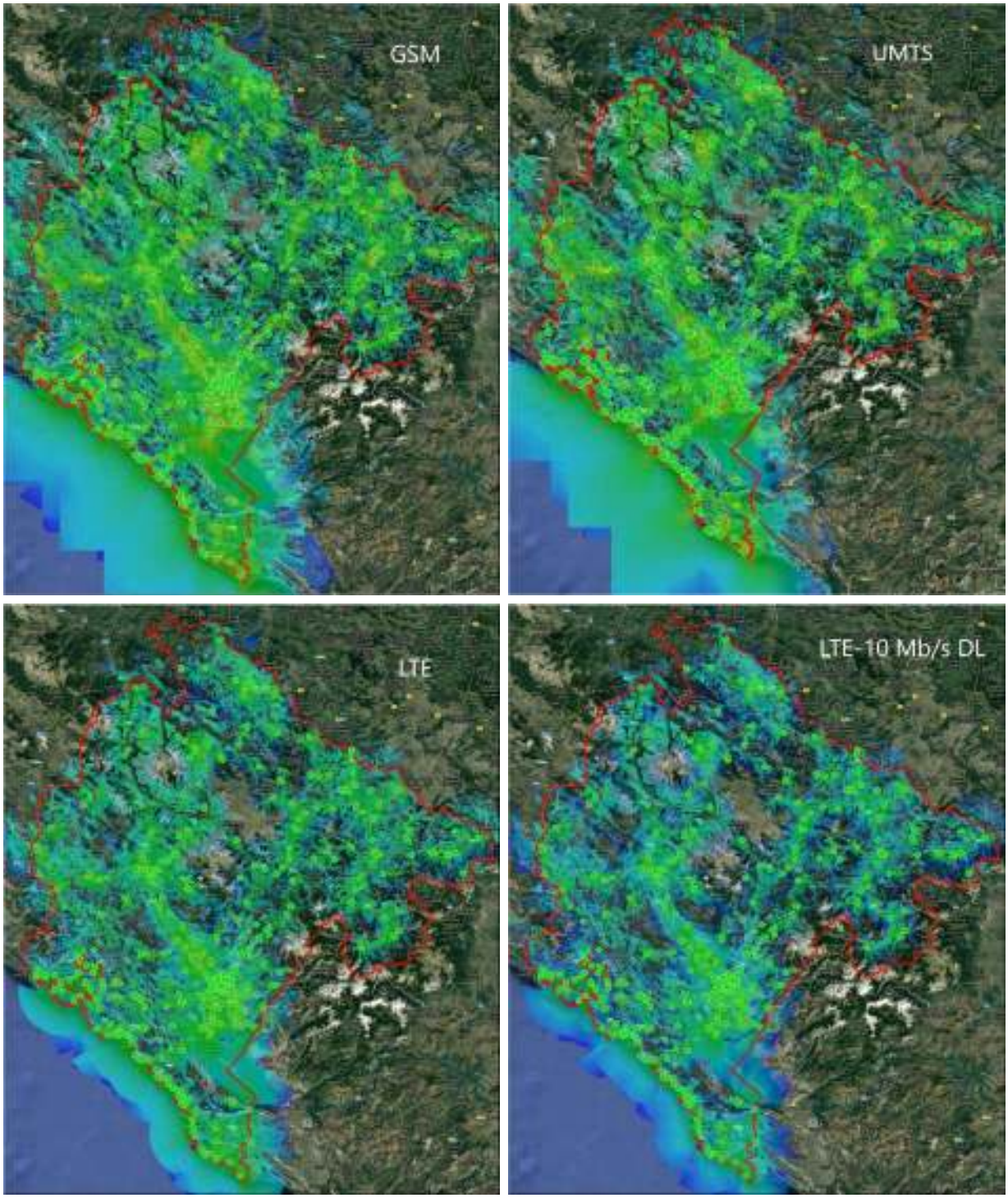
(oko 110 u opsegu 900MHz), a u mreži Mtel-a oko 300 *Node* B stanica (80 realizovanih u opsegu 900MHz).

Najveći progres na planu razvoja mobilnih komunikacionih mreža u protekle tri godine se desio u pristupnom dijelu LTE/LTE-*Advanced* mreža sva tri operatora.

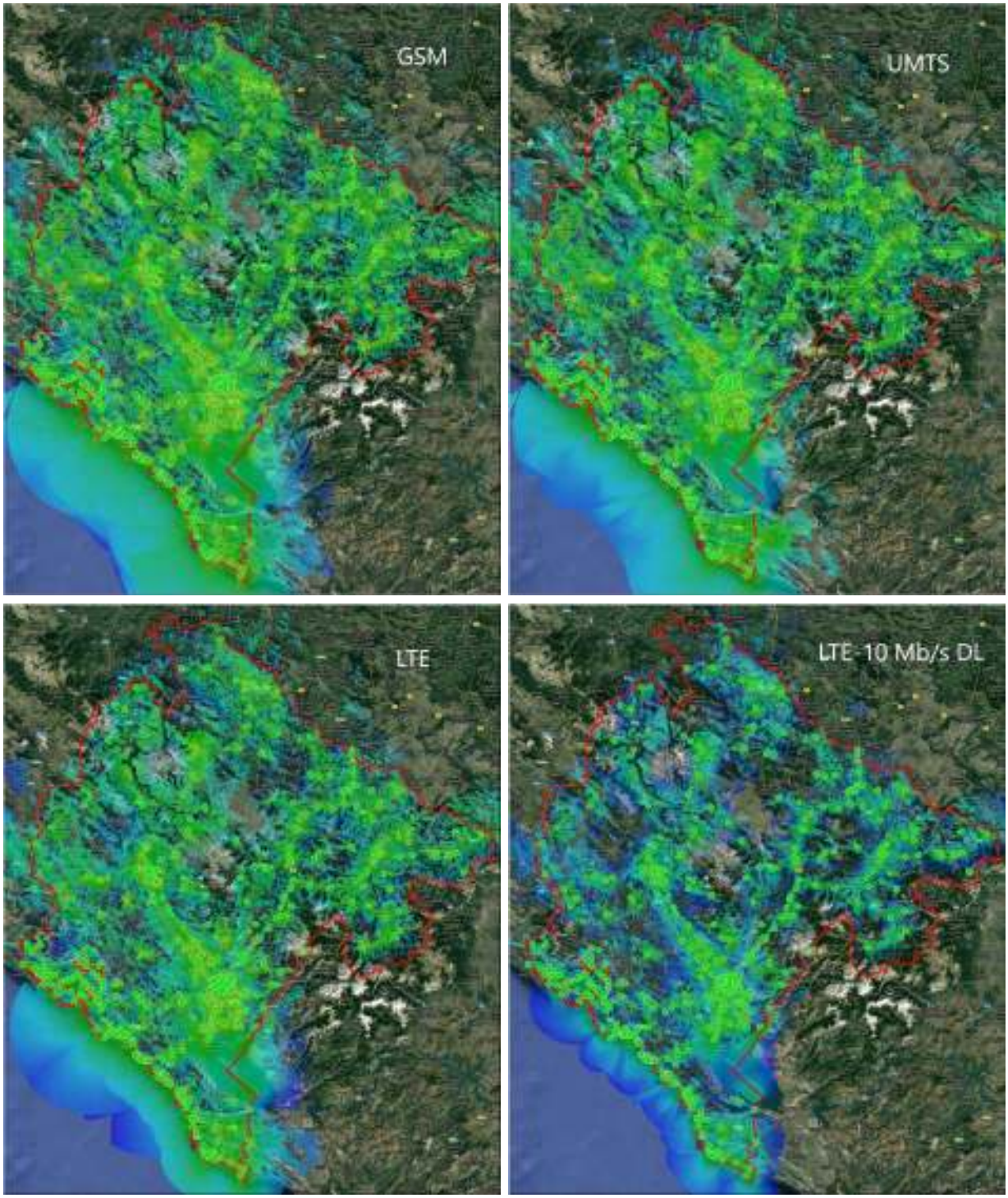
Tako je T-*Mobile* do kraja 2020. godine implementirao LTE radio bazne stanice u opsezima 800MHz, 1800 MHz i 2600MHz na preko 350 lokacija, od čega je na oko 125 lokacija implementirana 2CA tehnika, a na 15-tak 3CA tehnika. E-*Node* B stanice u opsegu 800MHz su realizovane na oko 320 lokacija. Prema rezultatima predikcije, stepen osnovne pokrivenosti signalom LTE mreže T-*Mobile*-a na kraju 2020. godine iznosio je blizu 97% stanovništva, dok je stepen pokrivenosti signalom LTE mreže po kriterijumu 10Mb/s DL, iznosio 96,5% stanovništva. Mape pokrivenosti teritorije Crne Gore signalom GSM, UMTS i LTE mreža T-*Mobile*-a, date su na Slici 1.2, [7].

Telenor je radio pristupni dio LTE/LTE-*Advanced* mreže realizovao u opsezima 900MHz, 1800MHz i 2100MHz. Na kraju 2020. godine bile su aktivne e-*Node* B stanice na oko 410 lokacija u Crnoj Gori, od kojih je 395 e-*Node* B stanica u opsegu 900MHz. Tehnika agregacije dva LTE nosioca je implementirana na 176 lokacija, a 3CA tehnika na 60-tak lokacija. Prema rezultatima predikcije, stepen osnovne pokrivenosti signalom LTE mreže Telenor-a je na nivou 96,5% stanovništva, dok stepen pokrivenosti signalom LTE mreže prema kriterijumu 10 Mb/s DL iznosi 94,6% stanovništva. Mape pokrivenosti teritorije Crne Gore signalom GSM, UMTS i LTE mreža Telenor-a, date su na Slici 1.3, [7].

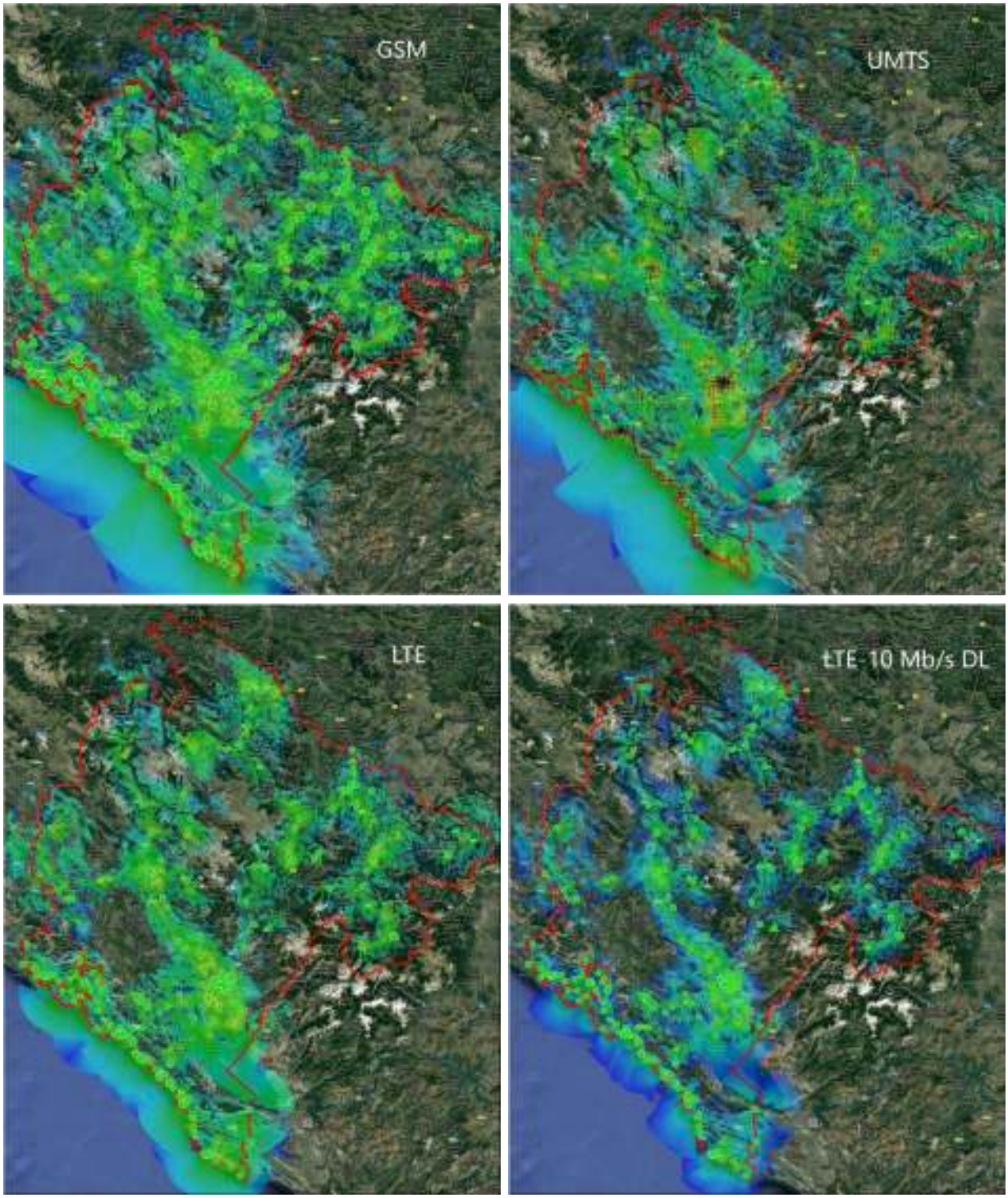
Radio pristupni dio LTE mreže Mtel je realizovao u opsezima 800MHz, 1800MHz i 2600MHz. Na kraju 2020. godine bile su aktivne e-*Node* B stanice na 235 lokacija u svim opštinama u Crnoj Gori. U opsegu 800MHz realizovano je 173 e-*Node* B stanica. Tehnika agregacije dva LTE nosioca je implementirana na 50 lokacija, a 3CA tehnika na 5 lokacija. Prema rezultatima predikcije, stepen osnovne pokrivenosti signalom LTE mreže Mtel-a na kraju 2020. godine iznosio je 93% stanovništva, dok je stepen pokrivenosti signalom LTE mreže prema kriterijumu 10Mb/s DL iznosio 91,2% stanovništva. Mape pokrivenosti teritorije Crne Gore signalom GSM, UMTS i LTE mreža Mtel-a, date su na Slici 1.4, [7].



Slika 1.2. Pokrivenost teritorije Crne Gore signalom mreže T-Mobile-a



Slika 1.3. Pokrivenost teritorije Crne Gore signalom mreže Telenor-a



Slika 1.4. Pokrivenost teritorije Crne Gore signalom mreže Mtel-a

1.3. Stepen tehnološkog razvoja i dostupnosti širokopojasnih komunikacionih mreža i usluga

Za potrebe ove Studije, osim stepena razvoja i dostupnosti mobilnih komunikacionih mreža i usluga značajno je dati kratak pregled i stepena dostupnosti fiksnih širokopojasnih mreža i usluga. Ovo iz razloga što se širkopojasne mobilne mreže mogu efikasno iskoristiti za obezbjeđivanje širokopojasnog pristupa na fiksnoj lokaciji, posebno na područjima gdje nije razvijena infrastruktura fiksnih pristupnih mreža.

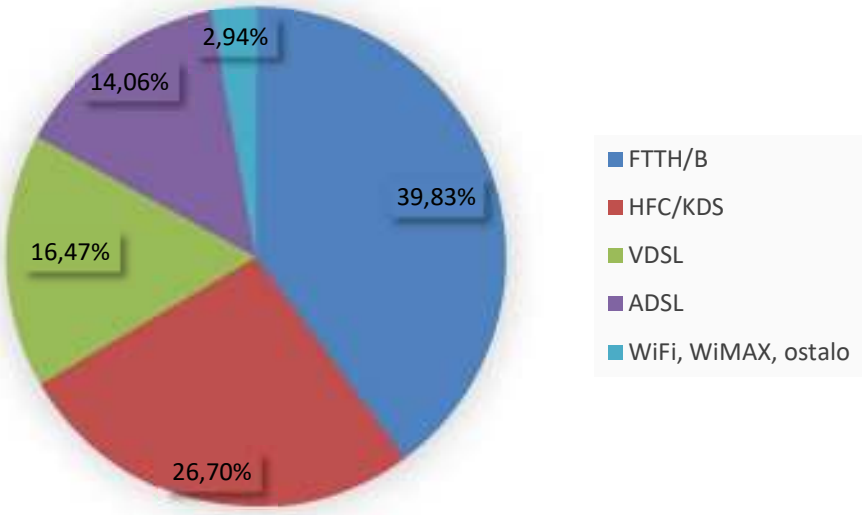
Širokopojasne *data* usluge na fiksnoj lokaciji se u Crnoj Gori pružaju korišćenjem više različitih tehnologija i više žičnih i bežičnih mreža. Kad su u pitanju fiksne mreže, sa aspekta fizičkog medijuma za prenos, dominiraju telekomunikacioni kablovi sa bakarnim paricama, kablovi sa optičkim vlaknima i koaksijalni kablovi, dok su fiksni bežični pristupni sistemi (WiMAX, RLAN) i satelitski sistemi u ukupnom broju aktivnih priključaka neznatno zastupljeni.

Fiksni širokopojasni priključci bazirani na telekomunikacionim kablovima sa bakarnim paricama dostupni su u svim opštinama u Crnoj Gori, u svim urbanim, suburbanim i djelimično ruralnim područjima. Dominantna tehnologija koja se koristi za širokopojasni pristup putem telekomunikacionih kablova sa bakarnim paricama je ADSL/VDSL. Dostupnost xDSL usluge kod korisnika koji imaju fiksni telefonski priključak je 99,51%. U ponudi su ADSL paketi za rezidencijalne korisnike sa maksimalnim omogućenim protokom do 10/1Mb/s (DL/UL) i VDSL paketi sa maksimalnim omogućenim protokom do 40/5Mb/s (DL/UL).

Ključna karakteristika tržišta širokopojasnih usluga prenosa podataka u Crnoj Gori u posljednjih nekoliko godina je intenziviran razvoj pristupnih mreža zasnovanih na kablovima sa optičkim vlaknima (FTTH/B). Na kraju 2020. godine, priključci sa optičkim vlaknima su bili dostupni krajnjim korisnicima u 23 opštine, uglavnom u gradskim područjima, s tim što se mreža ubrzano širi i na sve veći broj prigradskih oblasti. Iako prenos po optičkim vlaknima omogućava znatno veći propusni opseg, najčešće su u ponudi paketi za rezidencijalne korisnike sa maksimalnim omogućenim protokom između 100/10Mb/s i 300/30Mb/s (DL/UL).

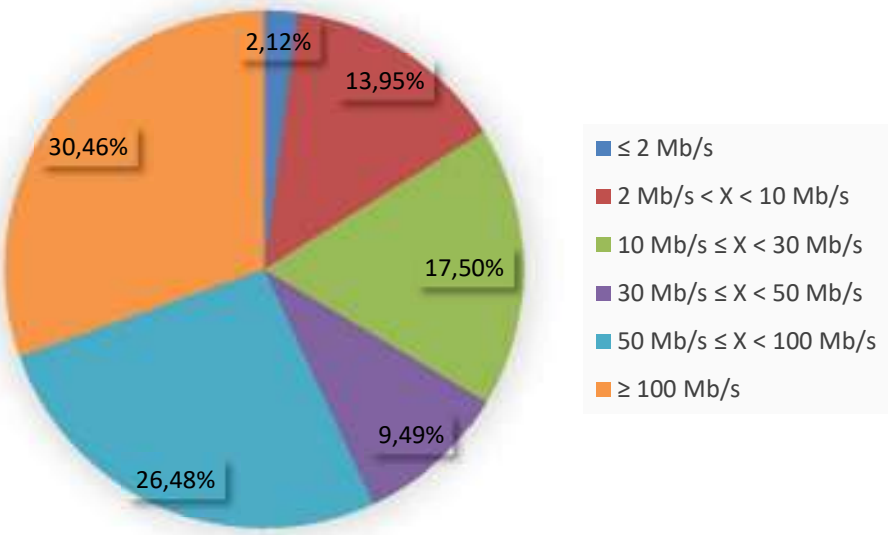
Kablovski distributivni sistemi (KDS), kroz implementaciju DOCSIS 3.0 standarda, pored distribucije audio-vizuelno medijskih (AVM) sadržaja omogućavaju i pružanje usluga govorne telefonije i pristupa Internetu. U prethodnom periodu je izvršena migracija klasičnog KDS sa koaksijalnim kablovima ka unaprijeđenim sistemima, tzv. HFC mrežama, uvođenjem kablova sa optičkim vlaknima u distributivni dio mreže. Priključci na bazi KDS i HFC dostupni su u 18 opština. U ponudi su paketi sa maksimalnom brzinom prenosa do 140/6Mb/s (DL/UL).

Na Slici 1.5 prikazano je učešće pojedinih tehnologija fiksnog pristupa na tržištu usluga prenosa podataka u Crnoj Gori na kraju 2020. godine. Uočava se da se na FTTx, xDSL i HFC/KDS tehnologijama fiksnog pristupa zasniva preko 97% aktivnih priključaka. Najveći broj korisnika, gotovo 40%, pristup ostvaruje po optičkim vlaknima na bazi FTTH ili FTTB tehnologije.



Slika 1.5. Učešće pojedinih tehnologija fiksnog pristupa na tržištu usluga prenosa podataka u Crnoj Gori

Na Slici 1.6 data je struktura korisnika fiksnih usluga prenosa podataka u odnosu na brzinu pristupa na kraju 2020. godine. Sa slike se vidi da skoro 98% korisnika fiksnih usluga prenosa podataka ostvaruje pristup brzinama većim od 2Mb/s, a skoro 84% brzinama većim od 10Mb/s. Pristup brzinama većim od 30Mb/s se ostvaruje kod preko 66% aktivnih priključaka, a brzinama većim od 100Mb/s kod preko 30% od ukupnog broja korisnika fiksnih *data* usluga.



Slika 1.6. Struktura korisnika fiksnih usluga prenosa podataka u odnosu na brzinu pristupa u Crnoj Gori

U poređenju sa podacima navedenim u Studiji o mogućnostima korišćenja radio-frekvencija iz opsega 694-790MHz, 1452-1492MHz, 2300-2400MHz, 3400-3600MHz i 3600-3800MHz za IMT sisteme iz 2017. godine, [8], može se uočiti značajan rast udjela priključaka baziranih na FTTx pristupu (sa 15,78% na 39,83%), kao i izrazit rast udjela broja fiksnih korisnika koji

posjeduju pristup sa brzinom većom od 30Mb/s (sa 10,8% na 66,4%) i brzinom većom od 100Mb/s (sa zanemarljivih 0,2% na 30,46%).

Strategijom razvoja informacionog društva Crne Gore do 2020. godine, [9], Vlada Crne Gore je kao jedan od ciljeva do kraja 2020. godine postavila postizanje:

- dostupnosti NGA širokopojasnog pristupa (30Mb/s) za 100% domaćinstava,
- penetracije širokopojasnih priključaka (2Mb/s) za domaćinstva od 100%,
- zastupljenosti širokopojasnih priključaka velikih brzina (najmanje 30Mb/s) od 70%,
- penetracije ultrabrzih širokopojasnih priključaka (100Mb/s) za domaćinstva od 50%.

Na osnovu navedenih podataka sa kraja 2020. godine može se zaključiti da su posljednja tri indikatora blizu zacrtanih ciljeva, a njihovo konačno postizanje ne zavisi samo od stepena tehnološkog razvoja i dostupnosti širokopojasnih mreža, već i od potreba korisnika i njihove spremnosti da dodatno investiraju u napredniji pristup. Sa druge strane, prvi indikator je direktno povezan sa stepenom tehnološkog razvoja i realnim stanjem u razvoju infrastrukture širokopojasnih mreža velike brzine. Pristup brzinama od 30Mb/s ili više može biti ostvaren posredstvom VDSL tehnologije, i to ne kod svakog korisnika koji posjeduje telekomunikacioni priključak baziran na kablovima sa bakarnim paricama, kao i posredstvom FTTx i HFC/KDS tehnologije. Prema podacima sa kraja 2020. godine, najmanje 17% od ukupnog broja aktivnih širokopojasnih priključaka je bazirano na tehnologijama koje ne omogućavaju protok od 30Mb/s, a najveći dio njih vjerovatno nema ni mogućnost prelaska na napredniju tehnologiju.

Razvoj optičke pristupne mreže u suburbanim, a posebno u ruralnim oblastima sa malom gustinom naseljenosti je veoma skup i dugotrajan proces za koji operatori ne pokazuju interes. Stoga se, kao racionalnije rješenje za postizanje dostupnosti NGA širokopojasnog pristupa (30Mb/s ili više) za 100% domaćinstava, nameće fiksni pristup posredstvom mobilnih komunikacionih mreža. Kako je to već navedeno, LTE/LTE-*Advanced* mobilne mreže operatora u Crnoj Gori pružaju mogućnost funkcionalnog pristupa brzinama od 10Mb/s ili više na teritoriji na kojoj živi 97% stanovništva Crne Gore. Da bi se omogućio pristup brzinama reda 30Mb/s ili više za 100% stanovništva, kratkoročno rješenje se ogleda u dodatnim ulaganjima u proširenje dostupnosti i kapaciteta postojećih 4G mobilnih komunikacionih mreža, uključujući i angažovanje dodatnih RF resursa, uz obezbjeđenje odgovarajućih podsticaja. Dugoročno gledano, rješenje ovog problema u potpunosti se može ostvariti izgradnjom 5G mobilnih mreža.

1.4. Pravci daljeg razvoja mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori

Stepen razvoja mobilnih komunikacionih mreža i dostupnosti mobilnih komunikacionih usluga u Crnoj Gori na kraju 2020. godine karakteriše, [2]-[3]:

- pokrivenost GSM signalom 98-99% stanovništva,
- pokrivenost UMTS i LTE signalom 97-98% stanovništva Crne Gore,
- na teritoriji gdje živi oko 97% stanovništva Crne Gore omogućena usluga prenosa podataka sa funkcionalnim protokom od 10Mb/s ili više na *downlink*-u,
- prosječna brzina prenosa podataka na *downlink*-u u gradskim oblastima 15-20Mb/s, a duž glavnih magistralnih puteva 10-18Mb/s,
- u opsluživanju *data* saobraćaja korisnika dva od tri mobilna operatora LTE/LTE-*Advanced* mreže učestvuju sa preko 99% u gradskom oblastima, odnosno preko 95% duž glavnih magistralnih puteva, dok se ostatak *data* saobraćaja realizuje kroz UMTS mreže,
- u opsluživanju govornog saobraćaja UMTS mreže učestvuju sa udjelom od preko 95% u gradskim oblastima, odnosno od preko 75% duž glavnih magistralnih puteva, a ostatak govornog saobraćaja se odvija kroz GSM/DCS1800 mreže,
- stepen tehnološkog razvoja UMTS mreža zaustavljen na HSPA+ i DC-HSPA (3GPP *Release* 7 i 8) kada se govori o *downlink*-u, odnosno HSUPA (3GPP *Release* 6) kada se govori o *uplink*-u,
- stepen tehnološkog razvoja LTE mreža na nivou LTE-*Advanced* (3GPP *Release* 10-12), e-*Node* B stanice sa do tri agregirana LTE nosioca širine 10MHz ili 20MHz, 64-QAM modulacijom i 2x2 MIMO tehnikom;
- VoLTE tehnologija nije implementirana,
- implementirana NB-IoT tehnologija (3GPP *Release* 13) u mreži jednog operatora, na manjem broju lokacija.

Realno je predvidjeti da će dalji razvoj mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori ići u dva pravca, koji će se u jednom periodu preklapati. Prvi pravac podrazumijeva dalje unapređenje pristupnih mreža baziranih na LTE tehnologiji u cilju zadovoljenja rastućih potreba sve većeg broja korisnika širokopojasnih usluga prenosa podataka. Nesumnjivo će LTE/LTE-*Advanced*/LTE-*Advanced Pro* mobilne mreže ostati dominantna platforma za pružanje mobilnih usluga u narednih nekoliko godina, a u područjima sa malom gustinom korisnika vjerovatno i do kraja tekuće dekade. Takođe se može očekivati da će ove mreže, kroz tehnološka unapređenja, omogućiti postepen prelazak na servisno i korisničko okruženje karakteristično za 5G mobilne mreže, pri čemu se LTE-*Advanced Pro* u mobilnoj komunikacionoj industriji smatra posljednjim tehnološkim korakom do 5G NR (5G *New Radio*).

Drugi pravac podrazumijeva implementaciju 5G mobilnih mreža. Bez obzira kojom dinamikom budu razvijane 5G mobilne mreže, realno je očekivati da će u prvoj fazi 5G usluge biti dostupne samo u urbanim sredinama, odnosno u područjima gdje postoji potreba za servisima koje ova tehnologija

omogućava. Konkretni koraci u implementaciji, uz sagledavanje uloge svih subjekata 5G ekosistema, biće definisani kroz preporuke koje će predstavljati rezultat sveobuhvatne analize sprovedene u narednim poglavljima ove Studije.

LTE-Advanced Pro unapjeđenja specificirana su u 3GPP *Release* 13 i 14, sa ciljem da se omogući mobilni radio pristup sa protocima reda Gb/s, dodatno smanji kašnjenje (sa reda 10ms na reda 2ms) i definišu standardi za celularne IoT tehnologije, ali i da se postave temelji za tehnologije kao što su V2X komunikacije i servisi hitnih službi. Ovo je postignuto primjenom, između ostalog, tehnike agregacije do čak 32 LTE nosioca iz istih ili različitih opsega, implementacijom LTE tehnologije u nelicenciranim opsezima za WLAN (npr. 5GHz) na bazi LAA (*Licence-Assisted Access*) ili LTE/WiFi agregacijom, zatim razvojem tehnologije direktne komunikacije između terminala, kao i IoT tehnologija za uskopojasne (NB-IoT) i širokopojasne (eMTC) IoT komunikacije. Na Slici 1.7 dato je poređenje ključnih tehnologija omogućenih u *LTE-Advanced Pro* i 5G NR mrežama [Izvor: *Qualcom*].

Slika 1.7. Poređenje ključnih tehnologija omogućenih u LTE-Advanced Pro i 5G NR mrežama

Što se tiče LTE mobilnih mreža u Crnoj Gori izvjesno je da će mobilni operatori u narednim godinama biti fokusirani na kontinuirano povećanje kapaciteta radio pristupne mreže u cilju održavanja i eventualno unapređenja korisničkog iskustva. Rezultati mjerenja koje Agencija sprovodi, pokazuju da parametri performansi ovih mreža opadaju, usljed povećanja korisničkih zahtjeva koji nijesu propraćeni adekvatnim proširenjem kapaciteta mreže. U tom kontekstu, na raspolaganju je nekoliko opcija koje imaju svoje prednosti, ali i ograničenja.

Masovna implementacija tehnike agregacije LTE nosilaca, kao najjednostavnije i najefikasnije rješenje, može biti prva opcija mobilnih operatora. Trenutno mobilni operatori udružuju maksimalno tri LTE nosioca (3CA) širine 10MHz ili 20MHz. U zavisnosti od širine spektra kojim operatori trenutno raspolažu, moguće je angažovanje još maksimalno 10-20MHz na

bazi *refarming*-a, što može biti rješenje za naredne dvije do tri godine. Dalje širenje kapaciteta na bazi primjene CA tehnike je uslovljeno dodjelom dodatnih RF resursa. Implementacijom VoLTE tehnologije stekli bi se uslovi za potpuno gašenje UMTS mreža, a oslobođeni infrastrukturni i frekvencijski resursi mogli bi biti efikasno angažovani za povećanje kapaciteta LTE mreža ili čak za uvođenje 5G mobilnih mreža.

Primjena MIMO tehnike višeg reda (4x4 ili 8x8) je, uz povećanje nivoa modulacije, još jedna opcija koju mobilni operatori imaju na raspolaganju, a koja je u Crnoj Gori već primijenjena na manjem broju lokacija sa velikim obimom saobraćaja. Iako se na ovaj način teorijski multiplicira kapacitet LTE ćelije, ključni nedostaci ove opcije ogledaju se u potrebi primjene antena većih dimenzija, što dalje otvara pitanje antenskih stubova i nosača projektovanih za standardne panel antene sa dvostrukim nizom dipola.

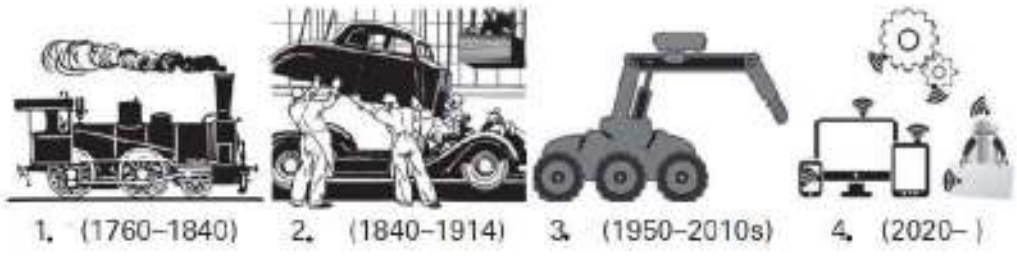
Povećanjem gustine baznih stanica može se postići povećanje ukupnog kapaciteta radio pristupnog dijela mreže, ali se na taj način povećava i ukupna interferencija u mreži, pa ova opcija, osim velikih troškova izgradnje nove infratrukture, ima i svoja tehnološka ograničenja.

Realno je predvidjeti da će dalji razvoj 4G mobilnih mreža u narednih pet godina ići u pravcu povećanja kapaciteta mreže kombinovanjem navedenih opcija i implementacijom *LTE-Advanced Pro* unapređenja. Takođe, očekuje se i da će doći do implementacije VoLTE tehnologije, čime bi govorni saobraćaj postepeno migrirao sa UMTS mreža na LTE mreže, što bi otvorilo put ka potpunom gašenju UMTS mreža koje se trenutno uglavnom koriste za opsluživanje govornog saobraćaja. NB-IoT tehnologija je već implementirana, iako u skromnom obimu, a za određene IoT/M2M aplikacije na raspolaganju je eMTC tehnologija, koja se relativno jednostavno i jeftino implementira kroz LTE mrežu.

Dakle, tehnološkim unapređenjem postojećih 4G mreža, prije svega kroz implementaciju LTE-*Advanced Pro* rješenja, može se obezbijediti podrška za veliki broj naprednih servisa, kao što su: prenos podataka brzinama reda 100Mb/s na korisničkom nivou, prenos govora visokog kvaliteta, širok spektar uskopojasnih i širokopojasnih IoT/M2M aplikacija, širok spektar aplikacija koje zahtijevaju veoma malo kašnjenje, čak i celularne V2X komunikacije. Međutim, kreiranje komunikacionog okruženja koje će biti osnova za uvođenje inovativnih korisničkih servisa i aplikacija, za podršku ukupnom razvoju države u pravcu definisanom Strategijom pametne specijalizacije, zahtijeva značajno veće brzine prenosa podataka, masovne komunikacije mašinskog tipa (mMTC), ultra pouzdane komunikacije sa veoma malim kašnjenjem (URLLC), veći nivo sigurnosti. Kako to nije moguće ostvariti ni najnaprednijim opcijama 4G mreža, jasno je da takvi ciljevi u punom kapacitetu mogu biti podržani isključivo novim tehnološkim rješenjima koja karakterišu 5G mobilne mreže.

2. OPIS 5G MOBILNIH KOMUNIKACIONIH SISTEMA

Informaciono komunikacioni (ICT - *Information and Communications Technology*) sektor nastao je konvergencijom telekomunikacija i Interneta, uz potpuno novi pristup u načinu na koji se procesiraju i prenose informacije. Masovna i rasprostranjena upotreba mobilnih uređaja dodatni je katalizator ekonomskih, kulturnih i tehnoloških promjena u društvu, koje je postalo visoko "umreženo" i povezano, prateći paradigmu "komunikacija bilo gdje, sa bilo kim, u bilo kom trenutku". Nakon faze u kojoj je bilo ključno ostvariti povezanost i izgraditi za to potrebnu infrastrukturu, razvoj ICT sektora se nastavlja stvaranjem uslova za pružanje usluga u različitim komunikacionim scenarijima koje karakterišu: velike varijacije u korisničkim zahtjevima (uključujući podršku personalizovanim sadržajima), Internet stvari (IoT – *Internet of Things*) ili Internet svega (*Internet of Everything*), uvođenje funkcija bezbjednosti i mobilnosti kao konfigurabilnih elemenata za bilo koji scenario komunikacije i slično. Imajući u vidu sve dosadašnje faze u razvoju i prihvatanju tehnoloških rješenja na globalnom nivou, aktuelni trendovi, koji su dominantno determinisani upravo mogućnostima koje pružaju napredne info-komunikacione tehnologije, uobičajeno se nazivaju četvrtom industrijskom revolucijom (Industry 4.0), [10].



Slika 2.1 Četiri faze industrijske revolucije

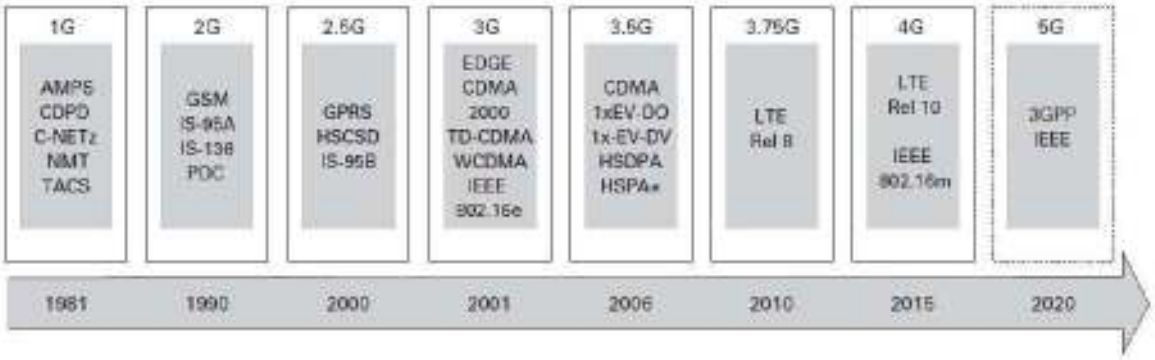
Četiri faze industrijske revolucije prikazane su na Slici 2.1. Prva faza industrijske revolucije (oko 1760–1840. god.) započeta je u Engleskoj uvođenjem razboja i parne mašine. Kao posljedica toga, agrarna ekonomija osamnaestog vijeka pretrpjela je brzu transformaciju, u roku od nekoliko decenija, u industrijsku, u kojoj dominiraju mašine za proizvodnju robe. Druga faza industrijske revolucije (oko 1840–1914. god.) započela je uvođenjem procesa *Bessemer* čelika i kulminirala ranom elektrifikacijom fabrika, uz masovnu proizvodnju ostavrenu razvojem proizvodnih linija. Treća faza industrijske revolucije (oko 1950–2010. godine) se odvijala zahvaljujući elektronici i ICT-u, a posebno uvođenju programabilne logike i kontrolera (PLC - *Programmable Logic Controllers*). To je dovelo do dalje automatizacije procesa proizvodnje i povećanja produktivnosti. Četvrta faza industrijske revolucije se može posmatrati kao doba u kome nova generacija komunikacionih tehnologija omogućava povezanost i komunikaciju između uređaja i predmeta, što u kombinaciji sa tehnologijama tipa vještačke inteligencije, *cloud* i *edge computing*-a, proširene i virtuelne stvarnosti, čini da industrijska automatizacija prelazi na sljedeći viši nivo. Očekuje se da će upravo peta generacija mobilnih komunikacionih mreža (5G) biti glavni pokretački faktor za potpuni prelazak u četvrtu fazu industrijske revolucije,

obzirom da je riječ o tehnologiji koja će značiti prelaz sa komunikacionih okruženja, u kojima trenutno dominiraju ljudi kao korisnici, na korisničke scenarije u kojima je fokus na povezivanju uređaja i stvari. Petu generaciju mobilnih komunikacionih mreža će posebno karakterisati:

- pouzdana povezanost, kako ljudi, tako i uređaja i stvari,
- kritična i masivna povezanost stvari,
- novi opsezi radio-frekvencijskog spektra i regulatorni režimi,
- mobilnost i sigurnost kao mrežne funkcije,
- integracija distribucije sadržaja putem Interneta,
- obrada i čuvanje podataka na ivici mreže,
- softverski definisano umrežavanje i virtuelizacija mrežnih funkcija.

2.1. Kratak pregled razvoja celularnih radio standarda

Uobičajeno je da se hronološki razvoj mobilnih komunikacionih sistema prikazuje kroz određene faze razvoja odgovarajućih standarda, koje se označavaju kao njihove generacije. Na Slici 2.2 je prikazana evolucija standarda za mobilne komunikacione sisteme zasnovane na celularnom principu teritorijalnog pokrivanja, od njihovog pojavljivanja 1970-ih do 2020-ih (1G do 5G).



Slika 2.2. Evolucija mobilnih celularnih standarda

Prvi komercijalni mobilni analogni radiokomunikacioni sistemi, implementiranii su u 1950-im i 1960-im, uz izrazito malu penetraciju, [11]. Komercijalna primjena mobilnih celularnih sistema prve generacije (1G) počinje 1981. god. U pitanju su bili standardi poput NMT (*Nordic Mobile Telephone*) u nordijskim zemljama, *C-Netz* u Njemačkoj, Portugalu i Južnoj Africi, TACS (*Total Access Communications System*) u Velikoj Britaniji, i AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) u Americi. Standardi ove prve generacije mobilnih celularnih sistema su bili analogni, jer je korišćena analogna tehnologija, tj. tipično frekvencijski modulisani radio signali sa digitalnim signalizacionim kanalom.

Evropska konferencija poštanskih i telekomunikacionih uprava (CEPT - *European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*) je 1982. godine donijela odluku da razvije panevropski mobilni celularni komunikacioni sistem druge generacije (2G). To je bio početak razvoja Globalnog sistema za mobilne komunikacije (GSM - *Global System for*

Mobile communications), kao dominantnog standarda druge generacije, koji je međunarodno primijenjen od 1991. god. 2G sisteme karakteriše digitalizacija, tj. usvajanje tehnologije digitalnog prenosa i komutacije. Digitalna komunikacija je omogućila značajna poboljšanja u kvalitetu prenošenog govora i veći mrežni kapacitet, dopunske usluge i napredne aplikacije, poput usluge kratkih poruka (SMS - *Short Message Service*) za čuvanje podataka i prosleđivanje tekstualnih informacija. Primarna svrha GSM-a (tj. 2G) bila je stvaranje jedinstvene digitalne telefonske mreže, koja će podržavati međunarodni *roaming* širom Evrope. GSM je zasnovan na hibridnom višestrukom pristupu sa vremenskom (TDMA - *Time Division Multiple Access*) i frekvencijskom raspodjelom (FDMA - *Frequency Division Multiple Access*), za razliku od 1G sistema zasnovanih samo na FDMA, [12]. Paralelno sa GSM-om, širom svijeta su razvijeni i drugi digitalni 2G sistemi. U značajne 2G standarde spadaju: TIA/EIA-136 poznat kao sjevernoamerički TDMA (NA-TDMA) standard, TIA/EIA IS-95A poznat i kao CDMAOne, i PDC (*Personal Digital Cellular*) koji se isključivo koristio u Japanu.

Dalji razvoj 2G standarda se odvijao evolutivno, uvođenjem poboljšanja za naprednije funkcije i servise. Tako su 2.5G sistemi nastali omogućavanjem usluge prenosa podataka sa komutacijom paketa, pored govornih servisa i komutacije kola. Glavni 2.5G standardi, GPRS (*General Packet Radio Service*) i TIA/EIA-951, bili su proširenje GSM-a odnosno TIA/EIA IS-95A. Ubrzo nakon toga, razvoj GSM-a je nastavljen u pravcu EDGE standarda (*Enhanced Data Rates for Global Evolution*) i njegove komponente paketnog prenosa podataka EGPRS (*Enhanced General Packet Radio Service*), što je ostvareno uglavnom dodavanjem modulacionih šema i kodiranja višeg reda. GSM/EDGE je nastavio da se razvija i posljednja verzija pripadajućeg 3GPP standarda je podržavala širi propusni opseg i agregaciju nosilaca za realizaciju radio interfejsa.

Ubrzo nakon što je 2G postao operativan, ITU-R (ITU-R - *International Telecommunications Union – Radiocommunication Sectors*) definiše zahtjeve za sisteme koji su se kvalifikovali za IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications 2000*), odnosno za 3G standard(e). Evropski institut za telekomunikacione standarde (ETSI - *European Telecommunications Standards Institute*) je u januaru 1998. god. usvojio UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) baziran na dvije varijante kodnog multipleksa, WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) i TD-CDMA (*Time Division CDMA*). UMTS je bio najrasprostranjeniji mobilni komunikacioni sistem treće generacije (3G) i bio je jedan od prvih celularnih sistema koji se kvalifikovao za IMT-2000. Pored toga, šest drugih tehnologija radio interfejsa je bilo kvalifikovano da zadovolji zahtjeve IMT-2000, uključujući tri zasnovane na CDMA, verziji GSM/EDGE poznatoj kao UVC-136, i dvije tehnologije zasnovane na OFDMA, [13].

U okviru 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) projekta, razvijene su nove specifikacije poznate kao 3G *Evolution* i prikazane su na Slici 2.2 kao 3.5G. Te specifikacije obuhvataju CDMA, 1xEV-DO, 1xEV-DV, HSDPA i

HSPA+. Za ovu fazu evolucije mobilnih celularnih standarda predložena su dva tehnološka rješenja radio pristupa (RAN - *Radio Access Network*), uz predloženu evoluciju jezgra mreže. Prvi RAN pristup zasnovan je na evolucionim koracima u CDMA 2000 unutar 3GPP2: 1kEV-DO i 1kEV-DV. Drugi RAN pristup bio je HSPA (*High Speed Packet Access*), kao kombinacija HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), iz 3GPP *Release*-a 5, i HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*), dodatog u 3GPP *Release* 6, [14]. Primjena CDMA 1kEV-DO je počela 2003. godine, dok je za HSPA i CDMA 1kEV-D početak implementacije vezan za 2006. god. Kod oba predložena pristupa u početku se povećala brzina prenosa podataka na 14,6Mb/s za *downlink* i do 5,76Mb/s na *uplink*-u, pri čemu se brzo došlo i do većih brzina prenosa podataka uvođenjem MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) tehnika. Generalno, svi 3GPP standardi slijede filozofiju evolucije dodavanjem novih karakteristika, pri čemu se održava kompatibilnost sa prethodnim verzijama standarda. To je bio slučaj i sa HSPA i unapređenjem u HSPA+, gdje je podržana agregacija nosilaca za veće maksimalne brzine podataka bez uticaja na postojeće terminale na tržištu.

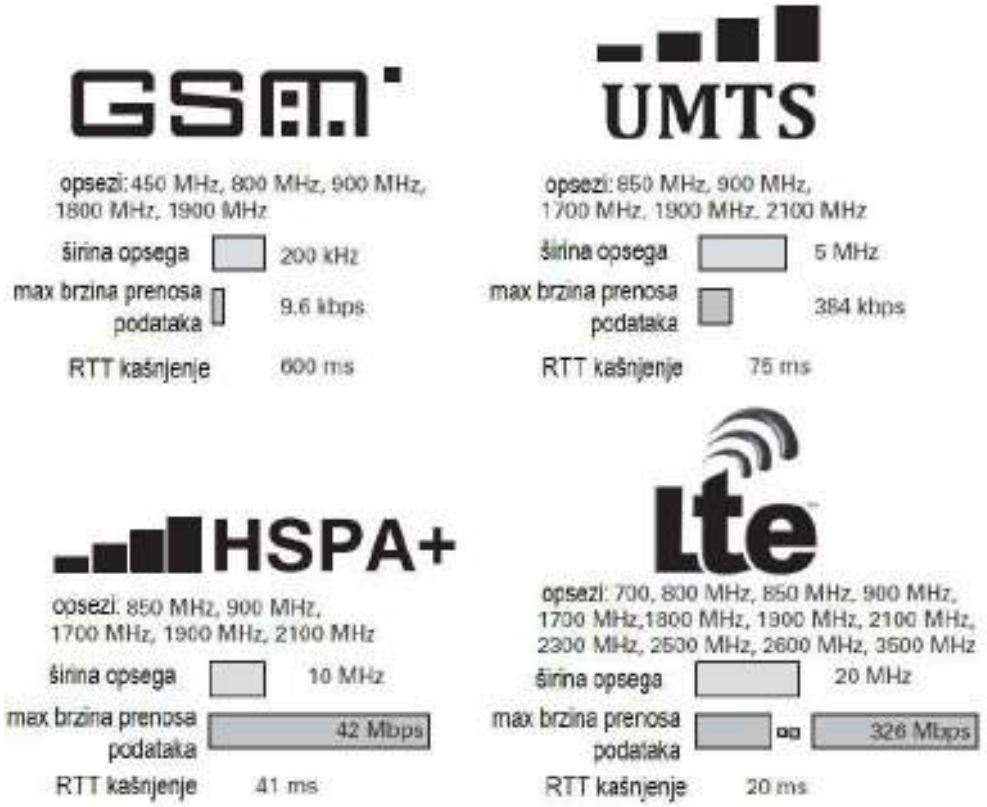
Naredni korak u evoluciji UMTS-a je doveo do LTE (*Long Term Evolution*) standarda [15], koji je komercijalno prihvaćen kao 4G i koji se sastoji od novog radio interfejsa zasnovanog na OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) višestrukom pristupu, novoj arhitekturi i jezgru mreže (CN – *Core Network*), nazvanoj SAE/EPC (*System Architecture Evolution/Evolved Packet Core*). LTE nije kompatibilan sa UMTS-om i razvijen je u očekivanju dodjele širih blokova spektra od UMTS-a, tokom WRC (*World Radio Conference*) 2007. god. Standard je takođe dizajniran za rad sa komponentnim podnosiocima koji su vrlo fleksibilni u rasporedu i podržavaju opsege od 1,4MHz do 20MHz. LTE standard je ponudio značajna poboljšanja i u kapacitetu, i dizajniran je tako da mreže dobiju nove funkcionalnosti, bez korišćenja komutacije kola. Krajem 2007. godine prve LTE specifikacije su odobrene u 3GPP kao LTE *Release* 8, sa maksimalnim brzinama prenosa podataka od približno 326Mb/s, povećanom spektralnom efikasnošću i značajno manjim kašnjenjem (do 20ms) od prethodnih sistema.

Istovremeno, ITU-R je radio na definiciji zahtjeva za IMT-*Advanced*, nasljednika IMT-2000. Kako LTE *Release* 8 nije bio u skladu sa IMT-*Advanced* zahtjevima, u početku se smatrao samo pretečom 4G tehnologije (3.75G). Međutim, to je naknadno relaksirano u uobičajenoj upotrebi, tako da je LTE prihvaćen kao 4G, dok su 3GPP LTE *Release* 10 i IEEE 802.16m (WiMAX - *Worldwide Interoperability for Microwave Access*) tehnički prvi radio interfejsi razvijeni da ispune IMT-*Advanced* zahtjeve. Iako je odobrena kao 4G tehnologija, WiMAX je imao poteškoća u prihvatanju od strane korisnika, tako da ga je potisnuo LTE. LTE *Release* 10 dodaje nekoliko tehničkih karakteristika, kao što su MIMO tehnike višeg reda i agregacija nosilaca, što poboljšava kapacitet i brzinu prenosa u odnosu na *Release* 8. Agregacija nosilaca do 100MHz ukupnog propusnog opsega omogućava povećanje maksimalne brzine prenosa podataka na maksimalno 3Gb/s na *downlink*-u i na 1,5Gb/s na *uplink*-u. MIMO konfiguracije višeg reda do 8×8

na *downlink*-u i do 4×4 na *uplink*-u, su takođe uključene u poboljšanje performansi.

3GPP standardizacija LTE (*Release* od 11 do 13) se nastavlja i nakon *Release* 13. LTE *Release* 11 je poboljšao neke od LTE *Release* 10 mogućnosti, agregacijom podnosilaca, primjenom releja, kao i poništavanjem interferencije. Dodati su novi opsezi frekvencija i upotreba koordinisane transmisije (CoMP - *Coordinated Multipoint Transmission and Reception*). LTE *Release* 12, koji je zaključen marta 2015. godine, dodao je nekoliko funkcija za poboljšanje podrške heterogenim mrežama, veći red MIMO tehnika, uz agregaciju između FDD (*Frequency Division Duplexing*) i TDD (*Time Division Duplexing*) podnosilaca. Definisano je nekoliko novih karakteristika za rasterećenje *backhaul*-a i jezgra mreže. Dalje, u LTE verzijama 12 i 13, nova rješenja, poznata kao LTE-M i uskopojasni IoT (NB-IoT - *Narrow-Band IoT*) uvedena su u svrhu podrške MTC (*Machine Type Communication*) komunikacijama, između uređaja tipa senzora i aktuatora, [16]. Ova rješenja su pružila poboljšanja u pogledu boljeg pokrivanja signalom, dužeg trajanja baterije i smanjenja troškova. *Release* 13 takođe teži ekstremnim brzinama širokopojasnog prenosa podataka koristeći agregaciju do 32 nosioca.

Slika 2.3 ilustruje glavne karakteristike 3GPP standarda, odakle se mogu uočiti trendovi za poboljšanje spektralne efikasnosti, korišćenje širih propusnih opsega, ostvarivanje veće brzine prenosa i manjeg kašnjenja.



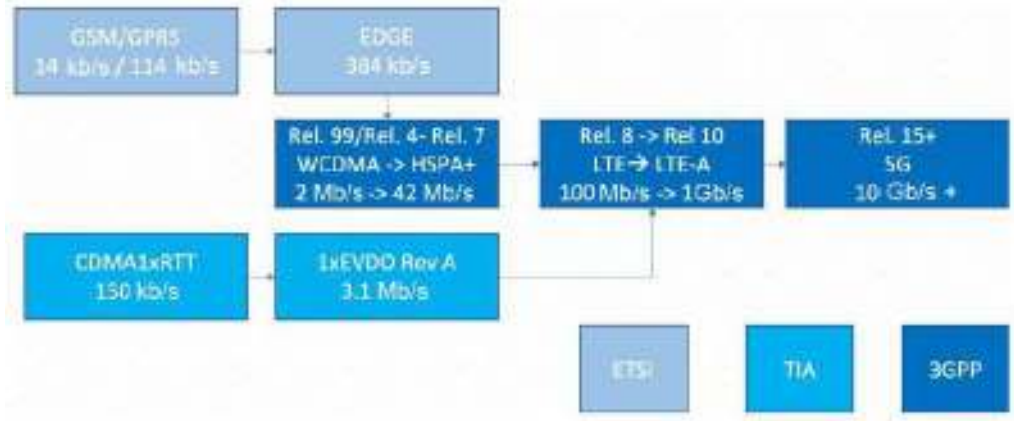
Slika 2.3. Glavne karakteristike 3GPP/ETSI standarda

2.2. Standardizacija 5G celularnih radio sistema

Standardizacija je jedan od ključnih procesa u razvoju i uspješnoj implementaciji bilo kog mobilnog celularnog radio sistema, pa naravno i 5G sistema. U tom procesu standardizacije izuzetno važnu ulogu ima 3GPP (*Third Generation Partnership Project*). 3GPP nije klasično standardizaciono tijelo, već razvija i održava globalne tehničke specifikacije kolaborativnom aktivnošću između dobro uspostavljenih regionalnih standardnizacionih organizacija za razvoj telekomunikacionih standarda (3GPP organizacioni partneri), s ciljem da proizvođači mrežne i korisničke opreme mogu da razvijaju proizvode koji su interoperabilni u cijelom svijetu. 3GPP organizacije za razvoj standarda, odnosno 3GPP organizacioni partneri su:

- ARIB (*Association of Radio Industries and Businesses*) - Udruženje radio industrija i preduzeća, Japan;
- ATIS (*Alliance for Telecommunications Industry Solutions*) - Alijansa za rješenja telekomunikacione industrije, SAD;
- CCSA (*China Communications Standards Association*) - Kinesko udruženje za standarde u oblasti komunikacija;
- ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) - Evropski institut za telekomunikacione standarde;
- TSDS (*Telecommunications Standards Development Society*) - Društvo za razvoj telekomunikacionih standarda, Indija;
- TTA (*Telecommunications Technology Association*) – Udruženje za telekomunikacione tehnologije, Republika Koreja;
- TTC (*Telecommunication Technology Committee*) - Komitet za telekomunikacionu tehnologiju, Japan.

Na Slici 2.4 prikazana je evolucija celularnih standarda uz navođenje odgovarajućih 3GPP *Release*-a, koji detaljno specificiraju svaku pojedinačnu tehnologiju. U Tabeli 2.1. su navedeni odgovarajući *Release*-i, sa navođenjem tehnologija na koje se specifikacije odnose.



Slika 2.4. Evolucija 3GPP mobilnih celularnih standarda

Kao što se vidi sa Slike 2.4, ETSI je specificirao GSM/EDGE/WCDMA i HSPA, dok je TIA specificirao CDMA evolucije. U izradi *Release* 8 bilo je angažovano mnoštvo tijela za standardizaciju i svi oni su konvergirali prema

globalnom standardu nazvanom LTE. Presudni momenat za ovu konvergenciju bila je odluka telekomunikacione kompanije *Verizon* da izabere LTE, između svih ponuđenih radio specifikacija, među kojima su bili 1xEVDO Rev.B i WiMAX. 3GPP je zatim radio na specifikacijama koje su dovele do definicije 5G sistema tokom 2017. godine.

Tabela 2.1. 3GPP verzije standarda

3GPP Release	Vrijeme donošenja	Tehnologije
99	Prvi kvartal 2000.	3G UMTS
4	Drugi kvartal 2001.	UMTS *all*-IP jezgro
5	Prvi kvartal 2002.	IMS i HSDPA
6	Četvrti kvartal 2004.	HSUPA, IMS
7	Četvrti kvartal 2007.	HSPA+
8	Četvrti kvartal 2008.	LTE
9	Četvrti kvartal 2009.	LTE UMTS interoperabilnost
10	Prvi kvartal 2011.	LTE-*Advanced*
11	Treći kvartal 2012.	Hetnet, CoMP
12	Prvi kvartal 2015.	Agregacija podnosilaca
13	Prvi kvartal 2016.	LTE-U, LTE-LAA, LTE-M
14	Sredina 2017.	CUPS
15	Kraj 2018.	5G faza 1
16	Kraj 2020.	5G faza 2 (URLLC)
17	~ septembar 2021.	5G poboljšanja

Release 15 ima fokus ka unapređenju mobilne širokopojasne mreže i stoga su sve specifikacije usmjerene ka omogućavanju:

- novog radija (NR -*New Radio*) u radio-pristupnoj mreži 5G sistema,
- konceptu masivne komunikacije mašinskog tipa (mMTC) i IoT-u,
- V2X komunikaciji,
- kritičnim misijama povezanim sa naslijeđenim sistemima,
- integracije WLAN-a iz nelicenciranih opsega,
- mrežnog segmentiranja (*slicing*), tj. logičkih mreža od kraja do kraja (*end-to-end*),
- arhitektura zasnovanih na sevisima (SBA - *Service Based Architecture*),
- daljih unapređenja LTE-a,
- sistema mobilnih komunikacija za željeznicu (FRMCS - *Mobile Communication System for Railways*).

Glavni fokus u okviru *Release* 16, koji predstavlja drugu fazu standardizacije 5G mreža, je stavljen na pouzdanost i izuzetno malo kašnjenje u 5G mrežama za kritične aplikacije i uključuje:

- poboljšanje ultra pouzdane (UR – *Ultra Reliable*) komunikacije sa malim kašnjenjem (URLLC – *Ultra Reliable Low Latency Communications*),
- podršku i evoluciju mobilnog IoT-a,
- naprednu V2X podršku,
- servise lokacije i pozicioniranja u 5G,

- optimizaciju signalizacije za korisničke terminale,
- omogućavanje arhitekture mrežne automatizacije za 5G,
- poboljšanje bežične i žične konvergencije,
- *streaming* i TV,
- potvrdu korisničkog identiteta, segmentiranje (*slicing)* za više uređaja (mreža).

Release 17, čije se specifikacije očekuju u drugoj polovini 2021. godine treba da omoguće poboljšanja za:
- URLLC za industrijski IoT preko NR-a,
- NR podršku preko nezemaljskih mreža,
- MIMO,
- Integrisani pristup i *backhaul* (IAB),
- Pozicioniranje MBS-a,
- NR *multicast* i servise emitovanja,
- RAN *slicing* za NR,
- NR *sidelink*,
- multi-RAT dualnu konektivnost,
- podršku multi-SIM uređajima za LTE/NR,
- NR prenos malih količina podataka u neaktivnom stanju i prioritetne multimedijalne servise.

Najviši autoritet na polju definisanja standarda u oblasti telekomunikacija ima Međunarodna unija za telekomunikacije (ITU). Preporuke u oblasti radiokomunikacija, a samim tim i u oblasti mobilnih komunikacija, označavaju se kao ITU-R. ITU-ova preporuka ITU-R M.2083 daje okvir i opšte ciljeve u vezi IMT-2020 i narednih standarda. IMT-2020 familija standarda definiše set specifikacija za 5G mobilne mreže, što obuhvata mnoštvo scenarija primjene (u raznim propagacionim okruženjima), servisne mogućnosti i tehnološka rješenja.

Ideja o 5G predstavljena je još 2012. godine kada je ITU-R pokrenuo program razvoja IMT-a za 2020. godinu i kasnije (*IMT-2020 and beyond*). ITU radna grupa 5D (WP5D - *ITU Working Party 5D*) radila je na očekivanom vremenskom planu za ITU okvir koji trasira put IMT-2020 standardu, uključujući analizu ključnih elemenata u vezi mreža pete generacije, u saradnji sa industrijom mobilnih širokopojasnih mreža i ostalim zainteresovanim stranama. Jedan od osnovnih rezultata rada navedene radne grupe je 5G vizija za mobilno širokopojasno povezano društvo iz 2015. god. Ova vizija se smatra temeljem za *World Radiocommunication Conference* (WRC) 2019 i prikazuje ITU IMT-2020 kategoriju zahtjeva u pogledu: maksimalne brzine prenosa podataka, maksimalne spektralne efikasnosti, korisničke brzine prenosa podataka, 5% korisničke spektralne efikasnosti, prosječne spektralne efikasnosti. kapaciteta saobraćaja, kašnjenja, gustine konektivnosti, energetske efikasnosti, pouzdanosti, mobilnosti, vremena prekida mobilnosti, širine propusnog opsega. Prikaz ITU IMT-2020 kategorija zahtjeva dat je na Slici 2.5. U Tabeli 2.2. je dat pregled specifičnih tehničkih zahtjeva, koji su postavljeni kao minimalni zahtjevi za IMT-2020.

Slika 2.5. Prikaz ITU IMT-2020 kategorija zahtjeva za 5G

Pored prethodno navedenih, zahtjevi u pogledu bezbjednosti predstavljaju preduslov za bilo koji uspješan komunikacioni sistem. Bezbjednost će ostati ključni izazov i za sve nove tehnologije. Ta konkretna problematika u kontekstu 5G sistema biće obrađena u okviru Glave 7 ove Studije.

Kao što je već rečeno, ključnu ulogu u procesu standardizacije 5G mreža imaju ITU i 3GPP, ali postoje i druge organizacije i udruženja, koje neposredno ili posredno, daju svoj doprinos standardizaciji 5G mreža, poput NGMN (*Next Generation Mobile Network*) alijanse, IETF-a (*Internet Engineering Task Force*) i 5G-PPP (5G *Infrastructure Public Private Partnership*) javno-privatnog partnerstva.

Jedno od udruženja koje se bavi zahtjevima koje trebaju da ispune 5G mreže i promocijom 5G mreža je NGMN alijansa. NGMN alijansa je forum koji čine 24 mobilna operatora i razne druge kompanije u ekosistemu mobilne industrije, uključujući dobavljače opreme telekomunikacionih mreža i korisničkih terminala, i istraživačke institute. Glavni cilj alijanse je da osigura uspješnu komercijalnu implementaciju postojećih i budućih mobilnih širokopojasnih mreža. NGMN je osnovana 2006. godine, od strane najvećih telekomunikacionih operatora i može se smatrati vrstom otvorenog foruma koji evaluira predložena tehnološka rješenja, da bi se došlo do zajedničke vizije za pravce razvoja aktuelnih i budućih bežičnih komunikacionih sistema.

Misija IETF-a je da omogući što bolje i efikasnije funkcionisanje Interneta, kreiranjem relevantnih tehničkih dokumenata visokog kvaliteta. IETF definiše set IPv4 i IPv6 protokola, koji su predstavljeni u više RFC (*Request*

for Comments) tehničkih dokumentata. Pored toga, IETF daje preporuke kako da se obavi prelaz sa IPv4 na IPv6 protokola. Za operatore mobilnih celularnih mreža, IETF pruža i uputstva kako da primijene i koriste IPv6 u svojim mrežama. Ovo je od posebnog značaja za 5G mreže, jer je adresni prostor IPv4 protokola već gotovo potpuno iscrpljen, a očekuje se da će u punoj fazi razvoja 5G mreža na njih biti povezano na desetine milijardi uređaja kojima će trebati dodijeliti jedinstveni mrežni identifikator, tj. IP adresu.

Tabela 2.2. Pregled postavljenih minimalnih tehničkih zahtjeva za IMT-2020.

Karakteristike	Zahtjevi	Komentari
Maksimalna brzina prenosa podataka	DL: 20Gb/s UL: 10Gb/s	Jedan mobilni eMBB u idealnim scenarijima (podrazumijeva se da su svi resursi iskorišćeni)
Maksimalna spektralna efikasnost	DL: 30b/s/Hz (podrazumijeva se 8 *stream*-ova); UL: 15b/s/Hz (podrazumijeva se 4 *stream*-a)	Jedan mobilni eMBB u idealnim scenarijima, podrazumijevajući da su svi resursi iskorišćeni
Brzina prenosa podataka (korisničko iskustvo)	DL: 100Mb/s UL: 50Mb/s	5% CDF-a od eMBB korisničke propusnosti
Kapacitet saobraćaja	*Indoor hotspot* DL: 10/Mb/s/m^2	eMBB
Kašnjenje na korisničkoj ravni	eMBB: 4ms URLLC: 1ms	Jedan korisnik za male IP pakete, za DL i UL (eMBB i URLLC)
Kašnjenje na kontolnoj ravni	20ms (razmatra se i do 10ms)	Tranzicija iz stanja mirovanja u aktivno stanje (eMBB i URLLC)
Gustina konektivnosti	1M uređaja/km^2	Za mMTC
Dostupnost	99.9999% vjerovatnoća uspjeha	32 L2 bajta unutar 1ms na ivici ćelije
Širina propusnog opsega	>100 MHz, do 1GHz za opsege iznad 6GHz	Dozvoljen CA

5G-PPP partnerstvo je pokrenuto od strane Evropske komisije, sa jedne strane, i industrije, telekomunikacionih operatora, servis provajdera, malih i srednjih preduzeća i istraživača, sa druge strane. Inicijativa 5G-PPP stimuliše razvoj zajedničke vizije za sljedeću generaciju komunikacione infrastrukture nakon 2020. godine, što uključuje akcije za podsticaj istraživanja o 5G mrežama radi poboljšanja konkurentnosti i inovacija, kako

bi se podstakao ekonomski rast i otvaranje novih radnih mjesta u drugim industrijskim sektorima.

Uzimajući u obzir da su već aktuelna istraživanja za sisteme nakon 5G (*beyond* 5G), javljaju se ideje o tome šta bi mogli biti zahtjevi za 6G. Nove aplikacije, kao što je holografija, mogu zahtijevati brzinu prenosa podataka reda Tb/s, što su za oko tri reda veličine veće brzine od brzine prenosa podataka koje se očekuju u okviru 5G mreža. Uz eksponencijalno povećanje i širenje IoT uređaja u budućnosti, neophodno je dodatno poboljšati povezivanje i pokrivenost 5G IoT-a. Trenutne mrežne konfiguracije/ optimizacije obično se ostvaruju manuelno, što neće biti pogodno u sve složenijim budućim mrežnim konfiguracijama. Očekuje se da će 6G pružiti odgovarajuća rješenja za prevazilaženje, između ostalog, i navedenih ograničenja. Konkretno, 6G treba da uključi tri glavna aspekta, a to su mobilna ultra-širokopojasna mreža (UMB - *Ultra Mobile Broadband*), super IoT i vještačka inteligencija (AI - *Artificial Intelligence*). Mobilni ultra širokopojasni pristup bi mogao osigurati prenos brzinama reda Tb/s. Super IoT može poboljšati mogućnost povezivanja i pokrivenost trenutnog IoT-a. Vještačka inteligencija može inteligentno konfigurisati/optimizovati bežičnu mrežu u budućnosti. Tačnije, THz komunikacija može se koristiti za podršku mobilne ultra-širokopojasne mreže, dok se simbiotski radio i satelitske komunikacije mogu koristiti za postizanje super IoT-a, a tehnike mašinskog učenja su obećavajući kandidati za vještačku inteligenciju.

Ipak, ovo su još uvijek samo ideje koje su predmet istraživanja, pri čemu standardizacija 6G sistema nije započeta.

2.3. 5G funkcionalnosti

Od 5G komunikacionih mreža očekuje se podrška sve izraženijim zahtjevima korisnika u pogledu prenosa velikih količina podataka, značajno većim brzinama u odnosu na aktuelne celularne mobilne komunikacione mreže. Trend porasta video saobraćaja, interesovanje za proširenu i virtuelnu realnost, UHD (*Ultrahigh Definition*) video *streaming*, uslovljava potrebu za brzinama prenosa podataka reda nekoliko Gb/s. Upravo će uvođenje 5G dovesti do kreiranja komunikacionog ambijenta u kome će se bežične mobilne mreže po svojim performansama približiti uslovima koji se trenutno ostvaruju u fiksnim mrežama zasnovanim na pristupu putem optičkih vlakana.

U principu, 5G mreže treba da omoguće:

- Poboljšani mobilni širokopojasni pristup (eMBB - *Enhanced Mobile Broadband*): Prva faza implementacije 5G mreža značiće prenos podataka do mobilnih uređaja značajno većim brzinama. Pametni terminali će moći da preuzimaju ili *stream*-uju HD sadržaje za nekoliko sekundi, mnogo brže pregledaju *web* stranice i *upload*-uju različite sadržaje;
- Ultra pouzdanu komunikaciju sa malim kašnjenjem (URLLC - *Ultra-Reliable Low-Latency Communications*): Podaci će se razmjenjivati sa

izuzetno malim kašnjenjenjem, što je od posebnog značaja za funkcionalno kritične aplikacije, kao što su one vezane za javnu bezbjednost. Ostali primjeri upotrebe uključuju: pametne fabrike, autonomnu vožnju, hirurgiju na daljinu ili medicinsku dijagnostiku i pametnu energetsku mrežu (*smart grid*);

- Upotrebu radio talasa milimetarskog opsega (*mmWave*): 5G će koristiti prednosti spektra (između 24GHz i 100GHz) sa kratkim talasnim dužinama. Na taj način se stvaraju uslovi za pouzdan prenos podataka velikom brzinom, što je od posebnoh značaja u gusto naseljenim urbanim sredinama;
- Masivni Internet stvari (IoT) - mMTC (*Masive Machine Type Communication*): Iako je razvoj platformi za komunikaciju između uređaja (mašina) intenziviran u poslednjih nekoliko godina, 5G tehnologija ima za cilj da obezbjedi komunikaciju između do sada nezamislivog broja uređaja i stvari. U cilju obezbjeđivanja povezivanja, održavanja i ukupnih troškova na razumnom nivou, 5G će povezati mreže senzora ugrađenih u pametne uređaje ostvarujući malo kašnjenje, dajući mogućnost prilagođavanja brzina prenosa podataka i angažovane energije, uz neograničenu mobilnost:
- Upotrebu masivnog MIMO-a: Implementacija MIMO sistema visokog reda značiće mrežnu arhitekturu koja će omogućiti značajno veći kapacitet, tj. veliki broj korisnika će moći da se povežu unutar istog područja bez smanjivanja brzine prenosa podataka.

Zahvaljujući unaprijeđenim funkcionalnostima, 5G mreže će imati čitav niz prednosti u odnosu na trenutno najnapredniji 4G standard:

- Veće brzine prenosa podataka, koje znatno premašuju najbržu širokopojasnu mrežu koja je trenutno dostupna korisnicima. Sa brzinama do 100Gb/s, 5G će biti i do 10 puta brži od 4G.
- Manje kašnjenje u prenosu. Komunikacija između baznih stanica i povezanih uređaja postaće pouzdanija jer će se kašnjenja u prenosu podataka desetostruko smanjiti u odnosu na 4G mreže, čime se stvaraju uslovi za podršku uređajima tipa autonomnih vozila.
- Bolju pokrivenost signalom i veći kapacitet. S obzirom da su 5G ćelije manje i kompaktnije, jednostavnije se instaliraju i zahtijevaju manju potrošnju energije od 4G makroćelija. Moći će da se poveže i do 100 puta više uređaja po kvadratnom kilometru nego što je to slučaj sa 4G mrežama.
- Veću fleksibilnost zahvaljujući mrežnom segmentiranju (*network slicing*). Bez obzira da li se 5G koristi za povezivanje uređaja i stvari ili samo za brzi video *streaming*, *network slicing* omogućava dodijeljivanje specifičnog opsega u zavisnosti od servisa. Tako se, za razliku od situacije u 4G mrežama, mogu dodijeliti do četiri kanala za različite korisničke scenarije u 5G mreži.

Bežične komunikacione mreže zasnovane na 5G standardu ne samo da će omogućiti navedene nove funkcionalnosti, već će eliminisati i neke od uobičajenih ograničenja i barijera koje već dolaze do izražaja kod korišćenja postojećih mreža (4G i starije). 5G će riješiti čitav niz problema koji već

godinama prate postojeće tehnologije, poput pikseliranih video poziva, dugog vremenskog bafera pri strimovanju sadržaja i kašnjenja između *upload*-ovanja i dijeljenja sadržaja.

Poboljšana bežična širokopojasna konektivnost putem 5G mreža omogućiće niz sekundarnih koristi za privredu, kao i komforniji život ljudi. Neke od oblasti u kojima se očekuje da će 5G sistemi igrati glavnu ulogu su: poljoprivreda, automobilska industrija, građevinska industrija, energetika, komunikacione usluge, finansije, zdravstvo, javna bezbjednost, mediji, trgovina, transport i slično.

U takvom ambijentu, aplikacije mašinskog tipa biće sve prisutnije, uporedo sa humanocentričnim komunikacijama koje su do sada bile dominantne. Procjenjuje se da je broj uređaja koje zahtijevaju međusobnu komunikaciju već reda 50 milijardi. Očekivani napredak bežičnih komunikacija mašinskog i humanocentričnog tipa u mnogim privrednim sektorima dovešće do velike i široke raznolikosti komunikacionih scenarija, uz različite zahtjeve u pogledu troškova, složenosti, potrebne energije, brzine prenosa podataka, kašnjenja, pouzdanosti i slično.

2.4. Arhitektura 5G mreže

Kada je riječ o arhitekturi 5G mreže, može se reći da je došlo do značajnog zaokreta u poređenju sa arhitekturama mreža prethodnih generacija. Mnogi novi koncepti su uvedeni, od kojih su najznačajniji virtuelizacija mreže i *computing* na ivici mreže, dok se radio interfejs nanovo definiše implementacijom naprednijih modulacionih tehnika i inteligentnih antenskih sistema sa više nizova antena. Ideja je da novi dizajn 5G radio interfejsa omogući mnogo više složenih korisničkih scenarija i uvećan kapacitet potreban za realizaciju masivne komunikacije mašinskog tipa, sa ultra malim kašnjenjem i značajno povećanom propusnošću podataka.

Arhitektura 5G mreže može se okarakterisati kao arhitektura zasnovana na servisima (*service based*). U pitanju je sposobnost mreže da, gdje god je to pogodno, predstavi elemente arhitekture kao mrežne funkcije (NF - *Network Functions*) koje nude svoje specijalizovane usluge putem interfejsa zajedničkog okvira, za sve mrežne funkcije kojima je dozvoljeno da koriste date servise. Posebnu ulogu u tome imaju funkcije mrežnog repozitorijuma (NRF - *Network Repository Functions*), jer omogućavaju svakoj mrežnoj funkciji da otkrije servise koje nude ostale mrežne funkcije. Ovaj model arhitekture ima velike prednosti u primjenama povezanim sa virtuelizacijom i softverskim tehnologijama. 5G mreže pružaju i mogućnost operatorima mobilne mreže (MNO - *Mobile Network Operators*) da primijene mrežno segmentiranje (NS - *Network Slicing*), kao posebnu tehnološku novinu. Naime, u 5G kontekstu, NS se odnosi na skup 3GPP definisanih karakteristika i funkcionalnosti koje formiraju kompletnu javnu mobilnu mrežu (PLMN - *Public Land Mobile Network*), koja pruža usluge skupu korisničke opreme (UE – *User Equipment*). Mrežno segmentiranje omogućava da se na kontrolisan način koristi potreban skup PLMN

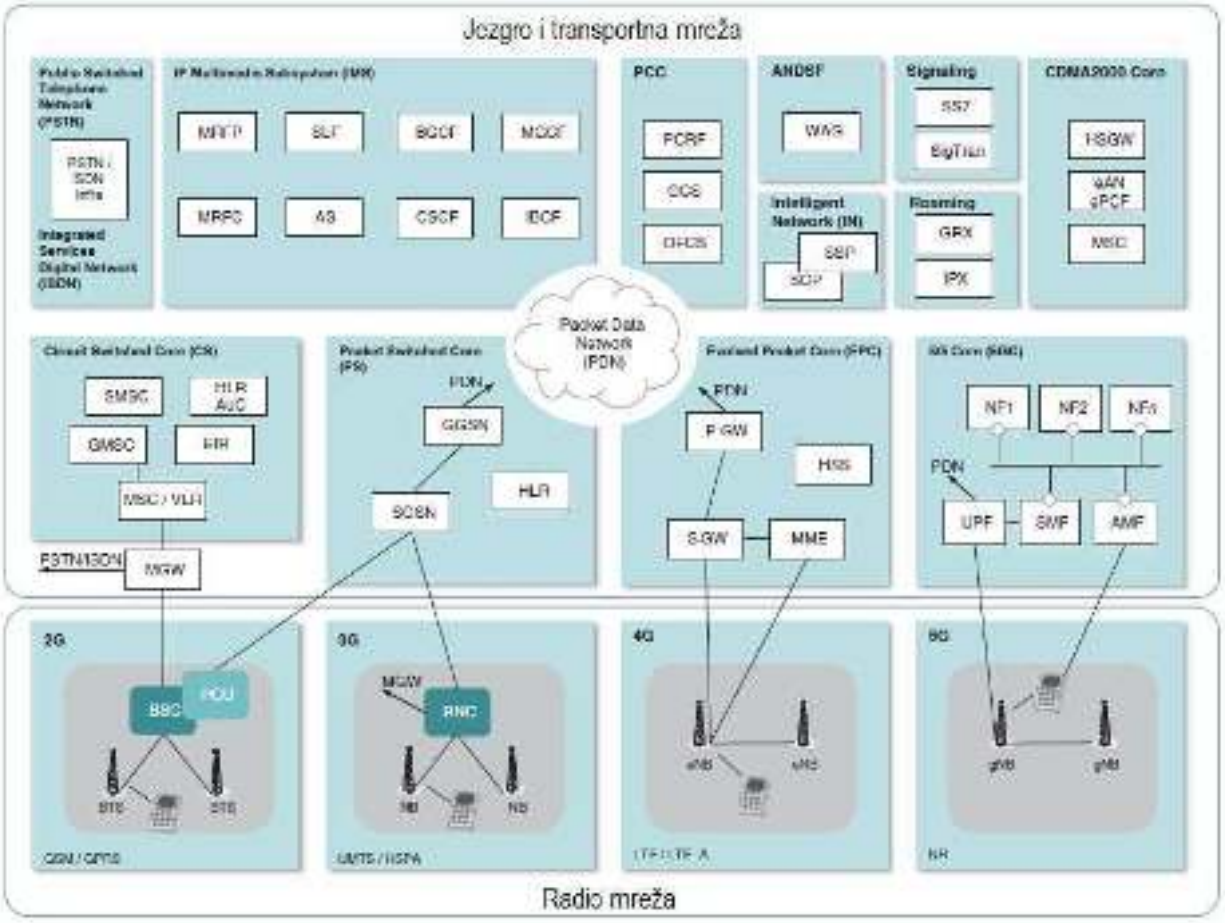
funkcionalnosti i usluga tako da se resursi mreže mogu optimizovati za svaki pojedinačni korisnički scenario. 5G sistemska arhitektura (SA - *System Architecture*) sadrži i novi model kvaliteta servisa (QoS - *Quality of Service*), koji omogućava da servisi u okviru mobilnih mreža pete generacije budu mnogo fleksibilniji u poređenju sa mrežama prethodnih generacija.

Još jedna prednost 5G sistema (5GS – 5G *Systems*) je uopšteni dizajn funkcionalnosti i unaprijed kompatibilni interfejs između pristupne mreže (AN – *Access Network*) i jezgra mreže, što omogućava zajedničkom 5G jezgru mreže (5GC - *Common 5G Core Network*) da funkcioniše sa različitim pristupnim mrežama. U prvoj fazi razvoja 5G mreža, kako je definisano u 3GPP *Release* 15, mreže za međusobno povezivanje koje je moguće koristiti zajedno sa 5G su 3GPP NG-RAN (*Next Generation Radio Access Network*), i 3GPP definisani *untrusted* WLAN (*Wireless Local Area Network*). Kao što je to već pokazano, i 5G mreže će imati svoj put evolucije, a *Release* 16 donosi više funkcionalnosti.

3GPP *Release* 15, kako ga definiše grupa za sistemsku arhitekturu (SA), opisuje 5G arhitekturu kroz skup karakteristika i funkcionalnosti koje su od suštinske važnosti za raspoređivanje operativnih 5G mreža na terenu. Relevantne tehničke specifikacije za kompletan opis su TS 23.501, TS 23.502 i TS 23.503. Pored ostalog, u okviru ovih specifikacija se opisuju eMBB prenos podataka, potvrda identiteta pretplatnika i servisa, autorizacija, podrška aplikacijama, uopšte i preko *computing*-a na ivici mreže, podrška za IP protokol multimedijalnih podsistema (IMS - *Internet Protocol Multimedia Subsystem*) sa hitnim i regulatornim službama, međusobno povezivanje sa 3GPP 4G mrežama i korisničkim servisima sa raznovrsnim pristupnim sistemima kao što su pristup fiksnoj mreži i lokalnoj računarskoj mreži (WLAN).

U nastavku ove Glave, polazeći od arhitekture mobilnih mreža prethodnih generacija, biće predstavljena 5G arhitektura u nekim od najrelevantnijih scenarija, kako u *roaming,* tako i u ne-*roaming* okruženju.

Šematski prikaz evolucije ključnih elementa arhitekture od 2G, preko 3G, do 4G mobilnih mreža i njihovih unapređenja, sa pripadajućim interfejsima, dat je na Slici 2.6. Na ovoj slici je data i osnovna arhitektura 5G mreže. U odnosu na 4G mreže, i radio pristupna 5G mreža i 5G jezgro mreže biće obogaćeni novim elementima i pripadajućim interfejsima, što će im omogućiti željene funkcionalnosti u cilju ostvarivanja zahtjeva koji su postavljeni pred 5G tehnologiju. Mogući su razni scenariji dodavanja 5G mrežnih elemenata u infrastrukturu prikazanu na Slici 2.6. 3GPP se bavio kako konačnom arhitekturom mreže, tako i planom evolucije arhitekture kojim se uvodi novi radio (NR - *New Radio*) i 5G jezgro u konačnu arhitekturu 5G mreže.



Slika 2.6. Sumarni prikaz ključnih elemenata u mobilnim radio mrežama

Kada je u pitanju arhitektura 5G radio pristupne mreže (RAN), u implementaciji 5G mreža moguće je primijeniti dvije paralelne verzije radio tehnologije, [17], i to:

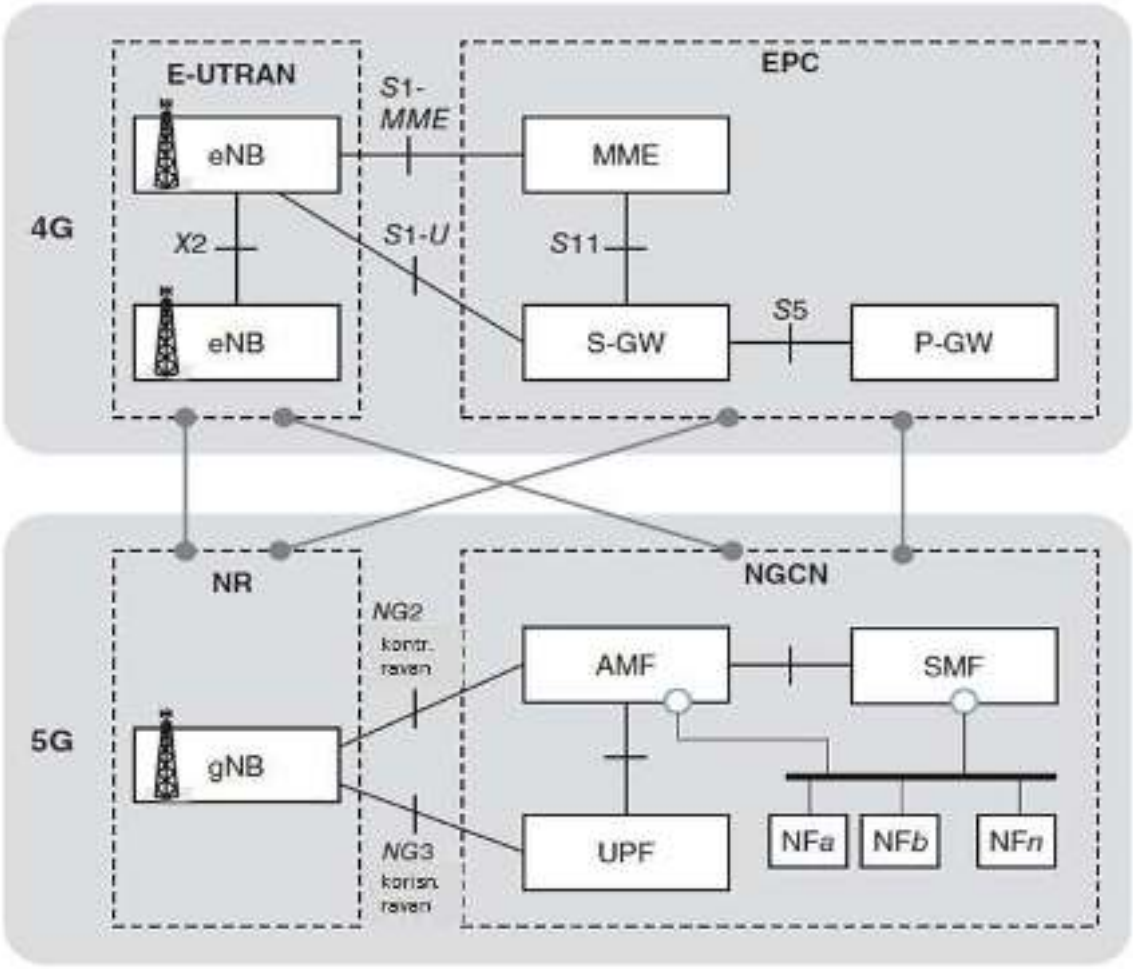
- unaprijeđeni LTE (eLTE - *evolved* LTE), kako je to definisano u 3GPP *Release* 15, u okviru 3GPP *System Architecture Group 2* (SA2) i
- novi radio (NR) pete generacije.

Takođe, kada je u pitanju arhitektura 5G jezgra mreže, moguće je primijeniti i dvije varijante jezgra u razvoju 5G sistema (5GS), [17], i to:

- EPC (*Evolved Packet Core*), kako je to definisano u 4G SAE (*System Architecture Evolution*) tehničkoj specifikaciji 3GPP-a i
- narednu generaciju jezgra mreže (NGCN - *Next Generation Core Network*).

Scenariji koji predstavljaju samostalnu LTE/EPC i samostalnu NR/NGCN arhitekturu su prikazani na Slici 2.7. Na ovoj slici su prikazani neki od najvažnijih novih 5G specifičnih elemenata:

- AMF (*Access and Mobility Management Function*), koji se odnosi na funkciju pristupa i upravljanja mobilnošću,
- UPF (*User Plane Function*), koji se odnosi na funkciju korisničke ravni,
- SMF (*Session Management Function*), koji se odnosi na funkciju upravljanja sesijama i
- NF (*Network Function*), koji se odnosi na mrežne funkcije.



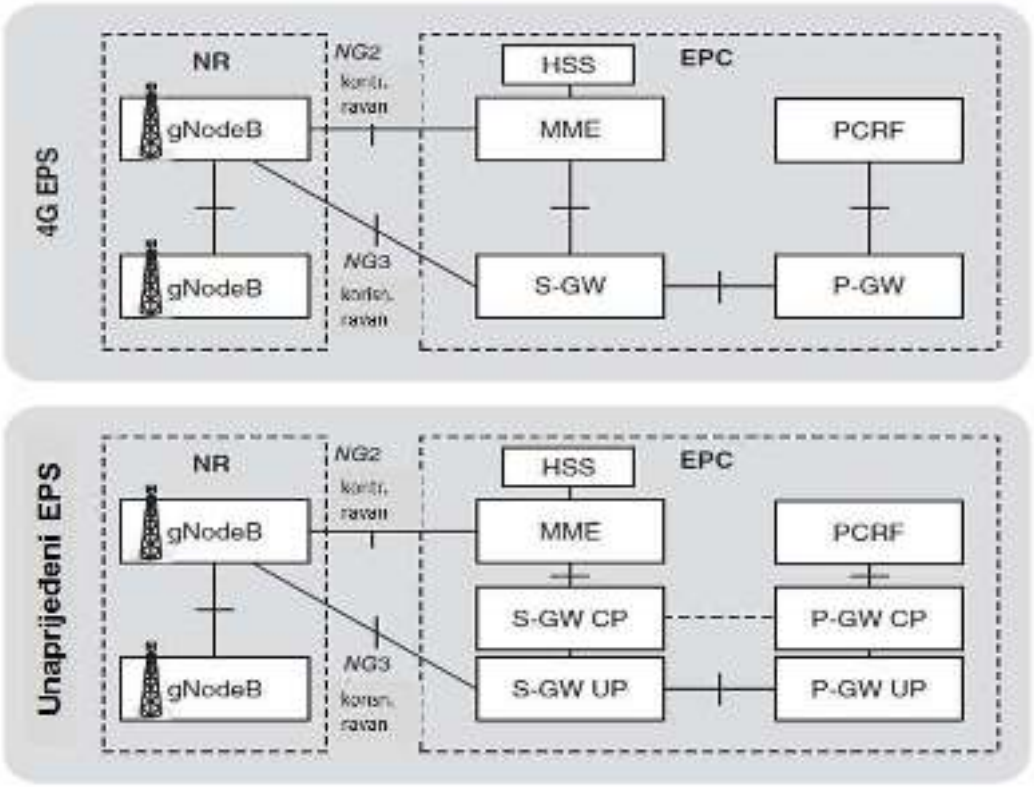
Slika 2.7. Principske arhitekture LTE/EPC i 5G NR/NGCN

Kako je za očekivati da će operatori mobilnih komunikacionih mreža razvoj 5G mreža započeti oslanjanjem na 4G infrastrukturu i na unaprijeđenu 4G EPC podršku, funkcije S-GW (*Serving Gateway*) i P-GW (*Proxy Gateway*) će biti podjeljene na dva dijela: korisničku ravan (UP - *User Plane*) i kontrolnu ravan (CP – *Control Plane*), u skladu sa 3GPP *Release* 14, što je prikazano na Slici 2.8.

Na početku primjene prvih 5G servisa, postojaće samo mali broj terminala koji podržavaju 5G, a i pokrivenost NR-om biće ograničena, pa će postepeno uspostavljanje 5G radio pokrivenosti podrazumijevati da su NR elementi povezani direktno sa LTE radio elementima, kao što je prikazano na Slici 2.7. Druga opcija je da se obezbijede oba interfejsa NR-LTE i NR-EPC, za oslanjanje na osnovnu 4G infrastrukturu, bilo putem LTE radija, bilo povezivanjem 5G NR direktno na 4G EPC.

Filozofija funkcionisanja mobilne mreže pete generacije se prilično razlikuje od prethodnih generacija zbog virtuelizacije mrežnih funkcija. Ta činjenica dovodi do novih, optimizovanijih načina za dinamičko korišćenje resursa po potrebi, putem mrežnog segmentiranja (*network slicing*). Mrežni segment (*slice*) odnosi se na logičku mrežu koja pruža određene mrežne mogućnosti i karakteristike mreže. Operator mobilne mreže može imati nekoliko ovakvih

mrežnih segmenata koji se mogu konfigurisati i optimizovati za specifične slučajeve primjene i specifične tipove okruženja, kao što su širokopojasne komunikacije, kritične komunikacije i masivni IoT (mIoT - *Massive Internet of Things*). Isto tako, osnovni parametri svakog segmenta mogu se prilagoditi odvojeno, uključujući i nivo bezbjednosti.



Slika 2.8. Arhitektura za početno uspostavljanje 5G servisa daljim razvojem 4G mreža

Tehničke specifikacije u okviru 3GPP *Release* 15 uključuju koncept nesamostalne NSA (*Non-Standalone*) arhitekture, koja će biti opcija i za dualno povezivanje (DC - *Dual Connectivity*) korisničke opreme. Sam DC ne predstavlja nov koncept, pošto je predstavljen u LTE 3GPP *Release* 12, gdje omogućava pružanje usluga različitim operatorima preko istog NodeB, odnosno eNB. Dualna konektivnost u 5G arhitekturi omogućava povezivanje različitim *backhaul* linkovima, bilo da se odnose na odvojene eNB elemente ili na kombinovane eNB i 5G NodeB (gNB) elemente.

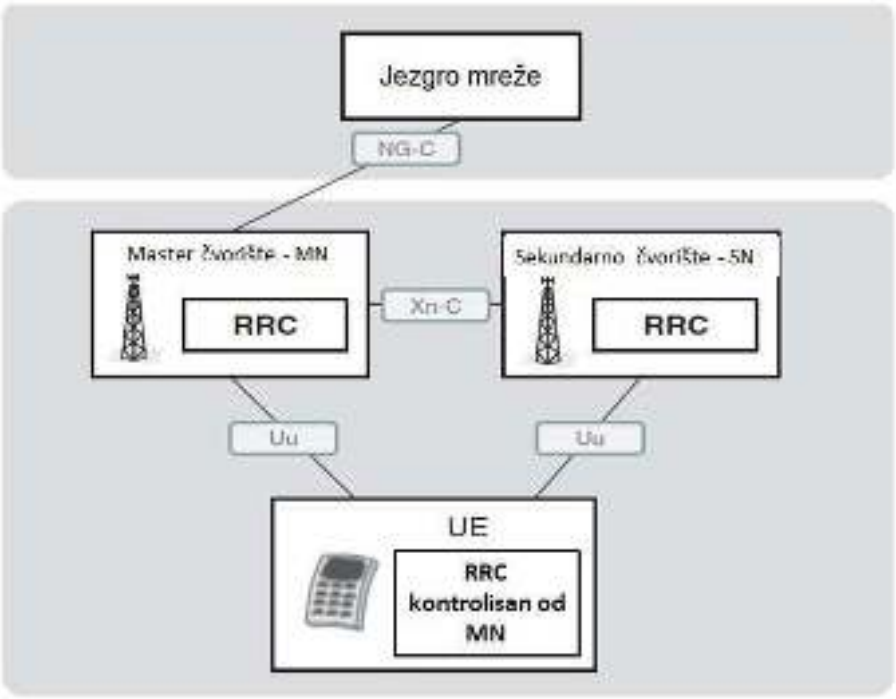
Dualna konektivnost, kako je prikazano na Slici 2.9, odnosi se na uređaj koji je istovremeno povezan sa više NG-RAN čvorišta, čime se formira dualna konektivnost više radio-tehnologija (MR-DC – *Multi Radio Access Technology – Dual Connectivity*) sa 5G jezgrom mreže, kako je to definisano u 3GPP TS 37.340, [18].

Dva su moguća scenarija za dualnu konektivnost:

- NGEN-DC (*Next Generation Radio Access Network Evolved Universal Terrestrial Radio Access-New Radio Dual Connectivity*), gdje je uređaj povezan sa ng-eNB (*evolved NodeB*) sljedeće generacije, koji

preuzima ulogu master čvorište (MN – *Master Node*) i gNB-a, koji djeluje kao sekundarno čvorište (SN - *Secondary Node*). Ng-eNB povezuje se sa 5G jezgrom, dok se gNB povezuje sa ng-eNB preko Xn interfejsa;

- NE-DC (*New Radio-Evolved Universal Terrestrial Radio Access Dual Connectivity*), gdje se uređaj povezuje sa gNB, koji preuzima ulogu MN, a ng-eNB postaje SN. Zatim, gNB se povezuje sa 5G jezgrom, a ng-eNB se povezuje sa gNB preko Xn interfejsa.



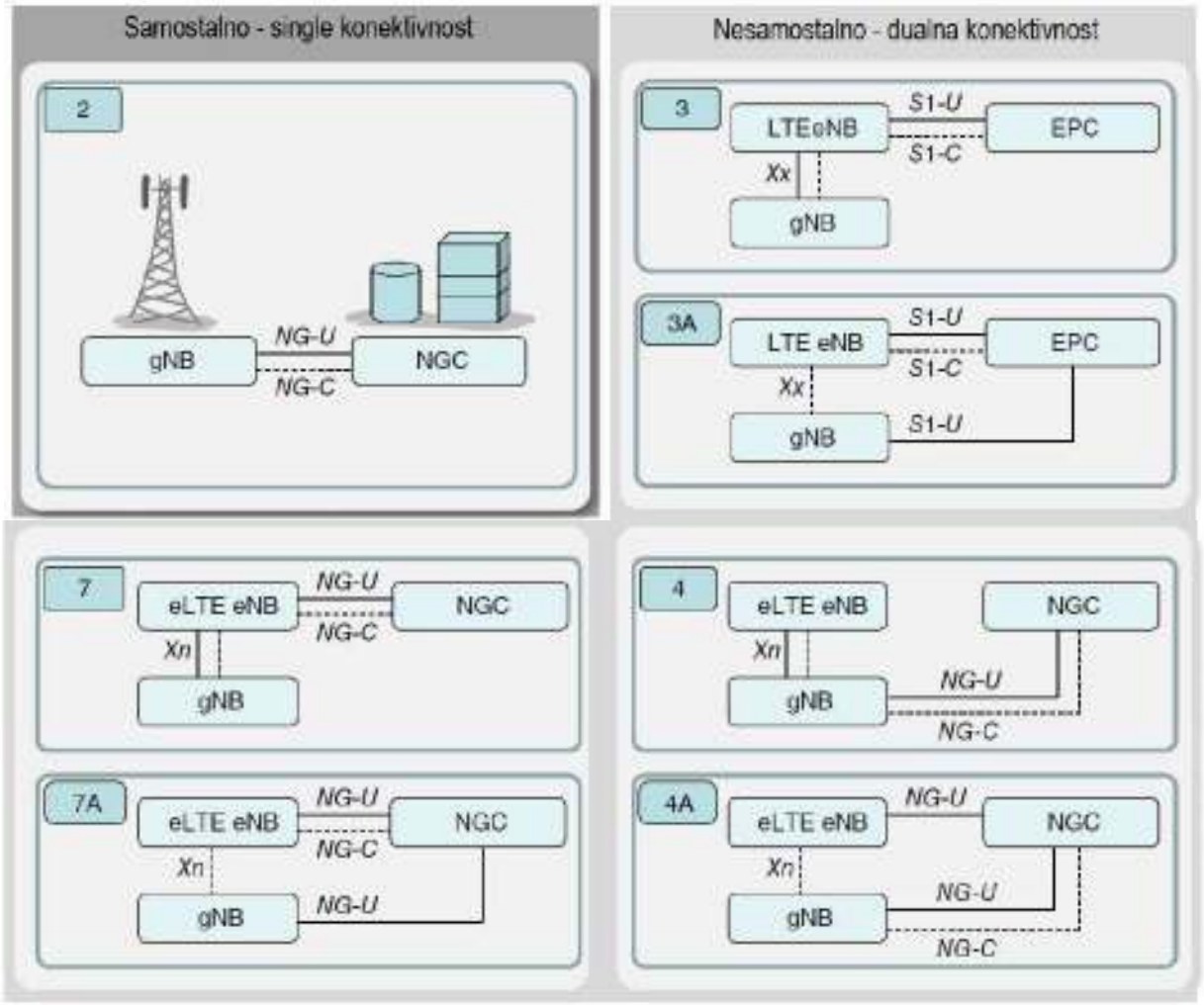
Slika 2.9. Prikaz dualne konektivnosti u 5G mreži

Za efikasno uvođenje 5G servisa, 3GPP je dizajnirao fazni pristup. To znači da 5G operatori mogu odabrati optimalnu mrežnu strategiju, uključujući i ostvarivanje potpunih 5G servisa, koja se zasniva na dostupnosti opreme i daljem razvoju 5G tehničkih specifikacija, od *Release* 15, koji se naziva i prva faza 5G, do *Release* 16, koji predstavlja drugu fazu 5G.

Na Slici 2.10 prikazane su neke konkretne opcije implementacije 5G mreža. Terminološki 4G samostalni scenario označen je kao opcija 1 (i kao takav nije prikazan na slici), a 5G samostalni scenario (SA - S*tand Alone*) kao opcija 2. Slika 2.10 prikazuje sljedeće mogućnosti za potpuno samostalnu 5G mrežu:

- Opcija 3 - nestandardni scenario za početnu fazu primjene 5G (5G terminal se oslanja i na LTE i na NR radio mrežu, ali samo na 4G jezgro);
- Opcija 4 - evolucija 5G mreže može dovesti do međukoraka nesamostalne NR bazirane arhitekture, koja se oslanja na 5G jezgro;
- Opcija 5 - LTE *Release* 15, može služiti daljem razvoju LTE-*Pro* terminala, dok prvi NR serveri opslužuju odvojeno 5G terminale (ova opcija je manjeg prioriteta i nije prikazana na slici);

- Opcija 6 - 5G terminal može se povezati preko 4G ili 5G radio mreže, dok je 5G jezgro zaduženo za konektivnost. Ova opcija omogućava korisnicima sa najširim opcijama da u potpunosti iskoriste funkcionalnosti 5G, uz i dalje kompatibilnost sa 4G. U ovom scenariju 4G bi bio odgovoran za veći dio signalizacije dok 5G prenosi podatke. Ova opcija se može uporediti sa principom agregacije nosilaca i manjeg prioriteta, pa nije prikzana na slici;
- Opcija 7 - 4G jezgro može podržati i 4G i 5G terminale u prelaznoj fazi.



Slika 2.10. Konkretne opcije implementacije 5G

Od svih navedenih opcija, one ilustrovane na Slici 2.10 su odabrane kao prioritetne varijante implementacije.

Detalji o izabranim opcijama definisani su u 3GPP TS 38.300. Oznaka ng-eNB se odnosi na čvorište koji pruža E-UTRA (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access*) pristup korisničkoj ravni, a kontrolnoj ravni završetak protokola prema UE, i povezan je preko NG interfejsa na 5G jezgro mreže. Čvorište gNB pruža NR pristup korisničkoj ravni, a kontrolnoj ravni zvršetak protokola prema UE, i povezan je preko NG interfejsa sa 5G jezgrom (5GC).

NR arhitektura i odgovarajući interfejsi definisani su u 3GPP TS 38.401. Jedna od osnovnih razlika 5G arhitekture u odnosu na arhitekture prethodnih generacija mobilnih komunikacionih sistema, jeste logičko razdvajanje mreža za signalizaciju i prenos podataka. Pored primjene u samoj 5G infrastrukturi, ovo razdvajanje signalizacije i korisničkih podataka se može proširiti tako da pokriva 5G i pristupne mreže prethodnih generacija. Tako bi korisnički podaci mogli da se prenose kroz 5G radio mrežu, dok bi signalizacioni podaci bili preusmjereni i prenošeni preko 4G radio-pristupne mreže. Ova funkcionalnost se može shvatiti kao proširenje tehnike agregacije nosilaca.

Još jedan važan aspekt 5G arhitekture je potpuna odvojenost 5G RAN i 5G osnovnih mrežnih funkcija od transportnih funkcija. Na taj način, šeme adresiranja 5G RAN-a i 5G jezgra mreže nijesu vezane za šeme adresiranja transportnih funkcija. To znači da NG-RAN pomoću RRC (*Radio Resource Control*) funkcionalnosti u potpunosti kontroliše mobilnost konekcije. NG-RAN interfejsi su zasnovani na logičkom modelu entiteta, pri čemu jedan fizički mrežni element može da implementira više logičkih čvorišta.

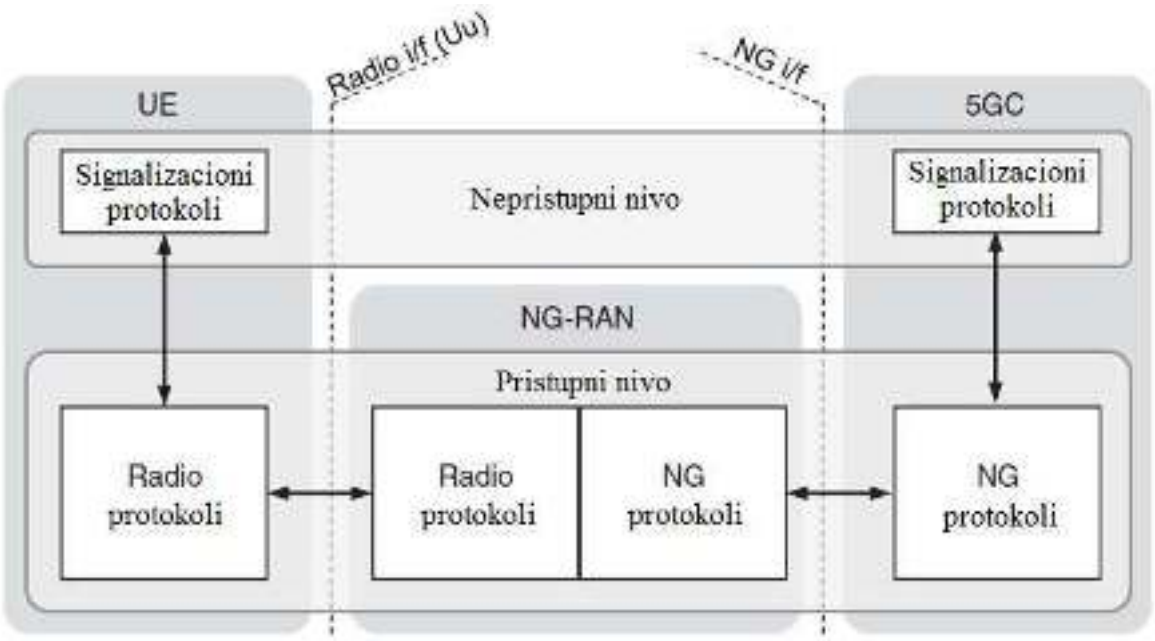
Navedena podjela prenosa korisničkih podataka i signalizacionog saobraćaja znači da radio interfejs (Uu) i NG (*Next Generation*) interfejsi uključuju protokole korisničke (NG-U) i kontrolne ravni (NG-C). Protokoli korisničke ravni implementiraju usluge sesije jedinice za paketski prenos podataka (PDU) koja prenosi korisničke podatke putem pristupnog sloja (AS - *Access Stratum*), dok protokoli kontrolne ravni kontrolišu PDU sesije i veze između UE i mreže, kao što su zahtjevi za servis, kontrolu prenosnih resursa i *handover*.

Korisnički nivo 5G mreže dizajniran je za prenos podataka putem servisa PDU sesije resursa, sa jedne pristupne tačke servisa (SAS - *Service Access Point*) na drugu. Principska *high level* arhitektura 5G NG i Uu korisničke ravni prikazana je na Slici 2.11, [19]. Odgovarajući RAN i protokoli jezgra mreže pružaju servis PDU sesije. 5G radio protokoli su definisani u 3GPP TS 38.2xx i 38.3xx serijama, dok se 5G protokoli jezgra nalaze u TS 38.41x serijama 3GPP specifikacija.

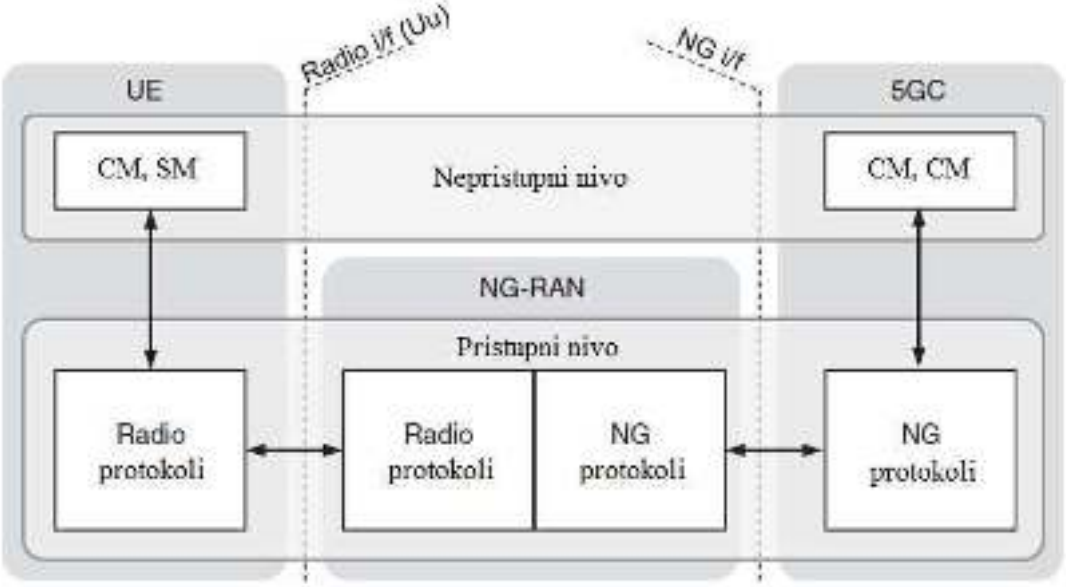
High level arhitektura kontrolne ravni za Uu i NG, odnosno princip podjele *stack*-ova protokola signalizacije 5G radio-pristupne mreže i mrežnog jezgra, prikazana je na Slici 2.12. Za kontrolnu ravan, protokoli su definisani u istoj seriji tehničkih specifikacija kao i za korisničku ravan. Radio i NG protokoli sadrže mehanizam za transparentno prenošenje poruke od ne-pristupnog nivoa (NAS - *Non-Access Stratum*). Primjeri protokola kontrolne ravni prikazani su na Slici 2.12, pri čemu se oznaka CM (*Connection Management*) odnosi na upravljanje konektivnosti, a oznaka SM (*Session Management*) upravljanje sesijama.

Arhitektura 5G mreže može se prikazati na dva načina: predstavljanjem putem referentne tačke ili predstavljanjem preko interfejsa zasnovanog na servisu. Arhitektura i interfejsi 3GPP 5G mreže u tradicionalnom formatu

referentnih tačaka prikazana je na Slici 2.13, gdje je sa 5GC označeno 5G jezgro mreže, dok je sa NG-RAN označena radio-pristupna mreža nove generacije.



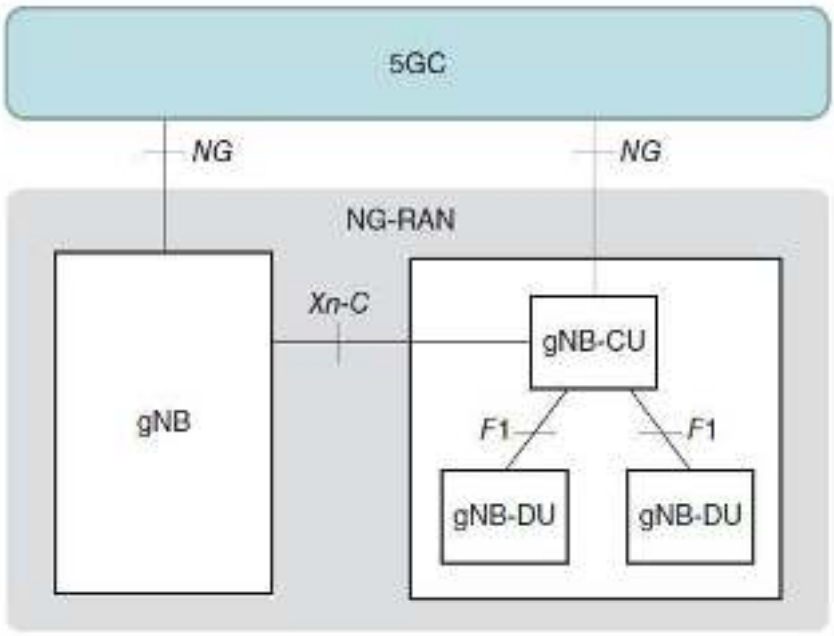
Slika 2.11. Principska high level arhitektura 5G NG i Uu korisničke ravni



Slika 2.12. High level arhitektura kontrolne ravani za Uu i NG

Logički interfejsi 5G arhitekture označeni su sa NG, Xn i F1.

U arhitekturi prikazanoj na Slici 2.13, 5G jezgro obuhvata isti tip mrežnih elemenata kao LTE EPC prije definisanja *Release* 15 specifikacija: entitet za upravljanje mobilnošću (MME - *Mobility Management Entity*), S-GW, P-GW i prateće elemente, kao što su *policy* pravila dodata od različitih funkcionalnih 5G elemenata.



Slika 2.13. 5G arhitektura u tradicionalnom formatu referentnih tačaka

U radio-pristupnom dijelu 5G sistema, elementi bazne stanice se nazivaju gNB, ili NodeB sljedeće generacije. NG interfejs međusobno povezuje gNB elemente, koji se nalaze u sklopu NG-RAN-a, sa 5G jezgrom mreže. Xn mrežni interfejs se koristi između NG-RAN čvorišta.

U 5G mreži, gNB elementi mogu podržati FDD i TDD tip dupleksa, kao i dualni režim rada. Elementi gNB su međusobno povezani preko Xn-C interfejsa.

NG-RAN je definisan preko slojeva radio mreže (RNL - *Radio Network Layer*) i transportne mreže (TNL - *Transport Network Layer*). NG-RAN interfejsi su definisani kao dio RNL-a, dok TNL omogućava prenos signalizacije i usluge prenosa podataka korisničkoj ravni.

Svaki gNB se može sastojati od jedne 5G NodeB centralizovane jedinice (gNB-CU - *5G NodeB-Centralized Unit*) i skupa 5G NodeB distribuiranih jedinica (gNB-DU - *5G NodeB-Distributed Units*). Veza unutar gNB-a, između gNB-CU i gNB-DU, odvija se preko F1 interfejsa, bilo da je jedan gNB-DU povezan samo sa jednim gNB-CU ili, u zavisnosti od primjene, da pojedinačni gNB-DU mogu biti povezani sa više gNB-CU elemenata. Veze od drugih gNB elementa ka datom gNB elementu i od 5GC se uvijek završavaju na gNB-CU elementu.

Potpun opis navedenih interfejsa može se pronaći u sljedećim specifikacijama:

- 3GPP TS 38.410, koja definiše NG interfejs,
- 3GPP TS 38.420, koja definiše Xn interfejs,
- 3GPP TS 38.470, koja definiše F1 interfejs.

U slučaju EN-DC (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access - New Radio Dual Connectivity*), S1-U i X2-C interfejsi ka gNB-u, koji ima elemente gNB-CU i gNB-DU, završavaju se na elementu gNB-CU. Ipak, skup gNB-CU i jedan ili više gNB-DU elemenata po jednom gNB-u, vidljivi su drugim gNB-ima i 5G jezgru mreže kao gNB. Nadalje, svaki gNB je povezan sa svim AMF elementima unutar AMF regije u NG-*Flex* konfiguraciji. AMF region je definisan u 3GPP TS 23.501, [20]. Sastoji se od jednog ili više AMF setova. AMF set se sastoji od AMF elemenata koji opslužuju dato područje i mrežne segmente. Višestruki AMF setovi mogu biti definisani po AMF regionu ili mrežnom segmentu/segmentima.

Funkcije izvornog 5G gNB-a i unaprijeđenog 4G ng-eNB-a, koje podržavaju povezivanje sa 5G sistemima su definisane u 3GPP TS 38.300. Oba elementa hostuju i sljedeće funkcije:

- kompresiju zaglavlja Internet protokola, šifrovanje podataka i zaštitu integriteta,
- izbor AMF-a tokom postupka konektovanja za UE, u onom slučaju kada se na osnovu informacija koje pruža UE rutiranje do AMF-a ne može odrediti,
- rutiranje podataka korisničke ravni prema UPF-u i informacija kontrolne ravni prema AMF-u,
- uspostavljanje i oslobađanje konekcije,
- *scheduling*-a i prenos *paging* poruka i sistemskih *broadcast* informacija od AMF-a ili O&M-a,
- mjerenja i odgovarajuće konfiguracije izvještavanja, koje će se koristiti za zadatke povezane sa mobilnošću i *scheduling*-om,
- označavanje paketa na *uplink*-u, na transportnom nivou,
- upravljanja kvalitetom servisa i mapiranjem nosioca podataka (DRB - *Data Radio Bearers*),
- podrške uređajima u RRC_INACTIVE stanju,
- distribucije NAS poruka,
- RAN segmentiranja,
- dualne konektivnosti,
- međusobnog povezivanja između NR i E-UTRA,
- upravljanja radio resursima (RRM - *Radio Resource Management*),
- RRM, koja uključuje radio *bearer* i kontrolu dozvole, kontrolu mobilnosti, kao i *scheduling*, koji se odnosi na dinamičko dodjeljivanje *uplink* i *downlink* resursa za uređaje.

U potpunoj 5G arhitekturi izdvajaju se dva podsistema: RAN zasnovan na NR interfejsu i NGCN sa novim mrežnim elementima. Pristup 5G mreži se takođe može odvijati putem mreže koja nije 3GPP pristupna mreža. Pojam pristupna mreža (AN – *Access Network*) se tako odnosi na opštu radio baznu stanicu, uključujući pristup koji nije 3GPP, kao što je Wi-Fi.

Korisničku opremu (UE) čine mobilni terminal (MT) i *tamper-resistant* zaštitni element (SE - *Secure Element*), koji može biti u tradicionalnoj formi UICC-a (*Universal Integrated Circuit Card*), koja je poznata kao SIM

(*Subscriber Identity Module*) kartica, ili u unaprijeđenoj eUICC (*Embedded Universal Integrated Circuit Card*) varijanti.

Pored opisanih elemenata, arhitekturu 5G sistema (5GS) čini i skup mrežnih funkcija (NF), od kojih svaka ima svoj definisani zadatak, odnosno funkcionalnost, i svoj interfejs. Svaka NF može biti ostvarena kao namjenski hardver koji formira mrežni element ili kao softverska instanca koja se oslanjaja na hardver. Takođe, NF se može primijeniti i kao virtuelizovana funkcija instalirana na relevantnoj platformi, na primjer u *cloud* infrastrukturi. 3GPP TS 23.501 prikazuje funkcionalni opis mrežnih funkcija koje su navedene u Tabeli 2.3, [21].

Interakcija između funkcija 5G mreže može se predstaviti na dva načina: preko tradicionalnog modela referentne tačke ili preko modela zasnovanog na servisu. Prvi model prikazuje interakciju između servisa u mrežnim funkcijama. Drugi model se odnosi na mrežne funkcije unutar kontrolne ravni koje omogućavaju drugim mrežnim funkcijama pristup njihovim uslugama.

Iz opisa NF funkcija koji je dat u Tabeli 2.3 može se uočiti da neki od funkcionalnih elemenata predstavljaju veliku promjenu u odnosu na LTE, dok su drugi samo blaža evolucija ostvarena dodavanjem performansi i funkcionalnosti za podršku novoj mreži. Najznačajnije promjene su povezane sa elementima S-GW i P-GW, koji se označavaju kao S/P-GW u kolociranom obliku. S/P-GW je podijeljen na korisničku ravan putem UPF-a i na kontrolnu ravan preko SMF-a. Isto tako, evolucija AAA-HSS (*Authentication, Authorization and Accounting-Home Subscription Server*) rezultira obnovljenim AUSF-UDM (*Authentication Server Function-Unified Data Management*), a čuvanje podataka obavljaju SDSF (*Structured Data Storage Network Function*) i UDR (*Unified Data Repository*), Slika 2.14.

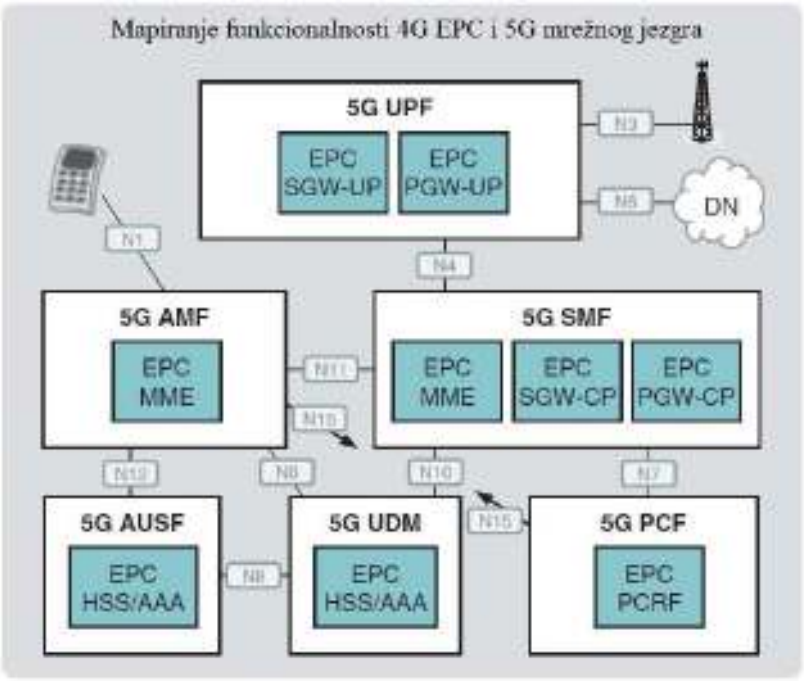
Velika razlika između mobilne mreže pete generacije i mobilnih mreža prethodnih generacija je u tome što 5G arhitektura može biti zasnovana na servisu. To se odnosi na mogućnost definisanja elemenata kao mrežnih funkcija, koje svoje posebno dizajnirane servise putem zajedničkog okvirnog interfejsa nude bilo kojoj drugoj mrežnoj funkciji ako imaju dozvolu da se oslanjaju na odgovarajuće ponuđene servise. Tako, kao u 4G EPC, postoje definisani protokoli i referentne tačke za svaki entitet, poput S-GW, P-GW i MME, dok su u 5G ovi protokoli i referentne tačke definisani za sve dostupne mrežne segmente (NS).

Da bi se utvrdilo da li dati NS ima određena prava, definisani su protokoli koji omogućavaju mrežnim funkcijama da otkriju servise koje nude druge mrežne funkcije. Model zasnovan na servisu pruža visoko modularni pristup, koji omogućava mobilnim mrežnim operatorima da postepeno primijene 5G, imajući koristi od najnovijih dostignuća koncepta virtuelizacije. Arhitektura zasnovana na servisu sadrži mrežne funkcije jezgra međusobno povezane sa ostatkom sistema. Na Slici 2.15 predstavljen je model prikazivanja arhitekture zasnovane na servisu, u kombinaciji sa arhitekturom

zasnovanom na referentnim tačkama. Prikazuje se interakcija između mrežnih funkcija radi integrisanja funkcionalnosti na nivou sistema, kao i inter-PLMN međusobno povezivanje putem različitih mrežnih funkcija.

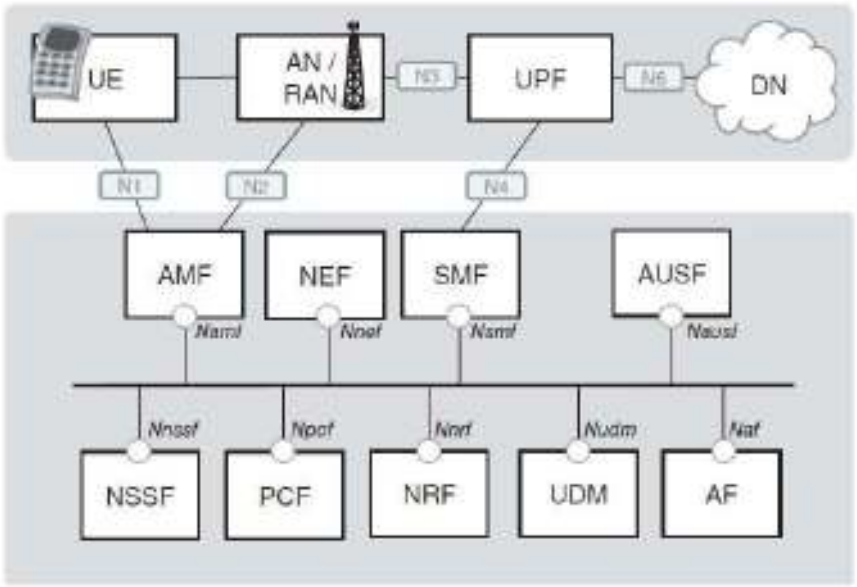
Tabela 2.3 - Mrežne funkcije i elementi 3GPP 5G sistema

NF	Opis	Mapiranje sa 4G
5G-EIR	Registar opreme *Equipment identity register*	Evolucija LTE EIR
AF	Aplikativna funkcija *Application function*	Nivo aplikacije 5G-a, uporedivo sa LTE AS i gsmSCF
AMF	Funkcija upravljanja pristupnom mobilnošću *Access and mobility management function*	Zamjenjuje LTE MME
AUSF	Funkcija autentifikacije servera *Authentication server function*	Zamjenjuje LTE MME/AAA
NEF	Funkcija izloženosti mreže *Network exposure function*	Evolucija SCEF i API (*application programming interfaces*) nivoa
NRF	Funkcija NF repositorijuma *NF repository function*	Dio evolucije DNS-a
NSSF	Funkcija selekcije mrežnog segmenta *Network slice selection function*	Nova funkcija za 5G-specifični koncept mrežnog segmentiranja
PCF	*Policy* kontrolna funkcija *Policy control function*	Evolucija LTE PCRF (*Policy and Charging Enforcement Function*)
SEPP	*Security edge protection proxy*	Novi element za bezbjednu međupovezanost 5G mreža
SMF	Funkcija upravljanja sesijom *Session management function*	Zamjenjuje 5G UPF LTE S-GW i P-GW
UDM	*Unified data management*	Evolucija HSS i UDR
UDR	*Unified data repository*	Evolucija LTE SDS (*Structured Data Storage*)
UDSF	*Unstructured data storage function*	Funkcija uporediva sa LTE SDSF (*Structured Data Storage Network Function*)
UPF	Funkcija korisničke ravni *User plane function*	Zamjenjuje SMF LTE S-GW i P-GW

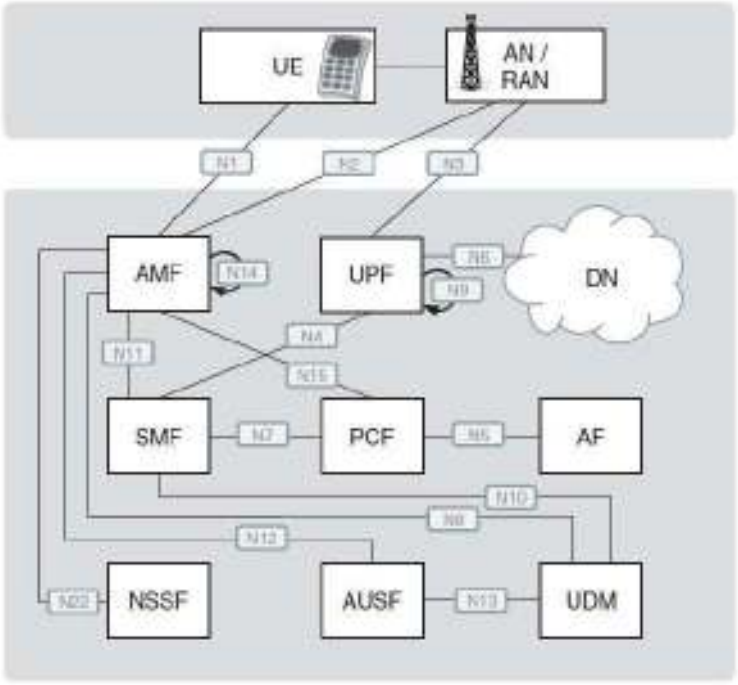


Slika 2.14. Poređenje funkcionalnih elemenata 4G i 5G
(na slici su EPC elementi prikazani samo radi ukazivanja na sličnosti sa odgovarajućim 5G elementima, pri čemu to nije stvarna arhitektura međusobnog povezivanja)

Kao što je već rečeno, na Slici 2.15 je prikazana referentna arhitektura 5G mreže zasnovana na servisu (*service-based*). Alternativni format mrežne arhitekture bez *roaming-a,* zasnovane na predstavljanju putem referentne tačke, prikazan je na Slici 2.16. Pored već predstavljenih elemenata, potpuna arhitektura sadrži i ostale mrežne funkcije navedene u Tabeli 2.3. Sve predstavljene mrežne funkcije su sposobne za interakciju sa UDSF (*Unstructured Data Storage Function*), UDR (*Unified Data Repository*), NEF (*Network Exposure Function*) i NRF (*NF Repository Function*) kada je to potrebno, [22].



Slika 2.15. Arhitektura 5G sistema bez roaminga zasnovana na servisu



Slika 2.16. Alternativni format arhitekture 5G sistema bez roaming-a zasnovan na predstavljanju putem referentne tačke

Elementi predstavljeni na Slici 2.16 su sljedeći:

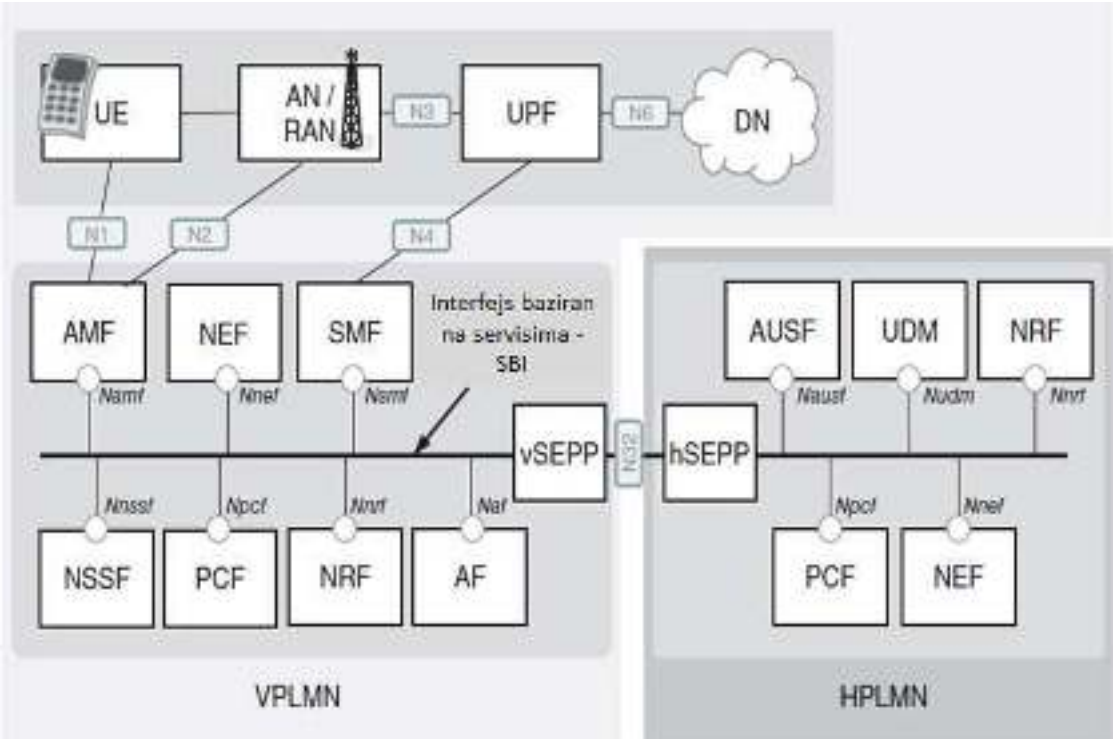
- UE - predstavlja korisnički uređaj poput pametnog telefona ili IoT uređaja. Sadrži uređaj (HW i SW) i *tamper-resistant* element, kao što je UICC;
- AN/RAN - 5G NR pristupna mreža ili druga pristupna mreža, uključujući Wi-Fi pristup;
- UPF - funkcija korisničke ravni. UPF obezbjeđuje komunikaciju između 5G mreže i eksterne mreže, koja podržava funkciju PDU *Session Anchor*. Njegova uloga je da djeluje kao spoljna PDU tačka sesije interkonekcije. Tehničkim specifikacijama u okviru 3GPP *Release* 15 nije predviđeno da UPF pruža bilo koje servise, ali može koristiti servise od 5GC NF upravljačke ravni. UPF servisno područje odnosi se na područje unutar kojeg PDU sesiju povezanu sa UPF-om mogu opsluživati AN i RAN čvorišta preko N3 interfejsa između pristupne mreže i UPF-a, bez potrebe za dodavanjem novih UPF-ova. Klasifikator *uplink*-a (UL-CL - *Uplink Classifier*) je UPF funkcionalnost koja ima za cilj preusmjeravanje *uplink* saobraćaja, na osnovu predviđenih pravila SMF filtera prema mreži za prenos podataka. Jedan UE može uspostaviti više PDU sesija u istoj mreži za prenos podataka i biti opslužen različitim UPF-ovima koji su povezani interfejsima N6;
- AMF - funkcija upravljanja pristupom i mobilnošću, koja ima mnoštvo uloga, uključujući registraciju, konektivnost, dostupnost i upravljanje mobilnošću. Takođe učestvuje u autentifikaciji i autorizaciji pristupa, pružajući SEAF (*Security Anchor Functionality*) funkcionalnost. Komunicira sa AUSF (*Authentication Server Function*) i UE, prima ključu iz procesa UE autentifikacije. Ako se na bazi USIM (*Universal Subscriber Identity Module*) vrši autentifikacija, preuzima sigurnosni materijal iz AUSF-a. Vrši upravljanje bezbjednosnim kontekstom (SCM - *Security*

Context Management) primanjem ključa od SEAF-a. Takođe čuva listu mogućnosti UE, vrši balans opterećenja i komunicira sa SMF-om;
- SMF se, između ostalog, brine o upravljanju sesijama i *roaming* funkcionalnostima. Uspostavlja, modifikuje i objavljuje sesije. Upravlja UE IP adresama i DHCP (*Dinamic Host Control Protocol*) v4/v6 funkcijama servera i klijenta;
- NEF, kao funkcija mrežne izloženosti, treba da obezbijedi sigurno preuzimanje informacija iz spoljne aplikacije u 3GPP mrežu. NEF čuva i preuzima informacije kao strukturirane podatke;
- AUSF podržava postupke potvrde identiteta kako je navedeno u 3GPP TSG SA WG3;
- NSSF je funkcija odabira mrežnog segmenta. Bira skup NS instanci koji opslužuju korisničku opremu, određuje dozvoljeni NSSAI, određuje AMF skup koji će se koristiti za opsluživanje UE ili listu AMF-ova;
- Funkcija kontrole politike (PCF - *Policy Control Function*) podržava jedinstveni okvir politike za upravljanje mrežnim ponašanjem, i pruža pravila politike za kontrolu nivoa funkcija;
- NRF podržava funkciju otkrivanja usluga i održava NF profil dostupnih NF instanci i njihove podržane usluge;
- UDM (*Unified Data Management*) obezbjeđuje objedinjeno upravljanje podacima, generiše 3GPP potvrdu identiteta i AKA (3GPP *Authentication and Key Agreement*) autentifikacione kredencijale. Obrađuje identifikaciju korisnika čuvanjem i upravljanjem trajnim identifikatorima pretplate (SUPI - *Subscription Permanent Identifiers*). Takođe upravlja servisom kratkih poruka (SMS);
- AF je aplikaciona funkcija koja omogućava interakciju sa jezgrom 3GPP mreže, radi pružanja usluge poput uticaja aplikacija na rutiranje saobraćaja, pristup NEF-u i interakciju sa okvirom politike.

Ostali elementi koji su implementirani, a nijesu prikazani na navedenoj slici, imaju sljedeće uloge:
- UDSF (*Unified Data Repository*) je objedinjena baza podataka, koja podržava, između ostalog, čuvanje i preuzimanje pretplatničkih podataka putem UDM-a, čuvanje i preuzimanje podataka PCF-a, i čuvanje i preuzimanje strukturiranih podataka od strane NEF-a. UDSF se nalazi u istom PLMN-u kao i NF na takav način da korisnici usluga skladište i preuzimaju podatke iz njega putem Nudr-a (*intra-PLMN interfejs*). UDR se može kolocirati sa UDSF-om;
- UDR je opciona funkcija za čuvanje i pronalaženje informacija kao nestrukturiranih podataka od bilo kog NF-a.

Pored navedenih, mogu postojati i drugi funkcionalni elementi kao što je funkcija servisa kratkih poruka (SMSF - *Short Message Service Function*), koja podržava SMS preko NAS, 5G identitetni registar opreme (5G-EIR) za provjeru statusa PEI (*Permanent Equipment Identifier*) crne liste, funkcije upravljanja lokacijom (LMF - *Location Management Function*) za utvrđivanje lokacije i mjerenja UE, dok funkcija analitike mrežnih podataka (NVDAF - *Network Data Analytics Function*) predstavlja logičku funkciju mrežne analitike kojom upravlja operator.

Na Slici 2.17 predstavljena je 5G arhitektura u *roaming* varijanti.



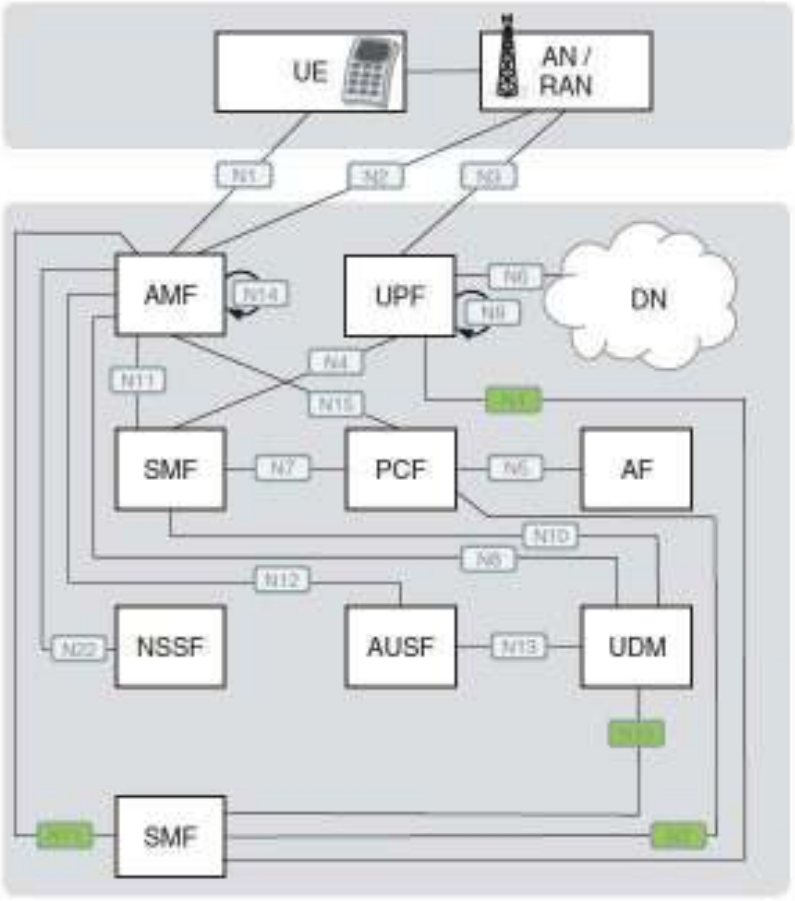
Slika 2.17. Arhitektura 5G sistema sa roaming-om, predstavljena korišćenjem interfejsa zasnovanih na servisu

Slika 2.17 prikazuje arhitekturu 5G mreže zasnovanu na servisu, za *roaming* zasnovan na LBO (*Local Break Out*) scenariju. U ovom scenariju SMF i svi UPF-ovi uključeni u PDU sesiju su pod kontrolom posjećene javne zemaljske mobilne mreže (VPLMN - *Visited Public Land Mobile Network*). U LBO scenariju UE, koji je u *roaming*-u, tj. u posjećenoj mreži, uspostavlja vezu sa tom VPLMN, dok matična javna zemaljska mobilna mreža (HPLMN - *Home Public Land Mobile Network*) omogućava povezivanje zasnovano na pretplatničkim informacijama korisnika (USI - *User's Subscription Information*), potvrdom identiteta korisnika (AUSF – *Subscriber Authentication*) i smjernicama iz PCF za ovu specifičnu UE. Međusobno povezivanje između HPLMN-a i VPLMN-a zaštićeno je hSEPP-om (*Home Security Edge Protection Proxy*) i vSEPP-om (*Visited Network's Security Proxy*). SEPP (*Security Edge Protection Proxy*) je netransparentan *proxy* i podržava filtriranje poruka i politiku inter-PLMN interfejsa kontolne ravni, kao i skrivanje topologije.

Na prikazanom primjeru posjećena mreža pruža funkcije za izbor mrežnog segmenta (NSSF), kontrolu pristupa mreži i upravljanje mobilnošću (AMF), servisa podataka (SMF) i funkcije aplikacije (AF). Isti principi za odvojenog korisnika i kontrolne ravni kojima upravlja UPF primjenjuju se u 5G, kao i u 4G.

Format ne-*roaming* arhitekture na osnovu referentne tačke, za istovremeno UE pristupanje lokalnoj i centralnoj mreži, koristeći više PDU sesija sa dva

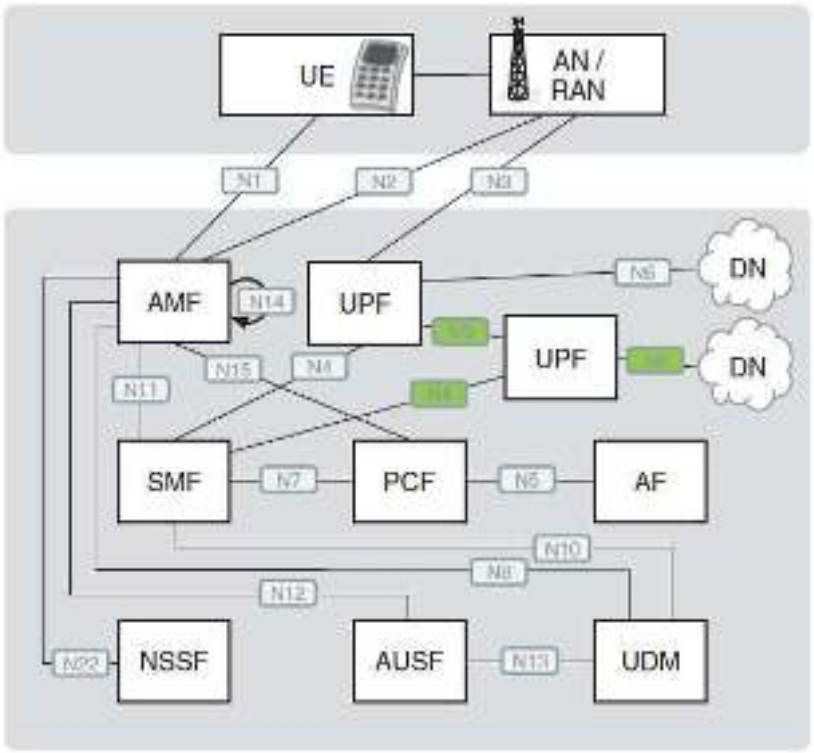
SMF elementa, koji su izabrani za dvije različite PDU sesije, prokazan je na Slici 2.18.



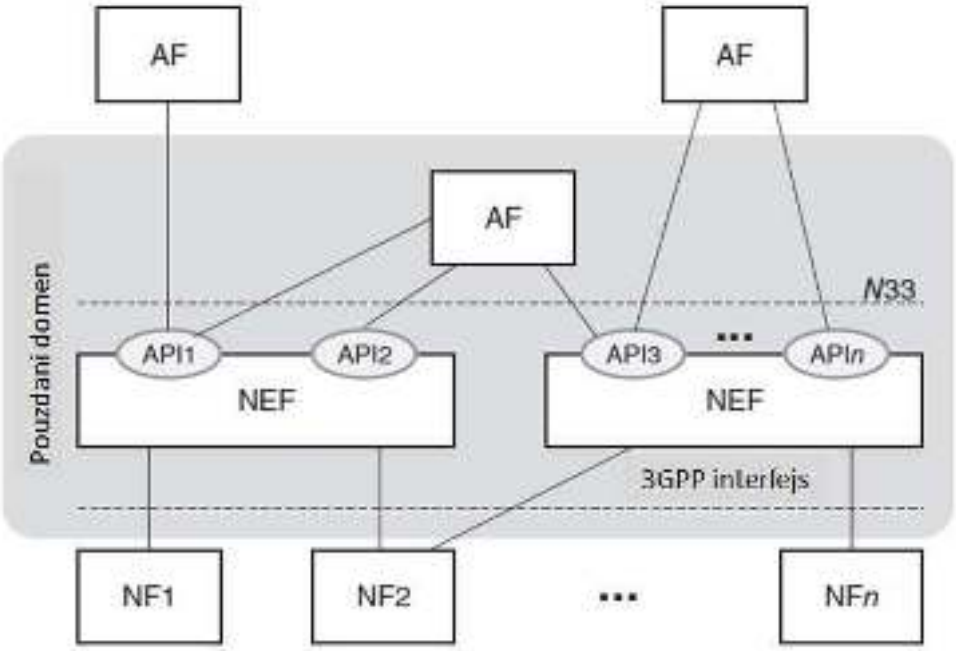
Slika 2.18. Sistemska arhitektura 5G sistema bez roaming-a za više PDU sesija (referentne tačke u boji se razlikuju od arhitekture predstavljene na Slici 2.16)

Princip ne-*roaming* arhitekture za istovremeni pristup dvijema mrežama, koji se odvija u okviru jedne PDU sesije prikazan je na Slici 2.19. Da bi se finalizovali primjeri arhitekture, na Slici 2.20 prikazana je ne-*roaming* arhitektura za NEF. U ovom primjeru, 3GPP interfejs predstavlja skup interfejsa između NEF i funkcija 5G jezgra mreže. Ovi interfejsi uključuju, između ostalih N29 za NEF – SMF i N30 za NEF – PCF.

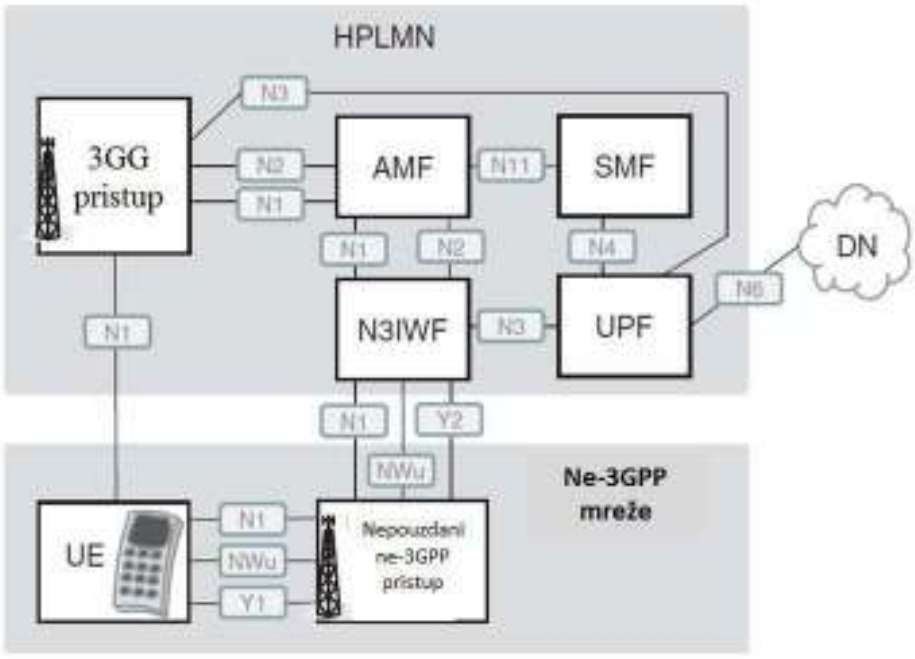
Kao primjer arhitekture koja omogućava pristup korisnika koji nijesu u okviru 3GPP mreže, na Slici 2.21 predstavljena je ne-*roaming* arhitektura pristupa korisnika na 5G jezgro mreže preko pristupne mreže koja nije 3GPP. UE se može istovremeno povezati sa 5G jezgrom preko 3GPP i ne-3GPP pristupnih mreža, a u tom slučaju pojedinačni AMF komunicira preko dva N2 interfejsa. Dva N3 interfejsa, predstavljena na Slici 2.21, mogu se primijeniti na jedan ili na različite UPF elemente kada su odvojene PDU sesije aktivne, na osnovu 3GPP pristupa i pristupne mreže koje nijesu 3GPP.



Slika 2.19. Arhitektura 5G sistema bez roaming-a za istovremeni pristup ka dvije mreže, prema opciji pojedinačne PDU sesije (referentne tačke se razlikuju od arhitekture predstavljene na Slici 2.16)

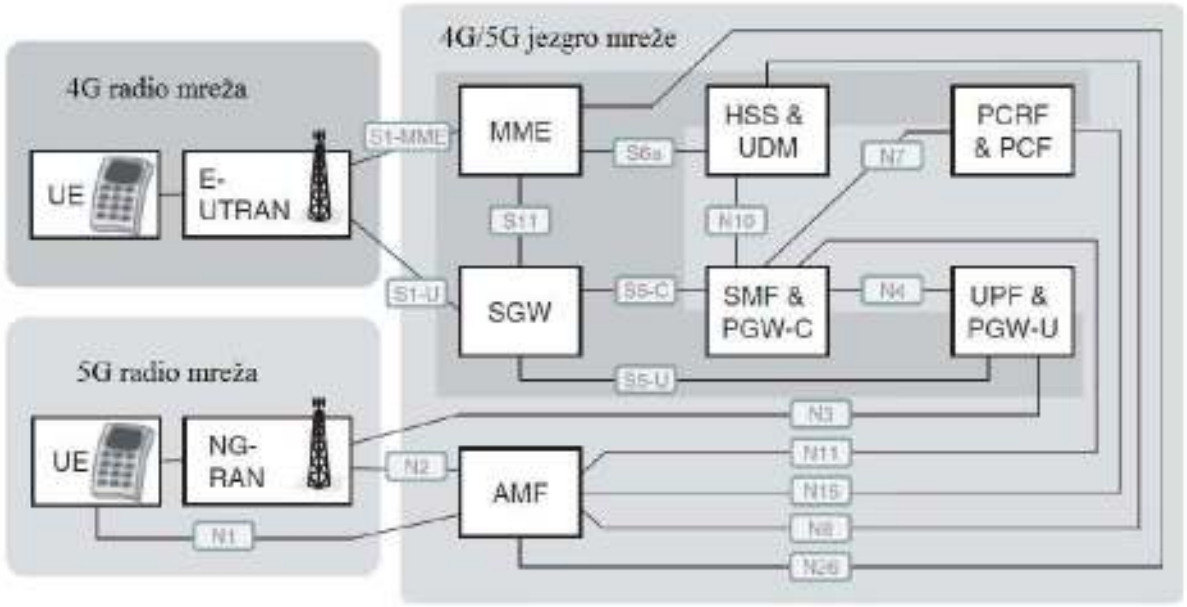


Slika 2.20. Arhitektura za NEF bez roaminga



Slika 2.21. Primjer arhitekture bez roaminga koja obezbjeđuje pristup 5G jezgru mreže preko pristupne mreže koja nije 3GPP

Slijedi scenario 5G arhitekture za međusobno povezivanje sa jezgrom 4G mreže, tj. EPC u ne-*roaming* okruženju, Slika 2.22.



Slika 2.22. Arhitektura za međusobno povezivanje 5G sistema (Novi 5G radio i 5G jezgro) i 4G sistema (EPC i E-UTRAN) bez roaming-a (elementi specifični za 4G istaknuti su tamnijom bojom)

Međusobno povezivanje između 4G jezgra i 5G jezgra dvije mreže odvija se opciono putem N26 interfejsa, preko MME koji je specifičan za 4G i AMF-a koje je specifičan za 5G mrežu. N26 interfejs je sposoban da podrži osnovne funkcionalnosti S1 interfejsa za međusobno povezivanje, koji je karakterističan za 4G arhitekturu.

PCF i funkcija za izvršenje politika i naplatu (PCRF - *Policy and Charging Enforcement Function*), SMF&PGW-C i UPF&PGW-U su opcioni elementi za međusobno povezivanje 4G i 5G sistema i mogu da opslužuju mreže i UE na osnovu podržanog skupa mogućnosti. UE koji ne podržavaju 4G – 5G međusobno povezivanje opslužuju elementi odgovarajućih 4G ili 5G izvornih elemenata, tj. P-GW i PCRF za 4G, odnosno SMF, UPF i PCF za 5G.

U skladu sa 3GPP TS 33.501, između NG-RAN i UPF & PGW-U može biti postavljen još jedan UPF preko dodatnog interfejsa N9.

Pored predstavljenih primjera, 5G arhitekture mogu da sadrže i razne druge scenarije, kako je to definisano u TS 23.501 i drugim relevantnim tehničkim 3GPP specifikacijama. Ovi slučajevi uključuju i sljedeće:
- arhitekturu za međusobno povezivanje između 5GC putem pristupa koji nije 3GPP i E-UTRAN-a povezan na EPC,
- LBO *roaming* arhitekturu za pristupe koji nijesu 3GPP, funkcije ne-3GPP međusobnog povezivanja (N3IWF - *non-3GPP Interworking Function*) u istom PLMN kao 3GPP pristup,
- arhitekturu *roaming*-a sa *home* rutiranjem za pristupe koji nijesu 3GPP, N3IWF u istom PLMN-u kao 3GPP pristup,
- LBO *roaming* arhitekturu za pristupe koji nijesu 3GPP, N3IWF u različitim PLMN kao 3GPP pristup;
- *raoming* arhitekturu sa *home* rutiranjem, za pristupe koji nijesu 3GPP, N3IWF u različitim PLMN kao 3GPP pristup,
- arhitekturu mrežne analitike.

Više detalja o ovim slučajevima može se pronaći u 3GPP TS 23.501.

Nova rješenja u okviru 5G arhitektura uključuju: softverski definisano umrežavanje, virtuelizaciju mrežnih funkcija (NFV), male ćelije, razvijeni *HetNet*, funkcije zasnovane na *cloud*-u, kognitivni radio, *white-space* rješenja i *evolved broadcast* tehnike. Kako je to već istaknuto, 5G sistem pruža mogućnost mobilnom mrežnom operatoru da primijeni koncept mrežnog segmentiranja (NS). Mrežni segment je logička mreža koja je postavljena da služi definisanom korisničkom scenariju i sadrži sve potrebne mrežne resurse koji su konfigurisani kao skup koji služi toj određenoj primjeni.

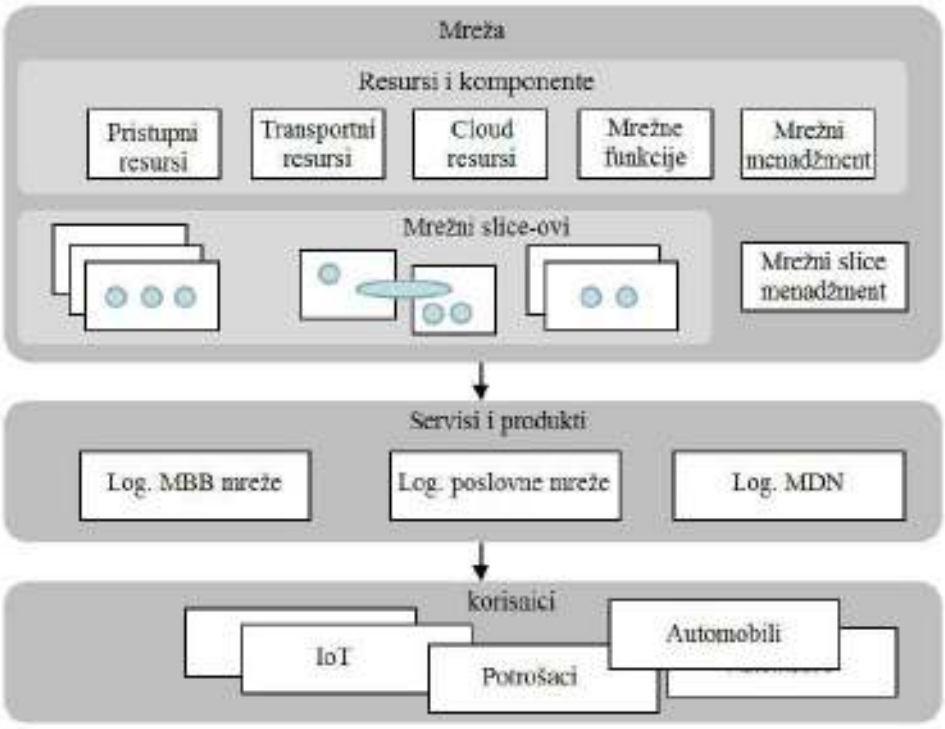
Mrežni segment je pokretač ovakvih servisa. Može se kreirati, izmijeniti i obrisati putem odgovarajućih funkcija upravljanja mrežom. U pitanju je dakle upravljiva logička mreža i može se tehnički primijeniti u bilo kojem tipu mreže, uključujući mobilne i fiksne mreže.

Osnovni resursi mogu biti fizički ili virtuelni, a mogu i da integrišu usluge različitih operatora koje se mogu koristiti, između ostalog, i u *roaming* scenarijima. Kako koncept mrežnog segmentiranja pruža mnogo veću fleksibilnost i optimizovano korišćenje od fizičkih mrežnih resursa, on je prilagođen 3GPP 5G sistemu.

Mobilni mrežni operatori konceptom mrežnog segmentiranja dobijaju mogućnost da primijenjuju samo one funkcije koje su potrebne za podršku određenim korisnicima i segmentima tržišta. Nije potrebno raspoređivanje dodatnih resursa za planirane funkcionalnosti, što ima pozitivan uticaj u smislu smanjenja troškova. Druga prednost mrežnog segmentiranja je brza primjena i kratko vrijeme za ulaz na tržište.

Na Slici 2.23 prikazan je koncept mrežnog segmentiranja na tri nivoa: nivo instance servisa, nivo instance mrežnog segmenta i resursni nivo.

Mrežni segment je zapravo skup mrežnih funkcija, predstavljen kao funkcionalni blok. Svaku funkciju može pružiti nezavisni provajder, što vodi ka većem stepenu nezavisnosti između odabira provajdera.



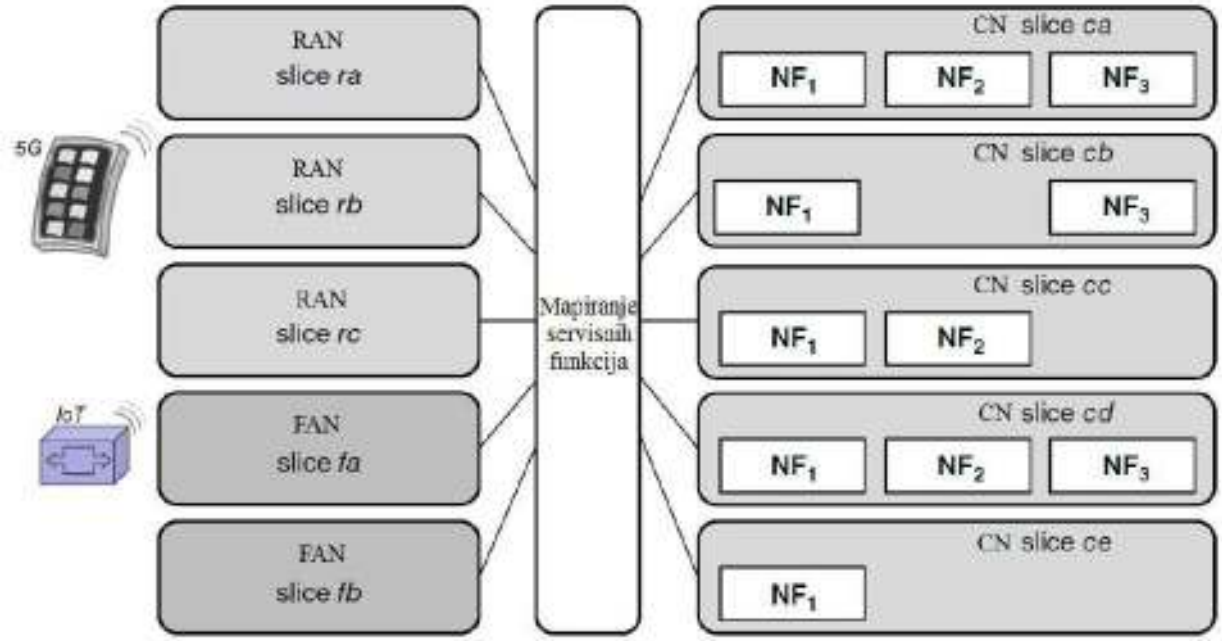
Slika 2.23. Princip mrežnog segmentiranja

Funkcionalni blok se nalazi unutar mrežne infrastrukture sa spoljnim interfejsima. Mobilni mrežni operator može da konfiguriše i prilagodi mrežne funkcije i tako kreira dinamičan način optimizacije mreža za različite segmente upotrebe.

Slike 2.24 i 2.25 prikazuju primjere principa mapiranja segmenata između NR i 5G jezgra.

Kao što se može uočiti sa Slike 2.24, postoje segmenti pristupne mreže i segmenti jezgra mreže. Takođe postoji mogućnost mapiranja ovih segmenata funkcijom mapiranja, čime se formira jedinstven segment. Komunikacija uređaja sa pristupnim segmentima može se, na primjer, ostvariti putem pametnih telefona ili IoT uređaja. Svaki segment jezgra mreže je optimizovan za određeni tip servisa, kao što su mIoT, servisi

kritičnih komunikacija, MVNO (*Mobile Virtual Network Operator*) i eMBB servisi. Daljim fokusiranjem, segment se može prilagoditi za funkcije daljinskog upravljanja, za servise virtuelne stvarnosti i slično. Svaki segment sadrži odgovarajuće servise, kao što su specijalni MVNO servisi, servisi za male brzine prenosa podataka, servisi za energetski efikasan prenos podataka za mIoT segment i slično.



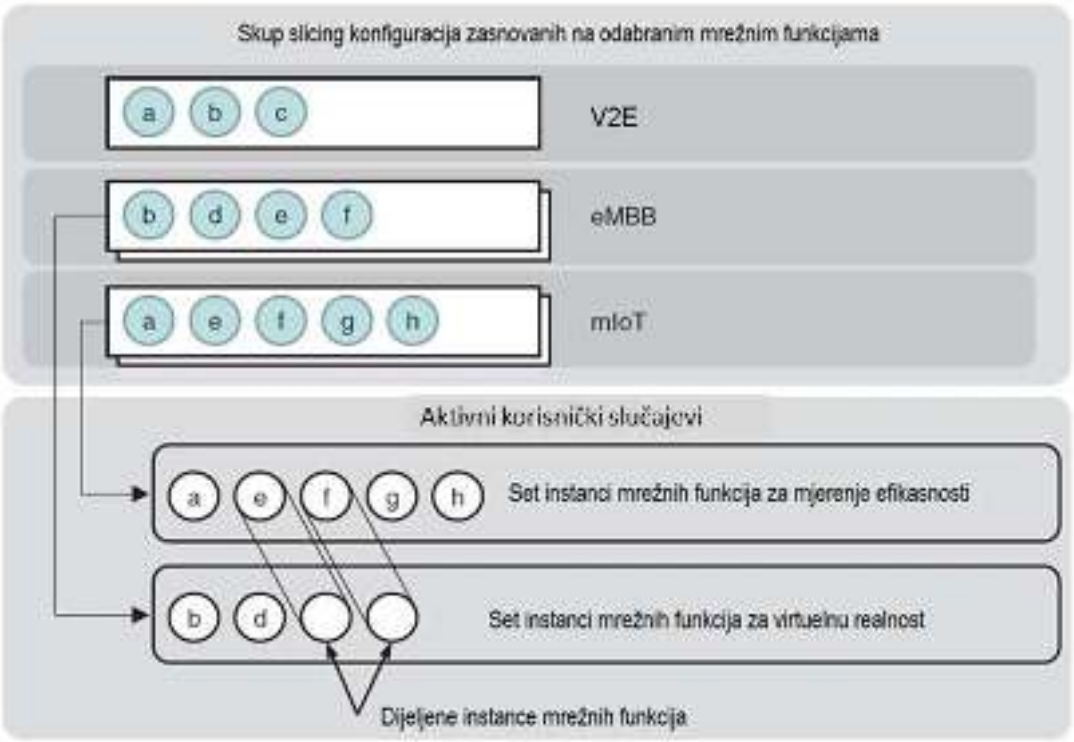
Slika 2.24. Primjer mapiranja mrežnih slicing komponenti za radio pristupne mreže (RAN), fiksne pristupne mreže (FAN) i jezgra mreže (CN)

Jedan segment mrežnog jezga sadrži skup mrežnih funkcija. Za mapiranje uređaja pristupna mreža i jezgro mreže mogu da koriste model 1:1:1 ili 1:M:N, što znači da jedan korisnički terminal može da koristi više segmenata i da svaki pristupni segment može da se poveže na više segmenata jezgra mreže.

Mreža dodjeljuje resurse za pokretanje mrežnih funkcija, određuje politiku i konfiguracije. Ovo je zadatak nivoa resursa koji pruža fizičke i logičke resurse potrebne za aktiviranje krajnjeg korisnika i poslovnih servisa. U svakom momentu, instanca mrežne funkcije (*Network Function Instance*) brine o dodijeljenom zadatku i skupu NF instanci, koje čine funkcionalnost za taj specifični scenario primjene. Različiti scenariji primjene koriste različite skupove NF instanci, ali neke od tih NF instanci takođe mogu da se dijele između razlićitih slučajeva primjene, kao što je prikazano na Slici 2.25.

Instancu mrežnog segmenta biraju ovlašćeni korisnički terminali, pri čemu je omogućeno da se korisnički terminali mogu povezati sa više segmenata istovremeno. Mrežna instanca je bezbjedno izolovana od drugih instanci segmenata. Ona omogućava pristup zajedničkim mrežnim funkcijama jezgra mreže i pristupne mreže, što stvara uslove za segmentiranje mreže. Instanca mrežnog segmenta takođe podržava *roaming* scenarije. Ukratko,

segmentiranje mreže pruža mobilnim mrežnim operatorima mogućnost da primijene višestruke nezavisne javne zemaljske mobilne mreže (PLMN), što i jeste osnov za podršku vertikalnim indistrijskim sektorima i za njihovo uključivanje u realizaciju niza inovativnih servisa.



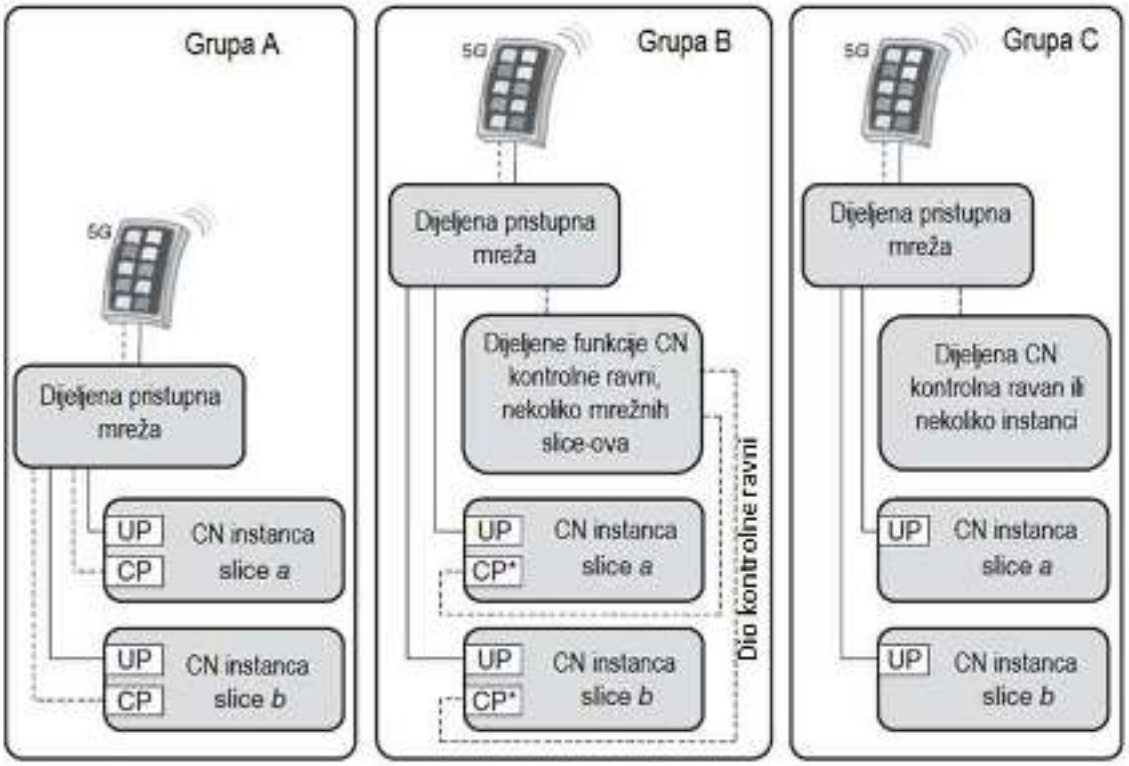
Slika 2.25. Princip mapiranja mrežnih segmenata

Zahtjevi u pogledu izbora mrežnog segmentiranja definisani su u 3GPP TR23.799. Postoje tri identifikovane vrste scenarija, koje su označene kao grupe A, B i C, koje treba da podrže više od jednog mrežnog segmenta po uređaju:

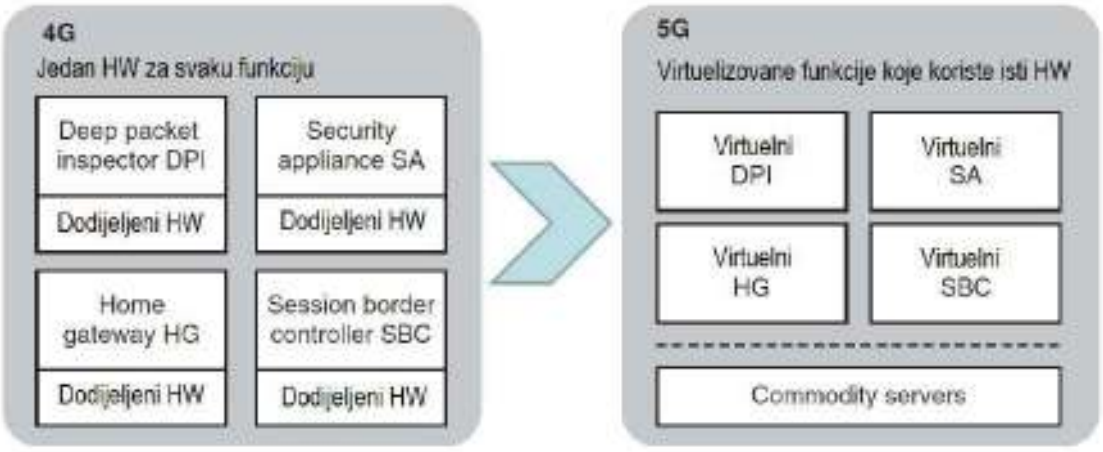
- Grupa A, odnosi se na situacije u kojima uređaj koristi višestruke servise mrežnih segmenata i različitih instanci mrežnog jezgra, koji su logički odvojeni. Svaki mrežni segment opslužuje korisnički terminal nezavisno od pretplate i upravljanja mobilnošću. Nedostatak ovog scenarija je povećana signalizacija u jezgru i na radio interfejsima, iako je u ovom slučaju izolaciju najlakše postići;
- Grupa B je kombinacija zajedničkih mrežnih funkcija među segmentima, dok se druge funkcije nalaze u pojedinačnim segmentima;
- Grupa C, odnosi se na scenario gdje je kontrolna ravan zajednička za segmente, a pojedinačni mrežni segmenti obrađuju korisničku ravan, Slika 2.26.

Mrežno segmentiranje (NS) je zasnovano na ideji koja rezultira virtuelizacijom mrežnih funkcija, koje se mogu isporučiti u softveru, a ne u namjenskom hardveru kao u generacijama mreža prije 5G. NFV se odnosi na princip razdvajanja mrežne funkcije od hardvera, na kojem rade pomoću virtuelne hardverske apstrakcije.

Trenutna mrežna tehnologija zasniva se na mrežnim funkcijama realizovanim kombinacijom softvera i hardvera koji su specifični za datog provajdera. Mrežne funkcije su statički povezane kako bi se postigla željena funkcionalnost. Ova statička kombinacija mrežnih funkcija naziva se grafom proslijeđivanja mrežnih funkcija (NFFG - *Network Function Forwarding Graph*) ili NF skup. U 5G-u, kako je definisao 3GPP, ovi grafovi proslijeđivanja sastavljaju se dinamički, što omogućava adresiranje trenutnih zahtjeva, Slika 2.27.



Slika 2.26. Grupe A, B i C za podršku više mrežnih segmenata po uređaju



Slika 2.27. Prikaz NFV koncepta

Koncept virtuelizacije mrežnih funkcija (NFV) pruža mogućnost razdvajanja softvera od hardvera, što omogućava nesmetanu evoluciju i softvera i hardvera, nezavisno. Nadalje, fleksibilna i automatizovana primjena NF SW instanci omogućava bolje korišćenje raspoloživog *cloud*-a i mrežnih

tehnologija. Dodatna prednost NFV-a je u tome što dinamičan rad i upravljanje NF skupovima poboljšavaju mrežne performanse.

Uslijed zahtjeva za ultra niskim kašnjenjem i velikom brzinom prenosa podataka, i mrežne funkcije i sadržaj moraju se približiti korisniku, tj. pomjeriti što dalje prema ivici radio mreže.

MEC (*Mobile-Edge Computing*) omogućava ubrzavanje sadržaja, servisa i aplikacija, čime se skraćuje vrijeme odziva sa ivice mreže. Iskustvo korisnika može se obogatiti i efikasnim mrežnim i uslužnim operacijama, na osnovu praćenja stanja na kanalu i u mreži. Te aplikacije su implementirane kao entiteti samo softverom, i funkcionišu na vrhu virtuelizovane infrastrukture.

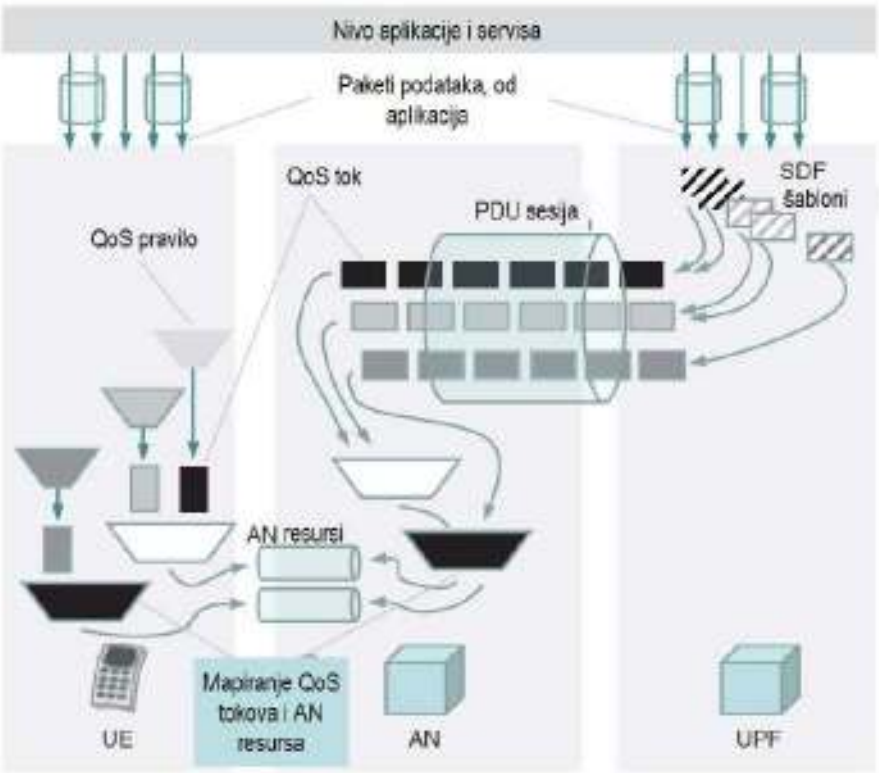
U sve većoj potražnji za novim poslovnim modelima, 5G zahtijeva smanjenje troškova korišćenja i ponude usluga. NFV i softverski definisane mreže (SDN) su tehnologije koje pomažu u smanjenju troškova u pogledu infrastrukture i upravljanja. Međutim, ovi mehanizmi podrazumijevaju da se komunikacija između mrežnih entiteta u mnogome pomjera od današnjih vlasničkih protokola do standardnih mehanizama zasnovanih na IP-u, kao što je IPsec.

Prema 3GPP-u, 5G arhitektura zasnovana na servisima definisana je između mrežnih funkcija kontrolne ravni jezgra mreže. Mrežne funkcije mogu da čuvaju svoj sadržaj u funkcijama za skladištenje podataka (DSF - *Data Storage Functions*) i omogućavaju razdvajanje baze podataka za UE, pristupnu mrežu i AMF. Dakle, nema čvrsto povezanih elemenata kao u prethodnim generacijama mobilnih mreža, što funkcionisanje čini mnogo fleksibilnijim i poboljšava performanse optimizacijom korišćenja resursa. Prethodni modeli podrazumijevali su transportno okruženje specifično za korisničku opremu, što je rezultiralo složenijim postupcima pri promjeni UE servisnog čvorišta (koji je uporediv sa 5G AMF). 5G funkcionalnost značajno pojednostavljuje promjenu AMF instance koja opslužuje korisničku opremu.

Servisi u okviru mobilnih mreža pete generacije su mnogo fleksibilniji nego servisi u mrežama prethodnih generacija, što je posljedica novog QoS modela u arhitekturi 5G sistema. Slika 2.28 prikazuje princip 5G QoS-a u skladu sa 3GPP specifikacijama. 5G QoS omogućava razlikovanje podataka servisa u cilju poboljšanja performansi raznih aplikacija, uz istovremeno dijeljenje ograničenih radio resursa na optimalan način. Pri tome, 5G QoS podržava različite zahtjeve pristupnih tehnologija koje se mogu koristiti za 5G povezivanje. Pristupna mreža može čak biti fiksna i da ima veoma različite zahtjeve od radio pristupa, kao što je podrška za QoS bez dodatne signalizacije. Jedan od načina da se ovo postigne jeste primjena standardizovanog označavanja paketa, koje ukazuje na funkcije željenog QoS nivoa, bez dodatne signalizacije. 5G takođe podržava simetričnu QoS diferencijaciju za *downlink* i *uplink*, smanjujući kontrolni plan usvajanjem reflektivnog QoS modela, [23].

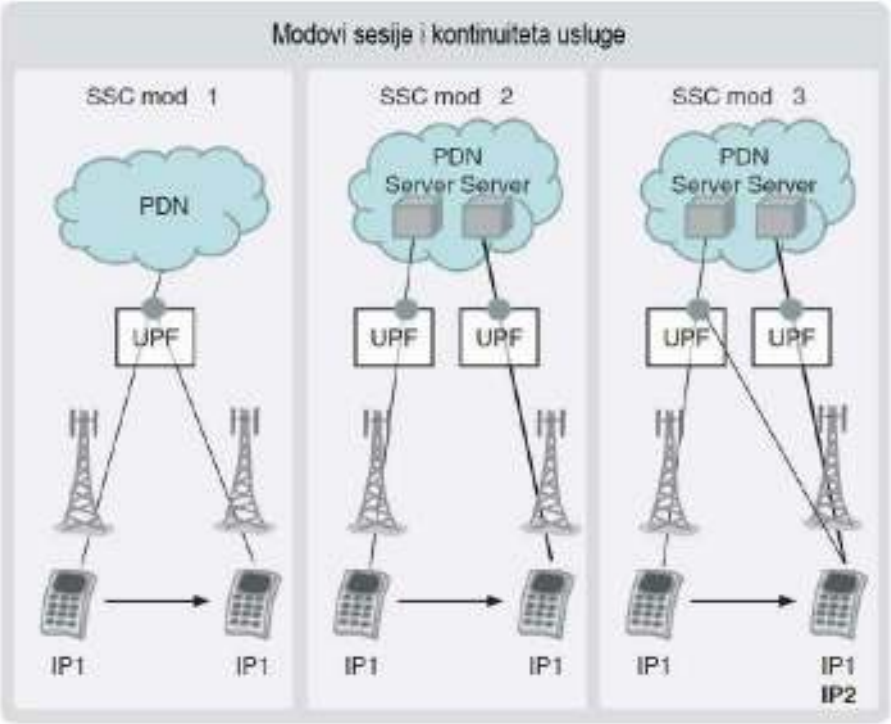
5G podržava fleksibilnu primjenu aplikativnih funkcija, što je korisno za *edge computing*, zatim primjenu QoS-a putem SSC (*Session and Service Continuity*) modova i slično. U konceptu modova, SSC1 je prethodno definisan mod. Osigurava da IP sidro (*anchor*) ostane stabilno, podržavajući aplikacije i održavajući vezu za ažuriranje lokacije korisničke opreme. Postoje dvije nove opcije, *break-before-make* (SSC2) i *make-before-break* (SSC3), koje podržavaju relociranje IP sidra, što omogućava aplikacijama da utiču na izbor odgovarajuće karakteristike servisa prenosa podataka i SSC režim. Na Slici 2.29 prikazan je princip ovih modova.

Pored prethodno pomenutih, jedna od 5G QoS funkcionalnosti je i UL-CL tačka grananja. UL-CL je funkcionalnost podržana UPF-om, čiji je cilj usmjeravanje saobraćaja na lokalne mreže podataka filtrima za podudaranje saobraćaja primijenjenim na korisnički saobraćaj. Tačka grananja odnosi se na funkcionalnost UPF-a, koja je uopštena funkcija logičke ravni podataka u kontekstu sesije UE PDU. UPF-ovi mogu da imaju mnoge uloge, kao što su zasnivanje klasifikatora protoka na UL-CL, PDU tačku *anchor* sesije ili tačku grananja. I UL-CL i tačka grananja omogućavaju selektivno ubrizgavanje saobraćaja u/i od aplikativne funkcije na linkovima korisničke ravni.



Slika 2.28. Princip QoS tokova u 5G

QoS u 5G, definisan je u 3GPP TS 38.300 i TS 23.501, i zasnovan je na QoS tokovima. Ovaj model podržava QoS protoke koji zahtijevaju zagarantovanu brzinu prenosa podataka (GBR –*Guaranteed Bit Rate*), koji su nazvani GBR QoS. Takođe, podržava i QoS protoke kojima nije potrebna zagarantovana brzina prenosa, koji se nazivaju *non*-GBR QoS tokovi, što obezbjeđuje QoS diferencijaciju na NAS nivou PDU sesije.



Slika 2.29. Princip 3GPP 5G SSC modova

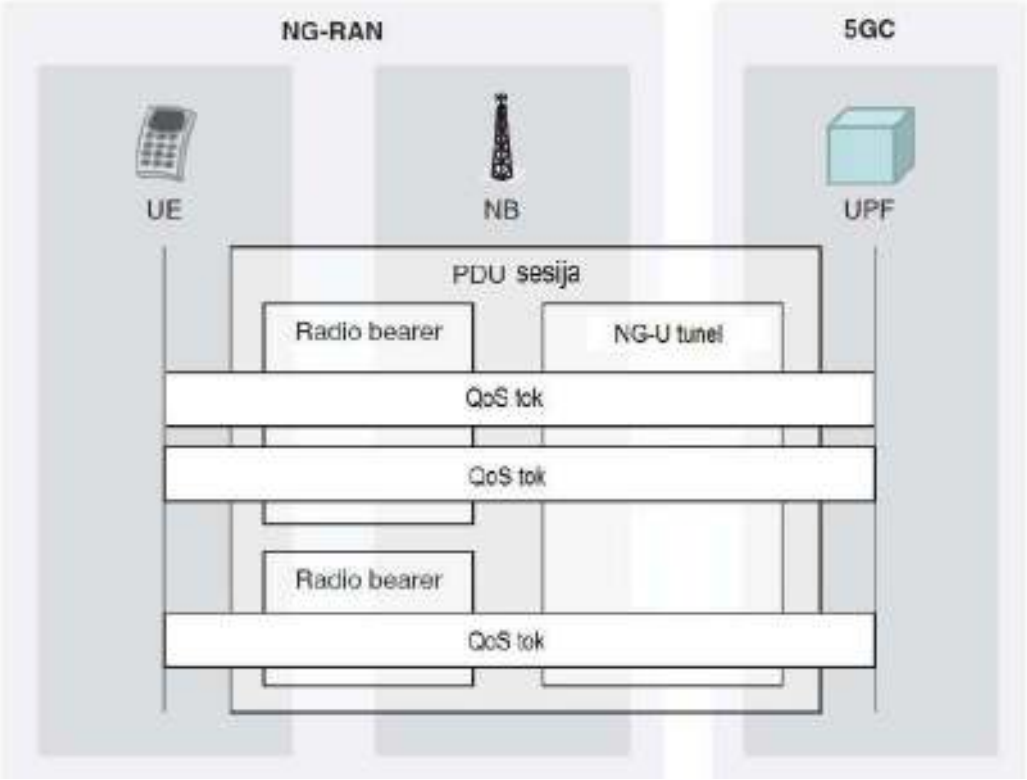
NG-RAN QoS arhitektura za 5G NR – 5G jezgro, kao i za E-UTRA – 5G jezgro mreže je prikazana na Slici 2.30. Neki od ključnih principa za protoke 5G QoS tokova su sljedeći:

- osnovna 5G mreža uspostavlja jednu ili više PDU sesija za svaki UE,
- NG-RAN uspostavlja jedan ili više DRB-ova po PDU sesiji za svaki UE,
- NG-RAN mapira pakete koji pripadaju različitim PDU sesijama u različite DRB-ove.

Shodno navedenom, NG-RAN i 5G jezgro su sposobni da zajednički osiguraju željeni QoS mapiranjem paketa u QoS tokove i DRB-ove.

Na osnovu svega izloženog može se zaključiti da će prva faza razvoja 5G mreža, prema specifikacijama koje prate *Release* 15, podrazumijevati implementaciju onih arhitektura koje predstavljaju evoluciju originalnog 4G EPC. Unapređenje 4G u pravcu razdvajanja kontrolne i korisničke ravni (CUPS - *Control and User Plane Separation*) omogućeno je još u sklopu 3GPP *Release* 14 specifikacija gdje se SGW (SGW - *Serving Gateway*) razdvaja na SGW-CP i SGW-UP, za kontrolnu odnosno korisničku ravan. Isto važi i za PGW (PGW - *Packet Gateway*), [24].

Implementacija potpuno samostalnih 5G arhitektura, sposobnih da podrže najkritičnije scenarije implementacije koji zahtijevaju izuzetno visoku pouzdanost i malo kašnjenje (URLLC), može se očekivati nakon ostvarenja dovoljnog nivoa pokrivenosti stanovništva 5G radio pristupnom mrežom i implementacijom punog 5G jezgra mreže (5GC), te nakon prihvatanja savremenih ICT rješenja zasnovanih na 5G mobilnim mrežama od strane vertikalnih industrijskih sektora.



Slika 2.30. QoS tokovi u 5G

2.5. Jezgro 5G mreže

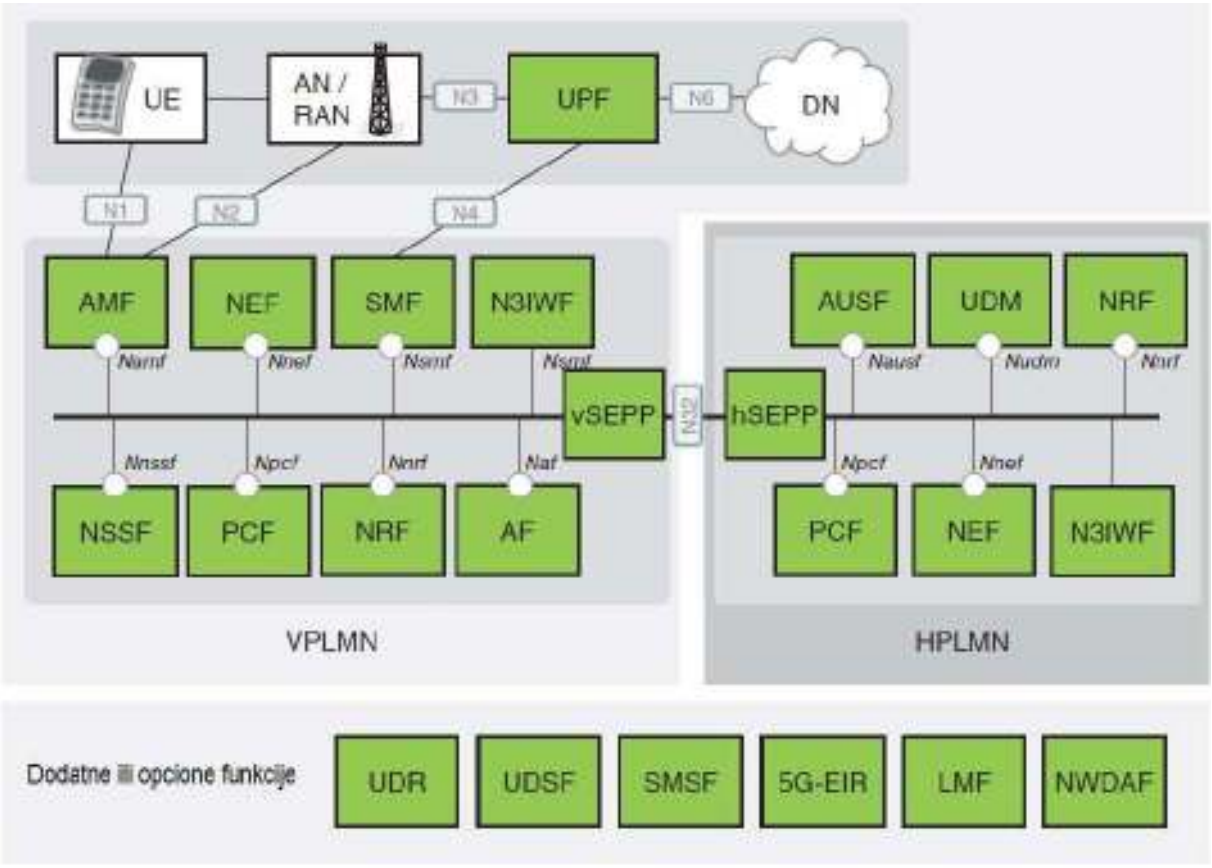
Jezgro 5G mreže zasniva se na *cloud* konceptu. Najefikasnija rješenja u pogledu arhitekture jezgra 5G mreže će unaprijediti segmentaciju mreže i arhitekturu zasnovanu na servisima. Uvođenje novih naprednih funkcija u okviru 5G jezgra treba da dovede i do poboljšanja QoS-a sa aspekta krajnjeg korisnika.

U prvoj fazi implementacije, shodno 3GPP *Release* 15 specifikacijama, implementacija jezgra 5G mreže zasnivaće se na korišćenju postojeće 4G infrastrukture od strane mobilnih mrežnih operatora, koja će se postepeno unapređivati primjenom novih softverskih funkcionalnosti, kao što su segmentacija mreže, *cloud-based* VNF (VNF - *Virtual Network Functions*), SDN (*Software Defined Networking*), distribuirana korisnička ravan i automatizacija.

Kompletna arhitektura zasnovana na servisu 5G mreže sa svim funkcijama 5G jezgra mreže prikazana je na Slici 2.31.

Neki od funkcionalinh elemenata 5G jezgra (5GC – 5G *Core*) na Slici 2.31 su obavezni, dok su drugi opcioni. Moguća je fizička kolokacija pojedinih prikazanih funkcionalnih elemenata u okviru jezgra mreže. Do određenih funkcionalnih elemenata 5G jezgra došlo se unapređenjem postojećih LTE

elemenata i njihovih funkcija, dok su neki funkcionalni elementi i odgovarajuće mrežne funkcije potpuno novi.



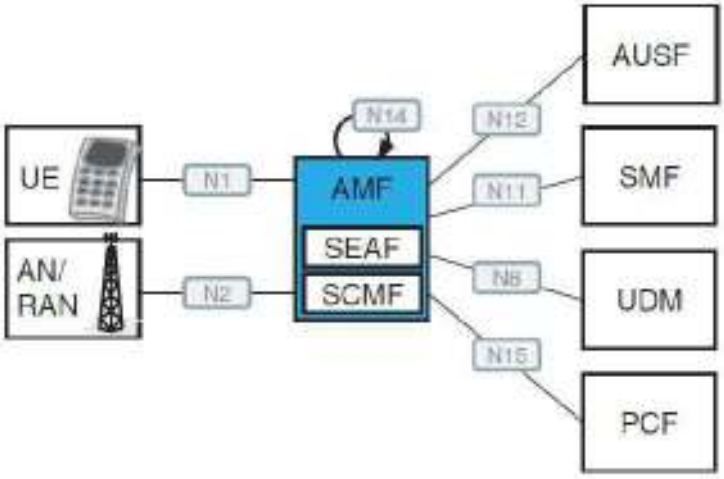
Slika 2.31. Kompletna arhitektura 5G mreže zasnovana na servisu sa prikazanim svim funkcijama jezgra

U tekstu koji slijedi dat je kratak opis obaveznih funkcionalnih elemenata 5G jezgra mreže i prikazana je arhitektura njihovog povezivanja sa pripadajućim interfejsima, u skladu sa 3GPP TS 23.501 specifikacijom, [25].

AF (*Application Functions*) je aplikaciona funkcija i funkcioniše na aplikativnom nivou 5G mreže. Ova funkcija obavlja interakciju sa jezgrom 3GPP mreže radi obezbjeđivanja servisa kao što su: uticaj aplikacija na rutiranje saobraćaja, pristup funkciji mrežne izloženosti (NEF - *Network Exposure Function*) i interakcija sa *policy* okvirom. U zavisnosti od scenarija primjene, AF funkcija koja ima povjerenje operatora, može da komunicira sa relevantnom mrežnom funkcijom (NF), dok se AF koja nema povjerenje operatora oslanja na okvir spoljne izloženosti preko NEF funkcije za interakciju sa funkcijom mrežne segmentacije (NS - *Network Slicing*).

Funkcija upravljanja pristupom i mobilnošću (AMF - *Access and Mobility Management Function*) u 5G mrežama zamjenjuje LTE MME (*Mobility Management Entity*). Definisana je u 3GPP TS 23.501 specifikaciji. AMF ima mnoštvo zadataka i povezuje se sa različitim funkcionalnim elementima, kao što je to prikazano na Slici 2.32. Ova funkcija upravlja NAS (*Non Access Stratum*) šifrovanjem, zaštitom integriteta, registracijom, konektivnošću,

pouzdanošću i mobilnošću, a služi i kao transparentni *proxy* za rutiranje SM (*Session Management*) poruka. AMF ukčljučuje i LI (*Lawful Interception*) interfejs.



Slika 2.32. AMF interfejsi

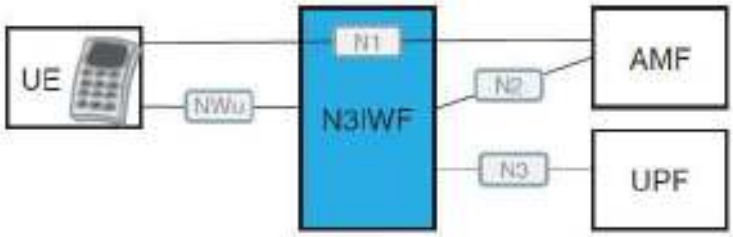
Funkcija autentifikacije servera 5G (AUSF - *Authentication Server Function*) zamjenjuje LTE MME/AAA (*Authentication, Authorization and Accounting*). Podržava autentifikaciju za 3GPP pristup, kao i za nepouzdani ne-3GPP pristup u skladu sa 3GPP TS 33.501 specifikacijom. Ima interfejse prema AMF-u i objedinjenom upravljanju podacima (UDM - *Unified Data Management*), kako je to prikazano na Slici 2.33;

Slika 2.33. AUSF interfejsi

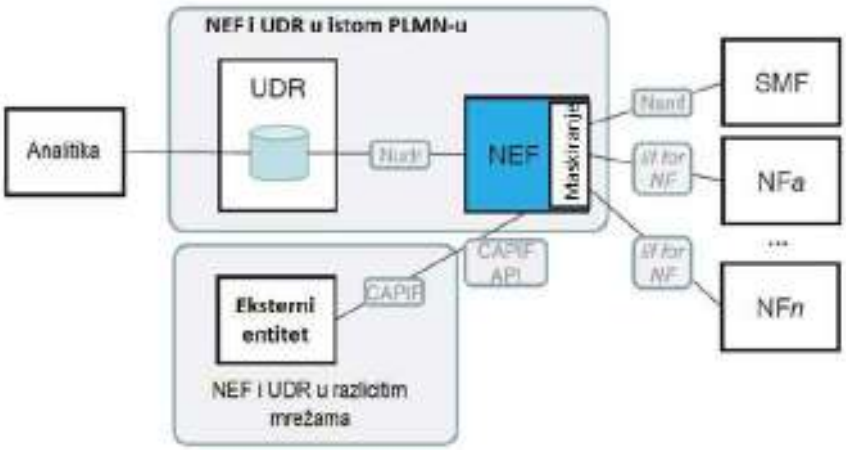
Funkcija N3IWF (*Non-3GPP Interworking Function*) se koristi za ne-3GPP nepouzdani pristup. U ovom slučaju, N3IWF uspostavlja IPsec tunel sa korisničkom opremom. Takođe, prenosi *uplink* i *downlink* NAS signalizacione poruke kontrolne ravni između UE i AMF-a, uspostavlja IPsec SA (*IPsec Security Association*) za PDU sesiju, omogućava prenos paketa korisničke ravni između UE i funkcija korisničke ravni. Pored navedenog, korišćenjem MOBIKE (*Mobility and Multihoming Protocol IKEv2*) protokola ova funkcija omogućava VPN korisniku udaljenog pristupa prelaz sa jedne adrese na drugu, bez ponovnog uspostavljanja svih bezbjednosnih procedura sa VPN *gateway*-om, Slika 2.34, [26];

Funkcija mrežne izloženosti (NEF) je evolucija funkcije SCEF (*Service Capability Exposure Function*) i LTE API nivoa (API - *Application Programming Interface*). Preko NEF-a, 3GPP mrežne funkcije mogu efikasno da preuzmu informacije potrebne za upravljanje konekcijama. Ova funkcija pomaže mrežnim funkcijama u pogledu izloženosti i povezana je sa objedinjenom bazom podataka (UDR - *Unified Data Repository*). Jedan od

važnih zadataka NEF funkcije je maskiranje osjetljive informacije za spoljašnje aplikacione funkcije u skladu sa politikom mobilnih mrežnih operatora, [27]. Interfejsi ove funkcije prikazani su na Slici 2.35. NEF može pristupiti samo UDR-u koji boravi u istoj javnoj mobilnoj mreži (PLMN), što je detaljno opisano u 3GPP TS 23.222 specifikaciji.



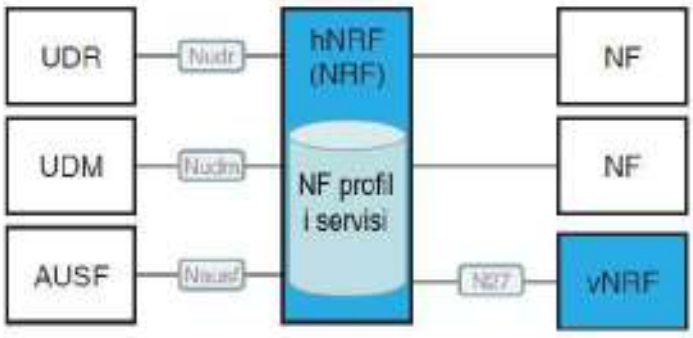
Slika 2.34. N3IWF interfejsi



Slika 2.35. NEF interfejsi

Funkcija mrežnog repozitorijuma (NRF - *Network Repository Functions*) je dio evolucije DNS (*Domain Name System*) sistema korišćenog u LTE-u. Podržava funkciju otkrivanja servisa za pružanje informacija o otkrivenoj mrežnoj funkciji čije usluge zahtijeva druga mrežna funkcija. NRF interfejsi prikazani su na Slici 2.36.

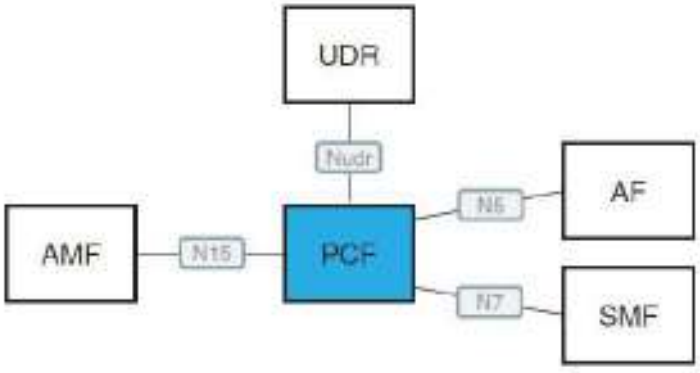
Funkcija odabira 5G mrežnog segmenta (NSSF - *Network Slice Selection*) je nova funkcija koja podržava specifični 5G koncept segmentacije mreže. NSSF bira potreban skup mrežnih segmenata koje opslužuju korisnički terminal, određuje dozvoljene i konfigurisane NSSAI (*Network Slice Selection Assistance Information*) i ako je potrebno mapira ih na pretplaćene SNSSAI (*Single Network Slice Selection Assistance Information*). NSSF interfejsi prikazani su na Slici 2.37.



Slika 2.36. NRF interfejsi

Slika 2.37. NSSF interfejsi

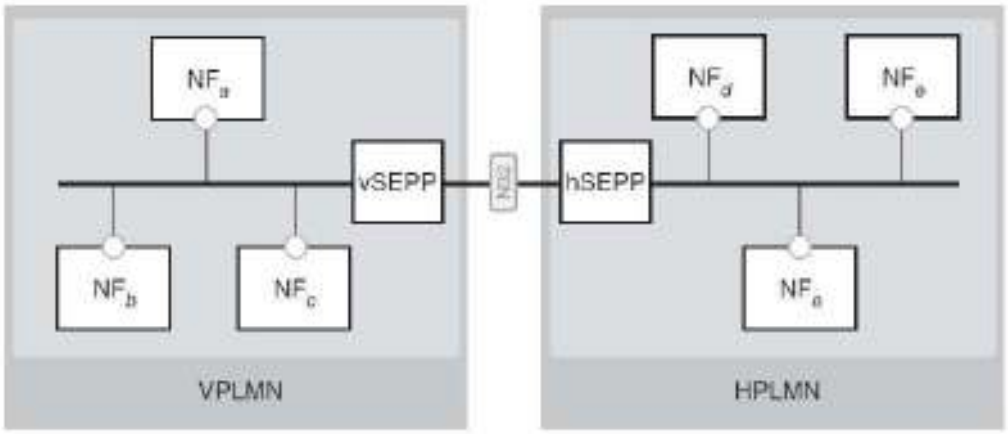
Funkcija kontrole politike (PCF - *Policy Control Function*) je evolucija LTE PCRF (*Policy and Charging Enforcement Function*) funkcije. Podržava jedinstveni okvir politike za upravljanje mrežnim ponašanjem, pruža politike za kontrolu funkcija. Može pristupiti informacijama o pretplati, relevantnim za donošenje odluka o UDR-u koji se nalazi unutar istog PLMN-a. Opis PCF-a je dat u 3GPP TS 23.503 specifikaciji, a PCF interfejsi su prikazani na Slici 2.38.



Slika 2.38. PCF interfejsi

5G SEPP (SEPP - *Security Edge Protection Proxy*) je novi element za sigurno povezivanje 5G mreža. Na Slici 2.39 je prikazan princip korišćenja SEPP elemenata, u modelu arhitekture zasnovane na servisu, [28]. Oznaka vSEPP se odnosi na SEPP funkcionalnost u posjećenom PLMN-u, dok se hSEPP odnosi na SEPP koji se nalazi u matičnoj PLMN-u. SEPP je u praksi netransparentan *proxy*. Uloga mu je da bude relej između ponuđača servisa i korisnika. Zadatak SEPP-a je da obezbijedi povjerljivost i zaštitu integriteta

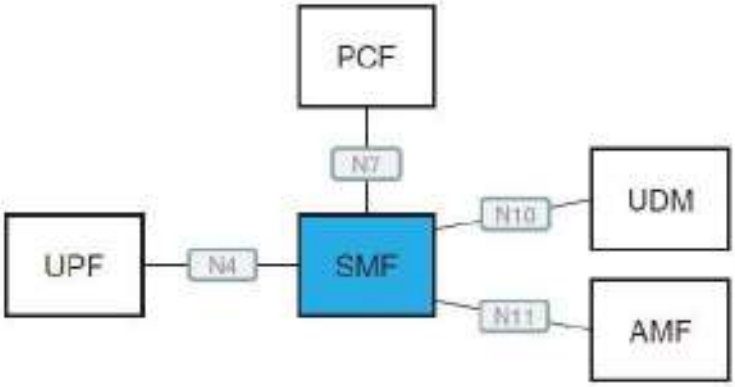
signalizacije između mreža, da se stara o topološkom skrivanju *firewall*-a prema definisanim politikama. Specifikacije 3GPP TS 33.501 i TS 29.500 detaljno opisuju funkcionalnost SEPP-a, kao i njegove N32 referentne tačke.



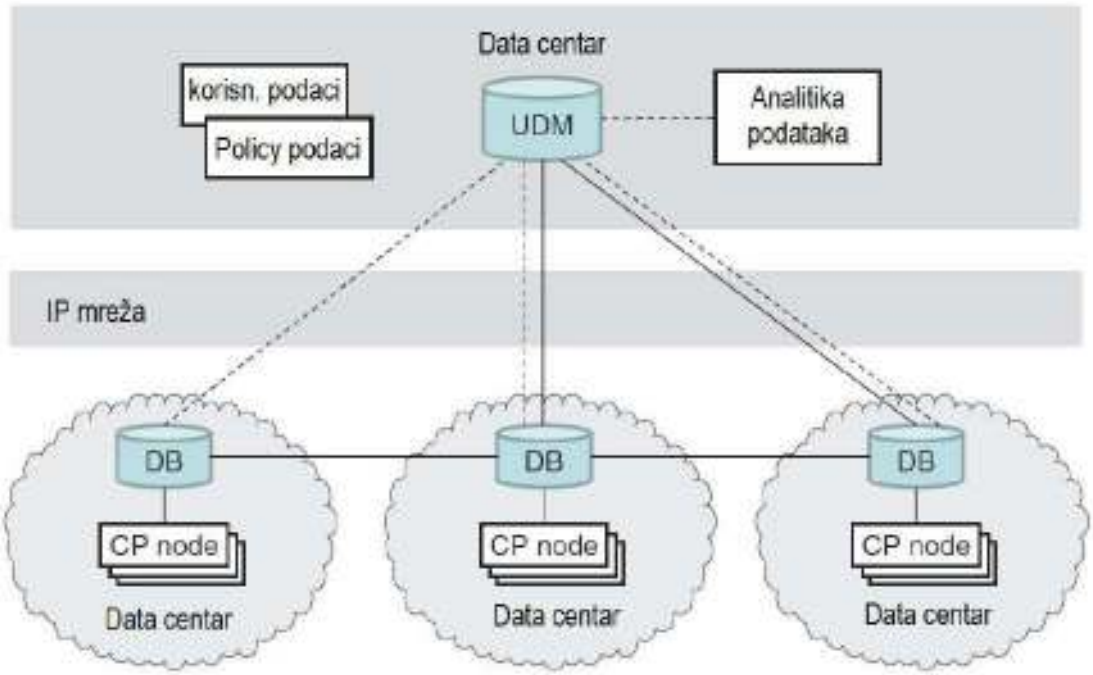
Slika 2.39. Princip SEPP povezivanja 3GPP mreža

5G SMF (*Session Management Function*) funkcija zamjenjuje LTE UDF (*User Plane Function*) funkciju, kao i LTE S-GW i P-GW. SMF je specificiran u 3GPP TS 23.501 specifikaciji. Obavlja zadatke vezane za upravljanje sesijom (SM) i tunelovanje prema pristupnim čvorištima. SMF vrši dodjeljivanje i upravljanje korisničkim IP adresama i opciono povezano autorizovanje. Sadrži DHCPv4 i DHCPv6 funkcije servera i klijenta. SMF bira i kontroliše funkciju korisničke ravni, kontroliše upravljanje i rutiranje saobraćaja na UPF-u, obavlja zakonito presretanje, prikuplja podatke o naplati, određuje SSC režim sesije, uključuje funkcije *roaming*-a. Interfejsi SMF funkcije prikazani su na Slici 2.40.

UDM (*Unified Data Management*) je evolucija HSS (*Home Subscription Server*) servera i UDR-a (*Unified Data Repository*) koji se koriste u LTE mreži i generiše 3GPP AKA (*Authentication and Key Agreement*) kredencijale po korisniku u skladu sa 3GPP TS 23.501 specifikacijom. Nalazi se u istoj matičnoj javnoj mobilnoj mreži (HPLMN) sa pretplatnikom kojeg opslužuje. UDM obavlja identifikaciju korisnika, uključujući čuvanje i upravljanje SUPI (*Subscription Permanent Identifiers*) identifikatora po svakom pojedinačnom pretplatniku, upravlja ovlašćenjima za pristup, kao što su ograničenje *roaming*-a, upravlja UE NF registracijom (RM - *Registration Management*), podržava servis i kontinuitet sesije, pruža podršku isporuci mobilnih kratkih poruka, uključuje zakonsku interceptnu funkcionalnost (LIF - *Lawful Intercept Functionality*), pretplatu i upravljanje SMS-om. Koncepcija primjene UDM-a prikazana je na Slici 2.41.

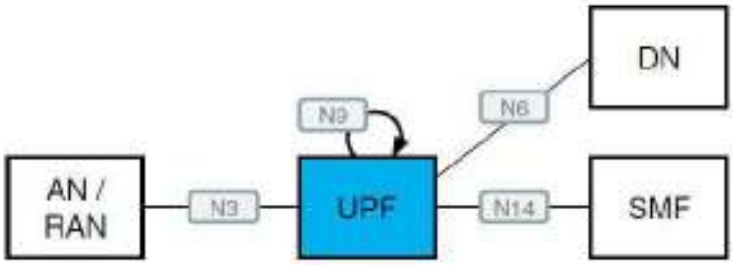


Slika 2.40. SMF interfejsi



Slika 2.41. Konceptualni primjer primjene UDM-a

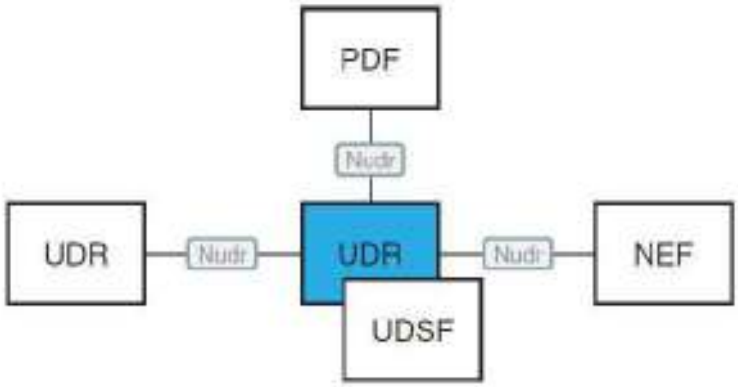
5G UPF (*User Plane Function*) funkcija zajedno sa SMF funkcijom zamjenjuje LTE S-GW i P-GW. UPF je spoljašnja PDU tačka sesije interkonekcije na mrežu podataka, zadužena je za rutiranje paketa i proslijeđivanje, obavlja inspekciju paketa i brine o dijelu korisničke ravni u vezi sprovođenja pravila politike, vrši izvještavanje o saobraćaju i QoS-u za korisničku ravan, uključujući primjenu brzine prenosa podataka. UPF može da izvrši ARP (*Acute Renal Failure*) posredovanje u skladu sa IETF RFC 1027 i IPv6 *Neighbor Solicitation Proxying*-om, prema IETF RFC 4861. Interfejsi UPF-a su prikazani na Slici 2.42.



Slika 2.42. UPF interfejsi

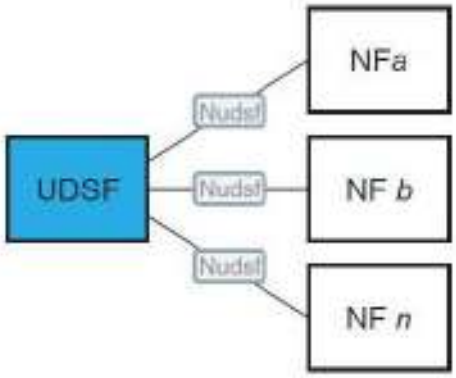
Prethodno su opisani obavezni funkcionalni elementi u 5GC arhitekturi. Kao što je već rečeno, pored njih postoje i dodatni (opcioni) funkcionalni elementi ove arhitekture, čiji kratki opis slijedi.

5G UDR (*Unified Data Repository*) je evolucija LTE strukturiranog (SDS - *Structured Data Storage*) čuvanja podataka. Kao što je opisano u 3GPP TS 23.501 specifikaciji, UDR može da čuva i preuzima podatke o pretplati, brine o čuvanju i pronalaženju podataka politike putem PCF-a, preuzima i čuva strukturirane podatke o izloženosti i podatke o primjeni od strane NEF-a. UDR se nalazi u istom PLMN-u kao i korisnici NF usluga. U praksi UDR može biti kolociran sa funkcijom nestrukturiranog čuvanja podataka (UDSF). Interfejsi UDR-a prikazani su na Slici 2.43.



Slika 2.43. UDR interfejsi

5G UDSF (*Unstructured Data Storage Function*) je funkcija uporediva sa LTE mrežnom funkcijom za strukturirano čuvanje podataka (SDSF - *Structured Data Storage Network Function*). UDSF je ostavljen kao opciona funkcija za čuvanje i pronalaženje informacija kao nestrukturiranih podataka od bilo kojeg NF-a. Na Slici 2.44 prikazani su interfejsi UDSF-a.

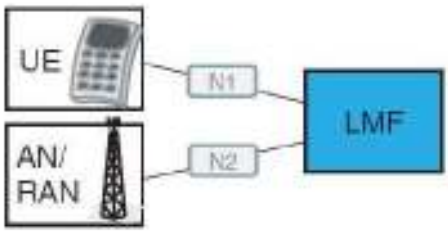


Slika 2.44. UDSF interfejsi

SMSF (*Short Message Service Function*) funkcija podržava prenos kratkih poruka (SMS) preko NAS (*Non Access Stratum*) u 5G infrastrukturi, [29]. SMSF funkcija uključuje SM-RP (*Short Message Relay Protocol*) i SM-CP (*Short Message Control Protocol*) protokole sa korisničkog terminala, kako je opisano u 3GPP TS 24.011 specifikaciji.

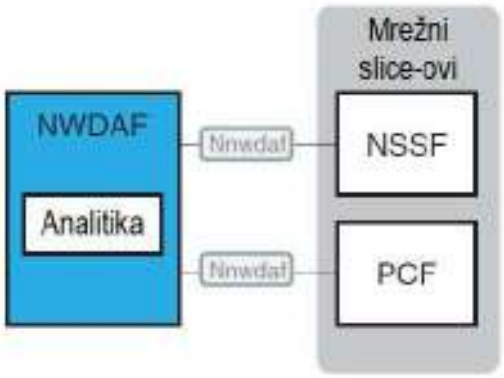
Registar identiteta 5G opreme (5G-EIR - *5G Equipment Identity Register*) predstavlja evoluciju LTE EIR-a. Zadatak 5G-EIR je da provjeri da li je odgovarajući identifikator opreme (PEI - *Permanent Equipment Identifier*) na crnoj listi.

Funkcija upravljanja lokacijom (LMF - *Location Management Function*) određuje lokaciju za korisnički terminal. Ova funkcija se može upotrijebiti za *downlink* mjerenja, za procjenu lokacije korisničke opreme, *uplink* mjerenja iz NG RAN-a. LMF interfejsi su prikazani na Slici 2.45.



Slika 2.45. LMF interfejsi

Funkcija analitike mrežnih podataka (NWDAF - *Network Data Analytics Function*) je logička funkcija mrežne analitike, kojom upravlja 5G mobilni mrežni operator. Zadatak NWDAF-a je da pruži mrežnu analitiku određenog segmenta koji je za to pretplaćen. Interfejsi NWDAF funkcije prikazani su na Slici 2.46.



Slika 2.46. NWDAF interfejsi

2.6. 5G radio pristupna mreža

Pošto je za implementaciju mobilnih mreža pete generacije opredijeljen najširi set frekvencija ikada korišćen za implementaciju mobilnih komunikacionih mreža, odgovarajuće planiranje radio mreže će doživjeti velike promjene. Radio interfejs 5G mreža doživljava suštinske promjene u odnosu na radio pristupnu mrežu sistema prethodnih generacija. Glavni razlog za takvu promjenu su potpuno nove mogućnosti 5G bežičnog pristupa, koje treba da omoguće nove scenarije primjene, koji su po zahtjevanim performansama daleko iznad performansi prethodnih mobilnih komunikacionih sistema.

Novi radio interfejsi implementirani u mrežama pete generacije omogućavaju mnogo veće brzine prenosa podataka, uz značajno manje vrijednosti kašnjenja, u poređenju sa mrežama prethodnih generacija. Takođe, treba istaći i sposobnost novih radio tehnologija da podržavaju korisničke servise izuzetno visokih performansi pri ekstremnoj gustini konektovanih uređaja, uz istovremeno povećanu energetsku efikasnost. Razvoj novog radio (NR) interfejsa za 5G se odvija kroz dalja unapređenja LTE radio pristupne mreže, u kombinaciji sa potpuno novim tehnologijama radio pristupa koje se razvijaju u okviru samostalnog 5G sistema.

Izvorni, 5G specifični, radio interfejs se naziva novi radio (NR – *New Radio*), i uključuje proširenje podržanih frekvencija na više frekvencijske opsege, daleko iznad 6GHz. Pored toga, pristupni i *backhaul* podsistem će biti čvršće integrisani. U 5G mreži se posebno tretira podrška komunikaciji od uređaja do uređaja (D2D – *Device to Device*), pri čemu se tako podržava ogroman broj istovremeno konektovanih uređaja, kao što su vozila, mašine, inteligentni senzori i slično. Ključne karakteristike 5G mobilnih komunikacionih sistema ogledaju se u dinamičkim karakteristikama komunikacija koje uključuju fleksibilni dupleks i fleksibilnu dodjelu frekvencijskog spektra, sve više se oslanjajući na prenos posredstvom višestrukih antenskih sistema, uz sve jasnije razdvajanje korisničke i kontrolne ravni.

5G arhitektura optimizuje resurse i zonu pokrivanja uz istovremeno smanjivanje opterećenja, koje nije direktno povezano sa korisničkim podacima. Podaci koji nijesu korisnički uključuju: signalizaciju za potrebe sinhronizacije, estimacije kanala, akvizicije mreže i emitovanje sistemskih i kontrolnih informacija. Pojednostavljeni dizajn je presudan u scenarijima koji podrazumijevaju veliki broj mrežnih čvorišta uz različite karakteristike, odnosno statistike saobraćaja. Pored toga, 5G dizajn optimizuje bilo koju vrstu implementacije. Mogućnost da mrežna čvorišta mogu brzo ući u nisko energetsko stanje, kada se ne vrši prenos korisničkih podataka, doprinosi energetskoj efikasnosti. Dodatna prednost 5G mrežnog dizajna je pozitivan uticaj na veću brzinu prenosa podataka, pošto se interferencije od drugih korisnika mogu svesti na minimum, raznim tehnikama za otklanjanje interferencije na bazi efikasne kontrole snage.

3GPP 5G ima za cilj da se uskladi sa strogim zahtjevima performansi ITU IMT-2020 familije standarda. Između ostalog, razvija se i 5G *frame* struktura, iako ostaje uporediva sa LTE mrežama. U Tabeli 2.4 su prikazani ključni parametri za *frame* strukturu radio interfejsa, uključujući poređenje sa prethodnim LTE radio mrežama.

Tabela 2.4. Ključni parametri za strukturu 4G i 5G okvira

Struktura okvira	4G LTE	5G NR
Radio okvir	10ms	10ms
Podokvir	1ms	1ms
Slot	0,5ms	0,5ms
Format slota	Definisan	Konfigurabilan

Pri tome, promjene u mnogim drugim parametrima koje se odnose na radio interfejs su mnogo značajnije. U Tabeli 2.5 dat je detaljniji uporedni prikaz relevantnih parametara 4G i 5G radio interfejsa.

Osnovno poboljšanje u mobilnim mrežama pete generacije ogleda se u sposobnosti upravljanja mnogo većim brzinama prenosa podataka i pružanja znatno većeg kapaciteta za istovremeno komuniciranje ljudi i uređaja. Da bi odgovorile ovim zahtjevima, 5G mreže treba da obezbijede radio opremu sa podrškom širih propusnih opsega. Između ostalog, u radio dijelu sistema se opredjeljuje više novih opsega učestanosti ispod i iznad 6GHz. Odluku o globalno harmonizovanim opsezima donosi ITU-R, dok primjena po državama zavisi od regulatora svake od njih. Razmatrane su mnoge varijante frekvencijskoh opsega sve do nivoa 100GHz. Konačna odluka svakog regiona i države zasniva se na kompletnoj slici entiteta kojima su frekvencije potrebne.

Kako je za blokovima frekvencija uobičajeno više potražnje nego ponude, odnosno kako frekvencijski spektar predstavlja ograničen resurs, javlja se potreba za njihovim optimizovanim korišćenjem uz tzv. *white* pristup, koji omogućava zajedničko korišćenje opsega od strane različitih zainteresovanih strana po potrebi. Pored tradicionalnih načina dodjele frekvencija za

operatore mobilnih mreža (MNO), koji kupuju pravo za licencirano korišćenje frekvencija, postoje i potencijalne opcije za nove načine dodjele spektralnih resursa, kao što je korišćenje opsega satelitskih komunikacionih sistema i opsega sistema za radio lociranje, tehnikom dijeljenja spektra. Režim dijeljenja spektra se može omogućiti putem licenciranog zajedničkog pristupa (LSA - *Licensed Shared Access*), koji predstavlja pristup usvojen u Evropi u opsegu od 2,3GHz, ili CBRS (*Citizens Broadband Radio Service*) pristupom koji je usvojen u Sjedinjenim Američkim Državama u opsegu od 3,5GHz. Kako se potreba za frekvencijskim opsezima u cilju realizacije mobilnih mreža pete generacije povećava zajedno sa očekivanim unaprijeđnim 5G servisima, kao i zbog konstantnog povećanja mašinskog tipa komunikacija (M2M), propagacione karakteristike mobilnog radio kanala mogu predstavljati ozbiljan izazov. Posebno imajući u vidu da za šira područja pokrivanja po radio ćeliji korišćene frekvencije moraju biti niže, dok se za ostvarivanje većih kapaciteta moraju koristiti više frekvencije.

Tabela 2.5. Poređenje ključnih karakteristika 4G i 5G radio interfejsa

Karakteristike	4G LTE	5G NR
Kodiranje za podatke	Turbo	LDPC
Kodiranje za kontrolne podatke	TBCC	Polar
Uplink modulaciona šema	SC-FDMA	DFT-S-OFDM; OFDM (opciono)
Downlink modulaciona šema	OFDM	OFDM
Širina opsega (MHz)	1.4,3,5,10,15,20	5,...,100 (ispod 6GHz) 50,...,400 (iznad 6GHz)
Separacija podnosilaca (KHz)	15 (*unicast*, MBMS) 7.5/1.25 (MBMS dodijeljeni podnos.)	30,60,120: 240 (ne za podatke)
Maksimalna agregacija podnosilaca (CC)	32	16
Max. MIMO portova	8 (SU-MIMO) 2 (MU-MIMO)	8 (SU-MIMO) 16 (MU-MIMO)
HARQ	TB	TB, *code block*

Radio frekvencijski opsezi za 5G su veoma raznorodni, od niskih opsega na 700MHz za pokrivanje rijetko naseljenih područja, do izrazito visokih, reda 70GHz, za funkcionalne ćelije vrlo malog dometa koje se gusto implementiraju u urbanim sredinama gdje je potrebno velikom broju korisnika obezbjediti veoma visoke informacione kapacitete.

Frekvencijski opsezi za 4G LTE mreže definisani su u 3GPP TS 36.104 specifikaciji, dok su 5G opsezi definisani u 3GPP TS 38.104 specifikaciji. Kao što se može vidjeti iz Tabele 2.6, broj LTE opsega se neprekidno povećavao zajedno sa novim izdanjima 3GPP tehničkih specifikacija. Prikazana lista zasnovana je na specifikaciji u verziji 15.2.0.

Tabela 2.6. Frekvencijski opsezi za LTE prema 3GPP TS 36.104

CH	$f_{UL,low}$ MHz	$f_{UL,high}$ MHz	$f_{DL,low}$ MHz	$f_{DL,high}$ MHz	Mod
1	1920.0	1980.0	2110.0	2170.0	FDD
2	1850.0	1910.0	1930.0	1990.0	FDD
3	1710.0	1785.0	1805.0	1880.0	FDD
4	1710.0	1755.0	2110.0	2155.0	FDD
5	824.0	849.0	869.0	894.0	FDD
6	830.0	840.0	875.0	885.0	FDD
7	2500.0	2570.0	2620.0	2690.0	FDD
8	880.0	915.0	925.0	960.0	FDD
9	1749.9	1784.9	1844.9	1879.9	FDD
10	1710.0	1770.0	2110.0	2170.0	FDD
11	1427.9	1447.9	1475.9	1495.9	FDD
12	699.0	716.0	729.0	746.0	FDD
13	777.0	787.0	746.0	756.0	FDD
14	788.0	798.0	758.0	768.0	FDD
15	N/A	N/A	N/A	N/A	FDD
16	N/A	N/A	N/A	N/A	FDD
17	704.0	716.0	734.0	746.0	FDD
18	815.0	830.0	860.0	875.0	FDD
19	830.0	845.0	875.0	890.0	FDD
20	832.0	862.0	791.0	821.0	FDD
21	1447.9	1462.9	1495.9	1510.9	FDD
22	3410.0	3490.0	3510.0	3590.0	FDD
23	2000.0	2020.0	2180.0	2200.0	FDD
24	1626.5	1660.5	1525.0	1559.0	FDD
25	1850.0	1915.0	1930.0	1995.0	FDD
26	814.0	849.0	859.0	894.0	FDD
27	807.0	824.0	852.0	869.0	FDD
28	703.0	748.0	758.0	803.0	FDD
29	N/A	N/A	717.0	728.0	FDD
30	2305.0	2315.0	2350.0	2360.0	FDD
31	452.5	457.5	462.5	467.5	FDD
32	N/A	N/A	1452.0	1496.0	FDD
33	1900.0	1920.0	1900.0	1920.0	TDD
34	2010.0	2025.0	2010.0	2025.0	TDD
35	1850.0	1910.0	1850.0	1910.0	TDD
36	1930.0	1990.0	1930.0	1990.0	TDD
37	1910.0	1930.0	1910.0	1930.0	TDD
38	2570.0	2620.0	2570.0	2620.0	TDD
39	1880.0	1920.0	1880.0	1920.0	TDD

CH	$f_{UL,low}$ MHz	$f_{UL,high}$ MHz	$f_{DL,low}$ MHz	$f_{DL,high}$ MHz	Mod
40	2300.0	2400.0	2300.0	2400.0	TDD
41	2496.0	2690.0	2496.0	2690.0	TDD
42	3400.0	3600.0	3400.0	3600.0	TDD
43	3600.0	3800.0	3600.0	3800.0	TDD
44	703.0	803.0	703.0	803.0	TDD
45	1447.0	1467.0	1447.0	1467.0	TDD
46	5150.0	5925.0	5150.0	5925.0	TDD
47	5855.0	5925.0	5855.0	5925.0	TDD
48	3550.0	3700.0	3550.0	3700.0	TDD
49	3550.0	3700.0	3550.0	3700.0	TDD
50	1432.0	1517.0	1432.0	1517.0	TDD
51	1427.0	1432.0	1427.0	1432.0	TDD
52	3300.0	3400.0	3300.0	3400.0	TDD
65	1920.0	2010.0	2110.0	2200.0	FDD
66	1710.0	1780.0	2110.0	2200.0	FDD
67	N/A	N/A	738.0	758.0	FDD
68	698.0	728.0	753.0	783.0	FDD
69	N/A	N/A	2570.0	2620.0	FDD
70	1695.0	1710.0	1995.0	2020.0	FDD
71	663.0	698.0	617.0	652.0	FDD
72	451.0	456.0	461.0	466.0	FDD
73	450.0	455.0	460.0	465.0	FDD
74	1427.0	1470.0	1475.0	1518.0	FDD
75	N/A	N/A	1432.0	1517.0	FDD
76	N/A	N/A	1427.0	1432.0	FDD
85	698.0	716.0	728.0	746.0	FDD

Propusni opseg (širina bloka) LTE-a može biti 1, 4, 5, 10, 15 ili 20MHz, u zavisnosti od raspoloživosti frekvencijskih opsega. Agregacija podnosilaca pruža dodatne mogućnosti za kombinovanje ovih opsega i postizanje šireg opsega frekvencijskog spektra po jednom korisniku.

Opsezi 5G NR frekvencija definisani su u 3GPP 38.104 specifikaciji. U Tabeli 2.7 su date 5G NR radio frekvencije i opsezi, za verziju 15.1.0. Kao što se može vidjeti iz ove tabele, mnogi opsezi se dijele sa LTE opsezima (5G opsezi n1 – n76 i 4G LTE opsezi 1–76), dok je ostatak 5G NR opsega nov (n77 – n84 i n257, n258 i n260).

Dodatni opsezi za potrebe 5G mobilnih komunikacionih sistema su identifikovani na ITU-R WRC-19 konferenciji. Tokom identifikovanja frekvencijskih opsega 24.25-27.5GHz, 37-43.5GHz, 45.5-47GHz, 47.2-48.2GHz i 66-71GHz za implementaciju 5G mreža, preduzete su odgovarajuće mjere za zaštitu EES (*Earth Exploration Satellite*) servisa, uključujući meteorološke i druge pasivne usluge u susjednim opsezima, [30].

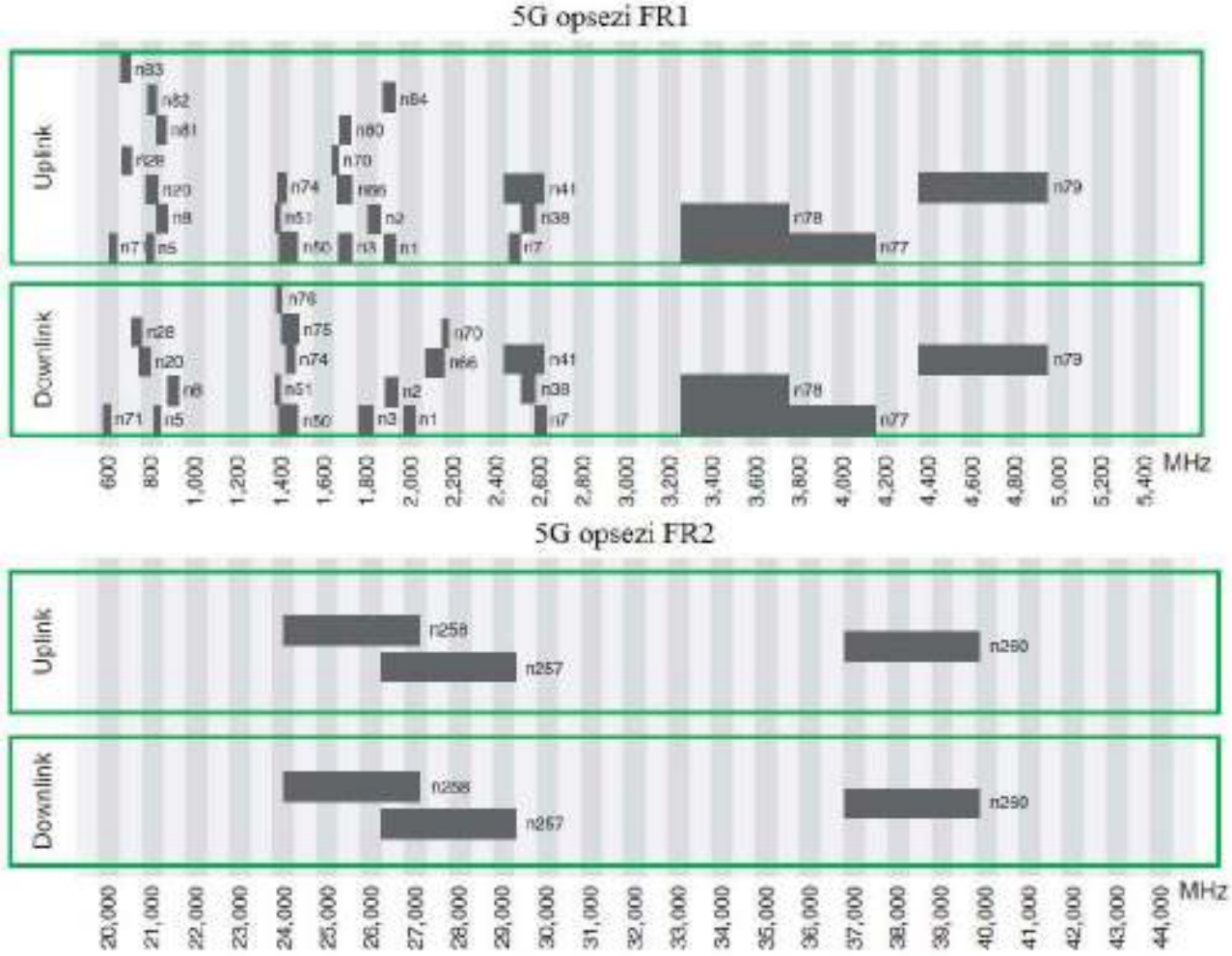
Tabela 2.7. Frekvencijski opsezi za NR prema 3GPP TS 38.104

CH	$f_{UL,low}$ MHz	$f_{UL,high}$ MHz	$f_{DL,low}$ MHz	$f_{DL,high}$ MHz	Mod
n1	1920.0	1980.0	2110.0	2170.0	FDD
n2	1850.0	1910.0	1930.0	1990.0	FDD
n3	1710.0	1785.0	1805.0	1880.0	FDD
n5	824.0	849.0	869.0	894.0	FDD
n7	2500.0	2570.0	2620.0	2690.0	FDD
n8	880.0	915.0	925.0	960.0	FDD
n20	832.0	862.0	791.0	821.0	FDD
n28	703.0	748.0	758.0	803.0	FDD
n38	2570.0	2620.0	2570.0	2620.0	TDD
n41	2496.0	2690.0	2496.0	2690.0	TDD
n50	1432.0	1517.0	1432.0	1517.0	TDD
n51	1427.0	1432.0	1427.0	1432.0	TDD
n66	1710.0	1780.0	2110.0	2200.0	FDD
n70	1695.0	1710.0	1995.0	2020.0	FDD
n71	663.0	698.0	617.0	652.0	FDD
n74	1427.0	1470.0	1475.0	1518.0	FDD
n75	N/A	N/A	1432.0	1517.0	SDL
n76	N/A	N/A	1427.0	1432.0	SDL
n77	3300.0	4200.0	3300.0	4200.0	TDD
n78	3300.0	3800.0	3300.0	3800.0	TDD
n79	4400.0	5000.0	4400.0	5000.0	TDD
n80	1710.0	1785.0	N/A	N/A	SUL
n81	880.0	915.0	N/A	N/A	SUL
n82	832.0	862.0	N/A	N/A	SUL
n83	703.0	748.0	N/A	N/A	SUL
n84	1920.0	1980.0	N/A	N/A	SUL
n257	26 500.0	29 500.0	26 500.0	29 500.0	TDD
n258	24 250.0	27 500.0	24 250.0	27 500.0	TDD
n260	37 000.0	40 000.0	37 000.0	40 000.0	TDD

Za IMT 2020 sisteme je identifikovana ukupna širina spektra od 17.25GHz, što je za skoro red veličine više u poređenju sa 1.9GHz širine spektra dostupnog prije WRC-19. Od ovog iznosa, širina od 14.75GHz spektra usaglašena je globalno, dostigavši 85% globalne harmonizacije.

Pored navedenog, WRC-19 je definisao i plan studija za identifikovanje frekvencijskih resursa za nove komponente 5G sistema, kao na primjer za omogućavanje mobilne povezanosti pomoću IMT baznih stanica tipa HIBS (HIBS - *High Altitude IMT Base Stations*). HIBS se može koristiti kao dio zemaljskih IMT mreža za pokrivanje teško pristupačnih oblasti u kojima je teško ostvariti pokrivenost zemaljskim IMT baznim stanicama po razumnoj cijeni.

3GPP označava podjelu frekvencijskog spektra za 5G na opsege ispod 6GHz (FR1 - *Frequency Range* 1) i na opsege iznad 6GHz (FR2 - *Frequency Range* 2), (FR 2). Tačnije, FR1 pokriva frekvencije u opsegu 450MHz – 6GHz, dok se FR2 odnosi na frekvencije unutar 24.25–52.6GHz. Tako opsezi n257, n258 i n260 iz Tabele 2.7 pripadaju opsegu FR2, dok je ostatak u opsegu FR1. Opsezi za 5G prikazani su na Slici 2.47. Specifičniji zahtevi za upotrebu RF kanala uključuju zaštitne opsege, toleranciju za interferirajuće opsege itd., i dati su u 3GPP TS 36.104 i TS 38.104 specifikacijama za 4G LTE i 5G NR.



Slika 2.47. 5G NR opsezi (3GPP Release 15)

5G NR je u mogućnosti da podrži različite opsege koje zahtijeva korisnička oprema (UE) na fleksibilan način. Kako se u 3GPP 38.104 specifikaciji navodi, bazna stanica može da emituje i/ili prima jedan ili više djelova frekvencijskog opsega od strane UE, koji su u okviru dodijeljenih frekvencijskih resursa. U navedenoj specifikaciji se opisuju višestruke konfiguracije NRB (NRB – *New Radio Bandwidth*) frekvencijskog opsega po kanalu bazne stanice i odgovarajući razmak podnosilaca za FR1 i FR2. U okviru FR1 konfiguracije frekvencijski blokovi mogu imati vrijednosti 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 i 100MHz, dok se podnosioci mogu separirati za 15, 30 i 60kHz. U okviru FR2 konfiguracije frekvencijski blokovi mogu imati vrijednosti od 50, 100, 200 i 400MHz, dok podnosioci mogu biti separirani za 60kHz ili za 120kHz.

Za ostvarivanje zahtjeva koji se postavljaju pred radio pristupnu mrežu 5G sistema neophodne su tehnologije koje će omogućiti njihovu podršku, pa stoga u nastavku slijedi pregled ključnih radio tehnologija za 5G mobilne mreže koje mogu doprinijeti da se postignu performanse u skladu sa strogim ITU-R zahtjevima za IMT-2020 sisteme.

2.6.1. OFDM u 5G mreži

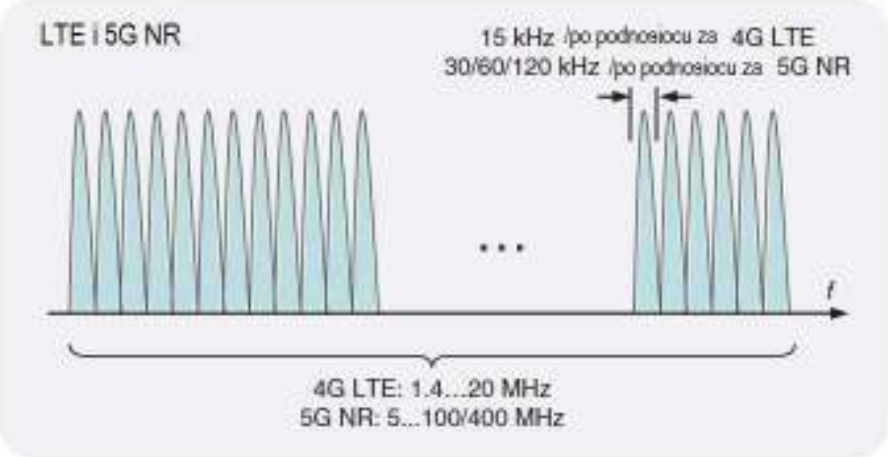
3GPP specifikacijama je odabran CP-OFDM (*Cyclic Prefix - Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) talasni oblik za 5G NR. NR i prethodno definisani LTE, zajedno čine 5G radio pristup, međusobno se podržavajući, posebno u prvoj fazi implementacije 5G sistema, saglasno 3GPP *Release* 15 specifikacijama. Dok LTE nastavlja da podržava opsege frekvencija ispod 6GHz, NR će imati na raspolaganju niz opsega šireg spektra, od 6GHz pa sve do oko 100GHz. Prednost zajedničkog funkcionisanja LTE i NR ogleda se u mogućnosti brže implementacije 5G sistema kroz fazni pristup uz maksimalno iskorišćenje postojeće infrastrukture mobilnih mrežnih operatora, smanjenju početnih ulaganja, postizanju veće pokrivenosti i većeg kapaciteta tehnikama agregacije, [31].

OFDM modulacija je odabrana kao osnova za 5G iz nekoliko razloga:

- OFDM je spektralno efikasan i za UL (*uplink*) i za DL (*downlink*), što omogućava podršku zahtjevima za velikom brzinom prenosa podataka. Pored radio interfejsa kao takvog, i *backhaul* ima koristi od tehnike modulacije zasnovane na OFDM-u, kao u slučaju gustog gradskog scenarija primjene, kada npr. nekoliko vozila izvodi asinhroni *broadcasting*;
- OFDM omogućava fluentno korišćenje MIMO-a, koji pruža visoku spektralnu efikasnost i putem jednokorisničkog MIMO-a (SU-MIMO) i putem višekorisničkog MIMO-a (MU-MIMO). U kombinaciji sa adaptivnom tehnologijom *beamforming*-a, OFDM doprinosi nadoknađivanju gubitka radio-propagacije na visokim frekvencijama;
- OFDM se može optimizovati za bolji odnos vršne i srednje snage (PAPR - *Peak-to-Average-Power-Ratio*). U LTE i LTE-A sistemima prethodne generacije, OFDM je odabran za *downlink* dok se *uplink* oslanja na SC-FDMA (*Single-Carrier Frequency-Division Multiplexing Access*), pošto je pogodniji za optimizaciju energetske efikasnosti uređaja. PAPR OFDM-a u 5G-u može se smanjiti primjenom tehnika redukcije PAPR-a sa malim uticajem na performanse sistema;
- Slučajevi sa velikim brzinama kretanja korisnika zahtijevaju robusnost za vremensku selektivnost kanala. OFDM podržava ovaj scenario putem adekvatnog podešavanja razmaka podnosilaca. Može se pretpostaviti da će se opsezi najviših frekvencija koristiti za male ćelije. Velika robusnost je potrebna za podršku sigurnoj komunikaciji vozila u V2X (V2X - *Vehicle-to-everything*) scenarijima komunikacije. Takođe može se očekivati da će doći i do povećanja značaja mobilnog *backhaul*-a;
- OFDM sistem se pravilnim odabirom podnosilaca može učiniti otpornijim na fazni šum;

- Složenost OFDM prijemnika u osnovnom opsegu je mala;
- OFDM je dobro lokalizovan u vremenskom domenu, što je relevantno u podršci izuzetno pouzdanim komunikacijama sa malim kašnjenjem (URLLC) i dinamičkim TDD tipom dupleksa;
- OFDM ciklični prefiks čini ga otpornim na greške sinhronizacije;
- OFDM je fleksibilan talasni oblik, tako da podržava niz različitih slučajeva i servisa uz širok opseg frekvencija, kada su razmak podnosilaca i ciklični prefiks adekvatno podešeni.

OFDM je tehnologija koja dijeli široki frekvencijski opseg na podopsege po kojima se prenose podaci između predajnika i prijemnika. U LTE i LTE-*Advanced* sistemima, podopsezi imaju fiksnu širinu od 15kHz, a u zavisnosti od potrebe za brzinom podataka, svaki uređaj dinamički koristi promjenljiv skup podnosilaca. Smisao korišćenja podnosilaca je dobijanje radio kanala koji je približno frekvencijski ravan u odnosu na svaki dati podopseg, i koji minimizira negativne efekte frekvencijski selektivnog fedinga. Ovaj princip čini ekvilizaciju mnogo jednostavnijom na prijemu, u poređenju sa tehnikama korišćenim u mobilnim sistemima prethodnih generacija. Na Slici 2.48 prikazana je širina kanala i separacija između njih u LTE i 5G sistemima.



Slika 2.48. Širina kanala i separacija između kanala u LTE i 5G sistemima

2.6.2. Neortogonalni višestruki pristup u 5G mreži

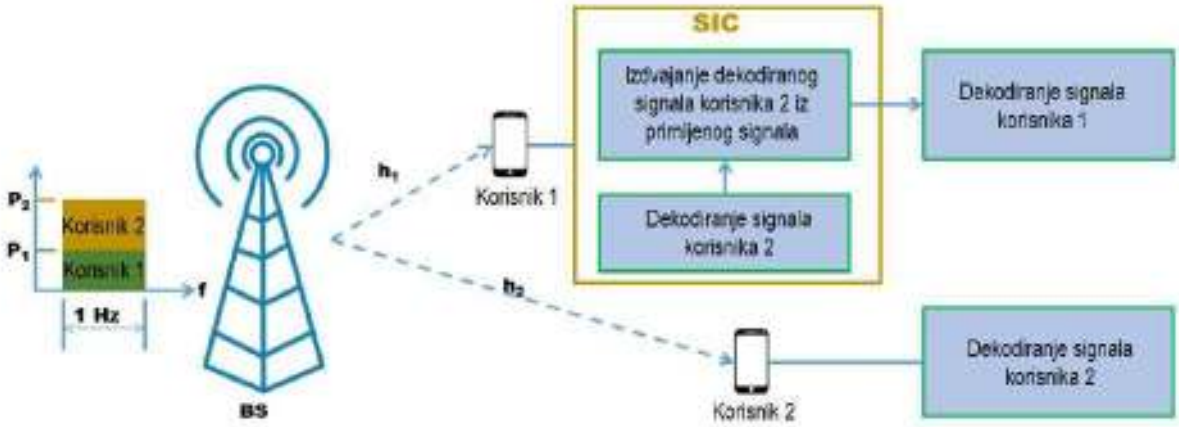
Teorijski, sistemi zasnovani na potpunoj ortogonalnosti ne doživljavaju međukorisničku interferenciju (MUI – *Multi User Interference*) zbog ortogonalne alokacije resursa. Međutim, kako je broj ortogonalnih resursa ograničen, potpuno ortogonalni sistemi ne mogu da opslužuju veliki broj korisnika, kako to zahtijevaju servisi podržani mobilnim mrežama pete generacije. Za razliku od njih, neortogonalni višestruki pristup (NOMA - *Non-Orthogonal Multiple Access*) dozvoljava interkorisničku interferenciju u alokaciji resursa korisnika i na taj način više korisnika se opslužuje pomoću istog bloka resursa. Da bi se umanjio efekat interferencije, primjenjuju se šeme za poništavanje smetnji kao što je sukcesivno poništavanje interferncije (SIC - *Successive Interference Cancellation*). NOMA pokazuje da ima potencijal za podršku većeg broja konekcija, istovremeno nudeći

veliki zbirni kapacitet i fer korišćenje resursa. Predviđeno je da celularne mreže zasnovane na NOMA pristupu podrže različite aplikacije sa prenosom velike količine podataka, [32].

Generalno gledano, postojeće NOMA šeme mogu se klasifikovati u dvije kategorije: NOMA u domenu snage i NOMA u kodnom domenu. Kod prvog metoda se dodjeljuje jedinstveni nivo snage korisniku i više korisnika prenosi svoje signale dijeleći iste vremensko-frekvencijsko-kodne resurse, pri čemu svaki korisnik ima na raspolaganju njemu dodijeljenu snagu. Nivo snage za datog korisnika određuje se na osnovu stanja na njegovom kanalu. Korisniku sa boljim stanjem kanala po pravilu se dodjeljuje niži nivo snage. Različiti korisnički signali mogu se razdvojiti iskorišćavanjem razlike u snazi korisnika na osnovu SIC (*Successive Interference Cancellation*) procedure. NOMA u domenu kodova oslanja se na knjige kodova, *spreading* sekvence, *interleaving* šablone ili *scrambling* sekvence da bi se neortogonalno alocirali resursi korisnicima.

Na Slici 2.49 predstavljen je jednostavan NOMA sistem koji se sastoji od jedne bazne stanice i dva korisnika od kojih je svaki od njih opremljen po jednom antenom.

Za razliku od NOMA u domenu snage, NOMA u domenu kodova postiže razdvajanje korisnika kodiranjem. Motivisan je klasičnim CDMA sistemima, u kojima više korisnika dijeli iste vremensko-frekvencijske resurse, dok koriste jedinstvene korisničke *spreading* sekvence. Međutim, u poređenju sa CDMA, jedinstvena karakteristika NOMA koda utiče na to da su nizovi *spreading* sekvenci ograničeni na rijetke sekvence (alternativno nazvane *low-density*) ili neortogonalne kroskorelacione sekvence.



Slika 2.49. NOMA u domenu snage

U poređenju sa ortogonalnim višestrukim pristupom, neke od ključnih prednosti koje nudi NOMA su:

- Visoka spektralna efikasnost, koja je postignuta opsluživanjem više korisnika korišćenjem istog bloka resursa, što poboljšava propusnost sistema;
- Masivna konektivnost, neophopdna za masivni IoT koji se odnosi na umrežavanje uređaja čiji se broj mjeri milijardama. Kako se od 5G

očekuje da podržava ovakav scenario masivne konektivnosti, NOMA je kandidat za ostvarivanje tog cilja. Budući da broj podržanih NOMA korisnika/uređaja nije striktno ograničen brojem dostupnih ortogonalnih resursa, NOMA ih može opslužutie sa manje korišćenih resursa;
- Fer korišćenje resursa korisnika, koje se ogleda u dodjeljivanju snage koja omogućava NOMA sistemu da napravi kompromis između pravičnosti među korisnicima i propusnosti. Stoga, ako se usvoji odgovarajuća raspodjela snage, korisnici na ivicama ćelija mogu takođe biti opsluženi većim brzinama prenosa podataka uz održavanje sistemske propusnosti;
- Niska latencija (kašnjenje) koja se ostvaruje neortogonalnim pristupom. Ortogonalni pristupi zavise od zahtjeva za dodjelu pristupa. *Uplink* korisnik prvo mora da pošalje *scheduling* zahtjev ka baznoj stanici, koja zatim šalje *clear* signal korisniku na *downlink* kanalu. Proces odobravanja pristupa tako povećava kašnjenje (uz dodatna zaglavlja signalizacije). Pored toga, uz masivnu povezanost, ortogonalni piloti nijesu dovoljni, pa postupak za odobravanje pristupa postaje još složeniji. Suprotno tome, višestruki pristup bez odobrenja može se realizovati u NOMA *uplink* šemama *blind* otkrivanjem aktivnih korisnika i dekodiranjem njihovih tokova podataka. Na osnovu toga NOMA bez odobrenja smanjuje kašnjenje.

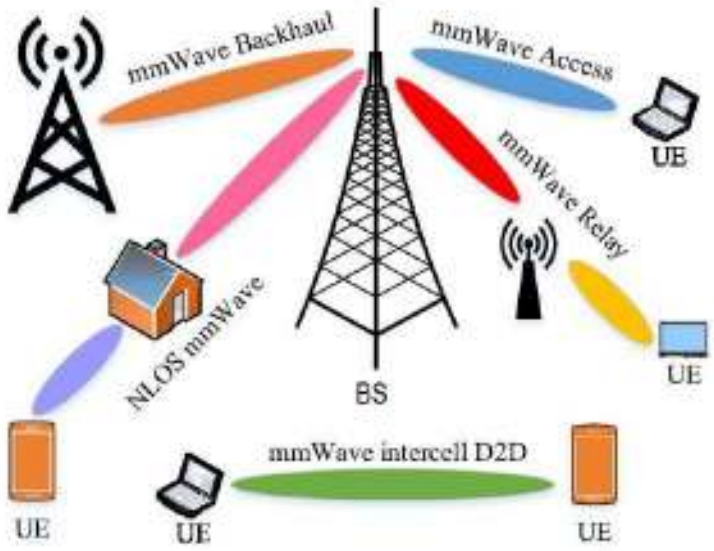
2.6.3. Milimetarski talasi

Bežični komunikacioni sistemi koji rade na milimetarskim talasnim područjima (*mm-wave*) se smatraju jednim od obećavajućih rješenja za povećanje raspoloživosti frekvencijskih resursa. Zahvaljujući maloj talasnoj dužini, u ovom području frekvencija moguće je upotrijebiti više antenskih nizova sa odgovarajućim razmacima na primopredajnicima, u poređenju sa nižim frekvencijskim opsezima.

Primjenu milimetarskih talasa, međutim, prati nekoliko tehničkih izazova. Tačnije, signali u milimetarskom području su veoma osjetljivi na prepreke, kao što su zgrade i ljudska tijela. Rezultati mjerenja ukazuju na to da u milimetarskom talasnom području ima velikih slabljenja na trasi, pa postoje ograničenja za LoS (LoS - *Line of Sight*) scenarije. To je i razlog da su za predviđanje i procjenu učinka milimetarskih ćelijskih mreža potrebni novi analitički modeli.

Jedna od glavnih karakteristika milimietarskih talasa u poređenju sa signalima iz nižih frekvencijskih opsega je veliko propagaciono slabljenje. Takođe, slabljenje usljed kiše (padavina generalno) i atmosferske/ molekularne apsorpcije dodatno smanjuje domet *mm-wave* komunikacije. Zbog toga se milimetarski talasi najčešće koriste za *indoor* komunikacije gdje atmosferska apsorpcija i slabljenje usljed kiše ne stvaraju nikakav značajan gubitak, [33]. Ovakve bazne stanice mogu biti iskorišćene i za *backhaul*, kada se ima na umu njihov kapacitet i usmjerenost koja se može postići u milimetarskom dijelu elektromagnetnog spektra.

Kao što je prikazano na Slici 2.50, potencijalne primjene milimetarskih talasa u mobilnoj 5G mreži su u pristupu malim ćelijama i bežičnom *backhaul*-u. U 5G RAN arhitekturi se kombinuju *mm-wave* ćelije sa postojećim makro ćelijama kako bi se obezbijedilo da su uvijek dostupne konekcija i poboljšani QoS, za većinu korisnika smještenih u određenom geografskom području.



Slika 2.50. Potencijalna primjena milimetarskih talasa u 5G sistemima

2.6.4. Koncept malih ćelija

Kao što je već rečeno, za implementaciju 5G mobilnih komunikacionih mreža opredijeljen je najširi mogući set frekvencija, uključujući i one koje su prema 3GPP-u označene sa FR2. U ovom frekvencijskom opsegu blokovi frekvencija koji se mogu dodijeliti dostižu širinu od čak 400MHz. To znači da se ovakvim frekvencijskim blokovima mogu podržati izuzetno visoke brzine pristupa korisnika 5G sistemu, uključujući i *hotspot*-ove. Istovremeno se na frekvencijama unutar FR2 opsega ostvaruju mali dometi komunikacije (manji od 200m), pa pokrivanje urbanih sredina primjenom malih ćelija (*small cells*), u *outdoor* okruženju sa direktnom linijom vidljivosti (LoS), podrazumijeva koncept razvoja gustih pristupnih tačaka.

Implementacija koncepta malih ćelija sa povećanom gustinom pristupnih tačaka, pored ostvarivanja velikog informacionog kapaciteta, treba da dovede do smanjenja izloženosti elektromagnetnim emisijama, obzirom da ovakve pristupne tačke rade sa nivoima snage koji su neuporedivo manji u poređenju sa standardnim makro i mikro baznim stanicama.

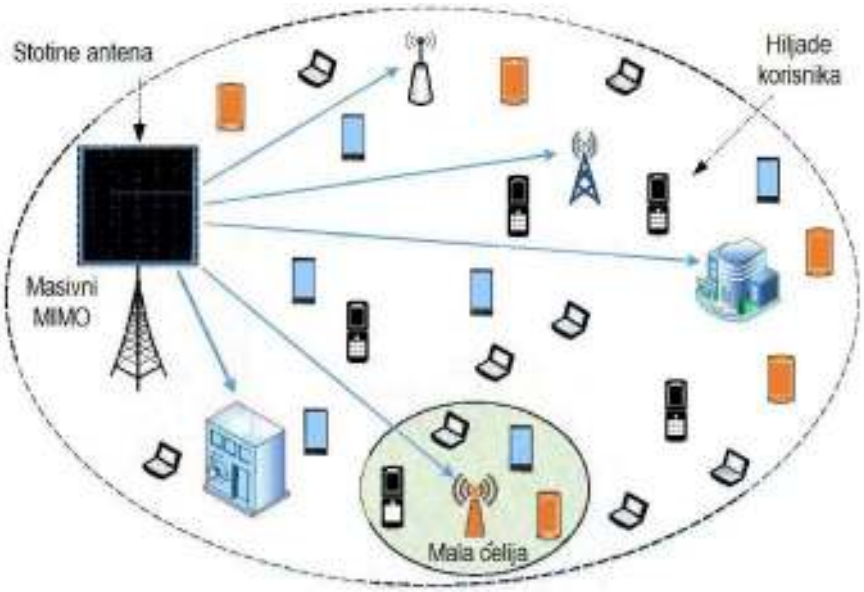
Koncept razvoja malih ćelija prate i izazovi u razvoju neophodne optičke infrastrukture za povezivanje velikog broja ovakvih ćelija u 5G mrežu, što je prepoznato i od strane Evropske komisije koja je utvrdila neophodne aktivnosti u cilju podsticanja razvoja ove infrastrukture, o čemu će više biti riječi u Glavi 4 ove Studije.

2.6.5. Masivni MIMO

MIMO se smatra jednom od ključnih bežičnih tehnologija skoro cijelu jednu deceniju. Između ostalog, omogućava povećani kapacitet i bolju energetsku efikasnost. MIMO sistemi su podijeljeni u dvije glavne kategorije: *point-to-point* MIMO i *multi-user* MIMO. Kod *point-to-point* MIMO sistema, i krajnji korisnik i bazna stanica (BS) su opremljeni sa više antena, ali se samo jedan korisnik se opslužuje u datom momentu. Nasuprot tome, *multi-user* MIMO sistemi mogu da opsluže više krajnjih korisnika. U cilju daljeg povećanja informacionog kapaciteta i povećanja dobitka multipleksiranja, uveden je koncept masivnog MIMO-a, [34].

Masivni MIMO prvi put je predložio *Thomas Marzetta,* [35], i smatra se prekretnicom u razvoju 5G mobilnih mreža. Ovi sistemi su poznati i kao antenski sistemi velikih dimenzija u smislu broja antenskih segmenata, zatim kao vrlo veliki MU-MIMO, hiper-MIMO i MIMO sistemi *full* dimenzije.

Kao što je prikazano na Slici 2.51, u konceptu masivnog MIMO sistema bazna stanica je opremljena velikim brojem antena, koji se koriste za podršku saobraćaju gigabitnog nivoa istovremeno prema mnogim aktivnim korisnicima.



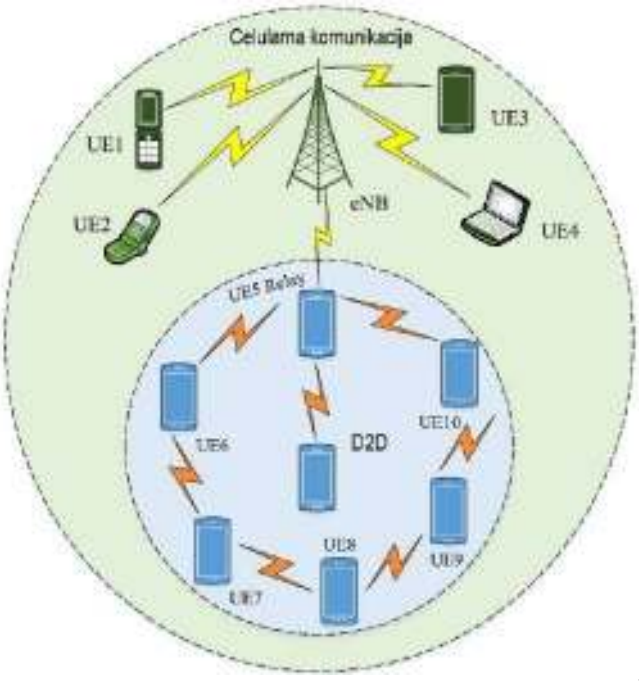
Slika 2.51. Potencijalna primjena masivnog MIMO-a u 5G radio pristupnoj mreži

Masivni MIMO sistem takođe poboljšava energetsku efikasnost, jer desetine antena smještenih na baznoj stanici pomažu usmjeravanju emitovane snage sa izuzetno uskim snopom zračenja na male regione u kojima postoji na stotine krajnjih korisnika. Jedna od ključnih prednosti masivnog MIMO-a je njegova integracija sa drugim 5G RAT tehnikama, kao što su *mm-wave*, neortogonalni višestruki pristup (NOMA), heterogene mreže i D2D komunikacija. NOMA zajedno sa masivnim MIMO sistemom povećava vjerovatnoću mrežne pokrivenosti i ukupnu brzinu prenosa podataka, zajedno sa fer raspodjelom radio resursa za svakog krajnjeg korisnika. S

druge strane, integracija masivnog MIMO-a u heterogenoj mreži povećava protok korišćenjem tehnologije *beamforming*-a. Integracija MIMO i *mm-wave* tehnologije povećava brzine prenosa podataka. Mala talasna dužina i karakteristike visokih frekvencija pomažu u dizajniranju antena malih fizičkih dimenzija i omogućavaju realnu primjenu masivnih MIMO tehnika. Nadalje, milimetarski talasi mogu biti korišćeni sa masivnim MIMO-om za *point-to-point backhaul* linkove. Integracija masivnog MIMO-a sa komunikacijom između uređaja (D2D) poboljšava spektralnu efikasnost. Međutim, između složenosti sistema i željenih performansi uvijek se mora postići određeni kompromis u cilju postizanja optimalnih rješenja, jer treba imati u vidu da veći red MIMO sistema stvara izazove u pogledu brzine obrade signala i njenog uticaja na ukupno kašnjenje u prenosu.

2.6.6. Komunikacija između uređaja (D2D)

U komunikaciji između uređaja (D2D), prenos podataka je usko lociran, direktno sa uređaja na uređaj, i nije neophodno da podaci prolaze kroz RAN ili jezgro mreže. Najnovije studije su pokazale da se zbog kratkog rastojanja između uparenih uređaja i direktne komunikacije povećava energetska efikasnost i smanjuju kašnjenja u mobilnoj mreži. Primjer D2D komunikacije zajedno sa ćelijskom komunikacijom prikazan je u heterogenom ćelijskom okruženju na Slici 2.52, gdje upareni uređaji direktno komuniciraju jedni sa drugima, a uređaji za celularnu komunikaciju komuniciraju sa eNB-om.



Slika 2.52. Realizacija D2D komunikacija u mobilnoj mreži pete generacije

D2D komunikacija je kategorizovana na onu u opsegu (*inband*) i onu van opsega (*outband*). Kod D2D komunikacije u opsegu, direktna komunikacija između uređaja odvija se u licenciranom frekvencijskom opsegu koji je dodijeljen operatorima. *Inband* D2D korisnici pristupaju licenciranom

spektru na dva načina: namjenskim režimom (ortogonalni režim) i dijeljenim režimom (neortogonalni režim). U *outband* D2D načinu komunikacije, direktna komunikacija među uređajima odvija se u nelicenciranom dijelu frekvencijskog spektra, [36].

2.6.7. Novi radio interfejs (NR)

3GPP 38.300 specifikacija definiše 5G NR interfejs i njegove sljedeće funkcionalnosti:

- Arhitekturu protokola i funkcionalnu podjelu;
- Interfejse;
- Arhitekturu radio protokola;
- Kanale i procedure za *uplink* i *downlink* komunikaciju;
- Kontrolu pristupa medijumu za prenos (MAC – *Medium Access Control*);
- Kontrolu radio linkova (RLC - *Radio Link Control*);
- PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*) protokol i upravljanje radio resursima (RRC - *Radio Resource Control*);
- Mobilnost i modove;
- *Scheduling;*
- Ključne funkcionalnosti i mogućnosti korisničke opreme;
- Kvalitet servisa (QoS);
- Sigurnost;
- Samokonfiguraciju i samo-optimizaciju (SON - *Self Optimizing Network*).

Kako je to već ranije pokazano u ovoj Studiji, 5G radio mreža ima svoj put evolucije. Međukorak na tom putu je nesamostalni (NSA – *Non Standalone*) 5G, sa elementom bazne stanice nazvanim ng-eNB. Na osnovu 3GPP specifikacija, to je čvorište koje pruža E-UTRA završetak protokolima korisničke i kontrolne ravni prema korisničkoj opremi. Povezan je preko interfejsa naredne generacije (NG - *Next Generation*) na 5G jezgro mreže (5GC). Prema tome, ovo čvorište je 4G eNodeB koje može da funkcioniše u okviru 5G mreže.

U potpuno razvijenoj samostalnoj (SA – *Stand Alone*) radio mreži 5G radio bazna stanica se označava kao gNB. To je čvorište koje pruža završetak NR protokola korisničke i kontrolne ravni prema korisničkoj opremi. Preko NG interfejsa povezan je sa 5G jezgrom mrežom.

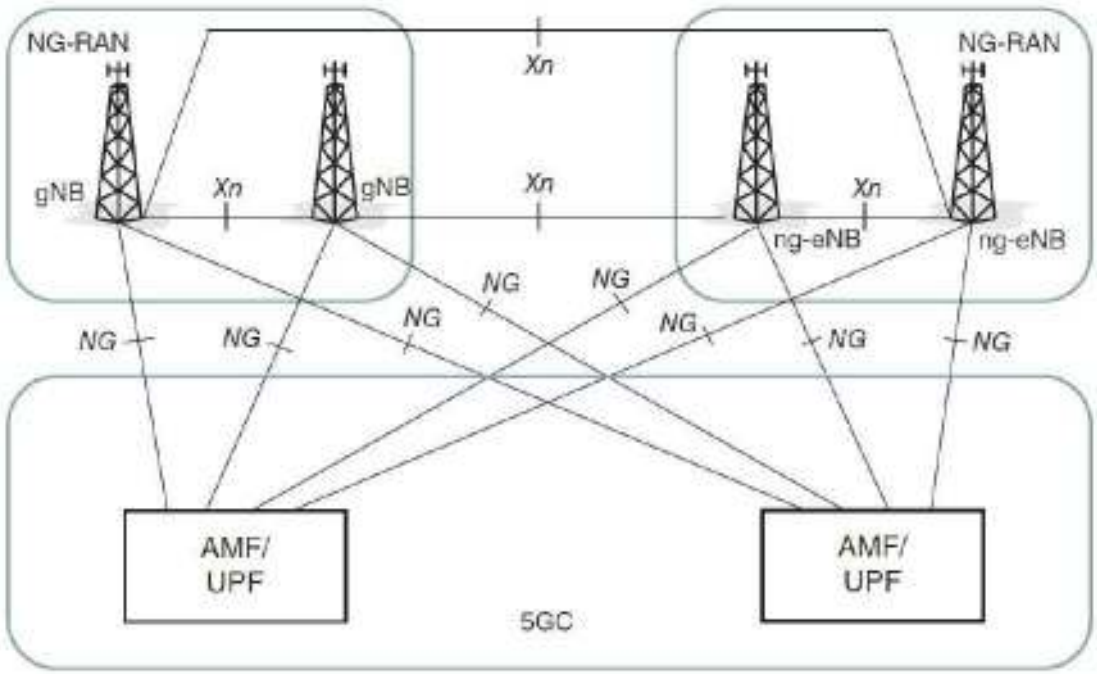
Dakle, u 5G radio pristupnoj mreži (NG-RAN) čvorišta (bazne stanice) mogu biti ili gNB (koji se efektivno odnosi na potpuno 5G baznu stanicu) ili ng-eNB (koja je radio bazna stanica zasnovana na 4G). Ovi gNB i ng-eNB elementi međusobno su povezani preko Xn interfejsa sa radio mrežom. Oba elementa su dalje povezana preko NG interfejsa do 5G jezgra mreže. Ovaj interfejs je podijeljen na korisnički i kontrolni dio. Kontrolni interfejs se naziva NG-C i povezuje baznu stanicu sa AMF funkcijom. Korisnički interfejs naziva se NG-U i on povezuje bazne stanice sa UPF funkcijom. Ovi interfejsi su opisani u 3GPP TS 23.501 specifikaciji, dok funkcionalni interfejsi podrazumjevaju

podjelu kontrolne i korisničke ravni i opisani su u 3GPP TS 38.401 specifikaciji.

Na Slici 2.53 prikazana je 5G NG-RAN arhitektura.

Samostalni 5G NodeB (gNB) i nesamostalni 4G NodeB (ng-eNB) obavljaju sljedeće funkcije:

- upravljanje radio resursima (RRM),
- upravljanje IP zaglavljem,
- upravljanje AMF-om,
- rutiranje;
- podešavanje i prekidanje konekcije,
- s*cheduling,*
- mjerenja,
- označavanje paketa,
- upravljanje sesijama,
- mrežno segmentiranje,
- QoS funkcije,
- podršku UE u RRC_INACTIVE stanju,
- distribuciju NAS poruka,
- segmentaciju RAN mreže,
- dualnu konektivnost,
- čvrsto međusobno povezivanje NR i E-UTRA.



Slika 2.53. Arhitektura 5G radio mreže

Upravljanje radio resursima (RRM) od strane gNB i ng-eNB uključuje kontrolu radio prenosa, kontrolu konektivnosti i mobilnosti, *scheduling*, koji se odnosi na dinamičku alokaciju resursa za skup korisničkih uređaja i na *uplink*-u i na *downlink*-u. Nadalje, IP 5G gNB-a omogućava kompresiju podataka upravljanjem zaglavljem, šifrovanje i zaštitu integriteta. gNB se

povezuje sa AMF funkcijom. Upravljanje povezanih AMF-ova sa strane gNB-a, odnosi se na izbor AMF-a nakon priključenja korisničkog uređaja, u onim scenarijima kada AMF ne može odrediti informacije o rutiranju iz UE poruka.

Funkcija rutiranja 5G gNB odnosi se na rutiranje podataka korisničke ravni prema skupu UPF elemenata i na rutiranje informacija kontrolne ravni ka AMF funkciji. Uspostavljanje i oslobađanje konekcije koje vrši 5G gNB odnosi se na procedure za pokretanje i završavanje sesija podataka. Funkcionalnost *scheduling*-a 5G gNB odnosi se na sposobnost planiranja i prenosa *paging* poruka koje potiču od AMF-a, kao i na raspoređivanje i prenos sistemskih *broadcast* informacija koje potiču iz AMF-a ili O&M-a.

5G gNB može da vrši mjerenja na radio interfejsu i isporučuje odgovarajuće izvještaje, koji pomažu u konfiguraciji za mobilnost i *scheduling*. Označavanje 5G gNB paketa odnosi se na sposobnost označavanja paketa transportnog nivoa na *uplink*-u. Upravljanje sesijom uključuje postupke i funkcionalnosti primijenjene tokom aktivnih veza za prenos podataka. Mrežno segmentiranje odnosi se na formiranje visoko dinamičnih virtuelnih podmreža sa različitim mogućnostima i optimizovanim korišćenjem resursa, saglasno servisnoj 5G arhitekturi, uz korišćenje prednosti virtuelizacije mrežnih funkcija. Drugim riječima, segmentacija mreže omogućava upotrebu samo resursa iz virtuelizovanog okruženja, koji su potrebni u određenom vremenu. QoS funkcije se odnose na upravljanje QoS protokom i mapiranje na podatke radio nosioca.

5G radio interfejs podržava skup modulacija, BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM i 256QAM. Podržane modulacione šeme navedene su u Tabeli 2.8.

Tabela 2.8. 5G modulacione šeme

	BPSK	QPSK	16QAM	64QAM	256QAM
Downlink		✓	✓	✓	✓
Uplink, OFDM, CP		✓	✓	✓	✓
Uplink, DFT-s-OFDM, CP	✓	✓	✓	✓	✓

U 5G-u je na *downlink*-u i *uplink*-u prenos organizovan u okvirima koji su izvedeni iz OFDM strukture. Trajanje jednog okvira je:

$$T_f = (\Delta f_{max} N_f / 100) \cdot T_c = 10\text{ms} \qquad (1)$$

Svaki okvir ima 10 podokvira, a pojedinačni podokvir ima trajanje od:

$$T_{sf} = (\Delta f_{max} N_f / 1000) \cdot T_c = 1\text{ms} \qquad (2)$$

Broj uzastopnih OFDM simbola po podokviru varira u zavisnosti od broja simbola i slota. Svaki okvir je podijeljen na dva poluokvira od po pet podokvira, sa poluokvirom 0, koji se sastoji od podokvira 0–4, i poluokvirom 1 koji se sastoji od podokvira 5–9. Detaljniji opis struktura okvira i raspodjela frekvencijskog opsega su dati u 3GPP TS 38.133 i TS 38.213 specifikacijama.

3GPP je definisao sljedeće *uplink* fizičke kanale za 5G komunikaciju:
- Fizički *uplink* dijeljeni kanal (PUSCH - *Physical Uplink Shared Channel*);
- Fizički *uplink* kontrolni kanal (PUCCH - *Physical Uplink Control Channel*);
- Fizički kanal sa slučajnim pristupom (PRACH - *Physical Random-Access Channel*).

Fizički nivo koristi i fizičke *uplink* signale koji ne nose informacije, a koji potiču iz viših slojeva:
- Demodulacioni referentni signali (DM-RS - *Demodulation Reference Signals*);
- Referentni signali za praćenje faza (PT-RS - *Phase-Tracking Reference Signals*);
- *Sounding* referentni signali (SRS - *Sounding Reference Signals*).

5G definiše sljedeće fizičke *downlink* kanale:
- Fizički *downlink* dijeljeni kanal (PDSCH - *Physical Downlink Shared Channel*);
- Fizički *broadcast* kanal (PBCH - *Physical Broadcast Channel*);
- Fizički *downlink* kontrolni kanal (PDCCH - *Physical Downlink Control Channel*).

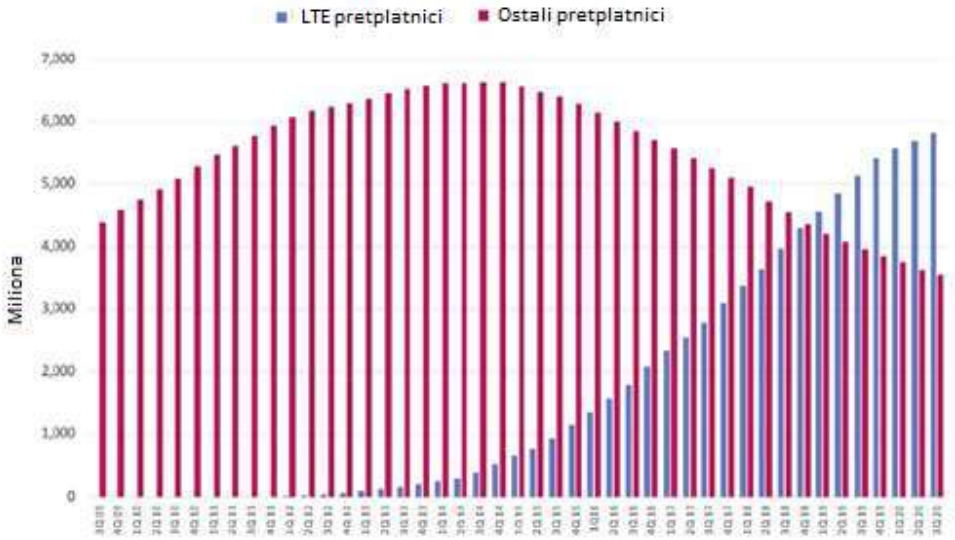
Fizički *downlink* signali koji ne nose informacije, a koji potiču iz viših slojeva su sljedeći:
- Demodulacioni referentni signali (DM-RS - *Demodulation Reference Signals*) za PDSCH i PBCH;
- Referentni signali za praćenje faza (PT-RS - *Phase-Tracking Reference Signals*);
- Referentni signal za informacije o stanju kanala (CSI-RS - *Channel-State Information Reference Signal*);
- Primarni signal za sinhronizaciju (PSS - *Primary Synchronization Signal*);
- Sekundarni signal za sinhronizaciju (SSS - *Secondary Synchronization Signal*).

Na kraju, kada je riječ o arhitekturi 5G mreže, može se reći da ona uvodi mnoge nove koncepte, od kojih su najznačajniji virtuelizacija mreže i *computing* na ivici mreže. Arhitektura 5G mreže može se okarakterisati kao arhitektura zasnovana na servisima, i kao takva daje sposobnost mreži da predstavi elemente arhitekture kao mrežne funkcije koje nude svoje specijalizovane usluge putem interfejsa zajedničkog okvira. Mrežno segmentiranje, kao posebna tehnološka novina omogućava da se na kontrolisan način koristi potreban skup funkcionalnosti, tako da se resursi mreže mogu optimizovati za svaki pojedinačni korisnički scenario. 5G sistemska arhitektura sadrži i novi model kvaliteta servisa, koji omogućava da servisi u okviru mobilnih mreža pete generacije budu mnogo fleksibilniji u poređenju sa mrežama prethodnih generacija. Još jedna prednost ovakve arhitekture je uopšteni dizajn funkcionalnosti i unaprijed kompatibilni interfejs između pristupne mreže i jezgra mreže, što omogućava zajedničkom 5G jezgru mreže da funkcioniše sa različitim pristupnim

mrežama. U okviru navedene arhitekture radio interfejs se nanovo definiše, implementacijom naprednijih modulacionih tehnika i inteligentnih antenskih sistema sa više nizova. Takav novi dizajn 5G radio interfejsa omogućava mnogo više složenih korisničkih scenarija, kao i uvećan kapacitet potreban za realizaciju masivne komunikacije mašinskog tipa, sa ultra malim kašnjenjem i značajno povećanom propusnošću podataka.

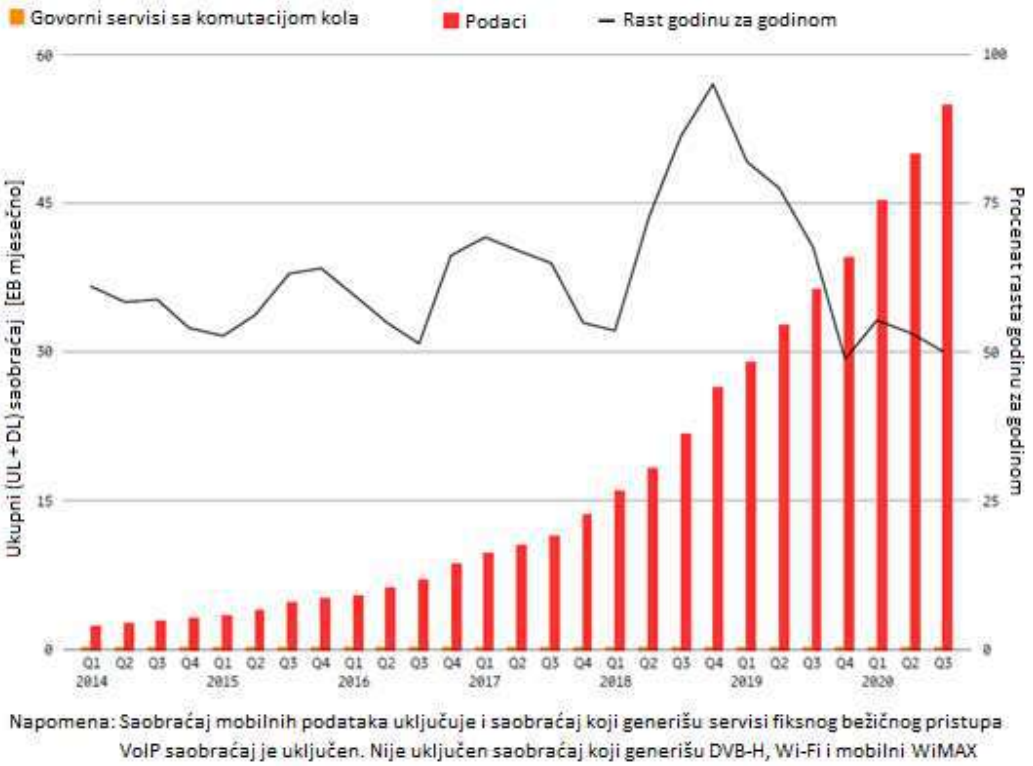
3. OSNOVNE KATEGORIJE 5G USLUGA, PODRUČJA PRIMJENE I SCENARIJI KORIŠĆENJA 5G MOBILNIH KOMUNIKACIONIH MREŽA

Sa porastom broja korisnika pametnih uređaja (telefona, tableta), koji je dodatno ubrzan primjenom LTE (*Long Term Evolution*) i LTE-A (*LTE-Advanced*) celularnih mreža širom svijeta, broj korisnika mobilnog širokopojasnog interneta se tokom godina povećava eksponencijalno. Tako na primjer, u periodu od godinu dana, decembar 2019-2020. godine, broj LTE (podrazumijeva i LTE-A) pretplatnika je porastao za 700 miliona, na 5,82 milijarde, i sada 62,1% ukupnog broja korisnika mobilnih celularnih mreža čine LTE pretplatnici, [37].



Slika 3.1. Broj LTE pretplatnika i pretplatnika ostalih mobilnih celularnih mreža

Ovakav trend neminovno uslovljava enorman rast mobilnog saobraćaja i promoviše novi talas nadogradnji i revoluciju u tehnologijama mobilnih komunikacija i telekomunikacionoj industriji u cjelini. Sektor za radiokomunikacije Međunarodne telekomunikaciona unije (ITU-R) je pravio predikcije rasta saobraćaja podataka, a rezultati su detaljno navedeni u izvještaju ITU-R M.2370-0, [38]. Ovaj izvještaj sadrži globalne procjene rasta IMT (*International Mobile Telecommunications*) saobraćaja nakon 2020. godine, dobijene iz više izvora. Navedene procjene predviđaju da će globalni IMT saobraćaj rasti 10–100 puta od 2020. do 2030. godine. Prema podacima koje je objavio *Ericsson* u svom izvještaju iz novembra 2020. godine, [39], saobraćaj mobilnih podataka je porastao za 50% između trećeg kvartala 2019. godine i trećeg kvartala 2020. godine.



Slika 3.2. Obim saobraćaja mobilnih podataka (u egzabajtima mjesečno) i godišnji rast (u %)

Neki od bitnih pokretača trenutnog i budućeg očekivanog rasta IMT saobraćaja uključuju povećanu upotrebu video zapisa, dostupnost kvalitetnih korisničkih uređaja (pametni telefoni, tableti), koji omogućavaju korišćenje najrazličitijih multimedijalnih sadržaja i koji podržavaju najnovija primijenjena tehnološka rješenja za podršku naprednim servisima, kao i preuzimanje i korišćenje brojnih novih aplikacija, komunikacionih platformi i društvenih mreža. Sve veća popularnost videa ultra-visoke definicije (UHD – *Ultra High Definition*) i 3D videa, značajno uvećava potrebu za povećanjem kapaciteta cjelokupne mreže, ali i za većim brzinama prenosa podataka prema pojedinačnim korisnicima. Na primjer, sa stostrukom kompresijom, za prenos 8K (3D) video zapisa, biće potrebna brzina prenosa blizu 1Gb/s. Servisi poput proširene stvarnosti (AR - *Augmented Reality*), *desktop clouda*-a i *online* igara, neće samo predstavljati izazov za brzine prenosa podataka prema baznoj stanici (UL - *uplink*) i od bazne stanice (DL – *downlink*), već oni generišu stroge zahtjeve za takozvano „neprimjetno kašnjenje". U budućnosti će se ogromne količine podataka pojedinaca i poslovnih subjekata čuvati u oblaku (*cloud*-u). Ovakve masovne aktivnosti zahtijevaće prenos podataka brzinama koje će biti uporedive sa komunikacijama optičkim vlaknima, što će dovesti do ogromnih izazova za mobilne komunikacione mreže, posebno u područjima *hotspot*-ova.

Istovremeno, korisnici će i dalje tražiti sve bolja korisnička iskustva (kvalitet servisa) u mobilnim komunikacijama, gdje god se nalazili. Usluga neprekidnog servisa se očekuje u svim scenarijima, uključujući ultra-guste ambijente poput stadiona, okupljanja na otvorenom i koncerata, te scenarije velikih brzina kretanja korisnika, kao što su brzi vozovi, vozila i podzemna željeznica.

Pored prethodno opisanih servisa i aplikacija, treba imati u vidu i sve širu implementaciju koncepta Interneta stvari (IoT - *Internet of Things*), koji nameće nove zahtjeve mrežnoj arhitekturi i mrežnim uređajima. Podrška hiljadama uređaja koji zahtjevaju, između ostalog, veoma kratko vrijeme pristupa mreži, kako bi poslali malu količinu podataka (npr. bežični sigurnosni senzori), predstavlja ogroman izazov za aktuelne mobilne celularne mreže.

Na kraju, ali ne i manje važno, očekuje se da će se u bliskoj budućnosti morati podržati i aplikacije jako osjetljive na kašnjenje i koje zahtjevaju ultra-pouzdan komunikacioni link. Upravljanje i kontrola pomoću bežičnih komunikacionih linkova spadaju u ovu kategoriju. Aplikacije poput udaljene kontrole robota i drugih segemenata industrijskih procesa, autonomne vožnje i zdravstvene zaštite zahtijevaju da kružno kašnjenje (RTT - *Round Trip Time*) bude reda ms ili manje.

Svi navedeni napredni servisi i rast saobraćaja mobilnih podataka, koji nameću mobilnim mrežama vrlo raznorodne i izazovne zahtjeve, su predstavljale osnov da Bostonska konsultanska grupa (BCG – *Boston Consulting Group*), u svom izvještaju predstavljenom u septembru 2018. godine, iznese procjenu da će kapacitet 4G mreža u tipičnim velikim evropskim gradovima, dostići svoj limit 2021. godine, [40]. Drugim riječima, BCG smatra da u tim gradovima 4G mreže neće moći da ispune sve veće zahtjeve korisnika. Mrežni operatori su primorani da pronađu dodatne načine da povećaju ukupan kapacitet sistema, i to su obično radili tako što su koristili dodatne spektralne resurse. Projekcije BCG-a pokazuju da bi cijena opsluživanja zahtjeva mobilnog saobraćaja 4G tehnologijom bila utrostručena između 2020. i 2025. godine, najvše uslijed potrebe za povećanjem broja baznih stanica, odnosno denzifikacijom mreže. U takvim uslovima, bolje i ekonomski isplativije rješenje za podršku sve većem obimu saobraćaja u mobilnim celularnim mrežama predstavlja prelazak na novu 5G tehnologiju. U scenariju primjene 5G mreža, srednji godišnji troškovi u mobilnoj mreži bi bili 2 puta manji nego u slučaju korišćenja 4G mreža, [40]. Međutim, ukupna vrijednost troškova, koja podrazumijeva i ulaganje za uspostavljanje 5G mreže, i dalje predstavlja veliki ekonomski izazov za operatore mobilnih mreža.

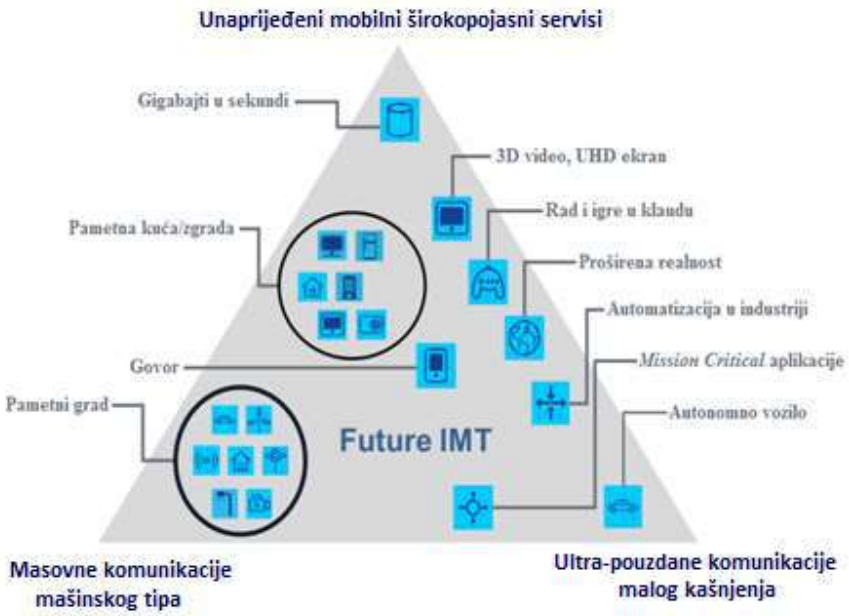
3.1. Osnovne kategorije 5G servisa prema ITU-R-u

Nasuprot prethodnim generacijama mobilnih celularnih mreža, koje su dizajnirane kako bi se najprije optimizovala efikasnost jednog određenog tipa servisa, 5G mreže su projektovane tako da mogu podržati raznovrsne servisne zahtjeve, uključujući jako velike brzine prenosa podataka (čak i u scenarijima velike mobilnosti korisnika), zatim konektovanje velikog broja uređaja na mrežu i na kraju, zahtjev za veoma malim kašnjenjenjem i velikom pouzdanošću.

Ova tri trenda su prepoznata kao servisni zahtjevi koje mora da ispuni 5G mreža. Iz tog razloga Sektor za radiokomunikacije Međunarodne telekomunikacione unije (ITU-R) je 2015. godine definisao tri osnovne kategorije servisa (usluga) IMT-2020 (*International Mobile Telecommunications for 2020 and beyond*) mobilnih komunikacionih sistema, [41], i to:

- unaprijeđeni mobilni širokopojasni servisi (eMBB - *Enhanced Mobile Broadband*),
- masovne komunikacije mašinskog tipa (mMTC - *Massive Machine Type Communications*) i
- ultra-pouzdane komunikacije malog kašnjenja (URLLC - *Ultra Reliable and Low Latency Communications*).

Slika 3.3 ilustruje neke od mogućih scenarija primjene IMT-2020, sa definisanim IMT-2020 kategorijama servisa, [41].



Slika 3.3. Kategorije IMT-2020 servisa i mogući scenariji primjene

Može se reći da ne postoji granica koja razdvaja ove tri kategorije servisa, pa se pojedini tipovi aplikacija i servisa mogu posmatrati kao da istovremeno pripadaju različitim kategorijama. Tako na primjer, servis proširene stvarnosti, po svojim karakteristikama zahtjevane brzine prenosa pripada eMBB kategoriji, ali zbog malog kašnjenja koje je potrebno ostvariti, nerijetko se svrstava i u URLLC kategoriju.

mMTC i URLLC komunikacioni scenariji podrazumijevaju komunikacije mašinskog tipa, tj. komunikacije bez učešća ljudi, i čine osnovu za postojeće i buduće IoT aplikacije, a posebno u oblasti industrijskog IoT-a (IioT - *Industrial IoT*). IIoT je pokretačka osnova automatizovanih i inteligentih proizvodnih procesa i fabrika budućnosti. Zato se često kaže da osnovu 5G servisa čine unaprijeđeni mobilni širokopojasni servisi i IoT servisi, koji objedinjuju mMTC i URLLC kategorije servisa.

IoT je fokusiran na komunikaciju između stvari i između stvari i ljudi, uključujući ne samo pojedinačne korisnike, već i veliki broj različitih vertikalnih industrijskih sektora. Vertikalni industrijski sektori, ili vertikalni sektori, podrazumijevaju industrijske sektore koji se fokusiraju na zajedničko, specifično tržište (npr. zdravstvo, transport, automobilska industrija, poljoprivreda i slično). Vrste IoT servisa i relevantni zahtjevi IoT usluga su veoma različiti. Za servise kao što su pametna kuća, pametna elektroenergetska mreža, monitoring životne sredine, pametna poljoprivreda i pametno mjerenje, mreža će morati da podrži veliki broj konektovanih uređaja i prenos malih paketa podataka, koji se šalju različitom učestanošću u zavisnosti od aplikacije. Usluge poput video nadzora i mobilnog zdravlja imaće stroge zahtjeve u pogledu brzine prenosa, dok će usluge poput komunikacija između vozila i industrijske kontrole zahtijevati kašnjenje reda milisekunde i gotovo 100% pouzdanost. Pored toga, mnogi IoT uređaji mogu biti postavljeni na velikim udaljenostima, ili u područjima u kojima gubici uslijed propagacije mogu predstavljati problem, poput podruma i tunela. Stoga je potrebno dodatno poboljšati pokrivenost mobilnih komunikaconih sistema. Da bi podržao što više IoT usluga, 5G bi trebao biti fleksibilniji i prilagodljiviji, podržavati konektovanje masivnog broja uređaja i udovoljavati različitim korisničkim zahtjevima.

Korisnici očekuju bolje, a sa druge strane isplativije usluge i iskustva s mobilnim Internetom i IoT-em. 5G takođe treba da zadovolji izuzetno visoke sigurnosne zahtjeve, posebno za usluge poput e-bankarstva, sigurnosnog nadzora, autonomne vožnje i zdravlja. 5G će omogućiti i manju potrošnju energije za izgradnju zelenijih mobilnih komunikacionih sistema i omogućiti mnogo duže trajanje baterije na terminalima, što je od posebne važnosti za IoT uređaje u specifičnim komunikacionim uslovima.

3.1.1. eMBB

Mobilni širokopojasni servisi se odnose na servise usmjerene na čovjeka, kao što su multimedijalni sadržaji i prenos podataka velikim brzinama. Zahtjevi za mobilnim širokopojasnim servisima će nastaviti da rastu, što vodi prema unaprijeđenim mobilnim širokopojasnim servisima. Korisnički scenariji uključuju brojne moguće slučajeve, kao što je pokrivanje širokih oblasti, ali i *hotspot*-ove, koji imaju različite servisne zahtjeve. Tako je za slučaj *hotspot*-a, za neku oblast sa velikom gustinom korisnika, potreban veoma veliki kapacitet mreže, kao i velike brzine prenosa podataka po korisniku, dok je podrazumijevana mobilnost korisnika mala, u poređenju sa scenarijom pokrivanja neke prostrane oblasti. Za scenario pokrivanja većih područja, poželjno je odgovarajuće pokrivanje kompletne oblasti bez sjenki u pokrivanju, uz srednju ili veliku mobilnost korisnika, i znatno poboljšane brzine prenosa podataka po korisniku, u poređenju sa postojećim mrežama. Međutim, zahtjevana brzina prenosa podataka u odnosu na *hotspot*-ove je znatno relaksirana, [41].

Unaprijeđeni mobilni širokopojasni internet uvodi novine u tradicionalni poslovni model mobilnih komunikacija, omogućavajući do sada neviđena korisnička iskustva i stvarajući veliki uticaj na svaki aspekt rada i života ljudi. Nakon 2020. godine, takav mobilni internet će promovisati kontinuirani razvoj načina na koji ljudi vrše interakciju sa informacijama i pružiti korisnicima vrhunsko iskustvo kroz servise koji uključuju, ali nijesu ograničeni na, [42]:

- video servise, poput prenosa videa ultra-visoke rezolucije (UHD) i trodimenzionalnog (3D) videa,
- proširenu stvarnost (AR – *Augmented Reality*),
- virtuelnu realnost (VR – *Virtual Reality*),
- razmjenu videa/fotografija na stadionu, odnosno pri okupljanjima na otvorenom,
- aplikacije za *online* igre,
- mobilni *cloud*,
- taktilni Internet,
- obradu podataka na udaljenim lokacijama,
- usluge slične difuznom emitovanju, poput lokalnih, regionalnih i nacionalnih vijesti i informacija.
- pametne kancelarije, pametne kuće i slično.

Osnovna ideja eMBB grupe servisa je da veće brzine prenosa podataka i manje kašnjenje mogu pružiti bolje korisničko iskustvo na pametnim telefonima ili na bilo kojem povezanom uređaju (npr. naočare za proširenu stvarnost i hardver za *online* igrice). Telekomunikacione kompanije će ovakvim servisima pokriti gusto naseljena područja, kao što su oblasti u

kojima ljudi rade, kako bi iskoristili veliku bazu korisnika. Ali to unapređenje kvaliteta servisa pretpostavlja da su korisnici spremni da plate više za poboljšano iskustvo, a povećana brzina prenosa podataka i smanjeno kašnjenje, sami po sebi, vjerovatno neće biti dovoljni (pogotovo što gotovo svi operatori nadograđuju svoje mreže i veće brzine prenosa podataka su nešto što se za korisnike podrazumijeva). Tako će telekomunikacioni operatori morati ponuditi prilagođeni sadržaj i dodatne usluge, koje će da koriste poboljšanja koja donosi 5G. Neki telekomunikacioni operatori eksperimentišu s proširenom stvarnošću (AR). Korisnicima uključuju AR funkcije oko sportskih događaja i koncerata (na primjer, kada korisnici odaberu ili uvećaju igrača, mogu da vide statistiku i druge informacije). Ili bi mogli dodati funkcije poput ponavljanja iz više uglova kamere - dizajnirane da poboljšaju iskustvo stadiona, sportskog ili muzičkog događaja, za korisnike koji koriste *streaming* servise u svojim domovima. Sve ove opcije zahtijevaće namjenska ulaganja od strane telekomunikacionih kompanija i vjerovatno nova partnerstva. Za biznis korisnike, neki telekomunikacioni operatori mogu koristiti AR funkcije za obuke, poslove izgradnje i održavanja (na primjer, radnik može dobijati uživo uputstva na vizuelnom nivou na svom telefonu, ili putem naočara). Telekomunikacione kompanije takođe mogu uključiti pristup mobilnoj platformi za igre zasnovane na *cloud*-u (primjer je *Microsoft*-ov projekat *xCloud*), [43].

Slika 3.4. Primjeri servisa iz eMBB kategorije

Pošto potencijalni scenariji primjene variraju na mikroregionalnom nivou, za telekomunikacione operatore je od suštinske važnosti da što bolje sagledaju karakteristike korisnika, njihove obrasce korišćenja servisa i stvarne potrebe na nivou pojedinih regiona.

Iako ne podrazumijeva mobilnost korisnika, u eMBB kategoriju servisa se ubraja i fiksni bežični pristup (FWA – *Fixed Wireless Access*), koji po brzinama treba da bude konkurentan pristupu korišćenjem kablova sa optičkim vlaknima. U ovom scenariju, telekomunikacione kompanije iskoristile bi poboljšanu brzinu prenosa podataka i performanse 5G mreža, kako bi ponudile širokopojasne veze prema fiksnoj lokaciji (poput kuće ili poslovnih zgrada) putem mobilnih mreža. FWA se definiše kao konekcija koja obezbjeđuje širokopojasni pristup kroz korisničku opremu, koja je smještena u korisničkim prostorijama i dozvoljen joj je pristup mobilnoj mreži. Različiti tipovi korisničke opreme se mogu koristiti, od one montirane u zatvorenom prostoru (*indoor*), do opreme koja se montira na otvorenom (*outdoor*), na krovovima ili na fasadama. FWA korisnička oprema ne uključuje prenosive WiFi rutere koji se baterijski napajaju, ili USB (*Universal Serial Bus*) adaptere.

Operatori mobilne telefonije, uz pomoć FWA servisa, bi pod određenim okolnostima mogli biti održiva alternativa provajderima servisa širokopojasnog pristupa u fiksnoj mreži, i jedina opcija na lokacijama koje ne opslužuju fiksne mreže. Značajno je da bi telekomunikacione kompanije ciljale sasvim drugu vrstu oblasti koju bi pokrivali FWA servisom, u odnosu na eMBB. Umjesto na gusto naseljena područja, fokusirali bi se na slabije naseljene lokacije.

S druge strane, FWA zahtijeva novi spektar velike širine, čija cijena može biti visoka za telekomuniakcione operatore. Telekomunikacione kompanije moraju praviti strateške planove oko toga gdje i kako će implementirati ovaj tip servisa, odnosno gdje im to može biti finansijski isplativo. Do septembra 2020. godine, 37 servis provajdera je pokrenulo puni FWA servis, a veliki broj sprovodi testne implementacije i namjeravaju da iskoriste ovu atraktivnu dodatnu mogućnost prihoda od širokopojasnog pristupa putem 5G mreža. Procjena je da je FWA saobraćaj predstavljao oko 15% ukupnog saobraćaja mobilnih celularnih mreža krajem 2020. godine, a da će obim saobraćaja ovog tipa porasti 7 puta do kraja 2026. godine, dostižući nivo od 67EB/mjesecu, čime bi činio oko 25% ukupnog saobraćaja u mobilnim celularnim mrežama, [39].

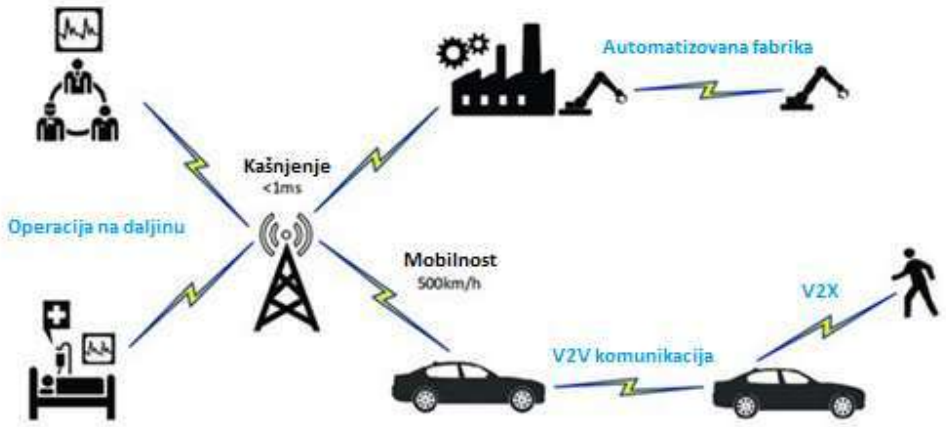
eMBB kategorija servisa će obuhvatiti najveći broj scenarija primjene u početku implementacije 5G mreža, jer će primjenom naprednih rješenja veoma efikasno koristiti nove spektralne resurse, u opsegu srednjih frekvencija II i na opsezima milimetarskih talasa (*mmWave*) oko 24GHz, koji su globalno harmonizovani.

3.1.2. URLLC

URLLC je servisna kategorija koja ima za cilj da pruži podršku servisima osjetljivim na kašnjenje, koji pored toga podrazumijevaju veliku pouzdanost, poput, [44]:

- kontrole na daljinu različitih industrijskih procesa,
- operacija na daljinu u medicini,
- automatizacije distribucije energije u pametnim elektroenergetskim mrežama,
- bezbjednosti transporta i autonomna vozila,
- taktilnog Interneta, itd.

Ovakvi servisi se često označavaju kao kritični (*mission-critical*) servisi i između navedene tri kategorije 5G servisa, URLLC predstavljaju najveći izazov, iz prostog razloga što treba da zadovolje dva suprotstavljena zahtjeva: malo kašnjenje i visoku pouzdanost. Kada se sa jedne strane poboljšava pouzdanost mreže, to obično podrazumijeva korišćenje više resursa za signalizaciju, retransmisiju i redudantnost, što dalje nužno implicira povećanje kašnjenja, [45].



Slika 3.5. Primjeri servisa iz URLLC kategorije

I dok je kašnjenje kod 4G mreža značajno smanjeno u odnosu na 3G, i dalje je kašnjenje od kraja – do kraja (*end-to-end*) u opsegu 30-100ms. Razlog tome je što jezgro mreže koristi mehanizam tzv. najboljeg pokušaja (*best-effort*), koji nije optimalan za *mission-critical* servise. U sklopu *Release* 15 dokumenta, 3GPP je definisao maksimalno kašnjenje od 1ms za URLLC servise. Stoga su neophodne fundamentalne promjene i na bežičnom linku i na jezgru mreže. Veliki dio kašnjenja uslijed prenosa posljedica je složene kontrolne signalizacije (npr. pilot signali i signali potvrde), što uzima gotovo 0,3 ~ 0,4ms po *scheduling*-u. Tako npr., kada se vrši prenos malog paketa, čije kašnjenje uslijed prenosa iznosi 0,5ms, preko 60% resursa biće

potrošeno na kontrolu. Sa druge strane, kod 4G mreža se postiže BLER (*Block Error Rate*) od 10^{-2} primjenom kanalnog kodiranja (npr. turbo kodovi) i mehanizama retransmisije (HARQ - *Hybrid Automatic Repeat Request*). URLLC zahtijeva da vrijednost BLER-a bude u opsegu 10^{-9} – 10^{-5}, u zavisnosti od slučaja primjene, [46]. Za omogućavanje ultra-pouzdanih servisa malog kašnjenja (URLLC), 5G mreže bi trebale da podrže prenos preko radio linka, paketa veličine 32 bajta, sa pouzdanošću od 99,999%, uz kašnjenje u korisničkoj ravni od 1ms, [47]. Iz prethodnog je lako zaključiti da je potpuno neefikasno implementirati URLLC u okviru trenutnih LTE sistema.

Realizacija URLLC-a predstavlja jednu od ključnih tačaka koncepta 5G mreža, između ostalog i zato što u ovoj oblasti pružanja servisa 5G nema konkurentnih bežičnih komunikacionih tehnologija. U stvari, 5G mreže na ovaj način postaju konkurencija konekcijama realizovanim kablovima sa optičkim vlaknima, uz mnogo veću fleksibilnost za buduće izmjene, nadogradnje i slično. Bitno je pomenuti da je na WRC-19 (*World Radiocommunication Conference*) konferenciji, održanoj 2019. godine, identifikovano 17,25GHz opsega iznad 24GHz (*mmWave*) za IMT (*International Mobile Telecommuications*) namjene, uključujući IMT-2020. Većina ovih opsega su globalno harmonizovani, kao što su opsezi 24,25-27,5GHz, 37-43,5GHz i 66-71GHz, dok su opsezi 45,5-47GHz i 47,2-48,2GHz identifikovani kao slobodni za buduće IMT namjene u pojedinim zemljama. Ovi novi raspoloživi *mmWave* opsezi će omogućiti brži razvoj novih URLLC servisa, ali i eMBB servisa.

3.1.3. mMTC

Ovu kategoriju servisa karakteriše veoma veliki broj povezanih uređaja, koji obično emituju relativno male količine podataka i koji nijesu kritični sa stanovišta kašnjenja. Primjeri servisa su različita senzorska mjerenja, nadgledanja, praćenja parametara, koji zahtijevaju veliku gustinu konekcije i veliku energetsku efikasnost.

Od uređaja se zahtijeva da budu niske cijene i dugog vijeka trajanja baterijskog napajanja, [41]. 3GPP je definisao konektivnost nivoa 10^6 uređaja/km^2. Očekivano veliko rastojanje između uređaja i bazne stanice određuje da se mMTC komunikacije ne mogu implementirati na visokim frekvencijskim opsezima. Za ostvarenje što šireg pokrivanja 5G mrežama, od interesa je korišćenje opsega ispog 1GHz. Dobre propagacione karakteristike na ovim opsezima, ali i na frekvencijskim opsezima koji se svrstavaju u srednje opsege I, čine ih pogodnim za različite mMTC komunikacione servise, odnosno brojne IoT scenarije primjene. Kod komunikacija ovog tipa dominira *uplink* (UL) smjer prenosa podataka, pa je

način pristupanja medijumu za prenos tako velikog broja uređaja koje opslužuje jedna bazna stanica, kritično pitanje, koje će i dalje biti razmatrano i unapređivano. Sa druge strane, potreba da jednom postavljeni senzorski uređaji imaju mogućnost višegodišnjeg funkcionisanja (u nekim aplikacijama i preko 10 god.) bez zamjene baterijskog napajanja, uslovljava da se ostavi mogućnost softverske nadogradnje senzora preko radio linka, odnosno da i u *downlink* (DL) smjeru komunikacije mora postojati dovoljan kapacitet da bi senzor mogao preuzeti potrebni softver za ažuriranje.

IoT je proširio opseg mobilnih komunikacionih servisa ka međusobnom povezivanju pametnih uređaja i povezivanju između ljudi i stvari, omogućavajući mobilnim komunikacinim tehnologijama da prodru u nove oblasti industrije, što će povećati značaj mobilnih komunikacija. U međuvremenu, masivan broj međusobno povezanih uređaja i različitih IoT servisa, takođe će postaviti nove izazove pred mobilnim komunikacionim sistemima. Potencijalni IoT scenariji primjene zasnovani na mMTC kategoriji servisa uključuju, [48]:

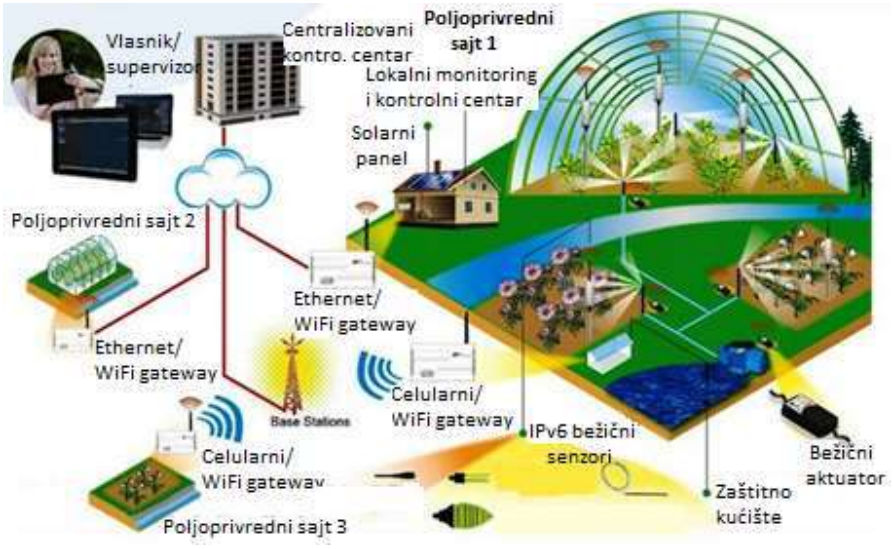
- monitoring životne sredine,
- pametnu poljoprivredu,
- pametna mjerenja,
- pametnu nosivu opremu, poput sportske opreme i opreme za fitnes,
- senzorske mreže,
- pametne gradove,
- pametan prevoz,
- pametne kuće, itd.

ITU-R je u svom Izvještaju o procjeni IMT saobraćaja od 2020. do 2030. godine, napravio i procjenu rasta broja M2M pretplatničkih konekcija u narednim godinama. Predviđa se da će ukupan broj uređaja sa M2M konekcijama na globalne mobilne komunikacione mreže dostići 100 milijardi do 2030. godine (Slika 3.7), [38].

U uslovima ubrzane digitalne transformacije koja se dešava kao posljedica aktuelne Covid-19 pandemije, IoT tržište nastavlja da raste. Od 2020. godine prvi put postoji više IoT veza (npr. povezani automobili, pametni kućni uređaji, povezana industrijska oprema) nego ne-IoT veza (pametni telefoni, *laptop* i *desktop* računari). Od 21,7 milijardi aktivnih povezanih uređaja širom svijeta krajem 2020. godine, 11,7 milijardi (ili 54%) su IoT konekcije, [49]. U ovaj podatak su uključeni uređaji povezani i drugim IoT komunikacionim tehnologijama, a ne samo putem IMT mobilnih celularnih mreža. Do 2025. godine se očekuje da će biti više od 30 milijardi IoT veza, što je u prosjeku približno 4 IoT uređaja po osobi (Slika 3.8), [49].

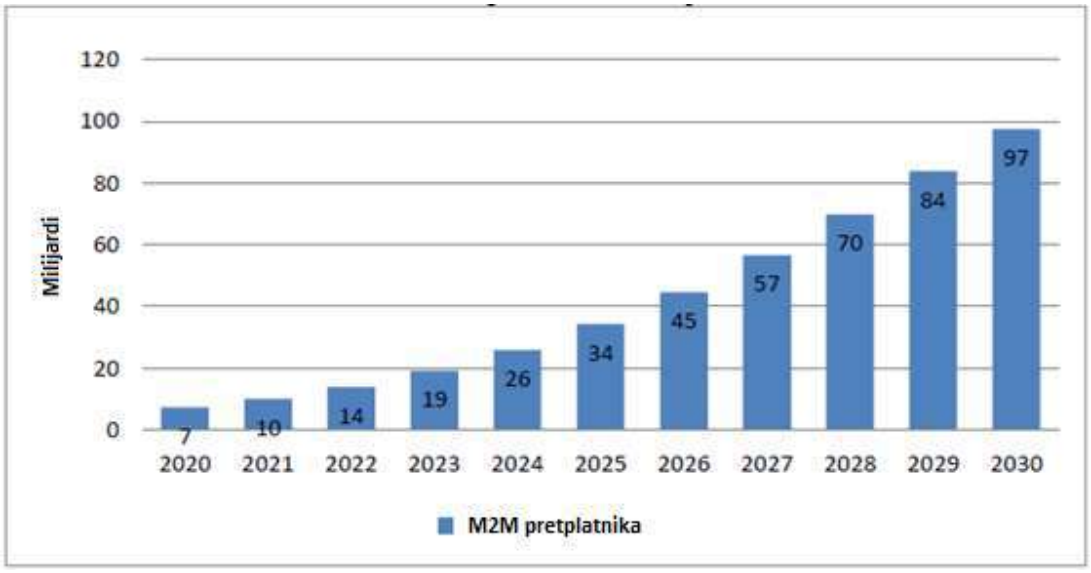
a)

b)



c)

Slika 3.6. Primjeri servisa iz kategorije mMTC: pametna kuća (a), pametni grad (b) i pametna poljoprivreda (c)



Slika 3.7. Predikcija rasta broja M2M konekcija u mobilnim celularnim mrežama

Slika 3.8. Predikcija broja IoT konekcija do 2025. godine

3.2. Indikatori performansi i servisni zahtjevi 5G mreža

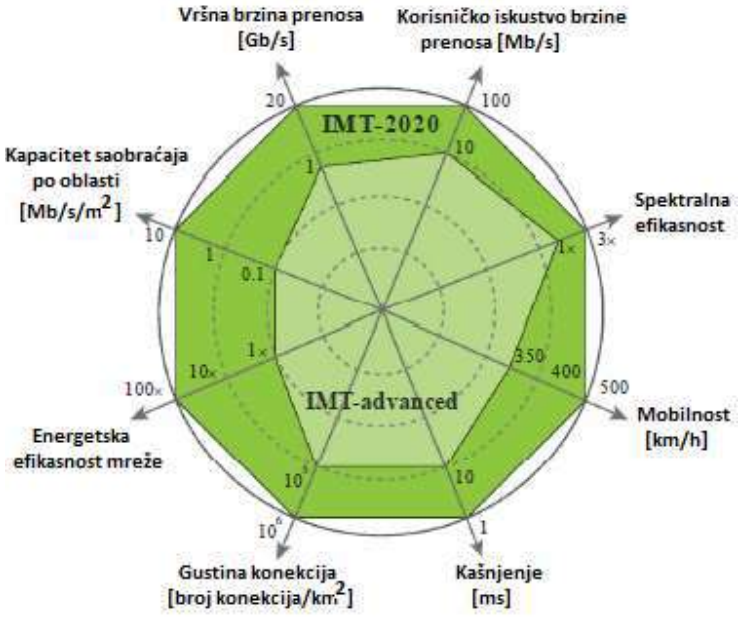
U ITU-R preporuci M.2083-0, definisano je 8 parametara, kao ključnih mogućnosti (indikatora performansi) IMT-2020 mreža, i to:

- Vršna brzina prenosa [Gb/s], definisana kao maksimalno ostvariva brzina prenosa podataka u idealnim uslovima. Očekuje se da vršna brzina prenosa dostigne 20Gb/s u *downlink* (DL) smjeru prenosa, odnosno 10Gb/s na *uplink*-u (UL), [50];

- Korisničko iskustvo brzine prenosa podataka [Mb/s ili Gb/s], predstavlja brzinu prenosa podataka za mobilnog korisnika/korisnički uređaj, koja je ostvariva u oblasti od interesa za pokrivanje. IMT-2020 će podržavati različite vrijednosti ključnog parametra označenog kao korisničko iskustvo brzine prenosa podataka, u zavisnosti od komunkacionog scenarija. Za scenario pokrivanja prostranijih oblasti, kao što su urbane i suburbane, očekuje se da vrijednost ovog parametra iznosi 100Mb/s. Za slučaj *hot-spot*-a, očekuje se da korisničko iskustvo brzine prenosa podataka iznosi znatno više, reda 1Gb/s u zatvorenom (*indoor*) okruženju;
- Kašnjenje [ms], predstavlja doprinos radio dijela mreže vremenu prenosa od trenutka kada izvor pošalje paket, do trenutka kada destinacija primi paket. Cilj je da IMT-2020 mreže omoguće kašnjenje od 1ms preko radio linka, za servise koji zahtijevaju veoma mala kašnjenja, [41]. U 3GPP tehničkom izvještaju TR 38.913 (ETSI 138.913), [47], definisano je da za URLLC, kašnjenje u korisničkoj ravni treba da bude 0,5ms na DL i 0,5ms na UL. Za eMBB kategoriju servisa, kašnjenje u korisničkoj ravni bi trebalo da bude 4ms na UL i u DL smjeru komunikacije. U scenarijima gdje je i satelitski link uključen ciljano vrijeme kružnog kašnjenja (RTT) bi trebalo da iznosi do 600ms za GEO (*Geostationary Earth Orbit*) satelitske sisteme, do 180ms za MEO (*Medium Earth Orbit*) satelitske sisteme i do 50ms za LEO (*Low Earth Orbit*) satelitske sisteme;
- Mobilnost [km/h], se definiše kao maksimalna brzina, pri kojoj se može ostvariti definisani kvalitet servisa (QoS – *Quality of Service*) i neprekidnost prenosa između radio čvorišta koji mogu pripadati različitim slojevima i/ili radio pristupnim tehnologijama. Očekivanje je da IMT-2020 omogući prihvatljivi kvalitet servisa i za korisnike mobilnosti do 500km/h, kakva je moguća za korisnike u brzim vozovima;
- Gustina konekcija [broj konekcija/km^2], predstavlja ukupni broj povezanih i/ili dostupnih uređaja po jedinici površine. Cilj je da IMT-2020 mreže omoguće gustinu konekcija od 10^6/km^2, u scenariju masivnih komunikacija mašinskog tipa u urbanom okruženju;
- Energetska efikasnost [b/J], ima dva aspekta. Prvi, na strani mreže, gdje se energetska efikasnost odnosi na kolličinu informacionih bita emitovanih ka/primljenih od strane korisnika, po jedinici potrošnje energije radio pristupne mreže (RAN – *Radio Access Network*). Drugi, na strani uređaja, gdje se energetska efikasnost odnosi na količinu informacionih bita po jedinici potrošnje energije komunikacionog modula. Potrošnja energije radio dijela IMT-2020 mreža ne bi trebala biti veća od potrošnje IMT-*Advanced* mreža, pri čemu će IMT-2020 mreže donijeti unapređenje drugih performansi. Iz tog razloga bi ukupna energetska efikasnost mreže trebala biti unaprijeđena za veličinu koja je barem jednaka predviđenom porastu obima saobraćaja u IMT-2020 mrežama, u poređenju sa IMT-*Advanced*, za kategoriju eMBB servisa;

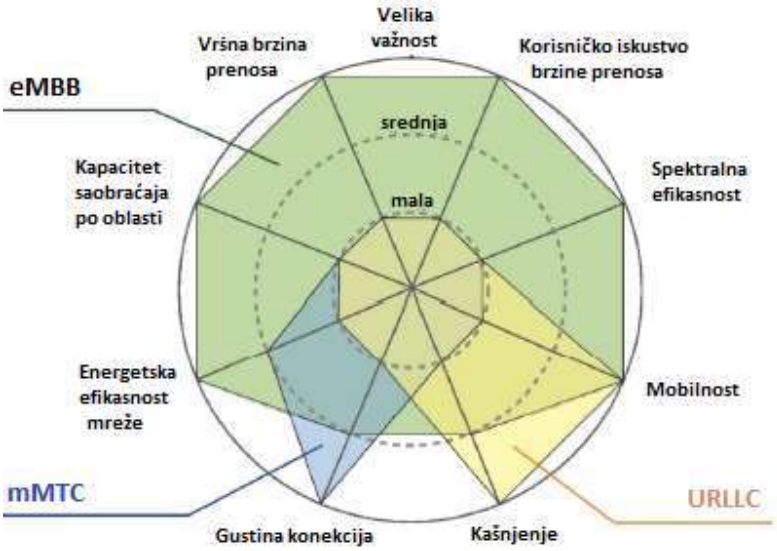
- Spektralna efikasnost [b/s/Hz], predstavlja srednju brzinu prenosa podataka po jedinici širine spektra u posmatranoj ćeliji. Spektralna efikasnost za eMBB kategoriju servisa bi trebala biti 3 puta veća nego kod IMT-*Advanced* sistema, a zavisiće od konkretnog scenarija primjene. U nekim slučajevima, to povećanje može ići i do 5 puta u odnosu na IMT-*Advanced*. Ciljne vrijednosti spektralne efikasnosti su 30b/s/Hz na DL i 15b/s/Hz na UL;
- Kapacitet saobraćaja po oblasti [Mb/s/m^2], se definiše kao ukupna količina podataka prenesena u jedinici vremena (totalna brzina prenosa podataka) po jedinici površine. Očekuje se da IMT-2020 mreže podrže 10Mb/s/m^2 u *hot-spot*-ovima.

Poređenje 8 navedenih ključnih parametara, kao indikatora performansi IMT-2020 i IMT-*Advanced* sistema, dato je na Slici 3.9.



Slika 3.9. Poređenje ključnih indikatora performansi IMT-2020 i IMT-Advanced sistema

Vrijednosti prikazane na Slici 3.9 predstavljaju ciljne vrijednosti i neke od njih su već prevaziđene u komercijalnim implementacijama 5G mreža. Kao što se može naslutiti na osnovu opisa tri kategorije IMT-2020 servisa, pojedini ključni indikatori performansi nijesu jednako relevantni za sve tri kategorije servisa. Korišćenjem indikativnog skaliranja u tri nivoa, kao "velika", "srednja" i "mala" važnost, značaj svakog od navedenih 8 ključnih indikatora performansi IMT-2020 mreža za tri kategorije servisa je prikazan na Slici 3.10, [41].



Slika 3.10. Važnost ključnih indikatora performansi za tri kategorije servisa

Za eMBB kategoriju servisa, korisničko iskustvo brzine prenosa podataka, kapacitet saobraćaja po oblasti, vršna brzina prenosa podataka, mobilnost, energetska efikasnost i spektralna efikasnost, imaju veliku važnost, ali mobilnost i korisničko iskustvo brzine prenosa podataka neće imati istovremeno istu važnost za sve scenarije primjene. Na primjer, u *hot-spot*-ovima zahtijevaće se više brzine prenosa podataka sa stanovišta korisničkog iskustva, ali manji nivo mobilnosti, u odnosu na one zahtjevane u oblastima širokog pokrivanja.

U nekim URLLC komunikacionim scenarijima, malo kašnjenje je od najvećeg značaja, kao što je slučaj kod omogućavanja aplikacije kritične sa stanovišta bezbijednosti. Ovaj parameter je od najveće važnosti i u nekim slučajevima velike mobilnosti, kao što je bezbijednost transporta, dok su velike brzine prenosa podataka manje važne.

U mMTC komunikacionim scenarijima, velika gustina konekcija je potrebna za podršku ogromnom broju uređaja na mreži, koji će npr. sporadično emitovati podatke, malim brzinama prenosa i sa veoma malim nivoom mobilnosti, ili još češće kao fiksni korisnici. Jeftini krajnji uređaji, sa dugim operativnim vijekom, su od krucijalnog značaja za ovaj scenario.

Od IMT-2020 sistema se mogu zahtijevati i druge mogućnosti, koje bi ih učinile fleksibilnijim, pouzdanijim i bezbjednim u pružanju različitih servisa u ciljanim scenarijima primjene, kao što su, [41]:

- Fleksibilnost sa stanovišta spektra i širine ospega, koja se odnosi na fleksibilan dizajn sistema, čime se omogućava opsluživanje u različitim scenarijima, a konkretno se misli na mogućnost funkcionisanja na

različitim frekvencijskim opsezima, uključujući i opsege milimetarskih talasa, kao i korišćenje znatno širih kanala u poređenju sa IMT-*Advanced* sistemima;
- Pouzdanost, koja se odnosi na mogućnost mreže da obezbijedi neki servis sa veoma velikim nivoom dostupnosti servisa;
- Otpornost, koja predstavlja sposobnost mreže da nastavi ispravno funkcionisanje u toku i nakon nekih prirodnih, ili čovjekom izazvanih poremećaja, kao što je gubitak glavnog napajanja;
- Bezbijednost i privatnost, koja uključuje više oblasti, kao što su enkripcija i zaštita integriteta korisničkih podataka i signalizacije, kao i zaštita privatnosti krajnjeg korisnika od neautorizovanog praćenja, zaštita mreže od upada, prevara, uskraćivanja servisa, napada tipa čovjek-u-sredini, itd;
- Životni vijek, koji se odnosi na vrijeme funkcionisanja po uskladištenom energetskom kapacitetu. Ovo je od posebnog značaja za uređaje mašinskog tipa, koji zahtijevaju veoma dug vijek baterijskog napajanja (npr. više od 10 godina) i čije održavanje nije jednostavno zbog razloga fizičke nepristupačnosti ili iz ekonomskih razloga.

Prethodno definisanih 8 ključnih mogućnosti (indikatora performansi) IMT-2020 sistema su predstavljali osnovu za definisanje 13 zahtjeva tehničkih performansi, koje ovi sistemi treba da ispune na radio interfejsu, a koje je ITU-R dao u Izvještaju M.2410-0, u novembru 2017. godine, [50]. Ti zahtjevi su:
- vršna brzina prenosa podataka,
- vršna spektralna efikasnost,
- korisničko iskustvo brzine prenosa podataka,
- 5% korisnička spektralna efikasnost,
- srednja spektralna efikasnost,
- kapacitet saobraćaja po oblasti,
- kašnjenje (u korisničkoj i u kontrolnoj ravni),
- gustina konekcija,
- energetska efikasnost,
- pouzdanost,
- mobilnost,
- vrijeme prekida mobilnosti,
- širina propusnog opsega.

3GPP je u svom Tehničkom izvještaju TR 38.913, [47], definisao 19 ključnih indikatora performansi (KPIs – *Key Performance Indicators*) koje treba da podrže pristupne tehnologije naredne generacije, koji proširuju prethodno datu listu 13 zahtjeva tehničkih performansi, definisanu od strane ITU-R. 3GPP navodi sljedeće KPIs koje treba da zadovolje IMT-2020 mreže:
- Vršna brzina prenosa podataka;

- Vršna spektralna efikasnost;
- Širina propusnog opsega u 5G mobilnim mrežama odnosi se na maksimalno agregiranu širinu opsega sistema i može se sastojati od jednog ili više podopsega. Minimalna podržana širina opsega je postavljena na 100MHz, a RIT/SRIT će podržavati propusne opsege do 1GHz, za visoke frekvencije;
- Kašnjenje u kontrolnoj ravni;
- Kašnjenje u korisničkoj ravni;
- Kašnjenje za male, sporadične pakete, koje ne bi trebalo da bude veće od 10s na UL smjeru komunikacije, za paket veličine 20B na aplikativnom nivou (sa nekomprimovanim IP zaglavljem, što odgovara veličini od 105B na fizičkom nivou), mjereno na rastojanju maksimalnog dometa, koje odgovara maskimalnim sprežnim gubicima od 164dB;
- Vrijeme prekida mobilnosti se odnosi na trajanje prekida prenosa između UE i bazne stanice, uključujući izvršenje RAN postupka, signalizaciju upravljanja radio resursima (RRC - *Radio Resource Control*) ili bilo koje druge RRC poruke. Ovaj zahtjev je važeći za eMBB i URLLC scenarije i postavljen je na 0ms;
- Mobilnost među sistemima, koja se odnosi na mogućnost podrške mobilnosti između IMT-2020 sistema i makar jednog IMT sistema, pri čemu je metodologija evaluacije za ovaj KPI zasnovana na provjeri;
- Pouzdanost se odnosi na sposobnost sistema da isporuči željenu količinu podataka na nivou linka i mreže u očekivanom vremenskom roku sa velikom vjerovatnoćom uspjeha, koju diktira kvalitet kanala. Ovaj zahtjev primenljiv je na URLLC scenarije. Preciznije, zahtjev za pouzdanošću u 5G mobilnim mrežama postavljen je u skladu sa uspješanim prijemom 32-bitne jedinice za paketski prenos podataka (PDU - *Packet Data Unit*) na nivou linka u roku od 1ms sa vjerovatnoćom uspjeha od 10^{-5}. Ovaj zahtjev se odnosi na ivicu ćelije u urbanom makro-URLLC scenariju, pretpostavljajući da veličina zaglavlja iznosi 20B;
- Pokrivanje, koje se definiše preko maksimalnih sprežnih gubitaka *(MaxCL – Maximum Coupling Loss*) na *uplink*-u i *downlink*-u, između uređaja i lokacije bazne stanice (antenski konektori), za brzinu prenosa podataka od 160b/s, pri čemu se brzina prenosa podataka posmatra na izlaznoj/ulaznoj tački steka radio-protokola na *uplink*-u i *downlink*-u. Cilj pokrivanja trebao bi da bude nivo *MaxCL* od 164dB. Kao metodologija procjene koriste se proračun budžeta linka i/ili analiza nivoa linka.
  - ✓ Ekstremno pokrivanje:
    Sprežni gubici se definišu kao ukupni gubici na kanalu, posmatrani u dužem vremenskom intervalu, na linku između antenskih portova korisničke opreme (UE – *User Equipment*) i e*Node* B antenskih portova, a u praksi uključuju antenska pojačanja, gubitke uslijed prostiranja, *shadowing*, itd. *MaxCL* je granična vrijednost sprežnih gubitaka pri kojoj i dalje servis funkcioniše, pa na taj način definiše

oblast pokrivanja servisom. *MaxCL* je nezavisan od učestanosti nosioca. Definiše se za UL i DL, kao:

- *UL MaxCL = UL Max Tx power – eNB Sensitivity*
- *DL MaxCL = DL Max Tx power – UE Sensitivity*

Sa *Max TX power* je označena maksimalna emisiona snaga (na UL ili DL), a sa *eNB Sensitivity* i *UE Sensitivity*, nivo osjetljivosti bazne stanice i korisničke opreme, respektivno. *MaxCL* se procjenjuje analizom budžeta linka (podržanom simulacijom na nivou linka);

- Vijek trajanja baterije korisničke opreme, može se procijeniti na osnovu vijeka trajanja baterije UE bez punjenja. Za mMTC, trajanje UE baterije u ekstremnoj pokrivenosti zasniva se na aktivnosti mobilnog prenosa podataka koji se sastoji od 200B podataka na UL dnevno, nakon kojih slijedi 20B na DL, pri *MaxCL* od 164 dB, pod pretpostavkom da kapacitet uskladištene energije iznosi 5Wh. Cilj trajanja UE baterije za mMTC trebao bi da bude veći od 10 godina, a poželjno je 15 godina. Analitička procjena se koristi kao metodologija evaluacije;
- Energetska efikasnost korisničke opreme, označava njenu sposobnost da održi mnogo veću brzinu prenosa mobilnih širokopojasnih podataka, istovremeno smanjujući potrošnju energije UE modema. To je kvalitativni KPI. Metodologija procjene trebala bi da se zasniva na inspekciji, s tim što se može izvršiti i detaljnija kvantitativna procjena;
- Srednja spektralna efikasnost ćelije/emisione tačke/TRxP;
- Kapacitet saobraćaja po oblasti;
- Korisničko iskustvo brzine prenosa podataka;
- 5% korisnička spektralna efikasnost odnosi se na 5% CDF-a (CDF-C*umulative Distribution Function*) normalizovane propusnosti korisničkih podataka. Normalizovana korisnička propusnost (b/s/Hz) je odnos tačno primljenih SDU (*Service Data Units*) podataka na nivou mreže, tokom određenog posmatranog vremena, podijeljeno sa širinom opsega kanala. Ovaj zahtjev se primjenjuje na slučaj upotrebe eMBB, a zahtjevane vrijednosti za *downlink,* odnosno *uplink,* su sljedeće:
  - *indoor hotspot* - 0,3b/s/Hz (*downlink*) i 0,21b/s/Hz (*uplink*),
  - gusto urbana sredina - 0,225 b/s/Hz (*downlink*) i 0,15 b/s/Hz (*uplink*),
  - ruralna sredina - 0,12b/s/Hz (*downlink*) i 0,045b/s/Hz (*uplink*);
- Gustina konekcija;
- Mobilnost;
- Energetska efikasnost mreže.

Pored prethodno navedenih KPIs, 3GPP je u istom dokumentu, [47], definisao zahtjeve vezane za dodatne servise, podrazumijevajući pod tim:

- multimedijalne radiodifuzne/multicast servise,
- servise lokacije/pozicioniranja,
- kritične komunikacione servise,
- V2X (*vehicle-to-everything*) komunikacije.

Nova radio pristupna tehnologija (RAT – *Radio Access Technology*) 5G mreža će podržavati:

- postojeće *multicast/*radiodifuzne servise (preuzimanje, *streaming*, grupna komunikacija, TV itd.) i nove usluge (npr. V2X),
- dinamičko prilagođavanje područja pokrivanja *multicast/*radiodifuznim servisima na bazi raspodjele korisnika ili servisnih zahtjeva,
- istovremenu isporuku i *unicast* i *multicast/*radiodifuznih usluga korisnicima,
- pokrivanje velikih geografskih područja do veličine cijele države u SFN (*Single Frequency Network*) modu, s mrežnom sinhronizacijom i omogućiće radijus ćelija do 100km, ako je potrebno da se olakša taj cilj,
- lokalna, regionalna i nacionalna područja emitovanja,
- *multicast/*radiodifuzne usluge za fiksne, prenosne i mobilne korisičke uređaje,
- mobilnost do 250km/h,
- *multicast/*radiodifuzne servise za mMTC uređaje.

Pozicioniranje visoke tačnosti karakterišu ambiciozni sistemski zahtjevi za precizno pozicioniranje. Na primjer, važno je locirati pokretne predmete na fabričkom podu, kao što su viljuškari, ili dijelovi koje treba sastaviti. 5G sistem će podržavati upotrebu 3GPP i ne-3GPP tehnologija za postizanje visoke preciznosti pozicioniranja. Pri tome, odgovarajuće informacije o poziciji treba obezbjediti na vrijeme i one moraju biti pouzdane i dostupne. Za preciznije pozicioniranje će se koristiti velika propusnost, masivni antenski sistemi, mrežna arhitektura i funkcionalnosti (npr. heterogene mreže, difuzna emisija) i primjena velikog broja uređaja. Podrazumijeva se podrška pozicioniranju i u zatvorenom i na otvorenom.

5G mreža će podržavati mnoge komercijalne usluge, ali i regionalne ili nacionalne javne službe (hitne službe, javnu sigurnost i slično) sa zahtjevima za prioritetni tretman. Neke od ovih usluga dijele zajedničke QoS karakteristike, kao što su kašnjenje i stopa gubitaka paketa, ali mogu imati različite prioritete. Na primjer, upravljanje bespilotnim letjelicama (UAV - *Unmanned Aerial Vehicle*), tj. dronovima, i kontrola vazdušnog saobraćaja, mogu imati stroge zahtjeve za kašnjenjem i pouzdanošću, ali ne nužno iste prioritete. Pored toga, usluge zasnovane na prenosu govora za multimedijalne prioritetne servise (MPS – *Multimedia Priority Service*) i hitne slučajeve, dijele zajedničke karakteristike QoS-a kao i standardne javne govorne komunikacije, ali mogu imati različite prioritete. 5G mreže treba da podrže mehanizme koji omogućavaju razdvajanje prioriteta određene komunikacije od povezanih QoS karakteristika, kao što su kašnjenje i pouzdanost, kako bi se omogućila fleksibilnost za podršku različitim prioritetnim uslugama. Nadalje, za kontrolu QoS-a kod evoluiranog paketskog sistema (EPS – *Evolved Packet System*) pokriva se samo RAN i

jezgro mreže, ali za 5G mrežu potrebna je kontrola QoS-a od kraja-do-kraja (RAN*, backhaul*, jezgro mreže, interkonekcije između mreža i slično) da bi se postiglo 5G korisničko iskustvo (ultra-malo kašnjenje, ultra-velika propusnost i slično).

5G mreže će predstavljati i tehnologiju izbora kad su u pitanju kritični komunikacioni servisi u koje se se ubrajaju komunikacije za:
- javnu bezbijednost,
- komunikacije u hitnim slučajevima i
- sistemi javnog upozoravanja/obavještavanja u hitnim slučajevima.

Da bi 5G mreže ispunile zahtjeve komunikacija za javnu bezbijednost, RAN tehnologija bi trebala podržavati direktnu komunikaciju između uređaja (D2D – *Device-to-Device*), komunikacije za kritične misije za različite tipove servisa, efikasne grupne komunikacije i izolovane komunikacije. Za potrebe komunikacija u hitnim slučajevima, RAN rješenja 5G mreža trebaju da obezbijede mehanizme za pozive u hitnim slučajevima, uključujući i pozicioniranje/lociranje hitnih poziva, gdje je to potrebno, kao i mehanizme za podršku multimedijalnih prioritetnih servisa. RAN dizajn za tehnologiju radio pristupa sljedeće generacije mora osigurati mehanizme koji omogućavaju servise sistema javnog upozoravanja/obavještenja korisnicima, a koji ispunjavaju regionalne regulatorne zahtjeve.

Očekuje se da 5G sistem podrži i razne poboljšane V2X scenarije, pored generalnog umrežavanja između vozila, između vozila i infrastrukture, i slično. Različiti V2X scenariji zahtijevaju različite performanse od 5G sistema. Neki od dodatnih scenarija implementacije V2X komunikacija u 5G mrežama uključuju vožnju u koloni (vodu), naprednu vožnju, proširenu senzoriku i upravljanje na daljinu.

Vožnja u koloni (vod), omogućava vozilima da dinamički formiraju grupu koja putuje zajedno. Sva vozila u koloni dobijaju periodične podatke od vodećeg vozila, kako bi mogla obavljati operacije neophodne za uspješno održavanje distance u koloni i upravljanje vozilom. Ove informacije omogućavaju da udaljenost između vozila postane izuzetno mala, tj. prostorna udaljenost prevedena na vrijeme može biti vrlo mala (ispod sekunde). Aplikacije za postavljanje kolone (voda) mogu omogućiti autonomno upravljanje vozilima koja slijede nakon prvog vozila.

Napredna vožnja, omogućava poluautomatizovanu, ili potpuno automatizovanu vožnju. Pretpostavlja se veća udaljenost između vozila. Svako vozilo i/ili komunikaciona jedinica pored puta (RSU – *Road-side unit*) dijeli sa vozilima u blizini podatke dobijene sa svojih lokalnih senzora, omogućavajući tako vozilima da koordiniraju svoje putanje ili manevre.

Pored toga, svako vozilo obavještava o svojoj namjeri vožnje vozila u blizini. Prednosti ove grupe scenarija primjene su sigurnija putovanja, izbjegavanje sudara i poboljšana efikasnost u saobraćaju.

Proširena senzorika, kao scenario primjene u okviru V2X komunikacija omogućava razmjenu neobrađenih, ili obrađenih podataka prikupljenih putem lokalnih senzora, ili video podataka uživo između vozila, jedinica na putu, korisničkih uređaja pješaka i V2X aplikacionih servera. Vozila mogu poboljšati percepciju svog okruženja izvan onoga što njihovi vlastiti senzori mogu otkriti i imati cjelovitiji uvid u lokalnu situaciju.

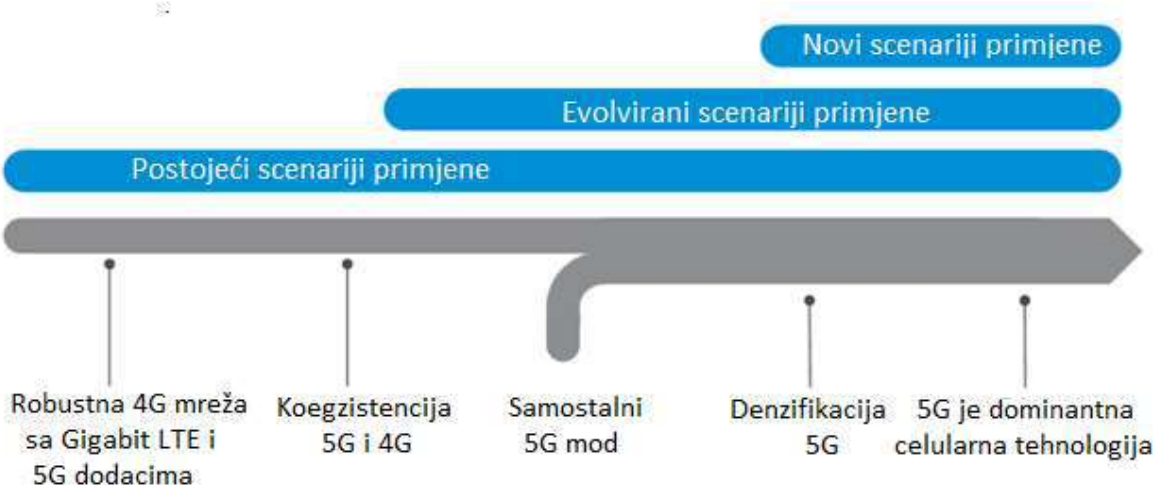
Upravljanje vozilom na daljinu, omogućava daljinsko upravljanje vozilom (moguće i kroz V2X aplikaciju), za one putnike koji ne mogu sami da upravljaju, ili u slučaju da se vozilo nalazi u nekom opasnom okruženju.

U slučaju kada su varijacije ograničene i rute predvidljive, kao što je javni prevoz, može se koristiti vožnja zasnovana na računarstvu u *cloud*-u. Pored toga, za ovu grupu scenarija primjene može se razmotriti pristup platformi pozadinskih usluga zasnovanoj na *cloud*-u.

3.3. Faze u razvoju 5G servisa

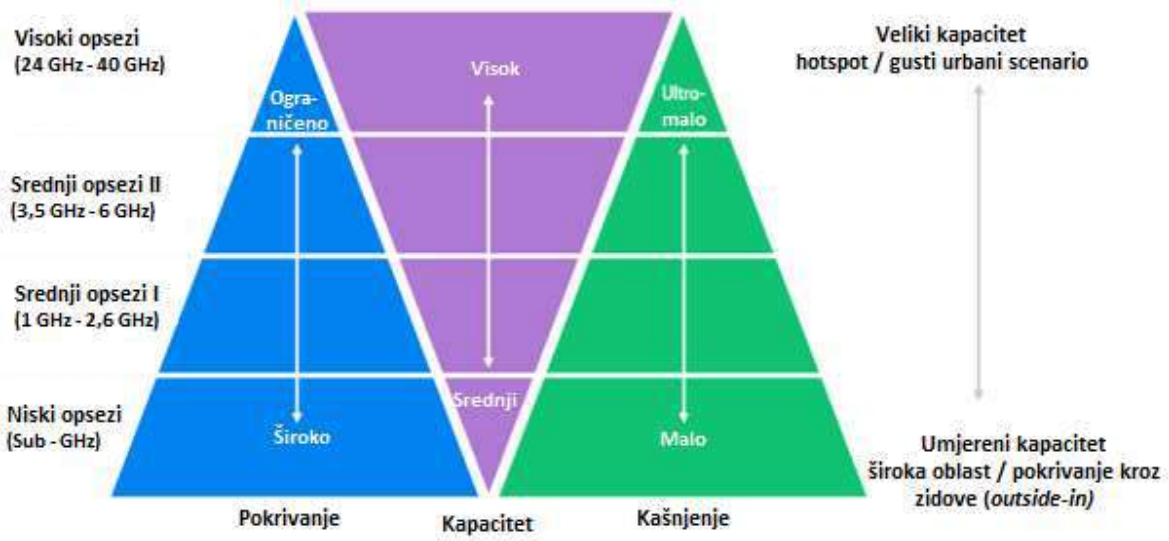
Za sada ne postoji neki 5G "*killer*" servis ili aplikacija, od koje bi se očekivalo da doprinese nagloj ekspanziji primjene 5G mreža. Da bi operatori mobilnih komunikacionih usluga i servisa imali opravdanje za velika ulaganja u novu tehnologiju, oni moraju napraviti odgovarajuću analizu tržišta i poslovni model, jer se mnogo toga može uraditi koristeći postojeće 4G radio pristupne tehnologije, transportne i mrežne mogućnosti, te njihovom postepenom nadogradnjom treba napraviti prelaz ka 5G mreži, onako kako bude diktirao poslovni model. Jedan primjer vizije postepene evolucije postojećih, ka novim 5G scenarijima primjene, je prikazan na Slici 3.11, [51]. Iako su glavne tehnološke prekretnice prikazane u nizu, ovo ne mora da predstavlja univerzalni pristup, jer će operatori imati različite početne pozicije i prioritete primjene. Osnovna filozofija prikazanog pristupa je da osigura robustnu 4G platformu, koja omogućava da se iskoriste postojeći scenariji primjene i koja će služiti kao baza za investiranje u buduće nadogradnje. Incijalni scenariji primjene 5G će podrazumijevati koegzistenciju sa 4G mrežama (ne-samostalni mod - *non standalone mode NSA*) i biće uglavnom zasnovani na eMBB i FWA servisima, mada će to varirati od tržišta do tržišta. Kada 5G uređaji budu mnogo šire dostupni na tržištu, počeće primjena samostalnog 5G moda (*standalone*), sa pridruženim 5G jezgrom (5G *core*) i tada će se, osim evolucije postojećih servisa, javiti novi 5G korisnički scenariji, pri čemu će 5G dobiti pristup i novim spektralnim resursima. Intenzivnija primjena samostalnog moda 5G mreža i

pojava novih scenarija primjene usloviće potrebu za denzifikacijom mreže da bi se obezbijedio traženi kapacitet. Na kraju, u punoj zrelosti 5G tehnologije, ona će postati glavna mobilna celularna tehnologija, koja će se koristiti da ispuni servisne zahtjeve različitih industrija, [51].



Slika 3.11. Evolucija scenarija primjene u 5G mrežama

Dinamika kojom će se implementirati različiti tipovi servisa u pojedinim zemljama, u mnogome zavisi i od raspoloživosti spektra za implementaciju 5G mreža. Odnos raspoloživih 5G frekvencijskih opsega, sa ostvarivim performansama sa stanovišta kapaciteta, kašnjenja i oblasti pokrivanja, je prikazan na Slici 3.12, [52].



Slika 3.12. Ostvarive performanse na različitim frekvencijskim opsezima

3GPP je kompletirao *Release* 16 u junu 2020. godine i u njemu je specifiicirana druga faza razvoja 5G mreža, koja će omogućiti masivne IoT (mMTC) i komunikacije za kritične scenarije (URLLC). 3GPP izdanja nakon *Release* 16 će dalje proširiti mogućnosti mMTC i URLLC komunikacionih servisa, obezbjeđujući rješenja za različite segmente industrije, koji se označavaju i kao vertikalni industrijski sektori. Zajedno sa uvođenjem mogućnosti kao što su virtuelizacija mrežnih funkcija, *cloud*-ifikacija, obrada podataka na ivici mreže (*edge computing*), segmentiranje mreže (*network slicing*) i autonomno upravljanje, 5G će biti dovoljno fleksibilna da ispuni širok opseg zahtjeva različitih vertikalnih sektora. Iz prethodnog je očigledno da je 5G mreža dizajnirana na modularan način, tako da obuhvata veliki broj različitih servisnih karakteristika i, u zavisnosti od datih okolnosti i servisnih potreba, u pojedinim zemljama mogu biti primijenjene samo određene karakteristike. Broj servisa koji će biti ponuđeni kroz 5G mreže će se stalno uvećavati, jer je 5G mreža po sebi osnovni alat za digitalnu transformaciju privrede, ekonomije i kompletnog društva i može se posmatrati i kao platforma za inovatore, koja pruža odličnu osnovu za razvoj najrazličitijih tipova servisa.

5G će ući u svaki pojedini element društva i stvoriti informacioni ekosistem usmjeren ka korisniku. 5G će takođe ostvariti neprimjetnu integraciju pametnih stvari u čovjekovu svakodnevnicu, radi postizanja jednostavne i pametne interakcije između ljudi i objekata (uređaja). Sve ovo govori da su realna očekivanja da će se pojaviti enormno veliki broj scenarija primjene u 5G eri koja dolazi. Cjelokupna vizija života sa 5G je prikazana na Slici 3.13 i na njoj se mogu vidjeti primjeri očekivanih 5G servisa, nekih scenarija primjene, kao i vertikalnih industrisjkih sektora za koje se očekuje da će im korišćenje 5G mreža donijeti značajna unapređenja (proizvodna industrija, poljoprivreda, zdravstvo, obrazovanje, transport i saobraćaj, finansije i životna sredina), [53].

Slika 3.13. Opšta vizija servisa 5G mreža

3.4. Primjena 5G mreža u vertikalnim sektorima i koncept Industrije 4.0

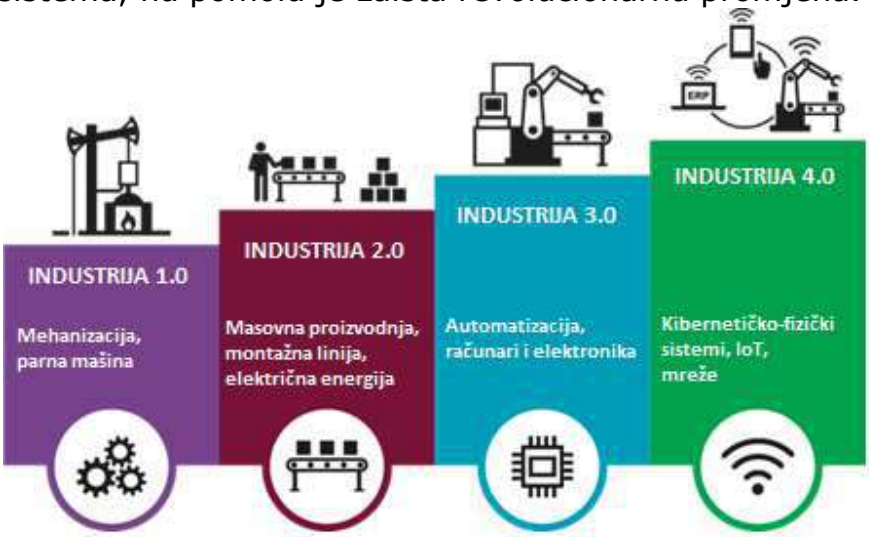
U 5G eri, mrežni operatori, bilo da su iz oblasti mobilnih ili fiksnih mreža, će se fokusirati i na tržište krajnjih korisnika i na vertikalne industrijske sektore. Operatori će ponuditi ne samo komunikacione servise pojedinačnim korisnicima, već i set različitih integrisanih ICT (*Information and Communication Technologies*) rješenja za poslovne korisnike, sa između ostalog, poboljšanim radio performansama, dinamičkim prilagođavanjem, fleksibilnošću i upravljanjem od kraja – do kraja, kao i potrebnom bezbijednošću.

Navedena fleksibilnost od kraja – do kraja će doći do izražaja uvođenjem novih tehnolgija, kao što su obrada podataka na ivici mreže (*edge computing*), softverski definisano umrežavanje (SDN – *Software-Defined Networking*), virtuelizacija mrežnih funkcija (NFV – *Network Function Virtualisation*) i autonomno upravljanje i kontrola. Pored toga, 5G mreža će biti logički segmentirana (*network slicing*) da bi obezbijedila prilagođena rješenja za različita tržišta i korisničke scenarije.

Da bi se izašlo u susret različitim zahtjevima vertikalnih sektora, standardizacija, testiranje i izgradnja 5G mreža zahtijeva učešće istih, radi osiguranja primjena na potrebno širokom nivou. Na taj način, operatori i vertikalni industrijski sektori će zajedno realizovati 5G ekosistem, koji će pored predstavnika mrežnih operatora i vertikalnih sektora, uključiti i proizvođače opreme, čipova i provajdere servisa i aplikacija.

Danas postoji konsenzus da tehnološki napredak koji se odvija u tako raznolikim područjima, kao što su robotika, senzori, veliki podaci (*big data*), automatizacija i vještačka inteligencija (AI – *Artificial intelligence*), zajedno sa napretkom u komunikacionim tehnologijama čine novu industrijsku revoluciju. Ova četvrta industrijska revolucija (4IR), ili Industrija 4.0, može se u opštem slučaju kategorizovati kao ona, u kojoj računari i sistemi automatizacije postepeno povezuju fizički, digitalni i biološki svijet. U mnogim slučajevima su upravo 5G mreže to sredstvo za povezivanje ovih, nekada potpuno odvojenih svjetova, jer 5G omogućava prikupljanje podataka velikim brzinama i sa malim kašnjenjem, bez obzira na lokaciju. Industrija 4.0 uključuje niz inicijativa usmjerenih na digitalizaciju proizvodnje i u tom smislu jasno predstavlja sljedeću fazu tri prethodne industrijske revolucije. Donosi značajna poboljšanja u industrijske procese zasnovane na pametnim i autonomnim sistemima, a podstaknuta je dostupnom velikom količinom podataka i mašinskim učenjem. U stvari, najznačajniji aspekt Industrije 4.0 sigurno je poboljšani nivo komunikacije između računara i računarskih sistema, i sposobnost donošenja odluka bez

ljudskog učešća. Kroz kombinaciju kibernetičko-fizičkih sistema, IoT-a i Interneta sistema, na pomolu je zaista revolucionarna promjena.



Slika 3.14. Faze industrijske revolucije

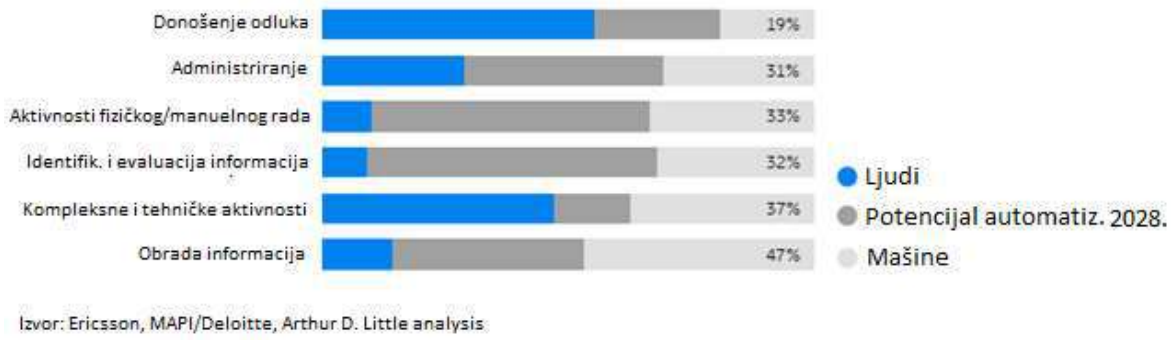
Iako se termini Četvrta industrijska revolucija (4IR) i Industrija 4.0 koriste danas gotovo ravnopravno, strogo govoreći, poslednji izraz se odnosi na koncept pametnih fabrika u kojima su mašine, sa odgovarajućim senzorima, povezane bežičnim putem sa sistemom koji može vizuelizovati cijelu proizvodnu liniju i samostalno donositi odluke. Izraz potiče od njemačkog koncepta Industrije 4.0, kojem je u srcu bila promocija kompjuterizacije proizvodnje, a trenutno se koristi za označavanje strategije usmjerene ka tome, da Njemačka postane vodeće tržište i dobavljač naprednih proizvodnih rješenja. Međutim, kao i prethodne industrijske revolucije, i ova najnovija iteracija se brzo proširila izvan svojih izvornih korijena i postala globalna. Naravno, uticaj 4IR-a na samu proizvodnju biće ogroman, zbog njegove sposobnosti da olakša novi oblik pametne proizvodnje u kojoj su inteligentne mašine, sistemi i mreže zasnovani na ICT-u, sposobni da nezavisno razmjenjuju informacije, kako bi upravljali procesima složene industrijske proizvodnje. Međutim, 4IR ima mnogo širi domet od same proizvodnje, jer je jasno da će imati značajan uticaj i na druga područja. S obzirom na to da četvrta industrijska revolucija uključuje otkrića u raznovrsnim oblastima, kao što su AI, robotika, autonomna vozila, 3D štampanje, nanotehnologija i kvantno računanje, nije iznenađujuće što se njen uticaj osjeća u čitavom nizu sektora. Kreatori politike mogu iskoristiti 4IR tehnologije kako bi stvorili inkluzivniju budućnost usmjerenu na čovjeka i kako bi ona promijenila način na koji ljudi žive, rade i odnose se jedni prema drugima. Činjenica da će milijarde ljudi i uređaja biti povezane do sada neviđenom procesorskom snagom i kapacitetom za skladištenje, kao i sve veća dostupnost ogromnih količina podataka, zasigurno pruža mogućnost vladama da se efikasnije povežu sa svojim građanima i poboljšaju javnu zaštitu.

Kako su vertikalni industrijski sektori važan segment implementacije 5G tehnologija, slijedi opis vertikalnih sektora za koje će 5G mreže obezbijediti različita integrisana rješenja i servise. Ova lista je data u poslednjem javno objavljenom članku NGMN alijanse, iz jula 2020 god., i ona nije konačna, [54].

3.4.1. Proizvodna industrija

Proizvodnja je široka i raznovrsna industrija, koja uključuje sve, od mikropivnica, do vazduhoplovnih fabrika i linija za montažu vozila. Prema Svjetskoj banci, ona čini oko 16% svjetskog bruto domaćeg proizvoda (BDP), pa je to jedan od temelja globalne ekonomije, [55]. Globalna proizvodna industrija zahtijeva industrijsku kontrolu vrhunskog kvaliteta, koja je automatizovana, inteligentna, fleksibilna i osjetljiva na kašnjenje, tako da se materijali, proizvodi i procesi moraju nadzirati, optimizovati i kontrolisati u realnom vremenu.

U ovoj grani industrije, na putu ka pametnim fabrikama i pametnoj proizvodnji, postoji i dalje ogroman potencijal za automatizaciju različitih segmenata proizvodnog procesa, (Slika 3.15, [55]), pa će biti neophodne pouzdane komunikacione veze, sa malim kašnjenjem u prenosu informacija, nadzoru i kontroli tih segmenata proizvodnje.



Slika 3.15. Odnos radnih sati ljudi i mašina u proizvodnoj industriji i perspektiva automatizacije do 2028. godine

Trenutno se dešava seizmički pomak u proizvodnoj industriji, dok se kreće prema Industriji 4.0, jer počinju da se koriste privatne celularne mreže, koje pružaju povezanost neophodnu za oblikovanje proizvodnje u agilniji, sigurniji, pouzdaniji i inteligentniji proces. Privatna celularna mreža je lokalna mreža postavljena isključivo za upotrebu od strane određenog poslovnog subjekta. U proizvodnji to obično uključuje fabričke pogone, skladišta i utovarne dokove. Većina ćelijskih privatnih mreža danas su 4G LTE mreže, sa mogućnostima prelaska na 5G.

I dalje najveći broj fabrika koristi fiksne konekcije za komunikacije, koje zadovoljavaju zahtjeve za tehničkim performansama, ali su one kompleksne i nijesu fleksibilne za rekonfiguraciju. 5G mreže će obezbijediti fleksibilnije bežične konekcije, koje će ispunjavati industrijske zahtjeve. 5G sistemi će omogućiti nadzor, automatizaciju i optimizaciju obezbjeđujući između ostalog:

- Malo kašnjenje, veliku pouzdanost i visoku dostupnost konekcija, mobilnost i precizno pozicioniranje svih uređaja (senzora, aktuatora i slično) za monitoring u realnom vremenu i kontrolu procesa, kao i za pružanje logistike od kraja – do kraja i praćenje robe;
- Povezanost i lokalnu obradu za snimanje video zapisa u realnom vremenu i aplikacije zasnovane na video zapisima;
- Povezanost velikog broja senzora i platformi za prikupljanje i obradu velike količine podataka;
- Proširenu stvarnost za optimizaciju i poboljšanje zadataka održavanja opreme, sistema, i slično.

3.4.2. Građevinska industrija

Za građevinsku industriju vrlo je važno da se građevinski projekti završavaju u planiranim rokovima i sa zadatim budžetima, istovremeno osiguravajući najviši nivo sigurnosti zaposlenih i radnih uslova. Iz tog razloga će daljinsko upravljanje vozilima, autonomni rad, siguran rad mašina i sinhronizacija između vozila koja se upotrebljavaju, biti vrlo važni u budućnosti. 5G sistem će podržavati autonomni pametni sistem za građevinske projekte pružajući, između ostalog:

- Povezanost s malim kašnjenjem, velikom pouzdanošću i velikom dostupnošću za senzore i kontrolere, velike gustine u datom geografskom području;
- Visokokvalitetni prenos video zapisa u realnom vremenu;
- Veoma preciznu lokaciju opreme i ljudi;
- Lokalne (na ivici mreže) računarske resurse za kontrolu kretanja vozila, mašina i slično.

3.4.3. Transport

Od industrije drumskog prevoza se očekuje da obezbijedi efikasan, siguran, ekološki i udoban prevoz, posebno korišćenjem potencijala vještačke inteligencije (AI), kako bi se postigla povezana i autonomna vožnja kroz percepciju, odlučivanje i kontrolu. 5G sistem će to omogućiti podržavajući, između ostalog:

- Prenos visokokvalitetnih video zapisa ili slika stanja na putu i objekata na putu, za pomoć u navigaciji, daljinskoj i autonomnoj vožnji, kao i identifikaciju slijepih zona i drugih ranjivih tačaka za vozila;

- Komunikaciju u realnom vremenu između vozila i putne infrastrukture, zajedno sa preciznim pozicioniranjem vozila i lokalnim (na ivici mreže) mogućnostima obrade podataka, omogućavajući identifikaciju potencijalnih opasnosti, što može pomoći u donošenju odluka, uključujući planiranje i ažuriranje rute, hitno zaustavljanje i inteligentno izbjegavanje sudara automobila;
- Povezanost senzora i prikupljanje podataka iz vozila i putne infrastrukture;
- Daljinsko održavanje putem preuzimanja softvera za ažuriranje vozila i izvještavanje proizvođača automobila o statusu vozila.

3.4.4. Zdravstvo

Zdravstvo zahtijeva uravnoteženu raspodjelu medicinskih resursa, prenosive i inteligentne medicinske opreme, poboljšane mogućnosti tretmana u medicinskim vozilima i migraciju hirurških operacija iz operacione sale na više lokacija. Većina bolnica trenutno koristi medicinsku opremu povezanu fiksnim konekcijama, koja je pouzdana, ali složena i nefleksibilna. Takođe se javlja sve veća potreba za pružanjem zdravstvene pomoći na daljinu, posebno za pomoć krhkim i starijim osobama, ili za upravljanje vanrednim situacijama. 5G može pružiti fleksibilnije i praktičnije bežične veze, koje mogu udovoljiti većini scenarija primjene u zdravstvu, kao na primjer:

- Kontinuirano pokrivanje širokog područja za servis hitne pomoći, uključujući slanje visokokvalitetnih video zapisa i vitalnih znakova pacijenta u realnom vremenu, prema komandnom centru u bolnici;
- Primjena senzora koji prikupljaju vitalne znakove sa nosivih uređaja pacijenata, ili starijih osoba, ma gdje se oni nalazili, pomažući udaljenom medicinskom osoblju da pravovremeno donosi odluke o liječenju i propisuje primjenu ljekova na daljinu;
- Primjena senzora koji nadziru i prikupljaju vitalne informacije za sve bolničke pacijente na jedinstven način i vrše upravljanje na jedinstvenoj platformi;
- Pouzdani komunikacioni kanal posebne namjene između, na primjer, bolnica, koji omogućava operacije na daljinu i davanje uputstava;
- Upravljanje i nadzor medicinske opreme i bolničkih sredstava i osoblja.

3.4.5. Pametni gradovi i zajednice

Pametni gradovi i zajednice očekuju da unaprijede mogućnost povezivanja za inteligentne urbane infrastrukture, da poboljšaju mogućnosti prikupljanja i obrade podataka, poboljšaju mogućnosti upravljanja urbanom sigurnošću, integrišu različite inteligentne aplikacije za zajednice i poboljšaju efikasnost upravljanja i kvalitet života. Za pametne gradove i zajednice, 5G će omogućiti:

- Visokokvalitetni prenos video podataka, pozicioniranje i praćenje u cilju poboljšanja efikasnosti sigurnosnog nadzora;
- Umrežene inteligentne senzore, uključujući video, za realizaciju praćenja urbanog okruženja, podržavajući unaprijeđeno integrisano upravljanje gradom i razne usluge građanima, kao što su upravljanje saobraćajem i transportom, upravljanje resursima i planiranje.

3.4.6. Obrazovanje

Komunikacione tehnologije omogućavaju nove obrazovne modele i aplikacije, što zauzvrat rješava neravnotežu u dostupnosti opšteg obrazovanja i obrazovnih resursa. Obrazovni pristupi mogu se prilagoditi određenim obrazovnim naporima koristeći kombinaciju nastavnih metoda (npr. *online* i *offline*). Za obrazovanje, 5G sistem će omogućiti:

- Virtuelnu i nastavu sa proširenom realnošću, koristeći usluge virtuelne stvarnosti i proširene stvarnosti za unapređivanje i animiranje tradicionalnih pristupa;
- Virtuelizovane i proširene eksperimente, koji pružaju virtuelizovani uređaji i oprema, koje student, odnosno učenik, može interaktivno koristiti, posebno za eksperimente koji uključuju skupe uređaje ili ekstremne opasnosti;
- Interaktivnu nastavu na daljinu, pružanje sinhronog iskustva i interakciju na daljinu, između nastavnika i učenika iz različitih škola, kao i uključivanje djece koja inače ne bi mogla pohađati školu;
- Upravljanje školskim osobljem, imovinom i praćenje školskog okruženja, što pomaže u zaštiti ljudi i resursa.

3.4.7. Turizam

Turistička industrija može iskoristiti nove mogućnosti 5G mreža da pruži obimnija, interaktivna i interesantnija iskustva, kao i mnogo šire znanje o posjećenoj regiji i njenim mjestima, atrakcijama i objektima. Na poznatim turističkim mjestima obično je velika gužva, a zahvaljujući većoj brzini prenosa podataka i kapacitetu 5G mreža, veliki broj posjetilaca može imati koristi od, između ostalog:

- Proširene stvarnosti, nudeći, na primjer, 3D virtuelnu rekonstrukciju arheoloških nalazišta, tematske obilaske muzeja i gradske ture sa komentarima, čime se poboljšava doživljaj o određenoj lokaciji sa informacijama o arhitekturi i istoriji;
- Automatski prenos visokokvalitetnih video zapisa i fotografija u *cloud*;
- Pametno upravljanje protokom velikog broja ljudi (gužvom).

3.4.8. Poljoprivreda

Pametna poljoprivreda predstavlja revoluciju na polju poljoprivrede, koja pruža ogromno poboljšanje produktivnosti. 5G sistemi podržavaju dalji napredak pametne poljoprivrede, uključujući:

- Poljoprivredne robote, poput traktora bez vozača, preciznih sijačica, automatizovanih sredstava za zaštitu od korova i štetočina, i automatizovanih berača, što će omogućiti obimniju proizvodnju kvalitetnijeg usjeva, sa manje radne snage;
- Bespilotne letjelice (UAV – *Unmanned Aerial Vehicles*) ili dronovi, koji pružaju "ptičiju" perspektivu za snimanje, sadnju i prskanje usjeva, sve u cilju optimizacije upravljanja zemljištem i usjevima;
- Senzore za praćenje zdravlja usjeva, zdravlja i kretanja stoke, te okoline i klimatskih uslova u realnom vremenu;
- Komunikaciju između svih mašina i senzora, kao i sa mrežama za obradu podataka u realnom vremenu, donošenje odluka i pojednostavljivanje operacija povezanih sa zemljištem, usjevima, stokom, logistikom i mašinama.

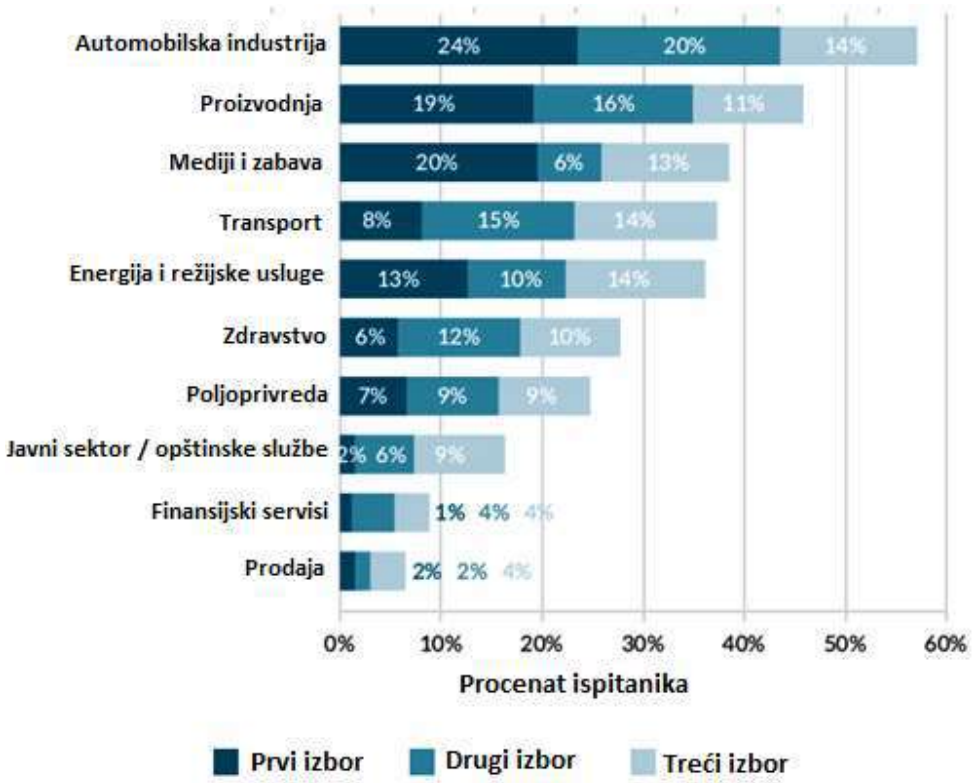
3.4.9. Finansije

Finansijske institucije zahtijevaju sigurnu, pouzdanu i široko usvojenu platformu, koja će omogućiti napredne finansijske usluge. 5G će pružiti takvu platformu i ubrzati digitalnu transformaciju za banke, jačajući sveprisutne bankarske operacije i pružajući bolju korisničku uslugu. 5G nudi niz mogućnosti koje se mogu prilagoditi potrebama finansijske industrije, uključujući:

- Gigabitne brzine prenosa podataka, koje omogućavaju prikupljanje velike količine visokofrekventnih berzanskih podataka za brzu analizu;
- Ultra-pouzdanu komunikaciju malog kašnjenja, koja omogućava brzi odgovor i kontrolu visokofrekventnog mobilnog trgovanja i osigurava da se vremenski kritične transakcije kupovine i prodaje odvijaju na ivici (*edge*) mobilne mreže, upotrebom tehnologije obrade podataka na ivci mreže, sa višestrukim pristupom;
- Robustnu povezanost, koja koristi ogroman broj uređaja kako bi se ubrzala sposobnost uređaja za razmjenu podataka i pružanje personalizovanih plaćanja i mikro-plaćanja preko sveprisutnih povezanih uređaja. Ovaj broj uređaja i njihova povezanost bi mogli voditi razvoju nove ere finansijskih usluga;
- Poboljšanu sigurnost, koja će značajno poboljšati povjerenje u bankarskom poslovanju, i za banke i za klijente, pomažući pri tome u osiguranju autentičnosti transakcija i sprječavanju prevara.

Da bi se stekao uvid u viziju razvoja 5G mreža koju imaju predstavnici mobilne industrije i vertikalnih industrijskih sektora, MWL (*Mobile World Live*) je sproveo *online* anketu u kojoj je učestvovalo 345 osoba iz navedenih oblasti. Prema dobijenim rezultatima, oni očekuju da će najviše koristi od 5G mreža imati sljedeći vertikalni sektori (Slika 3.16), [56]:

- Automobilska industrija (autonomna vozila);
- Proizvodnja;
- Mediji i zabava;
- Transport;
- Energija i režijske usluge;
- Zdravstvo;
- Poljoprivreda;
- Javni sektor/opštinske službe;
- Finansijski servisi;
- Prodaja.



Slika 3.16. Ocjena koji vertikalni sektori će imati najviše koristi od 5G mreža (u anketi, svaki učesnik je birao 3 sektora po opadajućem prioritetu)

Ovo su tek početni koraci 5G-a u vertikalnim industrijskim sektorima i kao što se može vidjeti, postoje različiti pogledi o tome u kojim sektorima će 5G donijeti najviše benefita. Aktivnosti će rasti tokom narednih mjeseci, kako se razvijaju aplikacije i usluge i finaliziraju standardi za scenarije primjene

mMTC-a i URLLC-a. Na taj način će se pokazati kako se potencijal 5G tehnologije može pretvoriti u poslovnu stvarnost za industrijske primjene.

3.5. Doprinos 5G tehnologije održivoj (zelenoj) industriji

Planeta se suočava sa klimatskom vanrednom situacijom koja, ako se brzo ne riješi, prijeti svim aspektima života. 5G se uvodi u vrijeme kada je energetska efikasnost od suštinskog značaja za pitanje opstanka Planete i 5G, kao nova celularna mreža, može igrati značajnu ulogu u pomoći različitim granama industrije da postignu ciljeve održivosti, omogućavajući im da transformišu svoje procese i način funkcionisanja i učine ih energetski efikasnijim. Svaka industrija treba da definiše svoje ciljeve, vezane za smanjenje nivoa emisije štetnih gasova (povećanje energetske efikasnosti) i jasnu mapu puta kako će ih postići. Telekomunikaciona industrija se već uveliko bavi vlastitom energetskom efikasnošću. Mobilne celularne mreže su se, kao industrija, među prvima na svijetu, još 2016. godine, obevezale na postizanje ciljeva Ujedinjenih nacija (UN), koji su vezani za održivi razvoj, postavljajući cilj nulte neto emisije do 2050. godine, [57]. Način na koji operatori mobilnih mreža implemetiraju svoje 5G mreže, igraće značajnu ulogu u tome. Po prvi put je energetska efikasnost jedna od glavnih tema prilikom planiranja i optimizacije novih mobilnih mreža, a mnoge će tehnike, od pametne kontrole snage za bazne stanice do preventivnog održavanja s omogućenom vještačkom inteligencijom, učiniti 5G mreže najodrživijom celularnom infrastrukturom ikada.

Međutim, mnogo značajnije od navedenog, predstavlja mogućnost 5G mreža da pomognu drugim industrijama da dostignu svoje ekološke ciljeve. Doprinos ICT industrije ukupnim emisijama gasova koji stvaraju efekat staklene bašte je manji od 2% na svjetskom nivou. Ovakav relativni iznos znači da će samo dizajniranje energetski efikasnijih telekomunikacionih sistema imati mali doprinos klimatskim promjenama. 5G će imati značajan uticaj na globalnu upotrebu energije, samo ako ima značajan uticaj na energetsku efikasnost drugih sektora, a to se prije svega odnosi na oblasti energetike, zdravstva i proizvodnje, jer ova tri sektora doprinose sa oko 61% u ukupnoj globalnoj emisiji gasova staklene bašte, iako čine samo 38% svjetskog BDP-a (Slika 3.17), [57].

Na primjeru uvođenja dronova za nadzor cijevi gasovoda u Šangaju, u Kini, može se steći predstava o povećanju energetske efikasnosti u samo jednom segmentu oblasti energetike, koje donosi 5G mreža, [57]. Ovi rezultati su iskorišćeni za procjenu uticaja uvođenja 5G dronova na uštedu, koja bi se ostvarila na globalnom nivou.

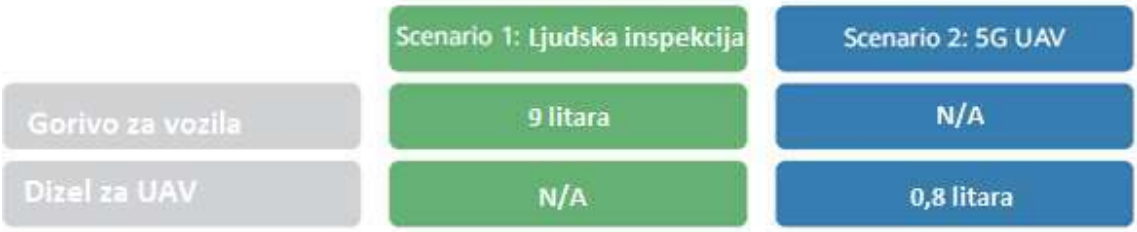
Upravljanje dronom zahtijeva ultra-pouzdanu komunikaciju sa malim kašnjenjem (URLLC) i naprednu obradu slike, podržanu obradom podataka na ivici mreže, što trenutna generacija 4G/LTE mreža ne može podržati. U 2019. godini, jedna kompanija za distribuciju gasa iz Šangaja počela je da koristi UAV, sa pogonom na vazduhoplovno dizel gorivo, za inspekciju velikih dijelova svog gasovoda, [57]. UAV je bio opremljen 5G komunikacionim modemom i visokokvalitetnim 4K kamerama. Ovo rješenje zamijenilo je tradicionalni pristup korišćenja vozila na benzinski pogon i tima od tri inspektora. Slika 3.18 ilustruje poređenje parametara između scenarija uobičajenog poslovanja (scenario 1), koji uključuje tradicionalnu inspekciju, i scenarija koji podrazumijeva primjenu 5G UAV (scenario 2), [57].

Slika 3.17. Doprinos pojedinih industrija globalnom BDP-u i efektu staklene bašte

Svakog mjeseca, gasna kompanija mora da provjeri 80 km cijevi gasovoda		
	Scenario 1: Ljudska inspekcija	Scenario 2: 5G UAV
	1	0
	3	1
	7km/h	80km/h
	~12 h	~2 h
	~160km	0
	0	1
	0	~160km

Slika 3.18. Poređenje poslovnih operacija za provjeru gasovoda

Navedenim poređenjem došlo se do zaključka da su broj angažovanog osoblja i potrebnih vozila, kao i radno vrijeme potrebno za završetak rutinske inspekcije, oblasti u kojima bi se moglo ostvariti značajno povećanje efikasnosti prelaskom sa tradicionalne inspekcije na UAV. Uz neprekidnu pokrivenost 5G mrežom, inspektor kontroliše UAV na daljinu, dok leti preko plinske cijevi i prenosi svoj video u 4K rezoluciji. Obrada podataka i procjena potrebnih naknadnih radnji, ili ažuriranje baze podataka, obavlja se u realnom vremenu, što je omogućeno obradom podataka na ivici mreže. Tokom inspekcije, UAV leti stalnom brzinom od 80km/h. Nasuprot tome, kad ljudi obavljaju pregled postiže se brzina od samo 7km/h, s tim da se vozilo pri povratku na početnu tačku može kretati punom brzinom od 80km/h. Pristup primjenom 5G UAV rezultira šest puta većom efikasnošću, u smislu utrošenog radnog vremena po inspekciji. Pored toga, inspekcijsko osoblje više ne treba da prilazi cijevima, što eliminiše njihovu izloženost potencijalnim opasnostima i lošem vremenu. Uz povećanje efikasnosti, usvajanje 5G UAV-a, dovodi do značajnog smanjenja potrebe za fosilnim gorivima za obavljanje inspekcije. Na Slici 3.19 prikazano je detaljnije poređenje potrebnog goriva za jedan krug inspekcije u okviru dva scenarija.



Slika 3.19. Poređenje potrošnje goriva za obavljanje jedne inspekcije gasovoda

Ekonomičnost potrošnje goriva UAV-a znatno je bolja od one kod vozila na benzinski pogon: dok litar benzina može u prosjeku prevesti vozilo na rastojenje od oko 6km, litar avionskog dizela može pokretati UAV na rastojanju do 195km. S obzirom na to da UAV takođe leti optimalnom rutom, količina goriva potrebna za jedan krug pregleda je veoma smanjena.

Koristeći metodu procjene sveobuhvatnog životnog ciklusa, obračunat je ugljenični otisak ključnih ulaznih parametara i proizvoda koji se koriste u oba scenarija u svim fazama - od nabavnog lanca (uključujući vađenje sirovina, proizvodnju, distribuciju i kraj životnog vijeka), do konačne upotrebe. Na taj način, došlo se do zaključka da je korišćenjem 5G UAV-a, emisija štetnih gasova smanjena za skoro 40%, [57].

Na globalnom nivou, procjenjuje se da je dužina gasovoda širom svijeta, a čiji bi se nadzor mogao obavljati 5G bespilotnim letjelicama, više od 0,5 miliona km. Iako je dužina gasovoda širom svijeta znatno veća, uzeto je u

obzir da je većina cijevi za prenos prirodnog gasa podzemna, i zbog toga nije moguć njihov nadzor korišćenjem UAV-a ili tradicionalnom inspekcijom. Svjetska emisija gasova staklene bašte, od poslova nadzora koji obavljaju ljudi tokom jedne godine, se procjenjuje na 5,3Mt. Ako bi se umjesto toga koristile 5G bespilotne letjelice, rezultujuća emisija gasova staklene bašte bi se smanjila na 3,2Mt, tj. za 40%. U [57] su izvedeni slični primjeri i za druge industrije i pokazano je da u zdravstvenom sektoru, konsultacije na daljinu korišćenjem 5G mreža, mogu značajno eliminisati emisije gasova sa efektom staklene bašte, a pametni gradovi i inteligentni transportni sistemi, mogu poboljšati energetsku efikasnost u svim aspektima prije svega života u urbanim sredinama.

3.6. Scenariji primjene 5G mreža

Scenariji primjene koji su opisani u ITU-R preporuci M.083-0, [41], će se koristiti u najrazličitijim okruženjima. Da bi se olakšalo proučavanje 5G zahtjeva i pružile smjernice za tehnički dizajn 5G mreža, potrebno je navesti neke tipične scenarije implementacije.

3GPP grupa je u decembru 2015. godine započela rad na studiji o scenarijima implementacije i zahtjevima za narednu generaciju pristupnih tehnologija, [46]. Nakon tri mjeseca, na plenarnom sastanku za RAN, u martu 2016. godine, usvojen je Tehnički izvještaj (TR – *Technical Report*) koji je definisao 10 scenarija implementacije. Revizije i dopune dokumenta [46] su objavljene 2017. (V14.3.0), 2018. (V15.0.0) i 2020. (V16.0.0) godine, [47], a vežu se za *Release* 14, 15 i 16, respektivno. Aktuelni dokument specificira 12 tipičnih scenarija implementacije, i to:

- *indoor hotspot*,
- gusti urbani,
- ruralni,
- makro urbani,
- scenario velike brzine,
- scenario ekstremno velikog dometa pokrivanja u slabo naseljenim područjima,
- urbano pokrivanje za masivne konekcije,
- scenario autoputa,
- urbana mreža za povezani automobil,
- scenario komercijalnog povezivanja vazduh-zemlja,
- scenario lakih letjelica,
- satelitska ekstenzija zemaljskih veza.

3.6.1. *Indoor hotspot*

Indoor hotspot scenario implementacije se odnosi na oblasti malog pokrivanja i velikih protoka podataka po korisniku, ili velike gustine korisnika u zgradama. Glavne karakteristike ovog scenarija implementacije su veliki kapacitet, velika gustina korisnika i konzistentno korisničko iskustvo. Neke od tehničkih specifikacija datih u [47], koje bliže određuju ovaj scenario su:

- Učestanost nosioca oko 30GHz ili oko 70GHz ili oko 4GHz (opcije koje su ovdje ponuđene su date u cilju evaluacije i ne obavezuju primjenu na ovim opsezima, odnosno ne isključuju analizu drugih opcija);
- Ukupni opseg sistema, za opsege oko 30GHz ili oko 70GHz do 1GHz (DL+UL), a za opseg oko 4GHz, do 200MHz (DL+UL);
- Prostorni raspored, koji podrazumjeva zatvoreni prostor, odnosno jedan sprat (otvorena kancelarija);
- Rastojanje između pristupnih tačaka (ISD – *Intersite distance*) od 20m, što je ekvivalentno sa 12 primopredajnih tačaka (TRxPs – *Transmission Reception Points*) na prostoru veličine 120mx50m;
- Broj antena na baznoj stanici, za opsege oko 30GHz ili oko 70GHz do 256 primopredajnih antenskih elemenata, a za opseg oko 4GHz do 8 primopredajnih antenskih elemenata. Ovi podaci su radna pretpostavka, a 3GPP teži definisanju tipičnih antenskih konfiguracija;
- Broj antena na korisničkoj opremi, za opsege oko 30GHz ili oko 70GHz do 256 primopredajnih antenskih elemenata, a za opseg oko 4GHz do 8 primopredajnih antenskih elementa. Kao i za broj antena na baznoj stanici, ovi podaci su za sada radna pretpostavka;
- Raspodjela i brzina korisnika, podrazumjeva *indoor* korisnike, sa brzinom kretanja od 3km/h i 10 korisnika po primopredajnoj tački.

3.6.2. Gusti urbani scenario

Gusti urbani mikrocelularni scenario primjene se fokusira na makro primopredajne tačke (TRxP), sa ili bez mikro primopredajnih tačaka, i na slučajeve sa velikom gustinom korisnika i saobraćajnog opterećenja u gradskim centrima i gustim urbanim oblastima. Glavne karakteristike ovog scenarija implementacije su veliko saobraćajno opterećenje i *outdoor-to-indoor* pokrivanje. Ovaj scenario će biti ograničen interferencijom. Kontinualno celularno pokrivanje oblasti i odgovarajuća interferencija će se podrazumijevati. U [47] su date sljedeće tehničke specifikacije za ovaj scenario:

- Učestanost nosioca, oko 4GHz + oko 30GHz (dva sloja). Opcije koje su ovdje ponuđene su date u cilju evaluacije i ne obavezuju primjenu na ovim opsezima, odnosno ne isključuju analizu drugih opcija;
- Ukupni opseg sistema, za opseg oko 30GHz do 1GHz (DL+UL), a za opseg oko 4GHz, do 200MHz (DL+UL);

- Prostorni raspored u dva sloja. Makro sloj – heksagonalna struktura. Mikro sloj – slučajni raspored;
- Rastojanje između pristupnih tačaka (ISD), za makro sloj je 200m, makro sloj – 3 mikro TRxPs po makro TRxP (ovo je osnovna postavka, a nije isključen i veći broj mikro TRxPs po makro TRxP). Sve mikro TRxPs su tipa *outdoor*;
- Broj antena na baznoj stanici, za opseg oko 30GHz do 256 primopredajnih antenskih elemenata, a za opseg oko 4GHz, do 8 primopredajnih antenskih elemenata. Ovi podaci su radna pretpostavka, a 3GPP teži definisanju tipičnih antenskih konfiguracija;
- Broj antena na korisničkoj opremi, za opseg oko 30GHz do 32 primopredajna antenska elementa, a za opseg oko 4GHz, do 8 primopredajnih antenskih elemenata. Kao i za broj antena na baznoj stanici, ovi podaci su za sada radna pretpostavka;
- Raspodjela i brzina korisnika, za evaluaciju spektralne efikasnosti uzeti su korisnici sa uniformnom raspodjelom. Makro TRxP, 10 korisnika po TRxP. Za evaluaciju drugih glavnih indikatora performansi - korisnici sa uniformnom raspodjelom. Makro TRxP + klater/mikro TRxP, 10 korisnika po TRxP, od kojih su 80% *indoor* (mobilnost od 3km/h) i 20% *outdoor* (mobilnost od 30km/h).

3.6.3. Ruralni scenario

Ruralni scenario primjene se fokusira na veće oblasti i kontinualno pokrivanje. Glavne karakteristike ovog scenarija su kontinualno pokrivanje prostranih oblasti, uz podršku servisima za korisnike u vozilima velike brzine kretanja. Ovaj scenario će biti ograničen šumom i/ili interferencijom, uz korišćenje makro TRxPs. Sljedeće tehničke specifikacije detaljnije opisuju ovaj scenario, [47]:

- Učestanost nosioca, oko 700MHz ili oko 4GHz (za ISD 1), odnosno oko 700MHz i oko 2GHz, kombinovano, za ISD 2 (opcije koje su ovdje ponuđene su date u cilju evaluacije i ne obavezuju primjenu na ovim opsezima, odnosno ne isključuju analizu drugih opcija);
- Ukupni opseg sistema, za opseg oko 700MHz do 20MHz (DL+UL). (ukoliko opseg širine 20MHz ne može ispuniti servisne zahtjeve, razmotriti korišćenje kanala veće širine). Za opseg oko 4GHz, do 200MHz (DL+UL);
- Prostorni raspored, obuhvata jedan sloj i heksagonalnu strukturu;
- Rastojanje između pristupnih tačaka (ISD), za ISD 1 iznosi 1732m, a za ISD 2 je jednako 5000m;
- Broj antena na baznoj stanici, a opseg oko 4GHz je do 256 primopredajnih antenskih elemenata. Za opseg oko 700MHz, do 64 primopredajna antenska elementa. Ovi podaci su za sada radna pretpostavka, a 3GPP teži definisanju tipičnih antenskih konfiguracija;

- Broj antena na korisničkoj opremi, za opseg oko 4GHz je do 8 primopredajnih antenskih elemenata. Za opseg oko 700MHz, do 4 primopredajnih antenskih elemenata. Kao i za broj antena na baznoj stanici, ovi podaci su za sada radna pretpostavka;
- Raspodjela i brzina korisnika, 50% su vozila u *outdoor* okruženju, mobilnosti 120km/h i 50% su *indoor* korisnici, mobilnosti 3km/h. Podrazumijeva se 20 korisnika po TRxP.

3.6.4. Makro urbani scenario

Makro urbani scenario primjene se fokusira na velike ćelije i kontinualno pokrivanje. Glavne karakteristike ovog scenarija su kontinualno i potpuno pokrivanje urbanih oblasti. Ovaj scenario će biti ograničen interferencijom, uz korišćenje makro TRxPs, tj. pristupnih tačaka postavljenih iznad nivoa krovova. Sljedeće specifikacije daju detaljan opis ovog scenarija, [47]:

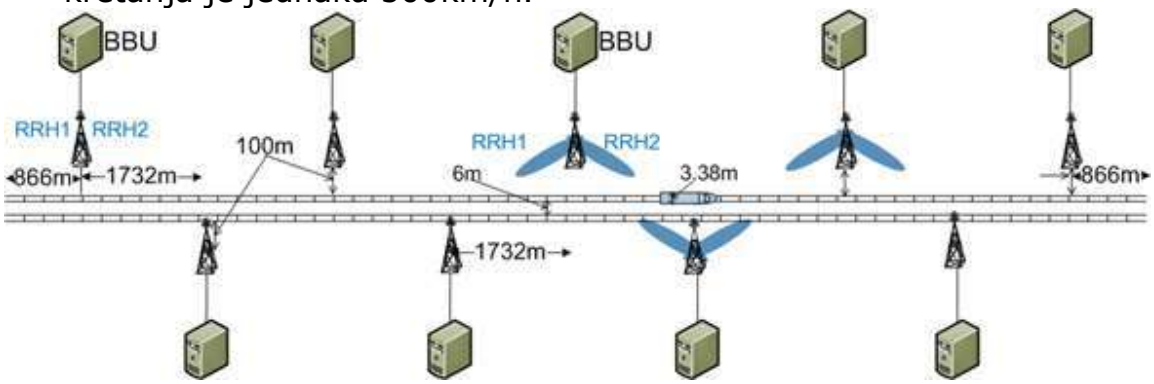
- Učestanost nosioca, oko 2GHz ili oko 4GHz, ili oko 30GHz. (opcije koje su ovdje ponuđene su date u cilju evaluacije i ne obavezuju primjenu na ovim opsezima, odnosno ne isključuju analizu drugih opcija);
- Ukupni opseg sistema, za opseg oko 4GHz je do 200MHz (DL+UL), dok je za opseg oko 30GHz do 1GHz (DL+UL);
- Prostorni raspored, obuhvata jedan sloj i heksagonalnu strukturu;
- Rastojanje između pristupnih tačaka (ISD) je 500m.
- Broj antena na baznoj stanici, je za opsege oko 2GHz, ili oko 4GHz, ili oko 30GHz, do 256 antenskih elemenata. Ovi podaci su za sada radna pretpostavka, a 3GPP teži definisanju tipičnih antenskih konfiguracija;
- Broj antena na korisničkoj opremi, je za opseg oko 4GHz, do 8 primopredajnih antenskih elemenata. Za opseg oko 30GHz, do 32 primopredajna antenska elementa. Kao i za broj antena na baznoj stanici, ovi podaci su za sada radna pretpostavka;
- Raspodjela i brzina korisnika, 20% su korisnici u vozilima u *outdoor* okruženju, mobilnosti 30km/h, a 80% su *indoor* korisnici, mobilnosti 3km/h. Podrazumijeva se 10 korisnika po TRxP.

3.6.5. Scenario velike brzine

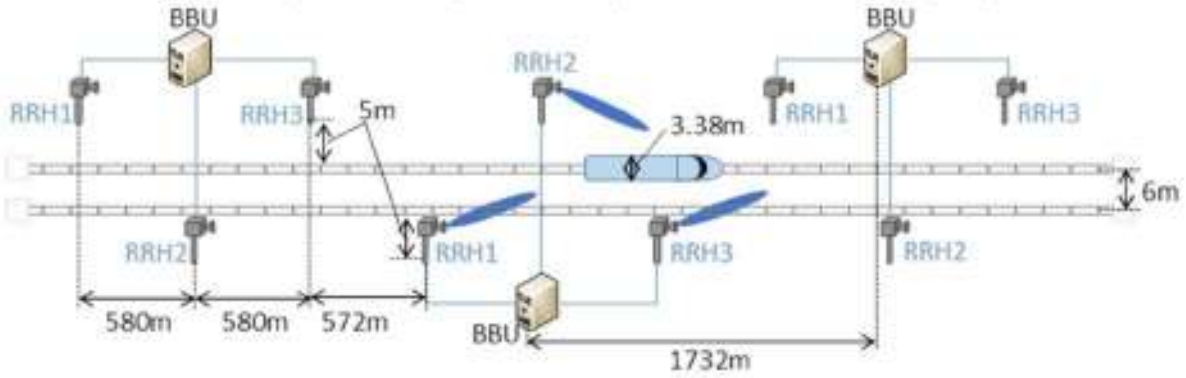
Scenario velike brzine se fokusira na kontinualno pokrivanje duž pruga, za korisnike u brzim vozovima. Glavne karakteristike ovog scenarija su konzistentno korisničko iskustvo i pouzdanost kritičnih komunikacija u vozu veoma velike mobilnosti. Za korisničku opremu, ako je antena relejnog čvorišta, za smjer komunikacije eNB-relej, locirana na vrhu jednog od vagona, onda se može distribuirano koristiti za svu komunikaciju u smjeru relej-korisnička oprema. Sljedeće specifikacije daju detaljniji opis ovog scenarija, [47]:

- Učestanost nosioca, za makro ćeliju je oko 4GHz. Za makro ćeliju + relejno čvorište postoje dvije opcije. Prva podrazumijeva da se za smjer komunikacije bazna stanica – relej koristi opseg oko 4GHz, a za komunikaciju u smjeru relej-korisnička oprema opseg oko 30GHz, oko 70GHz, ili oko 4GHz. Druga opcija podrazumijeva da se za smjer komunikacije BS-relej koristi opseg oko 30GHz, a za komunikaciju relej-korisička oprema opseg oko 30GHz, oko 70GHz, ili oko 4GHz. (opcije koje su ovdje ponuđene su date u cilju evaluacije i ne obavezuju primjenu u ovim opsezima, odnosno ne isključuju analizu drugih opcija);
- Ukupni opseg sistema, je za opseg oko 4GHz do 200MHz (DL+UL), dok je za opseg oko 30GHz, ili oko 70GHz do 1GHz (DL+UL);
- Prostorni raspored, za makro ćeliju na opsegu oko 4GHz je linijski raspored duž pruge, kao što je prikazano na Slici 3.20. Udaljene radio jedinice (RRH – *Remote Radio Head*) su udaljene od pruge 100m. Za makro ćeliju + relejna čvorišta, na opsegu oko 4GHz, raspored je linijski duž pruge, kao što je prikazano na Slici 3.20. RRH su udaljene od pruge 100m. Za makro ćeliju + relejna čvorišta, na opsegu oko 30GHz, raspored je linijski duž pruge, kao što je prikazano na Slici 3.21. RRH su udaljene od pruge 5m;
- Rastojanje između pristupnih tačaka (ISD), na opsegu oko 4GHz iznosi 1732m između RRH pozicija, sa primijenjene dvije TRxPs po RRH sajtu. Za slučaj primijenjene makro ćelije + relejna čvorišta, na opsegu oko 4GHz, ISD iznosi 1732m između RRH pozicija, za primijenjene dvije TRxPs po RRH sajtu (Slika 3.20). Za isti scenario, ali na opsegu oko 30GHz, rastojanje između jedinica za procesiranje signala u osnovnom opsegu (BBU – *Baseband Unit*) iznosi 1732m, pri čemu se tri RRH sajta povezuju na jednu BBU jedinicu, primjenjuje se jedan TRxP po RRH sajtu, a međusobna rastojanje između 3 RRH pozicije su jednaka 580m, 580m i 572m (Slika 3.21). Male ćelije između vagona imaju ISD od 25m;
- Broj antena na baznoj stanici, za opsege oko 4GHz i oko 30GHz je do 256 primopredajnih antenskih elemenata. Ovi podaci su za sada radna pretpostavka, a 3GPP teži definisanju tipičnih antenskih konfiguracija;
- Broj antena na korisničkoj opremi, kada je u pitanju relejna stanica i na predajnom i na prijemnom dijelu može koristiti do 256 antenskih elemenata. Korisnička oprema na opsegu oko 4GHz može imati do 8 primopredajnih antenskih elemenata, a za opseg oko 30GHz do 32 primopredajna antenska elementa. Kao i za broj antena na baznoj stanici, ovi podaci su za sada radna pretpostavka;
- Raspodjela i brzina korisnika, podrazumjeva da se svi korisnici nalaze u vozu. Kada bafer nije popunjen, 300 korisnika je raspoređeno po jednoj makro ćeliji (podrazumijevajući 1000 korisnika po jednom

brzom vozu i najmanje 10% aktivnih korisnika). Maksimalna brzina kretanja je jednaka 500km/h.



Slika 3.20. Implementacija scenarija velike brzine na opsegu 4GHz



Slika 3.21. Implementacija scenarija velike brzine na opsegu 30GHz

3.6.6. Scenario ekstremno velikog dometa pokrivanja u slabo naseljenim područijima

Scenario ekstremno velikog dometa se definiše tako da omogući pružanje servisa za veoma velike oblasti sa malom gustinom korisnika, bez obzira da li su to ljudi ili mašine (nenaseljene oblasti, oblasti gdje postoji samo autoput i slično). Glavne karakteristike ovog scenarija su makro ćelije, sa veoma velikom oblašću pokrivanja, pri čemu podržavaju osnovne servise prenosa podataka i govorne servise, sa malim do umjerenim, protokom podataka po korisniku i malom gustinom korisnika. Sljedeći atributi detaljnije predstavljaju ovaj scenario, [47]:

- Učestanost nosioca, ispod 3GHz sa prioritetom za opsege ispod 1GHz (opsezi oko 700MHz);
- Ukupni opseg sistema, je 40MHz (DL+UL);
- Prostorni raspored, obuhvata jedan sloj i izolovane makro ćelije;
- Domet ćelije, od 100km (izolovana ćelija) treba da se ispita kroz simulacije na sistemskom nivou. Mogućnost ostvarivanja većih dometa treba analizirati kroz evaluaciju na nivou linka (npr. u nekim scenarijima se mogu zahtijevati dometi 150-300km);

- Gustina korisnika i brzina kretanja, podrazumijeva procjenu koliko korisnika se može opslužiti po jednoj ćeliji kada se i korisnici na ivici ćelije opslužuju sa ciljnom brzinom prenosa podataka. Brzina kretanja korisnika je do 160km/h;
- Model saobraćaja, uz srednju brzinu prenosa podataka u časovima opterećenja, po jednom korisniku bi trebalo da iznosi 30kb/s. Korisničko iskustvo za brzine prenosa podataka do 2Mb/s na DL dok je korisnik stacionaran, i 384 kb/s na DL dok se kreće. Ciljne brzine na UL smjeru komunikacije su manje nego na DL, a poželjno je da iznose 1/3 DL brzine prenosa;

3.6.7. Scenario urbanog pokrivanja za masivne konekcije

Ovaj scenario se fokusira na veće ćelije i kontinualno pokrivanje za pružanje mMTC servisa. Glavne karakteristike ovog scenarija su kontinualno i potpuno pokrivanje urbanih oblasti, sa veoma velikom gustinom mMTC uređaja. Ovaj scenario implementacije je namijenjen za ocjenu gustine konekcija, kao jednog od ključnih indikatora performansi. Sljedeće karakteristike daju uvid u ovaj scenario, [47]:

- Učestanost nosioca, je 700MHz, a kao opcija, opseg oko 2100MHz;
- Implementacije mreže, uključujući ISD, samo u formi makro ćelija. ISD može imati vrijednost 1732m ili 500m;
- Implementacija krajnjih uređaja, u formi *indoor* i *outdoor* uređaja u vozilima;
- Maksimalna brzina kretanja, obuhvata 20% korisnika koji su *outdoor*, u vozilima (mobilnost 100km/h), ili 20% *outdoor* korisnika sa mobilnošću 3km/s. 80% korisnika su *indoor*, sa brzinom kretanja od 3km/h. Korisnici su slučajno raspoređeni po cijeloj ćeliji;
- Profil servisa, kod koga bafer nije potpuno ispunjen, sa saobraćajem u formi malih paketa;
- Broj antena na baznoj stanici, je 2 i 4 prijemna porta. Kao opcija, moguće je i da postoji 8 prijemnih portova;
- Broj antena na korisničkoj opremi: jedna predajna antena.

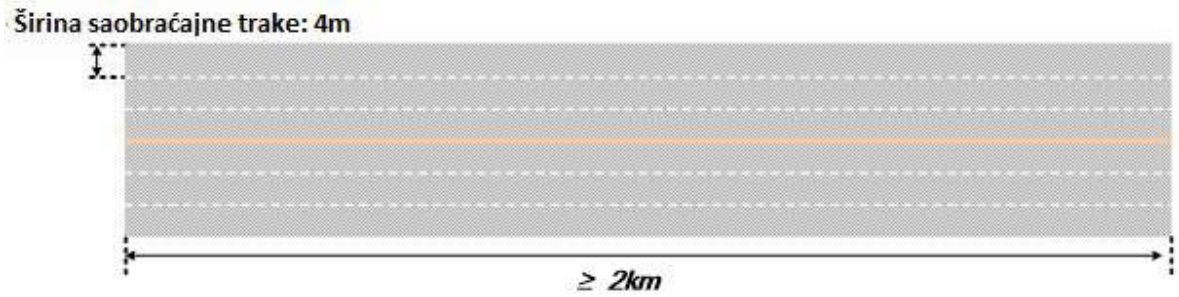
3.6.8. Scenario autoputa

Scenario autoputa se fokusira na scenario vozila koja se kreću autoputem, velikim brzinama. Konfiguracija puta za ovaj scenario je prikazana na Slici 3.22. Ključni indikatori performansi koji se ispituju u ovom scenariju bili bi pouzdanost/dostupnost u uslovima kretanja velikim brzinama, a samim tim i velikog broja *handover*-a. Sljedeće specifikacije daju detaljniji opis ovog scenarija, [47]:

- Učestanost nosioca, samo za makro ćeliju ispod 6GHz (oko 6GHz), a za makro ćeliju + jedinicu pored puta (RSU), postoje dvije opcije. Prva

podrazumijeva da se za smjer komunikacije bazna stanica (BS) – RSU koristi opseg ispod 6GHz, ali oko 6GHz. Druga opcija podrazumijeva da se za smjer komunikacije RSU prema vozilima, ili između vozila, koristi opseg ispod 6GHz (opcije koje su ovdje ponuđene su date u cilju evaluacije i ne obavezuju primjenu na ovim opsezima, odnosno ne isključuju analizu drugih spektralnih opsega). RSU se definiše kao logički entitet koji kombinuje V2X aplikacionu logiku, sa funkcionalnošću eNB ili korisničke opreme. Iz tog razloga, jedan RSU može komuniciratu sa vozilima koristeći D2D link, ili celularni DL/UL);

- Ukupni opseg sistema, je do 200MHz (DL+UL), odnosno do 100MHz za pojedinačni link;
- Prostorni raspored, kod opcije 1 podrazumijeva samo makro ćeliju, a kod opcije dva se odnosi na makro ćeliju + RSU-ove;
- Rastojanje između pristupnih tačaka (ISD), je za makro ćeliju 1732m, uz opciju da ono iznosi 500m. Rastojanje između RSU-ova je 50m ili 100m;
- Broj antena na baznoj stanici, podrazumjeva do 256 primopredajnih antenskih elemenata;
- Broj antena na korisničkoj opremi - RSU će imati do 8 primopredajnih antenskih elemenata, a isto važi i za vozilo kao korisnika;
- Raspodjela i brzina korisnika, podrazumjeva da se svi korisnici nalaze u vozilima. Srednje rastojanje između korisnika (između centara dva vozila) u istoj traci, iznosi 0,5s, ili 1s, pomnoženo sa srednjom brzinom vozila (100-300km/h). Ovaj model je privremen i može biti modifikovan;
- Model saobraćaja, podrazumijeva 50 poruka u sekundi, sa apsolutnom srednjom brzinom kretanja 100-250km/h (relativna brzina je 200-500km/h), ili 30km/h. I ovaj model sabraćaja nije konačno rješenje za modelovanje, već se može izmijeniti tokom daljeg opisa ovog scenarija.



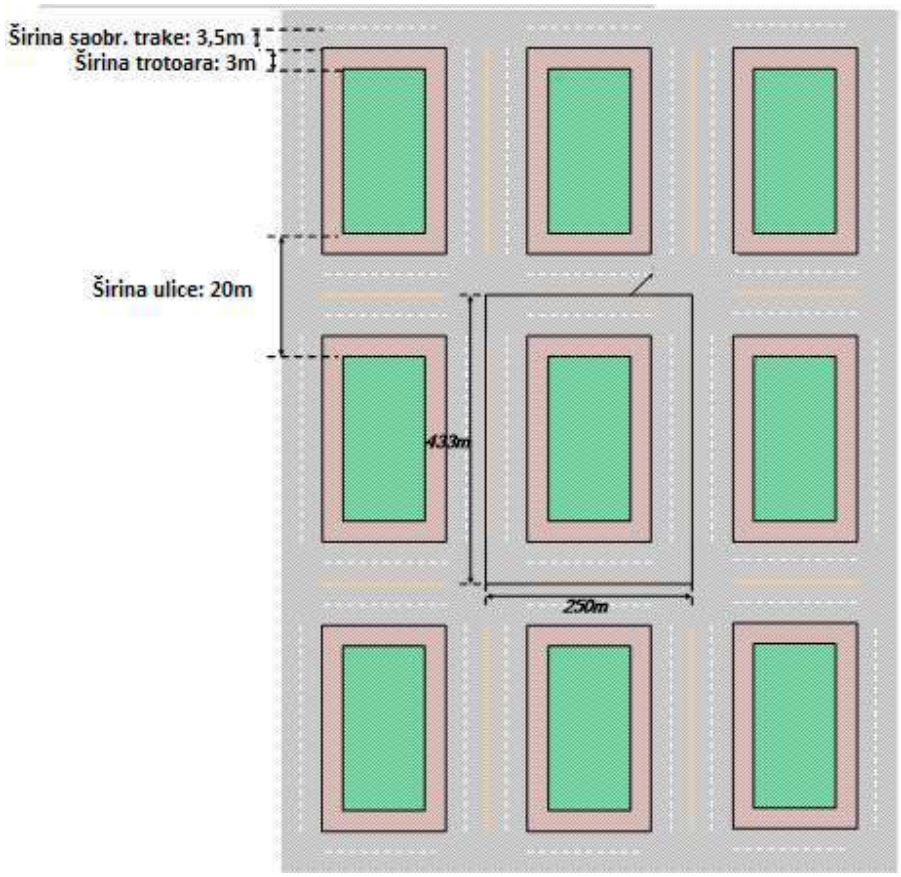
Slika 3.22. Konfiguracija puta za scenario autoputa

3.6.9. Scenario urbane mreže za povezani automobil

Makro urbani scenario se fokusira na scenario velike gustine vozila, koja se nalaze u urbanoj oblasti. Ovaj scenario obuhvata slučaj kada autoputevi

vode kroz urbane oblasti. Ključni indikatori performansi koji se ispituju u ovom scenariju su: pouzdanost/dostupnost/kašnjenje u slučaju velikog opterećenja mreže i velike gustine korisnika. Detaljan opis ovog scenarija je dat sljedećim karakteristikama, [47]:

- Učestanost nosioca, samo za makro ćeliju je ispod 6GHz (oko 6GHz), a za makro ćeliju + jedinice pored puta (RSU) postoje dvije opcije. Prva podrazumijeva da se za smjer komunikacije bazna stanica (BS) – RSU koristi opseg ispod 6GHz, ali oko 6GHz. Druga opcija podrazumijeva da se za smjer komunikacije RSU prema vozilima, ili između vozila/pješaka, koristi opseg ispod 6GHz (opcije koje su ovdje ponuđene su date u cilju evaluacije i ne obavezuju primjenu na ovim opsezima, odnosno ne isključuju analizu drugih spektralnih opsega);



Slika 3.23. Konfiguracija puta za urbanu sredinu

- Ukupni opseg sistema, je do 200MHz (DL+UL), odnosno do 100MHz za pojedinačni link;
- Prostorni raspored, kod opcije 1 podrazumijeva samo makro ćeliju, a kod opcije 2 se odnosi na makro ćeliju + RSU-ove;
- Rastojanje između pristupnih tačaka (ISD), je za makro ćeliju 500m. Za opciju dva se podrazumijeva da su RSU-ovi smješteni na svakoj

raskrsnici. Za ovu opciju će se razmotriti i druga rješenja (RSU-ovi na svakih 50m ili 100m);
- Broj antena na baznoj stanici, podrazumijeva do 256 primopredajnih antenskih elemenata;
- Broj antena na korisničkoj opremi - RSU će imati do 8 primopredajnih antenskih elemenata, a isto važi i za vozila, pješake i bicikliste kao korisnike;
- Raspodjela i brzina korisnika, podrazumijeva model urbanog okruženja (saobraćajne trake i pješačke/biciklističke staze su smještene oko jednog saobraćajnog bloka, koji čine po 2 saobraćajne trake u svakom smjeru, što čini 4 saobraćajne trake ukupno, 1 trotoar, jedan blok veličine 435m x 250m (Slika 3.23)). Srednje rastojanje između vozila (rastojanje između centara 2 vozila) u istoj kolovoznoj traci iznosi 1 sekundu*srednja brzina vozila (srednja brzina je 15 – 120km/h). Raspored pješaka/biciklista je takav da je rastojanje između njih jednako 20m;
- Model saobraćaja, podrazumijeva 50 poruka u sekundi za korisnike sa brzinom kretanja 60km/h, a 10 poruka u sekundi za korisnike mobilnosti reda 15km/h. Veličina poruke se mora dodatno pojasniti za eMBB i druge tipove servisa (npr. servisi bezbijednosti).

3.6.10. Scenario komercijalnog povezivanja vazduh-zemlja

Ovaj scenario je definisan da omogući pružanje mobilnih servisa u komercijalnim vazduhoplovima, u smislu pokretanja i primanja mobilnih servisa od strane korisnika u vazduhoplovima, bilo da se radi o ljudima, ili o mašinama kao korisnicima. Ne podrazumijeva uspostavljanje bazne stanice u vazduhu. Glavne karakteristike ovog scenarija su: makro ćelije usmjerene prema gore (sa veoma velikom oblašću pokrivanja uz omogućavanje osnovnih servisa prenosa govora i prenosa podataka), sa umjerenim protocima podataka po korisniku, koji su optimizovani za korisnike na velikim visinama i koji putuju veoma velikim brzinama. Avioni komercijalnih avio-kompanija će uobičajeno biti opremljeni sa tačkom agregacije (npr. relejna stanica). Sljedeće specifikacije daju detaljniji opis ovog scenarija, [47]:
- Učestanost nosioca, za link između BS i relejne stanice je ispod 4GHz;
- Ukupni opseg sistema, je 40MHz (DL+UL);
- Prostorni raspored, je makro ćelija + relejne stanice. Link između BS i relejne stanice bi trebao biti prioritet pri analizi, u odnosu na link između relejne stanice i korisničke opreme;
- Domet ćelije, za makro ćeliju od 100km bi se trebao analizirati kroz simulacije na sistemskom nivou. Mogućnost ostvarenja i većih dometa bi se trebala ocijeniti kroz simulacije na nivou linka;

- Raspodjela i brzina korisnika - potrebno je obaviti proračun koliko se korisnika može opslužiti sa ciljanom brzinom prenosa podataka po krisniku. Brzina kretanja korisnika je do 1000km/h. Korisnici se nalaze na visini do 15km;
- Model saobraćaja, podrazumjeva na DL korisničko iskustvo 384kb/s, što se tiče brzine prenosa podataka po jednom korisniku. Ciljne brzine za UL smjer komunikacije su manje nego za DL, pri čemu je poželjno da iznose 1/3 DL brzine prenosa.

3.6.11. Scenario lakih letjelica

Scenario lakih letjelica je definisan da omogući pružanje komunikaconih servisa u vazduhoplovima generalne avijacije. Potrebno je obezbijediti i ljudima i mašinama, koji su ukrcani na helikopterima i malim avionima, pokretanje i primanje mobilnih servisa. Scenario ne podrazumijeva uspostavljanje bazne stanice u vazduhu.

Glavne karakteristike i ovog scenarija su makro ćelije usmjerene prema gore (sa veoma velikom oblašću pokrivanja, koje obezbjeđuju osnovne servise prenosa govora i prenosa podataka), sa umjerenim protocima podataka po korisniku, koji su optimizovani za korisnike na srednjim visinama i koji mogu putovati velikim brzinama. Vazduhoplovi generalne avijacije nijesu opremljeni relejnim stanicama. Sljedeće specifikacije daju detaljniji opis ovog scenarija, [47]:

- Učestanost nosioca, podrazumjeva samo makro ćelije, ispod 4GHz;
- Ukupni opseg sistema, je 40MHz (DL+UL);
- Prostorni raspored, podrazumijeva jedan sloj makro ćelija;
- Domet ćelije, za makro ćeliju domet od 100km bi se trebao analizirati kroz simulacije na sistemskom nivou. Mogućnost ostvarenja i većih dometa bi se trebala ocijeniti kroz simulacije na nivou linka;
- Raspodjela i brzina korisnika, podrazumjeva do 6 korisnika po jednoj letjelici. Brzina kretanja korisnika je do 370km/h. Korisnici se nalaze na visini do 3km;
- Model saobraćaja, podrazumijeva korisničko iskustvo od 384kb/s brzine prenosa podataka na DL. Ciljne brzine za UL smjer komunikacije su manje nego za DL, pri čemu je poželjno da iznose 1/3 DL brzine prenosa.

3.6.12. Scenario satelitske ekstenzije zemaljskih veza

Ovaj scenario imlementacije je definisan za pružanje servisa u onim oblastima, gdje zemaljski servisi nijesu dostupni, kao i za one servise koji se mogu efikasnije podržati sastelitskim sistemima (kao npr. radiodifuzni servisi). Servisi putem satelita se ponašaju kao dopuna, posebno na

autoputevima i u ruralnim oblastima gdje zemaljski servisi nijesu dostupni. Servisi koje omogućavaju satelitski sistemi nijesu ograničeni samo na prenos govora i podataka, već uključuju i komunikacije mašinskog tipa, radiodifuzne servise i druge servise koji su tolerantni na kašnjenje.

Razlikuju se tri vrste implementacija satelitskih servisa kao ekstenzije za zemaljske veze, i njihove karakteristie u date u Tabeli 3.1, [47]:

Tabela 3.1. Primjeri implementacije satelitiskih servisa

	Implementacija 1	Implementacija 2	Implementacija 3
Učestanost nosioca *	Oko 1,5GHz ili 2GHz i za DL i za UL	Oko 20GHz za DL Oko 30GHz za UL	Oko 40GHz ili 50GHz
Tip dupleksa	FDD	FDD	FDD
Arhitektura satelitskog sistema	Bez procesiranja podataka (*Bent-pipe*)	Bez procesiranja podataka. Sa procesiranjem podataka na satelitu	Bez procesiranja podataka. Sa procesiranjem podataka na satelitu
Tipična pozicija satelitskog sistema u 5G arhitekturi	Pristupna mreža	*Backhaul* mreža	*Backhaul* mreža
Širina opsega sistema (DL+UL)	Do 2·10MHz	Do 2·250MHz	Do 2·1000MHz
Satelitska orbita	GEO, LEO	LEO, MEO, GEO	LEO, MEO, GEO
Raspodjela korisnika	*Outdoor*	*Outdoor*	*Outdoor*
Mobilnost korisnika	Fiksni, prenosni, mobilni **	Fiksni, prenosni, mobilni	Fiksni, prenosni, mobilni

* - opcije koje su ovdje ponuđene su date u cilju evaluacije. Sateliti se primjenjuju u različitim frekvencijskim opsezima.
** - Korisnici označenni kao "mobilni" uključuju i prenosne uređaje i druge prijemne platforme koje se kreću, kao što su automobili, brodovi, avioni, itd.

Trenutno su mobilni korisnici ograničeni na L opseg (1-2GHz) i S opseg (2-4GHz), ali nastavljaju se istraživanja za podršku i opsega na većim učestanostima.

3.6.13. Druge klasifikacije 5G scenarija primjene

5G će podržati širok spektar scenarija primjena, od kojih su neki već postojeći, a još veći broj se očekuje da će se pojaviti u budućnosti. Različiti

scenariji primjene imaju različite karakteristike i zahtjeve. Korisno je grupisati sve te brojne scenarije primjene u nekoliko srodnih grupa, po karakteristikama i zahtjevima.

NGMN je počeo raditi na identifikaciji zahtjeva za 5G standarde u četvrtom kvartalu 2013. godine i objavio je na svojoj industrijskoj konferenciji u martu 2015. članak (*white paper*) [48], s detaljnim zahtjevima za 5G mreže i opisom mogućih scenarija primjene, a sve u cilju podrške standardizaciji i dostupnosti 5G mreža. Predstavljeno je 25 reprezentativnih scenarija primjene za 5G, koji su grupisani u 8 grupa, s tim što to nije konačna lista, već treba da posluži kao smjernica koja ukazuje na nivo feksibilnosti koji 5G mreže moraju da obezbijede.

Sljedeća slika ilustruje tih 8 grupa scenarija primjene, sa po jednim konkretnim mogućim primjerom, koji je dat za svaku grupu.

Slika 3.24. NGMN grupe scenarija primjene i odgovarajući primjeri

Širokopojasni pristup u gusto naseljenim oblastima, predstavlja širok spektar rastućih i novih scenarijia primjene potpuno povezanog društva. Fokus je na dostupnosti usluga u gusto naseljenim oblastima (višespratnice, gusti urbani gradski centri ili događaji i slično), gdje u prosjeku hiljade ljudi živi i/ili radi na prostoru veličine jednog kvadratnog kilometra. Ova grupa scenarija primjene uključuje sljedeće slučajeve, [48]:

- Pervazivni video;
- Pametna kancelarija;
- *Cloud* servisi operatora;
- Razmjena HD video fajlova/slika na stadionima/okupljanjima na otvorenom.

Širokopojasni pristup svuda, ističe potrebu za pružanjem pristupa širokopojasnim uslugama svuda, uključujući i izazovnije situacije u pogledu pokrivenosti (od urbanih, do prigradskih i seoskih područja). Ova grupa uključuje sljedeće scenarije primjene, [48]:

- 50+ Mb/s svuda;
- Mreže ultra-niske cijene.

Veća mobilnost korisnika, što podrazumjeva da će nakon 2020. godine biti sve veća potražnja za mobilnim uslugama u vozilima, vozovima, pa čak i avionima. Dok neke usluge predstavljaju prirodni razvoj postojećih (navigacija, zabava itd.), neke druge predstavljaju potpuno nove scenarije, kao što su širokopojasne komunikacione usluge u komercijalnim vazduhoplovima (na primjer, sa čvorištem u avionu). Ova grupa uključuje sljedeće scenarije primjene, [48]:

- Brzi vozovi;
- Obrada podataka na daljinu;
- Pokretni *hot-spot*-ovi;
- 3D povezanost: Vazduhoplovi.

Masivni IoT, koji podrazumjeva viziju razvoja nakon 2020. godine i uključuje veliki broj scenarija primjene koji zahtijevaju povezivanje velikog broja uređaja (senzora, aktuatora, kamera i slično) sa širokim spektrom karakteristika i zahtjeva. Ova grupa scenarija primjene uključuje, [48]:

- Pametne uređaje koji se nose na odjeći;
- Senzorske mreže;
- Mobilni video nadzor.

Ekstremne komunikacije u realnom vremenu, koje pokrivaju slučajeve upotrebe sa velikim zahtjevima u pogledu interakcije u realnom vremenu. Na primjer, scenario primjene autonomne vožnje, koji zahtijeva ultrapouzdanu komunikaciju, može takođe zahtijevati trenutnu reakciju (na osnovu interakcije u realnom vremenu), radi sprječavanja saobraćajnih nezgoda. Ova grupa scenarija primjene uključuje Taktilni Internet.

Komunikacije za službe spašavanja, namijenjene su javnoj bezbjednosti i hitnim službama. Ovi scenariji primjene će se razvijati tako da uključuju nove i nove aplikacije za komunikaciju od nadležnih organa, predviđanje vanrednih situacija i pomoć u katastrofama. Stoga, scenariji primjene zahtijevaju veoma visok nivo dostupnosti. Ovoj grupi scenarija primjene pripada scenario prirodnih katastrofa, gdje bi 5G mreže trebale da budu u mogućnosti da pruže robustnu komunikaciju u slučaju prirodnih katastrofa kao što su zemljotresi, cunamiji, poplave, uragani i slično.

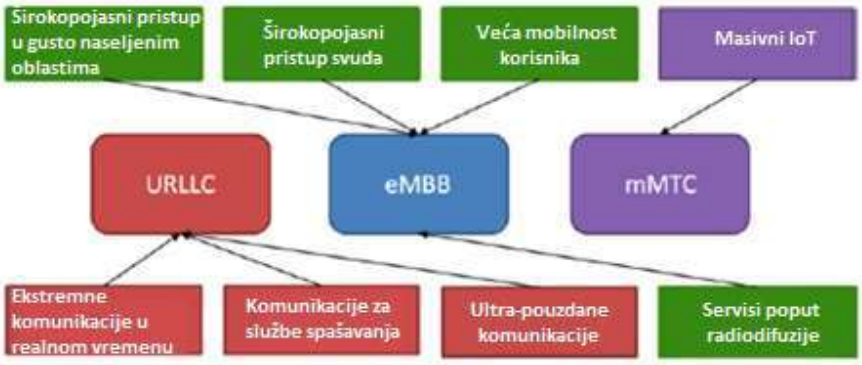
Ultra-pouzdane komunikacije, koje podržavaju viziju razvoja nakon 2020. godine, u kojoj se industrije, od proizvodnje do poljoprivrede, oslanjaju na pouzdane komunikacije mašinskog tipa. Ova grupa scenarija primjene uključuje, [48]:

- Automatizovanu kontrolu saobraćaja i automatizovanu vožnju;
- Kolaborativne robote;
- Elektronsko zdravstvo;
- Kontrolu objekata na daljinu - operacije na daljinu;
- 3D konektivnost – dronove;
- Javnu bezbijednost.

Servisi poput radiodifuzije, će biti neophodni u određenoj mjeri. Dok će personalizacija komunikacija dovesti do smanjenja potražnje za klasičnim starim difuznim servisima, kakvi se i danas primenjuju (npr. radiodifuzna TV), potpuno mobilno i povezano društvo će ipak zahtijevati efikasnu distribuciju informacija iz jednog izvora na mnoga odredišta. Ove usluge karakteriše široka distribucija, koja može biti usmjerena na određenu geolokaciju, ili na adresni prostor. Ova grupa scenarija primjene uključuje, [48]:

- Vijesti i informacije;
- Lokalni servisi poput radiodifuzije;
- Regionalni servisi poput radiodifuzije;
- Nacioalni servisi poput radiodifuzije.

Slika 3.25 prikazuje mapiranje 8 grupa scenarija primjene koje je predložio NGMN, na 3 servisne grupe definisane od strane ITU-R-a: eMBB, URLLC i mMTC.



Slika 3.25. Mapiranje 8 grupa scenarija primjene (NGMN) na 3 servisne kategorije (ITU-R) za 5G mreže

3.7. 3GPP primjeri servisnih zahtjeva za pojedine scenarije i vertikalne industrije

Nekoliko opisanih scenarija primjene zahtijeva podršku veoma velikih brzina prenosa podataka, ili gustine saobraćaja u 5G sistemima. Riječ je o situacijama koje se odnose na različite tipove okruženja: urbana i ruralna područja, kancelarije i kuće, kao i na specijalne primjene (npr. masovna okupljanja, difuzno emitovanje i brza vozila). Ovi scenariji i njihovi zahtjevi su dati u Tabeli 3.2, [58].

Takođe, postoje i scenariji koji zahtijevaju podršku vrlo malog kašnjenja i veoma visoke dostupnosti komunikacionih servisa. Ukupna kašnjenja zavise od kašnjenja na radio dijelu linka, vremena prenosa unutar 5G sistema, vremena prenosa na server (koji može biti izvan 5G mreže) i vremena obrade podataka. Neki od ovih faktora zavise direktno od 5G mreža, dok se za druge uticaj može smanjiti odgovarajućim međusobnim vezama između 5G sistema i servisa, odnosno servera izvan 5G mreža, kako bi se omogućilo, između ostalog, lokalno *host*-ovanje servisa. 5G mreže treba da budu u mogućnosti da obezbijede dovoljne nivoe kvaliteta servisa (QoS) radi podrške komunikacionim servisima visoke pouzdanosti i malog kašnjenja za:

- Diskretnu automatizaciju, koja obuhvata sve vrste proizvodnje u cilju dobijanja diskretnih proizvoda (npr. automobili, prehrambeni proizvodi, itd). Ova automatizacija zahtijeva komunikacije za nadzorne i kontrolne aplikacije otvorene petlje, kao i za nadgledanje i praćenje procesa unutar industrijskog postrojenja. Takav scenario upotrebe zahtijeva podršku velikog broja senzorskih uređaja po postrojenju, kao i visoku dostupnost komunikacionih usluga (99,99%). Štaviše, potrošnja energije je bitna, jer se neki senzorski uređaji napajaju baterijama sa ciljanim životnim vijekom od nekoliko godina, dok se ažurirana mjerenja obavljaju svakih nekoliko sekundi. Domet takođe postaje kritični faktor, zbog niskog nivoa emisione snage senzora, veličine postrojenja i visokih zahtjeva za pouzdanošću u transportu;
- Automatizaciju procesa, koja podrazumjeva automatizaciju protoka, bavi se kontrolom protoka i hemijskim reakcijama (npr. rafinerije i mreže za distribuciju vode). Sistemi koji podržavaju automatizaciju procesa obično su raspoređeni u geografski ograničenim oblastima, pristup njima je najčešće ograničen na ovlašćene korisnike i obično će ih opsluživati privatne mreže. Za razliku od diskretne automatizacije, kontrola kretanja je ograničena ili uopšte nije od značaja. Uobičajena kašnjenja od kraja do kraja su 50ms. Korisničke brzine prenosa podataka, dostupnost komunikacionih usluga i gustina veza se razlikuju od aplikacije do aplikacije. Iako, na primjer, hemijska postrojenja i rafinerije mogu lako da se protegnu na nekoliko kvadratnih kilometara, namjenske kontrolne sobe su obično odgovorne samo za podskup tog područja. Takvi

podskupovi se često nazivaju postrojenja, a njihova tipična veličina je 300x300x50m;

Tabela 3.2. Zahtjevi, sa stanovišta performansi, za scenarije velikih brzina prenosa podataka i velike gustine saobraćaja

Scenario	Iskustvo brzine prenosa (DL)	Iskustvo brzine prenosa (UL)	Kapacitet saobraćaja po oblasti (DL)	Kapacitet saobraćaja po oblasti (UL)	Gustina korisnika	Faktor aktivnosti	Brzina korisnika	Pokrivanje
Urbani makro	50Mb/s	25Mb/s	100Gb/s/km^2 (Napom. 4)	50 Gb/s/km^2 (Napom. 4)	10000/km^2	20%	Pješaci i korisnici u vozilima (do 120km/h)	Kompletna mreža (Napom. 1)
Ruralni makro	50Mb/s	25Mb/s	1Gb/s/km^2 (Napom. 4)	500 Mb/s/km^2 (Napom. 4)	100/km^2	20%	Pješaci i korisnici u vozilima (do 120km/h)	Kompletna mreža (Napom. 1)
Indoor hotspot	1Gb/s	500Mb/s	15Tb/s/km^2	2Tb/s/km^2	250000/ km^2	(Nap. 2)	Pješaci	Stambeni i kancelarijski prostori (Napom. 2) (Napom. 3)
Široko-pojasni pristup u gužvi	25Mb/s	50Mb/s	3,75Tb/s/km^2	7,5 Tb/s/km^2	500000/ km^2	30%	Pješaci	Zatvoreno područje
Gusti urbani	300Mb/s	50Mb/s	750Gb/s/km^2 (Napom. 4)	125 Gb/s/km^2 (Napom. 4)	25000/km^2	10%	Pješaci i korisnici u vozilima (do 60km/h)	Centar grada (Napom. 1)
Servisi poput radiodi-fuzije	Maksi-malno 200Mb/s (po TV kanalu)	N/A ili skromne brzine (npr. 500kb/s po korisniku)	N/A	N/A	15 TV kanala [20Mb/s] na jednom nosiocu	N/A	Stacionarni korisnici, pješaci i korisnici u vozilima (do 500km/h)	Kompletna mreža (Napom. 1)
Voz velike brzine	50Mb/s	25Mb/s	15Gb/s/vozu	7,5 Gb/s/vozu	1000/vozu	30%	Korisnici u vozovima (do 500km/h)	Duž pruga (Napom. 1)
Vozilo velike brzine	50Mb/s	25Mb/s	100Gb/s/km^2	50 Gb/s/km^2	4000/ km^2	50%	Korisnici u vozilima (do 250km/h)	Duž puteva (Napom. 1)
Konekti-vnost u avioni-ma	15Mb/s	7,5Mb/s	1,2Gb/s/ avionu	600Mb/s/ avionu	400/ avionu	20%	Korisnici u avionima (do 1000km/h)	(Napom. 1)

Napomena 1: Za korisnike u vozilima, UE može biti povezana direktno na mrežu, ili preko ugrađene mobilne bazne stanice.
Napomena 2: Podrazumijeva se određeni miks saobraćaja; samo neki korisnici koriste servise koji zahtijevaju najveće brzine prenosa podataka.
Napomena 3: Za interaktivne audio i video servise, kao npr. virtuelne sastanke, zahtijevano dvosmjerno kašnjenje od kraja do kraja (UL i DL) je 2-4ms, dok odgovarajuće korisničko iskustvo brzine prenosa podataka mora biti reda brzine potrebne za 8K 3D video (300Mb/s) na UL i DL.
Napomena 4: Vrijednosti su dobijene na osnovu gustine korisnika.
Napomena 5: Sve vrijednosti u ovoj tabeli su primjeri vrijednosti i nijesu strogi zahtjevi.

- Automatizaciju distribucije električne energije (uglavnom srednjeg i visokog naponskog nivoa), koja je za razliku od prethodno navedenih slučajeva, potpuno smještena u javnom prostoru. S obzirom da je distribucija električne energije osnovna infrastruktura, nju će, po pravilu, opsluživati privatne mreže;
- Inteligentne transportne sisteme, koji obuhvataju širok spektar aplikacija povezanih sa komunikacijama koje su namijenjene povećanju bezbjednosti putovanja, smanjenju štetnog uticaja na životnu sredinu, poboljšanju upravljanja saobraćajem i slično. Tokom poslednjih godina naglasak u istraživanju inteligentnih vozila usmjeren je ka kooperativnim sistemima u kojima učesnici u saobraćaju (vozila, bicikli, pješaci, itd.) komuniciraju jedni s drugima i/ili sa infrastrukturom. Kao što je slučaj sa automatizacijom električne energije, čvorišta su smještena u javnom prostoru.

Reprezentativni primjeri scenarija i servisni zahtjevi za opisane primjene su dati u Tabeli 3.3, [58].

Audio-vizuelnu interakciju karakteriše osoba koja komunicira sa okolinom ili ljudima, ili kontroliše korisničku opremu i oslanja se na audio-vizuelne povratne informacije. U slučajevima primjene poput virtuelne realnosti (VR) i interaktivnog razgovora, zahtjevi za kašnjenjem uključuju kašnjenja na sloju aplikacije (npr. kodeci), koji mogu biti specificirani van 3GPP-a.

Da bi podržao VR okruženje, 5G sistem mora podržavati, [58]:
- kašnjenje od pokreta - do fotona, u rasponu od 7-15ms, uz održavanje tražene brzine korisničkih podataka od 250Mb/s i
- kašnjenje od pokreta – do zvuka manje od 20ms.

Pri tome, kašnjenje od pokreta – do fotona se definiše kao kašnjenje između fizičkog kretanja korisnikove glave i ažurirane slike u VR uređaju. Kašnjenje od pokreta – do zvuka je kašnjenje između fizičkog kretanja korisnikove glave i ažuriranih zvučnih talasa iz slušalica smještenih na glavi, koji mu dopiru do ušiju.

Da bi podržao interaktivno izvršavanje zadataka tokom govornih komunikacija, 5G sistem mora podržavati kodiranje govora sa malim kašnjenjem za interaktivne usluge razgovora (100ms u jednom smjeru komunikacije, od usta - do uha).

Tabela 3.3. Primjeri zahtjeva, sa stanovišta performansi, za scenarije malog kašnjenja i velike pouzdanosti

Scenario	Maksimalno dozvoljeno kašnjenje od kraja do kraja (Napom. 2)	Vrijeme opstanka	Dostupnost komunikacionih servisa (Napom. 3)	Pouzdanost (Napom. 3)	Korisničko iskustvo brzine prenosa	Korisni dio podataka (Nap. 4)	Gustina saobraćaja (Napom. 5)	Gustina konekcija (Napom. 6)	Veličina servisne zone (Napom. 7)
Diskretna automatizacija	10ms	0ms	99,99%	99,99%	10Mb/s	Mali do velikog	1Tb/s/km^2	100000/km^2	1000x1000x30m
Automatizacija procesa – daljinsko upravljanje	60ms	100ms	99,9999%	99,999%	1 do 100Mb/s	Mali do velikog	100Gb/s/km^2	1000/km^2	300x300x50m
Automatizacija procesa – monitoring	60ms	100ms	99,9%	99,9%	1Mb/s	Mali	10Gb/s/km^2	10000/km^2	300x300x50m
Distribucija el. energije – srednji naponski nivo	40ms	25ms	99,9%	99,9%	10Mb/s	Mali do velikog	10Gb/s/km^2	1000/km^2	100km duž napojnog voda
Distribucija el. energije – visoki naponski nivo (Napomena 1)	5ms	10ms	99,9999%	99,999%	10Mb/s	Mali do velikog	100Gb/s/km^2	1000/km^2 (Napom. 8)	200km duž napojnog voda
Inteligentni transportni sistemi – okosnica infrastrukture	30ms	100ms	99,9999%	99,999%	10Mb/s	Mali do velikog	10Gb/s/km^2	1000/km^2	2km duž puta

Napomena 1: Trenutno realizovano preko žičanih komunikacionih linija.
Napomena 2: Ovo je maksimalno kašnjenje od kraja do kraja dozvoljeno sistemu 5G za pružanje servisa, u slučaju da je kašnjenje od kraja do kraja u potpunosti dodijeljeno 5G sistemu od UE do interfejsa do mreže podataka.
Napomena 3: Dostupnost komunikacionih servisa se odnosi na servisne interfejse, a pouzdanost se odnosi na zadati entitet sistema. Može se izvršiti jedna ili više ponovnih emisija paketa mrežnog sloja kako bi se udovoljilo zahtjevu pouzdanosti.
Napomena 4: Mali – korisni dio podataka obično manji od 256 bajta.
Napomena 5: Na osnovu pretpostavke da sve povezane aplikacije unutar opsega usluga zahtijevaju brzinu podataka koja odgovara korisničkom iskustvu brzine prenosa.
Napomena 6: Pod pretpostavkom 100% penetracije 5G korisnika.
Napomena 7: Estimacija maksimalnih dimenzija. Poslednja veličina je vertikalna dimenzija.
Napomena 8: U gusto naseljenim urbanim oblastima.
Napomena 9: Sve vrijednosti u ovoj tablici su primjeri vrijednosti i nijesu strogi zahtjevi. Konfiguracije konkretnih primjena treba uzeti u obzir prilikom razmatranja ponuda servisa koji ispunjavaju ciljeve.

U Tabeli 3.4 su prikazani servisni zahtjevi za vožnju u koloni, kao scenario implementacije V2X komunikacija u 5G mrežama, [59].

Tabela 3.4. Servisni zahtjevi za scenario vožnje u koloni

Opis komunikacionog scenarija		Req #	Korisni dio podataka [bajti]	Tx brzina emitov. [poruka/s]	Max kašnje-nje od kraja do kraja [ms]	Pouzdano-st [%] (Nap. 5)	Brzina prenosa podataka [Mb/s]	Minimalni zahtijevani komunikacio-ni domet [m] (Nap. 6)
Scenario	Nivo							
Kooperativna vožnja u koloni. Razmjena informacija između grupe UE-a, koja podržava V2X aplikacije.	Najmanji nivo automatizacije	[R5.2-004]	300-400 (Nap. 2)	30	25	90		
	Mali nivo automatizacije	[R5.2-005]	6500 (Nap. 3)	50	20			350
	Najveći nivo automatizacije	[R5.2-006]	50-1200 (Nap. 4)	30	10	99,99		80
	Veliki nivo automatizacije	[R5.2-007]			20		65 (Nap. 3)	180
Izvještavanje između UE-a, koji podržavaju V2X aplikacije, neophodno za vožnju u koloni, kao i između UE i RSU.	N/A	[R5.2-008]	50-1200	2	500			
Dijeljenje informacija između UE koja podržava V2X aplikacije i RSU, za vožnju u koloni.	Manji nivo automatizacije	[R5.2-009]	6000 (Nap. 3)	50	20			350
	Veći nivo automatizacije	[R5.2-0010]			20		50 (Nap. 3)	180

Napomena 2: Ova vrijednost je primjenljiva i za pokrenuti i za periodični prenos paketa.
Napomena 3: Podaci koji se razmatraju u ovom V2X scenariju uključuju i podatke o manevrima saradnje i podatke o percepciji saradnje, koji se mogu razmijeniti pomoću dvije odvojene poruke u istom vremenskom periodu (npr. potrebno kašnjenje 20 ms).
Napomena 4: Ova vrijednost ne uključuje dijelove poruke koji se odnose na bezbijednost.
Napomena 5: Dovoljan nivo pouzdanosti bi trebao biti obezbijeđen čak i za ćelije koje nemajuupisanu vrijednost u ovoj tabeli.
Napomena 6: Ova vrijednost je dobijena uzimajući UE nivoa mobilnosti od 130km/h.

Servisni zahtjevi za naprednu vožnju, kao scenario implementacije V2X komunikacija korišćenjem 5G mreža, su dati u Tabeli 3.5, [59].

Tabela 3.5. Servisni zahtjevi za scenario naprednje vožnje

Opis komunikacionog scenarija		Req #	Korisni dio podataka [bajt]	Tx brzina emitovanja [poruka/s]	Max kašnjenje od kraja do kraja [ms]	Pouzd. [%] (Nap. 3)	Brzina prenosa podataka [Mb/s]	Minimalni zahtijevani komunikacioni domet [m] (Nap. 4)
Scenario	Nivo							
Kooperativno izbjegavanje kolizije između UE-a, koji podržavaju V2X aplikacije.		[R5.3-001]	2000 (Nap. 5)	100 (Nap. 5)	10	99,99		
Dijeljenje informacija između UE-a koji podržavaju V2X aplikacije, za automatizovan u vožnju.	Manji nivo automatiz.	[R5.3-002]	6500 (Nap. 1)	10	100			700
	Veći nivo automatiz.	[R5.3-003]			100			360
Dijeljenje informacija između UE koja podržava V2X aplikacije i RSU, za automatizovan u vožnju.	Manji nivo automatiz.	[R5.3-004]	6000 (Nap. 1)	10	100			700
	Veći nivo automatiz.	[R5.3-005]			100			360
Hitno poravnanje putanje između UE-a koji podržavaju V2X aplikacije.		[R5.3-006]	2000 (Nap. 5)		3	99,999		500
Informacije o sigurnosti presijecanja između RSU i UE-a koji podržavaju V2X		[R5.3-007]	UL: 450	UL: 50				
Kooperativna promjena saobr. trake između UE-a koji podržavaju V2X aplikacije	Manji nivo automatiz.	[R5.3-008]	300-400		25	90		
	Veći nivo automat.	[R5.3-009]	1200		10	99,99		
Dijeljenje video sadržaja između UE koja podržava V2X aplikacije i V2X aplikacionog servera.		[R5.3-010]						

Napomena 1: Uključuje i i podatke o združenim manevrima i podatke o kooperativnoj percepciji, koji se mogu razmijeniti pomoću dvije odvojene poruke u istom vremenskom periodu (npr. zahtijevano kašnjenje 100ms).
Napomena 2: Ova vrijednost se odnosi na maksimalan broj od 200 UE-a. Vrijednost od 50Mb/s na DL je primjenljiva na radiodifuziju, ili pretstavlja maksimalnu združenu brzinu prenosa za *unicast* saobraćaj UE-a.
Napomena 3: Dovoljan nivo pouzdanosti bi trebao biti obezbijeđen čak i za ćelije koje nemajuu pisanu vrijednost u ovoj tabeli.
Napomena 4: Ova vrijednost je dobijena pretpostavljajući nivo mobilnosti UE od 130km/h. Vozila se mogu kretati u različitim smjerovima.
Napomena 5: Ove vrijednosti su zasnovane samo na proračunima kooperativnih manevara.

Da bi servis V2X proširene senzorike mogao funkcionisati, potrebno je da 5G mreže ispune servisne zahtjeve date u Tabeli 3.6, [59]:

Tabela 3.6. Servisni zahtjevi za proširenu senzoriku, kao V2X scenario implementacije

Opis komunikacionog scenarija		Req #	Korisni dio podataka [bajt]	Tx brzina emitovanja [poruka/s]	Maksim. kašnjenje od kraja do kraja [ms]	Pouzdano-st [%]	Brzina prenosa podataka [Mb/s]	Minimalni zahtijevani komunika-cioni domet [m]
Scenario	Nivo							
Dijeljenje informa-cija sa senzora između UE-a koji podržavaju V2X aplikacije	Manji nivo automatizacije	[R5.4-001]	1600	10	100	99		1000
		[R5.4-002]			10	95	25 (Nap. 2)	
	Veći nivo automatizacije	[R5.4-003]			3	99,999	50	200
		[R5.4-004]			10	99,99	25	500
		[R5.4-005]			50	99	10	1000
		[R5.4-006] (Nap. 2)			10	99,99	1000	50
Dijeljenje video sadržaja između UE-a koji podržavaju V2X aplikacije	Manji nivo automatizacije	[R5.4-007]			50	90	10	100
	Veći nivo automatizacije	[R5.4-008]			10	99,99	700	200
		[R5.4-009]			10	99,99	90	400
Napomena 1: Ovo je vršna vrijednost brzine prenosa podataka. Napomena 2: Ovo je za scenario neizbježnog sudara.								

Zahtjevi dati u Tabeli 3.7. bi trebali biti ispunjeni da bi 5G mreže podržale servis upravljanja vozilom na daljiinu, [59].

Tabela 3.7. Servisni zahtjevi za upravljanje vozilom na daljinu, kao V2X scenario implementacije

Opis komunikacionog scenarija	Req #	Maksimalno kašnjenje od kraja do kraja [ms]	Pouzdanost (%)	Brzina prenosa podataka [Mb/s]
Razmjena informacija između neke korisničke opreme (UE) koja podržava V2X aplikaciju i V2X aplikacionog servera	[R.5.5-002]	5	99.999	UL: 25 DL: 1

Sumarni pregled nivoa preciznosti pozicioniranja, potrebnih za podršku potencijalnim scenarijima upotrebe u vertikalnim industrijskim sektorima, dat je u Tabeli 3.8, [58].

Tabela 3.8. Servisni zahtjevi, sa stanovišta preciznosti pozicioniranja, za različite vertikalne sektore

Servisi / Scenariji primjene	Scenariji primjene u automobilskoj industriji	Scenariji primjene u transportu, logistici i IoT-u	Scenariji primjene u zdravstvu, njezi i pametnim gradovima	Mediji i zabava
Opis	Prenos podataka sa senzora na servere za dinamičko ažuriranje digitalne mape; proširenje dometa koji se može detektovati izvan mogućnosti ugrađenih senzora, dijeljenjem pogleda ili otkrivenih objekata, koordiniranjem putanja među vozilima, dijeljenjem namjere vožnje, daljinskim upravljanjem vozila u realnom vremenu.	Detekcija, izvještavanje, povratne informacije, kontrola vezana za prediktivno održavanje, praćenje imovine, nadzor; kontekstualne usluge, preporuke u tržnom centru, na aerodromu itd.	Zdravstvena zaštita na daljinu i pomoć pri operacijama; komande u realnom vremenu za kontrolu medicinskih uređaja; povezivanje senzora, nosivih uređaja i drugih medicinskih uređaja; daljinsko nadgledanje, nadzor i uputstva za građane i pripadnike javnih službi.	Usluge medijske produkcije zasnovane na agregaciji različitih medijskih sadržaja na serverima; razmjena podataka (objektne informacije) u kolaborativnim igrama, u stvarnom vremenu, između ravnopravnih računara ili u klijent-server arhitekturi.
Preciznost pozicioniranja	Za srednjoročno / dugoročno modeliranje okruženja (dinamičko ažuriranje digitalne mape visoke definicije): <30cm u odnosu na druge objekte na karti. Za kratkoročno modeliranje okoline (dijeljenje senzora), za saradnju (koordinirana kontrola), daljinsko upravljanje vozilom: <30cm (u nekim slučajevima može biti <10cm, npr. parkiranje, pješaci); <1m za dijeljenje generalnih namjera u vožnji (koordinirana kontrola), npr. promjena trake, uključivanje na autoput. Takođe je potrebno pozicioniranje u zatvorenom, npr. tuneli, parking.	Za masivno povezivanje senzora u vremenski tolerantnim i vremenski kritičnim aplikacijama i za povratne informacije: - 30cm - 1m je dovoljno za mnoge primjene, - <30cm za aplikacije koje zahtijevaju tačnu lokalizaciju (npr. praćenje određenih predmeta u skladištu). Takođe je potrebno pozicioniranje u zatvorenom prostoru, npr. skladište, aerodrom, željeznička stanica.	Za zdravstvenu zaštitu na daljinu i pomoć pri operacijama; za praćenje pametnih gradova u realnom vremenu: 1-10m, npr. pomoć pri operaciji na daljinu, nadzor *wellnessa*; nadzor na daljinu (video nadzor) i smjernice za građane. Takođe je potrebno pozicioniranje u zatvorenom prostoru, npr. kuća, medicinski centar.	Za medijsku produkciju i kolaborativne igre: 30cm - 1m, npr. podaci o lokaciji koji bi mogli pomoći u proizvodnji medija, stvoranje novih igračkih aplikacija koristeći informacije o lokaciji. Pozicioniranje u zatvorenom prostoru takođe može biti korisno.

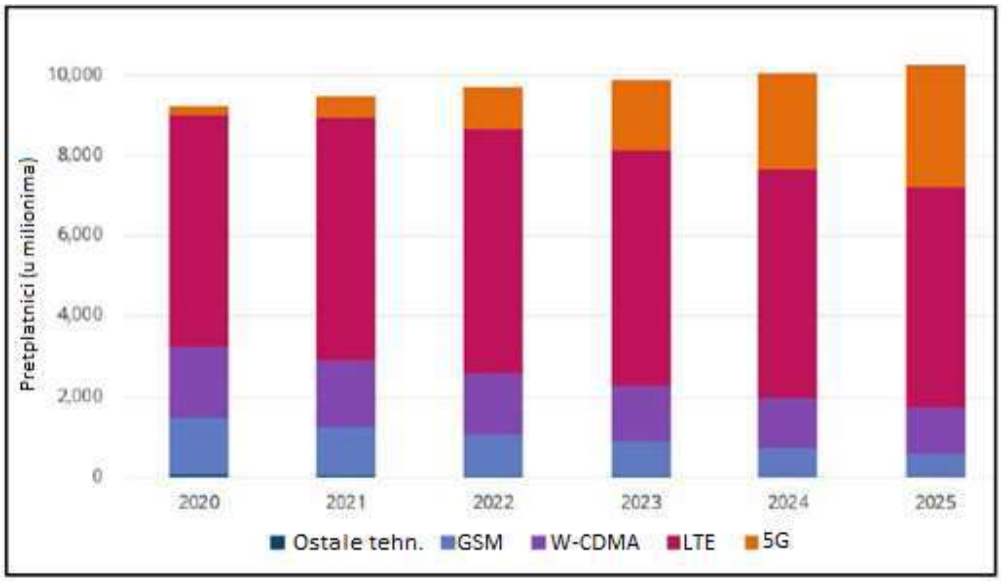
Pregled vrijednosti kašnjenja u prenosu zahtijevanog za podršku potencijalnim scenarijima primjene u vertikalnim sektorima, dat je u Tabeli 3.9, [58]. Kašnjenje ovdje podrazumijeva kašnjenje od kraja do kraja na aplikativnom nivou.

Tabela 3.9. Servisni zahtjevi sa stanovišta kašnjenja za različite vertikalne sektore

Servisi / Scenariji primjene	Scenariji primjene u automobilskoj industriji	Scenariji primjene u transportu, logistici i IoT-u	Scenariji primjene u zdravstvu, njezi i pametnim gradovima	Mediji i zabava
Opis	Proširenje ostvarivog dometa izvan mogućnosti ugrađenih senzora, dijeljenjem uvida ili otkrivenih predmeta među učesnicima u saobraćaju, koordinacija putanja među vozilima, dijeljenje namjera o vožnji, daljinsko upravljanje vozilima u realnom vremenu.	Detekcija u stvarnom vremenu, izvještavanje, povratne informacije, kontrola, daljinsko upravljanje, praćenje imovine, nadzor; kontekstualne usluge, preporuke u tržnom centru, na aerodromu.	Video uživo (4K, 8K, 3D za zdravstvenu zaštitu na daljinu (konsultacije, praćenje) i pomoć pri operacijama, komande u realnom vremenu za kontrolu medicinskih uređaja za liječenje (npr. lijekovi, operacije); daljinsko nadgledanje, nadzor i usmjeravanje za građane i pripadnike javnih službi.	Usluge medijske produkcije zasnovane na agregaciji različitih medijskih sadržaja na serverima; razmjena podataka (objektne informacije) u kolaborativnim igrama, u stvarnom vremenu, između ravnopravnih računara ili u klijent-server arhitekturi
Kašnjenje	Za srednjoročno / dugoročno modeliranje okruženja (dinamičko ažuriranje digitalne mape visoke definicije): Za aplikacije koje nijesu osjetljive na kašnjenje (100ms od kraja do kraja). Za kratkotrajno modeliranje okoline (dijeljenje senzora): <20ms od kraja do kraja. Za kooperaciju (koordinirana kontrola): <3ms kraj do kraja za vod, <10ms od kraja do kraja za kooperativne manevre. <100ms od kraja do kraja za obavještenje o namjeri u vožnji. Za upravljanje vozilom na daljinu: 10-30ms od kraja do kraja.	Za masivno povezivanje senzora u vremenski tolerantnim i vremenski kritičnim aplikacijama i za povratne informacije: <30ms od kraja do kraja. Za daljinsko upravljanje dronovima i kolaborativne poljoprivredne mašine: 10-30ms . Za upravljanje u stvarnom vremenu u diskretnoj automatizaciji: ≤1ms od kraja do kraja.	Za video / teleprisutnost / proširenu stvarnost u realnom vremenu za zdravstvenu zaštitu na daljinu i pomoć u hirurgiji, za praćenje i davanje uputstava (pametni gradovi): 100ms od kraja do kraja. Komanda i kontrola u reanom vremenu za prepisivanje lijekova na daljinu i operacije: 10-100ms od kraja do kraja. Za pametnu mrežu: <5ms od kraja do kraja za okosnicu prenosa / mreže, <50ms od kraja do kraja za distributivni dio / okosnicu mreže. Vremenski osjetljive senzorske aplikacije i povratne informacije za pametne gradove: 30ms od kraja do kraja.	Za prenos uživo u prepunim područjima, usluge medijske produkacije, proširenu stvarnost, za kolaborativne igre itd.: 20ms od kraja do kraja.

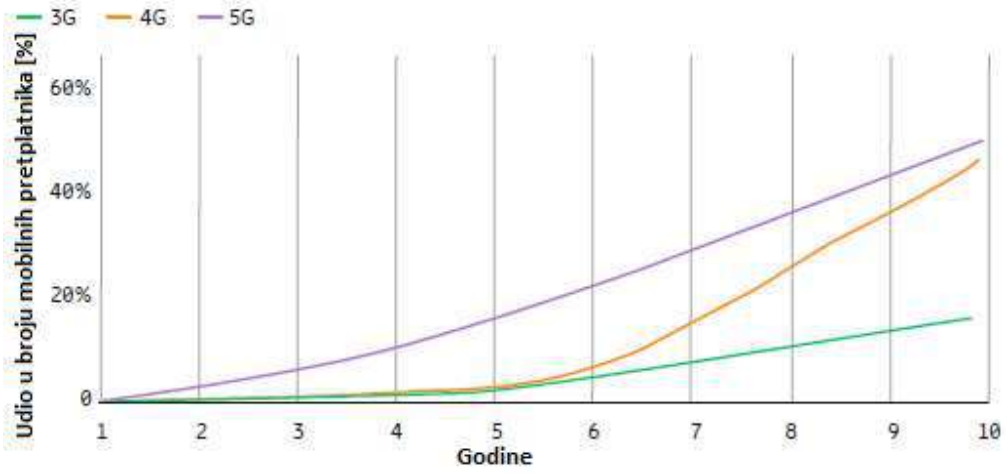
3.8. Trenutno stanje i perspektiva implementacije 5G mreža i servisa

Do decembra 2020. godine, u svijetu je bilo 229 miliona 5G pretplatnika, što predstavlja porast od čak 66% u odnosu na prethodni kvartal. Prema najnovijim podacima, kompanija za istraživanje tržišta *Omdia,* predviđa da će do kraja 2025. godine biti oko 10,25 milijardi mobilnih pretplatnika, [60]. Očekuje se da će LTE (podrazumijeva i LTE-*Advanced*) dostići vrhunac, u smislu udjela u ukupnom broju korisnika mobilnih celularnih mreža, na kraju 2021. godine (sa 63,3%), a maksimum u pogledu broja pretplatnika dostići će krajem 2022. godine (sa 6,056 milijardi pretplatnika). Od 2023. godine, predviđa se da će LTE tržište polako opadati, jer će korisnici prelaziti na 5G. Između kraja 2020. i kraja 2025. godine, udio tržišta predstavljenog GSM pretplatnicima opašće sa 15,1% na 5,5%, a udio zastupljenosti WCDMA pretplatnika sa 19,4% na 11,1%. Do kraja 2025. godine, 5G će činiti gotovo 30% globalnog tržišta (sa 3,03 milijarde pretplatnika), iako će LTE i dalje biti dominantna tehnologija sa 53,5% svih mobilnih pretplatnika na globalnom nivou, [60].



Slika 3.26. Predikcija broja korisnika mobilnih celularnih mreža, po tehnologijama

I pored usporavanja u primjeni 5G mreža, uslijed globalne pandemije Covid-19 virusa, implementacija 5G mreža se odvija znatno brže u odnosu na prethodne generacije mobilnih celularnih mreža, i vjerovatno će prevazići granicu od 20% tržišnog udjela mobilnih pretplatnika, dvije godine brže nego što je to bio slučaj sa 4G (Slika 3.27), [61].



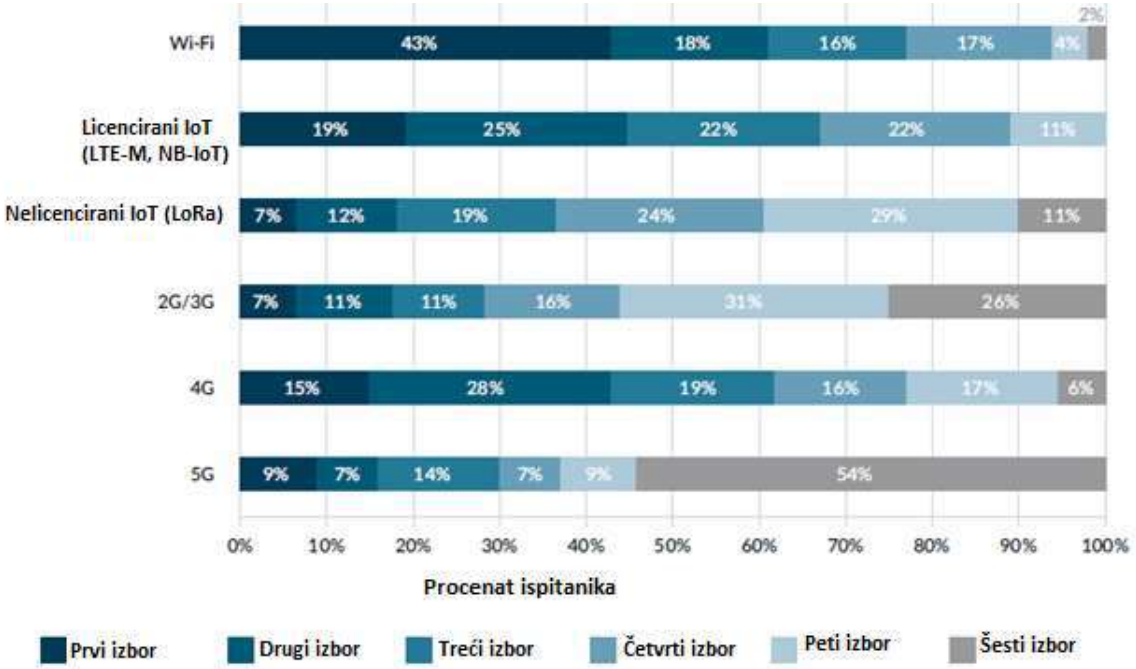
Slika 3.27. Nivo primjene 5G mreža u poređenju sa prethodnim generacijama

U anketi sprovedenoj *online* među profesionalcima u mobilnim komunikacijama i vertikalnim sektorima, [56], jasno se uočavaju velika očekivanja od 5G mreža i značaj koji im pridaju u ovim anketiranim sektorima. Većina ispitanika (76%) rekla je da su i mMTC i URLLC od kritičnog, ili visokog značaja, ili predstavljaju važan, odnosno srednje važan prioritet za njihovo poslovanje. Od anketiranih operatora, 85% je reklo da je mMTC presudan, ili važan za njihovo poslovanje, a 80% da je URLLC presudan, ili važan, što sugeriše široko rasprostranjeno uvjerenje da će ove tehnologije biti potrebne za podršku budućim uslugama.

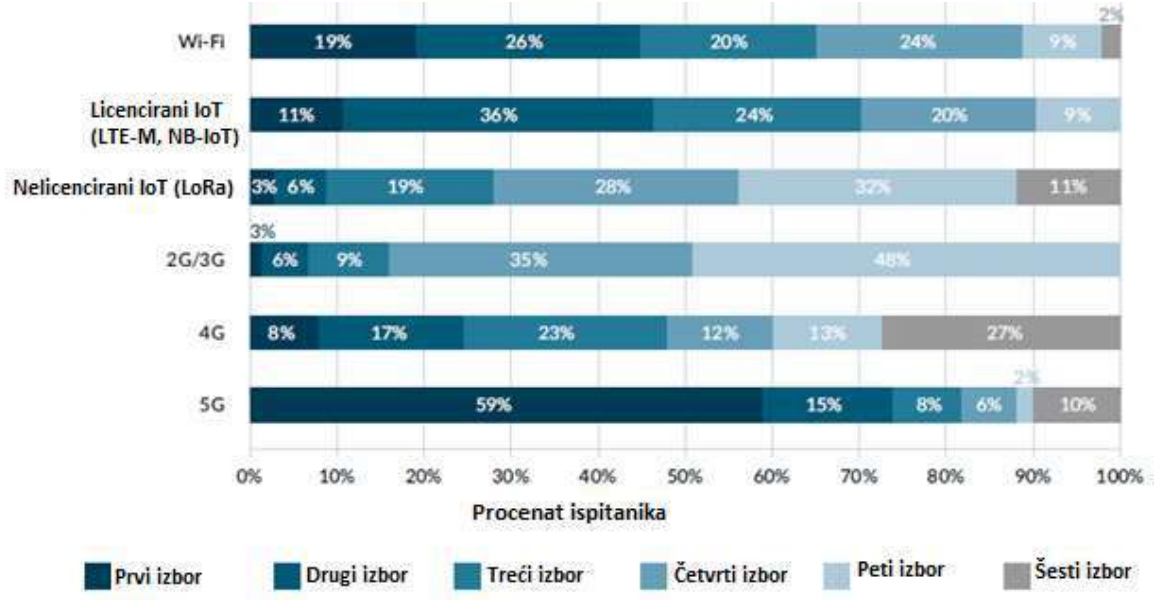
Da bi razumjeli trenutne stavove o tome kako se 5G uklapa u širok izbor radio tehnologija koje mogu podržati industrijske aplikacije, ispitanici su zamoljeni da rangiraju najvažnije radio tehnologije koje se danas koriste i koje će biti vodeće tehnologije za pet godina. Rezultati pokazuju da je danas najbolje rangirana tehnologija WiFi, a slijede je licencirane IoT tehnologije (tj. LTE-M, NBIoT) i 4G (Slika 3.28). U sljedećih pet godina ispitanici su ocijenili 5G kao najvažniju radio tehnologiju, a slijede WiFi i licencirani IoT (Slika 3.29), [56].

Iako postoje velika očekivanja i entuzijazam u pogledu mogućnosti za primjenu 5G mreža u različitim industrijama, istraživanje je takođe otkrilo da postoje značajni izazovi koje treba savladati. Rezultati ankete dati u [56] su pokazali da većina ispitanika smatra da je jedna od najvećih prepreka razvoju 5G industrijskih usluga nedostatak poslovnih modela (Slika 3.30). To bi moglo sugerisati da će za ostvarivanje takvih usluga trebati više vremena nego što se očekivalo, jer kompanije još uvijek ne razumiju u potpunosti koristi, troškove i rizike od implementacije industrijskih 5G aplikacija. U kombinaciji sa ostalim glavnim izazovima (nedovršenim standardima i

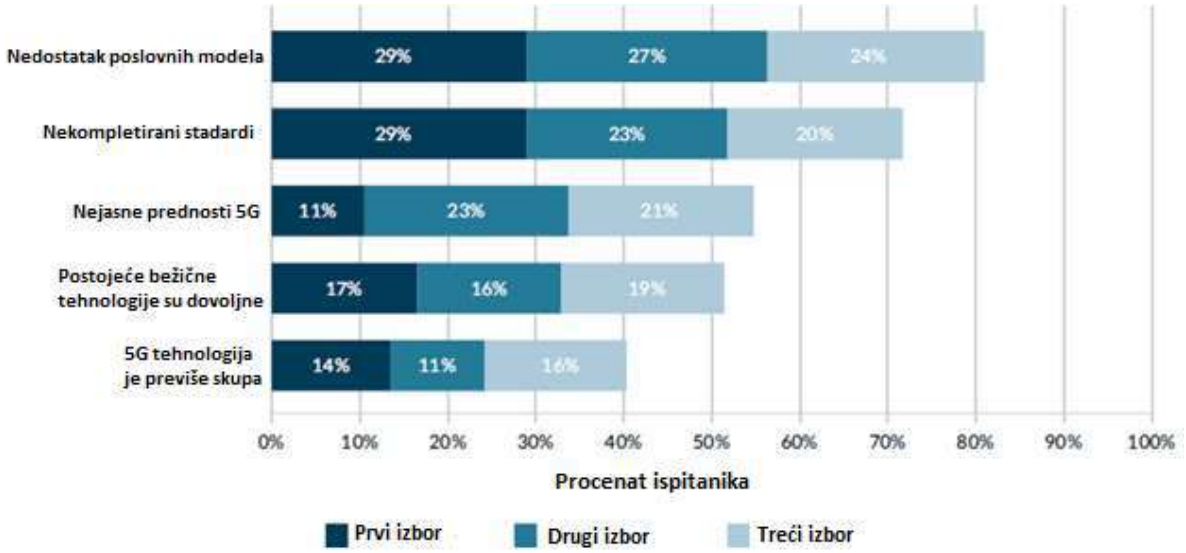
nejasnim prednostima), rezultat ankete najbolje pokazuje da je 5G tržište još uvijek u ranoj fazi razvoja.



Slika 3.28. Najvažnije radio pristupne tehnologije današnjice za industrijske aplikacije

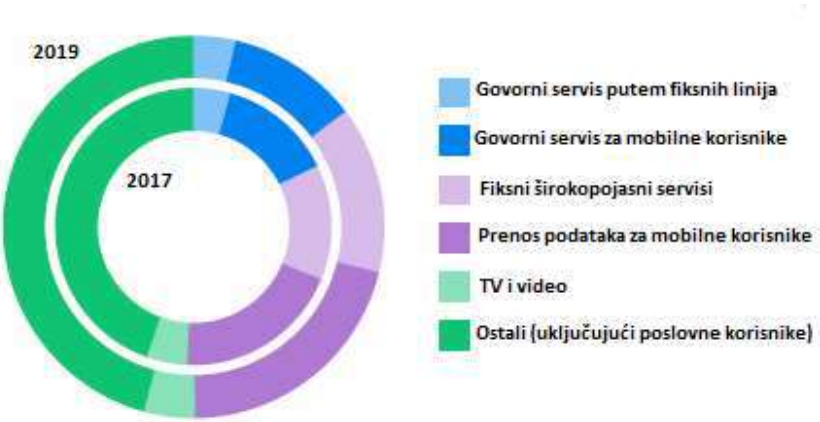


Slika 3.29. Najvažnije radio pristupne tehnologije za industrijske aplikacije, za pet godina



Slika 3.30. Glavne barijere za primjenu 5G tehnologija za industrijske aplikacije

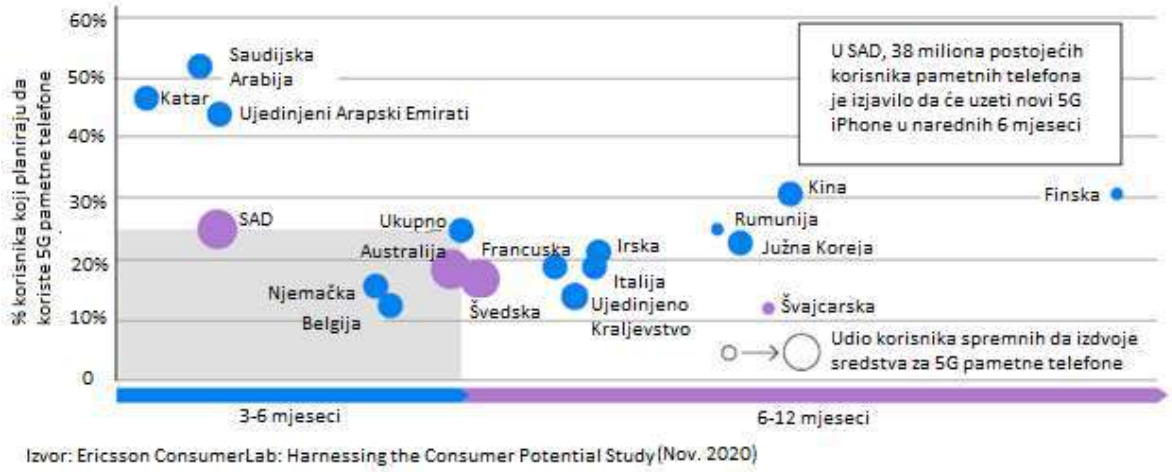
I pored nesumnjivo ogromnog iskoraka 5G mreža ka pružanju novih servisa različitim vertikalnim industrijskim sektorima, nikako se ne smije zaboraviti na značaj tržišta krajnjih korisnika, koje danas generiše značajan dio prihoda servis provajdera, a važnost ovog segmenta tržišta će nastaviti da raste i sa razvojem 5G mreža. Po strukturi prihoda u 2019. godini (Slika 3.31), jasno je da preko 50% ukupnih prihoda servis provajdera na tržištu telekomunikacija, na globalnom nivou, dolazi od krajnjih korisnika, [61].



Slika 3.31. Prihodi servis provajdera na globalnom nivou, po tipovima servisa (2017. i 2019. god.)

Pored spremnosti mrežnih operatora da investiraju sredstva u implementaciju 5G mreža, veoma je bitno i raspoloženje korisnika da mjesečno opredijele eventualna dodatna sredstva za nove servise, ili da

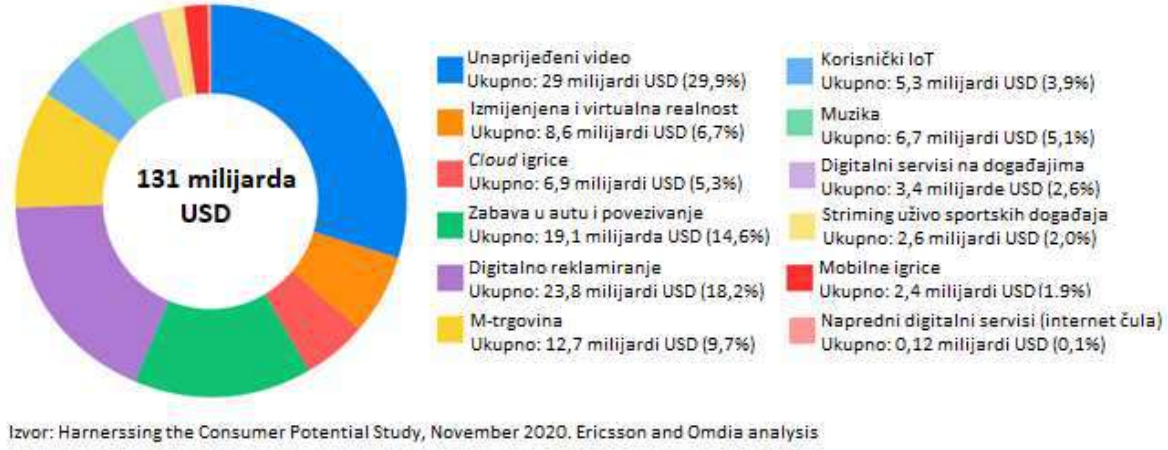
promijene korisnički uređaj i kupe neki koji podržava 5G tehnologiju. Veliki broj ljudi je, u finansijskom smislu, osjetio posledice COVID-19 pandemije, pa je polovina korisnika u anketi koju je sproveo *Ericsson* na 7500 ljudi, do novembra 2020 godine, [61], izjavilo da je na njihovu finansijsku situaciju uticala pandemija. I pored toga, na 17 tržišta na kojima je sprovedeno ovo istraživanje, 25% potrošača je odgovorilo da će vjerovatno preći na 5G pametni telefon (Slika 3.32). Oko polovina onih koji planiraju da kupe 5G pametni telefon u SAD-u, Australiji, Švedskoj i Švajcarskoj, su postojeći vlasnici *iPhone*-a, u potrazi za nadogradnjom na *iPhone* 5G modele. I naravno, iako na tržištu već postoji niz 5G uređaja, *Apple*-ov *iPhone* je i dalje najprodavaniji korisnički uređaj. Prema kompaniji za istraživanje tržišta, *Omdia*, u prvoj polovini 2020. godine, prethodnik *iPhone*-a 12, *iPhone* 11, bio je daleko najprodavaniji pametni telefon na svijetu, nadmašivši svog najbližeg konkurenta, *Samsung Galaxy* A51, više od tri puta (37,7 miliona jedinica naspram 11,4 miliona prodatih *Samsung* A51), [62]. Jasno je da bi bez *iPhone-a* nivo penetracije 5G korisnika bio ograničen. Sada, kada je *iPhone* 12 već na tržištu, uklonjeno je još jedno ograničenje za korišćenje šireg potencijala 5G mreža.



Slika 3.32. Spremnost korisnika da pređu na korišćenje 5G telefona u narednih 12 mjeseci

Servis provajderi će sa 5G tehnološkom platformom omogućiti prihod od krajnjih korisnika kompletnoj ICT industriji, koji se procjenjuje na 31 bilion američkih dolara kumulativno, do 2030. godine. Od toga, sami telekomunikacioni servis provajderi bi mogli da dobiju oko 3,7 biliona dolara, [61]. Za telekomunikacione operatore je od posebne važnosti da preuzmu proaktivnu ulogu, tj. da ne budu samo provajderi 5G infrastrukture, već da aktivno učestvuju u kreiranju servisa i platformi prilagođenih lokalnim/regionalnim potrebama i korisnicima. Procjena je da bi proaktivni servis provajderi mogli generisati dodatnih 131 milijardu dolara direktnih

prihoda od 5G-a digitalnih servisa/scenarija upotrebe, tokom deset narednih godina, samo od krajnjih korisnika, [61]. Očekuje se da će od ovih direktnih prihoda, preko 40% generisati poboljšani video i imerzivni video formati kao što su AR, VR i usluge *streaming*-a igara u *cloud*-u.



Izvor: Harnerssing the Consumer Potential Study, November 2020. Ericsson and Omdia analysis

Slika 3.33. Predikcija raspodjele globalnog tržišta 5G digitalnih korisničkih servisa, po tipovima servisa, za period 2019-2030. god.

Kombinacija atraktivnih cjenovnih modela, odnosno korisničkih paketa, i promocija inovativnih usluga od strane provajdera servisa, mogla bi da pomogne da se olakša prihvatanje 5G mreža i servisa od strane korisnika.

Kada se posmatra perspektiva primjene 5G rmreža u različitim vertikalnim sektorima, treba istaći da su 5G mreže dizajnirane da budu u potpunosti modularne i da omoguće dinamično organizovanje virtuelnih funkcija i alokaciju resursa. Upravo ove karakteristike predstavljaju katalizator za stvaranje inovacionog ekosistema od kojeg se očekuje da oblikuje punu digitalizaciju vertikalnih industrijskih sektora. U tom kontekstu, mobilni operatori i drugi akteri, koji imaju ambiciju da postanu provajderi 5G servisa, treba da sarađuju sa vertikalnim sektorima, da bi bili u mogućnosti da ponude servise i platforme koje će povećati efikasnost industrijskih sektora i time doprinesu očekivanoj ekspanziji 5G mreža.

4. ISKUSTVA DRUGIH ZEMALJA U IMPLEMENTACIJI 5G MOBILNIH KOMUNIKACIONIH MREŽA

U ovoj Glavi Studije daje se pregled statusa aktivnosti na uvođenju 5G mobilnih komunikacionih mreža u zemljama regiona i Evropske unije, kao i pregled iskustava u uvođenju 5G mobilnih mreža u zemljama članicama Evropske unije u kojima su 5G mreže komercijalno dostupne, identifikuju se ključni elementi primijenjenih strategija i analizira mogućnost primjene na implementaciju 5G mobilnih mreža u Crnoj Gori.

4.1. Strateški okvir za implementaciju 5G mobilnih mreža u Evropskoj uniji

Od 5G tehnologije se očekuje da bude pokretač opšte digitalne transformacije i da omogući inovativne poslovne modele u raznim vertikalnim industrijskim sektorima (transport, zdravstvo, proizvodnja, logistika, energetika, mediji i zabava, itd.). Iako je ova transformacija već započela na osnovu postojećih tehnologija mobilnih komunikacionih mreža, ako se želi ostvariti njen puni potencijal, biće potrebno implementirati naprednije 5G mreže u narednim godinama.

Najznačajnija strateška dokumenata Evropske komisije u oblasti elektronskih kominikacija, kao što su „*A Digital Single Market Strategy for Europe*" (Strategija jedinstvenog digitalnog tržišta za Evropu) iz 2015. godine, [63], i strateški dokumenti „*Connectivity for a Competitive Digital Single Market: Towards a European Gigabit Society*" (Povezanost za konkurentno jedinstveno digitalno tržište: Prema evropskom gigabitnom društvu) iz 2016. godine, [64] i „*Shaping Europe's digital future*" (Uobličavanje evropske digitalne budućnosti) iz 2020. godine, [65], ističu važnost razvoja 5G mobilnih komunikacionih mreža kao ključnog sredstva koje će Evropi omogućiti ostvarivanje konkurentnosti na globalnom tržištu. Evropska komisija je još 2013. godine pokrenula javno-privatno partnerstvo (*5G Public-Private Partnership – 5G-PPP*), podržano sa 700 miliona eura iz javnih fondova, sa ciljem da osigura da 5G tehnologija bude dostupna u Evropi do 2020. godine. Međutim, procijenjeno je da za omogućavanje evropskog liderstva u 5G tehnologiji neće biti dovoljni samo istraživački poduhvati, već da su potrebni širi napori kako bi 5G i servisi koje će iz ove tehnologije proisteći postali stvarnost na evropskom tržištu.

Evropska komisija je 2016. godine usvojila strateški dokument „*5G for Europe: Action plan*" (5G za Evropu: Akcioni plan), [66], koji predstavlja akcioni plan za pravovremenu i koordiniranu implementaciju 5G mreža u Evropskoj uniji kroz partnerstvo između Komisije, država članica i industrije. Cilj plana je da podstakne ulaganje u razvoj 5G tehnologije i implementaciju 5G mreža i da stvori nove inovativne ekosisteme, povećavajući na taj način evropsku konkurentnost i donoseći konkretne koristi društvu. Akcioni plan koristi i dalje nadopunjuje mehanizme sadržane u novom regulatornom okviru, definisanom kroz „*European Electronic Communications Code* (EECC)" (Evropski zakonik o elektronskim komunikacijama), [67], posebno

u pogledu dodjele radio-frekvencijskog spektra za realizaciju 5G mobilnih komunikacionih mreža, podsticaja za ulaganja i povoljnih okvirnih uslova za izgradnju mreža i pružanje usluga. Takođe su usvojena pravila o otvorenom Internetu koja pružaju pravnu sigurnost u pogledu razvoja 5G aplikacija. Plan definiše set aktivnosti, koje se baziraju na koordinaciji aktivnosti, razmjeni informacija, stavova i iskustava sa zainteresovanim stranama, ciljanom istraživanju, sprovođenju niza studija, konsultacijama sa vertikalnim industrijama i na rezultatima 5G-PPP incijative.

Komisija je identifikovala sljedeće ključne elemente 5G Akcionog plana kojim treba:

- Uskladiti mape puta i prioritete za koordinirano uvođenje 5G tehnologije u svim državama članicama, ciljajući na rano uvođenje mreže do 2018. godine i krećući se ka komercijalnom uvođenju velikih razmjera najkasnije do kraja 2020. godine;
- Učiniti dostupnim postojeće frekvencijske opsege za 5G, uoči Svjetske konferencije o radiokomunikacijama 2019 (WRC-19), koji bi što je prije moguće bili dopunjeni dodatnim opsezima, i raditi na preporučenom pristupu za autorizaciju opsega iznad 6GHz određenih za 5G;
- Promovisati ranu implementaciju 5G mreže u glavnim urbanim sredinama i duž glavnih transportnih pravaca;
- Promovisati pan-evropske pilot projekte sa više aktera kao katalizatore za pretvaranje tehnoloških inovacija u potpuno komercijalna rješenja;
- Podstaći uvođenje fonda za podršku inovacijama u vertikalnim industrijama zasnovanim na 5G;
- Ujediniti vodeće aktere u radu na promociji globalnih standarda.

Da bi se ostvario cilj pozicioniranja Evrope kao lidera u razvoju i implementaciji 5G mreža, Akcionim planom je identifikovano pet ključnih područja djelovanja i definisano ukupno osam odgovarajućih aktivnosti koje je potrebno sprovesti, sa ciljevima koje je potrebno dostići u odgovarajućem vremenskom okviru, [63]-[72]. U nastavku se daje pregled svih područja djelovanja i predviđenih aktivnosti.

4.1.1. Zajednički EU vremenski okvir za uvođenje 5G mobilnih mreža

Ambiciozni vremenski okvir za uvođenje 5G tehnologije je od suštinskog značaja za Evropu, kako bi zauzela vodeću poziciju i iskoristila rane prednosti novih tržišnih mogućnosti koje donosi 5G, ne samo u telekomunikacionom sektoru, već u cjelokupnoj ekonomiji i društvu. Digitalizacija evropske industrije je započeta na osnovu raspoloživih resursa (posebno 4G/LTE, Wi-Fi ili satelitskih), a donekle je pojačana postepenim uvođenjem 5G od 2018. godine.

U vezi sa određivanjem zajedničkog vremenskog okvira na nivou EU za uvođenje 5G mobilnih mreža definisana je Aktivnost broj 1, koja označava da će Komisija sarađivati sa državama članicama i zainteresovanim

stranama u industriji na uspostavljanju zajedničkog vremenskog okvira za rano uvođenje 5G mreža do kraja 2018. godine, nakon čega je očekivano da potpuno komercijalne 5G usluge budu uvedene u Evropi do kraja 2020. godine. Tako definisan vremenski okvir je vođen sljedećim ključnim ciljevima:

- Promovisanje preliminarnih pilot projekata, u okviru 5G-PPP aranžmana, počevši od 2017. godine, i predkomercijalnih pilot projekata sa jasnom EU prekograničnom dimenzijom, počevši od 2018. godine;
- Podsticanje država članica da do kraja 2017. godine razviju nacionalne mape puta za uvođenje 5G, kao dijela nacionalnih planova za širokopojasni pristup;
- Obezbjeđivanje da svaka država članica identifikuje bar jedan veći grad u kome će do kraja 2020. godine biti omogućena 5G tehnologija i da sva urbana područja i glavni kopneni transportni pravci imaju neprekidnu 5G pokrivenost do 2025. godine.

4.1.2. Obezbjeđenje radio-frekvencijskog spektra za 5G mobilne mreže

Razvoj 5G mreža zahtijeva pravovremenu dostupnost dovoljne količine harmonizovanih radio-frekvencijskih resursa. Glavni novi zahtjev, specifičan za 5G, je potreba za kontinualnim blokovima spektra velike širine (do 400MHz) u odgovarajućim frekvencijskim opsezima, kako bi se obezbijedile veoma velike brzine prenosa podataka. Blokovi spektra tako velike širine dostupni su samo u opsezima iznad 6GHz. Stoga je opredjeljivanje novih frekvencijskih opsega iznad 6GHz za 5G mreže, sa ciljem postizanja globalne harmonizacije najvećeg mogućeg stepena, bilo na dnevnom redu Svjetske konferencije o radiokomunikacijama 2019 (WRC-19). Podsjećanja radi, na konferenciji WRC-19 su za mobilne komunikacione mreže na globanom nivou identifikovani opsezi 26GHz (24,25-27,5GHz), 40GHz (40,5-43,5GHz) i 66GHz (66-71GHz).

4.1.2.1. Frekvencijski opsezi za početnu implementaciju 5G mreža

Države članice i Komisija, radeći zajedno u Grupi za politiku radio-frekvencijskog spektra (RSPG - *Radio Spectrum Policy Group*), prepoznale su važnost rane identifikacije harmonizovanih frekvencijskih opsega za početnu implementaciju 5G mreža, kako bi se omogućilo njihovo uvođenje već tokom 2018. godine. To je ocijenjeno kao neophodno u cilju pružanja odgovarajućih smjernica industriji i u cilju održavanja nivoa dostupnosti spektra u Evropskoj uniji u poređenju sa drugim regionima svijeta. Prvi set opsega za početnu implementaciju 5G mreža trebao je da sadrži kombinaciju spektra sa različitim karakteristikama, kako bi se odgovorilo na svestrane 5G zahtjeve. Identifikovani opsezi takođe su trebali da imaju potencijal za globalnu harmonizaciju i da iskoriste značajnu količinu harmonizoivanog spektra u opsezima ispod 6GHz, koji je u EU već opredijeljen za bežični širokopojasni pristup. Kombinacija spektra trebala je da sadrži:

- Spektar ispod 1GHz, pri čemu se fokus stavlja na opseg 700MHz, a njegova dostupnost do 2020. godine označena je kao presudna za uspjeh 5G;
- Spektar između 1GHz i 6GHz, gdje su EU-harmonizovani opsezi već dostupni i licencirani na tehnološki neutralan način širom Evrope. Konkretno, opseg od 3,5GHz je prepoznat kao potencijalno strateški opseg za uvođenje 5G mobilnih mreža u Evropi;
- Spektar iznad 6GHz, sa novim i širim spektralnim blokovima, koji će biti definisani u skladu sa odlukama konferencije WRC-19.

U vezi sa određivanjem frekvencijskih opsega za početnu implementaciju 5G mobilnih mreža definisana je Aktivnost broj 2, koja označava da će Komisija sarađivati sa državama članicama, kako bi se do kraja 2016. godine utvrdila lista frekvencijskih opsega za početnu implementaciju 5G mreža. Lista je trebalo da sadrži frekvencije u najmanje tri opsega: ispod 1GHz, između 1GHz i 6GHz i iznad 6GHz, uzimajući u obzir različite zahtjeve širokog spektra 5G primjena.

4.1.2.2. Dodatni frekvencijski opsezi

Set frekvencijskih opsega za početnu implementaciju 5G mreža trebalo je u sljedećem koraku dopuniti, kako bi se dugoročno podržali svi 5G zahtjevi. Ovaj korak je značio fokusiranje na identifikovanje opsega iznad 6GHz, u prvom redu na opsege koji su na dnevnom redu konferencije WRC-19, istovremeno procjenjujući dalje mogućnosti za ekonomiju obima na međunarodnom nivou. Predviđeno je maksimiziranje potencijala koncepta dijeljenja spektra, uključujući i korišćenje radio-frekvencija bez licence, budući da ovaj koncept generalno pospješuje inovacije i ulazak na tržište.

U vezi sa određivanjem dodatnih frekvencijskih opsega za potrebe 5G mobilnih mreža definisana je Aktivnost broj 3, koja označava da će Komisija sarađivati sa državama članicama radi:
- postizanja dogovora do kraja 2017. godine o kompletnom setu frekvencijskih opsega (ispod i iznad 6GHz) koje treba harmonizovati za početnu implementaciju komercijalnih 5G mreža u Evropi,
- usvajanja preporučenog pristupa za autorizaciju frekvencijskih opsega iznad 6GHz za 5G mobilne mreže, uzimajući u obzir mišljenja BEREC-a (BEREC - *Body of the European Regulators of Electronic Communications*) i RSPG-a.

4.1.3. Razvoj fiksnih i bežičnih mreža sa veoma gustom mrežom pristupnih tačaka

Očekivanja su da 5G mobilne mreže opslužuju do milion povezanih uređaja po kvadratnom kilometru, što je oko hiljadu puta više u odnosu na postojeće stanje. Ovaj dramatični porast broja uređaja će dovesti do povećanja obima saobraćaja po mrežnoj pristupnoj tački, što će, u cilju postizanja planiranih performansi veze, zahtijevati primjenu manjih ćelija i povećanje gustine baznih stanica u mreži. Male ćelije takođe moraju biti

efikasno povezane sa ostatkom mreže putem veza velikog kapaciteta, budući da će objedinjeni obim saobraćaja koji prolazi kroz male ćelije dostići nekoliko Gb/s. U većini slučajeva, povezivanje 5G baznih stanica sa jezgrom mreže će se oslanjati na prenos po optičkim vlaknima, ali je moguće koristiti i bežične tehnologije koje omogućavaju veliki prenosni kapacitet.

Put ka postizanju postavljenih ciljeva u pogledu 5G tehnologije i generalno u pogledu povezanosti u Evropi do 2025. godine, oslanja se na generalni razvoj mreža velikog kapaciteta širom kontinenta. Obim potrebnih investicija može se postići samo bližom saradnjom država članica, finansijske zajednice i Evropske investicione banke (EIB), kako bi se mobilizovala privatna i javna podrška, sa posebnim osvrtom na ublažavanje rizika od produbljivanja digitalnog jaza. Stoga, Komisija u 5G Akcionom planu poziva sve relevantne aktere iz javnog i privatnog sektora na koordinirana ulaganja u razvoj infrastrukture za instalaciju 5G baznih stanica i komplementarne infrastrukture optičkih prenosnih puteva.

Pojednostavljenje uslova za implementaciju gustih celularnih mreža smanjilo bi troškove razvoja 5G mreža i stimulisalo ulaganja. U tom smislu, Evropski zakonik o elektronskim komunikacijama propisuje mehanizme čiji je cilj uklanjanje prepreka za masovnu implementaciju malih ćelija. Države članice treba da rade na primjeni ovih mehanizama u interesu brzog i ekonomičnog razvoja bežičnih mreža. Dodatno, i drugi administrativni aspekti često stvaraju nepotrebne barijere za instaliranje guste mreže baznih stanica, kao što su procedure lokalnog planiranja, visoki troškovi zakupa lokacije, raznolikost dozvoljenih granica elektromagnetnih polja (EMF - *Electric and Magnetic Fields*) i slično.

U pogledu utvrđivanja nacionalnih mapa puta definisana je Aktivnost broj 4, koja označava da će, pri razvoju 5G nacionalnih mapa puta, Komisija sarađivati sa državama članicama, industrijom i ostalim zainteresovanim stranama da bi se:

- postavili ciljevi u pogledu dinamike i kvaliteta praćenja napretka ključnih scenarija širenja optičkih prenosnih puteva i baznih stanica celularnih mreža, kako bi se postigla neprekidna 5G pokrivenost svih urbanih područja i svih glavnih kopnenih transportnih pravaca do 2025. godine,
- identifikovala najbolja praksa, koja se odmah može primijeniti, kako bi se povećala konzistentnost administrativnih uslova i vremenskih okvira u cilju olakšavanja razvoja gustih celularnih mreža u skladu sa odgovarajućim odredbama Evropskog zakonika o elektronskim komunikacijama.

4.1.4. Razvoj globalnih industrijskih standarda

Standardi su od najveće važnosti za osiguranje konkurentnosti i interoperabilnosti globalnih telekomunikacionih mreža. Dokument *„ICT standardisation priorities for the Digital Single Market"* (Prioriteti IKT standardizacije za jedinstveno digitalno tržište), [71], definiše jasan put za

podsticanje razvoja globalnih industrijskih standarda pod vođstvom EU za ključne 5G tehnologije (radio pristupna mreža, jezgro mreže) i mrežne arhitekture. On takođe prepoznaje posebne izazove uzrokovane potrebom okupljanja zainteresovanih strana sa vrlo različitim kulturama standardizacije, kako bi se omogućili inovativni scenariji upotrebe 5G mreža u ključnim industrijama.

Prva faza standardizacije predviđa ranu dostupnost standarda za ultra brza mobilna širokopojasna rješenja, dok bi druga faza trebala da donese standarde za druge slučajeve upotrebe 5G mreža, poput onih za industrijske primjene, i, što je najvažnije, da učini dostupnim standarde koji promovišu otvorene inovacije i mogućnosti za novoosnovana preduzeća.

Iz perspektive strategije EU, 5G Akcionim planom su identifikovani sljedeći glavni izazovi:

- Pravovremena dostupnost 5G standarda koji su globalno prihvaćeni, uključujući moguće intenziviranje rada u 3GPP-u;
- Početni fokus na ultra brzim širokopojasnim uslugama treba da osigura kompatibilnost sa daljim razvojem standarda za scenarije inovativne upotrebe 5G mreža koji se odnose na masovno postavljanje povezanih objekata i IoT. Pri tome se mora voditi računa da se izbjegne pojava paralelnih, potencijalno sukobljenih specifikacija razvijenih izvan globalnih tijela za standardizaciju;
- Razvoj standarda za specifične potrebe treba promovisati na osnovu eksperimentalnih dokaza, koristeći prednost međunarodne saradnje i pristup uključivanjem više zainteresovanih strana. Standardi treba da uzmu u obzir i potencijalne štetne scenarije korišćenja;
- Standardi se moraju baviti budućim razvojem cjelokupne mrežne arhitekture i potrebom za "fleksibilnošću", posebno kao odgovor na nove scenarije korišćenja koji se javljaju u ključnim industrijskim sektorima. Zahtijeva se da puna pažnja bude posvećena otvorenim inovacijama i novoosnovanim (*start-up*) preduzećima.

Države članice i industrija bi stoga trebalo da podrže i promovišu sveobuhvatan i inkluzivan pristup standardizaciji 5G sistema.

U pogledu standardizacije definisana je Aktivnost broj 5 kojom Komisija poziva države članice i industriju da se obavežu na postizanje sljedećih ciljeva u vezi sa pitanjem standardizacije:

- Osiguranje dostupnosti početnih globalnih 5G standarda najkasnije do kraja 2019. godine, kako bi se omogućilo pravovremeno komercijalno pokretanje 5G mreža i otvorio put za širok spektar budućih scenarija povezivanja na bazi ultra brzog širokopojasnog pristupa;
- Promovisanje napora da se podrži holistički pristup standardizaciji koji obuhvata izazove u vezi sa radio pristupnom mrežom i jezgrom mreže, uključujući i posvećivanje dužne pažnje otvorenim inovacijama i pitanju štetnih scenarija korišćenja;

- Uspostavljanje odgovarajućih međuindustrijskih partnerstava do kraja 2017. godine, kako bi se podržalo pravovremeno definisanje standarda zasnovanih na eksperimentima sa industrijskim korisnicima, uključujući i one sprovedene kroz korišćenje partnerstava za međunarodnu saradnju, posebno na planu digitalizacije industrije.

4.1.5. 5G inovacije kao podrška privrednom rastu

4.1.5.1. Podsticanje digitalnih ekosistema zasnovanih na 5G povezivanju kroz eksperimente

Ubrzanje procesa digitalizacije u nekoliko ključnih industrijskih sektora zasnovanih na 5G povezivanju, kao i pojava novih poslovnih modela, zahtijevaće bliža partnerstva između tih sektora i telekomunikacionog sektora. Iako će nekoliko tržišta prirodno predvoditi inovacije i privući većinu početnih investicija, određeni broj sektora prepoznaje potrebu za sprovođenjem probnih ispitivanja kako bi se povećala predvidljivost, smanjili rizici ulaganja i validirale tehnologije i poslovni modeli. Eksperimenti su potrebni i da bi se obezbijedile informacije za potrebe organizacija za standardizaciju.

U tom kontekstu, Komisija u 5G Akcionom planu predlaže da se veći naglasak stavi na pilot projekte i eksperimente u razvoju 5G tehnologije, naročito kroz 5G-PPP aranžman. Dodatno, insistira se i na implementaciji odabranih 5G pilot projekata sa jasnom EU dimenzijom, počevši od 2018. godine. Komisija računa da će rezultati pilot projekata omogućiti da se identifikuju i riješe konkretna pitanja u sektorskim politikama i zatraži aktivna podrška država članica u njihovom rješavanju kad god predstavljaju nepremostivu prepreku za aplikacije velike vrijednosti koje se oslanjaju na 5G. Takođe, istaknuta je potreba da se osigura da hardver, terminali i uređaji zasnovani na 5G tehnologiji budu dostupni u predviđenom roku prije 2020. godine, kako bi se podstaklo prihvatanje i potražnja rješenja koja nudi nova tehnologija.

U pogledu podsticanja pojave digitalnih ekosistema zasnovanih na 5G povezivanju definiše se Aktivnost broj 6, kojom Komisija poziva industriju da:

- planira da se ključni tehnološki eksperimenti sprovedu već 2017. godine, uključujući testiranje novih terminala i aplikacija kroz 5G-PPP inicijativu, demonstrirajući korist od 5G povezivanja za važne industrijske sektore;
- predstavi detaljne mape puta za implementaciju naprednih predkomercijalnih pilot projekata do marta 2017. godine koji će se promovisati na nivou EU (piloti u ključnim sektorima moraju biti pokrenuti tokom 2018. godine kako bi se obezbijedilo liderstvo Evrope u kontekstu ubrzane globalne agende za uvođenje 5G).

4.1.5.2. Promocija rješenja zasnovanih na 5G povezivanju kroz javni sektor

Javne službe mogu biti rani prihvatitelji i promoteri rješenja zasnovanih na 5G povezivanju, podstičući pojavu inovativnih usluga, doprinoseći kritičnom obimu ulaganja i rješavanju problema od značaja za društvo. Između ostalih, takva uloga uključuje migraciju javnih službi bezbjednosti i sigurnosti sa postojećih zaštićenih komunikacionih platformi na komercijalne 5G platforme koje će biti još sigurnije, otpornije i pouzdanije.

U pogledu prihvatanja i promocije rješenja zasnovanih na 5G povezivanju od strane javnog sektora definiše se Aktivnost broj 7, kojom Komisija ohrabruje države članice da razmotre korišćenje buduće 5G infrastrukture za poboljšanje performansi komunikacionih usluga koje se koriste za javnu bezbjednost i sigurnost, uključujući zajedničke pristupe u pogledu budućih nabavki naprednih širokopojasnih sistema za potrebe zaštite i pomoći stanovništvu u slučaju katastrofa. Države članice se podstiču da ovo razmatranje uključe u svoje nacionalne 5G mape puta.

4.1.5.3. Finansijski podsticaji inovacijama na bazi 5G

5G mreža će smanjiti prepreke za ulazak na tržište za prilagođene komunikacione usluge u više sektora, davanjem kontrolisanog pristupa stvarnim ili virtuelnim mrežnim resursima, bez potrebe za posjedovanjem cjelokupne mrežne infrastrukture. Kao posljedica toga, novi inovativni modeli i novi ekosistemi trebalo bi da se pojave na vrhu komunikacionih usluga, slijedeći model sličan modelu računarskih *cloud* platformi, ili čak Internetu. To takođe znači da će eksperimentisanje uslugama po principu "pokušaja i grešaka" igrati veću ulogu nego u tradicionalnom, linearnijem modelu istraživanja i razvoja koji je do sada dominirao mrežnim inovacijama. Ovo novo okruženje treba da stvori mogućnosti za manje kompanije i novoosnovana (*start-up*) preduzeća.

Da bi se pokrenuli novi 5G inovacioni ekosistemi, industrija je predložila uspostavljanje posebne ustanove za finansijsko ulaganje, kako bi se podržala inovativna evropska *start-up* preduzeća s ciljem razvoja 5G tehnologija i povezanih novih aplikacija u industrijskim sektorima. Na taj način bi se podstakle značajne digitalne inovacije na evropskom nivou. Konkretni modaliteti finansiranja se moraju dalje precizirati kako bi se utvrdili odgovarajući finansijski instrumenti i izbjegla preklapanja sa mogućnostima finansijskog ulaganja koje su već dostupne za digitalni sektor.

U pogledu obezbjeđenja finansijskih podsticaja inovacijama na bazi 5G definiše se Aktivnost broj 8, posvećena saradnji Komisije sa industrijom i grupacijom oko Evropske investicione banke (EIB), kako bi se identifikovali ciljevi, moguća konfiguracija i modaliteti za fond za finansijsko ulaganje, koji mogu biti povezani i sa drugim programima podrške digitalnim *start-up* preduzećima. Izvodljivost je trebalo procijeniti do kraja marta 2017. godine, uzimajući u obzir mogućnost da se privatno finansiranje unaprijedi

dodavanjem nekoliko izvora javnog finansiranja, posebno iz Evropskog fonda za strateška ulaganja (EFSI) i drugih EU finansijskih instrumenata.

4.1.6. Sprovedene aktivnosti

Kako je već navedeno, Evropska komisija je kao strateški cilj na planu realizacije 5G mobilnih komunikacionih mreža postavila komercijalnu implementaciju 5G tehnologije u najmanje jednom većem gradu u svakoj državi članici do kraja 2020. godine i neprekidnu 5G pokrivenost u svim urbanim oblastima i duž glavnih kopnenih transportnih pravaca do 2025. godine. Akcionim planom za 5G iz septembra 2016. godine, koji su države članice potvrdile u decembru 2017. godine, je definisan niz aktivnosti koje je neophodno sprovesti kako bi se omogućilo postizanje ovog strateškog cilja, a koje su prethodno detaljno opisane.

U posljednje tri godine institucije Evropske unije i država članica su preduzele intenzivne mjere kako bi se omogućilo uvođenje 5G mreža u vremenskom okviru propisanom 5G Akcionim planom. Kao prvo, Grupa za politiku radio spektra (RSPG) je identifikovala frekvencijske opsege oko 700MHz, 3,5GHz i 26GHz kao pogodne za ranu implementaciju 5G mobilnih mreža. Za ove opsege su u saradnji sa CEPT-om razvijeni odgovarajući kanalni aranžmani i tehnički uslovi za 5G bazne stanice i korisničke terminale. Komisija je donijela odgovarajuće odluke o harmonizaciji namjene i korišćenja opsega za MFCN (*Mobile/Fixed Communications Networks*) sisteme u Evropskoj uniji. Tehnički uslovi su definisani i za opsege 2100MHz i 2600MHz, koji su ranije harmonizovani za mobilne komunikacione mreže. Na konferenciji WRC-19 je opseg 26GHz globalno harmonizovan za IMT sisteme, a osim tog opsega za IMT su identifikovani i opsezi 40GHz i 66GHz, na koje Evropa u budućnosti ozbiljno računa za dalji razvoj 5G mobilnih kominikacionih mreža.

Krajem 2018. godine donešen je Evropski zakonik o elektronskim komunikacijama (EECC) u kome je sažet novi regulatorni okvir za elektronske komunikacije u Evropskoj uniji. Očekuje se da će Zakonik, kada bude prenešen u nacionalno zakonodavstvo država članica, dati snažan podsticaj razvoju 5G mreža i uopšte širokopojasnih mreža velike brzine. Zakonik će olakšati ulaganja i ulazak na tržište za operatore bežičnih komunikacija tako što će:

- pospiješiti razvoj 5G mreža omogućavanjem dostupnosti frekvencijskih opsega identifikovanih za ranu implementaciju 5G mobilnih mreža do kraja 2020. godine;
- omogućiti operatorima sigurnost ulaganja i regulatornu predvidljivost u pogledu korišćenja licenciranog spektra tokom najmanje 20 godina;
- obezbijediti bolju koordinaciju planiranih frekvencijskih dodjela;
- podržavati ulazak novih korisnika spektra i komercijalnih operatora, kroz povećanu primjenu mehanizama zajedničkog korišćenja spektra i opšte autorizacije, gdje god je to moguće, kao i kroz lakšu trgovinu i zakup spektra;

- olakšati implementaciju 5G mreža uvođenjem jednostavnih režima autorizacije za bežične pristupne tačke sa malom zonom servisa (*small cells*);
- olakšati širenje novih fiksnih mreža veoma velikog kapaciteta čineći pravila za zajedničko ulaganje predvidljivijim i promovišući podjelu rizika pri postavljanju mreža veoma velikog kapaciteta;
- promovisati održivu konkurenciju u korist potrošača, sa regulatornim naglaskom na stvarnim uskim grlima, kao što su instalacije unutar zgrada, i specifični regulatorni režim samo za veleprodajne operatore;
- obezbijediti blisku saradnju između Komisije i Tijela evropskih regulatora za elektronske komunikacije (BEREC), uključujući i saradnju po pitanju nadzora nad mjerama vezanim za odredbe novog regulatornog pristupa o zajedničkom ulaganju i simetričnoj regulaciji.

Nadalje, Komisija sprovodi redovne konsultacije sa državama članicama o postupku dodjele radio-frekvencija za 5G mobile mreže, a koje su usredsređene na niz važnih pitanja, kao što su: definisanje i postizanje ciljeva u vezi sa teritorijalnom pokrivenošću, blagovremeno obezbjeđivanje dovoljne količine spektra koji će zadovoljiti potražnju, najbolji pristup za obezbjeđivanje dostupnosti naprednih usluga za lokalne ili industrijske korisnike, obim dijeljenja spektra u cilju smanjenja troškova razvoja, kvalitet usluge i održavanje konkurencije na tržištu.

Na planu izgradnje infrastrukture 5G mobilnih mreža, Evropska komisija je u junu 2020. godine usvojila uredbu o bežičnim pristupnim tačkama sa malom zonom servisa ili malim antenama. Cilj uredbe je da pomogne pojednostavljivanju i ubrzanju instalacije 5G baznih stanica u malim ćelijama, kroz uvođenje režima postavljanja ovakvih baznih stanica bez dozvole, uz istovremeno omogućavanje nadzora od strane nadležnih institucija na nacionalnom nivou.

4.2. Status aktivnosti na implementaciji 5G mobilnih mreža u državama članicama Evropske unije

Pregled postignutog na uvođenju 5G mreža u državama članicama EU pokazuje razne faze. Presjek stanja u pogledu realizacije mjera definisanih 5G Akcionim planom pokazuje da je do kraja decembra 2020. godine, trinaest država članica (računajući i Veliku Britaniju) objavilo cjelovite nacionalne 5G mape puta, uključujući i strategiju obezbjeđivanja i dodjele RF spektra za 5G mreže (Austrija, Češka, Danska, Estonija, Finska, Francuska, Njemačka, Luksemburg, Portugalija, Španija, Švedska, Holandija i Velika Britanija), [73].

Sa druge strane, sve države članice i Velika Britanija su završile javne konsultacije o strategiji dodjele radio-frekvencija za 5G mreže, a mnoge su i sprovele postupke dodjele. Na nivou EU27+UK dodijeljeno je u prosjeku 35,7% frekvencijskih resursa u opsezima 700MHz, 3,5GHz i 26GHz. Radio-frekvencije iz opsega 700MHz dodijeljene su na nacionalnoj osnovi u 14

država članica (Austrija, Kipar, Češka, Danska, Finska, Francuska, Njemačka, Grčka, Mađarska, Italija, Luksemburg, Holandija, Slovačka i Švedska), radio-frekvencije iz opsega 3,5GHz u 16 država članica (Austrija, Kipar, Češka, Finska, Francuska, Njemačka, Grčka, Mađarska, Irska, Italija, Letonija, Luksemburg, Rumunija, Slovačka, Španija i Velika Britanija), a iz opsega 26GHz u 3 države članice (Italija, Grčka i Finska), s tim što se u Njemačkoj i Velikoj Britaniji radio-frekvencije iz ovog opsega dodjeljuju na bazi lokalnih licenci.

Tokom posljednje tri godine u 27 država članica Evropske unije i u Velikoj Britaniji pokrenuto je 199 testnih, odnosno pilot projekata u vezi sa 5G tehnologijom, a u Rusiji, San Marinu, Švajcarskoj, Turskoj i Norveškoj još 46. Uspostavljeno je 12 digitalnih prekograničnih koridora za testiranje 5G tehnologije za kooperativnu povezanu i automatizovanu mobilnost. 5G pilot projekti su u najvećem broju slučajeva sprovođeni u opsegu 3,5GHz. Najveći broj testova vezan je za sektor medija i zabave (39), zatim za sektor transporta (33) i za automobilski sektor (23), dok je manji broj pilot projekata sproveden u sektorima poljoprivrede, proizvodnje, zdravstva, javne sigurnosti, kao i u oblasti pametnih gradova i pametnih zgrada. Najveći broj pilot projekta sproveden je u Španiji, Njemačkoj, Italiji, Francuskoj, Velikoj Britaniji, Holandiji, Portugalu i Poljskoj.

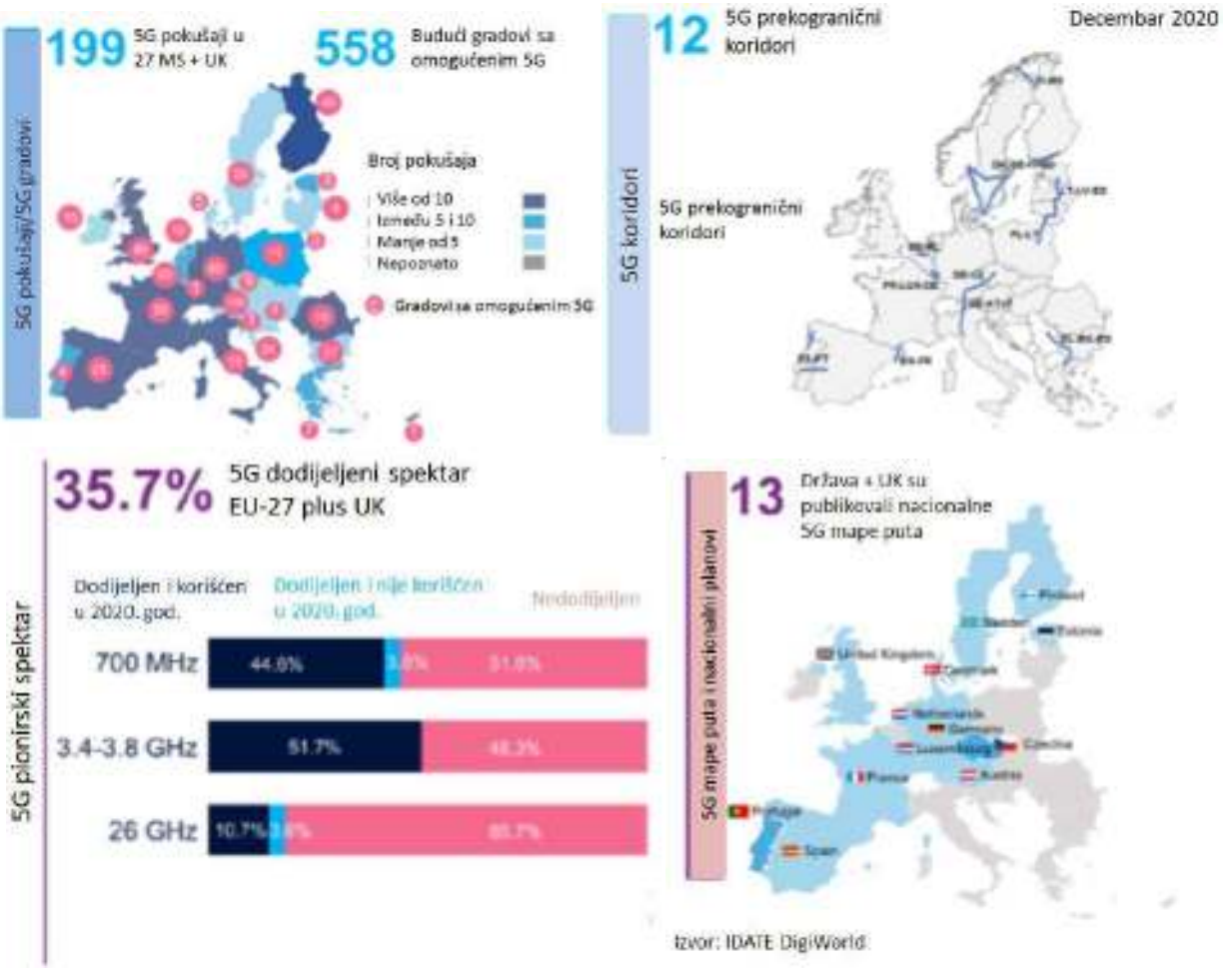
Takođe, do kraja 2020. godine u 558 gradova u svim državama članicama EU je dostupna 5G tehnologija, bilo komercijalno, bilo na bazi test ili pilot projekata.

Na Slici 4.1 prikazan je pregled trenutnog statusa u sprovođenju aktivnosti definisanih 5G Akcionim planom u Evropskoj uniji.

Na kraju 2020. godine 5G komercijalne usluge bile su dostupne u 24 države članice EU (računajući i Veliku Britaniju), i to u Austriji, Belgiji, Bugarskoj, Hrvatskoj, Češkoj, Estoniji, Danskoj, Finskoj, Francuskoj, Njemačkoj, Grčkoj, Mađarskoj Irskoj, Italiji, Letoniji, Luksemburgu, Holandiju, Poljskoj, Rumuniji, Slovačkoj, Sloveniji, Španiji, Švedskoj i Velikoj Britaniji. Samo u Litvaniji, Malti, Portugalu i Kipru 5G mreže još uvijek nijesu implementirane. [73]. Od ostatka Evrope, 5G mreže su komercijalno dostupne u Norveškoj i Švajcarskoj. Preko 60 operatora širom Evrope je započelo sa pružanjem 5G usluga na komercijalnoj osnovi. Sve implementirane 5G mreže rade u *Non-Stand Alone* (3GPP *Release 1*5) modu, uz oslanjanje na LTE jezgro mreže.

U zemljama u kojima nijesu dodijeljeni opsezi 700MHz i 3,6GHz, za uvođenje 5G mreža su iskorišćeni postojeći frekvencijski resursi, uglavnom u opsezima 1800MHz, 2100MHz ili 2600MHz, na bazi *refarming*-a. U državama u kojima je dodijeljen opseg 3,6GHz, mobilni operatori su upravo preko ovog opsega uveli 5G mreže, sa svega nekoliko primjera implementacija 5G mreža u opsegu 700MHz.

U nastavku se daje pregled statusa implementacije 5G mobilnih mreža u evropskim državama u kojima su 5G usluge komercijalno dostupne.



Slika 4.1. Pregled trenutnog statusa u sprovođenju aktivnosti definisanih 5G akcionim planom u Evropskoj uniji

Austrija

Mobilni operator *T-Mobile Austria* je u martu 2019. godine objavio početak komercijalnog pružanja 5G usluga sa početnom instalacijom 25 baznih stanica u ruralnim oblastima realizovanih u opsegu 3,6GHz. Prvi terminali koji su korišćeni bili su 5G ruteri, koji su omogućavali povezivanje u WiFi modu za domaćinstva. Do jula 2020. godine 5G mreža je proširena na 600 lokacija širom zemlje, pokrivajući 25% austrijskih domova i preduzeća, sa planom da do kraja 2020. godine 5G mreža bude raširena na 1200 lokacija, a pokrivenost na skoro 40% domaćinstava i preduzeća.

T-Mobile Austria je u martu 2019. godine na aukciji spektra dobio prava korišćenja frekvencijskog bloka širine 110MHz iz opsega 3,4-3,8GHz, što je kompaniji omogućilo proširenje 5G tehnologije širom Austrije. U septembru 2020. godine, kompaniji je na novoj aukciji spektra dodijeljeno 2×20MHz spektra u opsegu 700MHz, 20MHz u opsegu 1500MHz i 2×15MHz u opsegu 2100MHz spektra.

Mobilni operator *Three Austria* objavio je početak komercijalnog pružanja 5G usluga u septembru 2019. godine, nakon puštanja u rad 5G mreže u

Lincu, Vorglu i Beču. Na aukciji u martu 2019. godine kompanija je obezbijedila spektar u opsegu 3,5GHz za svoju 5G mrežu.

Mobilni opeartor *A1 Telekom* je lansirao svoju 5G mrežu u januaru 2020. godine koristeći opseg od 3,5GHz. *„A1 5Giganetwork*" pokriva 350 lokacija u 129 opština u Austriji na površini od 54.000 km^2. Operator je u martu 2019. godine na aukciji spektra obezbijedio radio-frekvencije iz opsega 3,5GHz.

Belgija

Mobilni operator *Proximus* je prvi belgijski operator koji je počeo sa pružanjem komercijalnih 5G usluga u aprilu 2020. godine. 5G mreža je realizovana koristeći ranije dodijeljeni spektar u opsegu 2,1GHz, na postojećim lokacijama i sa postojećim antenama, u skladu sa trenutnim EMF normama. U prvoj fazi pokrivenost je bila dostupna u oko 30 gradova. U junu 2020. godine operator je proširio pokrivenost mreže na dodatnih 26 lokacija u Flandriji, uključujući centralna područja Genta i Antverpena. Mreža još uvijek nije realizovana u regionu Brisela zbog strogih standarda u pogledu EMF izloženosti, koji važe u tom regionu. Korisnici mogu očekivati brzine do 30% veće od onih koje su omogućene u LTE-A mreži tog operatora.

Bugarska

U septembru 2020. godine, mobilni operator *Vivacom* je lansirao prvu bugarsku 5G mrežu u centrima svih 27 okruga u zemlji. Operator je ponudio svojim korisnicima besplatnih 30GB saobraćaja podataka mjesečno do kraja 2020. godine da testiraju novu tehnologiju. 5G mreža *Vivacom*-a je realizovana u ranije dodijeljenim opsezima 1800MHz i 2,1GHz, uz primjenu tehnike dinamičkog dijeljenja spektra (DSS - *Dynamic Spectrum Sharing*).

Mobilni operator *A1 Bulgaria* je u septembru 2020. godine pustio u rad svoju 5G mrežu u glavnom gradu Sofiji. Mreža je realizovana u opsegu 3,6GHz. Operater navodi da mreža pokriva glavne rezidencijalne i poslovne okruge Sofije i da može da pruži brzinu prenosa podataka od 1Gb/s.

Češka

Mobilni operator *O2 (Telefonica) Czech Republic* počeo je sa pružanjem 5G usluga u julu 2020. godine u odabranim djelovima Praga. Mreža je dostupna još i u gradu Koline.

Vodafone Czech Republic je početkom oktobra 2020. godine objavio lansiranje svoje 5G mreže u gradovima Prag, Brno, Usti nad Labem, Jesenik i Karlove Vari, koristeći DSS tehnologiju.

T-Mobile Czech Republic je u novembru 2020. godine pokrenuo 5G komercijalne usluge u gradovima Prag i Brno. Operator je planirao da do

kraja 2020. godine instalira oko 360 baznih stanica i pokrije više od četvrtine stanovništva u oba grada.

Očekuje se da će radio-frekvencije iz opsega 3,5GHz u Češkoj biti dodijeljene tokom 2021. godine.

Danska

Mobilni operator *TDC* je pokrenuo komercijalne 5G usluge u opsegu od 3,5GHz u Kopenhagenu, Odenseu, Arhusu i Helsingoru u septembru 2020. godine. Kompanija je objavila da je skoro 3.000 baznih stanica širom Danske opremljeno *Ericsson*-ovom 5G tehnologijom, sa planovima za povećanje pokrivensoti na 80% do kraja septembra 2020. godine i na 90% do kraja 2020. godine.

Telenor Denmark je pustio u rad svoju 5G mrežu u novembru 2020. godine koristeći opseg od 3,5GHz, pokrivajući oko 600.000 potencijalnih korisnika u Kopenhagenu i Alborgu. Gradovi Arhus i Odense sljedeći su na redu za pokrivanje 5G mrežom.

Danski mobilni operator *Hi3G Access* zvanično je objavio puštanje u rad svoje 5G mreže u Kopenhagenu i Roskildeu sredinom decembra 2020. godine. Operator je implementirao 5G mrežu u frekvencijskim opsezima 700MHz i 1800MHz. Objavio je da namjerava da pokrije jednu trećinu stanovništva do sredine 2021. godine, te da postigne nacionalnu pokrivenost do sredine 2022. godine.

Estonija

U novembru 2020. godine *Telia Eesti* je pustio u rad prvu komercijalnu 5G mrežu u Estoniji, u centrima tri najveća grada u zemlji Talinu, Tartuu i Parnuu. Mreža koristi *Ericsson*-ovu DSS tehnologiju, omogućavajući operatoru da koristi svoje postojeće frekvencije, budući da Vlada još uvek nije dodijelila opseg 3,5GHz za 5G.

Finska

Finski mobilni operator *Elisa* je objavio da je prva veza posredstvom 5G mreže ostvarena u junu 2018. godine, te da je na testiranjima ostvarena brzina prenosa podataka od 2,2Gb/s. Budući da su prve licence za radio-frekvencije iz opsega 3,6GHz u Finskoj dodijeljene u jesen 2018. godine, uprkos odličnim rezultatima na testovima, operator je počeo da nudi komercijalne 5G usluge tek u junu 2019. godine u Tampereu, Jivaskili, Turkuu i Helsinkiju. Do juna 2020. godine *Elisa* je omogućila 5G mrežu u ukupno 30 gradova širom zemlje, sa više od milion ljudi u zoni servisa. U ponudi su tarifni modeli sa maksimalnom brzinom prenosa podataka od 300Mb/s do 1Gb/s.

Telia Finland počela sa pružanjem 5G usluga korisnicima u sedam gradova krajem 2019. godine. Pored usluge klasičnim mobilnim korisnicima, operator posredstvom 5G mreže nudi fiksni bežični pristup za domaćinstva. I ovaj operator u ponudi ima tarifne modele sa maksimalnom brzinom prenosa podataka od 300Mb/s do 1Gb/s.

Mobilni operator *DNA* je pustio u rad svoju 5G mrežu u decembru 2019. godine, dok je pružanje 5G usluga korisnicima započeto u januaru 2020. godine. U ljeto 2020. godine 5G usluge su bile dostupne u više od 20 finskih gradova, sa maksimalnom brzinom prenosa podataka od 400Mb/s do 1Gb/s.

Francuska

Orange France je pustio u komercijalnu upotrebu svoju 5G mobilnu mrežu početkom decembra 2020. godine u 15 gradova, uključujući Nicu, Marsej, Le Man, Anže i Klermon Feran. Do kraja 2020. godine 5G mrežom ovog operatora pokriveno je više od 160 gradova. Mreža je realizovana u opsegu 3,5GHz, pružajući mogućnost prenosa podataka brzinama tri do četiri puta većim od onih koje se postižu u 4G LTE mreži. Prema *Orange*-u, opština se smatra pokrivenom kada je 5G servis na otvorenom omogućen za najmanje 80% stanovništva.

Mobilni operator *Bouygues Telecom* je takođe početkom decembra 2020. godine pustio u rad svoju 5G mrežu u 20 većih gradova, sa ciljem da se postigne nacionalna pokrivenost do kraja 2021. Trenutna faza implementacije 5G mreže podrazumijeva korišćenje frekvencijskih opsega 3,5GHz i 2,1GHz.

Krajem novembra 2020. godine *SFR* je objavio dostupnost 5G servisa u gradu Nici. 5G mrežom je u početku pokriveno 50% stanovništva Nice, da bi pokrivenost u roku od nekoliko nedjelja dostigla 80%. Kompanija je potvrdila planove da proširi pokrivenost na više od 120 opština tokom decembra 2020. godine.

Free Mobile je sredinom decembra 2020. godine postao četvrti francuski operator koji je lansirao komercijalne 5G usluge. 5G mreža pokriva oko 40% stanovništva i ima dobar *indoor* prijem zahvaljujući aktivnim baznim stanicama u opsegu 700MHz na 5.255 lokacija. *Free Mobile* je takođe na 220 lokacija implementirao 5G bazne stanice u opsegu 3,6GHz, kako bi mogao da ponudi ultra brzi bežični pristup na odabranim lokacijama.

Grčka

Grčki mobilni operater *Wind Hellas* objavio je u decembru 2020. godine da je pustio u rad svoju 5G mobilnu mrežu, samo nekoliko dana nakon što je na aukciji 5G spektra dobio radio-frekvencije iz opsega 3,5GHz. U početnoj fazi mreža je dostupna samo u Atini i Solunu, dok se pokrivanje drugih većih gradova očekuje tokom 2021. godine. Operator je najavio da će obezbijediti 5G pokrivenost stanovništva od preko 60% u roku od tri godine.

Cosmote je započeo komercijalne 5G usluge u decembru 2020. godine u Atini, Solunu i drugim grčkim gradovima, nudeći bežični pristup brzinama većim od 1Gb/s u određenim oblastima. Kompanija teži da poveća 5G pokrivenost na preko 50% stanovništva do kraja 2021. godine.

Holandija

Operator *VodafoneZiggo* je krajem aprila 2020. godine pustio u rad prvu 5G mobilnu mrežu u Holandiji. Prilikom puštanja u rad 5G mreža ovog operatora je pokrivala više od polovine teritorije zemlje, da bi već do kraja jula bila raširena na čitavoj teritoriji zemlje. U partnerstvu sa *Ericsson*-om, *VodafoneZiggo* je implementirao 5G mrežu na postojećoj LTE infrastrukturi, koristeći tehnologiju dinamičkog dijeljenja spektra (DSS) između 4G i 5G korisnika. Korisnicima je omogućen pristup 5G mreži bez dodatnih troškova. Ponuda obuhvata i četiri 5G terminalna uređaja: *Samsung Galaxy S20 5G*, S20+, *S20 Ultra* i *Oppo Find X2 Pro*. Kompanija je objavila da su korišćenjem postojećeg spektra u 5G mreži omogućeni maksimalni protoci do 1Gb/s, uz napomenu da će u praksi brzine prenosa podataka na korisničkom nivou biti u prosjeku 10% veće od brzina koje se postižu u 4G mreži (maksimalno 350Mb/s).

Krajem jula 2020. godine i *T-Mobile* je pustio u rad svoju 5G mobilnu mrežu u većem dijelu Holandije. U početnoj fazi 5G mreža se zasniva na korišćenju opsega 700MHz, a postojeći pretplatnici sa korisiničkim uređajima koji podržavaju 5G tehnologiju automatski dobijaju pristup 5G mreži bez dodatnih troškova. Kompanija je planirala da obezbijedi nacionalnu 5G pokrivenost do kraja 2020. godine.

Mobilni operator *KPN* je pokrenuo komercijalne 5G usluge istog dana kada i *T-Mobile*. Mrežom je pokriveno preko 90% stanovništva u pet najvećih holandskih gradova: Amsterdamu, Roterdamu, Hagu, Utrehtu i Ajndhovenu, što čini približno polovinu ukupnog stanovništva zemlje. Operator planira da postigne nacionalnu 5G pokrivenost do kraja 2021. godine.

Hrvatska

Hrvatski Telekom (HT) je krajem oktobra 2020. godine pustio u rad prvu komercijalnu 5G mrežu u Hrvatskoj u dijelovima šest najvećih gradova: Zagreba, Rijeke, Splita, Osijeka, Samobora i Svete Nedelje. Prilikom puštanja u rad 5G mrežom je bilo pokriveno 18% hrvatskog stanovništva, sa planovima da se do kraja 2020. god. pokrivenost poveća na 25% stanovništva, odnosno da obuhvati milion ljudi. Korisnicima sa 5G korisničkim uređajima je omoghućen pristup 5G uslugama bez dodatnih troškova do juna 2021. godine.

5G mreža Hrvatskog Telekoma je realizovana u opsegu 2100MHz, uz primjenu tehnike dinamičkog dijeljenja spektra (DSS), ne čekajući aukciju spektra iz opsega 3,5GHz koja je zakazana za 2021. godinu.

Irska

Vodafone Ireland je počeo sa pružanjem 5G usluga u avgustu 2019. godine u odabranim oblastima pet irskih gradova, uključujući Dablin i Vaterford. Korisnicima su od početka ponuđena dva modela 5G pametnih telefona *Huawei Mate 20X 5G* i *Samsung Galaxy S10 5G*.

Početkom decembra 2019. godine, mobilni operator *Eir* je pokrenuo svoju 5G mrežu u 10 gradova, da bi do januara 2020. godine 5G usluge bile dostupne u 20 gradova. U septembru 2020. godine, ovaj operator je objavio da je njegovom 5G mrežom pokriveno 29% stanovništva, a da je infrastruktura dostupna u 21-om gradu.

Mobilni operator *Three Ireland* je krajem septembra 2020. godine počeo da nudi 5G komercijalne usluge, instalirajući opremu na ukupno 315 lokacija širom Irske, čime je omogućeno postizanje pokrivenosti od 35% stanovništva. Operator planira da tokom 2021. godine proširi pokrivanje instalacijom 5G baznih stanica na novih 500 lokacija.

Italija

Vodafone Italy je pokrenuo komercijalno pružanje 5G usluga u pet gradova (Milano, Rim, Torino, Bolonja i Napulj) početkom juna 2019. godine. U Torinu, 5G mrežom je pokriveno 80% stanovništva primjenom baznih stanica na 120 lokacija. Broj gradova sa 5G pokrivanjem je do kraja 2020. godine povećan na 50, sa planom da do kraja 2021. godine 5G usluge budu dostupne u preko 100 gradova širom Italije. *Vodafone* nudi tri 5G pametna telefona: *Xiaomi Mi Mix 3 5G*, *LG V50 ThinQ 5G* i *Samsung Galaxy S10 5G*. *Vodafone* je početkom 2019. potpisao ugovor o dijeljenju resursa 5G mreže sa mobilnim operatorom *Telecom Italia*.

Telecom Italia (TIM) je svoju 5G mrežu pustio u rad krajem juna 2019. godine u djelovima Rima i Torina, a u julu i u Napulju. TIM je ponudio tri nova namjenska 5G-spremna plana od kojih se dva prodaju kao pravi 5G. TIM je ponudio korisničke pakete sa maksimalnim protokom do 2Gb/s i tri modela pametnih telefona koja podržavaju 5G*: Samsung Galaxy S10 5G, Xiaomi Mi Mix 3 5G i Oppo Reno 5G.* Krajem marta 2020. godine 5G servisi su bili dostupne u Bolonji, Breši, Firenci, Đenovi, Milanu, Napulju, Torinu i Rimu.

WindTre je lansirao 5G mrežu u desetak glavnih gradova pokrajina u oktobru 2020. godine. Operator je najavio planove za proširenje 5G mreže na 70 gradova do kraja 2021. godine.

Novi opertor na tržištu, *Free Italy* je u decembru 2020. godine pustio u rad 5G mrežu u 27 italijanskih gradova.

Letonija

Letonski mobilni operator *LMT* je pustio u rad svoju 5G mrežu u julu 2019. godine. U januaru 2020. godine komercijalne 5G usluge su bile omogućene u gradovima Jelgava i Daugavpils.

Tele2 Latvia je počeo sa komercijalnim pružanjem 5G usluga u gradovima Daugavpils i Jelgava u januaru 2020. godine, sa po dvije 5G bazne stanice. Do septembra 2020. mreža je bila dostupna i u Rigi, Jurmali i Valmieri.

Luksemburg

Mobilni operator *Orange* je u novembru 2020. godine objavio početak pružanja 5G usluga, pokrivajući grad Luksemburg i okolna područja.

U novembru 2020. godine svoju 5G mrežu je pustio u rad i mobilni operator *Tango*. U prvoj fazi mreža je bila dostupna samo u gradu Luksemburgu, prije nego što je do početka 2021. godine razvijena u drugim većim gradovima. Korisnici koji imaju odgovarajući terminal mogu da iskoriste 5G mrežu u okviru trenutne pretplate, a omogućeni su protoci do 1Gb/s na *downlink*-u.

Mađarska

U oktobru 2019. godine, *Vodafone Hungary* pokrenuo je komercijalnu 5G mrežu u Budimpešti, koristeći postojeći spektar iz opsega 3500MHz, prije nego što je u martu 2020. godine na aukciji spektra dobio dodatne frekvencije iz opsega 3500MHz i radio-frekvencije iz opsega 700MHz. Krajem juna 2020. godine operator je najavio planove za uvođenje 5G usluga u sljedećim gradovima: Miškolc, Đer, Debrecin, Sekešfehervar, Pečuj, Segedin i Eger, fokusirajući se na najprometnije djelove gradskih jezgara i okolinu univerziteta, čime će se broj 5G baznih stanica povećati na oko 300.

Mobilni operator *Magiar Telekom* je pokrenuo komercijalne 5G usluge u aprilu 2020. godine u partnerstvu sa *Ericsson*-om. U početku mreža je bila dostupna samo u određenim djelovima Budimpešte i u oblasti stadiona Ferenc Puškaš. Do septembra 2020. godine 5G mreža ovog operatora je bila dostupna u djelovima 18 gradova, uključujući Zalegerčeg, Šombateli, Debrecin, Segedin i Kečkemet.

Njemačka

Deutsche Telekom je pustio u rad svoju 5G mrežu početkom septembra 2019. godine, prvo u Berlinu, Bonu, Kelnu, Darmštatu i Minhenu, a zatim i u Hamburgu, Frankfurtu i Lajpcigu. U julu 2020. godine operator je objavio da njegova 5G mreža pokriva polovinu stanovništva Njemačke, sa planom da se do kraja 2020. godine pokrije dvije trećine stanovništva. Nakon što je dodatnih 18000 ćelija nadograđeno na 5G tehnologiju i integrisano u mrežu,

5G usluge su dostupne u preko 3000 gradova i opština. 5G mreža koristi spektar u opsegu 2100MHz u rjeđe naseljenim oblastima (na bazi DSS), dok se opseg 3,6GHz koristi u velikim gradovima.

Vodafone Germany je započeo komercijalno pružanje 5G usluga u julu 2019. godine, nudeći tarifne planove sa dva modela 5G pametnih telefona: *Huawei Mate 20X 5G* i *Samsung Galaxy S10 5G*, kao i *Huawei Gigacube 5G* kućni ruter. U novembru 2020. godine, *Vodafone* je objavio da njegova 5G mreža pokriva deset miliona ljudi zahvaljujući instalaciji oko 3.000 antena na više od 1.000 lokacija širom zemlje. Do kraja 2020. godine pokrivenost je trebalo da se poveća na 15 miliona ljudi, da bi krajem 2021. godine dostigla 30 miliona, što je deset miliona više nego što je ranije planirano.

Telefonica je početkom oktobra 2020. godine postala treći njemački mobilni operator koji je uveo 5G usluge. U početnoj fazi mreža je puštena u rad u deset gradova: Berlinu, Hamburgu, Minhenu, Frankfurtu, Kelnu, Dizeldorfu, Stutgartu, Esenu i Potsdamu, sa instaliranih oko 450 5G ćelija. 5G mreža je realizovana u opsegu 3,6GHz. Operator planira da do kraja 2021. godine instalira preko 6000 5G ćelija i dostigne pokrivenost od 30% stanovništva, do kraja 2022. godine 50% stanovništva, a do 2025. godine nacionalnu 5G pokrivenost. U ruralnim oblastima u planu je korišćenje nižih opsega na bazi DSS tehnike.

Norveška

Mobilni operator *Telenor Norge* počeo je da nudi komercijalne 5G usluge u martu 2020. godine, postavši prvi operator u zemlji koji je to učinio. 5G mreža je u početku bila dostupna u devet gradova širom zemlje, i to u Kongsbergu, Elverumu, Bodou, Askvolu, Fornebu, Kvitfjelu, Spikersupi, Oslu i Trondhajmu. U novembru 2020. godine, *Telenor* je počeo sa pružanjem usluge fiksnog bežičnog pristupa (FWA) posredstvom 5G mreže.

U maju 2020. godine i mobilni operator *Telia* je omogućio 5G usluge u Lilestromu i djelovima Grorudalena u Oslu, sa planovima da se tokom 2020. godine 5G mreža proširi i na druga područja. U novembru 2020. godine i *Telia* je započela pružanje 5G FWA usluga.

Poljska

Poljski operator *Polkomtel (Plus)* pokrenuo je prvu komercijalnu 5G mobilnu mrežu u zemlji u maju 2020. godine. Mreža obuhvata 100 5G baznih stanica u opsegu od 2,6GHz, pružajući 5G usluge u sedam gradova (Varšava, Gdanjsk, Katovice, Lođ, Poznanj, Ščećin i Vroclav) na teritoriji gdje živi oko 9000000 ljudi.

Operator *T-Mobile Poland* je počeo sa pružanjem 5G usluga u junu 2020. godine. Instalirano je preko 1600 5G baznih stanica u opsegu 2100MHz. *T-Mobile* je omogućio 5G usluge za šest miliona stanovnika Poljske u Varšavi,

Lođu, Krakovu, Poznanju, Vroclavu, Ploku, Opoli, Čestohovi, Ržežovu, Bielsko-Biali i Kielceu.

Orange Polska je treći poljski mobilni operator koji je omogućio 5G komercijalne servise, početkom jula 2020. godine. Operator je objavio da je njegovom 5G mrežom pokriveno oko 5 miliona ljudi u gradovima, uključujući Varšavu, Lođ, Krakov i Katovice. Orange se isto kao i *T-Mobile* odlučio na uvođenje 5G mreže koristeći postojeće frekvencijske resurse u opsegu 2100MHz, dok čeka planiranu aukciju spektra u opsegu 3,5GHz. U početnoj fazi je instalirano 1600 5G baznih stanica.

Rumunija

Mobilni operatori *Vodafone* i *Digi* su u junu 2019. godine pokrenuli 5G servise u gradskim oblastima nekoliko rumunskih gradova.

U novembru 2019. godine *Orange* je ponudio 5G usluge u Bukureštu, Klužu i Iasiju. U januaru 2020. godine 5G mreža je proširena i na Brašov i Poiana Brašov. Krajem avgusta 2020. godine, *Orange* je objavio da njegova 5G mreža pokriva 100% stanovništva Bukurešta, omogućavajući pristup brzinama prenosa podataka do 1,2Gb/s. U međuvremenu, mreža je proširena na Mamaju i Temišvar.

Slovačka

Slovak Telekom postao je prvi operator u zemlji koji je pokrenuo komercijalne 5G usluge u decembru 2020. godine. Usluge su bile dostupne u osam okruga Bratislave. *Slovak Telekom* je objavio da korisnici u 5G mreži mogu očekivati brzine prenosa podatka na *downlink*-u između 300Mb/s i 600Mb/s, a na *uplink*-u između 60Mb/s i 80Mb/s. Operator za 5G koristi 15MHz spektra u opsegu 2100MHz, u kombinaciji sa spektrom za LTE mrežu, uz primjenu DSS tehnike.

Slovenija

Telekom Slovenije je u julu 2020. godine pustio u rad prvu komercijalnu 5G mobilnu mrežu u Sloveniji. Ovaj operator je nadogradio 150 4G baznih stanica u opsegu 2600MHz na 5G podršku, primjenom DSS tehnike. Od početka je omogućeno pokrivanje približno 25% stanovništva, da bi 5G pokrivenost do kraja 2020. godine premašila 33% stanovništva zemlje.

Španija

Španska filijala *Vodafone*-a je polovinom juna 2019. godine pokrenula komercijalne 5G usluge u 15 gradova: Madrid, Barselona, Valensija, Sevilja, Malaga, Saragosa, Bilbao, Vitorija, San Sebastijan, La Korunja, Vigo, Hihon, Pamplona, Logrono i Santander, dostigavši približno 50% pokrivenosti u svakom od njih. U maju 2020. godine 5G mreža je proširena na još šest gradova: Alicante, Mursija, Palma de Majorka, Valjadolid, Benidorm i

Badajoz. Mreža se zasniva na opremi kineskog proizvođača *Huawei* i švedskog *Ericsson*.

Mobilni operator *Telefonica* je 1. septembra 2020. godine objavio početak rada svoje 5G mreže. Mreža je realizovana korišćenjem spektra iz opsega 3,5GHz, zajedno sa spektrom iz opsega 1800MHz i 2100MHz. 5G mreža ovog operatora je bazirana na opremi finskog proizvođača *Nokia*, sa kojim je operator sklopio ugovor o isporuci opreme u cilju pokrivanja 5G mrežom do 75% stanovništva Španije do kraja 2020. godine. Inače, *Nokia* je jedini proizvođač koji isporučuje mrežnu opremu za sve 5G mreže ovog multinacionalnog operatora širom Evrope. U međuvremenu, *Telefonica* je najavila da će staviti van funkcije 2G i 3G mobilne mreže, kao i fiksne mreže zasnovane na kablovima sa bakarnim paricama.

U septembru 2020. godine i *Orange Spain* je pokrenula 5G mobilne usluge u centralnim oblastima pet gradova: Madrida, Barselone, Valensije, Sevilje i Malage. U početnoj fazi mrežom je pokriveno oko 30% stanivništva u svakom od ovih gradova. Korisnici sa 5G terminalima mogu pristupati 5G mreži bez dodatnih troškova. Mreža je realizovana u opsegu 3,6GHz korišćenjem *Ericsson*-ove opreme u pristupnom dijelu, kao i u jezgru mreže.

U septembru 2020. godine i *MASMOVIL* je postao četvrti španski operator koji pruža 5G usluge. Usluge su dostupne u djelovima 15 gradova (Alicantea, Alkobendasa, Almerije, Avile, Barselone, Ljobregata, Hueske, Jaena, Madrida, Malage, Melilke, Orensea, Salamanke, Sevilje i Valencije). Korisnici koji posjeduju telefon koji podržava 5G tehnologiju mogu pristupiti mreži bez dodatnih troškova. *MASMOVIL* 5G usluge nudi kombinacijom sopstvene opreme i infrastrukture rivalskog operatora Orange. Zahvaljujući ugovoru o zajedničkom korišćenju aktivne infrastrukture *MASMOVIL* ima pristup cjelokupnoj 5G mreži kompanije Orange Spain, što mu je omogućilo da implementira 5G bazne stanice na 4500 lokacija, te da pokrije 35% španskog stanovništva u 40 najvećih gradova. U sljedećoj fazi, *MASMOVI*L namjerava da izgradi sopstvenu 5G Standalone (SA) mrežu koristeći 80MHz spektra u opsegu 3,4-3,8 GHz.

Švedska

Prvu 5G mrežu u Švedskoj pokrenuo je mobilni operator *Tele2* krajem maja 2020. godine. 5G pristupna mreža je realizovana korišćenjem 80MHz spektra u opsegu 3,6GHz. U početnoj fazi 5G servisi su bili dostupne u Stokholmu, Geteborgu i Malmeu. Operator je objavio da korisnici koji posjeduju 5G mobilni telefon od početka mogu očekivati brzine veće od 1Gb/s.

Mobilni operator *Telia* je implementirao 5G bazne stanice na 15 lokacija u Stokholmu, koristeći postojeći spektar iz opsega 700MHz, i uz primjenu agregacije LTE i 5G NR nosioca. Operator je imao planove da do kraja 2020. godine proširi 5G pokrivenost na još 12 gradova širom Švedske, uključujući

Geteborg i Malme. U razvoju 5G mreže *Telia* sarađuje sa lokalnim partnerom *Ericsson*-om, a 5G mrežu napaja 100% obnovljiva energija.

Krajem juna 2020. godine mobilni operator *Tre Sweden* je objavio početak komercijalnog pružanja 5G usluga u Malmeu, Lundu, Upsali, Helsingborgu, Vasterasu i velikom dijelu Stokholma. U početnoj fazi operator je aktivirao 385 5G baznih stanica, od kojih se 200 nalazi u Stokholmu.

Telenor Sweden je pokrenuo komercijalne 5G usluge u centralnom dijelu Stokholma u oktobru 2020. godine, pustivši u rad četvrtu 5G mrežu u zemlji. Operator je objavio da će njegova mreža pružati pristup Internetu brzinama od 1Gb/s. U početnoj fazi 5G mreža je dostupna u najmanje polovini centralnog dijela grada, sa namjerom da se pokrivenost proširi na čitavu teritoriju Stokholma. Istovremeno će mreža biti raširena i u Malmeu i Geteborgu, prije nego što se proširi na ostale gradove sa više od 50.000 stanovnika. *Telenor* je takođe najavio da će njegova 5G mreža do 2023. godine pokrivati 99% stanovništva Švedske.

Švajcarska

U Švajcarskoj je mobilni operator *Sunrise* u martu 2019. godine objavio početak delimično komercijalnog puštanja u rad 5G mreže, da bi potpuno komercijalno pružanje 5G usluga počelo u septembru 2019. godine.

Mobilni operator *Swisscom* je svoju 5G mrežu pustio u rad u aprilu 2019. godine. U početnoj fazi 5G mreža *Swisscom*-a je obuhvatala instalaciju opreme na 100 lokacija u 50 gradova i sela. Operator je imao planove da do kraja 2020. godine omogući pokrivenost od preko 90% stanovništva.

Velika Britanija

Mobilni operator *EE* je prvi u Velikoj Britaniji pustio u komercijalni rad 5G mrežu krajem maja 2019. godine. Po puštanju u rad 5G usluge su bile dostupne u šest gradova, uključujući djelove Londona, Edinburga, Cardifa, Belfasta, Birmingema i Mančestera. U početku su korisnicima ponuđeni 5G uređaji *OnePlus 7 Pro 5G*, *Samsung Galaxy S10 5G*, *Oppo Reno 5G* i *LG V50 ThinQ*. Do juna 2019. godine 5G mreža je bila prisutna u 45 opština i velikih gradova, da bi do juna 2020. godine 5G usluge bile dostupne u 80 opština i gradova širom zemlje. 5G mreža ovog operatora je realizovana u *Non-Standalone* konfiguraciji, oslanjajući se na postojeću 4G mrežu. U drugoj fazi, od 2022. godine, EE planira implementaciju samostalnog 5G jezgra mreže i angažovanje šire palete frekvencijskih opsega, da bi u trećoj fazi, čiji početak se planira tokom 2023. godine, bile omogućene ultra pouzdane komunikacije sa malim kašnjenjem (URLLC), funkcionalnost *network slicing*-a i prenos podataka brzinama od nekoliko gigabita u sekundi.

U julu 2019. godine i *Vodafone* je počeo sa pružanjem 5G usluga, i to u sedam gradova. Do kraja 2019. godine 5G mreža je raširena u još 12 gradova širom Velike Britanije.

Operator *Three UK* je bio treći britanski mobilni operator koji je implementirao 5G tehnologiju. U početnoj fazi 5G mreža je bila dostupna na manjem broju lokacija u centralnom Londonu, a fokus je stavljen na pružanje usluge fiksnog bežičnog pristupa (FWA) posredstvom ove mreže. Operator je najavio početak pružanja 5G mobilnih usluga u nekoliko gradova do kraja 2020. godine.

U oktobru 2019. godine 5G mrežu je pustio u rad i četvrti mobilni operator u Velikoj Britaniji, *Telefonica* (O2). U početnoj fazi, 5G servisi ovog operatora su bili dostupni u šest gradova: Cardifu, Belfastu, Edinburgu, Lidsu, Londonu i Slougu. Do juna 2020. godine, 5G mreža je bila omogućena u djelovima 60 opština i gradova u zemlji.

4.3. Iskustva u implementaciji 5G mobilnih mreža u državama članicama Evropske unije

Većina država članica EU sprovela je široke konsultacije oko strateških pitanja u vezi uvođenja 5G mobilnih komunikacionih mreža. 5G strategije su uglavnom proizašle iz nacionalnih strategija razvoja širokopojasnog pristupa. U cilju postizanja dosljednog pristupa širom Evrope, Evropska komisija je u novembru 2018. godine objavila Izveštaj koji sumira najbolje prakse i zajedničke elemente koji se mogu uzeti u obzir pri izradi nacionalnih 5G strategija. Izvještaj pokriva ključna pitanja koja se kreću od ciljeva razvoja 5G mreža, preko obezbjeđivanja i dodjele RF spektra i implementacije *small cell* baznih stanica do programa javnog finansiranja i podrške za 5G inovacije.

Kako je već navedeno, 13 država članica Evropske unije, uključujući i Veliku Britaniju, je donijelo cjelovite nacionalne mape puta za implementaciju 5G mobilnih mreža. Sa druge strane, u velikom broju zemalja je okvir za 5G kreiran kroz strategije razvoja širokopojasnog pristupa ili parcijalno tretiranje pojedinih aspekata u posebnim dokumentima, dok je u jednom broju zemalja priča u velikoj mjeri svedena na strategiju obezbjeđivanja i dodjele RF spektra. Do danas usvojene nacionalne 5G strategije tretiraju brojne aspekte, budući da 5G mape puta postavljaju konkretne ciljeve, definišu prioritetna područja i ključne mjere, u zavisnosti od stanja na nacionalnom nivou. Djelovi koji se bave pitanjem radio-frekvencijskog spektra pružaju detalje o potencijalnim dodjelama spektra iz opsega za ranu implementaciju 5G mreža, kao i o licencama za testiranje tehnologije. Strategije se bave i pitanjem načina finansiranja implementacije i širenja 5G mobilih mreža, a razmatraju se i mjere za stimulisanje i mobilizaciju ključnih igrača iz sektora telekomunikacija i vertikalnih industrija. S obzirom na različite pristupe primijenjene u pojedinim državama u nastavku se daje detaljna analiza aktivnosti i ključnih elemenata primijenjene strategije za implementaciju 5G mobilnih mreža u nekoliko reprezentativnih primjera.

Austrija

Glavne aktivnosti na uvođenju 5G mreža u Austriji su uključivale:
- javne konsultacije o aukcijama 5G spektra u periodu jul-septembar 2017. godine,
- donošenje "5G strategije za Austriju" u aprilu 2018. godine,
- sprovođenje aukcije spektra iz opsega 3,4-3,8GHz, koja je održana u martu 2019. godine,
- sprovođenje aukcije spektra iz opsega 700MHz, 1500MHz i 2100MHz, koja je okončana u avgustu 2020. godine,
- pokretanje 5G usluga od strane sva tri operatora mobilnih komunikacionih mreža do kraja 2019. godine.

Austrijska vlada je u februaru 2017. godine formirala grupu koja će da upravlja procesom uvođenja 5G mobilnih mreža u zemlji. Dokument „5G strategija za Austriju" odobren je u aprilu 2018. godine. Strategija definiše tri faze:
- I faza - sprovođenje predkomercijalnih 5G testova do sredine 2018. godine;
- II faza - dostizanje skoro nacionalne dostupnosti priključaka sa protokom od 100Mb/s do kraja 2020. godine, kako bi se stvorila osnova za nacionalno proširenje 5G mreže, uz početak pružanja komercijalnih 5G usluga u glavnim gradovima svih pokrajina do istog roka;
- III faza - pokrivanje 5G mrežom glavnih saobraćajnica do kraja 2023. godine, i dostizanje nacionalne pokrivenosti do kraja 2025. godine.

Strategija predviđa 24 mjere u pogledu razvoja infrastrukture i 10 mjera za razvoj 5G aplikacija na više polja: kreiranje povoljne klime za ulaganja u nove tehnologije, postizanje nacionalne dostupnosti i pristupačnosti optičke infrastrukture, obezbjeđivanje značajne količine novog radio-frekvencijskog spektra, povećanje tražnje za digitalnim tehnologijama i aplikacijama, razvoj novih digitalnih poslovnih modela i korišćenje 5G kompatibilnih mrežnih komponenti i uređaja.

Najznačajnije mjere za razvoj infrastrukture obuhvataju:
- Pravovremenu dodjelu radio-frekvencija u skladu sa EU zahtjevima, a to znači da opsege 700MHz, 1500MHz, 2100MHz i 3400-3800MHz treba dodjeliti tokom 2019. i 2020. godine, da treba ažurirati plan oslobađanja spektra u novoidentifikovanim opsezima (26GHz i drugi opsezi u skladu sa odlukom WRC-19), stvoriti pravnu sigurnost za održive scenarije korišćenja i planiranja, osmisliti nove modele dijeljenja infrastrukture radi podsticanja veće fleksibilnosti i definisati obaveze pokrivanja u skladu sa političkim ciljevima;
- Korišćenje javnih fondova za širenje digitalne infrastrukture;
- Objavljivanje informacija o prisustvu infrastrukture na lokaciji od strane telekomunikacionih kompanija (dijeljenje infrastrukture);
- Procjena opravdanosti iznosa naknada za korišćenje radio-frekvencija;

- Definisanje olakšica (implementacija ćelija male zone servisa, pristup korišćenju zemljišta u javnoj svojini, jednostavna procedura izgradnje mreža koje nijesu predmet dozvola).

Mjere za razvoj aplikacija usresređene su na inovativne usluge bazirane na 5G mrežama, posebno u sljedećim oblastima: saobraćaj i transport (kooperativna, povezana i autonomna mobilnost), Industrija 4.0 (fabrike budućnosti), energetika, e-zdravstvo, obrazovanje, pametni gradovi, administracija, i obuhvataju:

- promociju povezanosti - uspostavljanje 5G platforme;
- međunarodnu saradnju;
- istraživanje i razvoj 5G aplikacija;
- implementaciju 5G pilot projekata u javnoj upravi;
- regionalne projekte za razvoj 5G aplikacija;
- stvaranje 5G testnih okruženja.

Austrijski nacionalni regulator (*RTR*) je u periodu jul-septembar 2017. godine sproveo tri kruga konsultacija o dodjeli spektra iz opsega koji su identifikovani za ranu implementaciju 5G mreža, prije nego što je konačno odlučeno da se dodjela radio-frekvencija iz opsega 3,4-3,8GHz sprovede odvojeno od ostalih opsega. Aukcija 390MHz spektra iz ovog opsega je okončana u martu 2019. godine. Mobilni operator *T-Mobile* je dobio blok širine 110MHz u svim regionima (nacionalno), *Three* blok širine 100MHz, takođe u svim regionima (nacionalno), dok je A1 *Telekom Austria* osvojio blok širine 100MHz u svim regionima (nacionalno), uz dodatni blok širine 40MHz u urbanom regionu *Vienna+St Pölten* i ruralnom regionu *Lower Austria+Burgenland* i dodatni blok širine 20MHz u urbanim regionima *Innsbruck+Bregenz*, *Klagenfurt+Villach* i *Graz* i ruralnim regionima *Tyrol+Vorarlberg* i *Carinthina+East Tyrol*.

Krajem 2018. godine, *RTR* je inicirao konsultacije o predmetu i dizajnu aukcije za dodjelu opsega 700MHz, 1500MHz i 2100MHz. Aukcija je završena u septembru 2020. godine. Predmet dodjele u opsegu 700MHz bilo je šest blokova širine 2x5MHz, u opsegu 1500MHz devet blokova širine 10MHz, a u opsegu 2100MHz 12 blokova širine 2x5MHz. Period važenja dodjela je oko 25 godina. Mobilnom operatoru *T-Mobile* je dodijeljen blok širine 2x20MHz iz opsega 700MHz, blok širine 20MHz iz opsega 1500MHz i blok širine 2x15MHz iz opsega 2100MHz, mobilnom operatoru *A1 Telekom Austria* blok širine 30MHz iz opsega 1500MHz i blok širine 2x25MHz iz opsega 2100MHz, dok je trećem operatoru *Three* dodijeljen blok širine 2x10MHz iz opsega 700MHz, blok širine 30MHz iz opsega 1500MHz i blok širine 2x20MHz iz opsega 2100MHz. Zahtjevi u pogledu pokrivanja signalom mreže u opsegu 700MHz uključuju pokrivanje 80% od 2100 nepokrivenoh katastarskih opština signalom mreže koji omogućava prenos podataka brzinama od 30Mb/s DL i 3Mb/s UL do 2027. godine, kao i 90% saveznih i pokrajinskih puteva signalom mreže koji omogućava prienos podataka brzinama od 10Mb/s DL i 1Mb/s UL.

RTR je veoma veliku pažnju posvetio pitanju sigurnosti 5G mreža. U aprilu 2020. godine objavljen je nacrt uredbe o mjerama sigurnosti za 5G mreže u Austriji. Uredbom se predviđa uspostavljanje:

- zajedničkog skupa pravila koja se primjenjuju na sve telekomunikacione mreže,
- posebnih obaveza za mobilne operatore na zaštiti sigurnosti 5G mreža (za mreže sa više od 100.000 korisnika).

Pravila uspostavljena za operatore uključuju:

- obavezu obavještavanja o bezbjednosnom incidentu koji ima značajan uticaj na bezbjednost komunikacione mreže;
- obavezu dizajniranja i sprovođenja bezbjednosne politike koja obezbjeđuje adekvatan nivo bezbjednosti u odnosu na postojeće rizike;
- set posebnih obaveza za operatore 5G mreže sa više od 100.000 korisnika, kao što su:
    - redovno podnošenje izveštaja o reviziji,
    - podnošenje deklaracije o usaglašenosti koja potvrđuje poštovanje međunarodnih standarda kao što je 3GPP, ili drugih propisanih standarda,
    - obezbijeđenje da mrežni operativni centar i bezbjednosni operativni centar budu locirani u Evropskoj uniji,
    - efikasno nadgledanje svih ključnih komponenti i osjetljivih djelova 5G mreža putem mrežnog operativnog centra i bezbjednosnog operativnog centra;
    - sprječavanje neovlašćene promjene mreže ili komponenata,
    - osiguranje fizičke zaštite kritičnih i osjetljivih komponenti 5G mreža,
    - ograničenje pristupa kompetentnom i kvalifikovanom osoblju, koje nije prošlo prethodnu bezbjednosnu provjeru,
    - korišćenje odgovarajućih alata za obezbjeđivanje integriteta softvera prilikom upravljanja ažuriranjima softvera,
    - uspostavljanje strategije koja podrazumijeva obezbjeđivanje infrastrukture od strane nekoliko dobavljača opreme, vodeći računa o tehničkim ograničenjima i zahtjevima za interoperabilnošću sa različitim djelovima drugih 5G mreža.

Hrvatska

Ključne aktivnosti na planu implementacije 5G mobilnih mreža u Hrvatskoj obuhvataju:

- omogućavanje testiranja 5G tehnologije tokom 2018. godine i 2019. godine u opsegu 3,6GHz na lokalnom nivou,
- određivanje Osijeka kao hrvatskog 5G grada u januaru 2020. godine,
- pušatanje u rad 5G mreže od strane *Hrvatskog Telekoma* (*T-Mobile*) krajem oktobra 2020. godine, korišćenjem postojećih frekvencijskih resursa u opsegu 2,1GHz i primjenom tehnike dinamičkog dijeljenja spektra (DSS),

- usvajanje Nacionalnog plana razvoja širokopojasnog pristupa za period od 2021. do 2027. godine u martu 2021. godine,
- aukciju spektra iz opsega 700MHz, 3,6GHz i 26GHz, koja je planirana za prvu polovinu 2021. godine.

Strategijom razvoja širokopojasnog pristupa u Hrvatskoj za period 2016-2020. godina, koja je usvojena u julu 2016. godine, kao jedan od ciljeva postavljena je pokrivenost pristupnim mrežama nove generacije (brzine od 30Mb/s ili više) za 100% stanovništva, na tehnološki neutralnoj osnovi. Cijeneći da razvoj širokopojasnog pristupa u Hrvatskoj nije bio dovoljno brz i nije omogućio dostupnost dovoljno velikim brzinama, Vlada Republike Hrvatske je početkom marta 2021. godine donijela Nacionalni plan razvoja širokopojasnog pristupa za period od 2021. do 2027. godine. Prvi cilj ovog dokumenta je povezivanje domaćinstava mrežama vrlo velikog kapaciteta, što podrazumijeva širokopojasni pristup krajnjim korisnicima brzinama od najmanje 100Mb/s u *downlink* smjeru, uz mogućnost nadogradnje na brzine do 1Gb/s. Drugi cilj je implementacija mreža vrlo velikog kapaciteta koje podržavaju širokopojasni pristup sa simetričnim brzinama od najmanje 1Gb/s za javni sektor, što uključuje osnovne i srednje škole, visokoškolske i naučne ustanove, organe državne uprave i jedinice lokalne i regionalne samouprave, zdravstvene ustanove, saobraćajna čvorišta koja koristi veliki broj putnika (autobuske stanice, željezničke stanice, aurodromi, pomorske i riječne luke). Treći cilj je pokrivanje 5G mrežama urbanih područja i glavnih kopnenih saobraćajnih pravaca, piri čemu se urbana područja odnose na jedinice lokalne samouprave u sastavu četiri urbane oblasti (Zagreb, Split, Rijeka i Osijek), a glavni kopneni saobraćajni pravci su autoputevi, državni putevi i željezničke pruge u Hrvatskoj koje čine transevropsku saobraćajnu mrežu (TEN-T). Četvrti cilj je implementacija 5G mreža u ruralnim područjima, koja obuhvataju sve jedinice lokalne samouprave i djelove jedinica lokalne samouprave izvan urbanih područja.

Za sprovođenje Plana u navedenom vremenskom okviru procijenjena je potreba za ulaganjem oko 740 miliona eura, od čega će oko 490 miliona eura biti obezbijeđeno iz različitih EU fondova, dok ostalih 250 miliona eura čine predviđena ulaganja operatora elektronskih komunikacija i drugih investitora. Osnovni cilj uvođenja 5G tehnologije je kvalitetno pokrivanje signalom cijele teritorije države, kao preduslov za iskorišćenje potencijala digitalne transformacije, koja je prepoznata kao ključni faktor ekonomskog rasta. Nacionalni plan je u potpunosti usklađen s nacionalnom razvojnom strategijom do 2030. godine.

U okviru Radne grupe za 5G, koju je pokrenula hrvatska regulatorna agencija *HAKOM*, a kroz saradnju svih relevantnih učesnika na tržištu, određeni su ključni elementi za uspješnu implementaciju 5G mreža u Hrvatskoj, odnosno identifikovani mogući izazovi i prepreke, a na potrebnim rješenjima i mjerama za njihovo otklanjanje se još uvijek radi. Poseban zadatak Radne grupe je da doprinosi stvaranju povoljnije investicione klime za razvoj nove telekomunikacione infrastrukture, kao i da podiže svijest o važnosti 5G-a za razvoj privrede i društva.

Ključni izazovi koje je identifikovala Radna grupa obuhvataju:

- visoke naknade za korišćenje radio-frekvencijskog spektra,
- pravovremena dodjela spektra iz pionirskih 5G opsega,
- uvođenje 5G tehnologije u već dodijeljenim opsezima (*refarming*) i preraspodjela RF spektra (*reshuffling*),
- izgradnja infrastrukture,
- način izdavanja dozvola za korišćenje RF spektra,
- postizanje što boljeg pokrivanja i kvaliteta usluga,
- uticaj elektromagnetnog zračenja,
- sigurnost i zaštita podataka i
- novi regulatorni okvir.

Budući da se EU 5G akcionim planom potencira značaj testiranja tehnologije i žive demonstracije potencijalnih scenarija primjene 5G mreža, u Hrvatskoj su od 2018. godine obezbijeđeni frekvencijski resursi u opsegu 3,6GHz za realizaciju 5G pilot projekata na lokalnom nivou. *HAKOM* je mobilnim operatorima izdao privremene dozvole za korišćenje radio-frekvencijskog spektra za potrebe tehničkog ispitivanja 5G tehnologije na područjima Zagreba, uključujući područje Samobora, Svete Nedelje i aerodroma Zagreb, Osijeka, Rijeke, Splita, ostrva Krka, Dubrovnika, Hvara, Novalje, Jastrebarskog, Raba, Bjelovara, Novske i Varaždina.

HAKOM je testiranje iskoristio da sprovede kontrolna mjerenja nivoa elektromagnetnih polja na lokacijama u blizini baznih stanica na kojima se testira 5G tehnologija u gradu Osijeku.

Situacija na planu obezbjeđivanja radio-frekvencijskog spektra za inicijalnu implementaciju 5G tehnologije u Hrvatskoj je bila izazovna. Preduslov za dodjelu opsega 700MHz za mobilne mreže je bio da se opseg oslobodi od sistema digitalne zemaljske televizije. Prestanak emitovanja DVB-T/MPEG2 signala u ovom opsegu, zajedno sa prelaskom na DVB-T2/HEVC sistem na frekvencijama ispod 694MHz, kako bi se omogućila njegova upotreba za bežični širokopojasni pristup, zbog posljedica više sile izazvane pandemijom COVID-19 je odložen sa sredine na kraj 2020. godine.

Sa druge strane, djelovi opsega 3400-3800MHz su ranije dodijeljeni na regionalnom nivou za fiksni bežični pristup. Tako 70MHz iz opsega 3400-3600MHz nije dostupno u dvije županije u sjevernom dijelu Hrvatske (Međumurtska i Varaždinska županija) do novembra 2023. godine, dok je 100MHz iz opsega 3600-3800MHz postalo dostupno za dodjelu mobilnim operatorima u septembru 2019. godine, a drugih 100MHz tek krajem jula 2020. godine.

U takvoj situaciji, *HAKOM* se početkom 2019. godine odlučio da dodijeli raspoložive radio-frekvencije iz opsega 2,6GHz, uz mogućnost da se koriste za 5G. Odobrenja za blokove od 2x20MHz mobilnim operatorima su izdata na period od maja 2019. godine do novembra 2024. godine (do kada važe odobrenja za ostale opsege).

U oktobru 2019. godine *HAKOM* je pokrenuo javne konsultacije o budućoj dodijeli radio-frekvencija u opsezima 700MHz, 1500MHz, 3,6GHz i 26GHz, kako bi se svim zainteresovanim stranama dala mogućnost da izraze svoje stavove i interesovanje. Kao rezultat prikupljenih podataka, HAKOM je objavio dokument u kojem je saopštena namjera sprovođenja javnog nadmetanja za dodjelu frekvencijskih opsega 700MHz, 3,6GHz i 26GHz. Aukcija spektra je bila planirana za drugu polovinu 2020. godine, ali je zbog epidemije COVID-19 odložena za prvu polovinu 2021. godine.

Shodno EU 5G Akcionom planu, kojim je predviđeno da svaka država članica identifikuje bar jedan veći grad u kome će do kraja 2020. godine biti omogućena 5G mreža, Vlada Republike Hrvatske je u januaru 2020. godine usvojila rezoluciju o Osijeku kao hrvatskom "5G gradu" i Slavoniji kao prvoj hrvatskoj regiji u kojoj će biti komercijalno dostupne 5G usluge. Donošenju rezolucije su prethodile javne konsultacije na državnom i lokalnom nivou, a Osijek je odabran između više gradova kandidata (Rijeka, Karlovac, Bjelovar).

Nakon što je *HAKOM* dozvolio korišćenje tehnike dinamičkog dijeljenja spektra (DSS) u postojećim opsezima koji su dodijeljeni mobilnim operatorima, a koja omogućava brzo uvođenje 5G tehnologije nadgradnjom 4G infrastrukture, *Hrvatski Telekom* je krajem oktobra 2020. godine, koristeći postojeće resurse u opsegu 2100MHz, pustio u rad prvu 5G mrežu u Hrvatskoj. Do kraja 2020. godine mreža je bila dostupna u 17 hrvatskih gradova i pokrivala je preko 25% stanovništva Hrvatske.

Na planu informisanja javnosti i podizanja svijesti o značaju implementacije 5G mobilnih mreža u maju 2018. godine je organizovan okrugli sto na temu „Uvođenje 5G mreže u Hrvatskoj". Takođe, *HAKOM* je 2018. i 2019. godine organizovao „5G dan" na kome su učestvovali predstavnici hrvatske privrede i *start-up* zajednice, koji u svom poslovanju koriste mreže i tehnologije bliske 5G tehnologiji, proizvođači opreme, kao i predstavnici relevantnih državnih institucija i lokalne samouprave. Cilj organizacije ovog događaja je bio da se razvoj tehnologije iskoristi kao podsticaj za razvoj privrede i društva u cjelini, te da se korisnici upoznaju sa potencijalom 5G primjena u različitim granama privrede i društva.

Slovenija

Slovenija je, slično kao i Hrvatska, jedna od država članica Evropske unije koja nije donijela cjelovitu strategiju uvođenja 5G mreža kao poseban dokument, već je osnov za pojedine aktivnosti crpila iz strategije širokopojasnog pristupa, strategije upravljanja radio-frekvencijskim spektrom i EU 5G Akcionog plana.

Najznačajnije aktivnosti na implementaciji 5G mobilnih mreža u Sloveniji uključuju:

- pokretanje 5G PPDR (*Public Protection and Disaster Relief*) pilot projekta 2017. godine,
- aukciju spektra iz opsega 700MHz, 1500MHz, 2100MHz, 2300MHz, 3600MHz i 26GHz tokom 2021. godine,
- dodjelu privremenih licenci za testiranje 5G tehnologije,
- puštanje u rad 5G mreže od strane *Telekoma Slovenije* u julu 2020. godine, korišćenjem postojećih frekvencijskih resursa u opsegu 2,6GHz i primjenom tehnike dinamičkog dijeljenja spektra (DSS).

U januaru 2017. godine slovenačka Vlada i regulatorna agencija *AKOS* su raspisali javni poziv za dodjelu privremenih licenci za realizaciju projekata testiranja 5G tehnologije u opsegu 3,4-3,8GHz. Nakon kontroverzi po ovom pitanju, *AKOS* je mobilnim operatorima dodijelio testne licence u sva tri 5G pionirska opsega, i to:

- u opsegu 700MHz do 30. juna 2020. godine,
- u opsegu 3400-3800MHz do 31. decembra 2020. godine,
- u opsegu 26GHz do 31. decembra 2019. godine.

U julu 2017. godine u Sloveniji je pokrenut 5G PPDR pilot projekat. Partneri u realizaciji projekta su bili subjekti iz privatnog i javnog sektora: Telekom Slovenije, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Ljubljani, Univerzitetski medicinski centar Ljubljana, Iskratel, *Ericsson*, Ministarstvo unutrašnjih poslova, Ministarstvo odbrane, Uprava za civilnu zaštitu i pomoć u katastrofama, Direkcija za informaciono društvo Ministarstva javne uprave i *AKOS*. Projekat je finansiran kroz EU Horizon 2020 okvir. Kroz projekat su testirani razni scenariji primjene 5G tehnologije na polju obezbjeđivanja masovnih događaja, nadzora i kontrole granice, hitnih poziva kratkog sadržaja, podrške službi hitne pomoći, kontrole saobraćaja i mjesta saobraćajnih nezgoda, kontrole područja pogođenih prirodnim nepogodama.

Od prekograničnih 5G projekata izdvaja se projekat Austrije, Mađarske i Slovenije na kreiranju regiona za vozila bez vozača. Sporazum o saradnji je potpisan u martu 2018. godine. Cilj projekta je podsticanje, usklađivanje i jačanje pravnih, socijalnih, ekonomskih, tehničkih i institucionalnih procesa prekogranične saradnje u razvoju i ispitivanju električnih, integrisanih i autonomnih vozila.

Slovenija je 2017. godine pokrenula javne konsultacije za dodjelu spektra u opsezima 700MHz i 26GHz. Shodno rezultatu tih konsultacija, u januaru 2018. godine dodijeljena su dva frekvencijska bloka širine 56MHz i 112MHz u opsegu 26GHz. Međutim, ovi blokovi ne omogućavaju razvoj 5G mreža.

U maju 2019. godine *AKOS* je pokrenuo konsultacije o strategiji upravljanja spektrom za mobilne mreže, koja je podrazumijevala dodjelu radio-frekvencija iz opsega od 700MHz, 1500MHz, 2,1GHz, 2,3GHz, 3,4-3,8GHz i 26GHz do juna 2020. godine. Zbog kašnjenja u usvajanju konačne strategije, *AKOS* je dva puta odlagao planiranu aukciju spektra iz navedenih opsega. Postupak aukcije je napokon pokrenut krajem 2020. godine, a završetak se očekuje u prvoj polovini 2021. godine.

Predmet *multiband* aukcije su radio-frekvencije iz 5G pionirskih opsega 700MHz, 3,6GHz i 26GHz (1GHz), zajedno sa raspoloživim frekvencijama iz opsega 1500MHz, 2,1GHz i 2,3GHz. U opsegu 2,3GHz ostavljen je blok širine 20MHz za lokalni samostalni razvoj 5G mreža od strane vertikalnih industrija. Prema uslovima dodjele, vlasnici licenci su u obavezi da pokrenu 5G mreže u najmanje jednom gradu u roku od godinu dana, te da otpočnu korišćenje svih dodijeljenih frekvencija za pokrivanje svih većih gradova u roku od pet godina. Operatori kojima bude dodijeljen opseg 700MHz treba da pokriju 99% autoputeva i 60% svih željezničkih linija i glavnih puteva do kraja 2025. godine. *AKOS* je takođe uveo posebne uslove za operatore koji imaju manje od 2x30MHz u opsezima ispod 1GHz, koji moraju da obezbijede brzine od najmanje 10Mb/s DL i 2Mb/s UL, dok su operatori koji raspolažu sa više od 2x30MHz u opsezima ispod 1GHz obavezni da obezbijede brzine od 30Mb/s DL i 3Mb/s UL.

U međuvremenu, *Telekom Slovenije* je u julu 2020. godine pustio u rad prvu komercijalnu 5G mobilnu mrežu u Sloveniji. Ovaj operator je nadogradio 150 4G baznih stanica u opsegu 2600MHz na 5G podršku, primjenom DSS tehnike. Od početka je omogućeno pokrivanje približno 25% stanovništva, da bi 5G pokrivenost do kraja 2020. godine premašila 33% stanovništva zemlje. Sa dodjelom radio-frekvencija iz 5G opsega očekuje se dalji razvoj 5G mreža u Sloveniji i omogućavanje pune palete 5G servisa.

Njemačka

Aktivnosti na uvođenju 5G mobilnih mreža u Njemačkoj obuhvataju:
- dodjelu frekvencija iz opsega 700MHz na aukciji koja je održana u junu 2015. godine,
- donošenje strategije „5G za Njemačku" u jesen 2016. godine,
- utvrđivanje mape puta za dodjelu 5G spektra 2018. godine,
- definisanje konačnih uslova za aukciju 5G spektra u novembru 2018. godine,
- dodjelu spektra iz opsega 3,4-3,7GHz (300MHz) i 2GHz (2x60MHz) na aukciji koja je okončana u junu 2019. godine,
- rezervaciju 100MHz u opsegu 3,7-3,8GHz za lokalne i regionalne primjene,
- donošenje odluke da se radio-frekvencije iz opsega 26GHz dodjeljuju na zahtjev za lokalno korišćenje krajem 2020. godine,
- puštanje u rad 5G mreža od strane operatora *Vodafone* i *Deutsche Telekom* u julu 2019. godine, odnosno operatora *Telefonica* u oktobru 2020. godine (novi operator *Drillisch* još nije pustio u rad 5G mrežu).

Njemačka Savezna Vlada je u jesen 2016. godine pokrenula „5G inicijativu za Njemačku". U dokumentu koji je objavljen u septembru 2017. godine, Savezna Vlada je izložila nacionalnu 5G strategiju za period do 2025. godine. Strategijom je definisano pet polja djelovanja, ključne aktivnosti i

formiranje fonda za finansiranje 5G istraživačkih inicijativa u identifikovanim 5G istraživačkim centrima.

Polja djelovanja na planu implementacije 5G mreža definisana 5G strategijom obuhvataju:

- postepeni razvoj mreže,
- obezbjeđivanje frekvencija shodno potrebama,
- promociju saradnje između telekomunikacione i vertikalnih industrija,
- ciljano i koordinisano istraživanje i
- uspostavljanje 5G mreža u malim i velikim gradovima.

5G strategijom su definisane sljedeće ključne aktivnosti po godinama:

- 2016. godina
  - Pokretanje prvih 5G testnih okruženja;
  - Početak rada Radne grupe Savezne Vlade i saveznih država za implementaciju Zakona o olakšanju širenja digitalnih mreža velike brzine (DigiNetzG);
  - Početak 5G Dijalog Foruma;
- 2017. godina
  - Početak konsultacija oko obezbjeđivanja spektra za 5G;
  - Početak 5G konkurentnosti;
- 2018. godina
  - Nadgradnja okvira za podršku po pitanju gigabitnih mreža;
  - Procedure za obezbjeđivanje RF spektra;
- 2019. godina
  - Preispitivanje i, po potrebi, nadogradnja 5G strategije;
- 2020. godina i dalje
  - Razvoj 5G mreža.

Savezna Vlada je 5G strategijom opredijelila 80 miliona eura za finansiranje 5G istraživačkih inicijativa. U tu svrhu identifikovani su 5G istraživački centri u 13 gradova širom Njemačke, a među njima su laboratorije univerziteta, instituta, mobilnih operatora, proizvođača telekomunikacione opreme, ICT kompanija, kompanija iz drugih sektora.

Njemačka je prva evropska zemlja koja je dodijelila radio-frekvencije iz opsega 700MHz. Na *multiband* aukciji spektra sprovedenoj u junu 2015. godine, pored opsega 700MHz (2x30MHz), dodijeljene su i frekvencije iz novog opsega 1500MHz, ali i iz postojećih opsega 900MHz i 1800MHz. Mobilni operatori *Telefonica*, *Deutsche Telekom* i *Vodafone* su osvojili po 2x10MHz spektra u opsegu 700MHz. Iako dodjele nijesu direktno vezane za 5G, mobilni operatori u Njemačkoj su obavezani da u roku od tri godine obezbijede pokrivenost od najmanje 98% domaćinstava na nacionalnom nivou, odnosno najmanje 97% domaćinstava u svakoj saveznoj pokrajini, kao i potpunu pokrivenost svih glavnih saobraćajnica (nacionalni auto-putevi i pruge brze željeznice). Pokrivenost je podrazumijevala omogućavanje brzine prenosa podataka od najmanje 50Mb/s po svakom sektoru, kako bi se u opštem slučaju omogućio protok prema korisniku reda 10Mb/s ili više.

Već u julu 2016. godine njemački telekomunikacioni regulator *BNetzA* je objavio „Frekvencijski kompas", kako bi identifikovao oblasti regulatornog djelovanja po pitanju RF spektra za implementaciju 5G mreža. Detaljnije smjernice su objavljene u decembru 2016. godine.

Na osnovu dostavljenih stavova zainteresovanih strana, *BNetzA* je u junu 2017. godine utvrdio ključne elemente i objavio formalni poziv za izražavanje interesovanja za dodjelu radio-frekvencija iz opsega 2GHz i 3,6GHz na nacionalnom nivou, a u januaru 2018. godine je donešena odluka da se spektar u ovim opsezima dodijeli na aukciji. U maju 2018. godine odlučeno je da se u opsegu 3,6GHz dodijeli 300MHz (3,4-3,7GHz) mobilnim operatorima na aukciji, a da se ostalih 100MHz (3,7-3,8GHz) stavi na raspolaganje vertikalnim industrijama za samostalni razvoj 5G konektivnosti na lokalnom nivou.

BNetzA je u junu 2019. godine sproveo dodjelu radio-frekvencija iz opsega 2GHz (ponovna dodjela) i iz opsega 3,6GHz (dodjela po prvi put) za mobilne komunikacione mreže (5G aukcija). U opsegu 3,6GHz mobilni operatori *Deutsche Telekom* i *Vodafone* su osvojili blokove od 90MHz, treći postojeći operator *Telefonica* blok od 70MHz, a novi operator *Drillisch* blok širine 50MHz.

Zahtjevi za postojeće operatore u pogledu pokrivenosti uključuju:
- najmanje 100Mb/s za najmanje 98% domaćinstava u svakoj saveznoj državi do kraja 2022. godine,
- najmanje 100Mb/s i maksimalno kašnjenje od 10ms na svim autoputevima u zemlji do kraja 2022. godine,
- najmanje 100Mb/s i maksimalno kašnjenje od 10ms na svim saveznim putevima sa nivoom funkcije povezivanja 0 ili 1 do kraja 2022. godine,
- najmanje 100Mb/s i maksimalno kašnjenje od 10ms na svim ostalim saveznim putevima do kraja 2024. godine,
- najmanje 50Mb/s na svim državnim putevima do kraja 2024. godine,
- najmanje 50Mb/s u morskim lukama i na glavnim unutrašnjim plovnim putevima do kraja 2024. godine,
- najmanje 100Mb/s na željezničkim rutama sa više od 2000 putnika dnevno do kraja 2022. godine,
- najmanje 50Mb/s na svim ostalim željezničkim rutama do kraja 2024. godine,
- puštanje u rad 1000 5G baznih stanica i 500 baznih stanica sa brzinom prenosa podataka od najmanje 100Mb/s u ruralnim oblastima do kraja 2022. godine.

Ključne aktivnosti na uvođenju 5G mobilih mreža u Njemačkoj, sa vremenskim okvirom, prikazane su na Slici 4.2.

Ministarstvo saobraćaja i digitalne infrastrukture je ažuriralo nacionalnu strategiju za razvoj mobilnih mreža u septembru 2019. godine. Objavljen je plan u pet tačaka i plan o ulaganju 1,1 milijarde eura za unapređenje pokrivenosti. Centralno pitanje strategije je proširenje 4G, a posljedično i

5G pokrivenosti, sa posebnom pažnjom na načine i sredstva za smanjenje nepokrivenih oblasti (*white spots*).

Slika 4.2. Ključne aktivnosti na uvođenju 5G mobilih mreža u Njemačkoj

Sa mobilnim operatorima je postignut sporazim o međusobnoj saradnji na obezbjeđivanju pokrivenosti u oblastima za koje ne postoji ekonomski interes za pojedinačno ulaganje. Operatori su prihvatili da:

- omoguće pouzdane govorne i usluge prenosa podataka za 99% domaćinstava na saveznom nivou do kraja 2020. godine i 99% domaćinstava u svakoj saveznoj državi do 2021. godine, posebno u ruralnim oblastima,
- povećaju obim međusobne saradnje i izgrade najmanje 1400 stubova dostupnih bilo kom operatoru,
- omoguće minimalnu brzinu prenosa podataka od 100Mb/s na glavnim transportnim rutama,
- instaliraju bazne stanice u ruralnim oblastima gdje ne postoji drugi način pružanja širokopojasnih usluga prenosa podataka.

Osim navedenog, mobilni operatori su postigli sporazum o zajedničkom korišćenju 5G infrastrukture na 6000 lokacija u ruralnim oblastima i na transportnim rutama.

U planu za suzbijanje ekonomske krize izazvane COVID-19 pandemijom, njemačka Vlada je odlučila da izdvoji dodatnih 7 milijardi eura za 5G.

Grčka

Glavne aktivnosti na uvođenju 5G mobilih mreža u Grčkoj uključuju:

- izdavanje testnih licenci u opsegu 3,4-3,8GHz za realizaciju 5G pilot projekata 2018. godine,
- potpisivanje sporazuma o prekograničnom 5G koridoru (Bugarska, Grčka, Srbija), u julu 2018. godine,
- aukciju radio-frekvencija iz opsega 700MHz, 2100MHz, 3,6GHz i 26GHz, koja je završena u decembru 2020. godine,
- pušatanje u rad 5G mreže od strane mobilnih operatora *Wind Hellas* i *Cosmote* krajem decembra 2020. godine.

U julu 2018. godine Bugarska, Grčka i Srbija potpisale su sporazum o razvoju eksperimentalnog prekograničnog 5G koridora (Solun - Sofija - Beograd) za testiranje autonomnih vozila, da bi u oktobru 2018. godine nacionalno regulatorno tijelo *EETT* pokrenulo konsultacije o dodjeli prava na

korišćenje spektra u opsezima 3400–3800MHz i 24,25–27,5GHz za 5G testiranje.

U januaru 2019. godine *EETT* je objavio tehničko saopštenje pod nazivom „Pregled frekvencijskih opsega za razvoj 5G mreža" s ciljem da obavijesti sve zainteresovane strane (postojeće i nove operatore elektronskih komunikacionih mreža, proizvođače opreme, ostale korisnike RF spektra, vertikalne industrije i dr.) o frekvencijskim opsezima koje trenutno razmatra i za koje se očekuje da će se u bliskoj budućnosti koristiti za razvoj 5G bežičnih širokopojasnih mreža.

Poslije više krugova javnih konsultacija i odlaganja, aukcija radio-frekvencija iz opsega 700MHz (2x30MHz), 3,4-3,8GHz (390MHz) i 26GHz (1000MHz), zajedno sa frekvencijama iz opsega 2,1GHz je sprovedena krajem 2020. godine. Licence su dodijeljene na period od 15+5 godina. Od 5G pionirskih opsega, mobilni operator *Vodafone* je na aukciji osvojio 2x10MHz u opsegu 700MHz, 140MHz u opsegu 3,6GHz i 400MHz u opsegu 26GHz, mobilni operator *Cosmote* 2x10MHz u opsegu 700MHz, 150MHz u opsegu 3,6GHz i 400MHz u opsegu 26GHz, a *Wind Hellas* 2x10MHz u opsegu 700MHz, 100MHz u opsegu 3,6GHz i 200MHz u opsegu 26GHz.

Prema uslovima dodjele, nosioci licence za radio-frekvencije iz opsega 700MHz moraju da:
- u roku od tri godine pokriju najmanje 99% stanovništva na nivou države i 95% stanovništva u svakom okrugu, najmanje 95% teritorije i teritorijalnih voda, 95% autoputeva, 95% željeznice mreže,
- u roku od tri godine omoguće pružanje usluge prenosa podataka brzinama od najmanje 100Mb/s na DL sa maksimalnim kašnjenjem od 10ms za najmanje 60% stanovništva, 60% autoputeva i željezničke mreže i 95% glavnih autoputeva,
- u roku od šest godina omoguće pružanje usluge prenosa podataka brzinama od najmanje 100Mb/s na DL sa maksimalnim kašnjenjem od 10ms za najmanje 90% stanovništva, 90% autoputeva i železničke mreže,
- u roku od pet godina omoguće pružanje usluge prenosa podataka brzinama od najmanje 100Mb/s na DL za najmanje 90% stnovništva koje živi u oblastima u kojima ne postoji druga infrastruktura za pružanje širokopojasnih usluga prenosa podataka.

Nosioci licence za radio-frekvencije iz opsega 3,4-3,8GHz moraju da:
- u roku od tri godine pokriju 20% stanovništva i da svoju mrežu razviju u najmanje dva okruga,
- u roku od pet godina instaliraju 5G bazne stanice na najmanje 300 lokacija,
- u roku od tri godine omoguće pružanje usluge prenosa podataka brzinama od najmanje 100Mb/s na DL sa maksimalnim kašnjenjem od 10ms duž većine glavnih kontinentalnih autoputeva i na glavnom putu sjeverno od Krita, a u roku od 6 godina duž svih grčkih autoputeva.

Svega nekoliko dana po završetku aukcije spektra *Wind Hellas* i *Cosmote* su pustiili u rad svoje 5G mobilne mreže u Atini i Solunu, koristeći dodijeljene frekvencije iz opsega 3,6GHz.

4.4. Status aktivnosti na implementaciji 5G mobilnih mreža u državama Zapadnog Balkana

Za potrebe ove Studije pod državama Regiona podrazumijevaju se države Zapadnog Balkana, tj. pored Crne Gore još i Albanija, Bosna i Hercegovina, Kosovo, Srbija i Sjeverna Makedonija. Ni u jednoj od pomenutih država 5G usluge još uvijek nijesu komercijalno dostupne, niti su dodijeljene frekvencije iz opsega koji su identifikovani za ranu implementaciju 5G mreža (700MHz, 3,6GHz i 26GHz), [73]-[77]. Status po pitanju raspoloživosti radio-frekvencija iz ovih opsega je različit. Testiranja 5G tehnologije su sprovedena u Sjevernoj Makedoniji, Srbiji, Albaniji i Bosni i Hercegovoni. Okvir za implementaciju 5G mobilnih mreža je u najvećem dijelu sadržan u nacionalnim strategijama razvoja širokopojasnog pristupa.

4.4.1. Status aktivnosti u pojedinim državama

Sjeverna Makedonija

Vlada Sjeverne Makedonije je 2019. godine usvojila Nacionalni operativni plan širokopojasnog pristupa za period 2019-2029. godina. U skladu sa strateškim ciljevima Digitalne agende za Evropu i EU Gigabitnog društva, plan definiše mapu puta za uvođenje i razvoj 5G mobilnih komunikacionih mreža sa sljedećim ciljevima:

- do kraja 2023. godine, najmanje jedan veći grad treba da bude pokriven 5G signalom,
- do kraja 2025. godine, glavni koridori u skladu sa Ugovorom o uspostavljanju Transportne zajednice na osnovnoj i sveobuhvatnoj putnoj mreži u zemlji treba da budu neprekidno pokriveni 5G signalom,
- do kraja 2027. godine, svi gradovi u zemlji treba da budu neprekidno pokriveni 5G signalom,
- do kraja 2029. godine, svaki stanovnik treba da ima mogućnost pristupa Internetu putem 5G mreže sa minimalnom brzinom od 100Mb/s,
- do kraja 2029. godine, najmanje 50% od ukupnog broja pretplatničkih ugovora domaćinstava širom zemlje treba da se odnosi na pristup Internetu brzinama od najmanje 100Mb/s,
- do kraja 2029. godine, sva domaćinstva treba da imaju mogućnost pristupa mreži koja omogućava brzinu prenosa podataka od najmanje 100Mb/s, uz mogućnost nadogradnje na brzinu reda Gb/s,
- do kraja 2029. godine, sve javne institucije (škole, univerziteti, istraživački centri i druge obrazovne institucije, zdravstvene ustanove, ministarstva, sudovi, lokalne samouprave i slično) treba da imaju simetrični pristup Internetu brzinom od najmanje 1Gb/s.

Nacionalni plan predviđa četiri stuba za podršku mjerama i aktivnostima u postizanju navedenih ciljeva: korišćenje državne pomoći, dodatne mjere za

podsticanje korišćenja pristupa ultrabrzom Internetu, unaprijeđeni pravni okvir i plan uvođenja i razvoja 5G mreža.

U pogledu RF spektra neophodnog za implementaciju 5G mobilnih mreža, nacionalno regulatorno tijelo Sjeverne Makedonije za oblast telekomunikacija (*AEK*) je od februara do aprila 2020. godine sprovelo javne konsultacije sa zainteresovanim stranama u vezi sa potrebama u pogledu RF spektra, uslovima dodjele radio-frekvencija, optimalnim načinom raspodjele resursa i trajanjem odobrenja za radio-frekvencije za 5G mreže.

Od februara 2020. godine opseg 700MHz je oslobođen od sistema zemaljske digitalne televizije (DVB-T), čime je omogućena njegova dodjela za mobilne mreže. Zbog povoljnih propagacionih karakteristika ovog opsega, *AEK* smatra da će upravo opseg 700MHz omogućiti mrežnim operatorima da u početnoj fazi ostvare sveobuhvatnu 5G pokrivenost, na osnovu postojeće mrežne infrastrukture.

Na osnovu rezultata javnih konsultacija, *AEK* planira da dodijeli 2x30MHz spektra u opsegu 700MHz na nacionalnom nivou i 300MHz spektra u opsegu od 3,6GHz na nacionalnom, te 68,5MHz na regionalnom nivou. Razmatra se postavljanje uslova pokrivanja shodno Nacionalnom operativnom planu širokopojasnog pristupa: najmanje jedan sjeverno-makedonski grad treba da ima neprekidnu 5G pokrivenost do kraja 2023. godine, a svi preostali gradovi do kraja 2027. godine, svi građani treba da imaju omogućen 5G pristup sa minimalnim protokom od 100Mb/s na *downlink*-u do 2029. godine. U opsegu 26GHz, čiji djelovi se koriste za fiksne veze, *AEK* planira dodjelu za mobilne mreže ukupno 1800MHz spektra. Aukcija spektra iz opsega 700MHz, 3,6GHz i 26GHz, koja je bila planirana za drugu polovinu 2020. godine, odložena je za drugi kvartal 2021. godine.

Na planu testiranja 5G tehnologije, u septembru 2018. godine mobilni operator *Makedonski Telekom* je objavio da je izveo prvi 5G demo u zemlji, tvrdeći da je na testovima postignuta najveća do tada zabilježena brzina prenosa podataka bežičnim putem u Sjevernoj Makedoniji.

U maju 2019. godine *Makedonski Telekom* i Fakultet za elektrotehniku i informacione tehnologije (*FEEIT*), koji je takođe *ITU* centar izvrsnosti, najavili su uspostavljanje partnerstva na polju testiranja 5G tehnologije. U saopštenju se navodi da će se testovi povezani sa 5G odvijati u *FEEIT*-ovoj „Laboratoriji za evoluciju 5G" sa sjedištem u Skoplju, koja je opremljena simulatorom jezgra 5G mreže i virtuelnog bežičnog pristupa.

U julu 2019. godine, *AEK* je izdao dvije privremene dozvole za testiranje 5G mreže u opsegu 3,6GHz. Mobilnom operatoru *A1* je za te svrhe dodijeljen opseg 3,7-3,8GHz (100MHz) sa periodom važenja do sredine jula 2020. godine, a *Makedonskom Telekomu* opseg 3,6-3,7GHz (100MHz) sa periodom važenja do kraja oktobra 2020. godine.

Novembra 2019. godine, *Makedonski Telekom* je pustio u rad probnu 5G mrežu u centru Skoplja, sa testovima koji su sprovedeni tokom 2020. godine i na osnovu njih će se mreža pripremiti za komercijalnu fazu. Svrha testne 5G mreže je testiranje performansi u stvarnim uslovima koji bi korisnicima omogućili nove usluge, kao što su: superbrzi fiksni bežični internet, VR (*Virtual Reality*) 3600 video uživo, VR igre u realnom vremenu, ultra-HD multi video *streaming* itd.

Krajem oktobra 2020. godine Vlada Sjeverne Makedonije se pridružila sporazumu o zabrani korišćenja 5G mrežne opreme nepouzdanih proizvođača "*5G Clean Network Security*", koji su sa Sjedinjenim Američkim Državama potpisale mnoge evropske države, poput Norveške, Švedske, Finske, Danske, Velike Britanije, Republike Irske, Francuske, Belgije, Luksemburga, Poljske, Češke, Slovačke, Slovenije, Litvanije, Estonije, Letonije, Ukrajine, Rumunije, Srbije, Bugarske, Grčke, Albanije i Kosova.

Srbija

U skladu sa strateškim okvirom Evropske unije, Vlada Republike Srbije je 2018. godine usvojila „Strategiju razvoja mreža nove generacije do 2023. godine", koja definiše mjere za obezbjeđivanje infrastrukturnog razvoja jedinstvenog digitalnog tržišta u zemlji. Uvođenje i širenje *cloud computing* servisa, IoT-a, kao i razvoj 5G mobilnih sistema, centralne su tačke ove nacionalne strategije. Dokument prepoznaje potrebu za ažuriranjem regulatornog okvira neophodnog za podršku razvoju 5G mreža u Srbiji. Orijentisana na ideju da je 5G, kao mreža buduće generacije, povezan sa ukupnim povećanjem bruto domaćeg proizvoda i društveno-ekonomskim razvojem, strategija precizira odgovarajuće ciljeve, posebno se fokusirajući na:

- razvoj okosnice širokopojasne mreže konsolidacijom infrastrukture koja je u državnom vlasništvu,
- razvoj širokopojasnih pristupnih mreža putem:
  - obezbjeđivanja uslova za lakšu izgradnju širokopojasne infrastrukture donošenjem zakona o širokopojasnom pristupu, što će pomoći telekomunikacionim operatorima da smanje troškove izgradnje takve infrastrukture dijeljenjem postojeće infrastrukture i omogućavanjem sticanja potrebnih dozvola,
  - pružanja državne pomoći operatorima ili drugim pravnim licima koja pristanu da grade svoju mrežu u oblastima u kojima postoji mala ekonomska održivost za izgradnju širokopojasne infrastrukture,
- pripremu dodjele spektra za razvoj novih tehnologija, posebno 5G.

Ostali ciljevi koji su u većoj ili manjoj mjeri relevantni za 5G uključuju:

- jačanje širokopojasnih kapaciteta za potrebe državnih/javnih institucija,
- nuđenje većeg skupa IP adresa prelaskom na IPv6,
- pružanje podsticaja za državnu pomoć operatorima koji pređu na IPv6,
- promovisanje uvođenja i upotrebe IoT-a,
- promovisanje uvođenja i upotrebe pametnih usluga u svim sektorima privrede,

- promovisanje *cloud computing* servisa i širenje centara podataka u zemlji,
- usvajanje standarda interoperabilnosti koji bi osigurali razmjenu velikih količina podataka između različitih entiteta s ciljem uvođenja pametnih usluga,
- razvijanje mehanizama za poboljšanje bezbjednosti rada na Internetu,
- poboljšanje uslova za obrazovanje stanovništva u oblasti ICT tehnologija na svim nivoima obrazovanja.

U Srbiji su za implementaciju 5G mobilnih mreža namijenjeni opsezi 700MHz, 3,6GHz i 26GHz, a na raspolaganju je i potpuno slobodni opseg 2,6GHz.

Vlada Republike Srbije usvojila je 2019. godine dokument „Osnove za razvoj inicijalne mreže za ispitivanje novih tehnologija neophodnih za uključivanje u jedinstveno digitalno tržište", koji reprezentuje razradu ciljeva definisanih u Strategiji razvoja mreža nove generacije do 2023. godine. Na osnovu tog dokumenta, nacionalno regulatorno tijelo za sektor telekomunikacija (*RATEL*) je dodijelilo licence za privremenu upotrebu spektra iz opsega 3,6GHz (100MHz; 3,45-3,55GHz) za testiranje 5G radio pristupa sa LTE sidrom u opsegu 2,6GHz (2x20MHz; 2,64-2,66GHz DL/2,52-2,54GHz UL) na osnoviu koje je pokrenuta inicijalna mreža za predkomercijalna ispitivanja 5G tehnologije.

U skladu sa Strategijom razvoja mreža sljedeće generacije do 2023. godine, resorno ministarstvo je u saradnji sa *OEBS*-om, organizovalo radionice namijenjene predstavnicima lokalnih samouprava na teritoriji Srbije, koje su istakle značaj novih tehnologija u širokopojasnom pristupu i njihov uticaj na razvoj industrije. Održane su prezentacije na kojima su predstavnici ministarstva, *RATEL*-a i akademske zajednice predstavili podatke i izazove u vezi sa postavljanjem baznih stanica. Prikazani su podaci o granicama nivoa izloženosti elektromagnetnom zračenju koje proizvode mobilni sistemi i izmjereni rezultati. Imajući u vidu značaj buduće 5G mreže i izazove koje uvodi ova tehnologija, *OEBS* je obezbijedio sredstva za izradu studije koja će obuhvatiti glavne aspekte njenog uvođenja, regulacije i eksploatacije. Cilj ove studije je da ne samo stručnjacima, već i javnosti pruži uvid u glavne performanse 5G tehnologije, kao i na prepreke koje bi mogle usporiti realizaciju nove mreže. Studiju će uraditi nezavisni stručnjaci u oblasti mobilnih komunikacija. Pored toga, *RATEL* je 2019. godine naručio studiju izvodljivosti o načinu i uslovima dodjele RF spektra za 5G mreže koja preporučuje da se radio-frekvencije iz opsega koji su identifikovani za ranu implementaciju 5G mreža dodijele na aukciji spektra na tehnološki neutralnoj osnovi, te da dodjele budu nacionalne sa periodom važenja od najmanje 15 godina. Aukcija spektra, koja je bila najavljena za drugu polovinu 2020. godine, pa odložena zbog COVID-19 pandemije za prvi kvartal 2021. godine, ponovo je odložena, najvjerovatnije za 2022. godinu.

Tokom digitalne skupštine 2018. godine u Sofiji, Bugarska, Grčka i Srbija potpisale su Pismo o namjerama za zajednički rad na prekograničnom 5G

koridoru: Solun - Sofija - Beograd za povezanu i automatizovanu mobilnost. Pismo o namjerama predviđa razmjenu podataka, zajednički pristup u regulativi i politiku koordiniranog djelovanja. Tri su glavna cilja ovog sporazuma:

- koridor će pružiti tehnološki neutralno čvorište za industriju, istraživačke centre, akademsku zajednicu i sve druge zainteresovane strane za testiranje i ocjenu inovativnih tehnologija za mobilnost,
- „učenje na osnovu iskustva" i razmjena informacija, kao ključne tačke u korišćenju koridora,
- prepoznavanje i koordinacija u specifičnim propisima za ispitivanje automatizovane vožnje, kao ključni aspekti saradnje.

U junu 2019. godine mobilni operator *Telenor* je pustio u testni rad prve 5G bazne stanice u Srbiji, na osnovu privremene dozvole za spektar u opsezima 2,6GHz i 3,6GHz, koje je *RATEL* prethodno dodijelio za 5G testitranje. Smještena u Naučno-tehnološkom parku u Beogradu, *Telenor*-ova 5G testna mreža postala je u septembru 2019. godine dostupna studentima Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, koji su bili prvi partneri u ovom projektu. Oslanjajući se na 5G testno okruženje koje omogućava *Telenor*, i druge kompanije razvijaju proizvode povezane sa primjenom 5G tehnologije. Na primjer, lokalni *start-up*-ovi (*Novelic* i *DigitalWork*) izveli su prezentacije razvijenih rešenja u vezi sa pametnom proizvodnjom i IoT simulacijama. Pored toga, u Naučno-tehnološkom parku u Beogradu američka kompanija koja se bavi razvojem dronova *Easy Aerial* sprovodi istraživanja i testove na dronovima sa omogućenom 5G tehnologijom za unapređenje pouzdanog video nadzora i integraciju sa drugim sistemima zasnovanim na bezbjednosti, koji mogu imati primjenu u sistemima hitnih službi.

U kontekstu 5G, kao pokretača projekata pametnih gradova i IoT ekosistema, Vlada Srbije je potpisala sporazum sa kompanijom *Huawei Technologies*, za izgradnju sistema predajnika i razvoj informacionog sistema koji bi trebalo da omogući implementaciju različitih usluga (senzori, svjetla i brojači za prikupljanje i analizu podataka - saobraćajna signalizacija, parking mjesta, očitavanje vodomjera, javna rasvjeta itd.), koji obuhvata najveće gradove u zemlji: Beograd, Novi Sad i Niš.

U septembru 2020. godine Srbija je sa Sjedinjenim Američkim Državama potpisala "*5G Clean Network Security*" sporazum o zabrani korišćenja 5G mrežne opreme nepouzdanih proizvođača.

Albanija

U junu 2020. godine, Vlada Albanije je odobrila i usvojila Nacionalni plan za održivi razvoj digitalne infrastrukture - Širokopojasna mreža 2020-2026. Kao važan instrument za postizanje ukupnih ciljeva plana prepoznato je blagovremeno uvođenje i razvoj 5G mobilnih komunikacionih mreža. Nacionalnim planom su postavljeni sljedeći ciljevi:

- do kraja 2025. godine postići širokopojasnu penetraciju od 100% domaćinstava, preduzeća i javnih institucija, tako da:
    - 50% ima pristup velike brzine od najmanje 1Gb/s (urbana područja),
    - 50% ima pristup brzinom od najmanje 100Mb/s,
- do kraja 2025. godine postići da 100% domaćinstava u ruralnim i udaljenim oblastima ima mogućnost širokopojasnog pristupa od najmanje 100Mb/s,
- do kraja 2025. godine postići da 100% škola bude povezano brzom širokopojasnom vezom od 1Gb/s,
- do kraja 2025. godine postići da 100% univerziteta bude povezano brzom širokopojasnom vezom od 1Gb/s,
- do kraja 2025. godine postići da 100% domova zdravlja i bolnica bude povezano brzom širokopojasnom vezom od 1Gb/s,
- do kraja 2025. godine imati jedan veći grad, glavne saobraćajne koridore i strateške lokacije pokrivene 5G mrežom,
- do kraja 2023. godine omogućiti besplatan Wi-Fi pristup u 50% najvećih javnih površina poput parkova, biblioteka i trgova u svim gradovima i selima.

Kao jedna od glavnih aktivnosti na osvarenju navedenih ciljeva, a koja se tiče implementacije 5G mobilnih mreža, je oslobađanje opsega 700MHz od sisetma zemaljske digitalne televizije i njegova dodjela mobilnim operatorima do kraja 2022. godine.

Dok se Albanija trenutno kreće ka ubrzanom masovnom pokrivanju 4G mrežom, Vlada je već prepoznala 5G kao važan naredni korak u razvoju širokopojasne infrastrukture. Ministarstvo za infrastrukturu i energetiku je sačinilo predlog mape puta sa pet ključnih preporuka za razvoj 5G mreža u Albaniji, koja tek treba da bude usvojena. Preporuke koje se razmatraju uključuju sljedeće: omogućiti blagovremenu dostupnost RF spektra, pojednostaviti procedure za izdavanje građevinskih dozvola, riješiti sva pitanja u vezi zaštite životne sredine i promovisati svijest o mogućnostima i prednostima 5G tehnologije.

Kao najveću prepreku razvoju 5G u Albaniji nacionalno regulatorno tijelo za sektor telekomunikacija (*AKEP*) navodi problem sa obezbjeđivanjem radio-frekvencijskog spektra za implementaciju 5G mreža. Naime, opseg 700MHz je u Albaniji dodijeljen i intenzivno se koristi za zemaljsku digitalnu televiziju, pa je njegova upotreba za razvoj 5G mreža uslovljena migracijom radio-difuznih sistema u opseg 470-694MHz. Kako se oslobađanje opsega 700MHz ne planira prije 2022. godine, *AKEP* smatra da je za početak pružanja 5G usluga tokom 2021. godine, što je jedan od ciljeva 5G mape puta, neophodno što prije dodijeliti radio-frekvencije iz opsega 3,6GHz.

U oktobru 2019. godine, *AKEP* je mobilnom operatoru *Vodafone* odobrio dvomjesečno korišćenje 100MHz u opsegu 3,6GHz za testiranje 5G tehnologije. Testiranja su sprovedena u novembru i decembru 2019. godine.

U oktobru 2020. godine potpisan je sporazum između Albanije i Kosova o realizaciji "digitalnog 5G koridora" duž autoputa Tirana-Priština.

Bosna i Hercegovina

Razvoj ICT sektora u Bosni i Hercegovini se trenutno zasniva na dokumentu Politika sektora elektronskih komunikacija Bosne i Hercegovine u periodu 2017-2021. godina, koja je usklađena sa Evropskom digitalnom agendom. Ovaj dokument razrađuje mjere i aktivnosti koje će voditi njihovoj primjeni, uključujući održavanje tržišne konkurencije koja dovodi do povećanja kvaliteta usluga i podstiče smanjenje cijena, kao i širenje širokopojasne infrastrukture u manje razvijenim i slabo naseljenim oblastima.

U odjeljku o razvoju tržišta navodi se primjena i razvoj novih tehnologija koje omogućavaju bežični širokopojasni pristup velikom broju potencijalnih korisnika širom zemlje. Takođe se navodi da Vlada planira da obezbijedi potrebne frekvencijske resurse kako bi se omogućio bežični širokopojasni pristup u urbanim, prigradskim i ruralnim područjima u zemlji, uz poštovanje principa tehnološke neutralnosti.

U Bosni i Hercegovini su tek 2019. godine puštene u rad 4G mobilne mreže, a po pitanju razvoja 5G mreža još uvijek nije bilo konkretnih aktivnosti. Međutim, radio-frekvencije iz opsega 800MHz, 900MHz, 1800MHz, 2100MHz i 2600MHz se dodjeljuju na tehnološki neutralnoj osnovi, pružajući tako operatorima mogućnost implementacije 5G tehnologije u okviru raspoloživih resursa. Nedavne javne izjave nacionalnog regulatora *RAK*-a, pokazuju pozitivne izglede za razvoj 5G u zemlji u kontekstu poslovnih prilika i usluga za pametne gradove. *RAK* naglašava da obim ulaganja u 5G mrežu zahtijeva višemilionska sredstva i da će uspjeh u razvoju 4G mreža direktno oblikovati razvoj 5G.

S obzirom na kasno uvođenje 4G mreža i na kašnjenje u razvoju infrastrukture i regulative, neizvjesno je kada će biti dodijeljene radio-frekvencije iz opsega koji se smatraju pogodnim za razvoj 5G mreža.

Nekoliko mjeseci nakon početka pružanja 4G usluga, u avgustu 2019. godine, sarajevski *BH Telecom* - zajedno sa svojim partnerima *Huawei*, *Ericsson* i *Samsung* - predstavio je karakteristike 5G mreže, uključujući mogućnosti i područja primjene nove tehnologije. U maju 2020. godine *BH Telecom* je uspješno testirao 5G tehnologiju u Sarajevu, postižući brzine prenosa podataka od 1,4Gb/s u *downlink*-u. Na prezentaciji rezultata testova, *BH Telecom* je javno objavio da se kompanija nada da će koristiti 5G tehnologiju za podršku proizvodnji i distribuciji audiovizuelnog sadržaja, u saradnji sa TV kompanijama u zemlji, kao i za pružanje usluge fiksnog bežičnog pristupa (FWA) u ruralnim područjima. Od tada kompanija nije sprovodila nikakve dodatne aktivnosti na proširenju ili komercijalizaciji 5G mreže.

Kosovo

O aktivnostima na implementaciji 5G mobilnih mreža u Kosovu nema dovoljno javno dostupnih informacija.

U septembru 2020. godine Kosovo je sa Sjedinjenim Američkim Državama potpisalo sporazum o zabrani korišćenja 5G mrežne opreme nepouzdanih proizvođača, a u oktobru iste godine sa Albanijom sporazum o realizaciji "digitalnog 5G koridora" duž autoputa Tirana-Priština.

4.4.2. Memorandum o razumijevanju o 5G planu za digitalnu transformaciju regiona Zapadnog Balkana

Predstavnici vlada Albanije, Bosne i Hercegovine, Crne Gore, Sjeverne Makedonije, Kosova i Srbije potpisali su u novembru 2020. godine u Tirani Memorandum o razumijevanju o 5G planu za digitalnu transformaciju regiona Zapadnog Balkana, [78].

Svrha Memoranduma je promocija digitalne transformacije kroz četiri područja: (1) Mrežna i servisna povezanost, (2) Povjerenje i bezbjednost, (3) Digitalne vještine i (4) Digitalna ekonomija, u skladu sa odgovarajućim regionalnim i EU strateškim dokumentima, uz istovremeno jačanje saradnje na obostranu korist.

Da bi to postigle, države potpisnice Memoranduma su se obavezale da će:

- Predano raditi na usvajanju novih politika, regulatornih i tehničkih mjera koje olakšavaju administrativno opterećenje, olakšavaju i podržavaju privatne inicijative, stimulišu investicije, osiguravaju održivo konkurentno okruženje, jačaju saradnju u regiji, uklanjaju nepotrebne barijere i promovišu najbolje prakse;
- Sarađivati jedni s drugima na rješavanju bilo kakvih problema sa interferencijom u radio-frekvencijskim opsezima, posebno onim za implementaciju 5G mreža.

U cilju podrške razvoja bezbjednih gigabitnih mreža putem 5G tehnologije države potpisnice Memoranduma su se obavezale da:

- Pokrenu proces usklađivanja nacionalnog zakonodavstva za elektronske komunikacije sa Evropskim zakonikom o elektronskim komunikacijama;
- Rade na tome da pionirski opsezi za ranu implementaciju 5G mreža što prije postanu dostupni. Pri tome i u slučaju evidentne oskudice spektra, potpisnici će razmotriti najbolju praksu u Evropskoj uniji i postizanje opštih ciljeva postavljenih u Evropskom zakoniku o elektronskim komunikacijama;
- Sarađuju jedni s drugima i održavaju otvorene i transparentne procese konsultacija o spektru, osiguravajući poštene i nediskriminatorne dodjele spektra u skladu s najboljom praksom u Evropskoj uniji;
- Osiguraju da mobilni operatori imaju mogućnost da dobiju frekvencijske dozvole za testiranje, u razumnom vremenskom periodu;

- Podržavaju širenje gigabitnih mreža omogućavanjem brzog, troškovno orijentisanog pristupa objektima u državnom vlasništvu (npr. energetskih, vodovodnih, željezničkih) ili drugoj prenosnoj infrastrukturi u vlasništvu opština i javnih ustanova, kao i ulaganju napora u pojednostavljivanje postupka za izdavanje građevinskih dozvola. U tu svrhu treba uzeti u obzir Smjernice EU za primjenu pravila o državnoj pomoći u vezi sa brzim postavljanjem širokopojasnih mreža;
- Zaštite održivo investiciono okruženje, pružajući predvidljivost privatnim investitorima u mreže, s aspekta stabilnosti povoljnih investicionih uslova, i osiguravajući da konkurentno okruženje ostane neometano u smislu izlaganja prekomjernom ili neodgovarajućem regulatornom riziku;
- Ublaže administrativno opterećenje i preispitaju procedure licenciranja i s njima povezane naknade (npr. za prenosne kapacitete);
- Osiguraju da nadležni organi u svakoj ekonomiji imaju odgovarajuće osoblje kako bi se proces procjene i osiguravanja poštovanja bezbjednosnih ograničenja elektromagnetnog polja (EMP) izvodio u skladu s najboljom praksom u Evropskoj uniji.

U cilju promocije povjerenja i sigurnosti, države potpisnice su se obavezale da:
- Preduzmu, na osnovu dostupnog stručnog i naučnog znanja, mjere podizanja svijesti u javnosti kako bi svi građani bili adekvatno informisani o zdravstvenim pitanjima u vezi sa 5G mrežama i mjerama zaštite koje sprovodi država i mobilni operatori;
- Preduzmu proporcionalne, odgovarajuće i na riziku zasnovane bezbjednosne mjere za 5G mreže i usluge, vodeći računa o Procjeni rizika Evropske Unije iz oktobra 2019. godine i njihovom Alatu za bezbjednost 5G mreža objavljenom 29. januara 2020. godine.

U cilju suzbijanja klimatskih prmjena, države potpisnice su se obavezale da:
- Uspostave i implementiraju neophodni okvir koji omogućava operatorima da smanje troškove i povećaju upotrebu obnovljivih izvora u razvoju 5G mreža;
- Razviju akcioni plan s naglaskom na promovisanje cirkularne ekonomije i čistih tehnologija.

Jedna od važnih tačaka Memoranduma je usklađivanje strategija/akcionih planova za 5G u regionu Zapadnog Balkana, koje bi po mogućnosti trebale u svakoj od zemalja potpisnica da budu donešene do kraja 2021. godine.

4.5. Ključni elementi primijenjenih strategija i mogućnost primjene na implementaciju 5G mobilnih mreža u Crnoj Gori

Iz pregleda sprovedenih i planiranih aktivnosti na uvođenju i daljem razvoju 5G mobilnih komunikacionih mreža u državama članicama Evropske unije i državama regiona zaključuje se da ne postoji jedinstven pristup. Svaka država je svoju strategiju uvođenja 5G mreža razvijala polazeći od stanja na nacionalnom nivou i ciljeva koji se žele postići, uzimajući u obzir i specifične karakteristike lokalnog tržišta, uključujući i raspoloživost RF spektra za

implementaciju 5G mreža. Države članice Evropske unije, iako u različitim fazama implementacije 5G mreža, uglavnom su slijedile vremenski okvir definisan EU 5G Akcionim planom. Pri tome, pokazalo se da izostanak blagovremene dodjele spektra iz opsega koji su prepoznati kao pogodni za ranu implementaciju 5G mreža, ne mora biti prepreka za uvođenje 5G usluga.

Različit pristup je evidentan po gotovo svim segmetima, od usvajanja posebnih strateških dokumenata za uvođenje 5G mreža, preko raspoloživosti i vremenskog okvira za dodjelu RF spektra u opsezima koji su označeni kao pogodni za ranu implementaciju, zahtjeva u pogledu obima i dinamike pokrivanja signalom 5G mreža, vremenskog okvira za testiranje 5G tehnologije, do načina uvođenja 5G usluga na tržište. Međutim, i pored toga mogu se prepoznati zajednički elementi primijenjenih strategija koje svakako treba detaljnije razmotriti prilikom definisanja mape puta za efikasno uvođenje i dalji održiv razvoj 5G mobilnih mreža u Crnoj Gori.

Kao ključni elementi primijenjenih strategija prepoznati su:
- blagovremeno obezbjeđivanje i dodjela frekvencijskih resursa za implementaciju 5G mobilnih mreža,
- omogućavanje testiranja 5G tehnologije u cilju predstavljanja karakterstika i mogućnosti primjene nove tehnologije,
- omogućavanje lakše izgradnje širokopojasnih mreža (optičkih i 5G), kroz pojednostavljenje procedura dobijanja odgovarajućih dozvola uz smanjenje troškova izgradnje infrastrukture,
- promocija inovacija i pospješivanje razvoja novih digitalnih aplikacija u svim granama privrede i javnih djelatnosti,
- saradnja između javnog sektora na državnom i lokalnom nivou, mobilnih operatora, vertikalnih industrija i akademske zajednice na kreiranju okvira za ostvarivanje ukupnih benefita za privredu i društvo od korišćenja nove tehnologije,
- razmatranje svih rizika u vezi sa korišćenjem 5G mobilnih mreža na transparentan, objektivan i inkluzivan način, zasnovan na stručnim i naučnim činjenicama.

Po svim navedenim elementima postoje različiti pristupi koji su primijenjeni u različitim državama i koji mogu biti interesantni za dalju analizu po pitanju cjelishodnosti njihove primjene u Crnoj Gori. Direktna primjena nekih rješenja zavisi od trenutnog stanja na lokalnom nivou po svim aspektima, postavljenih ciljeva i identifikovanih izazova, pri čemu se mora uzeti u obzir i vremenski okvir u kome je neophodno sprovesti odgovarajuće aktivnosti, a što će biti predmet detaljnog razmatranja u Glavama 8 i 9 ove Studije.

5. POTENCIJALNA PODRUČJA PRIMJENE I MOGUĆI SCENARIJI KORIŠĆENJA 5G MOBILNIH KOMUNIKACIONIH MREŽA U CRNOJ GORI

U Glavi 3 ove Studije detaljno su opisane osnovne kategorije *5G* servisa (eMBB, mMTC i URLLC) prema ITU-R-u, indikatori performansi i servisni zahtjevi 5G mreža, faze u razvoju 5G servisa, pregled potencijalnih područja primjene 5G mreža u raznim vertikalnim sektorima, doprinos 5G tehnologije održivoj (zelenoj) industriji. Posebno detaljno su analizirani razni scenariji primjene 5G mreža, kako oni koje je definisao 3GPP, tako i druge klasifikacije 5G scenarija primjene. U cilju analize potencijalnih područja primjene i mogućih scenarija korišćenja 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori, Obrađivač Studije je u saradnji sa Agencijom za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost (*EKIP*) sačinio odgovarajući Upitnik, koji je upućen na adrese četiri kategorije subjekata, i to: operatorima mobilnih komunikacionih mreža, ICT kompanijama, kompanijama u vertikalnim industrijskim sektorima i institucijama iz javnog sektora. U ovoj Glavi Studije analizirani su neki od potencijalnih scenarija korišćenja 5G mobilnih mreža od strane individualnih korisnika i od strane vertikalnih industrijskih sektora u Crnoj Gori, sa posebnim osvrtom na turizam, poljoprivredu, energetiku, zaštitu životne sredine i javnu administraciju na državnom i lokalnom nivou. Polaznu osnovu za ovu analizu predstavljaju odgovori na navedeni Upitnik.

5.1. Analiza odgovora na Upitnik po kategorijama anketiranih subjekata

5.1.1. Odgovori mobilnih operatora

Mobilnim operatorima su upućena sljedeća pitanja:

- *Da li je implementacija 5G tehnologije do kraja 2022. godine dio vaše strategije razvoja mobilne elektronske komunikacione mreže u Crnoj Gori? Molimo vas da navedete vaše planove u vezi sa razvojem 5G mobilne mreže u periodu 2021-2025. godina. Koji scenario implementacije 5G mobilnih mreža planirate da primijenite?*
- *Za koji scenario korišćenja 5G mobilnih mreža smatrate da će biti dominantan u ranoj fazi korišćenja 5G mobilnih mreža u Crnoj Gori? Za koje usluge očekujete da će biti najbolje prihvaćene od strane korisnika u ranoj fazi korišćenja 5G mobilnih mreža u Crnoj Gori?*
- *Koje benefite od uvođenja 5G mobilnih mreža, prema vašem mišljenju, mogu očekivati individualni korisnici, poslovni korisnici i kompanije u ICT sektoru u Crnoj Gori?*
- *Za koje vertikalne sektore u Crnoj Gori, uključujući i javnu upravu na državnom i lokalnom nivou, smatrate da mogu imati značajnije benefite od uvođenja 5G mobilnih mreža? Molimo vas da detaljnije objasnite na čemu zasnivate vaš stav.*

- *Na koji način, prema vašem mišljenju, 5G mobilne mreže mogu doprinijeti ukupnom društvenom i ekonomskom napretku Crne Gore? Molimo vas da detaljnije objasnite na čemu zasnivate vaš stav.*
- *Koja konkretna ograničenja (regulatorna, spektralna, infrastrukturna, strukturalna i sl.) vidite kao barijeru za efikasno uvođenje i održiv razvoj 5G mobilnih mreža u Crnoj Gori?*
- *Koje mjere i aktivnosti, prema vašem mišljenju, treba da sprovede Agencija i drugi nadležni organi javne uprave na državnom i lokalnom nivou kako bi se omogućilo efikasno uvođenje i održiv razvoj 5G mobilnih mreža u Crnoj Gori?*
- *Molimo da navedete vaše mišljenje o bilo kom drugom pitanju za koje smatrate da može biti od važnosti za kreiranje uspješne strategije uvođenja 5G mobilnih mreža u Crnoj Gori.*

Odgovori su dobijeni od sva tri operatora mobilnih telekomunikacionih mreža.

Pri tome, operatori ne daju decidan odgovor na pitanje koje je vezano za planove implementacije 5G tehnologije do kraja 2022. godine Crnogorski Telekom iznosi namjeru o testnoj implementaciji, o čemu je obavjestio Agenciju. Kada je u pitanju period od 2021.-2025. godine operatori navode da planiraju implementaciju 5G mreža bez navođenja vremenske dinamike. Mtel smatra da u impementaciju 5G mreža ne treba krenuti prije 2023. godine, te da prethodno treba iskoristiti sve mogućnosti postojećih mreža. Crnogorski Telekom planira uvođenje 5G-a primarno u postojećim frekvencijskim opsezima. Telenor posjeduje odgovarajuću strategiju implementacije za koju navodi da je izuzetno vezana za moguća ograničenja isporučioca opreme. Za početak rada izbor je NSA (*Non-Standalone*) opcija koja podrazumijeva nastavak korišćenja postojećeg EPC jezgra mreže i tehnološki suživot LTE i 5G NR tehnologija. Razvoj 5G jezgra mreže ostavlja se za kasnije faze, a samim tim i servisa koji zahtijevaju ovakvo jezgro. Kada je u pitanju dinamika pokrivanja, Telenor navodi da su prioritet Podgorica, veći gradovi i turistički centri na primorju, kao što je to bio slučaj i sa razvojem LTE mreže.

U pogledu scenarija primjene 5G mobilnih mreža u ranoj fazi, Telenor i Crnogorski Telekom navode eMBB, koji prije svega treba da poboljša postojeće korisničko iskustvo pri prenosu podataka, naročito prilikom upotrebe zahtjevnih aplikacija. Kada su usluge (servisi) u pitanju smatraju da će uz eMBB, fiksni bežični pristup (FWA) putem 5G tehnologije i *cloud gaming* biti interesantni. Telenor navodi spremnost pružanja servisa u vertikalnim industrijama u skladu sa zahtjevima.

Kada su u pitanju benefiti od uvođenja 5G mreža u Crnoj Gori, Telenor smatra da će individualni korisnici osjetiti benefite u vidu povećanja brzine pristupa Internetu uz visoku pouzdanost, video *streaming* u 4k rezoluciji i slično. Kompanije će moći da koriste specijalizovane servise za vertikalne industrije uz unaprijeđenje svog poslovanja korišćenjem 5G mreža, dok ICT sektor treba da dobije novu osnovu za razvoj tržišno orjentisanih servisa i

uređaja koji će koristiti 5G tehnologiju. Crnogorski Telekom smatra da u ranoj fazi neće biti značajnih benefita za individualne korisnike, izuzev povećanja kvaliteta i brzine postojećih servisa. Kada su poslovni korisnici u pitanju 5G će po njihovom mišljenju stvoriti osnovu za automatizaciju i mogućnost prenosa velike količine informacija. Mtel smatra da je uslov za postizanje benefita krajnjim korisnicima reorganizacija crnogorske privrede, a posebno obrazovnog sistema.

Telenor smatra da u pogledu vertikalnih sektora i javne uprave u Crnoj Gori 5G najviše treba da doprinese digitalizaciji javne uprave, razvoju koncepta pametnih gradova, unaprijeđenju rada turističkih kompleksa, energetskoj efikasnosti, unaprijeđenju poljoprivredne proizvodnje, transporta, regulacije saobraćaja, upravljanja otpadom. Pored toga smatraju da će 5G omogućiti snažniji razvoj *start-up*-ova, unaprijediti zdravstvene usluge i poboljšati informisanost. Crnogorski Telekom očekuje da će 5G dati snažnu podršku digitalizaciji društva putem blagovremenog usklađivanja sa globalnim trendovima. Mtel navodi da su 5G mreže osnova za pojedine vertikalne sektore, ali da najveći broj njih još uvijek nije spreman za masovnu implementaciju.

Takođe, Mtel smatra da se kroz 5G tehnologiju uvode novi revolucionarni servisi koji će imati izuzetan doprinos za ukupni društveni i ekonomski napredak Crne Gore. Smatraju da Crna Gora treba u optimalno vrijeme da započne implementaciju 5G mreža, te da u naredne dvije godine neće biti izrazitih objektivnih potreba za započinjanjem izgradnje ovih mobilnih mreža. Crnogorski Telekom smatra da će 5G postepeno uticati na područja koja se smatraju najvećim generatorima ekonomskog rasta. Telenor smatra da dio ekonomskog efekta može biti prouzrokovan samim investicijama u frekvencijski spektar, izgradnju mrežne infrastrukture, razvoju servisa i nabavci terminala. Veći dio ekonomskih efekata očekuju u drugim industrijama, a uz podršku 5G tehnologije, te da će 5G tehnologije doprinijeti stvaranju dodatne vrijednosti u tim industrijama.

Operatori barijeru za razvoj 5G mreža vide u postojećem zakonskom okviru koji otežava dobijanje raznih vrsta dozvola, neadekvatnim katastarskim podlogama, planskim dokumentima, preklapanjima nadležnosti pri izgradnji telekomunikacionih objekata i slično. Mtel navodi neophodnost utvrđivanja kvaliteta spektra, odnosno svakog pojedinačnog bloka koji se stavlja na raspolaganje mobilnim operatorima. Telenor smatra da ograničenja mogu proizaći i iz obaveza u pogledu obima i dinamike pokrivanja, ukazuje na ograničenja u pogledu izgradnje optičke infrastrukture, na moguća ograničenja u pogledu izbora proizvođača mrežne opreme, te ograničenja koja se ogledaju u izraženom negativnom stavu laičke javnosti u pogledu izgradnje 5G mreža.

Operatori očekuju podršku Agencije i drugih nadležnih organa za efikasno uvođenje i održiv razvoj 5G mreža, uključujući i unaprijeđenje zakonske regulative, a prije svega donošenje novog Zakona o elektronskim komunikacijama. Smatraju da uslovi pod kojima se vrši dodjela spektra

treba da budu stimulativni i dodatno podržani podsticajnim mjerama, nižom rezervisanom cijenom spektra, pogodnim načinom plaćanja, vremenski manje zahtijevnim obavezama u smislu obima i dinamike pokrivanja. Od Agencije očekuju jasno definisanu politiku dodjele i korišćenja radio-frekvencijskog spektra u svim opsezima, kao i eventualnih ograničenja u pogledu izbora proizvođača mrežne opreme.

Operatori smatraju da je neophodno uspostaviti dijalog svih relevantnih subjekata za rješavanje otvorenih pitanja u cilju uspješne implementacije 5G mreža u Crnoj Gori.

5.1.2. Odgovori ICT kompanija

ICT kompanijama su upućena sljedeća pitanja:

- *Da li se vaša kompanija bavi ili namjerava da se bavi razvojem aplikacija za korisnike mobilnih mreža i/ili ICT rješenja za kompanije u tzv. vertikalnim sektorima (industrijama koje u svrhu obavljanja sopstvene djelatnosti imaju potrebu za povezanošću) ili u javnoj upravi na državnom ili lokalnom nivou? Molimo vas da ukratko objasnite o kakvim aplikacijama, odnosno rješenjima se radi.*
- *Da li ste upoznati sa komunikacionim mogućnostima, funkcionalnostima, scenarijima korišćenja i potencijalnim područjima primjene 5G mobilnih mreža? Za koje primjene 5G mreže smatrate da u Crnoj Gori postoji kapacitet za razvoj IT podrške za njihovu realizaciju?*
- *Za koji od scenarija korišćenja 5G mobilnih mreža (eMBB, mMTC ili UR-LLC) smatrate da ima najveći potencijal za saradnju između mobilnih operatora, ICT kompanija i odgovarajućih vertikalnih sektora u Crnoj Gori, uključujući i javnu upravu na državnom i lokalnom nivou? Molimo vas da detaljnije objasnite na čemu zasnivate vaš stav.*
- *Za koje vertikalne sektore u Crnoj Gori, uključujući i javnu upravu na državnom i lokalnom nivou, smatrate da mogu imati značajnije benefite od ICT rješenja koja se zasnivaju na 5G mobilnim mrežama? Molimo vas da detaljnije objasnite na čemu zasnivate vaš stav.*
- *Na koji način, prema vašem mišljenju, 5G mobilne mreže i ICT rješenja koja se na njima zasnivaju mogu doprinijeti ukupnom društvenom i ekonomskom napretku Crne Gore? Molimo vas da detaljnije objasnite na čemu zasnivate vaš stav.*
- *Koja konkretna ograničenja (zakonska, kadrovska, strukturalna i sl.) vidite kao barijeru za razvoj ICT rješenja zasnovanih na 5G mobilnim mrežama u Crnoj Gori?*
- *Koje mjere i aktivnosti, prema vašem mišljenju, treba da sprovede Agencija i drugi nadležni organi javne uprave na državnom i lokalnom nivou kako bi se omogućilo atraktivno okruženje za razvoj ICT rješenja zasnovanih na 5G mobilnim mrežama u Crnoj Gori?*
- *Molimo da navedete vaše mišljenje o bilo kom drugom pitanju za koje smatrate da može biti od važnosti za kreiranje uspješne strategije uvođenja 5G mobilnih mreža u Crnoj Gori.*

Odgovori su dobijeni od šest ICT kompanija, uključujući Mtel i Crnogorski Telekom koji su dostavili odgovor i na ovaj Upitnik, obzirom da namjeravaju da se bave razvojem aplikacija za korisnike 5G mobilnih mreža.

Od šest ICT kompanija koje su dostavile odgovor na Upitnik tri su odgovorile da nemaju planove za razvoj aplikacija za korisnike 5G mreža i/ili rješenja za kompanije u vertikalnim sektorima uključujući i javnu upravu. Crnogorski Telekom planira da nastavi jačanje svoje tržišne pozicije novim rješenjima u skladu sa potrebama tržišta na raznim poljima, kako za pojedinačne sektore tako i za potrebe vertikalnih sektora i javne uprave. MTEL, pored razvoja aplikacija za pojedinačne korisnike, ima planove koji podrazumijevaju i sve aktivniji pristup u domenu razvoja ICT rješenja za kompanije u vertikalnim sektorima i/ili u javnoj upravi na državnom i lokalnom nivou.

Sve ICT kompanije koje su dostavile odgovor na Upitnik ističu da su upoznate sa komunikacionim mogućnostima, funkcionalnostima, scenarijima korišćenja i potencijalnim područjima primjene 5G mobilnih mreža. Smatraju da IT podrška može biti ostvarena u rješenjima u oblasti poljoprivrede, upravljanja otpadom, automatizaciji procesa, zdravstvu, obrazovanju, monitoringu saobraćaja, elektroenergetskom sektoru i slično.

Većina ICT komanija navodi da u ranoj fazi implemetacije 5G mreža najveći potencijal za saradnju mobilnih operatora, ICT kompanija i kompanija iz vertikalnih sektora (uključujući i javnu upravu) ima eMBB scenario, nakon čega se izjašnjavaju za mMTC scenario, dok za URLLC smatraju da je neophodno stvoriti veliki broj preduslova kako bi se ovaj scenario efikasno i bezbjedno mogao implementirati.

ICT kompanije smatraju da se benefiti od ICT rješenja zasnovanih na 5G mobilnim mrežama mogu ostvariti u skoro svim vertikalnim sektorima i javnoj upravi, a naročito u elektroenergetskom sektoru, poljoprivredi, saobraćaju, unaprijeđenju turističke ponude, monitoringu parametara životne sredine, upravljanju otpadom, konceptu pametnih gradova, upravljanju saobraćajem i slično.

Većina ICT kompanija naglašava očekivanje da će nakon masovne implementacije 5G mreža one postepeno uticati na sva područja koja se smatraju najvećim generatorima ekonomskog rasta. Sama implementacija neće donijeti benefite za ekonomiju, ali treba da posluži kao osnova za razvoj servisa i aplikacija u područjima koja definišu najveći ekonomski rast. Proces digitalizacije u svom punom obimu i formiranje digitalnog tržišta posmatraju kao pokretače ukupnog društvenog i ekonomskog napretka.

U pogledu konkretnih ograničenja za razvoj ICT rješenja zasnovanih na 5G mobilnim mrežama u Crnoj Gori, ICT kompanije navode neadekvatan zakonodavni okvir, komplikovane i spore procedure za dobijanje raznih dozvola, nedovoljno razvijenu svijest za objektivno prihvatanje promjena i automatizacije poslovnih i društvenih procesa, kako u kompanijama tako i u

društvu, izražen negativan stav laičke javnosti u pogledu izgradnje 5G mreža, moguću nedovoljnu rasprostranjenost korisničkih uređaja koja će usporavati masovno korišćenje, nedostatak tehnološki visokoobrazovanog kadra kako za razvoj, tako i za implementaciju već postojećih rješenja, zatvorenost privrednih subjekata i javne uprave u Crnoj Gori u pogledu uvođenja ICT rješenja, neprilagođenost zakonske regulative koja uzima u obzir modernu organizaciju ICT kompanija, nekonkurentnost ICT rješenja prilagođenih malom tržištu kakvo je crnogorsko i slično.

Prema mišljenju ICT kompanija potrebna je javna kampanja koja treba da pojasni prednosti, ali i ostale aspekte implementacije 5G mreža. Smatraju da je neophodno prilagoditi obrazovni sistem sa ciljem dobijanja kvalitetnog visokoobrazovanog kadra koji će biti nosilac budućeg razvoja, ali i implementacije već gotovih ICT rješenja. Mišljenja su da je neophodno ohrabriti privredne subjekte, što uključuje i podsticaje, za implementaciju savremenih ICT rješenja uz prilagođenje zakonske regulative modernoj organizaciji ICT kompanija. Sugerišu da je potrebno osmisliti mehanizme za podršku kompanijama, kako bi ICT rješenja realizovana u Crnoj Gori bila konkurentna na regionalnom i svjetskom tržištu.

5.1.3. Odgovori kompanija iz vertikalnih sektora

Kompanijama iz vertikalnih sektora su upućena sljedeća pitanja:

- *Da li vaša kompanija u svojim poslovnim procesima (upravljačkim, administrativnim, proizvodnim, logističkim, nadzornim i dr.) koristi specijalizovana ICT rješenja, uključujući i ona koja podrazumijevaju prenos poruka bilo koje vrste (govorna komunikacija, podaci, multimedija, mjerni podaci, podaci o lokaciji, komande i sl.) elektronskim putem? Molimo vas da ukratko objasnite o kakvim primjenama, odnosno rješenjima se radi.*
- *Da li ste upoznati sa komunikacionim mogućnostima, funkcionalnostima, scenarijima korišćenja i potencijalnim mogućnostima primjene 5G mobilnih mreža u djelatnosti kojom se bavi vaša kompanija?*
- *Za koji od scenarija korišćenja 5G mobilnih mreža (eMBB, mMTC ili UR-LLC) smatrate da može naći primjenu u poslovnim procesima koji se obavljaju u vašoj kompaniji? Koje benefite od primjene 5G mobilnih mreža očekujete? Molimo vas da detaljnije objasnite na čemu zasnivate vaš stav.*
- *Na koji način, prema vašem mišljenju, primjena inovativnih ICT rješenja koja se zasnivaju na 5G mobilnim mrežama može doprinijeti povećanju efikasnosti poslovanja vaše kompanije? Molimo vas da detaljnije objasnite na čemu zasnivate vaš stav.*
- *Na koji način, prema vašem mišljenju, primjena inovativnih ICT rješenja koja se zasnivaju na 5G mobilnim mrežama može doprinijeti ukupnom društvenom i ekonomskom napretku Crne Gore? Molimo vas da detaljnije objasnite na čemu zasnivate vaš stav.*

- *U slučaju da se vaša kompanija opredijeli za uvođenje odgovarajućih ICT rješenja koja se zasnivaju na 5G mobilnim mrežama, da li bi vaše poslovanje oslonili na mrežu nekog od mobilnih operatora ili bi radije razvijali sopstvenu lokalnu 5G mrežu (5G selfdeploymet)? Molimo vas da detaljnije objasnite razloge opredijeljenja za naznačeno rješenje.*
- *Koje mjere i aktivnosti, prema vašem mišljenju, treba da sprovede Agencija i drugi nadležni organi javne uprave na državnom i lokalnom nivou kako bi se kreiralo povoljno okruženje za ekspanziju tehnoloških i poslovnih inovacija u vertikalnim sektorima?*
- *Molimo da navedete vaše mišljenje o bilo kom drugom pitanju za koje smatrate da može biti od važnosti za kreiranje uspješne strategije uvođenja 5G mobilnih mreža u Crnoj Gori.*

Odgovori su dobijeni od svega pet kompanija.

Ove kompanije koriste ICT rješenja za potrebe djelimično automatizovanih sistema za upravljanje proizvodnjom, za integraciju i nadzor sistemima upravljanja, za prenos poslovnih i tehničkih podataka između dislociranih objekata, za akviziciju podataka sa udaljenih mjernih mjesta, rješenja za upravljanje poslovnim procesima i resursima. ICT sistem CGES-a (Crnogorski Elektroprenosni Sistem) uključuje monitoring i upravljanje elektroenergetskim sistemom, prenos signala zaštite dalekovoda, prenos podataka za obračunsko mjerenje i poslovni informacioni sistem. CGES posjeduje sopstvenu optičku infrastrukturu u dužini od oko 850km.

Kompanije iz elektroenergetskog sektora navode da su djelimično upoznate sa komunikacionim mogućnostima, funkcionalnostima, scenarijima korišćenja i potencijalnim mogućnostima primjene 5G mobilnih mreža u djelatnosti kojom se bave. Ove kompanije generalno smatraju da su im interesantni svi scenariji primjene, pri čemu EPCG smatra da će eMBB scenario biti interesantan u početnoj fazi korišćenja 5G mreža, nakon toga mMTC scenario, a kasnije i URLLC. CGES iskazuje interesovanje za servisima koji zahtijevaju minimalno kašnjenje i prenos velike količine podataka u realnom vremenu.

Kompanije smatraju da će unaprijeđeni širokopojasni pristup Internetu pozitivno uticati na njihovo poslovanje, te da će ponuđeni scenariji korišćenja doprinijeti energetskoj efikasnosti, efikasnom upravljanju SCADA sistemima proizvodnih objekata, brzoj razmjeni informacija sa poslovnim subjektima i interakciji sa kupcima/potrošačima u realnom vremenu. Mišljenja su da primjena inovativnih ICT rješenja koja se zasnivaju na 5G mobilnim mrežama u Crnoj Gori može doprinijeti razvoju poljoprivrede, očuvanju životne sredine, upravljanju otpadom, unaprijeđenju saobraćaja i javnih službi, razvoju koncepta pametnih gradova, poboljšanju zdravstvenih usluga. Takođe navode da je važno da se posredstvom 5G mreže može ostvariti širokopojasni pristup Internetu i u ruralnim oblastima koje ne dotiče fiksna telekomunikaciona infrastruktura. U konačnom, da navedena rješenja treba da daju svoj ključni doprinos ukupnoj digitalnoj transformaciji društva.

Za uvođenje odgovarajućih ICT rješenja koja se zasnivaju na 5G mobilnim mrežama kompanije iz vertikalnih sektora koje su dostavile odgovor na Upitnik bi se opredjelile za korišćenje 5G mreže nekog od mobilnih operatora. Smatraju da u ovom trenutku treba obezbijediti kvalitetne informacije i edukaciju u pogledu mogućnosti koje 5G mreže nude kompanijama iz vertikalnih sektora, sa posebnim akcentom na edukaciju upravljačkih struktura u privredi i javnoj upravi, uključujući i lokalnu samoupravu. I oni smatraju da sva inovativna rješenja treba dodatno stimulisati i subvencionisati od strane države i mijenjati zakonodavni okvir sa ciljem da se prilagodi novom vremenu i potrebi za savremenom organizacijom poslovanja kompanija u vertikalim sektorima.

5.1.4. Odgovori institucija iz javnog sektora

Institucijama iz javnog sektora su upućena sljedeća pitanja:

- *Da li vaša javna institucija/ustanova/preduzeće u svojim poslovnim procesima (upravljačkim, administrativnim, logističkim, nadzornim i dr.) koristi specijalizovana ICT rješenja, uključujući i ona koja podrazumijevaju prenos poruka bilo koje vrste (govorna komunikacija, podaci, multimedija, mjerni podaci, podaci o lokaciji, komande i sl.) elektronskim putem? Molimo vas da ukratko objasnite o kakvim primjenama, odnosno rješenjima se radi.*
- *Da li ste upoznati sa komunikacionim mogućnostima, funkcionalnostima, scenarijima korišćenja i potencijalnim mogućnostima primjene 5G mobilnih mreža u djelatnosti kojom se bavi vaša javna institucija/ustanova/preduzeće?*
- *Za koji od scenarija korišćenja 5G mobilnih mreža (eMBB, mMTC ili UR-LLC) smatrate da može naći primjenu u poslovnim procesima koji se obavljaju u vašoj javnoj instituciji/ustanovi/preduzeću? Koje benefite od primjene 5G mobilnih mreža očekujete? Molimo vas da detaljnije objasnite na čemu zasnivate vaš stav.*
- *Na koji način, prema vašem mišljenju, primjena inovativnih ICT rješenja koja se zasnivaju na 5G mobilnim mrežama može doprinijeti povećanju efikasnosti poslovanja vaše javne institucije/ustanove/preduzeća? Molimo vas da detaljnije objasnite na čemu zasnivate vaš stav.*
- *Na koji način, prema vašem mišljenju, primjena inovativnih ICT rješenja koja se zasnivaju na 5G mobilnim mrežama može doprinijeti ukupnom društvenom i ekonomskom napretku Crne Gore? Molimo vas da detaljnije objasnite na čemu zasnivate vaš stav.*
- *Koje mjere i aktivnosti, prema vašem mišljenju, treba da sprovede Agencija i drugi nadležni organi javne uprave na državnom i lokalnom nivou kako bi se kreiralo povoljno okruženje za implementaciju inovativnih ICT rješenja zasnovanih za 5G mobilnim mrežama u domenu usluga javnog sektora?*

- *Molimo da navedete vaše mišljenje o bilo kom drugom pitanju za koje smatrate da može biti od važnosti za kreiranje uspješne strategije uvođenja 5G mobilnih mreža u Crnoj Gori.*

Odgovori su dobijeni od jedanaest subjekata.

Većina institucija/ustanova koje su dostavile odgovore na Upitnik koriste u svojim poslovnim procesima specijalizovana ICT rješenja koja su raznorodna, u zavisnosti od djelatnosti pojedinog subjekta. Ova rješenja su razvijana za potrebe unapijređenja poslovnih procesa u institucijama/ustanovama (npr. eDMS sistem Vlade Crne Gore), pristupa centralnoj bazi podataka od strane lokalnih organizacionih jedinica (npr. Fond PIO), unaprijeđenja sistema zdravstvene zaštite (npr. eServisi Ministarstva zdravlja), monitoringa parametara životne sredine (npr. Agencija za zaštitu prirode i životne sredine), za potrebe praćenja hidrometeoroloških parametara i prikupljanja mjernih rezultata sa udaljenih lokacija (npr. Zavod za hidrometeorologiju i seizmologiju), za potrebe nadzora vazdušnog saobraćaja (SMATSA), za obezbijeđenje sljedivosti etalona za vrijeme i frekvenciju (Zavod za metrologiju).

Najveći broj ovih ustanova/institucija iz javnog sektora posjeduju osnovne informacije o potencijalnim mogućnostima primjene 5G mobilnih mreža, ali smatraju da im je potrebna ozbiljna edukacija u cilju korišćenja mogućnosti koje su specifične za njihovo poslovanje.

Kao što je raznorodna djelatnost pojedinih subjekata iz javnog sektora, tako je raznorodna i percepcija mogućih scenarija korišćenja 5G mobilnih mreža u njihovom radu. Dok jedni smatraju da će unaprijeđeni širokopojasni pristup Internetu poboljšati njihov rad i kvalitet usluge (npr. Agencija za zaštitu prirode i životne sredine, lokalne samouprave), drugima je URLCC scenario prijemčiv (npr. Agencija za civilno vazduhoplovstvo, zdravstveni sektor, SMATSA), a oni koji imaju potrebu prikupljanja podataka sa velikog broja senzorskih uređaja ističu mMTC scenario (npr. Zavod za metrologiju). Smatraju da se primjenom 5G mobilnih mreža može značajno unaprijediti kvalitet usluga javne administracije, povećati pouzdanost u praćenju parametara životne sredine uz dobijanje rezultata u realnom vremenu, unaprijediti i ostvariti komunikacija u realnom vremenu raznih mjerila (vage, mjerila nivoa tečnosti, taksimetri, manometri, električna brojila, časovnici, vodomjeri, mjerila protoka, gasomjeri i slično) sa serverom u prostorijama nadležnog Zavoda, omogućiti distribucija tačnog vremena na različitim lokacijama u Crnoj Gori, unaprijediti kvalitet zdravstvene zaštite, poboljšati turistička ponuda i slično.

Subjekti iz javnog sektora smatraju da će se kroz 5G infrastrukturu omogućiti širokopojasni pristup Internetu korisnicima u ruralnim oblastima Crne Gore, gdje nije izgrađena fiksna telekomunikaciona infrastruktura i da će njihov kvalitet života u tom smislu biti unaprijeđen, čime će se uticati na smanjenje jaza između stanovništva u gradovima i ruralnim oblastima. Samim ovim pristupom će se stvoriti uslovi za vidno unaprijeđenje kvaliteta

zdravstvenih usluga, usluga javne administracije, obrazovnog procesa i slično, u ruralnim oblastima. Smatraju da će primjena inovativnih ICT rješenja, koja se zasnivaju na 5G mobilnim mrežama, unaprijediti poljoprivrednu proizvodnju, doprinijeti očuvanju životne sredine, unaprijediti zdravstveni turizam i turističku ponudu uopšte, unaprijediti upravljanje otpadom, doprinijeti poboljšanju bezbjednosti u saobraćaju, obezbijediti podršku lučkog transporta i transporta uopšte, unaprijediti opsluživanje vazdušnog saobraćaja, doprinijeti energetskoj efikasnosti, razvoju koncepta pametnih gradova i poboljšati javnu bezbjednost. Ističu da od 5G mobilnih mreža veliku korist mogu imati *start-u*p i male ICT kompanije čija inovativna rješenja mogu postati vidljiva i lako dostupna kako u Crnoj Gori, tako i u regionu, a i šire. U krajnjem, smatraju da će ova rješenja dovesti do visokog stepena digitalne transformacije.

Jedna od glavnih prepreka pri implementaciji novih ICT rješenja je tradicionalni otpor administracije prema promjenama i nedostatak volje građana za korišćenjem elektronskih rješenja u svakodnevnom životu, smatraju anketirani subjekti iz javnog sektora. Mišljenja su da implementacija inovativnih ICT rješenja nije jednostavna i da za to nedostaju adekvatna znanja i vještine, koje trenutno obrazovni sistem ne nudi u dovoljnoj mjeri i ne prilagođava se zahtjevima koje generiše ICT sektor. Ističu potrebu edukacije upravljačkih struktura, posebno u javnom sektoru, kao i potrebu obezbjeđenja povjerenja u pogledu bezbjednog korišćenja 5G mrežne infrastrukture, uključujući i korisničku opremu. Navode da posebnu pažnju treba posvetiti pouzdanosti 5G mreža i zaštiti privatnosti korisnika. Smatraju da je neophodno obezbijediti podsticaje za razvoj inovativnih ICT rješenja. Ukazuju da je neophodno preduzeti mjere za podizanje svijesti javnosti, kako bi svi građani bili adekvatno informisani o zdravstvenim pitanjima vezanim za implementaciju mobilnih komunikacionih mreža, kao i o aktivnostima koje sprovodi država i mobilni operatori u skladu sa Memorandumom o razumijevanju o 5G planu za digitalnu transformaciju Zapadnog Balkana. Od Agencije za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost očekuju optimalne modele za aukciju spektra uz vođenje računa o nesmetanom radu, kako budućih 5G mreža, tako i službi u postojećim frekvencijskim opsezima nakon implementacije 5G mreža. Kao i subjekti iz drugih sektora, smatraju da treba uložiti napor na unapređenju zakonske regulative i procedura za efikasnu implementaciju budućih 5G mreža, kao i za nesmetan razvoj cjelokupnog ICT sektora u skladu sa naprednim procedurama današnjice, a u cilju obezbjeđenja visokog stepena digitalne transformacije.

5.2. Analiza potencijalnih područja primjene osnovnih kategorija 5G servisa u Crnoj Gori

Kao što je u prethodnim poglavljima navedeno, tri su osnovne kategorije servisa (usluga) 5G mobilnih komunikacionih sistema, i to:

- unaprijeđeni mobilni širokopojasni servisi (eMBB - *Enhanced Mobile Broadband*),

- masovne komunikacije mašinskog tipa (mMTC - *Massive Machine Type Communications*) i
- ultra-pouzdane komunikacije malog kašnjenja (URLLC - *Ultra Reliable and Low Latency Communications*).

Iz odgovora na Upitnik može se zaključiti da, u osnovi, postoji ili će postojati potreba implementacije svih osnovnih kategorija servisa u Crnoj Gori, a koja će se fazno iskazivati kako se mobilna mreža pete generacije bude razvijala, ali i kako se svijest korisnika, vertikalnih industrijskih sektora i javne uprave na nacionalnom i lokalnom nivou za potrebama savremenih ICT rješenja zasnovanih na 5G mrežama bude unaprijeđivala. Razvoj pojedinih faza zavisiće u znatnoj mjeri i od odnosa države prema procesu digitalizacije društva. Pri tome, neke od navedenih kategorija je moguće implementirati angažovanjem operatora mobilnih komunikacionih mreža koji će krajnjem korisniku omogućiti poboljšanje postojećih usluga, kroz poboljšano korisničko iskustvo u pogledu povećanja brzine prenosa i kvaliteta servisa. S druge strane, za neke kategorije navedenih servisa biće potrebno stvoriti mnoge preduslove kako bi se oni implementirali, a koji ne zavise dominantno od operatora. Ovi preduslovi obuhvataju širok spektar neophodnih mjera koje su od ključnog značaja za implementaciju pojedinih scenarija, a u nastavku se navode samo neki karakteristični primjeri.

Jedan od preduslova za razvoj mobilnih mreža pete generacije predstavlja razvoj optičke infrastrukture, koja će omogućiti povezivanje elemenata 5G sistema, uključujući prije svega povezivanje baznih stanica na jezgro mreže, a sa ciljem postizanja onih brzina prenosa koje nije moguće postići radio-relejnim linkovima. To se prije svega odnosi na implementaciju baznih stanica u višim frekvencijskim opsezima, uključujući i milimetarske talase, koji podrazumjevaju gust raspored baznih stanica u gusto naseljenim područjima sa malom servisnom zonom. Iz ovoga je jasno da postojeća optička infrastruktura nije na dovoljnom stepenu razvoja, da bi omogućila fizički pristup tako velikom broju pristupnih tačaka. Ovaj izazov je prepoznat i na nivou EU, konkretno u 5G Akcionom Planu Evropske komisije, koji je detaljno opisan u Glavi 4 ove Studije. Zbog toga se u jednoj od aktivnosti na implementaciji akcionog plana potenciraju mjere koje treba sprovesti radi napretka ključnih scenarija širenja optičkih prenosnih puteva i povezivanja baznih stanica celularnih mreža. Pored toga što razvoj optičke infrastrukture u gradovima predstavlja ozbiljan fizički posao, neophodno je pažnju posvetiti i administrativnim ograničenjima za napredak na ovom polju. Zbog toga je potrebno identifikovati najbolju praksu, kako bi se povećala konzistentnost administrativnih uslova i vremenskih okvira u cilju olakšavanja razvoja gustih celularnih mreža u skladu sa odgovarajućim odredbama Evropskog zakonika o elektronskim komunikacijama.

Takođe, jedan od preduslova za implementaciju navedenih scenarija pri implementaciji novih ICT rješenja, je tradicionalni otpor administracije prema promjenama i nedostatak volje građana za korišćenjem elektronskih rješenja u svakodnevnom životu. Slično, i u vertikalnim sektorima u Crnoj Gori nije dovoljno razvijena svijest o mogućnostima koje pružaju

odgovarajuća inovativna ICT rješenja u pogledu unaprijeđenja odgovarajuće djelatnosti i povećanja njene produktivnosti. Iz navedenog, jasno proizilazi zaključak da je preduslov za široko prihvatanje scenarija implementacije zasnovanih na 5G mreži napredak u edukaciji koji podrazumijeva, između ostalog, i brzo prilagođenje obrazovnog sistema potrebama za koje možemo reći da su odavno aktuelne.

Kao što su u odgovoru na Upitnik istakli mobilni operatori i subjekti iz ostalih kategorija obuhvaćenih Upitnikom, najveći potencijal za implementaciju u ranoj fazi korišćenja mobilnih 5G mreža imaju unaprijeđeni mobilni širokopojasni servisi (eMBB), servisi koji su usmjereni na čovjeka, kao što su multimedijalni sadržaji i prenos podataka velikim brzinama.

Zahtjevi za mobilnim širokopojasnim servisima će nastaviti da rastu i u Crnoj Gori, a korisnički scenariji će uključiti, kako pokrivanje širokih oblasti, tako i *hotspot*-ove. Servisni zahtjevi za ove slučajeve su različiti. U slučaju *hotspot*-a, u oblastima sa velikom gustinom korisnika potreban je veoma veliki kapacitet mreže, kao i velike brzine prenosa podataka po korisniku, dok je mobilnost korisnika mala. Za scenario pokrivanja široke oblasti, poželjno je odgovarajuće pokrivanje kompletne oblasti uz srednju ili veliku mobilnost korisnika, što podrazumijeva poboljšano korisničko iskustvo u pogledu brzine prenosa i kvaliteta servisa.

Mobilni internet, kroz eMBB kategoriju usluga treba da pruži korisnicima vrhunsko iskustvo kroz servise koji između ostalog uključuju:

- video servise, poput prenosa videa ultra-visoke rezolucije (UHD) i trodimenzionalnog (3D) videa,
- proširenu stvarnost (AR – *Augmented Reality*),
- virtualnu realnost (VR – *Virtual Reality*),
- razmjenu videa/fotografija pri okupljanjima na otvorenom,
- aplikacije za *online* igre,
- mobilni *cloud*,
- obradu podataka na udaljenim lokacijama,
- usluge slične difuznom emitovanju,
- pametne kancelarije i slično.

Potencijalni scenariji primjene variraju na mikroregionalnom nivou. To znači da telekomunikacioni operatori u Crnoj Gori treba da sagledaju stvarne potrebe korisnika za ovim servisima i prilagode se kako potrebama, tako i obrascima korišćenja servisa, i to ne samo na nivou Crne Gore, već i na nivou pojedinih regiona.

Iako ne podrazumijeva mobilnost korisnika, u eMBB kategoriju servisa se ubraja i fiksni bežični pristup (FWA – *Fixed Wireless Access*), koji po brzinama treba da bude konkurentan pristupu korišćenjem kablova sa optičkim vlaknima. Ova kategorija servisa može biti posebno interesantna za određene djelove Crne Gore gdje nije izgrađena optička infrastruktura, a čija će gradnja i u budućnosti biti ograničena nerentabilnošću polaganja

kablova sa optičkim vlaknima u ruralnim područjima. Na taj način 5G mobilna mreža će omogućiti, da se neostvareni cilj iz Strategije razvoja informacionog društva Crne Gore do 2020. godine, a koji se odnosi na dostupnost NGA širokopojasnog pristupa (30Mb/s) za 100% domaćinstava, ostvari. Ovdje treba posebno istaći da FWA ne podrazumijeva samo pristup individualnim korisnicima, već da treba da obezbijedi pristup i raznim izdvojenim dijelovima institucija iz javnog sektora, ali i ostalih sektora. Između ostalog, na taj način se može omogućiti pristup Internetu svakom učeniku u Crnoj Gori, tako da ne bude inferioran u odnosu na svog vršnjaka koji nastavu pohađa u gradu. Ova potreba je posebno došla do izražaja u vrijeme pandemije Covid-19, gdje su problemi obezbjeđivanja kvalitetnog pristupa Internetu bili uočljivi ne samo u ruralnim područjima, već i na periferiji većih gradova. Isto tako, svakoj zdravstvenoj ambulanti se na ovaj način može obezbjediti komunikacija bez obzira na kom dijelu teritorije Crne Gore se nalazi. Isto važi za ekspoziture banaka, osiguravajućih društava, područnih jedinica Poreske uprave, Uprave za nekretnine, javne uprave, odjeljenja javne bezbjednosti i slično, kako bi građanima na isti način pružali usluge, ma gdje da su locirani u Crnoj Gori. Ovaj pristup bi mogao konačno da doprinese smanjenju potrebe za iseljavanjem sa određenih područja Crne Gore i za koncentrisanjem stanovništva na par gradskih lokacija u Crnoj Gori. Sveobuhvatna realizacija svega navedenog potpuno i efikasno se može sprovesti implementacijom rješenja zasnovanih na 5G mobilnim mrežama.

eMBB kategorija servisa će predstavljati najveći broj scenarija primjene u početku implementacije 5G mreža i u Crnoj Gori, jer će primjenom naprednih rješenja veoma efikasno koristiti nove spektralne resurse, u opsezima koji su globalno harmonizovani.

Subjekti iz vertikalnih sektora, ali i iz javnog sektora, u odgovorima na Upitnik prepoznali su i potencijal URLLC kategorije servisa za primjenu u Crnoj Gori. Ova servisna kategorija, koja ima za cilj da pruži podršku servisima osjetljivim na kašnjenje i koji pored toga podrazumijevaju veliku pouzdanost, obuhvata:

- kontrole na daljinu različitih industrijskih procesa,
- operacija na daljinu u medicini,
- automatizacije distribucije energije u pametnim elektroenergetskim mrežama,
- bezbjednosti transporta i autonomna vozila,
- taktilnog interneta, itd.

Ovakvi servisi se često označavaju kao kritični servisi i između navedene tri kategorije 5G servisa, predstavljaju najveći izazov, zato što treba da zadovolje dva suprotstavljena zahtjeva, malo kašnjenje i visoku pouzdanost. 5G mreže u ovoj kategoriji nemaju konkurenciju u prethodnim mobilnim radio sistemima i može se reći da upravo kroz ovu kategoriju servisa postaju konkurencija konekcijama realizovanim kablovima sa optičkim vlaknima, uz mnogo veću fleksibilnost za buduće izmjene, nadogradnje i slično.

Realne potrebe za implementacijom ove kategorije servisa u Crnoj Gori iskazuje elektroenergetski sektor kroz potrebu za upravljanjem elektroenergetskim sistemom, kontrolom na daljinu određenih proizvodnih procesa, nadzorom infrastrukture u realnom vremenu, prikupljanjem mjernih rezultata sa udaljenih lokacija koji zahtijevaju veliku preciznost i pouzdanost. Sektor zdravstva vidi mogućnost unaprijeđenja pružanja zdravstvenih usluga posebno u hitnim slučajevima, kroz mogućnost ostvarivanja blagovremenih konsultacija u procedurama liječenja sa ljekarima, npr. na tercijarnom nivou zdravstvene zaštite, sa udaljene lokacije gdje brzo treba donijeti ispravnu odluku. Pored toga, bezbjednost transporta, posebno opasnih materija je oblast koja je potencijalni korisnik ovog scenarija. Uključivanje 5G mreža u nadzor vazdušnog saobraćaja u Crnoj Gori podrazumijeva korišćenje ovakvog scenarija. Sa razvojem 5G mreža uz neophodnu edukaciju, a uz odgovarajuće podsticajne mjere, za očekivati je i da u određenoj fazi subjekti iz ostalih vertikalnih sektora pokažu veće interesovanje prema inovativnim ICT rješenjima u svojim proizvodnim procesima, koja zahtijevaju veliku pouzdanost i malo kašnjenje.

mMTC kategoriju servisa karakteriše veoma veliki broj povezanih uređaja i stvari, koji obično emituju relativno male količine podataka i koji nijesu kritični sa stanovišta kašnjenja. Primjeri servisa su različita senzorska mjerenja, nadgledanja, praćenja parametara, koji zahtijevaju veliku gustinu konekcije i veliku energetsku efikasnost.

Potencijalni IoT scenariji primjene zasnovani na mMTC kategoriji servisa uključuju:

- monitoring životne sredine,
- pametnu poljoprivredu,
- pametna mjerenja,
- pametnu nosivu opremu, poput sportske opreme i opreme za fitnes,
- senzorske mreže,
- pametne gradove,
- pametan prevoz,
- pametne kuće, itd.

Ova kategorija servisa je interesantna u Crnoj Gori za razvoj koncepta pametnih gradova, senzorskih mreža za potrebe raznih institucija (npr. Agencija za zaštitu prirode i životne sredine, Zavod za metrologiju, Ekotoksikološki zavod, Zavod za hidrometeorologiju i seizmologiju, Morsko dobro, Uprava pomorske sigurnosti, Nacionalni parkovi Crne Gore, vodoprivredna preduzeća, Uprava za šume i slično). Takođe, posebno je interesantna za primjenu u poljoprivredi i ima potencijal da omogući savremenu i konkurentnu poljoprivrednu proizvodnju. Posredno, na taj način će se dati snažan doprinos razvoju održivog turizma koji treba da se, u najvećoj mogućoj mjeri, zasniva na domaćoj proizvodnji zdrave hrane. Naravno da implementacija savremenih ICT rješenja zasnovanih na 5G mrežama u poljoprivredi, a koja uključuju savremeno navodnjavanje,

đubrenje, prskanje i slično, podrazumijeva temeljnu edukaciju proizvođača i distributera, stimulativne mjere, sigurnost u otkupu proizvoda, stalnu kontrolu kvaliteta i transporta svježih proizvoda do korisnika. Za uspješnu primjenu mMTC servisa u poljoprivredi neophodno je ostvariti sinergiju između poljoprivrednih proizvođača, hotelijera, ICT sektora, distributera i nadležnih državnih organa za podsticaje onim granama poljoprivrede koji su direktno u funkciji turističke privrede, bez obzira o kojoj vrsti turizma je riječ.

Implementacija servisa iz mMTC kategorije u najvećoj mjeri se može ostvariti i unaprijeđenjem postojećih mobilnih mreža. Međutim, implementacija ovih kategorija servisa na bazi savremenih ICT rješenja, koja se zasnivaju na 5G mrežama, pruža više mogućnosti i fleksibilnosti u realizaciji, i u krajnjem vodi ka ukidanju mreža druge i treće generacije, što onda daje mogućnost stavljanja na raspolaganje veće količine radio-frekvencijskog spektra u nižim opsezima za potrebe realizacije 5G mreža. Mobilne mreže pete generacije su zasnovane na v6 verziji Internet protokola koja, za razliku od implementirane IPv4 u prethodnim generacijama mobilnih mreža, obezbjeđuje širok adresni prostor za ogroman broj uređaja u mMTC scenariju.

Planom migracije na Ipv6 protokol u Crnoj Gori, [1], utvrđeni su koraci postepenog prelaska sa postojeće verzije IPv4 protokola na Ipv6. Nova verzija protokola implementirana je najprije na svim serverima Centra informacionog sistema (CIS) Univerziteta Crne Gore, da bi se potom napravila ekstenzija ka Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici i ostalim tehničkim fakultetima. Pristup korisnika iz inostranstva, koji koriste isključivo novu verziju protokola, moguć je primjenom tehnika tunelovanja. Za očekivati je da će razvoj mobilnih mreža pete snažno podstaći navedeni postupak migracije, posebno u javnom sektoru i u vertikalnim sektorima.

5.3. Analiza mogućih scenarija korišćenja 5G mobilnih telekomunikacionih mreža u Crnoj Gori

Mobilni operatori 5G mreža će se fokusirati i na tržište krajnjih korisnika i na vertikalne industrijske sektore. Očekuje se da će operatori ponuditi ne samo komunikacione servise pojedinačnim korisnicima, već i set različitih integrisanih ICT rješenja za poslovne korisnike. U prilog tome ide i činjenica da su svoje namjere da razvijaju ovakva rješenja najavili, kroz odgovore na Upitnik, i pojedini mobilni operatori u Crnoj Gori.

Da bi se izašlo u susret različitim zahtjevima vertikalnih industrija, standardizacija, testiranje i izgradnja 5G mreža zahtijeva i njihovo učešće. Na ovome se posebno insistira kroz aktivnost vezanu za proces standardizacije i testiranja, koja je definisana 5G akcionim planom Evropske komisije, a o kojoj se mora voditi računa i prilikom implementacije rješenja vezanih za vertikalne industrije i u Crnoj Gori.

Obzirom da su vertikalni industrijski sektori važan segment implementacije 5G tehnologija, slijedi opis vertikalnih industrija u kojima 5G mreže mogu naći svoju primjenu, kada je Crna Gora u pitanju, i to:

- turistička privreda,
- poljoprivreda,
- zaštita životne sredine,
- elektroenergetika,
- saobraćaj,
- zdravstvo,
- obrazovanje,
- građevinarstvo,
- finansije.

Turistička privreda može iskoristiti nove mogućnosti 5G mreža da pruži obimnija i interaktivna iskustva korisniku. Korisnik može dobiti u znatno kraćem vremenu informacije o posjećenoj destinaciji i susjednim lokalitetima, uz izbjegavanje poslovičnih gužvi na poznatim lokalitetima primjenom:

- proširene stvarnosti, kroz 3D virtualnu rekonstrukciju arheoloških nalazišta, tematske obilaske muzeja i lokaliteta sa komentarima, čime se poboljšava doživljaj mjesta sa informacijama o arhitekturi i istoriji,
- automatskog prenosa visokokvalitetnih video zapisa i fotografija u *cloud*,
- pametnog upravljanja protokom velikog broja ljudi (gužvom),
- informisanja o tradicionalnoj gastronomiji na datom području, uz mogućnost rezervacije, kako bi se izbjeglo čekanje, i slično.

Kao što je već rečeno, pametna poljoprivreda predstavlja revoluciju na polju poljoprivrede i omogućava značajno poboljšanje produktivnosti. Kada je Crna Gora u pitanju sinergija između proizvodnje dovoljnih količina zdrave hrane, karakterističnе za regije u Crnoj Gori, i održivog turizma zasnovanog na ovakvoj proizvodnji treba da obezbijedi višestruku korist i generiše neuporedivo veću neto dobit od turizma, koji je trenutno dominantno zavisan od uvoza hrane. Pametna poljoprivreda zahtijeva, između ostalog, implementaciju:

- senzora za praćenje zdravlja usjeva, zdravlja i kretanja stoke, te okoline i klimatskih uslova u realnom vremenu,
- komunikacije između svih mašina i senzora, kao i sa mrežama za obradu podataka u realnom vremenu, donošenje odluka i pojednostavljivanje operacija povezanih sa zemljištem, usjevima, stokom, logistikom i mašinama,
- bespilotnih letjelica (dronova), u vinogradarstvu, praćenju uzgajališta riba i školjki na otvorenom moru, gdje su uslovi sredine takvi da je mnogo lakše obezbijediti proizvodnju zdrave hrane, uzgajalištima autohtonih stočnih vrsta na otvorenom što podrazumjeva praćenje njihovog kretanja i slično,
- veza u realnom vremenu sa Zavodom za hidrometeorologiju u cilju blagovremene zaštite usjeva i stoke od vremenskih nepogoda,

- praćenja stanja na tržištu u cilju pripreme proizvoda za krajnjeg korisnika (distributera ili hotelijera), kako bi roba na vrijeme stizala u svježem stanju i imala maksimalnu upotrebnu vrijednost, itd.

Koncept pametnih gradova i očuvanje parametara životne sredine u njima je posebno interesantan za implementaciju na bazi rješenja zasnovanih na 5G mrežama. Monitoring šuma, čuvanje istih od požara, vodnih tokova, podmorskog akvatorijuma, nacionalnih parkova i biodiverziteta u njima, nadziranje parametara ekosistema uopšte, a posebno u zaštićenim zonama i uopšte monitoring parametara životne sredine su od ključne važnosti za održivi razvoj Crne Gore. mMTC scenario komunikacija u 5G mrežama može dati presudni značaj za očuvanje životne sredine, a samim tim i za proizvodnju zdrave hrane i održivu turističku ponudu. Ovaj koncept treba da posluži i za podizanje svijesti, koja je u Crnoj Gori na niskom nivou, u pogledu potrebe očuvanja životne sredine, kroz smanjenje emisija štetnih gasova i upravljanje otpadom, posebno onim koji nije biorazgradiv. Informacije dobijene ovakvim monitoringom, mogu biti od velike koristi za unaprijeđenje kaznene politike u oblasti kršenja propisa iz oblasti zaštite životne sredine. Za navedene primjene, 5G treba da omogući:

- visokokvalitetni prenos video podataka, pozicioniranje i praćenje u cilju poboljšanja efikasnosti nadzora,
- umrežene inteligentne senzore, uključujući video, za realizaciju praćenja urbanog okruženja, podržavajući unaprijeđeno integrisano upravljanje gradom i razne usluge građanima, kao što su upravljanje saobraćajem i transportom, upravljanje resursima i planiranje.

Elektroenergetski sektor je od posebnog značaja za crnogorsku privredu. Kompanije iz ovog sektora su, kroz odgovore na Upitnik, prepoznale mogućnosti primjene rješenja na bazi 5G mreža u okviru svog poslovanja, kako u procesu proizvodnje, tako i u procesu prenosa i distribucije električne energije. U tom smislu postoji potreba za implementacijom sva tri fundamentalna tipa primjene 5G mreža (eMBB, mMTC i URLLC), što treba da bude ujedno i pokretač razvoja ovih mreža u Crnoj Gori, ali i mogućnost kompanijama za rad na savremenim ICT rješenjima zasnovanim na 5G mrežama da razviju i unaprijede poslovne modele saradnje sa elektroenergetskim sektorom. To je posebno važno zbog činjenice da je u Crnoj Gori zastupljena proizvodnja električne energije iz tzv. konvencionalnih izvora, ali i iz obnovljivih (zelenih) izvora energije, kao što su solarne elektrane i vjetroelektrane. Pored toga Crna Gora je zahvaljujući podmorskom energetskom kablu na tranzitnom putu prenosa električne energije od Italije prema Istočnoj Evropi. S toga je, unaprijeđeni pristup širokopojasnom Internetu, bilo da se radi o mobilnom pristupu ili o FWA pristupu, do mnogih tačaka elektroenergetskog sistema koji se nalaze i na nepristupačnim lokacijama, od ključnog značaja za pouzdano funkcionisanje elektroenergetskog sistema, koji se sve više kreće od klasičnog ka dinamičnom elektroenergetskom sistemu. Takođe, prenos mjernih podataka sa mnoštva mjernih mjesta velikim brzinama uz malo kašnjenje, predstavlja izazov za ove sisteme. Sinhronizacija proizvodnih, prenosnih i distributivnih sistema, a posebno sa konvertorskim postrojenjem, preko koga se ostvaruje

veza na podmorski kabal, je od ključnog značaja. Nadzor svih kapaciteta je potreba elektroenergetskog sektora, kao i kontinualna fizička zaštita vitalnih djelova sistema. Unaprijeđenje očitavanja potrošnje korisnika kroz brojila sa daljinskim očitavanjem je takođe interes kompanija iz ovog sektora, kako bi se očitavanja automatizovala, radila gotovo trenutno, pouzdano i sa angažovanjem što manjeg broja ljudi. Kada su kompanije iz elektroenergetskog sektora u pitanju, treba napomenuti da one posjeduju značajnu optičku infrastrukturu koja može pomoći u brzoj implementaciji servisa zasnovanih na 5G mobilnim mrežama, ali i omogućiti povezivanje 5G baznih stanica na mnogim nepristupačnim lokacijama gdje nije izgrađena optička infrastruktura telekomunikacionih operatora.

Saobraćaj, kao privredna grana može da očekuje značajne pozitivne efekte od implementacije 5G mreža. Kada je u pitanju drumski saobraćaj, onda razvoj optičke infrastrukture gradnjom autoputeva u Crnoj Gori može obezbijediti nadzor saobraćaja u cilju njegove automatizacije i uključivanja komunikacije između vozila i pametne infrastrukture radi povećanja bezbjednosti na putevima. Takođe, 5G infrastruktura može transportnim preduzećima omogućiti kvalitetan nadzor i upravljanje transportom. Pored toga, infrastruktura sagrađena u sklopu gradnje autoputeva obezbjediće mnoge koristi i sektorima van oblasti saobraćaja. Njome će se omogućiti širokopojasni pristup Internetu i u oblastima kroz koji prolaze autoputevi, a to su najčešće oblasti koje nemaju pristup Internetu ili je on na vrlo niskom nivou.

Željeznički saobraćaj u Crnoj Gori je na vrlo niskom nivou. U komunikacionom smislu na prugama, a posebno u tunelima pokrivenost često ne obezbjeđuje ni kvalitetnu govornu komunikaciju. Međutim, povoljna je okolnost što pruge u Crnoj Gori dotiču kablovi sa optičkim vlaknima, tako da je koncept pokrivanja pruga kroz 5G mrežu realan i može obezbijediti i scenario pokrivanja putnika u vozovima, ali i pokrivanja područja kroz koje pruge prolaze, a to su područja gdje uglavnom nije izgrađena telekomunikaciona infrastruktura ili ista ne obezbijeđuje željene servise. Kao i u slučaju autoputeva i ova infrastruktura može biti veoma značajna za razvoj drugih sektora i može omogućiti telekomunikacione servise do nivoa eko katuna i dati na taj način snažnu podršku razvoju eko turizma, a i poboljšanju uslova tradicionalne proizvodnje hrane na ekstremno ekološki čistim područjima.

Pomorski saobraćaj i unaprijeđenje bezbijednosti u crnogorskim teritorijalnim vodama, a posebno u Bokokotorskom zalivu može imati velike koristi od 5G mreža. Pored efikasnog održavanja pomorskih plovnih puteva, obezbijeđenja granice na moru, brodovima u tzv. A1 pomorskoj zoni, iz Crne Gore se mogu pružati mnogobrojni 5G servisi, kako pomorskim kompanijama, tako i svakom pomorcu pojedinačno. Pored toga, kruzeri tokom boravka u crnogorskim lukama mogu imati sve usluge kao bilo gdje u svijetu, a turisti se prije uplovljavanja mogu upoznati sa lokalitetima koji se posjećuju putem servisa virtuelne realnosti kako bi se na samim lokalitetima izbjegle gužve.

Odgovarajući scenariji primjene omogućavaju i benefite za vazdušni saobraćaj, kako na aerodromima, tako i putnicima u vazduhoplovima.

Zdravstvena zaštita je oblast koja je od posebnog značaja kad je riječ o primjeni 5G mreža u Crnoj Gori. Ona zahtijeva uravnoteženu raspodjelu medicinskih resursa, prenosive i inteligentne medicinske opreme, poboljšane mogućnosti tretmana u medicinskim vozilima i transformaciju hirurških operacija iz operacione sale u više regija. 5G omogućava fleksibilnije i praktičnije bežične veze, koje su osnov za većinu scenarija primjene u zdravstvu, kao na primjer:

- kontinuirano pokrivanje širokog područja za servis hitne pomoći, uključujući slanje visokokvalitetnih video zapisa i vitalnih znakova pacijenta u realnom vremenu, prema komandnom centru u bolnici,
- primjena senzora koji prikupljaju vitalne znakove sa nosivih uređaja pacijenata, ili starijih osoba, ma gdje se oni nalazili, pomažući udaljenom medicinskom osoblju da pravovremeno donosi odluke o liječenju i propisuje primjenu ljekova na daljinu,
- primjena senzora koji nadziru i prikupljaju vitalne informacije za sve bolničke pacijente na jedinstven način i vrše upravljanje na jedinstvenoj platformi,
- pouzdani komunikacioni kanal posebne namjene između, na primjer, bolnica, koji omogućava operacije na daljinu i davanje uputstava,
- upravljanje i nadzor medicinske opreme i bolničkih sredstava i osoblja.

Komunikacione tehnologije mogu da omoguće i nove obrazovne modele i aplikacije, što posljedično riješava neravnotežu u dostupnosti opšteg obrazovanja i obrazovnih resursa u Crnoj Gori. Za obrazovanje, 5G sistem može da omogući:

- virtualnu i nastavu sa proširenom realnošću, koristeći usluge virtualne stvarnosti i proširene stvarnosti za unaprijeđivanje i animiranje tradicionalnih pristupa,
- virtualizovane i proširene eksperimente, koji pružaju virtualizovani uređaji i oprema, koje student, odnosno učenik, može interaktivno koristiti, posebno za eksperimente koji uključuju skupe uređaje ili ekstremne opasnosti,
- interaktivnu nastavu na daljinu, pružanje sinhronog iskustva i interakciju na daljinu, između nastavnika i učenika iz različitih škola, kao i uključivanje djece koja iz nekih razloga ne mogu pohađati školu,
- upravljanje školskim osobljem, imovinom i praćenje školskog okruženja, što pomaže u zaštiti ljudi i resursa.

Građevinska industrija u Crnoj Gori je u velikom zamahu i može unaprijediti svoje poslovanje primjenom 5G mreža. 5G sistem će podržavati autonomni pametni sistem za građevinske projekte pružajući, između ostalog:

- povezanost s malim kašnjenjem, velikom pouzdanošću i velikom dostupnošću za senzore i kontrolere velike gustine u datom geografskom području,
- visokokvalitetni prenos video zapisa u realnom vremenu,

- veoma preciznu lokaciju opreme i ljudi,
- lokalne (na ivici mreže) računarske resurse za kontrolu kretanja vozila, mašina i slično.

Finansijski sektor u Crnoj Gori će kroz 5G obezbjediti brz i pouzdan prenos velike količine informacija, unaprijediti kontakt sa korisnikom i lakše nuditii informacije o bankarskim uslugama uz brže i sigurnije obavljanje transakcija Finansijski sektor u Crnoj Gori će kroz 5G obezbijediti brz i pouzdan prenos velike količine informacija, unaprijediti kontakt sa korisnicima i poboljšati informisanje o bankarskim uslugama uz brže i sigurnije obavljanje transakcija.

Kada je javna administracija u pitanju, može se reći da je njena dominantna potreba korišćenje unaprijeđenog širokopojasnog pristupa Internetu (eMBB). Unaprijeđeni širokopojasni pristup Internetu je potreba svih subjekata u ovom sektoru na nacionalnom i lokalnom nivou, kako bi na pravi način svi njihovi dislocirani objekti bili povezani u jedinstven sistem, koji sa bilo koje lokacije podržava iste servise za sve korisnike, i u tom smislu obezbijeđuje jednakost svim građanima Crne Gore u ostvarivanju svojih prava i obaveza. Potpuna digitalizacija javne uprave i transformacija na *eUpravu* u pravom smislu riječi podstaći će građane da koriste elektronske usluge, izbjegnu čekanja i nepotrebne troškove koji proizilaze iz potrebe za odlazak do nekog šaltera. Omogućavanje istih servisa sa bilo koje pristupne tačke, kada su usluge javne uprave u pitanju, omogućiće i praćenje rada službenika u određenim segmentima uprave, te na taj način povećati efikasnost u radu, skratiti vrijeme potrebno za dobijanje određene usluge, a državi i lokalnim samoupravama omogućiti efikasnije ubiranje prihoda od poreza i drugih naknada. U javnom sektoru treba istaći i scenarije korišćenja 5G mreža za potrebe javne bezbjednosti, zaštite stanovništva od elementarnih nepogoda i drugih vanrednih okolnosti. Ovi scenariji podrazumjevaju, između ostalog, i precizne podatke o geolokaciji radi efikasnog sprovođenja akcija traganja i spašavanja. Za ovakve ekstremne situacije poželjan je scenario koji uključuje satelitsku ekstenziju zemaljskih veza. U suštini, prihvatanje i implementacija rješenja koja omogućavaju 5G mobilne mreže u javnom sektoru treba da dovedu do pune digitalne transformacije društva.

Tehničke specifikacije za scenarije implementacije 5G mreža definisane su tehničkim izvještajima 3GPP grupe. Aktuelni dokumenti specificiraju 12 tipičnih scenarija implementacije, i to:

- *indoor hotspot*,
- gusti urbani,
- ruralni,
- makro urbani,
- scenario velike brzine,
- scenario ekstremno velikog dometa pokrivanja u slabo naseljenim područjima,
- urbano pokrivanje za masivne konekcije,
- scenario autoputa,

- urbanu mrežu za povezani automobil,
- scenario komercijalnog povezivanja vazduh-zemlja,
- scenario lakih letjelica,
- satelitsku ekstenziju zemaljskih veza.

Svi ovi scenariji su detaljno opisani u Glavi 3 ove Studije i u principu se mogu, u zavisnosti od konkretne potrebe, primjenjivati i u Crnoj Gori.

6. POTENCIJALNI BENEFITI I RIZICI ZA GRAĐANE I PRIVREDU

Za razliku od prethodnih generacija mobilnih komunikacionih mreža, 5G neće biti determinisan bilo kojom pojedinačnom tehnologijom. Kao "mreža svih mreža" namijenjena je povezivanju postojećih i budućih standarda, uključujući i trenutno impelementirane napredne LTE (4G) mreže. Pri tome, 5G se ne može smatrati samo evolutivnim iskorakom u odnosu na 3G i 4G mreže, već kompleksnom mrežom koja kombinuje Wi-Fi, 4G, tehnologije bežičnog pristupa i milimetarske talase. Dodatno, 5G koristi i različite napredne tehnološke aspekte koji nijesu karakteristični za prethodne generacije bežičnih komunikacionih mreža, kao što su *cloud* infrastruktura, virtuelizacija jezgra mreže i inteligentni *edge* servisi.

Zahvaljujući takvom konceptu, osim poboljšanja performansi, 5G će omogućiti i čitav niz novih aplikacija i korisničkih primjena. Od superbrze mobilne širokopojasne mreže bez potrebe za fiksnim mrežama, preko pametnih fabrika, komunikacije izmedju vozila, autonomno upravljanih vozila, pa do holografske tehnologije, telemedicine, globalnih IoT senzorskih mreža itd. Zahvaljujući dizajnu radio pristupne mreže (RAN) i orkestriranoj *end-to-end* arhitekturi, 5G ima značajan potencijal kojim može služiti kao katalizator za podsticaj inovacijama i uticati na ekonomski rast u svim vertikalnim segmentima industrijskog, poslovnog i društvenog okruženja.

Upravo činjenica da 5G stvara uslove za brojne nove poslovne mogućnosti, kroz poboljšanje performansi, fleksibilnost i individualizaciju, predstavlja radikalnu prednost u odnosu na prethodne generacije mobilnih mreža. Polazeći od aktuelnih ograničenja i budućih mogućnosti, kao što su uvećane brzine prenosa podataka, smanjenje kašnjenja u prenosu, bolja pokrivenost signalom, *softwarization*, virtuelizacija, *network computing*, realno je očekivanje da će 5G biti u osnovi hiper-povezanosti, uz podršku i pružanje servisa na siguran i kontrolisan način. Pri tome, biće moguće prilagoditi nivoe servisa potrebama krajnjih korisnika u različitim vertikalnim poslovnim segmentima, uz primjenu novih inovativnih B2C (*Bussines to Consumer*), B2B (*Bussines to Bussines*) i B2G (*Bussines to Government*).

6.1. 5G ekosistem

Kako je to i pokazano u prethodnim glavama ove Studije, pozitivan uticaj četvrte industrijske revolucije i novih komunikacionih tehnologija biće u potpunosti realizovan kroz široku primjenu 5G mreža, u kombinaciji sa drugim komunikacionim rješenjima. Ključni funkcionalni pokretači razvoja 5G mobilnih mreža će omogućiti širok spektar novih opcija, uključujući optimizaciju u pružanju usluga, u donošenju odluka i bolje iskustvo krajnjeg korisnika. Značajna ekonomska i socijalna vrijednost će biti stvorena implementacijom novih aplikacija i servisa, koji će biti aktivirani upravo zahvaljujući 5G sistemima.

Za bolje razumijevanje očekivanih promjena, benefita, kao i ograničenja i izazova, korisno je izvršiti mapiranje 5G ekosistema, sa ciljem identifikacije

njegovih komponenti, zainteresovanih učesnika, međuzavisnosti i aktivnosti potrebnih za ubrzanje implementacije. Pri tome, naglasak je na potrebi za saradnjom svih zainteresovanih strana, uključujući koordinisano donošenje odluka, koje će potom posljedično djelovati i na ostale komponente ekosistema, čije se glavne karakteristike mogu opisati kroz:

- Radio-frekvencijski spektar, kao bazični elemenat 5G ekosistema, bez koga nijedna mrežna infrastruktura ili uređaji ne mogu da funkcionišu. Mreže budućnosti oslanjaće se na kombinaciju osnovnih i alternativnih tehnologija, koristiće i licencirani i nelicencirani RF spektar u različitim opsezima (niski = veliki domet, penetracija u zatvorenom prostoru, ali mali kapacitet; visoki = kratki domet, bez unutrašnje penetracije, veliki kapacitet);
- Infrastrukturu, koja obuhvata elemente 5G mreže koji pružaju pokrivenost, propusni opseg, kašnjenje i pouzdanost za 5G uređaje, kao što su bazne stanice, mobilni *backhaul*, *edge clouds* i jezgro mreže, kao i krajnje uređaje;
- Povezane uređaje (senzori, pametni telefoni i slično) i stvari, čiji će se broj prema prognozama povećati na 4,1 milijardu do 2024. godine, [79], čime će se stvoriti jače sektorske zavisnosti od mreža. Uređaji će biti u mogućnosti da podrže mnogo bolje performanse i postojaće u raznim formama adekvatnim za nove 5G scenarije primjene i poslovne modele;
- Bezbjednost, stvarna i percipirana *end-to-end*, 5G infrastrukture, uređaja i servisa, će biti ključni faktor za krajnje korisnike, preduzeća i javne ustanove kada budu donosili odluke o tome da svoje aktivnosti prebace na 5G mobilnu mrežu:
- Benefite, koji se mogu postići u dvije dimenzije, kroz:
    - Ekonomske benefite, kao što su povećanje stope zaposlenosti, ekonomskog rasta, dobiti, nivoa investicija, itd. i
    - Socijalne benefite, kao što su unapijređenje zdravstvenog sistema, obrazovanja, opšteg životnog standarda, poboljšanje kvaliteta vazduha, smanjenje nivoa emisije gasova sa efektom staklene bašte, racionalnija upotreba zemljišta i biodiverzitet, efikasno upravljanje otpadom, optimizacija potrošnje vode, poboljšanje kvaliteta vode i slično.

Za puno razumijevanje i prihvatanje ekonomskih i socijalnih benefita, kao i dodatnih vrijednosti koje donose 5G mobilne mreže, neophodno je efikasno pristupiti implementaciji 5G sistema. U tom cilju, korisno je identifikovati ključne zainteresovane subjekte u posmatranom ekosistemu, koji se istovremeno mogu smatrati odgovornim i za eventualna ograničenja i izazove vezane za taj proces, a to su:

- Regulatori/kreatori politike, koje čine vladine institucije i regulatorne agencije;
- Preduzeća/Organizacije/Udruženja, koji obuhvataju preduzeća, međunarodna udruženja, saveze sa geografskim/tematskim/sektorskim fokusom, kao što su ITU, GSMA, 3GPP, 5G savez za povezane industrije i automatizaciju, 5G automobilska industrija;

- Provajderi servisa/tehnologije, u koje se ubrajaju mrežni operatori, provajderi mrežne opreme, softverske kompanije, proizvođači uređaja, *start-up*-ovi;
- Javno-privatna partnerstva, koja čine organizacije tipa Svjetske Banke, UN, IMF, 5G infrastrukturno javno-privatno partnerstvo (5G-PPP), OECD.

U 5G ekosistemu nove tehnološke opcije imaju ulogu katalizatora za razvoj novih poslovnih odnosa kreirajući dodatne mogućnosti, posebno kad su u pitanju provajderi mrežne infrastrukture, nova generacija provajdera komunikacionih servisa, proizvođači mrežne infrastrukture, IT sektor i poslovni korisnici, uključujući mala i srednja preduzeća. Takav model vodi uspostavljenju višestrukih partnerstava i kooperacije na različitim nivoima, od dijeljenja mrežne infrastrukture do boljeg iskorišćavanja svih potencijala mreže.

Pri tome, uključenost vertikalnih industrijskih subjekata u 5G ekosistem označava najvažniju promjenu u poređenju sa 4G. Akteri iz vertikalnih sektora, kao što su automobilska industrija, energetika, fabrike, zdravstvo, mediji, javni prevoz, vazduhoplovstvo i slično, dobijaju mogućnost preuzimanja uloge provajdera *on-line* servisa, pružajući usluge direktno krajnjim korisnicima. Takođe, uvođenje *cloud computing*-a u telekomunikacioni sektor omogućava uključivanje novih aktera iz IT sektora u 5G ekosistem. Provajderi IT servisa mogu da pruže nove usluge kao što je *cyber* bezbjednost ili analitika velikih podataka drugim zainteresovanim subjektima u ekosistemu ili direktno krajnjim korisnicima. Promjene će se desiti i u odnosima provajdera mrežnih servisa i provajdera *on-line* sadržaja. Na taj način će biti stvoreni uslovi za nove servise i potpuno drugačija iskustva krajnjih korisnika, tipa "*immersive*" medija ili zdravstvenih usluga na daljinu, omogućenih zahvaljujući orkestriranju, kontroli, upotrebi i nadgledanju infrastrukturnih resursa u koordinisanom pristupu.

Inovirani karakter komunikacionog ekosistema omogućava i kreiranje novih poslovnih uloga i aktera, kao što je na primjer posrednik (broker) koji nudi usluge korisnicima za poboljšanje njihove efikasnosti. Faktički, broker djeluje kao posrednik između provajdera *on-line* servisa (uključujući vertikale) i provajdera mrežne infrastrukture, kao i između samih provajdera mrežnih servisa. Tu spadaju i posrednici koji olakšavaju razmjenu spektra između provajdera mrežnih servisa, kao i oni koji posreduju u ostvarivanju povezivanja, na način što upravljaju tržištima za trgovanje mogućnostima povezivanja, bave se trgovinom opcijama za povezivanje i resursima za procesiranje između mrežnih provajdera i provajdera *cloud*-a, a u svrhu uspostavljanja servisa od kraja do kraja sa zagarantovanim nivoom kvaliteta. Brokeri takođe mogu da djeluju kao posrednici između krajnjih korisnika i provajdera, kako bi se omogućilo pružanje servisa potrebnih karakteristika.

Generalno, jasno je da ekosistem koji se formira oko 5G mreža stvara čitav niz novih poslovnih mogućnosti za telekomunikacione/mrežne operatore,

proizvođače i provajdere rješenja, kao i za niz novih zainteresovanih subjekata, poput provajdera *on-line* servisa, softverskih kuća, brokera, *startup*-ova, malih i srednjih preduzeća. Svi oni dobijaju opcije da zahvaljujući 5G mreži unaprijede svoju ekonomsku poziciju kreiranjem inovativnih proizvoda i servisa za postojeće i nove korisnike i tržišta. Na taj način mogu povećati svoje prihode, s tim što cilj treba da bude stvaranje nove vrijednosti podsticanjem potražnje za novim servisima, adresiranjem inoviranih zahtjeva i potreba korisnika.

6.2. Ekonomski i socijalni benefiti

U cilju podrške i podsticaja relevantnim zainteresovanim subjektima da rade zajednički na rješavanju izazova implementacije 5G sistema, neophodno je razviti svijest o svim potencijalima koje ova napredna tehnološka platforma nudi, kada su u pitanju nove ekonomske i socijalne vrijednosti. Trenutne prognoze govore da će inteligentna povezanost, koju omogućava 5G mobilna mreža, biti katalizator globalnog društveno-ekonomskog rasta u četvrtoj industrijskoj revoluciji sa procijenjenih 13,2 milijarde dolara nove vrijednosti do 2035. godine, [80].

Sa druge strane, prema GSMA (*GSM Association*), ulaganja u 5G mreže dostići će milijardu dolara širom svijeta do 2025. godine, uz predviđanje da će globalni investicioni ciklus 5G mreže biti duži od 4G, što istovremeno ukazuje na činjenicu da se može očekivati da koegzistencija 4G i 5G potraje i nakon 2030. godine.

Modeli 5G servisa podržavaju fleksibilnost i dinamičnost daleko bolje u odnosu na ono što je danas moguće, što utiče na granularnost, trajanje i pouzdanost odnosa relevantnih subjekata uključenih u 5G ekosistem. Mrežno segmentiranje*,* kao ključni koncept 5G arhitekture, je u osnovi tih mogućnosti i odgovoran je za nove opcije stavljene na raspolaganje provajderima mrežnih servisa (NSP), da razvijaju nove ponude koristeći XaaS model (*Anything as a Service*), uključujući IaaS (*Infrastructure as a Service*), PaaS (*Platform as a Service*) i NaaS (*Network as a Service*). Na taj način, nacionalni provajderi mogu fleksibilno da podrže funkcionisanje više različitih entiteta na njihovoj infrastrukturi. Takvi entiteti, koji ustvari predstavljaju čitav niz različitih vertikalnih industrijskih segmenata (OSP - *Online Service Providers*), dobijaju mogućnost da nude proizvode prilagođene specifičnim potrebama njihovih krajnjih korisnika. Sposobnost kombinovanja privatnih i javnih mreža i *data* centara na siguran i kontrolisan način, stvara uslove za saradnju relevantnih subjekata u okviru 5G ekosistema. Na taj način, inovirani poslovni procesi će dovesti do kreiranja fleksibilnih lanaca novih vrijednosti i dodatnih vrijednosti na ekonomičan način.

Što se tiče tradicionalnih mrežnih operatora, implementacija 5G tehnologija otvara mnoge mogućnosti da diverzifikuju njihove ponude, posebno time što će uključiti IT servise. Tako će, na primjer, moći da plasiraju pristup 5G pametnim antenama (male ćelije) ili čak da nude upravljanje ovim ćelijama.

Nadalje, virtuelizacija 5G mreže, uz mrežno segmentiranje, obezbijediće prethodno nemoguću fleksibilnost u načinu na koji se upravlja mrežom i komercijalizuju mrežni infrastrukturni resursi. Ova funkcija će omogućiti operatorima da podijele svoju infrastrukturu na virtuelne mrežne djelove i da svakom korisniku ponude mrežu po mjeri, do specifičnih potreba za kapacitetom, kašnjenjem i pouzdanošću. U tom kontekstu, može se očekivati i pojava novih tipova korisnika. Na primjer, provajder električne energije, koji je odlučio da upravlja sopstvenom mrežom za očitavanje brojila, biće u mogućnosti da iznajmi mrežne 5G resurse od mrežnog operatora, na nivou koji mu je potreban i na taj način da prezume ulogu vertikalnog aktera u 5G ekosistemu.

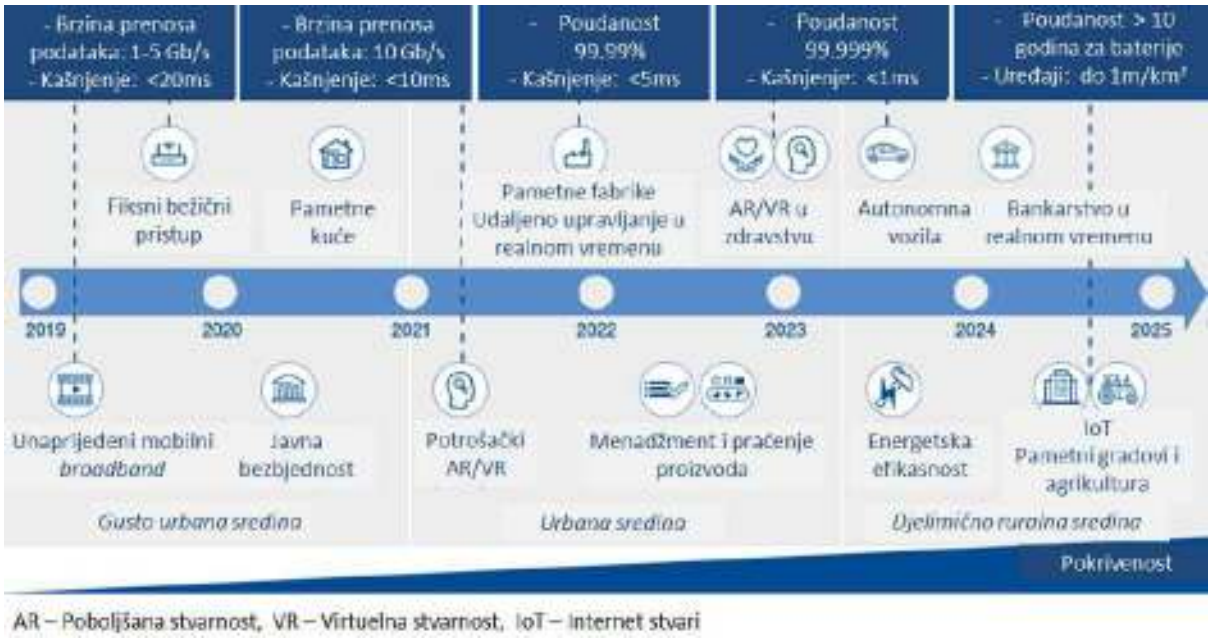
Generalno, 5G stvara ogromne mogućnosti za brojne industrijske sektore, ali će takođe i kreirati velike poremećaje u mnogim tradicionalnim sektorima. Od omogućavanja robotske hirurgije na daljinu i širokog usvajanja autonomnih automobila do poboljšanja upravljanja usjevima i stokom, 5G bez dileme ima potencijal da promijeni paradigmu najvećih segmenata globalne industrije, kao što su:

- Industrijska proizvodnja;
- Energija i komunalne usluge;
- Poljoprivreda;
- Trgovina;
- Finansijske usluge;
- Mediji i zabava;
- Zdravstvo;
- Transport;
- AR/VR;
- Osiguranje;
- Obrazovanje;
- *Cloud Computing*;
- Video igre;
- Nekretnine;
- Javna bezbjednost;
- Upravljanje lancem snabdijevanja;
- Ugostiteljstvo;
- Turizam;
- Vojna industrija;
- Marketing i oglašavanje.

5G je ključni pokretač za unapređenje infrastrukture, promociju održive industrijalizacije i podsticanje inovacija. Ipak, kad se govori o ekonomskim i socijalnim benefitima 5G tehnologije, treba imatu u vidu da još uvijek postoji visok stepen neizvjesnosti, kako po pitanju implementacije, tako i u pogledu potencijalnih prihoda. I dok su opcije koje se otvaraju očekivanom transformacijom komunikacionih mreža jasne, ekonomske i socijalne vrijednosti koje će kreirati 5G mogu se donekle identifikovati kroz potencijalna područja ekonomskog napretka i glavne komercijalne mogućnosti u industrijskim sektorima, što je ilustrovano na Slici 6.1, [81].

Sama analiza efekata može biti napravljena uzimanjem u obzir sljedećih aspekata za svaki od pojedinačnih scenarija primjene od interesa:

- Napredak u industriji - kako se poboljšavaju i unapređuju specifične ključne performanse na bazi indikatora kao što su: smanjenje troškova, povećana sigurnost, bolje odlučivanje itd;
- Socijalni uticaj - koji su odgovarajući održivi razvojni ciljevi (UN SDG) koje određeni korisnički slučajevi (scenariji) dodatno podržavaju i omogućavaju njihovo postizanje?
- Funkcionalni pokretački faktori - šta omogućavaju 5G funkcionalne karakteristike za konkretan scenario primjene? Koji je vremenski okvir da se ostvari pun potencijal?



Slika 6.1. Korisnički scenariji u industrijskim sektorima omogućeni na bazi 5G mobilnih mreža

Kad je u pitanju napredak u industriji, tri najznačajnija načina na koja će 5G doprinijeti odnose se na:

- omogućavanje bržih i efikasnijih procesa nadgledanja proizvodnje korišćenjem prediktivne inteligencije;
- poboljšanje sigurnosti na radnom mjestu i povećanje operativne efikasnosti;
- uticaj na industriju na način što će omogućiti bolje upravljanje CO_2 emisijom, doprinijeti prevazilaženju digitalnog zaostajanja i popraviti nivo digitalne inkluzije.

Sa aspekta socijalnog uticaja, mogu se identifikovati ključni UN razvojni ciljevi (SDG) gdje 5G može pružiti dodatnu društvenu vrijednost, uglavnom doprinoseći dobrom zdravlju i smanjenju siromaštva uz poboljšanje infrastrukture, promociju održive industrijalizacije i podsticaj inovacijama. Ostala ključna područja u kojima se društvena vrijednost može stvoriti putem 5G uključuju doprinos odgovornoj potrošnji i omogućavanje transformacije u pravcu održivih gradova i zajednica, te promociju

regulisanog i fer rada i ekonomskog rasta. Kako to izgleda na primjeru nekih vertikalnih sektora i korisničkih scenarija, prikazano je u Tabeli 6.1.

Tabela 6.1. Primjeri korisničkih scenarija u nekim vertikalnim sektorima

Vertikalni sektor	Korisnički scenario	Relevantni SDG	Omogućena transformacija
Zdravstvena zaštita	- Praćenje pacijenata na daljinu, - Internet medicinskih vještina/hirurgija na daljinu; - Prenos slike; - AR/VR podržana zdravstvena zaštita; - Upravljanje bolestima; - Nosivi i *inbody* uređaji za praćenje i dijagnozu; - Dronovi u funkciji pružanja medicinskih usluga.	SDG 3 SDG 4 SDG 5 SDG 8 SDG 9	- *m-Health* (mobilno zdravlje) i širie uključivanje rezultata telemedicine sa ciljem povećanja dostupnosti kvalitetne zdravstvene zaštite; - Mjere preventivne zdravstvene zaštite (nosivi i *inbody* uređaji) dovode dugoročno do smanjenja troškova zdravstvene zaštite.
Finansijski servisi	- Mobilno bankarstvo; - Nosivi uređaji za plaćanje ; - Virtuelni personalizovani finansijski savjeti ; - Internet pokretnih stvari; - Digitalni depoziti, plaćanja i direktno (peer-to-peer) kreditiranje; - Mobilni digitalni novčanik.	SDG 4 SDG 5 SDG 8 SDG 9 SDG 13	- Kraći ciklusi dogovaranja na tržištima kapitala vode do pojačane ekonomske aktivnosti; - Virtuelne personalizovane usluge i sve-u-jedan mobilni novčanik za poboljšano iskustvo korisnika.
Energetski sektor	- Pametna mreža (*smart grid*); - Mogućnost nadzora dronom; - Pametno upravljanje energijom; - Nadzor rizika održavanje senzora; - Električna vozila; - Pametna brojila; - Pametna ulična rasvjeta.	SDG 7 SDG 8 SDG 9 SDG 13	- Manja postrojenja za obnovljivu energiju i pametne mreže poboljšavaju pouzdanost i raspoloživost; - Digitalizacija nadzora vodi do bržeg donošenja odluka, uz minimiziranje potencijalnih gubitaka u mreži.
Trgovina	- 3D pozivi/holografi namijenjeni potrošačima; - Potrošački AR/VR; - Automatska naplata;	SDG 2 SDG 3 SDG 8 SDG 12 SDG 13	- "Probaj prije nego kupiš" koristeći AR/VR u cilju poboljšanja iskustva potrošača; - Prilagođeno, personalizovano, oglašavanje koje vodi do

	- Optimizacija rasporeda robe; - Pametno upravljanje odnosa sa kupcem; - Personalizovane promocije ; - Smanjivanje zaliha.		povećane prodaje.
SDG1:Svijet bez siromaštva; SDG2:Svijet bez gladi; SDG3:Zdravlje i blagostanje; SDG4:Kvalitetno obrazovanje; SDG5:Rodna ravnopravnost; SDG6:Čista voda i sanitarni uslovi; SDG7:Pristupačna energija iz čistih izvora; SDG8:Dostojanstven rad i ekonomski rast; SDG9:Industrija, inovacije i infrastruktura; SDG10:Smanjenje nejednakosti; SDG11:Održivi gradovi i zajednice; SDG12:Održiva potrošnja i proizvodnja; SDG13:Zaštita klime; SDG14:Očuvanje vodenog svijeta; SDG15:Očuvanje života na zemlji; SDG16:Mir, pravda i snažne institucije; SDG17 Partnerstvom do ciljeva;			

Pri razmatranju funkcionalnih pokretačkih faktora mora se voditi računa o kojim konkretnim aplikacijama i scenarijima primjene je riječ. Izuzetno pouzdana komunikacija s malim kašnjenjem ključni je pokretački faktor koji karakteriše 5G i koji će dovesti do stvaranja nove društveno-ekonomske vrijednosti. Drugi pokretački faktor koji definiše 5G je poboljšani širokopojasni mobilni pristup, uglavnom povezan sa vještačkom inteligencijom, hibridnom realnošću i aplikacijama zasnovanim na dronovima.

S obzirom da će se uvođenje 5G mreža odvijati u fazama, može se očekivati i da neki od navedenih funkcionalnih pokretačkih faktora budu dodatno poboljšani. Pri tome, za najveći broj anticipiranih korisničkih scenarija nije ni neophodno da ovi faktori budu do kraja razvijeni. Trenutno, i u bližoj budućnosti, najveći potencijal za realni razvojni proboj nalazi se u ključnim karakteristikama 5G tehnologija: malo kašnjenje i poboljšani mobilni širokopojasni pristup.

Naravno, i sve ostale specifične karakteristike koje 5G razlikuju od prethodnih generacija mobilnih komunikacionih sistema, i koje su detaljno opisane u prethodnim glavama ove Studije, doći će do izražaja u pogledu pozicioniranja novih mreža i servisa na tržištu. Pri tome, treba imati u vidu da je razvoj konkretnih korisničkih scenarija još uvijek na početku i da još mnogo treba da se uradi da bi scenariji tipa povezanih automobila ili Industrija 4.0 postali realnost. Ipak, jedno je sigurno: svi zainteresovani akteri 5G ekosistema moraju nastaviti da ulažu i iznad svega, moraju sarađivati i stvarati partnerstva kako bi razvili servise za krajnje korisnike koji će maksimalno koristiti sve prednosti 5G mobilnih mreža.

6.3. Izazovi

Imajući u vidu navedene osnovne komponente 5G ekosistema, kao i identifikovane kategorije zainteresovanih subjekata, glavni izazovi u pogledu efikasne implementacije 5G sistema mogu se sistematizovati na način dat u Tabeli 6.2.

Tabela 6.2. Sistematizacija glavnih izazova u pogledu efikasne implementacije 5G sistema

Komponenta 5G ekosistema	Regulatori/ kreatori politike	Preduzeća, Organizacije, Udruženja	Provajderi servisa /tehnologije	Javno/ privatna partnerstva	Izazovi
Spektar	X	X	X		- Lokalne dozvole i planiranje za upotrebu spektra; - Aukcije i visoke naknade za dodjelu spektra; - Fragmentacija frekvencijskih dodjela.
Infrastruktura	X	X	X	x	- Održavanje vlakana: kapacitet, dostupnost, troškovi primjene i velike udaljenosti; - Novi modeli finansiranja za uvođenje/vlasništvo nad vlaknima; - Raspoređivanje malih ćelija: lokalne dozvole i planiranje.
Uređaji		X	X		- Dostupnost uređaja kompatibilnih sa lokalnim spektrom i raspodjelom, i u skladu sa usklađenim globalnim standardima; - Nedostatak jasne mape puta za proizvođače uređaja.
Servisi	X	X	x	x	- Smjernice i standardi koji se odnose na prekograničnu razmjenu podataka; - Korisnički scenariji koji proizilaze iz integracije sa novim tehnologijama (AI, *big data*, IoT); - Nedostatak podsticaja za međuindustrijsku saradnju; - Nadogradnja vještina i resursa provajdera servisa.
Bezbjednost	X		x	x	- Sigurnost prikupljanja ličnih podataka; - Ranjivost uređaja; - Ranjivosti mrežnog prenosa podataka; - Sigurnost kritične infrastrukture.
Benefiti		X			- Ograničeni fokus na društvene i ekološke koristi od 5G; - Ne korišćenje pogodnosti koje pruža 5G u poredjenju sa drugim komunikacionim tehnologijama.

Uz navedeno, poseban izazov u implementaciji 5G sistema i prihvatanju svih prednosti omogućenih novim karakteristikama komunikacionog ambijenta, može predstavljati i nepovjerenje u pogledu bezbjednosti angažovanog elektromagnetnog spektra.

Iako su se strahovi od izloženosti EMF pojačali razvojem 5G, ova vrsta zabrinutosti nije potpuno nova. Slično je bilo i tokom 1990-ih i početkom 2000-ih, sa aktivističkim grupama koje su se fokusirale na opasnosti od nejonizujućeg zračenja. Poznato je da se EMF obično grupišu u dva tipa: jonizujuća zračenja (poput rentgenskih zraka) i nejonizujuća zračenja (poput elemenata elektroenergetskih sistema i baznih stanica mobilnih mreža). Jonizujuće zračenje ima sposobnost da poremeti atome na strukturnom nivou, dok se za nejonizujuće zračenje smatra da ne postoji ta vrsta rizika, posebno u uslovima kada su ispunjene smjernice za izloženost koje su uspostavili nacionalna i nad-nacionalna tijela koja prate ovo pitanje.

Veliki dio zabrinutosti javnosti usredsređen je na dva nova elementa 5G mreža: korišćenje viših frekvencija (do mikrotalasnih) i implementacija velikog broja malih ćelija, tj. povećanje broja baznih stanica. Činjenica je da postoje aktivističke grupe i pojedinci koji smatraju da će samo postojanje ovih novih elemenata dovesti do veće izloženosti EMF zračenju. Važno je istaći da ne postoje egzaktni dokazi koji bi to potvrdili. Prije svega, više frekvencije znače znatno manje domete, kao i manje prodiranje radio talasa u tijelo čovjeka, čime izloženost postaje niža u odnosu na prethodne generacije mobilnih mreža. Takođe, ideja da više baznih stanica dovodi do veće izloženosti predstavlja zabludu. Veći broj baznih stanica će zapravo pružiti efikasniju mrežu, što znači da mobilni terminali mogu funkcionisati sa smanjenom snagom, što rezultira smanjenom ukupnom izloženošću.

Važno je istaći da brojna i opsežna istraživanja nijesu pokazala da postoje dokazi o utvrđenim zdravstvenim efektima izloženosti u vezi sa elektromagnetnim zračenjem baznih stanica mobilnih komunikacionih sistema. U tom kontekstu, Svjetska Zdravstvena Organizacija (WHO - *World Health Organization*) je publikovala svoj stav u sljedećoj formi:
"Do danas, i nakon mnogo sprovedenih istraživanja, nijedan štetan zdravstveni efekat nije uzročno povezan sa izlaganjem bežičnim tehnologijama. Zaključci u vezi sa zdravljem izvedeni su iz studija sprovedenih u čitavom radio spektru, ali do sada je izvedeno samo nekoliko studija na frekvencijama koje će koristiti 5G. Zagrijavanje tkiva je glavni mehanizam interakcije između radio-frekventnih polja i ljudskog tijela. Nivoi izlaganja radio-frekvenciji iz savremenih tehnologija dovode do zanemarljivog porasta temperature u ljudskom tijelu. Kako se frekvencija povećava, talasi manje prodiru u tjelesna tkiva i apsorpcija energije postaje sve više ograničena na površinu tijela (kožu i oko). Pod uslovom da ukupna izloženost ostane ispod međunarodnih smjernica, ne očekuju se posljedice po javno zdravlje."

Dodatno treba istaći da, s obzirom na način i obim njihovog korišćenja i nošenja (korišćenje neposredno uz glavu, nošenje uz tijelo), da je dugoročni

uticaj zračenja mobilnih telefona na zdravlje ljudi predmet intenzivnih naučnih istraživanja u posljednje tri decenije. Iako ne postoji jedinstveno naučno stanovište po ovom pitanju, Međunarodna agencija za istraživanje kancera (IARC) je 2011. godine klasifikovala elektromagnetno zračenje mobilnih telefona kao potencijalno kancerogeno za ljude (Grupa 2B), usljed povećanog rizika od nekih vrsta tumora mozga, pri svakodnevnom dugotrajnom korišćenju. Pri tome, IARC u istoj objavi nedvosmisleno ukazuje da se navedena klasifikacija ne odnosi na elektromagnetno zračenje baznih stanica mobilnih komunikacionih sistema. Ovo stanovište se poklapa sa prethodno navedenim stavom Svjetske Zdravstvene Organizacije.

U pravcu smanjivanja nivoa elektromagnetnih emisija idu aktivnosti definisane 5G Akcionim Planom Evropske komisije iz 2016. godine. Ovaj plan predviđa Aktivnost broj 4, koja iskazuje potrebu implementacije guste mreže pristupnih tačaka, realizovanih na višim frekvencijskim opsezima, sa smanjenim servisnim zonama, što znači i smanjenje stope elektromagnetnih emisija. Svakako da je to pravac u kojem se treba kretati. On nameće potrebu izbjegavanja kolokacije više tehnologija na jednoj urbanoj lokaciji, što je bio slučaj prilikom realizacije mobilnih radio -sistema prethodnih generacija. Navedeno kolociranje je imalo za rezultat više negativnih efekata: povećanje nivoa elektromagnetnih emisija, loše planiranje mreže uz povećanje stepena interferencije, korišćenje nižih frekvencijskih opsega u urbanim sredinama, negativan uticaj tornjeva na urbani prostor i slično.

Navedena Aktivnost iz 5G Akcionog Plana Evropske komisije obezbjeđuje realizaciju gustih pristupnih tačaka (baznih stanica) uz smanjenje emisionih snaga, za koje je potreban neuporedivo manji fizički prostor za njihovu implementaciju. Preduslov za ovaj pristup predstavljaju aktivnosti na snažnom razvoju optičke infrastrukture u urbanim prostorima kojom bi se povezale ovakve pristupne tačke. Time bi se istovremeno postiglo izbjegavanje upotrebe mikrotalasnih (MW) radio-relejnih linkova i to iz dva osnovna razloga. Prvi je eliminacija doprinosa MW linkova elektromagnetnim emisijama, a drugi je njihov ograničeni prenosni kapacitet.

Doprinos smanjenju rizika od elektromagnetnih zračenja trebaju da daju, kako operatori, tako i javna administracija na državnom i lokalnom nivou. Operatori će za realizaciju navedene aktivnosti morati da uposle više kvalifikovanog kadra za kvalitetno planiranje svojih mreža sa jasnim zadatkom da se minimizuju emisione snage na radio pristupnom dijelu mreže, a samim tim i na korisničkom terminalu. Javna administracija treba da obezbijedi efikasno sprovođenje procedura dobijanja raznih dozvola uz kvalitetnu projektnu dokumentaciju dostavljenu od strane operatora, što opet zahtijeva angažovanje visokoobrazovanog inženjerskog kadra za pripremu neophodne projektne dokumentacije.

Nadležna institucija za zaštitu životne sredine treba da obezbijedi efikasan monitoring nivoa elektromagnetnih emisija, jasnim i ciljanim planovima monitoringa na mjesečnom i godišnjem nivou, angažujući za to akreditovane nacionalne laboratorije, koje su takođe nadzirane od strane

nadležnog akreditacionog tijela. Ovo treba da obezbijedi maksimalni nivo povjerenja u aktivnosti koje se sprovode od strane cjelokupne, kako stručne, tako i laičke javnosti.

U skladu sa aktivnostima iz 5G Akcionog Plana Evropske komisije, koji su detaljno opisani u Glavi 4 ove Studije, država treba da obezbijedi mehanizme za odgovarajuće podsticaje u realizaciji opisanog pristupa koji je garant bezbjednog korišćenja mobilnih mreža pete generacije u pogledu uticaja elektromagnetnog zračenja na životnu sredinu. Na taj način, kroz sinergiju svih navedenih subjekata, moguće je efikasno rješavati ovaj izazov.

Istovremeno, neophodno je pažljivo i savjesno pratiti primjenu standarda i smjernica u pogledu sigurnosnih ograničenja.

6.4. Uloga Vlade i javne administracije

Uspješna implementacija 5G zahtijeva jasno definisan politički okvir, kako bi se obezbijedilo efikasno iskorišćenje što je moguće više prednosti ove nove tehnološke platforme. Saradnja Vlade sa zajednicom mrežnih provajdera i provajdera *on-line* servisa je neophodna kako bi se zajednički definisale inicijative koje će stvoriti momentum i kreirati interes zainteresovanih subjekata, uključujući i krajnje korisnike. Mnogi elementi 5G mreža predstavljaće nadogradnju 4G mreža. Veći obim saobraćaja koji će generisati brojni povezani uređaji i objekti zahtijevaće značajno povećanje prenosnih kapaciteta do baznih stanica/lokacija. Takođe, neki od 5G servisa će postaviti dodatne zahtjeve za dizajn mreže i biće potrebno bolje pokrivanje u nekim oblastima, što znači više baznih stanica/lokacija i više antena. Da bi izbjegli nerazumijevanje i eventualne otpore, lokalna i nacionalna javna administracija treba da igraju ključnu ulogu definišući adekvatne uslove koji će biti podsticaj za neophodne investicije.

Vlada i cijela javna administracija imaju posebnu odgovornost da sopstvenim primjerom podstiču ostale subjekte 5G ekosistema na akciju i prihvatanje novih mogućnosti koje će biti na raspolaganju. Pri tome, osmišljena upotreba 5G u javnoj administraciji može:

- Transformisati funkcionisanje, povećavajući nivo transparantnosti uz omogućavanje pristupa informacijama u realnom vremenu, s bilo kojeg uređaja, bilo kad i bilo gdje, posebno kad su u pitanju hitne službe, inspekcijski organi, službe za sprovođenje zakona;
- Poboljšati javnu infrastrukturu, stvarajući pametne, hiperpovezane zajednice;
- Stvoriti uslove da se djeluje podsticajno kad su u pitanju prateće inovativne tehnologije tipa vještačke inteligencije (AI) i *multiaccess edge computing*-a (MEC), koncepta mrežne arhitekture koji proširuje mogućnosti *cloud computing*-a bliže korisniku. Takvim inovacijama će se omogućiti transformacija javnih usluga u oblastima kao što su zdravstvena zaštita, sprovođenje zakona, mobilnost i još mnogo toga.

5G je još uvijek u ranoj fazi implementacije i mali je broj korisnika koji posjeduju uređaje koji podržavaju 5G, s tim što su mreže prvenstveno koncentrisane na urbane lokacije velike gustine. Ipak, implementacija se ubzava i to je šansa za javnu administraciju da aktivno prezume ulogu u implementaciji, podsticanju i korištenju ove nove tehnološke platforme, fokusirajući svoju pažnju na pitanja vezana za postojeće mreže, *cyber* bezbjednost, bezbjednost lanca nabavke, integraciju u *cloud*, etiku i privatnost, politiku spektra, ruralnu povezanost i implikacije na nivo zaposlenosti (kreiranje novih radnih mjesta prije svega).

Jasno je da 5G ima potencijal da posluži kao katalizator nacionalne konkurentnosti i da doprinese transformaciji javne administracije. Ipak, ta transformacija se neće dogoditi preko noći i mogla bi uključivati i značajna pitanja povezana sa odgovarajućim politikama. Uglavnom se to odnosi na sljedeće dvije kategorije:

- Infrastrukturu
  - modifikacije postojeće mrežne infrastrukture, sistema i aplikacija,
  - integracija u *cloud*,
  - sigurnost mreža i ranjivosti u lancu snabdijevanja;
- Javne politike i funkcije
  - zaštita podataka i privatnost,
  - dugoročna politika spektra,
  - neravnopravnost gradskih i ruralnih područja u pogledu povezanosti,
  - implikacije na radnu snagu.

Kad je u pitanju infrastruktura, najneposredniji zadatak javne administracije i agencija odnosi se na integraciju 5G servisa i infrastrukture sa postojećim sistemima. Dodatno, pojaviće se potreba nadogradnje javne IT infrastrukture i aplikacija kako bi se iskoristile prednosti 5G tehnologija i usvojili novi korisnički scenariji.

Cloud computing je već promijenio našu svakodnevicu, omogućavajući daljinski pristup datotekama za posao, skladištenje i preuzimanje dokumenata iz sigurnih okruženja u *cloud*-u, gledanje video zapisa u pokretu, pristup geografskim mapama i digitalnim asistentima. Upravo iz tog razloga, vlade i njihove agencije treba da razmotre više faktora za integraciju 5G i *cloud*-a:

- Izbor pravog modela za usvajanje pristupa posredstvom *cloud*-a. U tom kontekstu, kritičan aspekt predstavlja donošenje odluke da se „izgradi ili kupi" - -da se napravi sopstvena platforma u *cloud*-u ili da se kupe usluge u *cloud*-u od drugih provajdera;
- Zaštita osjetljivih podataka. Važno je imati odgovor na pitanje gdje će se podaci nalaziti u odabranom pristupu *cloud*-u, tj. gdje će se *data* centri koji hostuju podatke i aplikacije fizički nalaziti.

U pogledu sigurnosti mreža i ranjivosti u lancu snabdijevanja, imajući u vidu karakter transformacija koje se uvode implementacijom 5G, opravdano je upozoriti na potencijalne ranjivosti i sigurnosne rizike, posebno imajući u

vidu činjenicu da se razvoj 5G odvija širom svijeta. Tako se na primjer, mogu nabaviti 5G komponente, softver i hardver od pouzdanih komercijalnih entiteta, ali se pri tome ne dobija dovoljan nivo uvida ili kontrole nad lancima snabdijevanja. Iako se ti rizici mogu donekle kontrolisati standardima, rizici od manjkavosti ili krivotvorenja komponenti i zlonamjernih softvera i dalje su visoki.

Problemi sigurnosti 5G mreža dobijaju dodatno na značaju zbog virtualizacije mreža i predviđenog uvećanja broja mrežnih čvorišta. Rizici bi mogli da potiču od loših metoda razvoja softvera, nepridržavanja redovne nadogradnje softvera od strane administracije ili dobavljača, prenosa zlonamjernih softvera tokom operacija održavanja i slično. Međutim, kako se implementacija 5G ubrzava i sazrijeva, očekuje se da će to rezultirati boljom sigurnošću s obzirom da tehnologije, kao što su mrežna virtualizacija, MEC i mrežno segmentiranje (*network slicing*), imaju potenciajal da povećaju nivo sigurnosti. No, kratkoročni sigurnosni rizici su za sad evidentni i jasno je da će doći do eksponencijalnog porasta prijetnji. Generalno, 5G može u velikoj mjeri povećati mogućnosti zlonamjernih aktera, imajući u vidu povećanje broja stubova, na hiljade malih ćelija i milione mobilnih i IoT uređaja. Već je demonstrirano i da se male ćelije mogu hakovati i koristiti za presretanje podataka i poruka mobilnih uređaja povezanih sa ćelijom. U tim uslovima, 5G može podržati *zero-trust* model sigurnosti, spriječavajući na taj način bočno kretanje podataka unutar mreže identifikovanjem, praćenjem i autentifikacijom svih uređaja, omogućavajući na taj način bolji nivo sigurnosti.

Dodatno, posebno u urbanim sredinama, 5G će biti primijenjen sa velikim brojem kamera i senzora, sa značajnim pridruženim skupovima podataka. Ako se ovome doda i napredak u AI, uključujući prepoznavanje lica, stvaraju se uslovi za intenzivan nadzor od strane agencija zaduženih za sprovođenje zakona. Međutim, istovremeno, takav razvoj podstiče zabrinutost zbog etičke upotrebe ovih tehnologija, u kontekstu privatnosti i građanskog prava na zaštitu sloboda. U pojedinim državama se već donose zakoni koji ograničavaju upotrebu softvera za prepoznavanje lica. Pri tome, rasprava oko podataka i etike u primjeni AI daleko prevazilazi pitanja sprovođenja zakona, dobijajući i političke konotacije. Adekvatne mjere zaštite biće ključne za sprječavanje neželjenih posljedica kao što su neovlašćeno raspolaganje podacima ili krađa, hakovanje privatnih zdravstvenih podataka ili prodaja ličnih podataka bez saglasnosti vlasnika. Upravo, vlade i vladine agencije imaju najvažniju ulogu u tom procesu, stvaranjem standarda koji definišu privatnost i obezbjeđivanjem propisa za zaštitu podataka.

Odgovarajuća uloga države i lokalnih administracija u podsticanju napretka 5G je posebno važna u kontekstu ostvarivanja povezivanja ruralnih područja. Implementacija 5G u urbanim sredinama je obično determinisana sa dva kritična faktora:

- Ekonomija, tako što veliki broj korisnika ide u prilog investicijama i ulaganjima od strane mrežnih i ostalih provajdera;

- Infrastruktura, tako što 5G zahtijeva male ćelije, ogroman broj optičkih vlakana i *edge computing*.

Međutim, logistika potrebna za pružanje 5G servisa u gusto naseljenim urbanim sredinama značajno se razlikuje od situacije u ruralnim sredinama, kao što su rijetko naseljena i planinska područja. 5G bi mogao biti efikasna alternativna ili komplementarna tehnologija za povezivanje u poslednjem segmentu "do kuće" u ruralnim područjima, na način kako je to u Crnoj Gori već rađeno sa mobilnim komunikacionim sistemima prethodnih generacija (npr. fiksno celularni pristup korišćenjem GSM mreže).

Na lokalnom nivou, javna administracija treba da ostvari intenzivnu i kvalitetnu saradnju sa operatorima i preduzećima za efikasno korišćenje 5G infrastrukture, imajući u vidu očekivane zahtjeve za izgradnju i opremanje velikog broja lokacija za implementaciju malih ćelija.

5G će povezati pojedince, lično i profesionalno, kao nikada ranije. Takva hiperpovezanost nudi mnoge potencijalne prednosti, u pogledu zdravstvene zaštite, koja se kroz virtualizaciju približava građaninu, ili za poslovnu i industrijsku zajednicu, gdje novi sistemi pomažu zaposlenima u prikupljanju, analizi i korišćenju podataka i omogućavaju brojnim korisnicima simultani trening i funkcionisanje. Nema dileme da će automatizacija i AI pomoći u obradi ogromne količine informacija koje će imati na raspolaganju. Međutim, potrebno je imati u vidu i da tako veliki obim podataka znači suštinsku transformaciju angažovanja radne snage u svim segmentima, pa i u javnoj administraciji. U tom kontekstu, pitanja vezana za pravovremenu obuku, prekvalifikaciju i podizanje kapaciteta dobijaju izuzetno na važnosti i predstavljaju oblast posebne odgovornosti svih učesnika procesa obrazovanja u nacionalnoj zajednici.

Regulator u oblasti elektronskih komunikacija ima posebnu ulogu u stvaranju uslova i podsticanju implementacije 5G sistema. Uspješna promocija investicija zahtijeva stabilan, dosljedan i precizan regulatorni okvir, jasan svim zainteresovanim subjektima. Treba definisati administrativne uslove koji će olakšati implemenataciju malih ćelija velike gustine, uključujući: (i) pristup pasivnim objektima; (ii) adekvatne troškove zakupa opštinskih lokacija; (iii) uklanjanje raznih taksi na lokacijama; i (iv) predvidljive i usklađene nivoe EMF izloženosti. Propisana pravila treba da budu u funkciji promovisanja 5G, uz izbjegavanje eventualnih implementacionih ograničenja, posebno kad je u pitanju mrežno segmentiranje, *end-to-end* virtuelizacija i dijeljenje mrežnih resursa. Na taj način će se stvoriti uslovi za potreban nivo zaštite privatnosti između operatora i provajdera servisa u mreži i ukloniti prepreke razvoju inovativnih 5G servisa u svim vertikalnim industrijskim sektorima. Za 5G servise visoke pouzdanosti sa malim kašnjenjem, propisi moraju adresirati i pitanja odgovornosti, s tim što aspekti privatnosti zahtijevaju pravovremene i ciljane akcije, kako je to naglašeno u *EU Privacy Mandates* (npr. M/530) i Opštoj uredbi o zaštiti podataka (GDPR).

7. BEZBJEDNOST KOMUNIKACIJA, INTEGRITET 5G MREŽA, ZAŠTITA PRIVATNOSTI I PODATAKA

U ovoj Glavi se analizira uticaj uvođenja 5G mreža u Crnoj Gori na bezbjednost i integritet mobilnih celularnih mreža i komunikacija, zaštitu privatnosti korisnika servisa i zaštitu podataka. Objašnjavaju se novi rizici na polju bezbjednosti i privatnosti komunikacija koje donose 5G mreže, u odnosu na postojeće tehnologije, a posebno u odnosu na 4G mreže. Takođe su ukratko predstavljene postojeće preporuke i norme u oblasti informacione bezbjednosti 5G mreža, koje su/će biti implementirane u državama Evropske unije (EU) i drugim državama. U tom kontekstu, predstavljen je ukratko i posljednji Izvještaj Evropske agencije za bezbjednost mreža i podataka (ENISA - *European Network and Information Security Agency*), objavljen decembra 2020. god., [82].

Ova Glava Studije opisuje bezbjednost 5G mreža realizovanih u nesamostalnom i samostalnom modu. Glavni dio je zasnovan na 3GPP preporukama, posebno na TS 33.501 dokumentu, koji definiše bezbjednosnu arhitekturu 5G mreža, [83]. Već je u prethodnim glavama Studije ukazano da je bezbjednost 5G mreža mnogo važnija od bezbjednosti prethodnih mobilnih mreža, jer će 5G podržavati nove servise, kao što su Industrija 4.0, UAV, V2X, IoT, e-zdravstvo, i opsluživati saobraćaj povezan sa servisima koji daleko prevazilaze sadašnje govorne/multimedijalne servise i servise prenosa podataka. Bezbjednost 5G uključuje puno detaljnih mehanizama, koji se ne mogu potpuno opisati u tekstu koji je samo jedan od djelova ove Studije, tako da će ovdje biti istaknute najbitnije karakteristike bezbjednosne arhitekture 5G mreža, njene prednosti i nedostaci.

5G mreže pružaju novi set servisa, a potencijalne aplikacije stoga zahtijevaju veću zaštitu od postojećih 4G/3G/2G mreža. Kad su u pitanju 2G/3G mreže, određeni bezbjednosni nedostaci su ranije identifikovani. Evidentirano je da su mogući napadi tipa: praćenje lokacije, presretanje komunikacija, uskraćivanje usluge, prevara i druge zlonamjerne aktivnosti. Poseban problem povezan je s raznolikošću opcija bezbjednosnih konfiguracija koje može izabrati operator. Mnogi od pomenutih problema su ublaženi u 4G i 5G. Međutim, 2G/3G mreže neće uskoro nestati i biće i dalje ranjive na navedene napade. Zbog toga su neke mjere bezbjednosti u 5G mrežama predviđene i za scenarije kooperacije s različitim generacijama prethodnih mobilnih celularnih mreža.

5G jezgro (5GC – 5G *Core*) prelazi na novi IP (*Internet Protocol*) protokol stek, omogućavajući interoperabilnost sa većim brojem Internet servisa i tehnologija, pri čemu će se koristiti sljedeći protokoli:

- TCP (*Transmission Control Protocol*), kao protokol transportnog sloja, predstavlja zamjenu za SCTP (*Stream Control Transmission Protocol*) transportni protokol koji se koristi u 4G;
- Protokol bezbjednosti transportnog sloja (TLS – *Transport Layer Security*), kao dodatni nivo zaštite, koji pruža kriptovanu komunikaciju

između svih mrežnih funkcija (NF – *Network Function*) mobilne celularne mreže;
- HTTP/2 (*Hypertext Transfer Protocol 2.0*) preko N32 interfejsa (signalizacija između operatora, SEPP-*to*-SEPP (*Security Edge Protection Proxy*) signalizacija), zamjenjuje *Diameter*, koji se koristi preko referentne tačke S6a u slučaju 4G mreže;
- RESTful okvir sa OpenAPI 3.0.0 kao jezikom definicije interfejsa (IDL - *Interface Definition Language*).

Navedeni protokoli se široko koriste u IT (*Information Technologies*) rješenjima, što omogućava njihovu jednostavnu integraciju u 5G mreže. Sa druge strane, potencijalni skup zlonamjernih aktera može biti mnogo veći nego u prošlosti, jer su ovi akteri imali malo iskustva sa standardima korišćenim u prethodnim generacijama mobilnih celularnih mreža, što sada nije slučaj.

3GPP je u 5G mreže implementirao nove mogućnosti provjere autentičnosti (autentifikacije), poboljšanu zaštitu identiteta pretplatnika i dodatne bezbjednosne mehanizme, koji rezultiraju značajnim poboljšanjima bezbjednosti u odnosu na prethodne generacije. Novi bezbjednosni mehanizmi uključuju upotrebu međusobne autentifikacije, tajnost i integritet korisničkih podataka i podataka o uređaju, provjeru integriteta korisničke ravni, poboljšanu zaštitu privatnosti upotrebom parova javnih/privatnih ključeva (temeljni ključevi) za prikrivanje identiteta pretplatnika i izvođenje ključeva koji se koriste kroz servisnu arhitekturu. Mehanizmi upravljanja ključem dozvoljavaju pregovaranje o bezbjednosnim mogućnostima, a zaštita na aplikativnom nivou štiti od prisluškivanja i napada ponovne reprodukcije.

Vrijedno je pomenuti i da je 5G uveo zaštitu tajnosti inicijalnih signalizacionih NAS (*Non-Access Stratum*) poruka između uređaja i mreže. Na taj način se ostvaruje zaštita od napada tipa "posrednik" (MITM - *Man-in-the-Middle*) i lažnih baznih stanica (IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*) presretač), što je moguće i u prethodnim generacijama mobilnih celularnih mreža.

U 5G je takođe uveden i mehanizam nazvan kontrola matične mreže (*Home Control*), koji zahtijeva provjeru autentičnosti uređaja u posjećenoj (*roaming*) mreži, u kombinaciji s provjerom autentičnosti u mreži iz koje dolazi pretplatnik (matičnoj mreži). Mehanizam podržava objedinjenu provjeru autentičnosti na različitim tipovima pristupnih mreža (uključujući one koje nijesu 3GPP (ne-3GPP, kao npr. WLAN), a mehanizam uključuje i mogućnost ponovne provjere autentičnosti korisničkog uređaja (UE), kada se kreće između različitih pristupnih tehnologija, ili mreža. Nova funkcija, nazvana proksi za zaštitu ivice mreže (SEPP - *Security Edge Protection Proxy*), štiti ivicu mreže, djelujući kao bezbjednosni *gateway* na interkonekcijama između matične mreže i posjećenih mreža, povećavajući bezbjednost *roaming*-a, [84].

eSIM (*Embedded Subscriber Identity Module*) rješenje eliminiše potrebu za korišćenjem SIM kartice na korisničkom uređaju. Priprema ga platforma za omogućavanje SIM-a (SM-DP+ - *Subscription Manager Data Preparation* +), a zatim se preuzima kao eSIM profil putem HTTPS (*Hypertext Transfer Protocol Secure*) protokola u zaštićeni element mobilnog uređaja, označen kao ugrađena univerzalna integrisana kartica (eUICC - *Embedded Universal Integrated Circuit Card*). eUICC može sadržati više eSIM profila, a globalno je identifikovan jedinstvenim EID (eUICC *Issuer Identifier*) identifikatorom. Jedan takav profil se koristi za identifikaciju i autentifikaciju pretplatnika na mobilnoj mreži. Rješenje koristi sertifikate infrastrukture javnog ključa (PKI – *Public Key Infrastructure*) omogućavajući SM-DP+ i eUICC međusobnu provjeru autentičnosti.

Svi pomenuti mehanizmi podižu bezbjednost 5G mreže na mnogo viši nivo u odnosu na prethodne generacije mobilnih celularnih mreža.

Kako je to već prethodno navedeno, 3GPP definiše dvije varijante (moda) implementacije 5G mreža: nesamostalna 5G (NSA - *Non-Standalone*) i samostalna 5G mreža (SA - *Standalone*). Aspekti koji se odnose na bezbjednost komunikacija u ovim varijantama opisani su u sljedećim sekcijama.

7.1. Napomene o bezbjednosti nesamostalnih 5G mreža

Nesamostalna (NSA) 5G arhitektura se može smatrati nadogradnjom 4G mreže. Glavna razlika je dodatak radio pristupnom (RAN) dijelu mreže, koji u 5G NSA uključuje gNB (*Next Generation (5G) Node B*) i eNB (*Evolved Node B*) čvorišta. U slučaju kada je LTE glavna tehnologija radio pristupa, a novi radio (NR – *New Radio*) služi kao sekundarna tehnologija radio pristupa, korisnička oprema (UE) povezana je istovremeno na obije radio pristupne tehnologije. Osim nekih postupaka koji se odnose na pregovaranje o mogućnostima, bezbjednosni postupci NSA u osnovi slijede 4G specifikacije za istovremenu konekciju prema dvije bazne stanice (dvostruka povezanost). Za razliku od dvostruke povezanosti u 4G mrežama, poruke o upravljanju radio resursima (RRC - *Radio Resource Control*) se mogu razmjenjivati između UE i NR, pružajući zaštitu integriteta i tajnosti RRC poruka, kao i korisničke ravni (UP – *User Plane*). Zaštita podataka korisničke ravni podržana je u 5G mreži, ali se ne koristi u slučaju NSA. Zaštita tajnosti je opcija (nije obavezna) za UP i za RRC.

Poboljšanja bezbjednosti 5G za NSA mod (3GPP *Release 15*) uključuju izmjene mehanizama koji se tiču primarne autentifikacije, sekundarne autentifikacije, bezbjednosti među operatorima, privatnosti, servisno zasnovane arhitekture (SBA - *Service-Based Architecture*), centralne jedinice (CU – *Central Unit*), distribuirane jedinice (DU - *Distributed Unit*), hijerarhije ključeva i mobilnosti. Pored toga, razvijen je model povjerenja i za *roaming* i za ne-*roaming* scenarije, i već opisana SEPP funkcija za zaštitu mobilnih celularnih mreža.

7.2. Napomene o bezbjednosti samostalnih 5G mreža

Samostalna (SA) 5G mreža se karakteriše potpuno novom arhitekturom jezgra (5GC) mreže. Glavna karakteristika je programabilnost kontrolne ravni korišćenjem servisno zasnovane arhitekture (SBA) i podrška za segmentiranje mreže (*Network Slicing*). 5G mrežni segmenti su izolovane virtuelne mreže, koje se mogu dinamički implementirati (orkestrirati) kako bi se podržali različiti servisi. Mrežni segmenti su softverski entiteti 5GC-a, koji su međusobno izolovani (vrsta virtuelnih privatnih mreža – VPN – *Virtual Private Networks*). 3GPP je definisao mrežne segmente za *streaming* (eMBB), masivne komunikacije mašinskog tipa (mMTC) i ultra pouzdane komunikacije sa malim kašnjenjem (URLLC). 5G RAN uzima u obzir postojanje mrežnih segmenata, a upravljanjem životnim ciklusom segmenta mreže (kreiranje mrežnog segmenta, modifikacija i ukidanje) rukovodi sistem za podršku operacija/sistem za podršku bizniza (OSS/BSS - *Operations Support System/Business Support System*) mobilne mreže. Da bi rasporedio mrežne segmente, OSS/BSS koristi ETSI MANO (*Management and Orchestration*) orkestrator i virtuelizovanu infrastrukturu (u većini slučajeva zasnovanu na otvorenom steku protokola - *OpenStack*). Upravljanje životnim ciklusom vrši ETSI MANO orkestrator, dok je zakupcima mrežnih segmenata moguće dati neke mogućnosti orkestracije i upravljanja. Dok ETSI MANO model koristi virtuelnu infrastrukturu, NR segmenti nijesu virtuelizovani, već se kreiraju od strane NR-a, na zahtjev.

Čitava arhitektura mrežnog segmentiranja pokreće mnoga bezbjednosna pitanja koja se tiču OSS/BSS-a, virtuelizovane infrastrukture, MANO orkestratora i rizika od postavljanja zlonamjernog softvera, kao dijela komponente mrežnog segmenta. OSS/BSS sistem mora biti bezbjedan i mora koristiti bezbjedne linkove do komponenti arhitekture. Bezbjednost ETSI MANO orkestratora je nedavno definisao ETSI. Međutim, bezbjednost infrastrukture nije dobro definisana i zavisi od primijenjenog rješenja. Izvještaj Evropske agencije za bezbjednost mreža i podataka (ENISA - *European Network and Information Security Agency*) se bavi bezbjednosnim prijetnjama mrežnim segmentima. Koncept samostalnog 5G moda (SA) je i dalje predmet standardizacije i još uvijek nije primijenjen ni u jednoj komercijalnoj mreži na svijetu. Bezbjednost 5GC SBA, koja uključuje dinamičku primjenu novih funkcija, opisana je u sekciji 7.4.7.

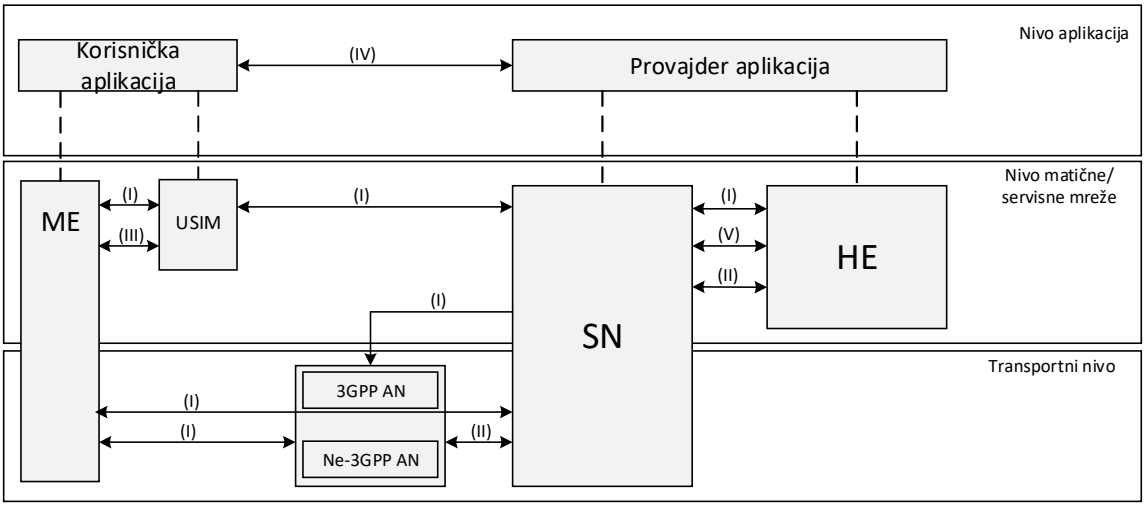
Arhitektura 2G, 3G i 4G mreža nije uzimala u obzir mogućnost pojave neželjenih aktera (uljeza) unutar mreže, ili čak u *roaming* mreži. Model povjerenja bio je apsolutni. Svako ko ima pristup međuoperatorskoj konekciji, može dobiti pristup mreži bilo kog operatora, što je ozbiljna bezbjednosna mana. Ključna bezbjednosna promjena u 5G je upravo novi model povjerenja. U 5G SA, taj model omogućava smanjenje nivoa povjerenja za sve entitete koji su dalje od jezgra mreže:

- U UE postoje dva domena povjerenja: UICC (*Universal Integrated Circuit Card*) platforma univerzalne kartice za USIM, realizovana kao integrisano kolo i zaštićena od neovlašćenog pristupa, a koja je ujedno temeljno (polazišno) povjerenje, i mobilna oprema (ME - *Mobile Equipment*).

- NR se sastoji od radio jedinica (RU – *Radio Units*), distribuiranih jedinica (DU) i centralnih jedinica (CU). RU-ovi i DU-ovi nemaju pristup komunikaciji korisnika, pa se mogu implementirati na lokacijama bez nadzora, dok bi CU-ovi i funkcija za interoperabilnost sa ne-3GPP mrežama (N3IWF - *Non-3GPP Inter Working Function*) trebali biti raspoređeni na lokacijama s ograničenim pristupom.
- U 5GC, funkcija upravljanja pristupom i mobilnošću (AMF - *Access and Mobility Management Function*) služi kao završna tačka za bezbjednost NAS (*Non-Access Stratum*) sloja. AMF je povezan sa bezbjednosnom temeljnom funkcijom (SEAF - *Security Anchor Function*), koja sadrži osnovni (vrhovni) ključ za posjećenu mrežu. Bezbjednosna arhitektura omogućava razdvajanje AMF i SEAF funkcija u budućem razvoju arhitekture sistema.

7.3. Pregled 5GS bezbjednosne arhitekture

Ovo poglavlje daje uvid u bezbjednosnu arhitekturu 5G, tj. bezbjednosne karakteristike i mehanizme za 5G sistem (5GS - 5G *System*) i 5G jezgro, kao i bezbjednosne procedure koje se sprovode u 5G sistemu, uključujući one u 5G jezgru i 5G NR. Sekcija je zasnovana na 3GPP preporuci TS 33.501, koja opisuje opštu bezbjednosnu arhitekturu samostalne (SA) i nesamostalne (NSA) varijante 5G mreža, [83]. Slika 7.1 prikazuje opštu 5GS bezbjednosnu arhitekturu mreže.



Slika 7.1. Opšta 5G bezbjednosna arhitektura (TS 33.501)

Opšta 5G bezbjednosna arhitektura je podijeljena na sljedeće domene:
- Bezbjednost mrežnog pristupa (I), je skup bezbjednosnih karakteristika koje omogućavaju UE-u da se autentifikuje i bezbjedno pristupa servisima putem mreže, uključujući 3GPP i ne-3GPP pristupne mreže. Štaviše, ovaj domen štiti od napada na svim dostupnim (radio) interfejsima;
- Bezbjednost mrežnog domena (II), je skup bezbjednosnih karakteristika koje mrežnim čvorištima omogućavaju sigurnu razmjenu signalizacionih podataka i podataka korisničke ravni;

- Bezbjednost korisničkog domena (III), je skup bezbjednosnih karakteristika koje čine bezbjednim pristup pretplatnika mobilnoj korisničkoj opremi;
- Bezbjednost domena aplikacija (IV), je skup bezbjednosnih karakteristika koje omogućavaju aplikacijama u korisničkom domenu i domenu provajdera, bezbjednu razmjenu poruka. Bezbjednost domena aplikacija još nije u potpunosti definisana od strane 3GPP-a i ona zbog toga neće biti uzeta u obzir u ovom razmatranju;
- Bezbjednost SBA domena (V), je skup bezbjednosnih karakteristika koje omogućavaju mrežnim funkcijama SBA arhitekture, 5G samostalnog moda (SA), bezbjednu komunikaciju unutar mrežnog domena koji se opslužuje, kao i sa drugim mrežnim domenima. Takve karakteristike uključuju bezbjednosne aspekte registracije mrežnih funkcija, otkrivanja i autorizacije, kao i zaštitu servisnih interfejsa. SBA domen bezbjednosti se primjenjuje na samostalnu verziju 5GS;
- Vidljivost i konfigurabilnost bezbjednosti (VI), je skup karakteristika koje omogućavaju korisniku da bude obaviješten da li bezbjednosna karakteristika funkcioniše ili ne. Vidljivost i konfigurabilnost bezbjednosti nijesu prikazani na Slici 7.1. Ove bezbjednosne karakteristike su transparentne za korisnika ili aplikaciju, ali za određene događaje i u skladu sa potrebama korisnika ili aplikacije, mora se osigurati njihova veća vidljivost. Konfigurabilnost bezbjednosti omogućava korisniku da konfiguriše određene postavke bezbjednosnih karakteristika na UE, tako da korisnik može upravljati dodatnim mogućnostima, ili upotrijebiti određene napredne bezbjednosne karakteristike, koje uključuju davanje ili odbijanje pristupa USIM-u, bez autentifikacije, kako je opisano u TS 33.401, [85].

Arhitektura 5GS uvodi sljedeće cjeline povezane sa bezbjednošću u 5G jezgru mreže:

- AUSF (*AUthentication Server Function*) je funkcija servera za autentifikaciju;
- ARPF (*Authentication credential Repository and Processing Function*) je funkcija autentifikacije i obrade kredencijala repozitorijuma;
- SIDF (*Subscription Identifier De-concealing Function*) je funkcija otkrivanja identifikatora pretplate;
- SEAF (*SEcurity Anchor Function*) je temeljna bezbjednosna funkcija.

Arhitektura 5G sistema takođe uvodi bezbjednosni *proxy* za zaštitu ivice mreže (SEPP - *Security Edge Protection Proxy*), entitet smješten na ivici mobilne celularne mreže, za zaštitu poruka kontrolne ravni (CP) i poruka korisničke ravni (UP), pri komunikaciji između mobilnih celularnih mreža (IPUPS - *Inter*-PLMN UP *Security*), [84]. IPUPS je funkcionalnost funkcije korisničke ravni (UPF – *User Plane Function*), koja primjenjuje GTP-U (*GPRS Tunnelling Protocol - User*) bezbjednost na N9 interfejsu između UPF-ova posjećene i matične mobilne celularne mreže.

5GS mora zadovoljiti sljedeće zahtjeve:

- Autentifikaciju pretplate, što znači da će servisna mreža obaviti autentifikaciju trajnog identifikatora pretplate (SUPI - *Subscription Permanent Identifier*) u procesu autentifikacije i ugovaranja ključa između UE i mreže;
- Autentifikaciju servisne mreže, što znači da će UE autentifikovati identifikator servisne mreže putem implicitne autentifikacije ključa;
- UE autorizaciju, što znači da će servisna mreža autorizovati UE (pomoću SUPI-a) putem pretplatničkog profila dobijenog iz matične mreže;
- Autorizaciju servisne mreže od matične mreže, što znači da korisničkoj opremi (UE), koja je povezana na servisnu mrežu, treba obezbijediti potvrdu kojom se servisna mreža takođe autorizuje od strane matične mreže;
- Autorizaciju pristupne mreže, što znači da korisničkoj opremi (UE) treba obezbijediti potvrdu da je povezana na pristupnu mrežu, koja je autorizovana od strane servisne mreže da omogući servise korisničkoj opremi. Ova autorizacija je „implicitna" u smislu da se podrazumijeva uspješnom uspostavljanjem bezbjedne pristupne mreže (odnosi se i na 3GPP i na ne-3GPP pristupne mreže);
- 5GC i NG-RAN (*Next-Generation Radio Access Network*) će omogućiti upotrebu algoritama za enkripciju i zaštitu integriteta za pristupni (AS – *Access Stratum*) i ne-pristupni (NAS – *Non-Access Stratum*) sloj, ključevima dužine 128 bita. Mrežni interfejsi će podržavati prenos 256-bitnih ključeva. Ključevi koji se koriste za zaštitu UP, NAS i AS, biće zavisni od algoritma sa kojima se koriste.

Što se tiče različitih komponenti arhitekture (UE, gNB, itd.), formulisani su zahtjevi i opcije za enkripciju podataka, zaštitu integriteta, a u slučaju UE i privatnost i tajnost. Algoritmi enkripcije (NEA1 - *New Radio Encryption Algorithm* 1, NEA2 i NEA3) imaju ključeve dužine 128 bita. NEA0 je opcija bez enkripcije. U daljem tekstu su opisani ključni zahtjevi, s tim što neki od njih nijesu obavezni, ili je prepušteno operatorima da odluče o primjeni.

7.4. Bezbjednost 5GS komponenti

7.4.1. Bezbjednost korisničke opreme

Podrška i upotreba enkripcije i zaštite integriteta između korisničke opeme (UE) i ng-eNB identična je podršci i upotrebi enkripcije i zaštite integriteta između UE i eNB, kao što je specificirano u TS 33.401 (LTE), [85]:

- Enkripcija - UE će podržavati enkripciju korisničkih podataka između UE i gNB-a i aktiviraće enkripciju korisničkih podataka na osnovu indikacije koju šalje gNB. UE će podržavati enkripciju RRC i NAS signalizacije. UE će implementirati sljedeće algoritme enkripcije: NEA0 (*New Radio Encryption Algorithm* 0), 128-NEA1, 128-NEA2 i može implementirati 128-NEA3. UE će implementirati algoritme enkripcije, ako podržava E-UTRA povezivanje na 5GC, kao što je navedeno u TS 33.401.

- Zaštita tajnosti - Zaštita tajnosti korisničkih podataka između UE i gNB-a je opciona, kao i zaštita tajnosti RRC-signalizacije i NAS-signalizacije. Zaštitu tajnosti treba koristiti kad god to propisi dozvoljavaju.
- Integritet - UE će podržavati zaštitu integriteta i zaštitu od napada reprodukcije korisničkih podataka između UE i gNB-a. UE će aktivirati zaštitu integriteta korisničkih podataka na osnovu indikacije koju šalje gNB. UE će podržavati zaštitu integriteta i zaštitu od napada ponovne reprodukcije RRC i NAS-signalizacije. UE će implementirati NIA0 (*New Radio Integrity Algorithm* 0) (samo za hitne službe), 128-NIA1, 128-NIA2 i može implementirati algoritam zaštite integriteta 128-NIA3, ako podržava E-UTRA povezivanje na 5GC. UE će implementirati algoritme integriteta, kao što je specificirano za LTE u TS 33.401. Zaštita integriteta korisničkih podataka između UE i gNB je opciona.
- Privatnost pretplatnika - UE će podržavati 5G globalno jedinstveni privremeni idenitet, 5G-GUTI (*Globally Unique Temporary Identity*) kao način da se sačuva tajnost permanentnog identifikatora pertplatnika (SUPI - *Subscription Permanent Identifier*), koji je do 4G mreža bio poznat kao IMSI. SUPI se ne smije prenositi u tekstualnom formatu preko NG-RAN-a, osim informacije o rutiranju, koja uključuje npr. pozivni broj (kod) države (MCC - *Mobile Country Code*) i pozivni broj (kod) mobilne mreže (MNC - *Mobile Network Code*). USIM će se koristiti za čuvanje: javnog ključa matične mreže, identifikatora šeme zaštite, identifikatora javnog ključa matične mreže, indikatora rutiranja i indikacije proračuna skrivenog identifikatora pretplatnika (SUCI - *Subscription Concealed Identifier*). Kreiranje i ažuriranje javnog ključa matične mreže, identifikatora javnog ključa matične mreže, identifikatora šeme zaštite, indikatora rutiranja i indikacije SUCI proračuna u USIM-u, će biti pod nadzorom operatora matične mreže i može se implementirati pomoću, npr. mehanizma preko radio linka (OTA - *Over the Air*). Omogućavanje privatnosti pretplatnika bi trebalo da bude pod kontrolom matične mreže pretplatnika.

7.4.2. Bezbjednosni zahtjevi za gNB

Sljedeći bezbjednosni zahtjevi se odnose na gNB, [86]:
- Enkripcija, što znači da će gNB podržati enkripciju korisničkih podataka između UE i gNB i aktivirati je na osnovu bezbjednosne politike koju je poslala funkcija upravljanja servisima (SMF - *Service Management Function*). gNB će podržavati enkripciju RRC signalizacije. Algoritmi i opcije enkripcije isti su kao u slučaju UE.
- Zaštita integriteta, što znači da će gNB podržavati zaštitu integriteta i zaštitu od reprodukcije korisničkih podataka i RRC signalizacije između UE i gNB-a. gNB će aktivirati zaštitu integriteta korisničkih podataka na osnovu bezbjednosne politike koju je poslao SMF. Algoritmi i opcije zaštite integriteta isti su kao u slučaju UE.
- Podešavanje i konfiguracija gNB, znači da će postavljanje i konfigurisanje gNB-ova od strane O&M (*Operation and Mainteneance*) sistema biti autentifikovano i autorizovano od gNB-a, tako da zlonamjerni akteri neće moći mijenjati postavke gNB-a i konfiguracije softvera putem lokalnog, ili

daljinskog pristupa. Mehanizam za upis sertifikata naveden u TS 33.310 za baznu stanicu, trebao bi biti podržan za gNB-ove. Odluka o tome hoće li se koristiti mehanizam za aktiviranje prepuštena je operatorima. Komunikacija između O&M sistema i gNB-a biće povjerljiva, a integritet i ponovljena reprodukcija zaštićeni od neovlašćenih strana. Operator bi trebao podržati bezbjednosne asocijacije između gNB-a i entiteta u 5G jezgru, ili u O&M domenu od povjerenja. Uspostavljanje bezbjednosnih pridruživanja treba da bude autentifikovano. Sigornosna pridruživanja bi se trebala ostvariti prema TS 33.210 i TS 33.310, [87]-[88].

- F1 interfejs - gNB-ovi sa DU-CU dijele i koriste F1 interfejs, kao što je definisano u TS 38.470, [89]. Signalni saobraćaj (tj. upravljački saobraćaj F1-C interfejsa, definisan u TS 38.470 i F1-C signalni saobraćaj, definisan u TS 38.472) i podaci korisničke ravni, mogu se slati na F1 interfejs između datog DU i njegovog CU. F1-C interfejs mora podržavati tajnost, integritet i zaštitu od ponovne reprodukcije. Sav upravljački saobraćaj koji se prenosi preko CU-DU linka, mora imati zaštićen integritet, tajnost i zaštitu od napada ponovne reprodukcije. gNB će podržavati zaštitu tajnosti, integriteta i zaštitu od ponovne reprodukcije na gNB DU-CU F1-U interfejsu za korisničku ravan. F1-C i upravljački saobraćaj, koji se prenose preko CU-DU linka, treba da budu zaštićeni nezavisno od F1-U saobraćaja.
- E1 interfejs - Sljedeći zahtjevi odnose se na gNB-ove sa podijeljenim DU-CU implementacijama, posebno s otvorenim interfejsom između CU-CP i CU-UP koristeći E1 interfejs, kako je definisano u TS 38.460, [90]. E1 intefejs između centralne jedinice i kontrolne ravni (CU-CP) i između centralne jedinice i korisničke ravni (CU-UP) mora imati zaštitu integriteta, tajnosti i zaštitu od ponovne reprodukcije.
- ng-eNB - Bezbjednosni zahtjevi za ng-eNB su isti kao oni specificirani za eNB u TS 33.401, [85].

7.4.3. Bezbjednosni zahtjevi za AMF

Funkcija upravljanja pristupom i mobilnošću (AMF) će podržavati enkripciju NAS signalizacije pomoću NEA0, 128-NEA1, 128-NEA2 algoritama, a može podržavati i 128-NEA3 algoritam, [91]. Zaštita tajnosti NAS-signalizacije je opciona i treba je koristiti kad god propisi dopuštaju. AMF će podržavati zaštitu integriteta i zaštitu od ponovne reprodukcije NAS signalizacije. AMF će podržavati NIA-0, 128-NIA1, 128-NIA2 i može podržavati 128-NIA3 algoritme zaštite integriteta, [91].

7.4.4. Bezbjednosni zahtjevi za SEAF

Temeljna bezbjednosna funkcija (SEAF) pruža funkciju provjere autentičnosti putem funkcije upravljanja pristupom i bezbjednošću (AMF) u servisnoj mreži. SEAF će podržati primarnu provjeru autentičnosti pomoću SUCI-a.

7.4.5. Bezbjednosni zahtjevi za UDM

SIDF je odgovoran za razotkrivanje SUCI-a i biće servis koji nudi entitet za objedinjeno upravljanje podacima (UDM - *Unified Data Management*). UDM se nalazi u kontrolnoj ravni i upravlja mrežnim podacima korisnika kroz jedan centralizovani element. UDM se može upariti sa repozitorijumom korisničkih podataka (UDR – *User Data Reposotory*), u kojem se čuvaju podaci o profilima korisnika, podacima za autentifikaciju korisnika i ključevi za enkripciju korisničkih podataka. SIDF će razotkriti SUPI iz SUCI-a, na osnovu šeme zaštite korišćene za generisanje SUCI-a. Privatni ključ matične mreže, koji se koristi za privatnost pretplatnika, zaštićen je od fizičkih napada u UDM-u (opis ključeva je dat u nastavku), [92]. UDM će držati identifikator(e) javnog ključa matične mreže za par(ove) privatnih/javnih ključeva, koji se koriste za privatnost pretplatnika

7.4.6. Bezbjednosni zahtjevi za AUSF

Funkcija servera za autentifikaciju (AUSF - *Authentication Server Function*) je namijenjena obradi zahtjeva za provjeru autentičnosti i za 3GPP i za ne-3GPP pristupne tehnologije. AUSF će pružiti SUPI posjećenoj mobilnoj celularnoj mreži (VPLMN - *Visited Public Land Mobile Network*) samo nakon potvrde provjere autentičnosti, ako je VPLMN mreža poslala zahtjev za provjeru autentičnosti sa SUCI-jem, [93]. AUSF će obavijestiti UDM da je došlo do uspješne ili neuspješne autentifikacije pretplatnika.

7.4.7. Bezbjednosni zahtjevi za SBA

Otkrivanje i registracija mrežne funkcije (NF - *Network Function*) će podržavati zaštitu tajnosti, integriteta i zaštitu od ponovne reprodukcije. Funkcija mrežnog repozitorijuma (NRF - *Network Repository Function*) će biti u mogućnosti da osigura da su NF zahtjevi za otkrivanje i registraciju odobreni, [94]. Otkrivanje i registracija zasnovana na NF servisu moći će sakriti topologiju dostupnih ili podržanih NF-ova u jednom administrativnom/pouzdanom domenu, od entiteta u različitim pouzdanim/administrativnim domenima (npr. između NF-ova u posjećenoj i matičnoj mreži). NF servisni zahtjev i procedura odgovora mora podržati međusobnu provjeru autentičnosti između NF korisnika usluge i NF kreatora servisa. Svaki NF će potvrditi sve dolazne poruke. Poruke koje nijesu validne prema specifikaciji protokola i stanju mreže, NF će odbiti ili odbaciti. Funkcija mrežnog repozitorijuma (NRF) prima NF zahtjev za otkrivanje od NF instance, pruža informacije o otkrivenim NF instancama NF instanci i održava NF profile. NRF i NF-ovi koji traže servise se moraju međusobno autentifikovati. NRF može pružiti autentifikaciju i autorizaciju NF-ima radi uspostavljanja bezbjedne međusobne komunikacije. Funkcija izloženosti mreže (NEF - *Network Exposure Function*) podržava eksterno izlaganje mogućnosti mrežnih funkcija aplikacionim funkcijama (AF - *Application Functions*), koje komuniciraju s relevantnim mrežnim funkcijama putem NEF-a. Interfejs između NEF-a i aplikacione funkcije mora ispunjavati zaštitu integriteta, zaštitu od ponovne reprodukcije i zaštitu tajnosti za

komunikaciju između NEF-a i aplikacione funkcije. NEF će moći da utvrdi da li je aplikaciona funkcija ovlašćena za interakciju s relevantnim mrežnim funkcijama. *Proxy* za komunikaciju servisa (SCP - *Service Communication Proxy*) ima interfejse s mrežnim funkcijama (NF) i ravnopravnim SCP-ovima unutar mobilne celularne mreže.

Interfejs između SCP-a i NF-ova, kao i između dva SCP-a, mora obavljati međusobnu provjeru autentičnosti (između SCP-a i NF-ova, kao i između dva SCP-a unutar mobilne celularne mreže). Osim toga, komunikacija između SCP-a i NF-ova, te između SCP-ova, će biti tajna, sa zaštitom integriteta i zaštitom od ponovne reprodukcije.

7.5. Hijerarhija 5G ključeva i autentifikacija

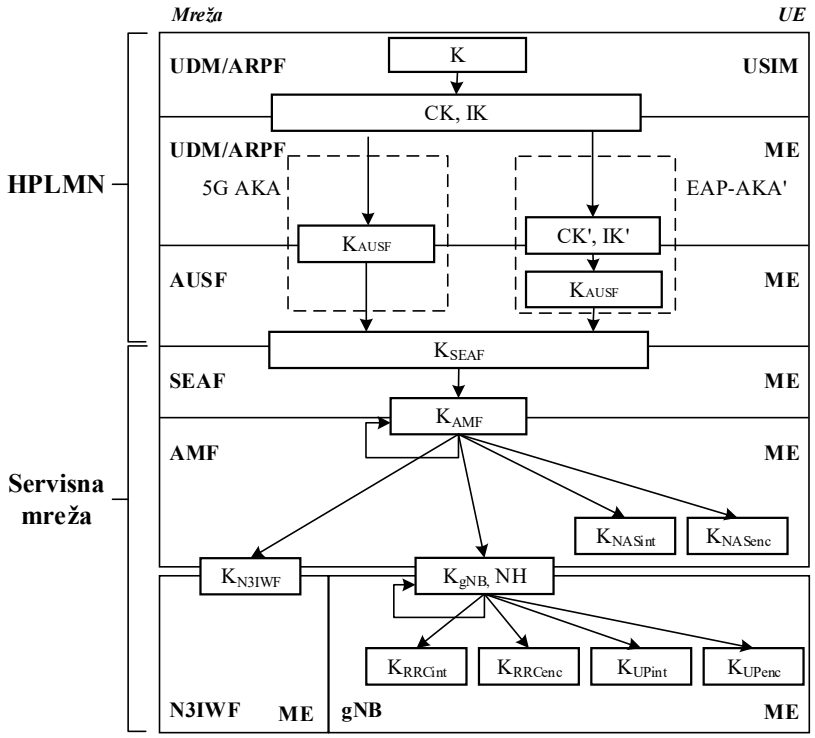
Procedure primarne autentifikacije i uspostavljanja ključa imaju za cilj da omoguće međusobne provjere autentičnosti između UE i mreže i pruže informacija o ključu, koje se mogu koristiti između UE i servisne mreže u narednim koracima bezbjednosnih procedura. Materijal ključa, generisan primarnom autentifikacijom i postupkom uspostavljanja ključa, rezultira temeljnim ključem nazvanim K_{SEAF}, koji obezbjeđuje AUSF matične mreže SEAF-u servisne mreže. Ključevi za više od jednog bezbjednosnog konteksta mogu se izvesti iz K_{SEAF}-a, bez potrebe za novim pokretanjem provjere autentičnosti. Temeljni ključ K_{SEAF} izveden je iz posrednog ključa, koji se naziva K_{AUSF}, koji se može sigurno skladištiti u AUSF-u, na osnovu politike matičnog operatora o upotrebi takvog ključa.

UE i servisna mreža će podržavati EAP-AKA (*Extensible Authentication Protocol based Authentication and Key Agreement*) (opisano u RFC 3748) i 5G AKA' metode autentifikacije. EAP-AKA’ metoda autentifikacije je specificirana u RFC 5448, [95]-[96]. 5G AKA (5G *Authentication and Key Agreement*) poboljšava EPS AKA (*Evolved Packet System based Authentication and Key Agreement*) metodu, pružajući matičnoj mreži dokaz o uspješnoj autentifikaciji UE iz posjećene mreže. U poređenju sa EPS AKA u evoluiranom paketskom sistemu, ovo pruža veći nivo bezbjednosti, koristan u sprječavanju određenih vrsta prevara. EAP okvir definiše uloge ravnopravnog (tj. UE), prolaznog autentifikatora (SEAF) i pozadinskog servera za autentifikaciju (AUSF). Pozadinski server za autentifikaciju djeluje kao EAP server, koji završava EAP metod autentifikacije s ravnopravnim uređajem. Pomenuta autentifikacija servisne mreže će biti pružena UE-u, bez obzira na tehnologiju pristupne mreže, pa se odnosi i na 3GPP i ne-3GPP pristupne mreže.

Nadalje, temeljni ključ koji se isporučuje servisnoj mreži, takođe će biti specifičan za provjeru autentičnosti između UE i 5G jezgra mreže, tj. K_{SEAF} će biti kriptografski odvojen od ključa koji je K_{ASME} isporučivao iz matične mreže servisnoj mreži, u ranijim generacijama mobilnih mreža.

Radnje koje preduzima matična mreža, radi povezivanja potvrde autentičnosti (ili njenog nedostatka) sa kasnijim procedurama, podliježu pravilima operatora i nijesu standardizovane.

Na Slici 7.2 detaljno je prikazana hijerarhija generisanja ključeva, [83].



Slika 7.2. Hijerarhija generisanja ključa u 5GS (TS33.501)

Ključevi koji se odnose na provjeru autentičnosti uključuju sljedeće ključeve: K, CK/IK (*Ciphering Key/Integrity Key*). U slučaju EAP-AKA', ključevi CK', IK' su izvedeni iz CK, IK. Hijerarhija ključeva uključuje sljedeće ključeve: K_{AUSF}, K_{SEAF}, K_{AMF}, K_{NASint}, K_{NASenc}, K_{N3IWF}, K_{gNB}, K_{RRCint}, K_{RRCenc}, K_{UPint} i K_{UPenc}. 5GS koristi ključeve:

- Ključevi za AUSF u matičnoj mreži su K_{AUSF} i K_{SEAF}. U slučaju da se EAP-AKA' koristi kao metoda autentifikacije, AUSF će izvesti ključ K_{AUSF} iz CK' i IK 'za EAP-AKA'. K_{AUSF} se može smjestiti u AUSF, između dvije uzastopne procedure provjere autentičnosti i uspostavljanja ključa. AUSF će generisati temeljni ključ, koji se naziva i K_{SEAF}, iz materijala ključa za autentifikaciju primljenog od ARPF-a, u toku postupka autentifikacije i uspostavljanja ključa. ARPF će obrađivati dugoročni ključ K i sve ostale osjetljive podatke, samo u svom bezbjednom okruženju. Ključ K će biti dužine 128 ili 256 bita. Tokom autentifikacije i procedure uspostavljanja ključa, ARPF izvodi CK 'i IK' iz K, u slučaju da se koristi EAP-AKA', a izvodi K_{AUSF} iz K, u slučaju da se koristi 5G AKA. ARPF će proslijediti dobijene ključeve AUSF-u. ARPF drži privatni ključ matične mreže, koji SIDF koristi za otkrivanje SUCI-a i rekonstrukciju SUPI-a;
- SEAF prima temeljni ključ, K_{SEAF}, od AUSF-a, nakon uspješne procedure primarne autentifikacije u svakoj servisnoj mreži. SEAF nikada neće prenijeti K_{SEAF} na entitet izvan SEAF-a. Jednom kada se izvede K_{AMF}, K_{SEAF}

se briše. SEAF će generisati K_{AMF} od K_{SEAF}-a odmah nakon autentifikacije i procedure usaglašavanja ključa i predati ga AMF-u;
- AMF prima K_{AMF} od SEAF-a ili od drugog AMF-a. AMF će na osnovu utvrđenih pravila izvesti ključ K'_{AMF} od K_{AMF}-a, za prenos prema drugom AMF-u u inter-AMF mobilnosti. AMF primaoc će koristiti K'_{AMF} kao svoj K_{AMF} ključ. AMF će generirati ključeve K_{NASint} i K_{NASenc}, čija je uloga zaštita NAS sloja. Takođe, AMF će generisati ključeve specifične za pristupnu mrežu od K_{AMF}-a;
- NG-RAN (tj. gNB ili ng-eNB) prima K_{gNB} i ključ sljedeće dionice (NH – *Next Hop*) od AMF-a. ng-eNB koristi K_{gNB} kao K_{eNB}. NG-RAN (tj. gNB ili ng-eNB) će generisati sve ostale ključeve pristupnog sloja (AS) iz K_{gNB} i/ili NH.

Postoje i sljedeći međuključevi 5GS-a:
- NH je ključ koji su proizveli ME i AMF za pružanje bezbjednosti sljedećoj fazi;
- Ključ K_{NG-RAN} je ključ dobijen od strane ME i NG-RAN (tj. gNB ili ng-eNB), prilikom horizontalnog ili vertikalnog izvođenja ključa;
- K'_{AMF} je ključ koji se može dobiti od strane ME i AMF, kada se UE premješta iz jednog AMF-a u drugi, za vrijeme inter-AMF mobilnosti.

Postoji i ključ koji se koristi za ne-3GPP pristupne tehnologije, K_{N3IWF}, [97]. To je ključ koji su ME i AMF izveli iz K_{AMF}-a. N3IWF prima K_{N3IWF} od AMF-a. N3IWF će koristiti K_{N3IWF} kao glavni ključ sesije (MSK – *Master Session Key*) za IKEv2 između UE i N3IWF, u postupcima za nepouzdani ne-3GPP pristup, [97].

Za svaki ključ u nekom mrežnom entitetu postoji odgovarajući ključ u UE. USIM će skladištiti isti dugoročni ključ K, koji je pohranjen u ARPF-u. U toku postupka autentifikacije i procedure uspostavljanja ključa, USIM će generisati materijal za ključ od K, koji će ga proslijediti mobilnoj opremi (ME). Ako to omogući matični operator, USIM će skladištiti javni ključ matične mreže, koji se koristi za prikrivanje SUPI-a. ME će generisati K_{AUSF} iz CK, dok će IK biti primljen od USIM-a. Kada se koristi 5G AKA, ME će izvršiti generisanje RES* (*Response**) iz RES-a, a UE će skladištiti K_{AUSF}. Ako USIM podržava čuvanje 5G parametara, K_{AUSF} će se skladištiti u USIM-u. U suprotnom, K_{AUSF} će se skladištiti u trajnoj memoriji ME i ME će izvršiti generisanje K_{SEAF}-a iz K_{AUSF}-a. Ako USIM podržava čuvanje 5G parametara, K_{SEAF}/K_{AMF} će se skladištiti u USIM-u. U suprotnom, K_{SEAF}/K_{AMF} će se skladištiti u trajnoj memoriji ME. ME će izvršiti generisanje K_{AMF}-a.

7.6. 5G bezbjednosni mehanizmi korisničke ravni

Funkcija upravljanja servisima (SMF) korisničke ravni (UP) će obezbijediti korisničkoj ravni bezbjednosnu politiku za proceduru uspostavljanja PDU (*Packed Data Units*) sesije prema ng-eNB/gNB, kao što je specificirano u TS 23.502, [98]. UP bezbjednosna politika će odrediti da li će se zaštita tajnosti korisničke ravni (UP) i/ili UP zaštita integriteta aktivirati za sve dodijeljene radio nosioce (DRB - *Dedicated Radio Bearer*) koji pripadaju toj PDU sesiji.

ng-eNB/gNB će aktivirati tajnost i/ili zaštitu integriteta po svakom DRB-u, u skladu sa primljenom UP bezbjednosnom politikom, koristeći RRC signalizaciju, [86].

Za zaštitu povjerljivosti podataka korisničke ravni, između UE i NR, biće odgovoran PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*) protokol, kako je specificirano u TS 38.323, [99]. Upotreba i način rada se zasnivaju na 128-bitnim NEA algoritmima. Ulazni parametri za 128-bitne NEA algoritme su: paket poruke, 128-bitni ključ šifre K_{UPenc} kao KEY, 5-bitni identitet nosioca BEARER, čija se vrijednost dodjeljuje kao što je navedeno u TS 38.323, 1-bitni smjer prenosa DIRECTION, dužina zahtjevanog toka ključeva LENGTH, koja je specifična za nosioca, i 32-bitni ulaz COUNT, koji zavisi od smjera prenosa, što odgovara 32-bitnom PDCP COUNT-u. PDCP protokol će biti odgovoran i za zaštitu integriteta podataka korisničke ravni. Korišćenje i način rada 128-bitnih NIA algoritama specificirani su u TS 33.501. Ulazni parametri 128-bitnih NIA algoritama su: paket poruke, 128-bitni ključ integriteta K_{UPin} kao KEY, 5-bitni identitet nosioca DIRECTION, čija je vrijednost dodijeljena kao što je navedeno u TS 38.323, 1-bitni smjer prenosa DIRECTION, i specifičan za nosioca, 32-bitni ulaz COUNT, koji zavisi od smjera prenosa, što odgovara 32-bitnom PDCP COUNT.

7.7. Bezbjednost ne-3GPP pristupa 5G jezgru

Bezbjednost za pristup koji nije 3GPP, jezgru 5G mreže, se ostvaruje postupkom koji koristi IKEv2 (*Internet Key Exchange version* 2), kao što je definisano u RFC 7296, za postavljanje jedne ili više IPsec ESP (*Internet Protocol Security Encapsulating Security Payload*) bezbjednosnih asocijacija, [100]. Ulogu IKE inicijatora (ili klijenta) preuzima UE, a ulogu IKE kontaktirane strane (ili servera) preuzima N3IWF. Za podršku više mreža za paketski prenos podataka (PDN – *Packet Data Network*), isti odnos povjerenja će se primjenjivati na sve PDN-ove na koje se UE povezuje sa određene ne-3GPP pristupne mreže, tj. neće biti moguće pristupiti jednom PDN-u koristeći određenu ne-3GPP pristupnu mrežu kao pouzdanu, a pristupati na drugu mrežu za paketski prenos podataka koristeći istu pristupnu ne-3GPP mrežu kao nepouzdanu. Kako bi podržali bežičnu i fiksnu konvergenciju za 5G sistem, dva nova mrežna entiteta, 5G rezidencijalni *gateway* (5G-RG - *Residential Gateway*) i rezidencijalni *gateway* fiksne mreže (FN-RG - *Fixed Network Residential Gateway*), predstavljena su u TS 23.501 dokumentu, [101]. 5G-RG djeluje kao 5G UE i može se povezati na 5GC putem fiksne pristupne mreže (W-5GAN - *Wireline 5G Access Network*) ili putem fiksnog bežičnog pristupa (FWA). Pri tome se koriste postojeće bezbjednosne procedure. FN-RG se može povezati na 5GC putem fiksne pristupne mreže (W-5GAN), gdje W-AGF sprovodi postupak registracije u ime FN-RG, djeluje kao krajnja tačka N1 interfejsa i pruža NAS signalnu konekciju na 5GC u ime FN-RG.

7.8. Bezbjednost EPC-5GC interoperabilnosti

Kao što je opisano u TS 23.501, da bi se međusobno povezao sa evoluiranim paketskim jezgrom (EPC – *Evolved Packet Core*), UE može raditi u modu pojedinačne registracije, ili dvostruke registracije, [101]. Kada radi u modu dvostruke registracije, UE će samostalno održavati i koristiti dva različita bezbjednosna konteksta, EPS bezbjednosni kontekst za interakciju sa evoluiranim paketskim sistemom i 5G bezbjednosni kontekst za interakciju sa 5G sistemom. Stoga, tokom mobilnosti između sistema, kada je ciljni sistem EPS, UE uzima u obzir bezbjednosni kontekst EPS-a i stoga su primjenjivi svi bezbjednosni mehanizmi opisani u TS 33.401, [85]. U drugom smjeru, tj. kada je ciljni sistem 5GC, UE će koristiti bezbjednosni kontekst 5G i stoga su primjenjivi svi bezbjednosni mehanizmi opisani u ovoj Glavi Studije.

7.9. Bezbjednost ne-servisnih 5GS-A interfejsa

Zaštita svih IP interfejsa za 5G jezgro (5GC) i 5G pristupnu mrežu (5G-AN - 5G *Access Network*), u skladu sa NDS/IP (*Network Domain Security/Internet Protocol*) je specificirana u TS 33.210 preporuci, [87]. Saobraćaj na interfejsima koji nosi signalizaciju kontrolne ravni može biti zaštićenog integriteta i tajnosti, u skladu sa NDS/IP. Implementacija IPsec ESP-a sprovodi se prema RFC 4303, kako je dato opisom profila u TS 33.210. Za implementaciju IPsec-a, tunelovanje kao mod je obavezan, dok je transportni mod opcioni. Treba da bude podržana implementacija autentifikacije zasnovana na IKEv2 sertifikatu TS 33.310, dok su sertifikati u skladu s profilom opisanim u TS 33.310, [88]. IKEv2 će biti podržan prema IKEv2 profilu koji je opisan u TS 33.310. Bezbjednost N2, N3 i Xn interfejsa implementirana je na sličan način - transport podataka mora biti zaštićenog integriteta, tajnosti i zaštićen od napada ponovne reprodukcije. Da bi se zaštitile pomenute referentne tačke, potrebno je implementirati provjeru autentičnosti zasnovanu na IPsec ESP i IKEv2 sertifikatima. IPsec je obavezan za implementaciju i biće podržan na gNB i ng-eNB, pri čemu je korišćenje kriptografskih rješenja za zaštitu ovih interfejsa stvar odluke operatora. Više detalja je opisano kako slijedi:

- N2 je interfejs između funkcije upravljanja pristupom i mobilnošću (AMF) i 5G pristupne mreže. Koristi se, između ostalog, za prenos NAS signalnog saobraćaja između UE i AMF-a, preko 3GPP i ne-3GPP pristupa. Na strani jezgra mreže, *gateway* za bezbjednost (SEG - *Security Gateway*) se može koristiti za završetak IPsec tunela. Pored IPsec, biće podržan i DTLS (*Datagram Transport Layer Security*) protokol, kao što je specificirano u RFC 6083, kako bi se osigurala međusobna provjera autentičnosti, zaštita integriteta, zaštita od ponovne reprodukcije i zaštita tajnosti, [102]. Bezbjednosni profili za implementaciju i upotrebu DTLS-a će slijediti TLS i sertifikacioni profil opisan u TS 33.210, [87]. Identiteti u sertifikatima krajnjeg entiteta će se koristiti za provjeru autentičnosti i provjere politika. Uzajamna provjera autentičnosti mora biti podržana preko N2 interfejsa između AMF-a i 5G-AN-a, pomoću DTLS-a i/ili IKEv2. Korišćenje bezbjednosti transportnog sloja putem DTLS-a ne isključuje

upotrebu zaštite mrežnog sloja prema NDS/IP, kako je navedeno u TS 33.210, [87]. U stvari, IPsec ima prednost u omogućavanju skrivanja topologije;

- N3 je interfejs između 5G pristupne mreže i funkcije korisničke ravni (UPF – *User Plane Function*) 5GC-a. Koristi se za prenos podataka korisničke ravni od UE na UPF. Na strani jezgra mreže, *gateway* za bezbjednost (SEG) se može koristiti za završetak IPsec tunela, s tim što je korišćenje kriptografskih rješenja za zaštitu N3 odluka operatora. U slučaju da je NG-RAN čvorište (gNB ili ng-eNB) postavljeno u fizički osigurano okruženje, tada "bezbjedno okruženje" uključuje i druga čvorišta i veze pored NG-RAN čvorišta;
- Xn je interfejs koji povezuje NG-RAN čvorišta. Sastoji se od Xn-C i Xn-U. Xn-C se koristi za prenos signalizacije, a Xn-U za prenos podataka korisničke ravni. Pored IPsec protokola, na Xn-C interfejsu će biti podržan DTLS, što je specificirano u RFC 6083, kako bi se osigurala međusobna provjera autentičnosti, zaštita integriteta, zaštita od ponovne reprodukcije i zaštita tajnosti. Bezbjednosni profili za implementaciju i upotrebu DTLS-a moraju slijediti TLS i sertifikacione profile iz TS 33.210 dok uzajamna provjera autentičnosti mora biti podržana preko Xn interfejsa između NG-RAN čvorišta, pomoću DTLS-a i/ili IKEv2, [87].

7.9.1. Interfejsi zasnovani na DIEMETER-u ili GTP-u

Interfejsi zasnovani na DIEMETER-u ili GTP-u (*GPRS Tunneling Protocol*), uključujući Rx interfejs između funkcije za kontrolu politika (PCF - *Policy Control Function*) i IP multimedijalnog podsistema (IMS - *IP Multimedia Subsystem*) i N26-interfejs između AMF-a i enititeta za upravljanje mobilnošću (MME - *Mobility Management Entity*) će biti podržani u skladu sa NDS/IP, kako je navedeno u TS 33.210, [87].

7.9.2. Interni gNB interfejsi

Naredni opis odnosi se na gNB interne interfejse, koji podržavaju podijeljenu (*split*) arhitekturu. Oba interfejsa koriste IPsec ESP i IKEv2 autentifikaciju zasnovanu na sertifikatima, za zaštitu tajnosti, integriteta i zaštitu od ponovne reprodukcije:

- F1 interfejs povezuje gNB centralnu jedinicu (gNB-CU - gNB *Central Unit*) sa gNB distribuiranom jedinicom (gNB-DU – gNB *Distribution Unit*). Sastoji se od F1-C za kontrolnu ravan i F1-U za korisničku ravan. IPsec je obavezan za implementaciju na gNB-DU i na gNB-CU. Pored IPsec, za F1-C interfejs, biće podržan DTLS protokol, kao što je navedeno u RFC 6083, kako bi se osigurala međusobna provjera autentičnosti, zaštita integriteta, zaštita od ponovne reprodukcije i zaštita tajnosti, [102]. Uzajamna provjera autentičnosti mora biti podržana preko F1-C interfejsa između gNB-CU i gNB-DU, pomoću DTLS-a i/ili IKEv2;
- E1 interfejs povezuje gNB-CU kontrolnu ravan (gNB-CU-CP - gNB *Central Unit Control Plane*) sa gNB-CU upravljačkom ravni (gNB-CU-UP - gNB *Central Unit User Plane*). Koristi se samo za transport signalnih podataka. Pored IPsec, biće podržan DTLS protokol, kao što je specificirano u RFC

6083, kako bi se osigurala međusobna provjera autentičnosti, zaštita integriteta, zaštita od ponovne reprodukcije i zaštita tajnosti, [102]. Uzajamna provjera autentičnosti mora biti podržana preko E1 interfejsa između gNB-CU-CP i gNB-CU-UP, korišćenjem DTLS i/ili IKEv2.

7.9.3. Non-SBA interfejsi u 5G jezgru

Interfejsi koji nijesu dio servisno zasnovane arhitekture (Non-SBA), a koji su unutar 5G jezgra, poput N4 i N9, mogu se koristiti za prenos signalnih podataka, kao i informacija osjetljivih na privatnost, poput podataka o korisniku i pretplati, ili bezbjednosnih ključeva. Stoga će ovi interfejsi imati zaštitu tajnosti, integriteta i zaštitu od napada ponovne reprodukcije. Interfejsi u *roaming*-u između mobilnih celularnih mreža, osim za N32, imaće zaštitu tajnosti, integriteta i zaštitu od napada ponovne reprodukcije. Zaštita za N32 interfejse je specificirana u TS 33.501, dok se za zaštitu gore navedenih internih i *roaming* interfejsa (osim N32) koristi NDS/IP, osim ako se bezbjednost osigurava drugim sredstvima, npr. fizički, [83].

7.9.4. Ostali interfejsi

Funkcija *gateway*-a za fiksni pristup (W-AGF - *Wireline Access Gateway Function*) u fiksnoj 5G pristupnoj mreži (W-5GAN - *Wireline 5G Access Network*), koja završava N2 interfejs između W-5GAN i AMF-a, te N3 interfejs između W-5GAN i UPF interfejsa, će imati zaštićen integritet, tajnost i zaštitu od napada ponovne reprodukcije.

7.10. Bezbjednosni aspekti servisnih interfejsa 5GS SA

U 5G sistemu, mrežne funkcije na siguran način izlažu mogućnosti i događaje aplikacionim funkcijama treće strane, putem funkcije izlaganja mreže (NEF-a). NEF takođe omogućava bezbjedno pružanje informacija u 3GPP mreži putem autentifikovanih i autorizovanih aplikacionih funkcija (AF). Za provjeru autentičnosti između NEF-a i aplikacione funkcije, koja se nalazi izvan domena 3GPP operatora, treba realizovati međusobnu provjeru autentičnosti između NEF-a i AF-a pomoću TLS-a, na osnovu sertifikata klijenta i servera. Autentifikacija zasnovana na sertifikatu mora pratiti profile date u 3GPP TS 33.310, pri čemu se identiteti u sertifikatima krajnjeg entiteta koriste za provjeru autentičnosti i provjere politika, [88]. TLS će se koristiti za pružanje zaštite integriteta, zaštite od ponovne reprodukcije i zaštite tajnosti za interfejse između NEF-a i aplikacione funkcije, s tim što je podrška TLS-a obavezna.

Sve mrežne funkcije servisno zasnovane arhitekture (SBA) treba da podržavaju međusobno autentifikovane TLS i HTTPS, kao što je specificirano u RFC 7540 i RFC 2818, [103]-[104]. Identiteti u sertifikatima krajnjeg entiteta će se koristiti za provjeru autentičnosti i provjere politika. Mrežne funkcije moraju podržavati i serverske i klijentske sertifikate. TLS će se koristiti za zaštitu transporta unutar mobilne celularne mreže, osim ako mrežna bezbjednost nije osigurana drugim sredstvima. Ako su interfejsi

pouzdani (npr. fizički zaštićeni), mobilni operator će odlučiti hoće li koristiti kriptografsku zaštitu.

Interkonekcija između mobilnih celularnih mreža omogućava sigurnu komunikaciju između servis provajderskih i korisničkih mrežnih funkcija (NF) u različitim mrežama. U tom slučaju bezbjednost omogućuju *proxy*-ji za zaštitu ivice mreže (SEPP) u obje mreže. SEPP-ovi sprovode politike zaštite u vezi sa zaštitom aplikacionog sloja, osiguravajući tako integritet i zaštitu povjerljivosti za one elemente koji se štite.

7.11. Bezbjednost upravljanja mrežnim segmentima

Kreiranje, modifikacija i završetak instance mrežnog segmenta (NSI - *Network Slice Instance*), pripada upravljačkim servisima koje pružaju 5G sistemi upravljanja. Upravljačkom servisu pristupaju korisnici putem standardizovanih servisnih interfejsa datih u 3GPP TS 28.533, [105]. Tipični korisnici NSI-ija su operatori, odnosno vertikalni industrijski sektori, kako je to opisano u 3GPP TS 28.531, [106]. Ovi upravljački servisi su zaštićeni međusobnom autentifikacijom i autorizacijom. Ako se korisnik menadžment servisa nalazi van domena povjerenja 3GPP operatora, izvršiće se međusobna provjera identiteta između korisnika upravljačkog servisa i generatora ovog servisa, pomoću TLS protokola.

Odobrenje od matične/servisne mobilne celularne mreže je potrebno da bi UE dobio pristup mrežnom segementu, identifikovanom od strane SNSSAI-a (*Single Network Slice Selection Assistance Information*). Autorizovani SNSSAI dodjeljuju se UE-u tek nakon što UE uspješno završi primarnu autentifikaciju. Na kraju primarne autentifikacije, funkcija upravljanja pristupom i mobilnošću (AMF) i UE mogu primiti listu dopuštenih SNSSAI, za koje UE ima ovlašćenje pristupa (UE može biti priključen na nekoliko mrežnih segmenata istovremeno). EAP okvir, specificiran u RFC 3748, [95], će se koristiti za autentifikaciju i autorizaciju specifičnu za mrežni segment (NSSAA - *Network Slice Specific Authentication and Authorization*) između UE i AAA (*Authentication, Authorization and Accounting*) servera (R16). SEAF/AMF (*Security Anchor Function/Access and Mobility Management Function*) obavlja ulogu EAP autentifikatora i komunicira sa AAA serverom (AAA-S) putem funkcije za autentifikaciju i autorizaciju, specifične za mrežni segment (NSSAAF - *Network Slice-Specific Authentication and Authorization Function*). NSSAAF preuzima bilo koji AAA protokol koji međusobno sarađuje sa AAA-S. Moguće je postojanje više EAP metoda za NSSAA. Da bi se zaštitila privatnost EAP idenititeta (EAP ID – *EAP Identity*), koji se koristi za NSSAA zasnovan na EAP-u, preporučuje se EAP metoda koja omogućava zaštitu privatnosti, u slučaju da je ona zahtijevana.

7.12. Ostali bezbjednosni aspekti

7.12.1. Bezbjednosni aspekti DNS-a i ICMP-a

Preporučuje se da UE i DNS (*Domain Name System*) serveri podržavaju DNS preko (D)TLS protokola, kako je navedeno u RFC 7858 i RFC 8310, [107]-[108]. DNS server(i) koji su raspoređeni unutar 3GPP mreže mogu nametnuti upotrebu DNS-a preko (D)TLS-a. UE može biti unaprijed konfigurisan sa bezbjednosnim informacijama o DNS serveru (konfiguracije izvan opsega specificirane u IETF RFC-ovima, kao kredencijali za autentifikaciju na DNS server, podržani bezbjednosni mehanizmi, broj porta itd.), ili jezgro mreže može konfigurisati bezbjednosne informacije na DNS-u za UE.

ICMP (*Internet Control Message Protocol*) je dio Internet protokola (IP), [109]. Nedostatak bezbjednosti u ICMP-u može se iskoristiti za aktiviranje napada na 3GPP sistem. Da bi se ublažili takvi napadi, preporučuje se ograničavanje upotrebe ICMP-a samo na korisničke uređaje (UE) i funkciju korisničke ravni (UPF) (npr., u standardnim scenarijima, upotrebu ICMP-a ne treba dozvoliti). U scenarijima u kojima je potrebna upotreba ICMP-a, preporučuje se realizacija jedne ili više sljedećih stavki kao vrsta kontramjere:

- Onemogućiti UE da odgovara na ICMP zahtjeve primljene preko 3GPP mrežnih interfejsa;
- Instaliranje IP filtra u funkciji korisničke ravni (UPF), kako bi se blokirale ICMP poruke. Ovaj filtar se može aktivirati ili po N4 sesiji, ili po UPF osnovi. Za ICMPv6, preporuke u RFC 4890 se mogu koristiti za filtriranje ICMPv6 poruka, [109];
- Ograničenje maksimalne veličine ICMP poruke (npr., na 64 bajta). Sve ICMP poruke koje su veće od ovog ograničenja moraju se odbaciti od strane UE kao i od UPF-a.

7.12.2. Mrežna detekcija lažnih baznih stanica uz pomoć UE

Izvještaji o mjerenjima koje sprovodi UE imaju značaj i sa stanovišta bezbjednosti, jer su korisni za otkrivanje lažnih baznih stanica ili sakupljača permanentnog identifikatora pretplate/5G privremenog globalno jedinstvenog identiteta (SUPI/5G-GUTI). Mreža, u zavisnosti od načina implementacije, može odabrati UE-ove, ili oblasti praćenja, ili trajanje za koje se izvještaji o mjerenjima analiziraju, radi otkrivanja lažnih baznih stanica. Informacije o nivou primljenog signala i lokaciji, u izvještajima o mjerenjima, mogu se koristiti za otkrivanje lažne bazne stanice koja privlači UE-ove, emitovanjem signala veće snage. Ovi izvještaji o mjerenjima se takođe mogu koristiti za otkrivanje lažne bazne stanice koja reprodukuje izvorni MIB/SIB (*Master Information Block/System Information Block*) bez izmjena.

7.12.3. Bezbjednost i privatnost u 5G servisima lokacije

Za bezbjednost i privatnost 5G servisa lokacije (5GS LCS - 5G *System Location Services*) primjenjuju se mehanizmi definisani u TS 23.273 i TS 38.305, [110]-[111].

7.13. Širi pogled na 5G bezbjednost

Rasprave o bezbjednosti 5G podataka započele su u martu 2019. godine. Rasprava je bila sve intenzivnija kako se razmimolilaženje između Sjedinjenih Američkih Država i Kine intenziviralo, što je rezultat sumnji u neovlašćeno dobijanje povjerljivih podataka od strane kineskih proizvođača opreme. Kad je u pitanju implementacija 5G mreže, čija je osnova istovremeno povezivanje velikog broja uređaja i stvari, rizik od curenja informacija je značajno veći nego što je to bio slučaj sa mobilnim celularnim sistemima prethodnih generacija.

Kao odgovor na tu zabrinutost 3GPP, GSMA-a i EU su preduzele čitav niz različitih aktivnosti. Pri tome je naglašena potreba za provjerom i sertifikacijom bezbjednosti mrežne opreme, što se smatra ključnim alatom koji osigurava da rješenja ispunjavaju određene standarde kibernetičke bezbjednosti. Takvu provjeru, ili sertifikaciju, treba da sprovode nezavisne laboratorije. Primjer pristupa koji osigurava ekonomsku efikasnost i dosljednost bezbjednosnih zahtjeva je šema verifikacije definisana od strane 3GPP-a i GSMA, koja uključuje specifikacije za potvrdu bezbjednosti (SCAS - *Security Assurance Specification*) mrežnih uređaja i šemu za potvrdu bezbjednosti mrežne opreme (NESAS - *Network Equipment Security Assurance Scheme*). NESAS je definisan u GSMA specifikacijama:

- FS.13 - Šema za potvrdu bezbjednosti mrežne opreme – Pregled, [112];
- FS.14 - Šema za potvrdu bezbjednosti mrežne opreme - Akreditacija laboratorija za ispitivanje bezbjednosti, [113];
- FS.15 - Šema za potvrdu bezbjednosti mrežne opreme - Razvoj proizvoda i metodologija akreditacije životnog ciklusa, [114];
- FS.16 - Šema za potvrdu bezbjednosti mrežne opreme - Razvoj dobavljača i bezbjednosni zahtjevi životnog ciklusa proizvoda, [115].

NESAS definiše postupak ispitivanja i akreditacije procesa koji se odnose na siguran životni ciklus 5G proizvoda - njihov dizajn, razvoj, ispitivanje i održavanje. Ovaj pristup omogućava operatorima da dobiju informacije ne samo o bezbjednosti hardvera i softvera, već i o kompetencijama dobavljača u upravljanju promjenama, konfiguracijom, ažuriranjima i ranjivostima.

SCAS zahtjevi su definisani od strane 3GPP-a za svaku mrežnu funkciju (npr. gNB) sistema. Postupak evaluacije SCAS metodologijom (SECAM - *Security Assurance Methodology*) je dat u TR 33.916, dok TR 133.926 opisuje SCAS prijetnje i kritične komponente u 3GPP mrežnim klasama proizvoda, [116]-[117]. Više pojedinosti o određenim čvorištima/funkcijama je dato u posebnim izvještajima za gNB (TS 33.511), [86], AMF (TS 33.512), [91], UPF (TS 33.513), [118], UDM (TS 33.514), [92], SMF (TS

33.515), [119], AUSF (TS 33.516), [93], SEPP (TS 33.517), [84], NRF (TS 33.518), [94], NEF (TS 33.519), [120], N3IWF (TS 33.520), [97], NWDAF (TS 33.521), [121], SECOP (TS 33.522), [122], i izvještaju TR33.818, [123], pod naslovom „Metodologija garancije bezbjednosti (SECAM)" i „Specifikacija garancije bezbjednosti (SCAS)" za 3GPP virtuelizovane mrežne proizvode (R17).

Prema izvještaju objavljenom na *web* stranici GSMA (26.12.2020.), *Huawei*-evi gNB i eNB su prošli 3GPP-ovo SCAS testiranje, koje je obavljeno u laboratorijama DEKRA kompanije, i GSMA NESAS reviziju. Takođe, *Ericsson* tehnologije 5G jezgra i transportne tehnologije, su u potpunosti usklađene sa 3GPP/GSMA NESAS bezbjednosnim standardima (februar 2021.). Ispitivanje opreme ostalih proizvođača je u toku i podaci nijesu bili dostupni u vrijeme pisanja ove Studije.

NESAS i SCAS specifikacije će se izdavati od strane subjekata koji nijesu povezani sa bilo kojim dobavljačem opreme, a ispitivanja će sprovoditi nezavisne laboratorije. DEKRA je prva takva laboratorija za ispitivanje bezbjednosti u Evropi, koja je ovlašćena za SCAS testiranje i NESAS reviziju.

GSMA je objavio i dokument "Bezbjednost 5G interkonekcija" ("5G *Interconnect Security*") (FS.36), koji su pripremili industrijski stručnjaci u okviru GSMA Grupe za prevare i bezbjednost (FASG - *Fraud and Security Group*), [124]. Cilj GSMA FS.36 je da omogući razumijevanje potencijalnih rizika, prijetnji i protivmjera, vezanih za bezbjednost 5G interkonekcija. U njemu se navode preporuke o tome šta mobilni operatori treba da urade, kako bi se zaštitile interkonekcije između 5G mreža. FS.36 pokriva područja kao što su kategorizacija 5G osnovnih poruka i klasifikacija vrsta informacionih elemenata, rizici migracije, odgovori na greške itd.

GSMA je takođe objavio dokument NG.113 – „5GS Smjernice za *roaming*" (*5GS Roaming Guidelines*), koji pruža uvid u to kako se mreže 5G sistema, koje koriste 5G jezgro (5GC), mogu međusobno povezati i/ili sarađivati, kada su korisnici u *roaming*-u, [125]. Glavni fokus je na opisu 5GC, NR i međusobnog povezivanja sa EPS-om tokom *roaming*-a.

U kontekstu 5G bezbjednosti, vrlo je relevantan i dokument koji je nedavno objavila Agencija Evropske unije za kibernetsku bezbjednost (ENISA), pod nazivom „ENISA pregled prijetnji za 5G mreže" (*ENISA Threat Landscape for 5G Networks*) (decembar 2020.). Ovaj dokument ukratko opisuje ranjivosti 5G mreže, uključujući probleme sa 5G jezgrom, segmentiranjem mreže, novim radiom (NR), MANO (*Management and Orchestration*), softverski definisanim umrežavanjem (SDN - *Software-defined networking*), obradom podataka na ivici mreže, sa višestrukim pristupom (MEC - *Multi-access Edge Computing*), fizičkom infrastrukturom i bezbjednosnom arhitekturom. Takođe uključuje mapu prijetnji i preporuke, i vrlo je koristan za mrežne operatore i regulatorna tijela. U dokumentu se navode ranjivosti koje se tiču implementacija AMF-a, UPF-a, UDM-a, SMF-a, SEPP-a, NEF-a, NRF-a i SBA,

kao i nepravilne 5GC konfiguracije/implementacije. Dugu listu prijetnji koje su navedene bi trebao da provjeri svaki operator mobilne mreže koji primjenjuje ovo rješenje. Kroz izvršenu analizu prijetnji, ENISA je prepoznala da je potrebno nastaviti rad na području kreiranja profila agenata 5G prijetnji i identifikaciji mogućih vektora napada. Pri tome je za uspjeh neophodno ostvariti koordinaciju aktivnosti širom EU, a buduće aktivnosti ENISA-e po ovom pitanju će se dogovarati po potrebi, dodjeljivati i koordinirati s Evropskom komisijom i državama članicama (NIS CG SG o 5G).

8. POTENCIJALNI IZAZOVI, OGRANIČENJA I BARIJERE

Polazeći od prethodno opisanih karakteristika arhitekture 5G sistema, njihovih funkcionalnosti, kao i prikazanih komponenti pripadajućeg ekosistema, jasno je da efikasna implementacija ove nove tehnološke platforme zavisi od čitavog niza faktora koji mogu predstavljati ograničenja, pa i barijere, ukoliko se pravovremeno ne identifikuju i ako izostanu mjere za njihovo prevazilaženje.

U Glavi 6 ove Studije opisani su neki od potencijalnih izazova i rizika koji mogu generalno uticati na stepen prihvatanja i uspješnost izgradnje i razvoja 5G mreža. U tekstu koji slijedi ova problematika je dalje razrađena za konkretne uslove u Crnoj Gori, pri čemu su u obzir uzeti i odgovori na Upitnike dobijeni od strane domaćih zainteresovanih subjekata.

8.1. Regulatorni okvir u oblasti elektronskih komunikacija

Stvaranje adekvatnih uslova za razvoj 5G ekosistema uključuje mnoge aspekte regulatornih aktivnosti, od kojih su neke izvan domena kreatora politika u sektoru elektronskih komunikacija. Kako se 5G ekosistem bude razvijao i kako se budu pojavljivali novi servisi i scenariji primjene, posebno u vertikalnim industrijskim sektorima, to će biti potrebno postojeću regulativu unapređivati ili donositi novu. Taj proces će biti kontinualan, a način i dinamika kojom se budu rješavali regulatorni izazovi mogli bi uticati na brzinu implementacije i prihvatanja inovativnih usluga na tržištu i ostvarivanja punih prednosti nove tehnologije za individualne korisnike, vertikalne industrijske sektore i javnu upravu.

Na nivou Evropske unije regulatorni okvir za sektor elektronskih komunikacija je definisan Direktivom (EU) 2018/1972 o Evropskom zakoniku o elektronskim komunikacijama (EECC), [67]. Zakonik posebno tretira regulatorne aspekte vezane upravo za uvođenje i razvoj 5G mreža. Očekuje se da će Zakonik, kada bude prenešen u nacionalno zakonodavstvo država članica, dati snažan podsticaj razvoju 5G mobilnih komunikacionih mreža i uopšte širokopojasnih mreža velike brzine. U pogledu izgradnje infrastrukture 5G mreža, važna je i Direktiva 2014/61/EU o mjerama za smanjenje troškova postavljanja elektronskih komunikacionih mreža velikih brzina, [126]. U pogledu stvaranja uslova za implementaciju 5G mreža, izazovi kojima treba posvetiti pažnju kreću se od pitanja standardizacije, interoperabilnosti, novih poslovnih modela, dostupnosti spektra i mrežnog segmentiranja, pokrivenosti, kvaliteta servisa (QoS), sigurnosti i pouzdansti mreže. Ovim i drugim regulatornim pitanjima bavi se Udruženje evropskih regulatora za sektor elektronskih komunikacija (BEREC).

Krajem 2019. godine BEREC je objavio Izvještaj o uticaju 5G mreža na regulativu i značaju regulative u omogućavanju 5G ekosistema, [127]. Izvještaj je sačinjen na osnovu konsultacija sa relevantnim subjektima iz više sektora, sa ciljem da pomogne nacionalnim regulatornim tijelima za elektronske komunikacije da predvide gdje i kako primjena 5G mreža može

imati uticaja na regulatorno okruženje i u kojim segmentima nacionalni regulatori mogu da djeluju kako bi 5G ekosistem bio omogućen. Izveštaj se bavi aspektima kao što su: novi poslovni modeli i lanci kreiranja vrijednosti, perspektive razvoja mreže (planiranje i implementacija, *backhaul/fronthaul*, pokrivenost, *small cells*, dijeljenje infrastrukture*, roaming*, numeracija i EMF), uticaj na krajnje korisnike, kako na individualne tako i na vertikalne industrijske sektore (u pogledu kvaliteta usluge, informisanosti i interoperabilnosti), i ostali regulatorni aspekti na koje su ukazali učesnici iz raznih sektora (sigurnost i privatnost komunikacije, konvergencija sa radio-difuznim servisima, korišćenje radio-frekvencijskog spektra). S obzirom da za mnoge aspekte još uvijek nije jasno na koji način mogu uticati na tržište, BEREC kontinuirano radi na preispitivanju adekvatnosti postojeće regulative, njenoj reviziji i razvoju nove.

Razvoj 5G usluga neće se desiti trenutno, već će se mreža i servisi postepeno razvijati. Svaka faza postepenog uvođenja 5G usluga imaće svoje izazove na koje će biti potrebno obratiti pažnju sa regulatornog aspekta.

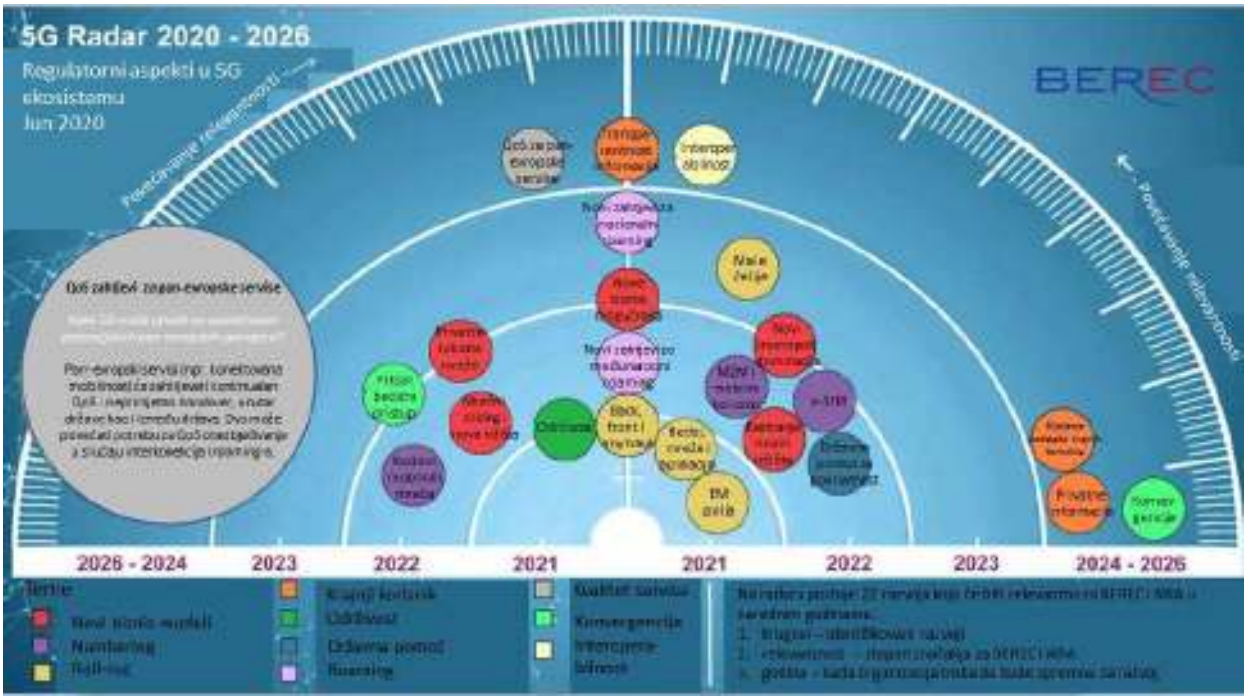
Početna implementacija 5G mreža, koja će biti pretežno usmjerena na eMBB servise, zavisiće od dostupnosti frekvencija u opsegu 3,4-3,8GHz, dostupnosti 5G opreme za operatore, kao i potražnje krajnjih korisnika. Mrežni operatori će se u ovoj fazi najvjerovatnije oslanjati na korišćenje postojećih lokacija i opreme u što je moguće većoj mjeri. 5G pristup će biti uveden u oblastima u kojima postoji potreba i potražnja za dodatnim kapacitetom. Za očekivati je da će se primjena u gusto naseljenim oblastima zasnivati na opsegu od 3,6GHz, dok će se u ruralnim područjima koristiti opsezi ispod 1GHz (npr. opseg 700MHz). Povećani mrežni kapacitet na svakoj lokaciji će dovesti do potrebe proširenja kapaciteta u prenosnom dijelu mreže, tj. do potrebe izgradnje optičke infrastrukture do postojećih lokacija ili iskorišćenja mikrotalasnih veza do njihovog tehnološkog maksimuma.

Dalji razvoj 5G mreža će ići u pravcu masovne implementacije *small cell* baznih stanica (malih ćelija), najvjerovatnije u opsegu 26GHz. Ove ćelije će imati manji radijus pokrivanja (50-200m), uz omogućavanje povećanja kapaciteta lokalno, na otvorenom i u zatvorenom prostoru. Pristup *outdoor* i *indoor* lokacijama, kao i potreba za korišćenjem optičkog prenosa i omogućavanja napajanja baznih stanica električnom energijom mogu predstavljati izazove. Ovo će neizostavno zahtijevati pažljivo planiranje i dogovaranje sa lokalnim samoupravama i vlasnicima zemljišta i objekata. Potreba za implementacijom opreme na velikom broju novih lokacija dovešće do realne potrebe za dijeljenjem infrastrukture između operatora. S druge strane, vlasnici imovine mogu imati primjedbe na smeštaj opreme više mrežnih operatora u istom objektu.

U sljedećoj fazi razvoja 5G mreža biće omogućeni mMTC i URLLC servisi. Takođe, biće neophodno licenciranje novog spektra u višim frekvencijskim opsezima kako bi se zadovoljili zahtjevi na lokalnom nivou. U ovoj fazi očekuje se uvođenje specijalizovanih usluga, optimizovanih za vertikalne

industrijske sektore. Regulatori će trebati da procijene, između ostalih kriterijuma, i da li će diferencijacija kvaliteta servisa (QoS) određene mobilne usluge biti usklađena sa regulativom o otvorenom Internetu. Dalje, da bi omogućili *end-to-end* servis između više mreža, regulatori će morati da donesu regulatornu odluku o potrebi nametanja obaveze nacionalnog *roaming*-a i interkonekcije. Važan aspekt za uvođenje servisa kao što su vozila sa autonomnim upravljanjem, je geografska pokrivenost (manja gustina mreže u ruralnim oblastima), što otvara pitanje potrebe za određenim vidom državne pomoći, kako bi se mreže razvile u područjima u kojima to nije ekonomski isplativo. Novi servisi koji će biti razvijeni u ovoj fazi mogu rezultirati novim zabrinutostima krajnjeg korisnika u vezi sa privatnošću komunikacije i zaštiti podataka. Prilagođene usluge koje koriste poseban dio mreže mogu se suočiti sa izazovima u vezi sa komutacijom ili interoperabilnošću.

U cilju praćenja razvoja pojedinih vrsta servisa i potrebe za regulatornim intervencijama BEREC je razvio tzv. 5G Radar, tj. alat za praćenje 5G ekosistema, koji treba da pomogne u praćenju potreba u oblasti regulative sa ciljem da se na vrijeme da odgovarajući regulatorni odgovor, [128]. BEREC 5G Radar obuhvata 24 identifikovana regulatorna aspekta vezana za 5G, koji će biti relevantni za BEREC i nacionalna regulatorna tijela u narednom periodu. Pri tome, radar ne nudi rješenja, već identifikuje aspekte koje treba bliže istražiti, kako bi se omogućila nesmetana implementacija novih 5G servisa. Na Slici 8.1 je prikazan 2D izgled BEREC 5G Radara za period 2020-2026. godina.



Slika 8.1. BEREC 5G Radar za period 2020-2026. godina

Regulatorni okvir u oblasti elektronskih komunikacija u Crnoj Gori je definisan Zakonom o elektronskim komunikacijama iz 2013. godine i setom

podzakonskih akata, donešenih na osnovu tog zakona, [129]. Sama činjenica da ključni pravni akt kojim se reguliše oblast elektronskih komunikacija nije usaglašen sa trenutnim regulatornim okvirom u Evropskoj uniji (Direktivom o Evropskom zakoniku o elektronskim komunikacijama) može predstavljati značajnu barijeru za efikasno uvođenje i dalji održiv razvoj 5G mobilnih mreža u Crnoj Gori. O konkretnim ograničenjima, na koje je ukazano u odgovorima na Upitnike od strane četiri kategorije subjekata u Crnoj Gori, detaljnije će se elaborirati kada se budu razmatrali pojedinačni aspekti. Takođe, u Crnoj Gori u nacionalno zakonodavstvo nije transponovana ni Direktiva o mjerama za smanjenje troškova postavljanja elektronskih komunikacionih mreža velikih brzina, što takođe može usporiti razvoj infrastrukture 5G mobilnih mreža, kako u radio pristupnom dijelu, tako i u dijelu *backhaul*-a koji će se u velikoj mjeri oslanjati na prenos po optičkim vlaknima.

Na osnovu navedenog može se zaključiti da je za efikasno uvođenje i održiv razvoj 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori neophodno slijediti regulatorni okvir Evropske unije, što je i obaveza Crne Gore u procesu pridruživanja Uniji. Tu se prije svega misli na usaglašavanje Zakona o elektronskim komunikacijama sa Direktivom o Evropskom zakoniku o elektronskim komunikacijama i donošenje akta o transpoziciji Direktive o mjerama za smanjenje troškova postavljanja elektronskih komunikacionih mreža velikih brzina.

Pored toga, na razvoj 5G mreža uticaj može imati i regulatorni okvir u drugim oblastima, kao što su izgradnja objekata, zaštita životne sredine, bezbjednost, zaštita podataka i slično, na šta je ukazano i u odgovorima na Upitnike koji su detaljno analizirani u Glavi 5 ove Studije.

8.2. Izazovi u pogledu radio-frekvencijskog spektra

Razvoj 5G mreža zahtijeva pravovremenu dostupnost harmonizovanih radio-frekvencijskih resursa. Za podršku širokom korpusu 5G usluga i scenarija korišćenja 5G mreža, sa raznorodnim korisničkim zahtjevima, na raspolaganju moraju biti blokovi frekvencija adekvatne širine i propagacionih karakteristika. Frekvencijski opsezi za implementaciju 5G mreža mogu se generalno svrstati u tri grupe: niski (do 1GHz), srednji (1-6GHz) i visoki frekvencijski opsezi (iznad 6GHz). Pregled karakteristika i mogućnosti primjene sve tri vrste opsega je dat u Tabeli 8.1.

Prepoznajući značaj blagovremene identifikacije harmonizovanih frekvencijskih opsega, Grupa za politiku radio-frekvencijskog spektra (RSPG - *Radio Spectrum Policy Group*), kao savjetodavno tijelo Evropske komisije za politiku upravljanja RF spektrom, krajem 2016. godine u svom Mišljenju o aspektima vezanim za spektar za sljedeću generaciju bežičnih sistema (5G) je predstavila okvir za obezbjeđivanje spektralnih resursa radi početne implementacije 5G mreža u Evropi, [70].

Tabela 8.1. Radio-frekvencijski opsezi za implementaciju 5G sistema

Visoki opsezi (iznad 6GHz)	Ekstremno velike brzine prenosa (eMBB, FWA, URLLC) - Na raspolaganju su široki blokovi koji omogućavaju veoma veliki kapacitet ćelije, odnosno izuzetno velike brzine prenosa podataka. Oblast pokrivanja je mala, djelimično kompenzovana korišćenjem MIMO tehnike; - Kašenjenje <1ms (RTT) u opsegu 26GHz.
Srednji opsezi (1-6GHz)	Velike brzine prenosa (eMBB, FWA, URLLC) - Na raspolaganju su širi blokovi i veći protoci u odnosu na LTE, pogodni za veliki broj slučajeva primjene 5G mreža; - Srednja oblast pokrivanja; - Kašenjenje <3ms (RTT) u opsegu 3,6GHz.
Niski opsezi (do 1GHz)	Široko pokrivanje (eMBB, *Indoor*, Masivni IoT) - Pogodni za pokrivanje širokih oblasti, za pokrivanje unutrašnjosti objekata (*indoor*) i pri mobilnosti; - Brzina prenosa podataka i kapacitet ćelije ograničen malom širinom raspoloživih kanala; - Kašnjenje nešto manje nego u LTE-A.

Od srednjih opsega, RSPG u svom mišljenju prepoznaje opseg 3400-3800MHz kao primarni opseg za uvođenje usluga zasnovanih na 5G mrežama u Evropi. Posebna vrijednost ovog opsega ogleda se u činjenici da je ranije harmonizovan za MFCN (*Mobile/Fixed Communications Networks*) sisteme, te da svojom širinom od 400MHz kontinualnog spektra omogućava dodjelu blokova širine 100MHz ili veće po operatoru. Od opsega ispod 1GHz, RSPG posebno ukazuje na mogućnost korišćenja harmonizovanog opsega 700MHz. Od opsega iznad 6GHz, koji pružaju mogućnost dodjele blokova veoma velike širine (400MHz ili šire), RSPG je preporučio harmonizaciju za 5G opsega 24,25-27,5GHz (kao pionirskog opsega), a u budućnosti i opsega 40,5-43,5MHz i 66-71GHz. Takođe, RSPG ističe potrebu da se tehnički i regulatorni uslovi postavljeni pred sve opsege koji su već harmonizovani za mobilne mreže (i koji se trenutno koriste za 2G, 3G i 4G sisteme) prilagode za 5G, kako bi se i oni mogli koristiti za implementaciju novih mreža.

Iako je opseg 700MHz, kao dio spektra digitalne dividende, u Evropi harmonizovan za MFCN sisteme još 2015. godine, njegova upotreba za mobilne mreže je bila uslovljena potrebom migracije sistema digitalne zemaljske radio-difuzije na kanale van ovog opsega. Prema Odluci Evropskog Parlamenta i Savjeta (EU) 2017/899, predviđeni rok za oslobađanje opsega 700MHz za MFCN sisteme je bio 30. jun 2020. godine, s tim što je ovaj rok moguće produžiti za najviše dvije godine u slučaju opravdanih razloga. U većini država članica EU opseg 700MHz je oslobođen za MFCN sisteme.

Opseg 3400-3600MHz je na globalnom nivou harmonizovan za IMT sisteme na konferenciji WRC-07, a opseg 3600-3800MHz na konferenciji WRC-15, mada su neke države, među kojima je i Crna Gora, namijenile i ovaj opseg mobilnoj službi nakon konferencije WRC-07. U prethodnom periodu oba opsega su se u Evropi intenzivno koristila za širokopojasne bežične pristupne sisteme (BWA - *Broadband Wireless Access*), uglavnom zasnovane

na WiMAX tehnologiji. S obzirom da je opseg 3600-3800MHz dio satelitskog opsega 3600-4200MHz (C-*band*), u nekim zemljama ovaj opseg je dodijeljen satelitskim operatorima (Kipar, Danska). Oba opsega su od strane CEPT/ECC harmonizovana za MFCN sisteme 2014. godine. U jednom broju zemalja dodjele sprovedene prije 2010. godine su još uvijek na snazi.

Evropska komisija je 2018. godine donijela odluku o harmonizaciji opsega 24,25-27,5GHz za MFCN sisteme, prije nego što je od strane WRC-19 opseg identifikovan za IMT. Propisani tehnički uslovi za MFCN bazne i terminalne stanice su u jednom dijelu revidirani od strane WRC-19. Opseg 24,5-26,5GHz se u mnogim evropskim državama koristi za fiksne *point-to-point* (RR) i *point-to-multipoint* veze (FWA). Evropskim zakonikom o elektronskim komunikacijama (EECC) države članice EU su obavezane da za ranu implementaciju 5G mreža do kraja 2020. godine obezbijede najmanje 1GHz spektra iz opsega 24,25-27,5GHz, pod uslovom da postoji jasan dokaz o potražnji na tržištu i da nema znatnih ograničenja za migraciju postojećih korisnika ili oslobađanje opsega od postojećih sistema.

Planom namjene radio-frekvencijskog spektra, saglasno relevantnim ITU i CEPT/ECC dokumentima, u Crnoj Gori su za MFCN sisteme opredijeljeni svi frekvencijski opsezi koji su za ove primjene identifikovani u Evropi, [130]. Radi se o sljedećim opsezima:
- 694-790MHz (opseg 700MHz),
- 790-862MHz (opseg 800MHz),
- 880-915/925-960MHz (opseg 900MHz),
- 1427-1518MHz (opseg 1500MHz),
- 1710-1785/1805-1880MHz (opseg 1800MHz),
- 1920-1980/2110-2170MHz (opseg 2GHz),
- 2300-2400MHz (opseg 2,3GHz),
- 2500-2690MHz (opseg 2,6GHz),
- 3400-3800MHz (opseg 3,6GHz),
- 24,25-27,5GHz (opseg 26GHz),
- 40,5-43,5GHz (opseg 40GHz),
- 66-71GHz (opseg 66GHz).

Za sve navedene opsege, osim za opsege 40GHz i 66GHz, donijeti su planovi raspodjele kojima su, u skladu sa odgovarajućim CEPT/ECC odlukama, definisani tehnički i regulatorni uslovi za bazne i terminalne stanice MFCN sistema. Tehnički uslovi za MFCN bazne stanice sa adaptivnim antenskim sistemom (AAS - *Active Antenna System*), čija primjena je karakteristična za 5G tehnologiju, definisani su planovima raspodjele za opsege 2GHz, 2,6GHz, 3,6GHz i 26GHz. Takođe, na 5G bazne stanice su primjenjivi i tehnički uslovi propisani planovima raspodjele za opsege 700MHz, 800MHz i 1500MHz (prema CEPT-oj 5G mapi puta u ovim opsezima se ne očekuje implementacija 5G baznih stanica sa AAS). Tehnički uslovi za MFCN bazne stanice sa AAS u opsezima 900MHz, 1800MHz i 2,3GHz još uvijek nijesu razvijeni na nivou CEPT-a.

U Tabeli 8.2 dat je pregled RF resursa koji su u Crnoj Gori opredijeljeni za javne mobilne elektronske komunikacione mreže.

Tabela 8.2. Radio-frekvencijski resursi opredijeljeni za MFCN sisteme u Crnoj Gori

Opseg	Širina raspoloživog spektra	Kanalni Aranžman
700MHz	2x30MHz (FDD)+do 20MHz (TDD ili SDL)	6 kanala širine 2x5MHz+ do 4 kanala širine 5MHz
800MHz	2x30MHz (FDD)	6 kanala širine 2x5MHz
900MHz	2x35MHz (FDD)	7 kanala širine 2x5MHz
1500MHz	90MHz (SDL)	18 kanala širine 5MHz
1800MHz	2x75MHz (FDD)	15 kanala širine 2x5MHz
2GHz	2x60MHz (FDD)	12 kanala širine 2x5MHz
2,3GHz	100MHz (TDD)	20 kanala širine 5MHz
2,6GHz	2x70MHz (FDD)+50MHz (TDD ili SDL)	14 kanala širine 2x5MHz+ 10 kanala širine 5MHz
3,6GHz	400MHz (TDD)	80 kanala širine 5MHz
26GHz	3200MHz (TDD)	16 kanala širine 200MHz

Radio-frekvencije iz opsega 800MHz, kao i djelovi opsega 900MHz, 1800MHz, 2GHz i 2,6GHz su dodijeljeni u postupku aukcije spektra 2016. godine, sa periodom važenja odobrenja do 1. septembra 2031. godine. Postojeća odobrenja za preostale djelove opsega 900MHz (blok širine 2x10MHz) i 1800MHz (blok širine 2x20MHz) i za blok širine 2x15MHz iz opsega 2GHz važe do aprila 2022. godine. Svi dodijeljeni resursi se intenzivno koriste za postojeće 2G, 3G i 4G mreže.

Pregled slobodnih radio-frekvencijskih resursa koji potencijalno mogu biti predmet dodjele za MFCN sisteme u narednom periodu je dat u Tabeli 8.3.

Tabela 8.3. Pregled slobodnih RF resursa za MFCN sisteme u Crnoj Gori

Opseg	Širina RF resursa	Raspoloživo	Status
700MHz	2x30MHz	od 1. jula 2022.	slobodno, trenutno pod interferencijom od DTV predajnika iz susjednih država
	do 20MHz		
1500MHz	90MHz	odmah	Slobodno
2GHz	2x5MHz	odmah	Slobodno
2,3GHz	100MHz	odmah	Slobodno
2,6GHz	2x40MHz	odmah	Slobodno
	40MHz		
3,6GHz	350MHz	odmah	Slobodno
	50MHz	od 23. aprila 2022.	trenutno dodijeljeno za BWA
26GHz	1000MHz	odmah	slobodno, blok 26,5-27,5 GHz
	600MHz+ 600MHz	od maja 2022.	slobodno, uz uslov da se dvije fiksne veze izmjeste na niže kanale

Opsezi 2GHz i 2,6GHz imaju dobru perspektivu korišćenja za MFCN sisteme. Opseg 1500MHz, namijenjen za dopunsku SDL (*Supplemental Downlink*)

vezu, je dodijeljen u nekoliko evropskih država, ali u ovom trenutku ima ograničenu perspektivu korišćenja za ove primjene. Slično je i sa opsegom 2,3GHz, koji je u mnogim državama predviđen za korišćenje za mobilne mreže na bazi LSA (*Licence Shared Access*). U Crnoj Gori su pomenuti opsezi slobodni.

Opseg 700MHz, kao dio spektra digitalne dividende, u Crnoj Gori je oslobođen od radio-difuznih sistema tokom 2017. godine. Međutim, opseg je trenutno izložen interferenciji od DTV predajnika iz susjednih država Albanije i Italije, što je potvrđeno i kroz detaljni monitoring opsega, koji je Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost sprovela u periodu avgust-septembar 2020. godine sa fiksnih stanica sistema za kontrolu i monitoring radio-frekvencijskog spektra. Korišćenje opsega 700MHz za MFCN sisteme je trenutno otežano ili onemogućeno u djelovima Podgorice i Tuzi, koji gravitiraju ka granici sa Albanijom, i u svim primorskim opštinama.

U Italiji je opseg 700MHz već dodijeljen mobilnim operatorima i izvjesno je da će biti oslobođen od sistema digitalne radio-difuzije do 30. juna 2022. godine. Ministarstvo infrastrukture i energetike Albanije je 3. juna 2020. godine objavilo Nacionalni plan održivog razvoja digitalne infrastrukture, širokopojasni pristup za period 2020-2025. godine, kojim je, slijedeći odgovarajuću EU odluku, predviđeno oslobađanje opsega 700MHz od sistema digitalne zemaljske radio-difuzije do 30. juna 2022. godine i dodjela ovog opsega mobilnim operatorima. Međutim, prema informacijama dobijenim od Agencije, konkretne aktivnosti na realizaciji ove mjere još uvijek nijesu započete, a Agencija u svim kontaktima sa nadležnim institucijama u Albaniji insistira da se DTV predajnici na kanalima 51 i 59 u alotment zoni *Shkoder* i na kanalima 53, 57 i 59 u alotment zoni Tirana stave van funkcije najkasnije do prethodno navedenog datuma. Uzimajući navedeno u obzir, korišćenje opsega 700MHz za implementaciju 5G mobilnih mreža na cijeloj teritoriji Crne Gore nije moguće prije druge polovine 2022. godine.

Dio opsega 3400-3800MHz (blok širine 2x25MHz iz opsega 3400-3600MHz) je u Crnoj Gori trenutno dodijeljen Mtel-u za realizaciju BWA sistema, na bazi WiMAX tehnologije. Mtel je obavezan da do isteka perioda važenja odobrenja (22. april 2022. godine) stavi van funkcije WiMAX mrežu u ovom opsegu. Zbog FDD-TDD konflikta (WiMAX mreža Mtel-a koristi FDD, a za MFCN sisteme je predviđeno korišćenje TDD tipa dupleksa), ali i zbog osjetljivosti WiMAX CPE uređaja, do potpunog gašenja ove mreže ni ostali dio opsega se ne može koristiti za MFCN sisteme u punom kapacitetu. Dakle, opseg 3400-3800MHz u Crnoj Gori nije moguće koristiti za 5G mobilne mreže prije maja 2022. godine. Opseg 3600-3800MHz je moguće koristiti u zonama gdje nema WiMAX korisnika, što daje mogućnost testiranja 5G tehnologije u ovom opsegu.

Dio opsega 26GHz (opseg 24,5-26,5GHz) se u Crnoj Gori intenzivno koristi za realizaciju fiksnih radio-relejnih veza (na kraju 2020. godine na snazi su

bila odobrenja za ukupno 76 veza). Planom namjene radio-frekvencijskog spektra je propisano da se opseg može koristiti za fiksne veze najkasnije do 30. juna 2027. godine. Opseg 26,5-27,5GHz je slobodan i može biti predmet dodjele za MFCN sisteme, čime je obezbijeđeno 1000MHz spektra u opsezima milimetarskih talasa za ranu implementaciju 5G mobilnih mreža. Dodatnih 1200MHz, u dva bloka širine po 600MHz, od kojih se na jedan nadovezuje pomenuti blok širine 1000MHz, se može obezbijediti izmještanjem dvije fiksne veze Mtel-a na neki od nižih kanala, što svakako ne bi trebao biti izazov ni sa pravnog ni sa tehničkog aspekta. Postojeća odobrenja za pomenute veze ističu u aprilu, odnosno maju 2022. godine.

Dakle, korišćenje dva ključna opsega za ranu implementaciju 5G mobilnih mreža (700MHz i 3,6GHz) u Crnoj Gori nije moguće prije jula 2022. godine.

Iskustva velikog broja evropskih operatora, o čemu je bilo riječi u Glavi 4 ove Studije, govore da za uvođenje 5G mobilnih komunikacionih mreža nije neophodna dodjela spektra iz pionirskih 5G opsega (700MHz, 3,6GHz ili 26GHz). Mnogi operatori su iskoristili postojeće resurse, prije svega iz opsega 1800MHz, 2100MHz ili 2600MHz, za uvođenje 5G tehnologije na bazi dinamičkog dijeljenja spektra (DSS) između 3G/4G i 5G korisnika. Takav pristup se smatra pogodnim za operatora da uvede novu tehnologiju bez obaveza u pogledu pokrivanja. Međutim, uzimajući u obzir ograničene spektralne resurse koje je za 5G moguće angažovati u pomenutim opsezima, radi se o prelaznom rješenju do implementacije 5G mreža, prvenstveno u opsegu 3,6GHz, koji zbog širine blokova koji mogu biti dodijeljeni operatorima omogućava postizanje gigabitnih protoka prema korisniku.

Za uvođenje 5G mreža u postojećim opsezima u Crnoj Gori postoje određena ograničenja. Sva tri mobilna operatora najveći dio svojih kapaciteta u LTE mreži baziraju na korišćenju opsega 1800MHz, pa je malo vjerovatno da će se pri obimu korišćenja opsega od strane postojećih LTE korisnika, odlučiti za uvođenje 5G tehnologije primjenom ovog opsega. U opsegu 2100MHz Crnogorski Telekom i Mtel trenutno raspolažu kontinualnim blokovima širine 2x15MHz, što je nedovoljno za postizanje značajnije većih protoka u 5G mreži. Crnogorskom Telekomu dodjela kontinualnog bloka širine 2x20MHz počinje da važi od aprila 2022. godine, što mu daje mogućnost implementacije 5G u opsegu 2100MHz na bazi DSS koncepta, posebno ukoliko u međuvremenu implementira VoLTE tehnologiju, čime bi se značajno smanjio obim saobraćaja kroz UMTS mrežu, a samim tim dobila mogućnost da se veći dio resursa angažuje za 5G NR. Telenor svoj blok širine 2x20MHz u opsegu 2100MHz koristi za UMTS i LTE, pa je uvođenje treće tehnologije u ovaj opseg malo vjerovatno. U opsegu 2600MHz jedino Mtel raspolaže dovoljno širokim blokom (2x20MHz). Imajući u vidu da je obim korišćenja ovog opsega za LTE veoma mali, u pogledu RF resursa najveće mogućnosti za implementaciju 5G NR u postojećim opsezima ima upravo Mtel i to u opsegu 2600MHz uz primjenu DSS tehnike.

Dakle, po pitanju obezbjeđivanja RF resursa za uvođenje i dalji razvoj 5G mobilnih mreža u Crnoj Gori, može se konstatovati da su sa aspekta namjene opsega i tehničkog i regulatornog okvira za korišćenje radio-frekvencija ispunjene sve pretpostavke, saglasno trenutno važećem regulatornom okviru na nivou CEPT-a i EU.

Sa aspekta raspoloživosti identifikovanih opsega, činjenica da radio-frekvencije iz opsega 700MHz i 3,6GHz neće biti moguće koristiti za komercijalnu implementaciju 5G mreža, osim eventualno za testiranje 5G tehnologije u ograničenim oblastima pokrivanja, prije maja 2022. godine (opseg 3,6GHz), odnosno prije jula 2022. godine (opseg 700MHz), ne mora biti prepreka za uvođenje 5G mreža u Crnoj Gori do kraja 2022. godine, uz uslov da se dodjela radio-frekvencija iz ovih opsega blagovremeno sprovede. Sa druge strane, pravovremena dodjela slobodnih resursa u opsezima 2100MHz i 2600MHz, operatorima bi dala veću mogućnost uvođenja 5G mreža u postojećim opsezima na bazi DSS tehnike.

Sa regulatornog aspekta, mobilni operatori u odgovorima na Upitnik su ukazali na pitanje trajanja dodjele radio-frekvencija za 5G mreže, kao i na pitanje iznosa i dinamike plaćanja aukcijske naknade. Naime, Zakonom o elektronskim komunikacijama je period važenja odobrenja za korišćenje radio-frekvencija na ekskluzivnoj osnovi za realizaciju javne elektronske komunikacione mreže ograničen na 15 godina. Sa druge strane, EU Zakonik o elektronskim komunikacijama, s obzirom na obim neophodnih ulaganja u razvoj mreže i relativno dug period povrata investicije, promoviše obezbjeđivanje regulatorne predvidivosti u smislu prava korišćenja RF spektra od najmanje 20 godina. Ovo pitanje, kao i eventualno visoke početne naknade za korišćenje spektra iz pionirskih 5G opsega i onemogućavanje plaćanja aukcijske naknade u ratama tokom trajanja odobrenja, uz visoko postavljene zahtjeve u pogledu pokrivanja, moglo bi smanjiti portažnju za spektrom i demotivisati operatore da ulažu u razvoj 5G mreža. Stoga se i po ovom pitanju nameće potreba usaglašavanja zakonskog okvira u Crnoj Gori sa Evropskim zakonikom o elektronskim komunikacijama prije dodjele radio-frekvencija iz pionirskih 5G opsega.

8.3. Izazovi u pogledu numeracije i adresa

Jedna od glavnih prednosti 5G tehnologije je sposobnost povezivanja izuzetno velikog broja uređaja u cilju omogućavanja masivnih komunikacija mašinskog tipa (mMTC), uključujući i IoT komunikacije. Razvojem 5G mreža broj IoT povezanih uređaja širom svijeta dramatično će porasti. Potreba da se IoT uređaji identifikuju u mreži, kao što je to slučaj sa korisničkim uređajima za prenos govora i podataka, mogla bi dovesti do sve većih zahtjeva, kako na polju numeracije (u prvom redu za E.164 i E.212 numeracijom), tako i na polju IP adresiranja.

IoT usluge koje su implementirane u postojećim mobilnim mrežama koriste E.164 numeraciju, [131]. Stoga, ima smisla proširiti upotrebu trenutne E.164 numeracije za ove primjene kako bi se izbjeglo usložnjavanje i

troškovi povezani sa uvođenjem i održavanjem različitih šema numerisanja na paralelnim mrežnim arhitekturama. Bez obzira na povećanu upotrebu IPv6 i mogući razvoj novih standarda, očekuje se da će korišćenje E.164 numeričkih resursa za IoT/M2M komunikacije biti neophodno i u doglednoj budućnosti.

Prepoznajući potrebu za numeričkim resursima za M2M komunikacije, CEPT je još 2011. godine donio Preporuku ECC/ERC/(11)03 kojom se, između ostalog predviđa da nacionalna regulatorna tijela, u saradnji sa učesnicima na tržištu, uspostave rješenja za numeraciju za M2M aplikacije kao dijela nacionalnog plana numeracije, te da se kao dugoročno rješenje za M2M aplikacije koriste IPv6 adrese ili brojevi/adrese, osim E.164 numeracije, s tim da se prelaskom na nove adresne/numeričke resurse ne sprječava razvoj tržišta ili konkurencija, [132].

Međutim, mnogi zahtjevi povezani sa upotrebom E.164 numeracije (tradicionalna telefonska numeracija) nijesu prikladni za veliku većinu IoT usluga. Na primjer, za povezano pametno električno brojilo zahtjevi kao što je dostupnost sa bilo kog uređaja na bilo kojoj drugoj mreži, integracija u javne nacionalne planove numeracije sa povezanim pravilima transparentnosti cijena, mogućnost prenosivosti broja, mogućnost pozivanja hitnih službi, pravila za identifikaciju poziva (koji su obavezni u slučaju tradicionalnog korisnika usluga), nijesu ni potrebni ni relevantni. Stoga se GSMA zalaže da, prilikom dodjele numeracije za IoT aplikacije, regulatori definišu zahtjeve u skladu sa prirodom usluge koja se nudi, nezavisno od izabranog opsega brojeva.

Sa druge strane, razvojem 5G mreža može se očekivati da vertikalni industrijski sektori i posrednički operatori pokažu interes da svojim kupcima pruže sopstvene SIM (*Subscriber Identity Module*) kartice, što može dovesti do povećane potražnje za kodovima mobilne mreže (MNC - *Mobile Network Code*). Mogućnost dodjele numeričkih resursa preduzećima koja nijesu operatori elektronskih komunikacionih mreža ili usluga je definisana EU Zakonikom o elektronskim komunikacijama. BEREC je u martu 2020. godine objavio Smjernice o kriterijumima za procjenu sposobnosti upravljanja numeričkim resursima preduzeća koja nijesu operatori, [133]. Nadalje, s obzirom na očekivanja da će se uređaji koristiti i u inostranstvu, još jedan potencijalni izazov se odnosi na pitanje eksteritorijalne upotrebe dodijeljenog geografskog MNC, što bi moglo podstaći upotrebu globalnih mobilnih kodova države (MCC - *Mobile Country Code*).

Postoji konsenzus između različitih zainteresovanih strana da sa očekivanim brzim razvojem 5G mrežne infrastrukture, kao i ostalih tehnoloških pokretača kao što su IoT, mobilni Internet, *cloud computing*, softverski definisano umrežavanje (SDN), virtuelizacija, „pametni" servisi, potražnja za Internetom više nije ograničena na privremenu IP adresu, već se proteže na međusobnu *end-to-end* povezanost i trajno stabilnu IP adresu. Pored toga, javljaju se i veći zahtjevi u pogledu bezbjednosti, upravljanja, održavanja i funkcionisanja Interneta sljedeće generacije. Jedan od glavnih izazova

povezanih sa prethodno navedenim odnosi se na pitanje prelaska sa IPv4 na IPv6 u punom obimu.

Prelazak na IPv6 nije neophodan samo sa aspekta obezbjeđivanja adresnog prostora, za očekiveno veliki broj povezanih uređaja u 5G mrežama, već i zbog niza pogodnosti koje IPv6 pruža, kao što je podrška za sigurnije višeslojno umrežavanje i skalabilnost koje zahtijeva IoT, uz otklanjanje poznatih problema koji se vezuju za IPv4. Međutim, s obzirom na činjenicu da je mali broj aplikacija i usluga dostupan samo u IPv6, pretpostavlja se da će trebati dosta vremena za potpunu migraciju sa IPv4 na IPv6. Stoga se očekuje da će IPv4 i IPv6 koegzistirati određeno vrijeme.

Trenutno se može identifikovati nekoliko IPv6 tranzicionih strategija koje mogu primijeniti mobilni mrežni operatori koji implementiraju 5G tehnologiju, [134]:

- Samo IPv4 scenario, u kome mobilni operator odlaže uvođenje IPv6 za kasniji period i ostavlja potpuno IPv4 mrežu. Dugoročno se očekuje da će ova strategija tranzicije dovesti do problema i povećanih troškova za operatora. Zbog povećanja obima saobraćaja, povećaće se potražnja za IP adresama i korišćenjem tehnike CG-NAT (*Carrier Grade Network Address Translation*). Konkretno, kompletan saobraćaj ka/sa Interneta moraće da prođe CG-NAT, što vodi rastu potražnje za propusnim opsegom i potrebi za povećanjem CG-NAT kapaciteta, a samim tim i do većih troškova.
- Koegzistencija IPv4 i IPv6, koja podrazumijeva uvođenje IPv6 u mrežu pored IPv4 i zahtijeva upotrebu *dual-stack*-a. Za mrežnog operatora ovaj pristup je manje poželjna opcija jer su *dual-stack* mreže složenije za razvoj, funkcionisanje i upravljanje. Pored toga, ova opcija zahtijeva rješenja za upravljanje adresama za IPv4 i IPv6.
- Samo IPv6 scenario, u kome mobilni operator uvodi IPv6 u mrežu i potpuno uklanja IPv4. Takav pristup može imati određene koristi, jer su IPv6 mreže jednostavnije za razvoj, funkcionisanje i upravljanje. Ova opcija nema uticaja na naplatu i *roaming*, jer je potreban samo jedan nosač sa jednim *stack*-om. Međutim, problem ovog pristupa je taj što mnogi korisnički uređaju (UE), *web* lokacije i aplikacije i dalje rade samo na IPv4. U takvim uslovima prelazak na čisto IPv6 mrežu može dovesti do lošijeg kvaliteta usluga za korisnike, što bi uzrokovalo njihovo nezadovoljstvo.
- Samo poboljšani IPv6+NAT64, u kome mobilni operator pored toga što nudi samo IPv6, takođe nudi i IPv4 kao uslugu preko IPv6 za aplikacije zasnovane na DNS-u. DNS64 (*Domain Name System 64*) ugrađuje IPv4 Internet odredišta u IPv6 adrese. Mobilni operator koristi sve prednosti strategije zasnovane samo na IPv6. Međutim, u ovom scenariju ne-DNS aplikacije nijesu podržane i biće prekinute, što bi moglo rezultirati nižim kvalitetom usluge za korisnike.
- Samo poboljšani IPv6+464KSLAT, koristeći prednosti koje pruža scenario „Samo poboljšani IPv6+NAT64" i istovremeno rješava nedostatak povezan sa podrškom ne-DNS aplikacija. Konkretno, za IPv4 ne-DNS aplikacije, IPv4 paketi se prevode u IPv6 pakete od strane

UE, a zatim se prevode nazad u IPv4 pakete pomoću centralnog CG-NAT64, koji je postavljen iza PGW-a (*PDN Gateway*).

Detaljni scenariji opcija prelaska na IPv6 u Crnoj Gori su dati u dokumentu "Plan migracije na protokol IPv6 u Crnoj Gori", [135].

Postojećim Planom numeracije u Crnoj Gori nijesu opredijeljeni numerički resursi za M2M/IoT komunikacije, pa operatori i krajnji korisnici za oko 48000 priključenih M2M uređaja na kraju 2020. godine koriste brojeve opredijeljene za korisnike mobilnih usluga sa pristupnim NDC kodom iz opsega 6x. Ovo pitanje nije od velikog značaja za samo uvođenje 5G mobilnih mreža, ali kako se bude povećavao broj M2M/IoT povezanih uređaja biće neophodno riješiti pitanje numeracije (opredjeljiavnje blokova brojeva i njima pridruženih zahtjeva) za ove primjene, u skladu sa odgovarajućim BEREC smjernicama, CEPT preporukama i najboljoj uporednoj praksi.

Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost je u decembru 2020. godine, shodno BEREC smjernicama, pokrenula postupak javnih konsultacija u vezi uvođenja numeričkih opsega za potrebe M2M komunikacija. Na osnovu sprovedene analize utvrđen je predlog opsega numeracije za potrebe M2M komunikacija u Crnoj Gori (negeografski brojevi za mobilnu mrežu sa pristupnim NDC kodom iz opsega 7x, uz dužinu nacionalnog broja od 9 ili 10 cifara), uz predviđeni rok implementacije do 31.12.2023. godine. Rezultat javnih konsultacija treba da dovede do rješenja koja su usaglašena sa potrebama tržišta i koja će biti implementirana u nacionalni plan numeracije.

Sa aspekta adresnih resursa, prelazak na IPv6 se nameće kao važan preduslov razvoju mMTC usluga. Ni ovo pitanje ne može značajnije uticati na uvođenje 5G mreža, ali ako se ne obezbijedi blagovremena tranzicija na IPv6 može doći do usporavanja razvoja 5G servisa u punom kapacitetu.

8.4. Pristup postojećoj i izgradnja nove infrastrukture

Implementacija 5G mobilnih mreža podrazumijeva postavljanje nove infrastrukture i mrežne opreme u znatno većem obimu nego što je to bio slučaj prilikom implementacije LTE mreža. Prema nekim procjenama, u okviru 5G mobilnih mreža neophodno je izgraditi čak tri puta više baznih stanica nego u 4G sistemima. To praktično znači da u periodu od svega nekoliko godina mobilni operatori treba da izgrade dva puta više novih baznih stanica nego što je ukupno izgrađeno za prethodnih više od 20 godina. Ako se želi omogućiti uspješna implementacija 5G mobilnih mreža, kao tehnološke platforme za razvoj privrede i društva u cjelini, moraju se obezbijediti uslovi za brz i efikasan razvoj odgovarajuće telekomunikacione infrastrukture. Ovo se odnosi, kako na postavljanje guste mreže 5G radio baznih stanica, tako i na dovođenje optičkih prenosnih kapaciteta do lokacija tih baznih stanica.

U pogledu razvoja 5G infrastrukture od presudnog značaja je izgradnja radio baznih stanica na novim lokacijama, a posebno izazovi u implementaciji malih ćelija velike gustine u urbanim sredinama koje predstavljaju osnov za realizaciju elektronskih komunikacionih mreža ekstremno velike brzine. S tim u vezi, nameće se i pitanje regulisanja zajedničkog korišćenja telekomunikacione infrastrukture.

8.4.1. Izgradnja radio baznih stanica na novim lokacijama

U odgovorima na Upitnik mobilni operatori su ukazali na brojne izazove u pogledu izgradnje radio baznih stanica na novim lokacijama. Izazovi se tiču neadekvatnog tretmana elemenata elektronskih komunikacionih mreža prilikom urbanističkog planiranja, komplikovanih i dugotrajnih procedura obezbjeđivanja pristupa zemljištu koje je u vlasništvu države ili lokalnih samouprava, neregulisanog pristupa fizičkoj infrastrukturi koja može poslužiti za postavljanje elemenata mreže a u vlasništvu je javnih preduzeća, te neujednačenih i neefikasnih procedura odobravanja izgradnje. Sve ovo dovodi do toga da procedura akvizicije i dobijanja odgovarajućih dozvola za izgradnju infrastrukture i postavljanje opreme nerijetko traje i duže od jedne godine.

Budući da je, za odobravanje izgradnje telekomunikacione infrastrukture u cilju implementacije radio bazne stanice na novoj lokaciji, neophodno njeno navođenje u detaljnom urbanističkom planu, te da se takvi planovi donose sa periodom važenja od više godina, operatori su često primorani da odlažu izgradnju infrastrukture ako ona nije obuhvaćena urbanističkim planom. Sa druge strane, odobravanje izgradnje telekomunikacione infrastrukture za implementaciju radio bazne stanice podliježe opštoj proceduri koja važi za izgradnju bilo kog građevinskog ili drugog objekta. Dodatan problem, prema navodima mobilnih operatora, predstavlja neujednačena primjena i efikasnost u sprovođenju propisa od strane administracije na lokalnom nivou, koja se drastično razlikuje od opštine do opštine. Nadalje, komplikovana i dugotrajna procedura za obezbjeđivanje korišćenja zemljišta u državnom ili opštinskom vlasništvu predstavlja još jednu prepreku koja u veilikoj mjeri usporava dalji razvoj navedene infrastrukture, a posebno infrastrukture za potrebe mobilnih komunikacionih mreža.

Kako je prethodno već navedeno, u Crnoj Gori još uvijek nije u nacionalno zakonodavstvo inkorporirana Direktiva 2014/61/EU o mjerama za smanjenje troškova postavljanja elektronskih komunikacionih mreža velike brzine, kojom se definiše set mjera i aktivnosti u cilju smanjenja administrativnog opterećenja i olakšavanja pristupa fizičkoj infrastrukturi netelekomunikacionih operatora (komunalnih, vodovodnih, elektroenergetskih i slično), radi smanjenja troškova postavljanja elemenata telekomunikacionih mreža. Iako je Direktiva prvenstveno donešena kao podrška ubrzanom razvoju optičkih pristupnih mreža, generalna rješenja koja ona uvodi su od velikog značaja i za implementaciju 5G mobilnih mreža.

Memorandumom o razumijevanju o 5G planu za digitalnu transformaciju regiona Zapadnog Balkana, koji je detaljno opisan u Glavi 4 ove Studije, Crna Gora, kao jedna od država potpisnica, se obavezala da će podržati širenje gigabitnih mreža omogućavanjem brzog i troškovno orijentisanog pristupa objektima i drugim prenosnim kapacitetima koji su u vlasništvu države ili lokalnih samouprava, te da će učiniti napore da se pojednostave procedure izdavanja dozvola za izgradnju telekomunikacione infrastrukture, uz uzimanje u obzir davanja državne pomoći za brzi razvoj širokopojasnih mreža u područjima gdje za to ne postoji komercijalni interes mobilnih operatora, shodno EU Smjernicama za primjenu pravila državne pomoći.

8.4.2. Implementacija malih ćelija

Kako je već naglašeno, razvoj 5G mreža će uslovljavati implementaciju malih ćelija velike gustine u opsezima milimetarskih talasa (u početku samo u opsegu 26GHz, a kasnije i u opsezima 40GHz i 66GHz) radi ostvarivanja zahtjevanog kapaciteta u urbanim sredinama. Očekuje se da male ćelije budu implementirane za spoljašnje, ali i za unutrašnje pokrivanje. To je i razlog što pristup lokacijama za postavljanje malih ćelija postaje značajno pitanje, s obzirom da će osim instalacije radio opreme (kabineta, udaljenih radio jedinica i antena), biti potrebni optički privod i obezbjeđenje adekvatnog priključka na elektroenergetsku mrežu. Osim izazova u vezi sa dogovaranjem korišćenja prostora unutar objekata ili na otvorenom, za postavljanje ovog tipa baznih stanica, značajno je i pitanje administrativnih procedura za odobravanje njihove instalacije.

EU Zakonik o elektronskim komunikacijama u članu 57 tretira pitanje postavljanja i rada bežičnih pristupnih tačaka kratkog dometa, sa ciljem značajnog smanjenja administrativnih prepreka za njihovo instaliranje. Suština ovog normativnog rješenja je da male ćelije, tj. bežične pristupne tačke sa malom servisnom zonom (SAWAP - *Small-Area Wireless Access Point*), treba da budu izuzete od obaveze pribavljnja bilo koje vrste pojedinačnih urbanističkih, građevinskih i drugih dozvola, osim onih koje se tiču javne bezbjednosti, zaštite životne sredine i očuvanja istorijske i kulturne baštine.

Evropska komisija je u junu 2020. godine donijela izvršni regulatorni akt kojim se propisuje set fizičkih i tehničkih karakteristika, kao što su maksimalna veličina, težina i, prema potrebi, snaga emisije po frekvencijskom opsegu, u cilju jasne diferencijacije na koje bežične pristupne tačke može biti primijenjen navedeni regulatorni pristup.

Navedenim članom EECC je propisano da operatori imaju pravo pristupa svakoj javnoj fizičkoj infrastrukturi na državnom i lokalnom nivou, koja je tehnički prikladna za ugradnju bežične pristupne tačke kratkog dometa ili koja je potrebna za povezivanje takvih pristupnih tačaka s jezgrom mreže. Ta infrastruktura uključuje ulični inventar kao što su stubovi ulične rasvjete, saobraćajni znaci, semafori, reklamni panoi, autobuska i tramvajska stajališta, stanice podzemne željeznice. Nadležni organi na državnom i

lokalnom nivou se ohrabruju da udovolje svim razumnim zahtjevima za pristup pod poštenim, razumnim, transparentnim i nediskriminatornim uslovima poslovanja, koji se objavljuju u jedinstvenoj informacionoj tački, u skladu sa Direktivom 2014/61/EU. Ne dovodeći u pitanje nijedan komercijalni sporazum, postavljanje bežičnih pristupnih tačaka kratkog dometa ne podliježe nikakvim naknadama ili taksama osim opštih administrativnih taksi.

Postojeća regulativa u Crnoj Gori, kako iz oblasti planiranja prostora i izgradnje objekata, tako i iz oblasti elektronskih komunikacija, posebno ne reguliše pitanje administrativnih procedura za postavljanje malih ćelija. Kao i ostali elementi telekomunikacione infrastrukture, prema trenutno važećem regulatornom okviru u Crnoj Gori, i male ćelije podliježu generalnoj administrativnoj proceduri koja važi za izgradnju svih vrsta objekata. Ovo može predstavljati značajnu barijeru za razvoj 5G mobilnih mreža u kasnijim fazama implementacije, pa se nameće potreba usaglašavanja nacionalne regulative sa odgovarajućom EU regulativom i po ovom pitanju.

8.4.3. Zajedničko korišćenje telekomunikacione infrastrukture

Za efikasnu implementaciju 5G mobilnih mreža od velikog značaja je i pitanje dijeljenja, tj. zajedničkog korišćenja telekomunikacione infrastrukture. Ovim pitanjem se detaljno bavio BEREC u dokumentu „BEREC-ova zajednička pozicija o dijeljenju mobilne infrastrukture", koji je objavljen u junu 2019. godine, [136]. Zajedničko korišćenje infrastrukture u mobilnim mrežama obuhvata nekoliko segmenta. BEREC identifikuje zajedničko korišćenje pasivne (npr. stubovi, tornjevi, zgrade, kablovska kanalizacija, optička vlakna unutar datog kabla sa optičkim vlaknima) i aktivne infrastrukture (antene, mrežna oprema, *backhaul/fronthaul* veze), kao i druge vidove dijeljenja mrežnih resursa putem virtuelizacije (SDN/ NFV) i mrežne segmentacije.

Prema BEREC definiciji, pasivno dijeljenje je zajednička upotreba od strane dva ili više operatora pasivnih elemenata njihovih mreža. Pasivni elementi mreže su oni elementi koji nijesu u stanju da obrađuju ili konvertuju telekomunikacione signale na bilo koji način i koji nijesu integrisani djelovi sistema posebno opredijeljeni za prenos signala. Pasivni elementi se ponekad nazivaju „komponentama bez napajanja", jer ti elementi obično ne zahtijevaju napajanje, mada u tom smislu postoje izuzeci, kao što je npr. sistem za klimatizaciju, koji se smatra pasivnim elementom iako zahtijeva spoljašnje napajanje. Pasivno dijeljenje može da obuhvati i zajedničko korišćenje pasivnih elemenata *backhaul*-a.

Kolokacija je oblik zajedničkog korišćenja u kome operatori dijele istu lokaciju (kao što je prostor, zemljište, krovovi zgrada i slično) za izgradnju baznih stanica. Suštinski, kolokacija je ograničena na zajednički pristup lokaciji, a može uključivati i korišćenje stubova i drugih montažnih/potpornih konstrukcija ili kabineta sa pripadajućim instalacijama (poput klima uređaja, sistema napajanja i slično).

Zajedničko korišćenje lokacije je oblik kolokacije gdje se dva ili više operatora dogovore da rasporede svoje stubove ili druge potporne konstrukcije na istoj lokaciji. U ovakvom scenariju svaki operator obično obezbjeđuje sopstveni stub, *backhaul*, kabinet i aktivnu opremu.

Zajedničko korišćenje stubova predstavlja oblik kolokacije gdje se dva ili više operatora dogovore da koriste isti stub ili drugu noseću konstrukciju za montažu antenskih sistema. U ovom slučaju, svaki operator obezbjeđuje sopstveni prenos, kabinet i aktivnu opremu.

Aktivno djeljenje je zajedničko korišćenje od strane dva ili više operatora aktivnih elemenata njihovih mreža. Aktivni elementi su oni elementi koji su u stanju da generišu, obrađuju, pojačavaju i kontrolišu signale. Primjeri aktivnih elemenata su veoma raznovrsni i uključuju mnoštvo različitih vrsta elektronske opreme (hardver i softver) koja obavlja različite funkcije (predajnici, prijemnici, pojačavači, dekoderi, itd). Iako su antene tradicionalno klasifikovane kao pasivni elementi, tehnološki napredak doveo je do razvoja i implementacije aktivnih antenskih sistema (AAS), koji se smatraju ključnom karakteristikom 5G mreža. Takve antene (ili antenski sistemi) takođe se smatraju aktivnom infrastrukturom, budući da su opremljene aktivnim radio elementima, kao što su pojačavači i elementi za obradu signala. Štaviše, 5G, uključujući tehnologiju virtuelizacije, može omogućiti nove oblike zajedničkog korišćenja mreže, posebno za kreiranje zajedničkih mrežnih segmenata prilagođenih određenim uslugama.

Zajedničko korišćenje radio pristupne mreže (RAN) je oblik aktivnog dijeljenja gdje se dva ili više operatora saglase da koriste istu opremu pristupne mreže, uključujući aktivnu opremu baznih stanica i/ili pripadajućih antena. Svaki operator koristi sopstveno jezgro mreže. Ova vrsta aktivnog zajedničkog korišćenja se obično može podijeliti na dva tipa, u zavisnosti od toga da li operatori dijele isti spektar ili ne. Prvi tip je zajedničko korišćenje radio pristupne mreže između više operatora (MORAN) u kome se dijeli samo oprema (ne i RF spektar). Krajnji korisnici svakog operatora pristupaju uslugama svog operatora na njegovim frekvencijama. Drugi tip je zajedničko korišćenje radio pristupne mreže u kome se dijele svi elementi radio pristupne mreže, uključujući i RF spektar. Krajnji korisnici svakog operatora mogu pristupiti uslugama svog operatora putem svih frekvencija koje se dijele u pristupnoj mreži. Frekvencije može da obezbijedi jedan ili više operatora koji su dio dogovora o zajedničkom korišćenju.

Nacionalni/lokalni *roaming* je oblik aktivnog zajedničkog korišćenja u kome jedan operator koristi mobilnu uslugu drugog operatora u istoj zemlji u svrhu pružanja usluga svojim krajnjim korisnicima.

Od ostalih tipova zajedničkog korišćenja infrastrukture mobilnih mreža, BEREC navodi zajedničko korišćenje jezgra mreže i zajedničko korišćenje prenosne mreže. Zajedničko korišćenje jezgra mreže (MOCN) je oblik dijeljenja gdje se operatori saglase da zajednički koriste elemente svojih

mrežnih jezgara, bilo samo tog segmenta, bilo kao dodatak dijeljenju elemenata svojih pristupnih mreža. Zajedničko korišćenje jezgra mreže može biti ograničeno na resurse za prenos podataka koji povezuju komponente jezgra mreže, a može se proširiti i na same komponente (kao što su MSC, *billing* sistem i usluge sa dodatom vrijednošću (VAS)).

Zajedničko korišćenje prenosne mreže (*backhaul*) je oblik zajedničkog korišćenja u kojem jedan ili više operatora dijele *backhaul* elemente. To je oblik pasivnog dijeljenja kada su dijeljeni elementi pasivni (npr. kablovska kanalizacija ili antenski stubovi za RR veze), ili aktivnog dijeljenja kada se zajednički koriste mrežne komponente za prenos podataka.

Pitanje zajedničkog korišćenja mrežne infrastrukture, u svim svojim varijetetima, nije značajno samo sa aspekta razvoja mreža, već i sa aspekta obezbjeđivanja efektivne upotrebe radio-frekvencijskog spektra pri njegovoj dodjeli, zatim sa aspekta zaštite konkurencije, ali i sa aspekta zaštite životne sredine i vizuelne zaštite prostora. Stoga se pri kreiranju uslova za uvođenje 5G mobilnih komunikacionih mreža ovom pitanju mora posvetiti posebna pažnja od strane regulatora, nadležnih državnih organa i operatora.

Zajedničko korišćenje telekomunikacione infrastrukture i povezane opreme u Crnoj Gori uređeno je Zakonom o elektronskim komunikacijama, Pravilnikom o zajedničkom korišćenju elektronske komunikacione infrastrukture i povezane opreme i Pravilnikom o vrsti, načinu dostavljanja i objavljivanja podataka o elektronskoj komunikacionoj infrastrukturi i povezanoj opremi koja može biti od interesa za zajedničko korišćenje. Operatori imaju obavezu dogovaranja zajedničkog korišćenja telekomunikacione infrastrukture i povezane opreme, ako je takvo korišćenje tehnički izvodljivo i ne izaziva smetnje u korišćenju te infrastrukture i povezane opreme. Međusobna prava i obaveze operatora u zajedničkom korišćenju telekomunikacione infrastrukture i povezane opreme uređuju se ugovorom, a eventualne sporove po ovom pitanju rješava Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost, koja propisuje bliže uslove i način zajedničkog korišćenja elektronske komunikacione infrastrukture i povezane opreme, kao i mjere za povećanje raspoloživosti slobodnih kapaciteta u toj infrastrukturi.

Postojeći regulatorni okvir u Crnoj Gori stimuliše zajedničko korišćenje telekomunikacione infrastrukture, što je rezultiralo značajnim obimom zajedničkog korišćenja, prije svega pasivne infrastrukture kao što su telekomunikaciona kablovska kanalizacija, antenski stubovi i objekti/zgrade/kontejneri za smještaj elektronske komunikacione opreme.

Agencija za elektronske komunikacije i potansku djelatnost je krajem 2016. godine implementirala sistem za mapiranje telekomunikacione infrastrukture. Ovaj sistem putem *web* portala omogućava uvid u geografsku poziciju ove infrastrukture i povezane opreme koju su izgradili operatori, a namijenjen je svima koji su zainteresovani za njeno korišćenje.

Navedeni sistem omogućava efikasno planirajnje mreža i usluga, uz jednostavniju izradu planskih dokumenata. Sistem takođe omogućava i mapiranje širokopojanog pristupa internetu.

8.5. Ostali izazovi

Pored izazova koji su prethodno identifikovani i koji predstavljaju preduslov za implementaciju 5G mobilnih mreža i servisa zasnovanih na njima, potrebno je osvrnuti se i na druge izazove koji mogu usporiti ili ograničiti razvoj mobilnih mreža pete generacije, kao što su: spremnost operatora na ulaganje, struktura i odziv vertikalnih sektora i otpor javnosti zbog percepcije o eventualnim rizicima.

Kada je u pitanju implementacija 5G mreža sa stanovišta operatora, treba istaći izazov koji se ogleda u promijenjenoj ulozi operatora u poređenju sa njihovom pozicijom u mrežama prethodnih generacija. Dok su mobilni operatori u prethodnom periodu bili operatori infrastrukture pružajući usluge krajnjem individualnom korisniku, u 5G mrežama infrastruktura postaje samo osnov za razvoj savremenih rješenja na novoj platformi, kako za individualne korisnike, tako i za tzv. vertikalne industrijske sektore i javnu upravu. Ovo podrazumijeva da se operatori u cilju ostvarivanja benefita od svoje 5G infrastrukture moraju fokusirati na konkretne probleme kod privrednih subjekata, kako bi im ponudili adekvatna rješenja za koja će oni pokazati interes. To znači, da je za telekomunikacione operatore od posebne važnosti da preuzmu proaktivnu ulogu, tj. da ne budu samo provajderi 5G infrastrukture, već da aktivno učestvuju u kreiranju servisa i platformi prilagođenih svim kategorijama korisnika, što treba da dovede do generisanja najvećih direktnih prihoda od 5G digitalnih servisa/scenarija upotrebe. Očekuje se da će od ovih direktnih prihoda, preko 40% generisati AR, VR i usluge *streaming*-a igara u *cloud*-u, [61].

Kada su 5G mobilne mreže u pitanju, telekomunikacioni operatori treba da imaju na umu činjenicu da mreže pete generacije vertikalnim industrijskim sektorima omogućavaju implementaciju privatnih 5G mreža. To u nekom trenutku može postati konkurencija mobilnim mrežnim operatorima, posebno ukoliko njihov odgovor na zahtjeve ovih sektora za pružanjem visokopouzdanih servisa sa malim kašnjenjem ne bude adekvatan i ne bude praćen novim prihvatljivim cjenovnim modelima. Primjer sektora u Crnoj Gori koji u budućnosti može pokazati interes za realizacijom privatne 5G mreže jeste elektroenergetski sektor koji posjeduje respektabilnu sopstvenu optičku infrastrukturu. Pored toga, u određenim okolnostima i javni sektor na državnom i lokalnom nivou može pokazati sličan interes.

U odgovorima na Upitnik, telekomunikacioni operatori u Crnoj Gori se izjašnjavaju da imaju planove za implementaciju 5G mobilnih mreža, navodeći ograničavajuće faktore, koji su prethodno opisani. Oni se izjašnjavaju da im za početak implementacije 5G mreža treba još najmanje dvije godine, ali su zainteresovani da prije toga sprovedu testnu fazu nakon stvaranja potrebnih regulatornih preduslova.

Telekomunikacioni operatori u Crnoj Gori, ukoliko žele da pruže kvalitetne 5G servise krajnjem korisniku u raznim scenarijima primjene, će se suočiti sa potrebom ozbiljnog investiranja u infrastrukturu. To se posebno odnosi na operatore u čijim prenosnim mrežama nije dominantno zastupljen prenos po optičkim vlaknima. Zbog toga će saradnja između operatora u pogledu zajedničke izgradnje i korišćenja infrastrukture biti od presudnog značaja za smanjenje ove vrste investicija.

Kada se uzme u obzir potreba za planiranjem neuporedivo složenije pristupne mreže u poređenju sa mrežama prethodnih generacija, i kada se uzme u obzir nova uloga operatora prema potrebama vertikalnih industrijskih sektora i javne uprave, veliki izazov za operatore predstavljaće ljudski resursi. Potreba za angažovanjem visokoobrazovnog kadra koji je sposoban da implementira, razvija i održava samu mrežu, ali i da generiše savremena rješenja i platorme neophodne kranjem korisniku i vertikalnim industrijskim sektorima, biće od presudnog značaja za pozicioniranje i opstanak operatora na tržištu. Ohrabruje činjenica, da su kroz Upitnik, Mtel i Crnogorski Telekom prepoznali novu ulogu operatora i iskazali spremnost da započnu i/ili nastave razvoj savremenih ICT rješenja. Međutim, ne ohrabruje činjenica da neke značajne kompanije iz ICT sektora u Crnoj Gori nijesu uzele učešća u popunjavanju Upitnika i samim tim nijesu iskazale interes za korišćenje 5G platforme u svrhu razvoja svremenih ICT rješenja u ovom trenutku, obzirom da će vertikalnim industrijskim sektorima za prepoznavanje mogućnosti koje nude 5G mreže biti potrebna snažna podrška ICT sektora.

Pored spremnosti mrežnih operatora da investiraju sredstva u implementaciju 5G mreža, veoma je bitno i raspoloženje korisnika da mjesečno opredijele dodatna sredstva za nove servise, ili da kupe neki korisnički uređaj koji podržava 5G tehnologiju. Veliki je broj onih koji su, u finansijskom smislu, osjetili posljedice COVID-19 pandemije, pa je za razvoj 5G mreža veoma bitan oporavak privrede od posljedica pandemije, [61].

Rezultati ankete dati u [56[su pokazali da većina ispitanika smatra da je jedna od najvećih prepreka razvoju 5G industrijskih usluga nedostatak poslovnih modela. To bi moglo sugerisati da će za ostvarivanje takvih usluga trebati više vremena nego što se očekivalo, jer kompanije još uvijek ne razumiju u potpunosti koristi, troškove i rizike od implementacije industrijskih 5G aplikacija.

Kada se posmatraju izazovi u vertikalnim industrijskim sektorima, treba istaći potrebu pune sinergije između mobilnih operatora, drugih aktera, koji imaju ambiciju da postanu provajderi 5G servisa, i samih vertikalnih industrijskih sektora i javne uprave u razvijanju servisa i platformi koje će povećati njihovu efikasnost i time doprinijeti očekivanoj ekspanziji 5G mreža. Kada je Crna Gora u pitanju veliki izazov predstavlja nerazvijenost vertikalnih industrijskih sektora i neadekvatna zastupljenost savremenih ICT rješenja koja podržavaju procese u njima, kao i primjena rješenja u javnoj

upravi koja nedovoljno jasno podržavaju konkretne procese kojima su namijenjena. Ohrabruje činjenica da kompanije iz elektroenergetskog sektora prepoznaju mogućnost korišćenja scenarija primjene 5G mreža u svom poslovanju.

I pored nesumnjivo ogromnog iskoraka 5G mreža ka pružanju novih servisa različitim vertikalnim industrijskim sektorima, nikako se ne smije zaboraviti na značaj tržišta krajnjih korisnika, [61].

Poseban izazov u implementaciji 5G sistema i prihvatanju svih prednosti omogućenih novim karakteristikama komunikacionog ambijenta, može predstavljati i nepovjerenje u pogledu bezbjednosti angažovanog elektromagnetnog spektra.

Veliki dio zabrinutosti javnosti usredsređen je na dva nova elementa 5G mreža: korišćenje viših frekvencija i implementacija velikog broja malih ćelija, tj. povećanje broja baznih stanica, u korišćenje smart antenskih sistema zasnovanih na tehnikama *beamforming*-a. Činjenica je da postoje aktivističke grupe i pojedinci koji smatraju da će samo postojanje ovih novih elemenata dovesti do veće izloženosti EMF zračenju.

Generalno su implementacija i razvoj 5G mreža doveli do intenziviranja interesovanja i pojačanog građanskog aktivizma u mnogim državama. Pitanja koja su u fokusu, obuhvataju rizike od izloženosti EMF talasima, pa sve do teorija o korišćenju ovih tehnologija za kontrolu ljudskog uma i nedavne teorije zavjere vezane za ulogu 5G u aktuelnoj COVID-19 pandemiji.

Kada je Crna Gore u pitanju, treba istaći činjenicu da u prethodnom periodu nije posvećena dovoljna pažnja aktivnostima koje treba da doprinesu povećanju povjerenja javnosti u bezbjednost funkcionisanja mobilnih mreža sa stanovišta uticaja elektromagnetnih zračenja na životnu sredinu. Nadležni organi nijesu sprovodili i ne sprovode kvalitetan monitoring životne sredine u skladu sa Zakonom, kada je u pitanju uticaj elektromagnetnih emisija na životnu sredinu. Telekomunikacioni operatori se, s druge strane, nijesu trudili da mreže projektuju optimalno u odnosu na nivo elektromagnetnih emisija, pa je zbog toga veoma česta kolokacija različitih tehnologija i operatora na jednoj lokaciji u urbanoj sredini, što unaprijed stvara nepovjerenje javnosti u bezbjedno funkcionisanje ovih sistema. Zbog toga je pred operatorima i nadležnim institucijama u narednom periodu ozbiljan izazov da sistemskim pristupom, profesionalnim planiranjem mreže i gradnjom telekomunikacionih objekata, blagovremenim informisanjem i planskim i kontinuiranim monitoringom obezbjede neophodan stepen povjerenja u najširem mogućem dijelu javnosti. S tim u vezi odgovarajuće smjernice biće date u Glavi 9 ove Studije.

Jedan od efekata razvoja 5G mreža biće prenos ogromnih količina ličnih podataka ovim mrežama. *Cyber* prijetnje postaju sve sofisticiranije i neprestano se razvijaju. Zbog toga je kod značajnog dijela javnosti prisutna

zabrinutost u pogledu mehanizama za zaštitu informacija, kako o korisnicima, tako i o povezanim uređajima.

Generalno, kad je riječ o zaštiti privatnosti 5G komunikacija u obzir treba uzeti tri ključna elementa: podatke, lokaciju i identitet korisnika/uređaja. Pri tome je posebno važno sa aspekta javnog i pojedinačnog interesa onemogućavanje korišćenja ličnih podataka korisnika bez njihove saglasnosti.

Kako bi stepen povjerenja u 5G mreže i prateće servise bio na nivou koji će ići u prilog njihovoj implementaciji i prihvatanju, neophodno je opravdati očekivanje korisnika da je njihov izabrani identitet zaštićen i da se može vjerovati provajderima da će koristiti podatke samo za svrhu za koju su predviđeni. Kao i u slučaju izazova u pogledu elektromagnetnih emisija i ovdje se pitanjima sigurnosti 5G mreže mora pristupiti posebno pažljivo, i to u svim fazama primjene.

U Glavi 9 Studije biće date smjernice za otklanjanje ovdje identifikovanih barijera. Za postizanje pozitivnih rezultata u tom procesu biće neophodno obezbijediti multidisciplinarni angažman svih relevantnih subjekata u Crnoj Gori u cilju postizanja ambijenta koji će snažno podstaći razvoj 5G mobilnih mreža i inovativnih rješenja zasnovanih na 5G mrežama. Time će biti omogućeno postizanje benefita u vertikalnim indistrijskim sektorima, javnom sektoru, cjelokupna digitalizacija društva i ukupan ekonomski rast.

9. SMJERNICE ZA OTKLANJANJE OGRANIČENJA I BARIJERA

U Glavi 8 ove Studije identifikovani su i detaljno analizirani potencijalni izazovi, ograničenja i barijere, koji mogu odložiti uvođenje ili usporiti implementaciju 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori. Pokazano je da, posmatrano sa više aspekata, samo jedan dio navedenih ograničenja i/ili barijera je u nadležnosti nacionalnog regulatornog tijela u oblasti elektronskih komunikacija i nadležnog ministarstva za poslove u oblasti elektronskih komunikacija. Naime, mjere za otklanjanje najznačajnijih barijera su u nadležnosti drugih državnih organa i institucija, dok je za neke neophodno učešće mobilnih operatora, kompanija iz vertikalnih industrijskih sektora, akademske zajednice i institucija iz oblasti javnog zdravlja. S obzirom da 5G mobilne komunikacione mreže predstavljaju tehnološku platformu za sveobuhvatnu digitalnu transformaciju društva i ekonomije, za njihovo uspješno uvođenje i dalji razvoj potrebno je obezbijediti sinergijsko djelovanje relevantnih subjekata iz svih sfera društvenog i privrednog života, kako je to naglašeno i u prethodnim glavama ove Studije.

U ovoj Glavi daju se smjernice za otklanjanje identifikovanih i opisanih ograničenja i barijera za uvođenje i održivi razvoj 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori.

9.1. Smjernice koje se odnose na regulatorni okvir

Prva smjernica koja se daje u oblasti regulative jeste preporuka za usaglašavanje Zakona o elektronskim komunikacijama sa Direktivom (EU) 2018/1972 o Evropskom zakoniku o elektronskim komunikacijama (EECC). Ova aktivnost predstavlja ključni regulatorni preduslov za postizanje potpunih benefita od implementacije 5G tehnologije. Iako navedena mjera nije preduslov za uvođenje 5G mobilnih mreža, njena realizacija prije dodjele radio-frekvencija iz pionirskih 5G opsega bi dala snažan doprinos postizanju potpune efikasnosti i efektivnosti dodjele, prije svega sa aspekta predvidivosti regulatornog ambijenta i stvaranja uslova za održivo ulaganje u razvoj infrastrukture 5G mreža.

Druga smjernica se odnosi na potrebu implementacije Direktive 2014/61/EU o mjerama za smanjenje troškova postavljanja elektronskih komunikacionih mreža velikih brzina. Ova aktivnost treba da obezbijedi podsticaj ubrzanom razvoju infrastrukture fiksnih širokopojasnih mreža na koju će se dominantno osloniti *backhaul* segment 5G sistema, naročito u urbanim oblastima. Realizacija ove smjernice u što kraćem roku bi stvorila uslove za brz i efikasan razvoj 5G infrastrukture. Treba napomenuti da ova aktivnost ima širi značaj i da nije presudna samo za uvođenje 5G tehnologije.

Pošto je prethodno konstatovano da na razvoj 5G mreža ozbiljan uticaj može imati i regulatorni okvir van oblasti elektronskih komunikacija, **treća smjernica** u oblasti regulative odnosi se na neophodnost preispitivanja i pravovremenog usaglašavanja regulative u oblasti izgradnje objekata,

zaštite životne sredine, bezbjednosti mreža, zaštite podataka i slično, sa odgovarajućom EU regulativom, uz uvažavanje svih specifičnosti koje se odnose na Crnu Goru. To znači neophodnost pomnog praćenja i pravovremene implementacije EU regulative donešene na osnovu identifikovanih barijera od strane BEREC 5G Radara.

9.2. Smjernice koje se odnose na radio-frekvencijski spektar

Pravovremena dostupnost radio-frekvencija iz pionirskih 5G opsega (700MHz, 3,6GHz i 26GHz) je od krucijalnog značaja za razvoj 5G sistema. Stoga se **prva smjernica** u oblasti radio-frekvencijskog spektra odnosi na neohodnost što ranijeg (a najkasnije do 1. jula 2022. godine) obezbjeđenja nesmetanog korišćenja radio-frekvencija iz opsega 700MHz i 3,6GHz na cijeloj teritoriji Crne Gore, uz već dostupan spektar širine 1000MHz iz opsega 26GHz. Potrebno je sprovesti dodjelu radio-frekvencija za mobilne mreže iz opsega 700MHz, 3,6GHz i 26GHz (najmanje 1000MHz) najkasnije do polovine 2022. godine. Pri tome dodjela radio-frekvencija iz ovih opsega treba da se odnosi na period od najmanje 20 godina, u skladu sa EU regulativom, uz izbalansiran pristup po pitanju iznosa početne aukcijske naknade i načina njenog plaćanja, kao i zahtjeva u pogledu obima i dinamike pokrivanja signalom 5G mreže. To znači, da treba imati u vidu da naknade i zahtjevi u pogledu obima i dinamike pokrivanja ne budu nivoa koji bi obeshrabrio potencijalne učesnike u procesu dodjele radio-frekvencija.

Mnogi evropski operatori su, za uvođenje 5G mobilnih mreža, iskoristili postojeće radio-frekvencijske resurse koji su im dodijeljeni za implementaciju mobilnih mreža prethodnih generacija. Kako je zaključeno u Glavi 8 ove Studije, za implementaciju 5G mobilnih mreža u postojećim opsezima, na bazi DSS (*Dynamic Spectrum Sharing*) tehnike, mobilnim operatorima u Crnoj Gori su neophodni dodatni resursi u tim opsezima. Zbog toga se **druga smjernica** u oblasti radio-frekvencijskog spektra odnosi na predlog dodjele slobodnih radio-frekvencija iz opsega 2100MHz i 2600MHz, u zavisnosti od interesovanja operatora, čak i prije (tokom 2021. godine) dodjele radio-frekvencija iz pionirskih 5G opsega, koji nijesu raspoloživi do polovine 2022. godine.

Testiranje 5G tehnologije i predkomercijalna implementacija mreže je od velikog značaja za predstavljanje mogućnosti tehnologije potencijalnim korisnicima, kao i za sticanje iskustva od strane operatora za fazu komercijalnog pružanja usluga. Shodno tome, kao **treća smjernica** u ovoj oblasti, predlaže se odobravanje testiranja 5G tehnologije u slobodnom dijelu opsega 3,6GHz (3600-3800MHz) u oblastima gdje to testiranje neće ugroziti rad postojeće WiMAX mreže u opsegu 3400-3600MHz.

Paralelno sa navedenim, treba raditi na otklanjanju ostalih identifikovanih smetnji, u saradnji sa administracijama susjednih zemalja i sa korisnicima radio-frekvencijskih resursa u Crnoj Gori, a u cilju omogućavanja korišćenja

svih globalno harmonizoanih frekvencijskih opsega u punom kapacitetu od strane 5G sistema u Crnoj Gori.

9.3. Smjernice koje se odnose na numeraciju i adresiranje

Obezbjeđivanje adekvatnih numeričkih resursa je preduslov za razvoj bežičnih M2M/IoT komunikacija. Ovo pitanje nije od velikog značaja za samo uvođenje 5G mobilnih mreža, ali kako se bude povećavao broj M2M/IoT povezanih uređaja biće potrebno opredijeliti odgovarajuće blokove brojeva i njima pridruženih zahtjeva za ove primjene. Stoga se u pogledu numeracije kao **prva smjernica** predlaže blagovremena implementacija CEPT Preporuke ECC/ERC/(11)03 iz 2011. godine, kojom se, između ostalog, predviđa da nacionalna regulatorna tijela, u saradnji sa učesnicima na tržištu, uspostave rješenja za numeraciju za M2M aplikacije kao dijela nacionalnog plana numeracije. Pri tome se kao dugoročno rješenje za M2M aplikacije predlaže korišćenje IPv6 adresa ili brojeva/adresa, osim E.164 numeracije, s tim da se prelaskom na nove adresne/numeričke resurse ne sprječava razvoj tržišta ili konkurencija. Uz navedeno treba imati u vidu odgovarajuće BEREC smjernice i najbolje uporedne prakse. Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost je na ovom planu već preduzela odgovarajuće aktivnosti koje se ogledaju u pokretanju javnih konsultacija u vezi uvođenja numeričkih opsega za potrebe M2M komunikacija. Ovaj proces treba da rezultira izmjenom nacionalnog plana numeracije u cilju opredjeljivanja opsega numeracije za M2M komunikacije u Crnoj Gori, uz definisanje vremenskog roka za prelazak postojećih M2M uređaja na novu numeraciju.

Jedan od glavnih izazova povezanih sa implementacijom mMTC usluga u 5G mrežama odnosi se na pitanje prelaska sa IPv4 na IPv6 u punom obimu. Stoga se kao **druga smjernica** u pogledu adresiranja predlaže rad na ubrzanom prelasku na IPv6, shodno "Planu migracije na protokol IPv6 u Crnoj Gori", [135].

9.4. Smjernice koje se odnose na infrastrukturu

Kao jednu od najvećih barijera za dinamičniji razvoj elektronskih komunikacionih mreža mobilni operatori su naveli brojne izazove u izgradnji radio baznih stanica na novim lokacijama.

Prva smjernica koja se predlaže u cilju prevazilaženja izazova u pogledu odobravanja izgradnje telekomunikacione infrastrukture ogleda se u implementaciji Direktive 2014/61/EU o mjerama za smanjenje troškova izgradnje telekomunikacionih mreža velike brzine. Uz podizanje efikasnosti procedura za odobravanje izgradnje telekomunikacione infrastrukture i njihovo pojednostavljenje treba omogućiti ujednačenu primjenu propisa od strane svih lokalnih samouprava. Takođe, potrebno je definisati efikasnije procedure za pristup zemljištu za izgradnju radio baznih stanica koje su u vlasništvu države, lokalnih samouprava i javnih preduzeća, kao i fleksibilnije urediti pitanje izgradnje radio baznih stanica sa stanovišta prostornog

planiranja, što je i obaveza koja proizilazi iz potpisanog Memoranduma o razumijevanju o 5G planu za digitalnu transformaciju regiona Zapadnog Balkana.

Druga smjernica koja se predlaže u oblasti izgradnje telekomunikacione infrastrukture, odnosi se na potrebu usaglašavanja nacionalne regulative sa EU regulativom u pogledu izgradnje malih ćelija velike gustine u urbanim sredinama. Prema trenutno važećem regulatornom okviru u Crnoj Gori *small cell* bazne stanice (male ćelije) podliježu generalnoj administrativnoj proceduri koja važi za izgradnju svih vrsta objekata, što je identifikovano kao ozbiljna barijera za razvoj 5G mobilnih mreža u urbanim scenarijima korišćenja, a koji zahtijevaju veliku brzinu prenosa podataka.

Za efikasan razvoj 5G mreža veoma značajno je omogućavanje zajedničkog korišćenja telekomunikacione infrastrukture, bilo da se radi o pasivnoj infrastrukturi, bilo o aktivnoj opremi ili resursima mreže. Pitanje zajedničkog korišćenja telekomunikacione infrastrukture i povezane opreme u Crnoj Gori je u određenoj mjeri uređeno, pri čemu je u praksi evidentno dijeljenje pasivne infrastrukture. Stoga **treća smjernica** u pogledu infrastrukture ukazuje na potrebu da se pri definisanju uslova za dijeljenje aktivne infrastrukture, koje se u 5G mrežama javlja u više varijanti, uzmu u obzir i aspekti kao što su optimalno korišćenje radio-frekvencijskog spektra, zaštita konkurencije, zaštita životne sredine i zaštita sigurnosti komunikacije i korisničkih podataka.

Potreba razvoja ruralnih oblasti i njihovo ravnopravno tretiranje sa gradskim sredinama zahtijeva širokopojasni pristup Internetu, ali i druge scenarije korišćenja 5G mreža. U tom smislu **četvrta smjernica** ukazuje na potrebu stimulisanja gradnje optičke infrastrukture do značajnih čvorišta u ruralnim oblastima uz adekvatnu državnu pomoć.

9.5. Ostale smjernice

U Glavi 8 ove Studije identifikovani su i drugi izazovi, koji se između ostalog odnose i na: spremnost operatora na ulaganje, strukturu i odziv vertikalnih sektora i otpor javnosti zbog percepcije o eventualnim rizicima.

Kada je u pitanju implementacija 5G mreža sa stanovišta operatora, posebno je istaknut izazov koji se ogleda u promijenjenoj ulozi operatora u poređenju sa njihovom pozicijom u mrežama prethodnih generacija. S tim u vezi **prva smjernica** ukazuje na potrebu da se operatori na vrijeme prilagode činjenici da oni više neće biti samo operatori infrastrukture, već da u cilju ostvarivanja benefita od svoje 5G infrastrukture treba da se fokusiraju na konkretne probleme kod privrednih subjekata, kako bi im ponudili adekvatna rješenja za koja će oni prepoznati interes. Za uspješnu primjenu savremenih ICT rješenja zasnovanih na mobilnim mrežama pete generacije biće neophodna sinergija između telekomunikaionih operatora, vertikalnih industrijskih sektora i javne uprave sa jedne strane, i ICT

kompanija, akademske zajednice i *start-up* kompanija, kao potencijalno najvećih generatora inovativnih rješenja, sa druge strane.

Implementacija 5G mreža zahtijevaće izgradnju velikog broja novih baznih stanica za različite scenarije korišćenja koje će u mnogo većoj mjeri nego do sada biti povezane primjenom optičkih vlakana. S tim u vezi, **druga smjernica** koja se odnosi na telekomunikacione operatore ukazuje na potrebu njihove snažne međusobne saradnje u zajedničkom korišćenju infrastrukture po svim navedenim modelima opisanim u Glavi 8 ove Studije. Na taj način treba da se obezbijede optimalni modeli izgradnje mreža, koji podrazumijevaju što je moguće manja ulaganja, posebno u početnoj fazi implementacije.

Treća smjernica koja se odnosi na operatore ukazuje na potrebu ekipiranja kvalitetnim kadrom, koji će imati potrebna znanja i vještine, kako za implementaciju, razvoj i održavanje same mreže, tako i za kreiranje ICT rješenja zasnovanih na 5G mrežama za potrebe vertikalnih industrijskih sektora i javne uprave. Za očekivati je da operatori budu i kreatori inicijativa za unapređenje kurikuluma, posebno u visokoobrazovnim institucijama, kako bi se na vrijeme obezbijedio neophodan kadar za uspješan razvoj 5G mreža, bilo redovnim obrazovnim procesom, bilo metodama cjeloživotnog učenja.

Nerazvijenost vertikalnih industrijskih sektora i neadekvatna zastupljenost savremenih ICT rješenja koja podržavaju procese u njima, kao i primjena rješenja u javnoj upravi koja nedovoljno jasno podržavaju konkretne procese kojima su namijenjena, iniciraju **smjernicu** koja ukazuje na potrebu da se posebna pažnja posveti unapređenju spremnosti vertikalnih industrijskih sektora za preuzimanje proaktivne uloge u 5G ekosistemu. U tom cilju, potrebno je u saradnji nadležnih ministarstava i privrednih udruženja osmisliti adekvatne podsticajne mjere kako bi kompanije iz ovih sektora pomogle prihvatanju i daljem razvoju 5G tehnologije.

Snažan doprinos prihvatanju 5G mreža ostvario bi se i intenzivnijim angažmanom nadležnih državnih organa u pravcu sveobuhvatne digitalizacije javne uprave. Ova **smjernica** treba da obezbijedi transformisano funkcionisanje javne uprave sa povećanim nivom transparantnosti, uz omogućavanje pristupa informacijama u realnom vremenu, s bilo kog uređaja, bilo kad i bilo gdje, posebno kada su u pitanju hitne službe, inspekcijski organi i službe za sprovođenje zakona. Digitalna transformacija javne uprave bi predstavljala značajan katalizator razvoju 5G ekosistema na nacionalnom nivou.

Iako brojna i opsežna istraživanja u pogledu bezbjednosti angažovanog elektromagnetnog spektra, stavovi Svjetske Zdravstvene Organizacije (WHO) i Međunarodne agencije za istraživanje kancera (IARC) ne ukazuju da postoje dokazi o utvrđenim zdravstvenim efektima izloženosti u vezi sa elektromagnetnim zračenjem baznih stanica mobilnih komunikacionih sistema, neophodno je ovom pitanju posvetiti posebnu pažnju. S tim u vezi

prvom smjernicom se predlaže sprovođenje aktivnosti zasnovanih na 5G Akcionom planu Evropske komisije iz 2016. godine, kojima se iskazuje potreba implementacije guste mreže malih ćelija sa smanjenim servisnim zonama, što uz izbjegavanje kolokacije više tehnologija na jednoj urbanoj lokaciji u nižim frekvencijskim opsezima treba da dovede do smanjenja stope elektromagnetnih emisija.

Drugom smjernicom u oblasti EMF se predlaže da Agencija za zaštitu prirode i životne sredine, u saradnji sa referentnom nacionalnom laboratorijom i drugim akreditovanim laboratorijama koje su pod nadzorom nadležnog akreditacionog tijela, obezbijedi efikasan monitoring nivoa elektromagnetnih emisija, jasnim i ciljanim planovima monitoringa na mjesečnom i godišnjem nivou. Da bi se utvrdio konkretan doprinos nivou elektromagnetnih emisija od strane budućih 5G sistema, Agencija za zaštitu prirode i životne sredine treba da uradi Studiju zatečenih izvora nejonizujućih zračenja u skladu sa važećim Zakonom. Takođe, Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost, treba da definiše jasnu proceduru za autorizaciju svih tipova 5G radio baznih stanica sa aspekta uticaja elektromagnetnih emisija na životnu sredinu.

Kao odgovor na zabrinutost u pogledu bezbjednosti 5G mreža 3GPP, GSMA-a i EU su preduzele čitav niz različitih aktivnosti. Pri tome je naglašena potreba za provjerom i sertifikacijom bezbjednosti mrežne opreme, što se smatra ključnim alatom koji osigurava da rješenja ispunjavaju određene standarde *cyber* bezbjednosti. Takvu provjeru, ili sertifikaciju, treba da sprovode nezavisne laboratorije, kao što je opisano u Glavi 7 ove Studije. U tom smislu daje se **smjernica** kojom se predlaže praćenje aktivnosti na ispitivanju i sertifikaciji opreme od nezavisnih laboratorija na nivou EU i korišćenje sertifikata takvih laboratorija prilikom odobravanja implementacije opreme konkretnog proizvođača na teritoriji Crne Gore od strane nadležnih državnih organa.

Zaštita ličnih podataka je izuzetno važan segment u funkcionisanju 5G mreža. Adekvatne mjere zaštite biće ključne za sprječavanje neželjenih posljedica kao što su neovlašćeno raspolaganje podacima ili krađa, hakovanje privatnih zdravstvenih podataka ili prodaja ličnih podataka bez saglasnosti vlasnika. U cilju postizanja adekvatne zaštite ličnih podataka daje se **smjernica** nadležnim vladinim agencijama da ažuriraju propise koji regulišu oblast zaštite ličnih podataka i definišu standarde i procedure koje obezbjeđuju njihovo sprovođenje.

Na kraju, kada je u pitanju bezbjednost korišćenja 5G mreža, bilo sa stanovišta uticaja elektromagnetnih emisija, bilo sa stanovišta *cyber* bezbjednosti, daje se **smjernica** kojom se predlaže uključivanje ovog pitanja u odgovarajuću komunikacionu strategiju koja treba najširoj javnosti da obezbijedi transparentan uvid u sprovedeni monitoring nivoa elektromagnetnih emisija od strane nadležnih institucija uz učešće Instituta za javno zdravlje, informacije o sprovedenim sertifikacijama opreme korišćene za implementaciju 5G mreža, kao i informacije o ostalim

aktivnostima koje se tiču pitanja bezbjednosti, a sve u cilju sticanja maksimalnog nivoa međusobnog povjerenja između svih učesnika 5G ekosistema.

10. MAPA PUTA ZA UVOĐENJE 5G MOBILNIH KOMUNIKACIONIH MREŽA U CRNOJ GORI

Nakon što su u prethodnim glavama analizirani relevantni aspekti implementacije 5G mobilnih komunikacionih mreža, identifikovani i analizirani potencijalni izazovi i date smjernice za njihovo prevazilaženje, u ovoj glavi Studije se daje redosljed koraka, njihov opis i vremenski okvir za realizaciju, koje je, prema mišljenju autora Studije, potrebno sprovesti kako bi se omogućilo uvođenje 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori do kraja 2022. godine.

Pojedini koraci su međusobno uslovljeni, a većina se može realizovati paralelno. Za neke od njih vremenski okvir za realizaciju zavisi od dinamike implementacije i obima korišćenja odgovarajućih 5G servisa, dok drugi predstavljaju kontinuirane aktivnosti u dužem vremenskom periodu.

Prema Memorandumu o razumijevanju o 5G planu za digitalnu transformaciju regiona Zapadnog Balkana, Crna Gora, kao jedna od država potpisnica, se obavezala da do kraja 2021. godine usaglasi svoj 5G Akcioni plan sa ciljevima Memoranduma. U predlaganju sveobuhvatne mape puta za uvođenje 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori, uzeta je u obzir i ova obaveza. Takođe, u obzir je uzeta i činjenica da su aktivnosti na kompletiranju regulatornog i tehničkog okvira za korišćenje radio-frekvencija za ranu implementaciju 5G mobilnih komunikacionih mreža, donošenjem Plana namjene radio-frekvencijskog spektra od strane Vlade Crne Gore i planova raspodjele radio-frekvencija iz opsega 694-790MHz, 3400-3800MHz i 24,25-27,5GHz za MFCN sisteme, odnosno izmjenama planova raspodjele radio-frekvencija iz opsega 1920-1980/2110-2170MHz i 2500-2690MHz, od strane Agencije za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost, završene krajem 2020. godine.

Korak 1 se odnosi na usaglašavanje regulatornog okvira u oblasti elektronskih komunikacija sa EU regulativom, što podrazumijeva izmjenu postojećeg Zakona o elektronskim komunikacijama ili donošenje novog u cilju usaglašavanja sa Direktivom (EU) 2018/1972 o Evropskom zakoniku o elektronskim komunikacijama (EECC). Posebno je važno prije pokretanja postupka dodjele radio-frekvencija iz pionirskih 5G opsega stvoriti uslove za dodjelu sa periodom važenja od najmanje 20 godina, kao i za plaćanje aukcijske naknade u ratama, što prema sadašnjem zakonskom rješenju nije moguće. Ove aktivnosti treba započeti bez odlaganja i završiti ih do kraja 2021. godine.

Korak 2 se odnosi na obezbjeđivanje nesmetanog korišćenja radio-frekvencija iz pionirskih 5G opsega za implementaciju 5G mobilnih mreža na čitavoj teritoriji Crne Gore. Ovaj korak podrazumijeva oslobađanje opsega 3400-3600MHz od postojećih WiMAX sistema i rješavanje interferencije u opsegu 700MHz od DTV sistema iz susjednih država Albanije i Italije. Ove aktivnosti treba sprovesti do prvog jula 2022. godine.

Korak 3 predstavlja realizaciju pilot projekata u cilju omogućavanja testiranja 5G tehnologije. U pitanju su aktivnosti koje zahtijevaju koordinaciju sa mobilnim operatorima o scenarijima testiranja, lokaciji testnih aktivnosti i tehničkim zahtjevima. Za implementaciju 5G pilot projekata mogu se koristiti radio-frekvencije iz opsega 3600-3800MHz u oblastima u kojima se ne ugrožava rad postojećeg WiMAX sistema u opsegu 3400-3600MHz. Realizaciju ovih aktivnosti treba otpočeti što prije, a najkasnije do početka 2022. godine. Trajanje testnih aktivnosti treba ograničiti do dodjele radio-frekvencija iz opsega 3400-3800MHz za 5G mobilne mreže.

Korak 4 se odnosi na dodjelu radio-frekvencija za ranu implementaciju 5G mobilnih komunikacionih mreža. Dodjelu radio-frekvencija iz pionirskih 5G opsega (700MHz, 3,6GHz i najmanje 1000MHz iz opsega 26GHz), pod uslovom da je izvjesna realizacija Koraka 2 u planiranom roku, treba sprovesti najkasnije do polovine 2022. godine. Sa druge strane, u zavisnosti od zainteresovanosti mobilnih operatora, dodjelu slobodnih radio-frekvencija iz opsega 2100MHz i 2600MHz treba sprovesti najkasnije do kraja 2021. godine, kako bi se operatorima dala mogućnost implementacije 5G tehnologije u postojećim opsezima na bazi DSS (*Dynamic Spectrum Sharing*) tehnike, što je pristup koji su primijenili mnogi evropski operatori.

Korak 5 je usmjeren na otklanjanje barijera na planu izgradnje telekomunikacione infrastrukture i postavljanja elemenata širokopojasnih mreža. Implementacija Direktive 2014/61/EU o mjerama za smanjenje troškova postavljanja elektronskih komunikacionih mreža velikih brzina u nacionalno zakonodavstvo, uz pojednostavljivanje i podizanje efikasnosti sprovođenja procedura za odobravanje izgradnje telekomunikacione infrastrukture, kao i ujednačavanje primjene propisa od strane svih lokalnih samouprava, te definisanje efikasnije procedure za pristup zemljištu koje je u vlasništvu države i lokalnih samouprava za izgradnju radio baznih stanica i fleksibilnije uređenje pitanja izgradnje radio baznih stanica sa stanovišta prostornog planiranja, predstavljaju ključne aktivnosti koje treba sprovesti u ovom koraku. S obzirom da ovaj korak zahtijeva angažovanje više državnih organa i institucija, predlaže se da se njegovom realizacijom koordinira sa nivoa Vlade Crne Gore. Vremenski okvir za sprovođenje svih aktivnosti u okviru ovog koraka je treći kvartal 2022. godine.

Korak 6 se odnosi na podizanje svijesti o prednostima i komunikaciju o rizicima od uvođenja 5G mobilnih komunikacionih mreža. Ovaj korak treba da obuhvati tri vrste aktivnosti. Prva aktivnost treba da se odvija paralelno sa svim prethodno navedenim koracima i odnosi se na promociju 5G tehnologije i prednosti koje ona pruža. Ciljne grupe su vertikalni industrijski sektori, javna uprava, ali i krajnji korisnici 5G mreže. U okviru druge aktivnosti, potrebno je putem posebnih radionica i/ili okruglih stolova okupiti predstavnike mobilnih operatora, ICT kompanija, akademske zajednice, javne uprave i zainteresovanih subjekata iz vertikalnih industrijskih sektora, kako bi se razmotrile mogućnosti zajedničkog djelovanja u cilju što efikasnijeg korišćenja mogućnosti koje nova

tehnologija pruža za ukupni privredni rast u Crnoj Gori. Izuzetno je važno na adekvatan način odgovoriti na identifikovane zabrinutosti javnosti koje se odnose na pitanja uticaja elektromagnetnih emisija na životnu sredinu i na bezbjednost 5G mreža, što predstavlja treću aktivnost. U tom smislu potrebno je organizovati odgovarajuće okrugle stolove, predavanja, seminare i slično, sa ciljem da se široj javnosti predstave sva dostupna naučna saznanja i mjerljivi rezultati do kojih su došle relevantne institucije koje se bave ovim izazovima. Aktivnosti u okviru Koraka 6 podrazumjevaju snažno uključivanje medija, kako na promociji 5G tehnologija, tako i na sticanju povjerenja šire javnosti u sigurnost njihove implementacije. Navedene aktivnosti treba da budu dio odgovarajuće komunikacione strategije prema javnosti.

Korak 7 je usmjeren ka bezbjednosti mreže i podrazumijeva kontinuirano praćenje ENISA pregleda prijetnji za svaku potencijalnu implementaciju koja može imati određeni bezbjednosni rizik. Dodatno, potrebno je izvršiti procjenu rizika, kao i ažurirati postojeće mjere zaštite na nacionalnom nivou. Na taj način će se stvoriti uslovi da se, u saradnji sa međunarodnim partnerima, napravi koordinisana procjena rizika i pripreme adekvatne mjere za njihovo ublažavanje.

Korak 8 se odnosi na potrebu obezbjeđenja kvalitetnog kadra, koji će imati potrebna znanja i vještine, kako za implementaciju, razvoj i održavanje same mreže, tako i za kreiranje ICT rješenja zasnovanih na 5G mrežama za potrebe vertikalnih industrijskih sektora i javne uprave. U tom smislu potrebno je ostvariti koordinaciju sa Univerzitetom Crne Gore u pogledu unapređenja kurikuluma, kako bi se obezbijedio neophodan kadar za uspješan razvoj 5G mreža, bilo redovnim obrazovnim procesom, bilo metodama cjeloživotnog učenja.

Imajući u vidu multidisciplinarnost navedenih aktivnosti, kao i potrebu visokog nivoa koordinacije u njihovom sprovođenju, predlaže se da Vlada formira poseban interresorni tim sa zadatkom koordinacije, podsticanja i praćenja svih aktivnosti koje treba da rezultiraju uspješnom implementacijom 5G mobilnih mreža u Crnoj Gori.

11. KOMUNIKACIONA STRATEGIJA PREMA JAVNOSTI

Implementacija i razvoj 5G mreža dovela je do intenziviranja interesovanja i pojačanog građanskog aktivizma u mnogim državama. Zabrinutost, pa i određene kontroverze, u vezi sa 5G tehnologijom prisutna je već duže od jedne decenije. Pitanja koja su u fokusu, obuhvataju rizike od izloženosti EMF talasima, pa sve do teorija o korišćenju ovih tehnologija za kontrolu ljudskog uma. Iako stručnjaci, posebno medicinske struke, uporno argumentuju neutemeljenost i neodrživost takvih pristupa, neprovjerene informacije nastavljaju da se pojavljuju i šire, uključujući i nedavne teorije zavjere vezane za ulogu 5G u aktuelnoj COVID-19 pandemiji.

Sve je to jasna indikacija da je povjerenje javnosti u planiranu 5G mrežu značajno ugroženo snažnom kampanjom dezinformacija koja podstiče strah kod građana, šireći se putem Interneta i socijalnih mreža. Tako su se od samog početka sanitarne krize, u martu 2020. godine, počele širiti teorije koje povezuju 5G tehnologiju i COVID-19, korišćenjem *hashtaga #5Gcoronavirus*. Obuhvatale su raspon pitanja od toga da 5G mreže mogu da šire COVID-19 vazduhom, da 5G direktno slabi imuni sistem čovjeka i povećava ranjivost na virus, pa do tvrdnji da se kreira javni diskurs čiji je cilj odvraćanje pažnje od ubrzanog postavljanja 5G baznih stanica.

Kao što je to obično slučaj sa teorijama zavjere, i teorija o vezi 5G i pandemije potiče iz različitih izvora, koji imaju različite ciljeve. Postoje, naravno, i oni zagovornici teorije zavjere čiji pristup odražava širu tendenciju vjerovanja da postoji globalna zavjera određenog broja bogatih i moćnih pojedinaca koja je usmjerena protiv većine globalne populacije. Ostali zagovornici teorije zavjere su više politički motivisani, koriste *#5Gcoronavirus* kao sredstvo za podsticanje podjela u zajednici, stvaranje nepovjerenja u postojeće institucije i strah od tehnoloških promjena. Konačno, *#5Gcoronavirus* predstavlja efektivan vektor za širenje „lažnih vijesti" u ambijentu u kome tržište ovih „vijesti" dobija sve veće dimenzije, po modelu u kome se stavljaju besplatno na raspolaganje korisnicima uz istovremeni značajan porast prihoda od oglašavanja. Korišćenjem takve strategije monetizacije provajderi *on-line* sadržaja koriste „lažne vijesti" da bi ostvarili konkretne finansijske dobitke.

Iako je svaka teorija zavjere vezana za 5G neutemeljena, posljedice širenja su ozbiljne kad je u pitanju odnos javnosti prema ovoj tehnologiji, kao i odgovor javnog zdravstvenog sistema na COVID-19. Tako na primjer, samo do maja 2020. godine, oštećeno je skoro 80 konstrukcija baznih stanica, uz maltretiranje radnika na održavanju, u Velikoj Britaniji. Demonstracije u Australiji i drugim državama, takođe su pokazale kako je moguće neopravdane strahove od 5G povezati sa anti-*lockdown*-om, anti-vakcinacijom i anti-vladinom retorikom.

Jasno je da je takva situacija u velikoj mjeri rezultat zanemarivanja potrebe za adekvatnom i objektivnom komunikacijom sa građanima, u kojoj bi se na bazi činjenica stvorili uslovi za prevazilaženje strahova vezanih za situaciju

sa pandemijom, kao i za razrješavanje nedoumica koje postoje u pogledu novih tehnologija i njihovih primjena. U takvim okolnostima dezinformacije su popunile prazan prostor i desilo se neizbježno: povjerenje dijela javnosti u 5G je na niskom nivou.

Polazeći od toga da je prioritet omogućavanje korišćenja svih prednosti koje brze i pouzdane 5G mreže nude, posebne aktivnosti na prevazilaženju barijera u njihovoj implementaciji su neophodne. U tom kontekstu, svi relevantni akteri 5G ekosistema treba da uspostave saradnju i koordinaciju u objašnjavanju i eliminisanju dezinformacija vezanih za 5G.

11.1. Osnovni elementi zabrinutosti javnosti na koje treba usmjeriti komunikacionu strategiju

Različiti aspekti implementacije 5G tehnologija i uvedenih poboljšanja, u odnosu na bežične mobilne mreže prethodnih generacija, dolaze do izražaja u kontekstu nedoumica i rezervi koje se pojavljuju u javnosti. Najčešće se govori o izloženosti elektromagnetnim poljima, ali i pitanja zaštite privatnosti i bezbjednosti podataka nijesu manje značajna.

11.1.1. Izloženost EMF talasima

Evidentna je zabrinutost dijela javnosti uslijed činjenice da 5G mreže funkcionišu u frekvencijskim opsezima koji su uglavnom iznad onih korišćenih u prethodnim generacijama mobilnih komunikacionih sistema. Međutim, ono što je bitno sa aspekta potencijalnih efekata je snaga kojom se emituju radio talasi, imajući u vidu da veća frekvencija ne znači i veću snagu. Kako je to već i objašnjeno u prethodnim djelovima ove Studije, korisnički terminali i uređaji će faktički emitovati signale sa nižim nivoom snage. Na taj način će EMF izloženost korisnika biti manja nego što je to bio slučaj u prethodnim generacijama mobilne tehnologije.

Važno je istaći da brojna i opsežna istraživanja nijesu pokazala da postoje dokazi o utvrđenim zdravstvenim efektima izloženosti u vezi sa elektromagnetnim zračenjem baznih stanica mobilnih komunikacionih sistema.

Pri tome, standardi koji regulišu EMF izloženost u frekvencijskim opsezima koji su namjenjeni za implementaciju 5G mreža su u skladu sa onima koji se primjenjuju i na ranije generacije mobilne tehnologije i koji su u Crnoj Gori i do sada predstavljali osnov za utvrđivanje nivoa elektromagnetnih emisija od strane instaliranih baznih stanica.

Brojne kontrole i mjerenja koja su urađena od strane nacionalne akreditovane laboratorije pokazale su da su emisije baznih stanica u Crnoj Gori u najvećem broju slučajeva ispod regulisanih ograničenja. U slučaju da su izmjerene vrijednosti približe redu veličine graničnih vrijednosti, emiterima se, preko nadležnih inspekcijskih organa, nalaže praćenje elektromagnetnih emisija putem češćih mjerenja uz sugestije za korigovanje

ekvivalentno izotropno izračene snage, koje se u zavisnosti od lokacije mogu ostvariti smanjenjem broja primo-predajnika, podizanjem antenskog sistema na veću visinu ili korigovanjem dijagrama zračenja antenskih sistema.

Bez obzira na navedeno, izuzetno je važno adekvatno odgovoriti na identifikovane zabrinutosti javnosti koje se odnose na pitanja uticaja elektromagnetnih emisija na životnu sredinu, što treba da predstavlja posebnu aktivnost u okviru komunikacione strategije prema javnosti. U tom smislu potrebno je organizovati odgovarajuće okrugle stolove, predavanja, seminare i slično, sa ciljem da se širokoj javnosti prezentiraju sva dostupna naučna saznanja i mjerljivi rezultati do kojih su došle relevantne institucije koje se bave ovim izazovima. Ovaj proces treba da ponudi odgovore na navedene nedoumice na bazi činjenica i da doprinese povećanju nivoa poverenja u institucije koje se bave monitoringom elektromagnetnih emisija. Uspješna realizacija ove aktivnosti podrazumjeva snažno uključivanje medija.

11.1.2. Privatnost i bezbjednost komunikacije

5G tehnologija će omogućiti brojne nove servise i aplikacije u okviru različitih vertikalnih industrijskih sektora. Jedan od efekata takvog razvoja biće prenos ogromnih količina ličnih podataka ovim mrežama. Ta činjenica zavrijeđuje posebnu pažnju u uslovima kad *cyber* prijetnje postaju sve sofisticiranije i neprestano se razvijaju, pri čemu *end-to-end* karakter povezivanja u 5G mreži omogućava veći obim različitih napada, koje generišu interni i spoljni akteri. Tako na primjer, kompromitovani „pouzdani" krajnji uređaji postaju izvori napada iznutra, ciljajući spoljne *web* lokacije, generišući „signalne oluje", zauzimajući frekvencijski opseg i stvarajući uslove za neovlašćeni pristup podacima. Spoljni akteri korišćenjem naprednih tehnika *data mining*-a takođe mogu neovlašćeno pristupiti podacima korisnika i prenošenim informacijama, ugrožavajući na taj način privatnost komunikacija. Uz to, konvergencija mobilnih i fiksnih mreža može rezultirati dodatnim tačkama ranjivosti i to na mjestima međusobnog infrastrukturnog povezivanja.

Sve su to razlozi koji uslovljavaju da je kod značajnog dijela javnosti prisutna zabrinutost u pogledu mehanizama za zaštitu informacija, kako o korisnicima, tako i o povezanim uređajima (npr. identitet, informacije o lokaciji/prisustvu, obrasci mobilnosti, načini korišćenja mreže, najčešće aplikacije). To uslovljava potrebu da se pitanjima bezbjednosti 5G mreže pristupi posebno pažljivo, i to u svim fazama primjene: od dizajna do implementacije i održavanja.

Brojni su primjeri ugrožavanja privatnosti podataka i u postojećim mobilnim i fiksnim mrežama, gdje neovlašćeni ili zlonamjerni subjekti uspijevaju da pristupe ličnim podacima korisnika bez njihovog pristanka. Tako se, na primjer, praćenjem aktivnosti na mreži lako može predvidjeti dnevna rutina određenog korisnika, što u nekim slučajevima može biti ne samo štetno, već

i opasno. Ilustrativni primjeri su zdravstveni sistem, sa osjetljivim medicinskim podacima, ili komunalne službe tipa vodosnabdijevanja.

Generalno, kad je riječ o zaštiti privatnosti 5G komunikacija u obzir treba uzeti tri ključna elementa: podatke, lokaciju i identitet korisnika/uređaja. Pri tome je posebno važno sa aspekta javnog i pojedinačnog interesa onemogućavanje korišćenja ličnih podataka korisnika bez njihove saglasnosti. Već su poznate prakse dijeljenja ovih podataka između kompanija, što im daje mogućnost da njihovom analizom naprave prilagođavanje svoje ponude koje vodi generisanju većih prihoda. Slično je i kad je u pitanju privatnost lokacije, gdje kompanije putem raznih aplikacija mogu da prate lokaciju korisnika ne obavještavajući ga o tome. Na taj način se, u krajnjem, može ugroziti ne samo privatnost, već i bezbjednost korisnika koji računaju na anonimnost u takvim komunikacionim scenarijima.

Kako bi stepen povjerenja u 5G mreže i prateće servise bio na nivou koji će ići u prilog njihovoj implementaciji i prihvatanju, neophodno je opravdati očekivanje korisnika da je njihov izabrani identitet zaštićen i da se može vjerovati provajderima da će koristiti podatke samo za svrhu za koju su predviđeni. Uključeni subjekti koji prikupljaju, čuvaju i obrađuju takve podatke treba da osiguraju da njihove platforme i procesi budu dovoljno otporni i efikasni da ne pretvaraju podatke u „toksični otpad", uz mogućnost da u suprotnom budu primijenjene ozbiljne novčane kazne. Takav je slučaj u EU, sa GDPR (*General Data Protection Regulation*) gdje je predviđeno kažnjavanje subjekata u slučaju lošeg upravljanja podacima i informacijama koje su im povjerene.

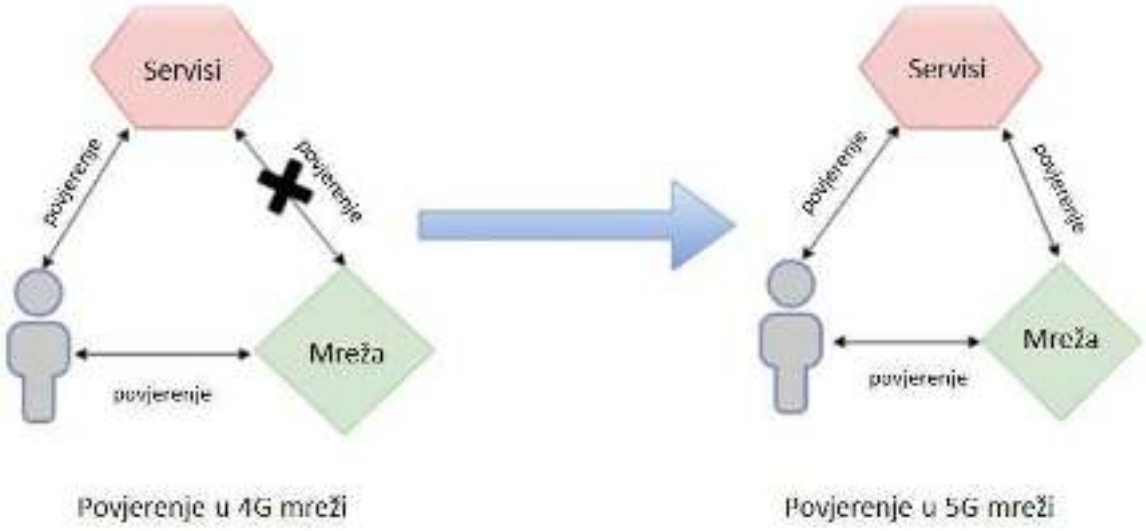
Sve ove činjenice upućuju na potrebu javnog dijaloga u kome će se jasno predstaviti primijenjeni mehanizmi zaštite podataka i standardizacije rješenja za 5G mreže. Od provajdera servisa i aplikacija treba tražiti da objasne načine prikupljanja podataka i njihove dalje upotrebe i skladištenja. Takođe, mehanizmi jasne odgovornosti i transparentnosti treba da budu uključeni u poslovne procese subjekata 5G ekosistema, kako bi se ostvario efikasan nadzor nad njihovim aktivnostima na ovom planu.

11.2. Izgradnja povjerenja

Povjerenje u funkcionisanje 5G mreža i povezane aktivnosti subjekata 5G ekosistema je, za korisnike i ukupnu javnost, jednako važno kao i zaštita privatnosti. Pri tome, to se odnosi na sve aspekte komunikacija, uključujući onu između ljudi, ali i onu sa uređajima. Suštinski, povjerenje krajnjih korisnika podrazumijeva sljedeće elemente:

- da će podaci koji se prenose mrežama biti korišćeni svrsishodno i sa namjerom sa kojom su generisani,
- da korisnici i njihovi ovlašćeni predstavnici upravljaju svojim podacima i
- da se uvijek može utvrditi vjerodostojnost izvora podataka.

Pitanje dizajna adekvatnih modela povjerenja je vrlo izazovno, što potvrđuje i činjenica da potpuno standardizovani modeli povjerenja nijesu implementirani ni u postojećim 4G mrežama. Ipak, različiti koncepti koji se primjenjuju mogu biti korisni za izgradnju neophodnog povjerenja između brojnih aktera u okviru 5G ekosistema. U svakom slučaju, taj proces neće biti direktan i uključivaće mnogo složenije procedure nego što je to bio slučaj sa mobilnim mrežama prethodnih generacija. Razlozi za to su prije svega u naprednijim tehnološkim rješenjima koja karakterišu 5G, kao što je na primjer *cloud* infrastruktura koja omogućava provajderima da virtuelizacijom koriste te spoljašnje resurse za realizaciju servisa i aplikacija. Takođe, napredne funkcionalnosti 5G mreža uključuju i mogućnost da mrežni operatori i provajderi servisa delegiraju realizaciju nekih od mrežnih operacija na eksterne subjekte. U takvom ambijentu, od presudne važnosti za obezbjeđenje potrebnog nivoa povjerenja je da ove dodatne funkcionalnosti ni na koji način ne dovedu u pitanje funkcionisanje mreže na principima zaštite privatnosti i bezbjednosti. U tradicionalnim arhitekturama koje karakterišu prethodne generacije mobilnih bežičnih, pa i fiksnih, mreža, regulatori u oblasti elektronskih komunikacija su odgovorni za definisanje uslova za pristup određenim mrežama od strane kvalifikovanih korisnika. Pri tome, ne postoji standardizovani model povjerenja između autentifikacije korisnika i servisa koje koriste. Međutim, u 5G mrežama ovaj nedostatak može biti prevaziđen, time što će mreže imati mogućnost potvrde autentičnosti provajdera servisa, čime će upravljanje identitetom postati sigurnije i efikasnije. Evolucija modela povjerenja u tom pravcu je ilustrovana na Slici 11.1.



Slika 11.1.Evolucija modela povjerenja

U principu, provajderi servisa zapravo nemaju povjerenja u korisnike kad je u pitanju autentifikacija, odnosno potvrda identiteta. Umjesto toga oslanjaju se na IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*) koji se čuva u USIM kartici (*Universal Subscriber Identity Module*), tako da se IMSI i IMEI (*International Mobile Equipment Identity*) koriste za otkrivanje pokušaja napada. Drugim riječima, i korisnici i provajderi se oslanjaju na proizvođače USIM-a i mobilne opreme (ME). Međutim, u 5G mrežama, kao što je to

slučaj i sa 4G, može doći do aktivnosti kojima se narušava povjerenje između subjekata u ekosistemu upravo uslijed nedovoljnog nivoa pouzdanosti opreme. Neke od tih situacija su:

- zlonamjerni akter, gdje jedan uključeni subjekt može raditi protiv interesa drugog,
- ne-zlonamjerni akter što predstavlja aktivnosti određenih posrednika, odnosno greške korisnika,
- zlonamjerni napadi, gdje eksterni napadač može hakovati uređaje uključenih aktera, koji onda mogu početi sa aktivnostima usmjerenim protiv ostalih subjekata u mreži,
- interni kvarovi, uzrokovani unutrašnjim greškama u sistemu koje mogu izazvati štetu mrežnim akterima,
- spoljne katastrofe, kao što su prirodne katastrofe,
- narušavanje povjerenja aktera, gdje subjekti gube povjerenje i povlače se iz 5G ekosistema.

Za efikasnu implementaciju i prihvatanje očekivanih novih i inovativnih korisničkih scenarija biće neophodno ugraditi visoke standarde bezbjednosti, korišćenjem funkcionalnosti tipa automatizacije, bezbjednosne orkestracije, analitike podataka i mašinskog učenja. Sa takvim pristupom, zasnovanim na integraciji i automatizaciji, cijela 5G mreža biće tretirana kao jedan senzor (uređaj) i biće omogućeno bolje otkrivanje i ublažavanje svih navedenih prijetnji.

Korisnici i svi subjekti 5G ekosistema imaju visoka očekivanja u pogledu sveobuhvatne digitalne transformacije koja će biti omogućena implementacijom novih tehnoloških rješenja. U Glavi 5 ove Studije je pokazano da je to slučaj i sa operatorima, ostalim relevantnim kompanijama i institucijama i u Crnoj Gori. Pri tome, potpuno je jasno da će to promijeniti način života i poslovanja, kako u pozitivnom tako i u negativnom smislu. Upravo je to razlog zašto pitanjima vezanim za ukupnu bezbjednost komunikacionih procesa treba posvetiti posebnu pažnju, kako bi se umanjile evidentne nedoumice u pogledu povjerenja korisnika u način tretiranja ličnih podataka i informacija koje se procesiraju u 5G mrežama. Različita istraživanja, koja su realizovana na globalnom nivou, pokazuju da krajnji korisnici najčešće značajno više povjerenja imaju u vladine agencije nego u provajdere kad je u pitanju zaštita njihove privatnosti i identiteta. U tom smislu, formulisanjem adekvatnih javnih politika može se postići garantovanje adekvatnog nivoa bezbjednosti, i to u pogledu identiteta uređaja, vlasnika uređaja, korisnika podataka, kao i samih podataka koji se prenose.

Dakle, za uspjeh u prihvatanju 5G mreža, aplikacija i servisa, osnovno i presudno je da se osigura da sve interakcije u okviru svake pojedinačne platforme budu pouzdane, sigurne i sa visokim nivoom zaštite identiteta. Na taj način će se izaći u susret očekivanjima svih kategorija korisnika da servisi i aplikacije budu sigurni, sa visokim nivoom privatnosti i uključenim mehanizmima za kontrolu korišćenja sopstvenih podataka.

11.3. Preporuke

Pri uvođenju ranijih tehnoloških rješenja vezanih za prethodne generacije mobilnih bežičnih mreža (2G, 3G, 4G) komunikacija sa javnošću u pogledu tehnologije, namjene, bezbjednosti i prednosti bila je *ad hoc*. Glavnu ulogu su imali operatori mreža koji su se oslanjali na tradicionalni marketing, ukazujući na osnovne prednosti, uglavnom u smislu većih brzina prenosa podataka, a sa ciljem uvećavanja broja pretplatnika. Kad je u pitanju 5G, takav pristup traži ozbiljno preispitivanje i modifikaciju u aktuelnim uslovima, kad je povjerenje javnosti i građana evidentno ugroženo brojnim dezinformacijama koje podstiču strahove, a šire se putem Interneta i društvenih mreža.

Bolja komunikacija u pogledu svih relevantnih aspekata 5G mobilne tehnologije je od suštinske važnosti za prepoznavanje činjenica i minimiziranje uticaja informacija koje nijesu zasnovane na naučno-stručnim kriterijumima. Imajući u vidu prethodno opisane elemente, koji izazivaju zabrinutost i nepovjerenje potencijalnih korisnika, osmišljena kampanja za podizanje svijesti javnosti o prednostima i bezbjednosti 5G sistema predstavlja uslov za njihovu uspješnu implementaciju.

Uz uključivanje svih subjekata 5G ekosistema, Vlada Crne Gore ima posebnu odgovornost i priliku da kreira i vodi informativnu kampanju kojom će, na građanima prihvatljiv način, insistirati na objektivnom prikazivanju činjenica kojima se pruža utemeljen odgovor na sve nedoumice i strahove koji se pojavljuju. U takvom pristupu, potrebno je:

- Uspostaviti blisku saradnju sa Agencijom za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost (EKIP), akademskom zajednicom, kao i operatorima, u cilju osmišljavanja integrisane i sveobuhvatne informativne kampanje koja će se voditi kako na državnom, tako i na lokalnom nivou, uz definisanje relevantnih ciljnih grupa i korišćenjem metoda komunikacije zasnovanim na činjenicama;
- Jasno predstaviti mehanizme zaštite podataka, standardizacije i javnih politika vezanih za razvoj i implementaciju 5G tehnologije. Provajderi servisa takođe treba na transparentan način da objasne načine prikupljanja podataka, njihovo skladištenje, upotrebu, i kasnije uništavanje, sa naglaskom na ravnoteži između zaštite identiteta i privatnosti korisnika i potreba implementacije inovativnih 5G aplikacija i servisa. Sa aspekta povjerenja javnosti, važne su i informacije koje se odnose na mehanizme odgovornosti operatora i provajdera, kako bi bio omogućen adekvatan monitoring i informisanje korisnika;
- Zajedničkim informativno-edukativnim sadržajima (treninzi, radionice, prezentacije u Privrednoj Komori, Udruženju poslodavaca) pružiti potrebna objašnjenja poslovnoj zajednici, uključujući mala i srednja preduzeća, *start-up*-ove i inovacione *hub*-ove, kako bi se povećao stepen razumijevanja u pogledu svih prednosti koje nudi 5G i ohrabrilo njihovo aktivno učešće u razvoju i implementaciji 5G ekosistema u Crnoj Gori;
- Da se Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost (EKIP) i Agencija za zaštitu prirode i životne sredine (EPA) angažuju u kreiranju

odgovarajućeg mehanizma konsultacija sa predstavnicima lokalnih zajednica i ukupne javnosti u vezi sa pitanjima koja se odnose na EMF izloženost. EPA, u saradnji sa Institutom za javno zdravlje, treba da obezbjedi efikasan monitoring nivoa elektromagnetnih emisija, jasnim i ciljanim planovima monitoringa na mjesečnom i godišnjem nivou uz podršku nacionalne i ostalih akreditovanih laboratorija. EPA treba da u skladu sa Zakonom obezbjedi izradu Studije korišćenja zatečenih značajnih izvora nejonizujućih zračenja, koja će rezultirati interaktivnom mapom izloženosti elektromagnetnim emisijama u Crnoj Gori za frekvencijske opsege u kojima funkcioniše radiokomunikaciona oprema. Sve navedeno treba da obezbijedi maksimalni nivo povjerenja u aktivnosti koje se sprovode, od strane kako stručne, tako i laičke javnosti;
- Uticati na unapređenje obrazovnog okvira u oblasti ICT-a, podrškom razvoju i ažuriranju odgovarajućih kurikuluma od strane nadležnog ministarstva. Na taj način bi se postiglo da ishodi učenja i obuke akreditovanih obrazovnih institucija osiguraju potreban kadar sa odgovarajućim vještinama koje će biti neophodne u izgradnji, funkcionisanju i održavanju 5G mreža, ali i u implementaciji savremenih ICT rješenja zasnovanih na 5G mobilnim mrežama, kako za potrebe operatora, kao i za potrebe vertikalnih industrijskih sektora i javnog sektora. U tom kontekstu, od posebne važnosti je saradnja Ministarstva prosvjete, nauke, kulture i sporta sa akademskom zajednicom, operatorima, vertikalnim industrijskim sektorima u Crnoj Gori, subjektima iz javnog sektora i isporučiocima opreme kako bi se stvorili svi potrebni preduslovi za obrazovanje, dodatno usavršavanje, praktičnu nastavu i trening;
- Obezbijediti dodatne fondove za podršku primijenjenim naučnim istraživanjima, u cilju podsticaja za kreiranje ambijenta u kome će biti ostvarena konkretna inovativna rješenja za 5G aplikacije i servise, sa naglaskom na vertikalne industrijske sektore od značaja za ukupan ekonomski razvoj Crne Gore, i u skladu sa Strategijom pametne specijalizacije.

Komunikaciona strategija zasnovana na navedenim aktivnostima treba da bude praćena publikovanjem odgovarajućih informativnih sadržaja, brošura i kraćih formi, koje se mogu distribuirati putem medija, kao i na specijalizovanim događajima. Takođe, treba iskoristiti i platformu koju pružaju ICT konferencije i skupovi koji se tradicionalno organizuju u Crnoj Gori (IT Žabljak, INFOFEST).

Tako je u okviru nastavka skupa Informacione tehnologije (IT 2021), kroz cjelodnevnu plenarnu sesiju moguće okupiti predstavnike mobilnih operatora, ICT kompanija, akademske zajednice, javne uprave i zainteresovanih subjekata iz vertikalnih industrijskih sektora, kako bi se razmotrile mogućnosti zajedničkog djelovanja u cilju što efikasnijeg korišćenja mogućnosti koje nova tehnologija pruža ukupnom privrednom razvoju Crne Gore. Planirani termin ovog događaja je u periodu jun-septembar 2021. god.

Radionice i okrugle stolove na temu nedoumica i zabrinutosti javnosti u pogledu bezbjednosti funkcionisanja 5G mreža mogu se organizovati u okviru skupa IT 2022, februar 2022. godine i INFOFEST-a u oktobru 2021. godine.

5G *info day* u organizaciji Agencije za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost u saradnji sa Obrađivačem ove Studije mogao bi da se realizuje u okviru INFOFEST-a 2022 ili kao poseban događaj u periodu septembar-oktobar 2022. godine. Na njemu treba promovisati mogućnosti 5G tehnologije i to za sledeće ciljne grupe: vertikalni industrijski sektori, javna uprava, krajnji korisnici 5G mreže.

Imajući u vidu sve elemente nedoumica i zabrinutosti potencijalnih korisnika i u Crnoj Gori, koji su u određenoj manjoj mjeri već izrazili negativno mišljenje o izgradnji 5G, komunikaciona kampanja za izgradnju povjerenja bi bila uspješnija ukoliko bi se stvorili i uslovi za realizaciju 5G *testbed*-a (pilot projekta) u nekoj od urbanih sredina, u prilog čemu idu i iskustva zemalja EU koje su implementirale 5G tehnologiju. Radionice i diskusije sa korisnicima, industrijskim akterima, provajderima, stručnjacima i drugim zainteresovanim subjektima, uz demonstraciju funkcionisanja, predstavljali bi korisnu platformu za ilustraciju prednosti koje bi primjena 5G sistema omogućila u svim segmentima i na svim nivoima društva. Kao što je to slučaj i u mnogim sektorima koje karakterišu nove tehnologije, rasprave o novim generacijama i novim rješenjima imaju tendenciju da se pojavljuju značajno prije implementacije samih sistema. Tako i dolazi do stvaranja ambijenta u kome se percepcija javnosti formira na osnovu nedovoljno provjerenih informacija, na uštrb činjenica i naučno zasnovanih informacija.

Slično kao i u ostalim razvijenim i državama u razvoju, i Crna Gora ima ambiciju da postane društvo znanja u kome će se budući razvoj zasnivati na principima četvrte industrijske revolucije (I*ndustry* 4.0) i gdje neće postojati jasne granice između virtuelnog i fizičkog. U ostvarivanju tog cilja, 5G tehnologija ima ključnu ulogu, sa novom arhitekturom koja će omogućiti inovacije "pametnim povezivanjem" svih subjekata pripadajućeg ekosistema. Upravo zato je od presudne važnosti da svi zainteresovani akteri, uz vodeću ulogu Vlade i resornih ministarstava, preuzmu svoj dio odgovornosti u stvaranju uslova za uspješnu implementaciju i funkcionisanje 5G mreža i u segmentu koji se odnosi na izgradnju povjerenja javnosti i podrške u ostvarivanju ukupnog potencijala i prednosti koje omogućava ova tehnologija.

SAŽETAK

Studija o strategiji uvođenja 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori organizovana je u jedanaest cjelina (glava), u skladu sa Projektnim zadatkom za izradu Studije.

U Glavi 1 Studije data je analiza stepena tehnološkog razvoja mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori, zatim analiza dostupnosti mobilnih komunikacionih usluga, kao i procjena perspektive njihovog daljeg razvoja. Pokazano je da stepen razvoja mobilnih komunikacionih mreža i dostupnosti mobilnih komunikacionih usluga u Crnoj Gori na kraju 2020. godine između ostalog karakteriše:

- pokrivenost GSM signalom 98-99% stanovništva,
- pokrivenost UMTS i LTE signalom 97-98% stanovništva Crne Gore,
- na teritoriji gdje živi oko 97% stanovništva Crne Gore omogućena usluga prenosa podataka sa funkcionalnim protokom od 10Mb/s ili više na *downlink*-u,
- prosječna brzina prenosa podataka na *downlink*-u u gradskim oblastima 15-20Mb/s, a duž glavnih magistralnih puteva 10-18Mb/s,
- stepen tehnološkog razvoja UMTS mreža zaustavljen na HSPA+ i DC-HSPA na *downlink*-u, odnosno HSUPA na *uplink*-u,
- stepen tehnološkog razvoja LTE mreža na nivou LTE-*Advanced*,
- VoLTE tehnologija nije implementirana,
- implementirana NB-IoT tehnologija u mreži jednog operatora, na manjem broju lokacija.

Tehnološkim unapređenjem postojećih 4G mreža u Crnoj Gori, prije svega kroz implementaciju LTE-*Advanced Pro* rješenja, može se obezbijediti podrška za veliki broj naprednih servisa. Međutim, kreiranje komunikacionog okruženja koje će biti osnova za uvođenje inovativnih korisničkih servisa i aplikacija, za podršku digitalnoj transformaciji i ukupnom razvoju države, zahtijeva značajno veće brzine prenosa podataka, mMTC i URLLC komunikacije, uz veći nivo sigurnosti. Kako to nije moguće ostvariti ni najnaprednijim opcijama 4G mreža, jasno je da takvi ciljevi u punom kapacitetu mogu biti podržani isključivo novim tehnološkim rješenjima koja karakterišu 5G mobilne mreže.

U Glavi 2 Studije dat je detaljan opis 5G mobilnih komunikacionih sistema. Na osnovu opisanog procesa standardizacije 5G celularnih radio sistema prikazana je opšta arhitektura 5G mreža za razne scenarije korišćenja, što uključuje nesamostalne (*non standalone*) i samostalne (*standalone*) 5G arhitekture u ne-*roaming* i *roaming* okruženju, arhitektura jezgra mreže i radio pristupnog dijela mreže, uz opis svih funkcionalnih elemenata mrežne arhitekture, uključujući i elemente mrežne sigurnosti i prikaz odgovarajućih 5G interfejsa kojima se pojedini mrežni elementi povezuju u 5G sistem.

Kada je riječ o arhitekturi 5G mreže, može se izvesti zaključak da ona uvodi mnoge nove koncepte, od kojih su najznačajniji virtuelizacija mreže i *computing* na ivici mreže. Arhitektura 5G mreže može se okarakterisati kao

arhitektura zasnovana na servisima, i kao takva daje sposobnost mreži da predstavi elemente arhitekture kao mrežne funkcije koje nude svoje specijalizovane usluge putem interfejsa zajedničkog okvira. Mrežno segmentiranje, kao posebna tehnološka novina omogućava da se na kontrolisan način koristi potreban skup funkcionalnosti, tako da se resursi mreže mogu optimizovati za svaki pojedinačni korisnički scenario. 5G sistemska arhitektura sadrži i novi model kvaliteta servisa, koji omogućava da servisi u okviru mobilnih mreža pete generacije budu mnogo fleksibilniji u poređenju sa mrežama prethodnih generacija. Još jedna prednost ovakve arhitekture je uopšteni dizajn funkcionalnosti i unaprijed kompatibilni interfejs između pristupne mreže i jezgra mreže, što omogućava zajedničkom 5G jezgru mreže da funkcioniše sa različitim pristupnim mrežama. U okviru navedene arhitekture radio interfejs se nanovo definiše, implementacijom naprednijih modulacionih tehnika i inteligentnih antenskih sistema sa više nizova. Takav novi dizajn 5G radio interfejsa omogućava mnogo više složenih korisničkih scenarija, kao i uvećan kapacitet potreban za realizaciju masivne komunikacije mašinskog tipa, sa ultra malim kašnjenjem i značajno povećanom propusnošću podataka.

U Glavi 3 Studije detaljno su opisane osnovne kategorije 5G servisa (eMBB, mMTC i URLLC), područja njihove primjene i različiti scenariji korišćenja 5G mobilnih komunikacionih mreža.

Nasuprot prethodnim generacijama mobilnih celularnih mreža, koje su dizajnirane kako bi se najprije optimizovala efikasnost jednog određenog tipa servisa, 5G mreže su projektovane tako da mogu podržati raznovrsne servisne zahtjeve, uključujući jako velike brzine prenosa podataka, čak i u uslovima izražene mobilnosti, zatim konektovanje velikog broja uređaja na mrežu i na kraju, zahtjev za veoma malim kašnjenjem i velikom pouzdanošću. eMBB kategorija servisa će obuhvatiti najveći broj korisničkih scenarija u početku implementacije 5G mreža, jer će primjenom naprednih rješenja veoma efikasno koristiti nove spektralne resurse. Potencijalni IoT scenariji primjene zasnovani na mMTC kategoriji servisa biće interesantni za monitoring životne sredine, pametnu poljoprivredu, pametna mjerenja, pametnu nosivu opremu, senzorske mreže, pametne gradove, pametan prevoz, pametne kuće, itd. Realizacija URLLC-a predstavlja jednu od ključnih tačaka koncepta 5G mreža, između ostalog i zato što u ovoj oblasti pružanja servisa 5G nema konkurentnih bežičnih komunikacionih tehnologija. U stvari, 5G mreže na ovaj način postaju konkurencija konekcijama realizovanim kablovima sa optičkim vlaknima, uz mnogo veću fleksibilnost za buduće izmjene, nadogradnje i slično. Novi raspoloživi *mmWave* opsezi će omogućiti još brži razvoj novih URLLC, ali i eMBB servisa.

Na bazi definisanih indikatora performansi i servisnih zahtjeva 5G mreža razrađeni su konkretni tehnički zahtjevi za svaki identifikovani scenario primjene. Posebna pažnja posvećena je scenarijima primjene u vertikalnim industrijskim sektrima i doprinosu 5G tehnologije održivoj (zelenoj) ekonomiji. Treba istaći da su 5G mreže dizajnirane da budu u potpunosti

modularne i da omoguće dinamično organizovanje virtuelnih funkcija i alokaciju resursa. Upravo ove karakteristike predstavljaju katalizator za stvaranje inovacionog ekosistema od kojeg se očekuje da oblikuje punu digitalizaciju vertikalnih industrijskih sektora. U tom kontekstu, mobilni operatori i drugi akteri, koji imaju ambiciju da postanu provajderi 5G servisa, treba da sarađuju sa vertikalnim sektorima, da bi bili u mogućnosti da ponude servise i platforme koje će povećati efikasnost ovih sektora i time doprinijeti očekivanoj ekspanziji 5G mreža. Pri tome, nikako se ne smije zaboraviti na tržište krajnjih korisnika, koje danas generiše značajan dio prihoda servis provajdera, a važnost ovog segmenta tržišta će nastaviti da raste i sa razvojem 5G mreža.

U Glavi 4 Studije daje se pregled statusa aktivnosti na uvođenju 5G mobilnih komunikacionih mreža u zemljama regiona i EU, kao i pregled iskustava u uvođenju 5G mobilnih mreža u zemljama članicama EU u kojima su 5G mreže komercijalno dostupne. Na bazi toga je napravljena analiza mogućnosti primjene njihovih iskustava u procesu implementacije 5G mobilnih mreža u Crnoj Gori.

Evropska komisija je kao strateški cilj na planu realizacije 5G mobilnih komunikacionih mreža postavila komercijalnu implementaciju 5G tehnologije u najmanje jednom većem gradu u svakoj državi članici do kraja 2020. godine i neprekidnu 5G pokrivenost u svim urbanim oblastima i duž glavnih kopnenih transportnih pravaca do 2025. godine. Identifikovani su frekvencijski opsezi oko 700MHz, 3,5GHz i 26GHz kao pogodni za ranu implementaciju 5G mobilnih mreža. Za ove opsege su razvijeni odgovarajući kanalni aranžmani i tehnički uslovi za 5G bazne stanice i korisničke terminale. Komisija je donijela odgovarajuće odluke o harmonizaciji namjene i korišćenja opsega za MFCN sisteme u EU. Tehnički uslovi su definisani i za opsege 2100MHz i 2600MHz, koji su ranije harmonizovani. Opseg 26GHz globalno je harmonizovan za IMT sisteme, a osim tog opsega za IMT su identifikovani i opsezi 40GHz i 66GHz. Krajem 2018. godine donešen je Evropski zakonik o elektronskim komunikacijama (EECC) u kome je sažet novi regulatorni okvir za elektronske komunikacije u EU.

Države članice EU, iako u različitim fazama implementacije 5G mreža, uglavnom su slijedile vremenski okvir definisan EU 5G Akcionim planom. Pri tome, pokazalo se da izostanak blagovremene dodjele spektra iz opsega koji su prepoznati kao pogodni za ranu implementaciju 5G mreža, ne mora biti prepreka za uvođenje 5G usluga. Kada su u pitanju aktivnosti na uvođenju i daljem razvoju 5G mobilnih mreža u državama članicama EU i državama regiona, zaključuje se da ne postoji jedinstven pristup. Svaka država je svoju strategiju uvođenja 5G mreža razvijala polazeći od stanja na nacionalnom nivou i ciljeva koji se žele postići, uzimajući u obzir i specifične karakteristike lokalnog tržišta, uključujući i raspoloživost RF spektra za implementaciju 5G mreža. Ipak, prepoznati su zajednički elementi primijenjenih strategija koji su uzeti u obzir prilikom definisanja mape puta za efikasno uvođenje i dalji održiv razvoj 5G mobilnih mreža u Crnoj Gori.

U Glavi 5 Studije analizirana su potencijalna područja primjene i mogući scenariji korišćenja 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori. Polaznu osnovu za ovu analizu predstavljali su odgovori na Upitnik koji su obrađivači Studije dostavili sljedećim grupama subjekata: mobilni operatori, ICT kompanije, vertikalni industrijski sektori i javna uprava.

Na osnovu sprovedene analize može se zaključiti da postoji ili će postojati potreba implementacije svih osnovnih kategorija servisa u Crnoj Gori, a koja će se fazno iskazivati kako se mobilna mreža pete generacije bude razvijala, ali i kako se svijest korisnika, vertikalnih industrijskih sektora i javne uprave na nacionalnom i lokalnom nivou za potrebama savremenih ICT rješenja zasnovanih na 5G mrežama bude unapređivala. Razvoj pojedinih faza zavisiće u znatnoj mjeri i od odnosa države prema procesu digitalizacije društva. Pri tome, neke od navedenih kategorija je moguće implementirati angažovanjem operatora mobilnih komunikacionih mreža koji će krajnjem korisniku omogućiti poboljšanje postojećih usluga, kroz poboljšano korisničko iskustvo u pogledu povećanja brzine prenosa i kvaliteta servisa. S druge strane, za neke kategorije navedenih servisa biće potrebno stvoriti mnoge preduslove kako bi se oni implementirali, a koji ne zavise dominantno od operatora. Ovi preduslovi obuhvataju širok spektar neophodnih mjera koje su od ključnog značaja za implementaciju pojedinih scenarija.

U Glavi 6 Studije predstavljeni su potencijalni benefiti i rizici za građane i privredu. Na osnovu identifikovanih mogućnosti i potencijalnih izazova može se zaključiti da je odgovarajuća uloga nadležnih institucija na nacionalnom nivou, lokalnih samouprava, regulatora u oblasti elektronskih komunikacija i ostalih subjekata 5G ekosistema presudna u stvaranju uslova i podsticanju implementacije 5G sistema. Uspješna promocija investicija zahtijeva stabilan, dosljedan i precizan regulatorni okvir, koji jasno definiše administrativne uslove koji će olakšati izgradnju nove infrastrukture. Propisana pravila treba da budu u funkciji podsticaja, uz izbjegavanje eventualnih implementacionih ograničenja, posebno kad je u pitanju mrežno segmentiranje, *end-to-end* virtuelizacija i dijeljenje mrežnih resursa. Na taj način će se stvoriti uslovi za potreban nivo povjerenja između operatora i provajdera servisa u mreži i ukloniti prepreke razvoju inovativnih 5G servisa u svim vertikalnim industrijskim sektorima. Za 5G servise visoke pouzdanosti sa malim kašnjenjem, propisi moraju adresirati i pitanja odgovornosti, posebno u kontekstu privatnosti i zaštite podataka.

U Glavi 7 Studije je predstavljena bezbjednosna arhitektura 5G mreža. Ova arhitektura ima čitav niz novih mehanizama koji je čine bezbjednom mrežom. No bez obzira na to, konačni nivo bezbjednosti uveliko će zavisiti od konkretnih praksi implementacije/kodiranja. Naglašeno je da treba uzeti u obzir ENISA pregled prijetnji za svaku potencijalnu implementaciju, koja može imati određeni bezbjednosni rizik. Pri tome treba imati u vidu i to da softverska dimenzija samostalnog moda 5G mreže može unijeti dodatne bezbjednosne probleme, jer to rješenje još uvijek nije provjereno na bazi šire primjene. Jezgro 5G mreže izgrađeno je na poznatim Internet

protokolima, poput HTTP-a i TLS-a, što sa jedne strane mrežu čini sigurnijom, a sa druge se otvaraju mogući problemi, jer su Internet tehnologije dobro poznate mnogim zlonamjernim akterima, koji već raspolažu odgovarajućim hakerskim alatima. Zaključuje se da 5G mreža može biti smatrana sigurnom mrežom, mnogo sigurnijom od 4G, ali da postoji potreba za korišćenjem NESAS/SCAS verifikacije bezbjednosti opreme, kao i preporuka koje daje ENISA za postavljanje sigurne mreže.

Na bazi potencijalnih izazova i rizika koji mogu generalno uticati na stepen prihvatanja i uspješnost izgradnje i razvoja 5G mreža, u Glavi 8 Studije ova problematika je dalje razrađena za konkretne uslove u Crnoj Gori, pri čemu su u obzir uzeti i odgovori na Upitnike dobijeni od strane zainteresovanih subjekata. Identifikovana su ograničenja u regulatornom okviru elektronskih komunikacija, izazovi u pogledu radio-frekvencijskog spektra, izazovi u pogledu numeracije i adresiranja, barijere u pristupu postojećoj i izgradnji nove telekomunikacione infrastrukture, izazovi u pogledu zajedničkog korišćenja infrastrukture, spremnosti operatora za nova ulaganja, nerazvijenost vertikalnih industrijskih sektora, otpor javne administracije uvođenju novih tehnoloških rješenja. Pored toga identifikovan je nedostatak visokoobrazovanog kadra, kako za implementaciju, održavanje i razvoj samih mreža, tako i za realizaciju inovativnih rješenja na bazi 5G mreža za potrebe vertikalnih industijskih sektora i javne uprave. Posebno su identifikovane zabrinutosti javnosti i subjekata 5G ekosistema u pogledu bezbjednog korišćenja elektromagnetnog spektra i zaštite privatnosti u komunikaciji.

U Glavi 9 Studije date su 22 smjernice za otklanjanje identifikovanih ograničenja/barijera. Zaključuje se da je za postizanje pozitivnih rezultata u tom procesu neophodno obezbijediti multidisciplinarni angažman svih relevantnih subjekata u Crnoj Gori u cilju postizanja ambijenta koji će snažno podstaći razvoj 5G mobilnih mreža i na njima zasnovanih inovativnih rješenja. Na taj način će se omogućiti postizanje pozitivnih promjena u vertikalnim indistrijskim sektorima i javnom sektoru, cjelokupna digitalizacija društva i ukupan ekonomski rast.

U Glavi 10 Studije definisana je mapa puta, kroz 8 koraka, koja u Crnoj Gori treba da obezbjedi implementaciju 5G mreža do kraja 2022. godine. Imajući u vidu multidisciplinarnost navedenih aktivnosti, kao i potrebu visokog nivoa koordinacije u njihovom sprovođenju, predlaže se da Vlada formira poseban interresorni tim sa zadatkom koordinacije, podsticanja i praćenja svih aktivnosti koje treba da rezultiraju uspješnom implementacijom 5G mobilnih mreža u Crnoj Gori.

Na kraju Glava 11 Studije razrađuje komunikacionu strategiju prema javnosti i predlaže ključne događaje koje treba u okviru ove strategije organizovati.

LISTA SKRAĆENICA

AAA - *Authentication, Authorization and Accounting*
AAS - *Active Antenna System*
ADSL - *Asymmetric Digital Subscriber Line*
AF - *Application Functions*
AI – *Artificial intelligence*
AKA - *Authentication and Key Agreement*
AMF - *Access and Mobility Management Function*
AMPS - *Advanced Mobile Phone System*
AN – *Access Network*
API - *Application Programming Interface*
AR - *Augmented Reality*
ARIB - *Association of Radio Industries and Businesses*
ARP - *Address Resolution Protocol*
ARPF - *Authentication credential Repository and Processing Function*
AS - *Access Stratum*
ATIS - *Alliance for Telecommunications Industry Solutions*
AUSF - *Authentication Server Function*
AVM - Audio-Vizuelno Medijske usluge
BBU – *Baseband Unit*
BCG – *Boston Consulting Group*
BDP –Bruto Domaći Proizvod
BEREC - *Body of the European Regulators of Electronic Communications*
BLER - *Block Error Rate*
BSS - *Business Support System*
BWA - *Broadband Wireless Access*
B2B - *Business to Business*
B2C – *Business to Consumer*
B2G - *Business to Government*
CA - *Carrier Aggregation*
CAPIF - *Common-a API Framevork*
CBRS - *Citizens Broadband Radio Service*
CC – *Component Carriers*
CCSA - *China Communications Standards Association*
CDF- C*umulative Distribution Function*
CDMA – *Code Division Multiple Accsess*
CDR - *Charging Data Records*
CEPT - *European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*
CG-NAT - *Carrier Grade Network Address Translation*
CK - *Ciphering Key*
CM - *Connection Management*
CM-sub - *Connection Management Sublayer*
CN – *Core Network*
CoMP - *Coordinated Multipoint Transmission and Reception*
CP – *Control Plane*
CP-OFDM - *Cyclic Prefix-Orthogonal Frequency Division Multiplexing*
CPS – *Cyber Physical Systems*

CSI-RS - *Channel-State Information - Reference Signal*
CU – *Central Unit*
CUPS - *Control and User Plane Separation*
DC - *Dual Connectivity*
DC-HSDPA – *Dual Carrier - High Speed Downlink Packet Access*
DCS – *Digital Cellular System*
DHCP - *Dinamic Host Control Protocol*
DL – *Downlink*
DM-RS - *Demodulation Reference Signals*
DN - *Data Network*
DNN - *Data Network Name*
DNS - *Domain Name System*
DOCSIS - *Data Over Cable Services Interface Specification*
DRB - *Data Radio Bearers*
DSA - *Dynamic Spectrum Access*
DSF - *Data Storage Functions*
DSS - *Dynamic Spectrum Sharing*
DTLS - *Datagram Transport Layer Security*
DU - *Distributed Unit*
D2D - *Device-to-Device*
EAP - *Extensible Authentication Protocol*
EDGE - *Enhanced Data Rates for Global Evolution*
EECC - *European Electronic Communications Code*
EES - *Earth Exploration Satellite*
EFSI - *European Fund for Strategic Investments*
EGPRS - *Enhanced General Packet Radio Service*
EIB – Evropska Investiciona Banka
EID - eUICC *Issuer Identifier*
eIMTA - *Enhanced Interference Mitigation and Traffic Adaptation*
EIR - *Equipment Identity Register*
eLTE - *evolved* LTE
eMBB - *enhanced Mobile Broadband*
EMF - *Electric and Magnetic Fields*
eMTC - *enhanced Machine Type Communication*
EN - *Evolved Universal Terrestrial Radio Access-New Radio*
ENISA - *European Network and Information Security Agency*
EPC - *Evolved Packet Core*
EPS - *Evolved Packet System*
eSIM - *Embedded Subscriber Identity Module*
ESP - *Encapsulating Security Payload*
ETSI - *European Telecommunications Standards Institute*
eUICC - *Embedded Universal Integrated Circuit Card*
E-UTRA – *Evolved Universal Terrestrial Radio Access*
FASG - *Fraud and Security Group*
FDD - *Frequency Division Duplexing*
FDMA - *Frequency Division Multiple Access*
FN-RG - *Fixed Network Residential Gateway*
FR – *Frequency Range*
FTP - *File Transfer Protocol*

FTTB - *Fiber to the Building*
FTTH - *Fiber to the Home*
FTTx - *Fiber to the x*
FWA – *Fixed Wireless Access*
GBR – *Guaranteed Bit Rate*
GDPR - *General Data Protection Regulation*
GEO - *Geostationary Earth Orbit*
gNB-CU - *5G NodeB - Centralized Unit*
gNB-DU - *5G NodeB - Distributed Units*
GMSC - *Gateway Mobile Switching Center*
GPRS - *General Packet Radio Service*
GSM - *Global System for Mobile communications*
GSMA – GSM *Association*
GTP - *GPRS Tunneling Protocol*
GTP-U - *GPRS Tunnelling Protocol – User*
GUTI - *Globally Unique Temporary Identity*
HARQ - *Hybrid Automatic Repeat Request*
HFC - *Hybrid Fiber/Coax*
HIBS - *High Altitude IMT Base Stations*
HPLMN - *Home Public Land Mobile Network*
HSDPA - *High Speed Downlink Packet Access*
hSEPP - *Home Security Edge Protection Proxy*
HSPA - *High Speed Packet Access*
HSS - *Home Subscription Server*
HSUPA - *High Speed Uplink Packet Access*
HTTP - *Hypertext Transfer Protocol*
HTTPS - *Hypertext Transfer Protocol Secure*
IaaS - *Infrastructure as a Service*
IAB - *Integrated Access and Backhaul*
IARC - *International Agency for Research on Cancer*
ICMP - *Internet Control Message Protocol*
ICT - *Information and Communications Technology*
IDL - *Interface Definition Language*
IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers*
IETF - *Internet Engineering Task Force*
IK - *Integrity Key*
IKE - *Internet Key Exchange*
IMEI - *International Mobile Equipment Identity*
IMF - *International Monetary Fund*
IMS - *Internet Protocol Multimedia Subsystem*
IMSI - *International Mobile Subscriber Identity*
IMT-2000 - *International Mobile Telecommunications* 2000
IMT-2020 - *IMT for 2020 and beyond*
IoT – *Internet of Things*
IIoT – *Industrial IoT*
IP – *Internet Protocol*
IPsec - *Internet Protocol Security*
IPsec SA - *IPsec Securiti Association*
IPUPS - *Inter*-PLMN UP *Security*

IPX - *Internet Protocol Packet eXchange*
ISD – *Intersite distance*
ISM - *Industrial, Scientific and Medical*
IT - *Information Technologies*
ITS - *Intelligent Transportation System*
ITU - *International Telecommunications Union*
ITU-R – *ITU-Radiocommunications sector*
IWMSC - *InterWorking MSC*
KDS – *Kablovski distributivni sistemi*
KPIs – *Key Performance Indicators*
LAA - *Licensed Assisted Access*
LBO - *Local Break Out*
LCS - *System Location Services*
LEO - *Low Earth Orbit*
LI - *Lawful Interception*
LIF - *Lawful Intercept Functionality*
LMF - *Location Management Function*
LoS - *Line of Sight*
LSA - *Licensed Shared Access*
LTE - *Long Term Evolution*
LTE-A – *LTE-Advanced*
LWA - *LTE Wireless-LAN* Aggregation
MAC – *Medium Access Control*
MANO - *Management and Orchestration*
MAP - *Mobile Application Part*
MaxCL – Maximum Coupling Loss
MBMS – *Multimedia Broadcast Multicast Service*
MCC - *Mobile Country Code*
ME - *Mobile Equipment*
MEC - *Multiaccess Edge Computing*
MEO - *Medium Earth Orbit*
MFCN - *Mobile/Fixed Communications Networks*
MIB - *Master Information Block*
MIMO - *Multiple Input Multiple Output*
mIoT - *Massive Internet of Things*
MITM - *Man-in-the-Middle*
MME - *Mobility Management Entity*
mMTC - m*assive Machine Type Communications*
mmWave - *millimeter waves*
MN – *Master Node*
MNC - *Mobile Network Code*
MNO - *Mobile Network Operators*
MOBIKE - *Mobility and Multihoming Protocol IKEv2*
MOCN – *Multi Operator Core Network*
MORAN - *Mobile Operator Radio Access Network*
MPS – *Multimedia Priority Service*
MRAT - *Multi Radio Access Technology*
MR-DC - *Multi Radio Access Technology – Dual Connectivity*
MSC - *Mobile Switching Center*

MSK – *Master Session Key*
MTC - *Machine Type Communication*
MUI - *Multi User Interference*
MVNO - *Mobile Virtual Network Operator*
MW – *Micro-Wave*
MWL - *Mobile World Live*
M2M - *Machine-to-Machine*
NaaS - *Network as a Service*
NAS – *Non-Access Stratum*
NB - *NarrowBand*
NCR - *Neighbor Cell Relation*
NDS - *Network Domain Security*
NE - *New Radio-Evolved Universal Terrestrial Radio Access*
NEA - *New Radio Encryption Algorithm*
NEF - *Network Exposure Function*
NEO – *Network Operations*
NESAS - *Network Equipment Security Assurance Scheme*
NF - *Network Functions*
NFFG - *Network Function Forwarding Graph*
NFV - *Network Functions Virtualization*
NG - *Next Generation*
NGA - *Next Generation Access*
NGCN - *Next Generation Core Network*
NGEN - *Next Generation Radio Access Network Evolved Universal Terrestrial Radio Access-New Radio*
ng-eNB - *evolved* NodeB
NGMN - *Next Generation Mobile Network*
NG-RAN - *Next Generation Radio Access Network*
NH – *Next Hop*
NIA - *New Radio Integrity Algorithm*
NMT - *Nordic Mobile Telephone*
NOMA - *Non-Orthogonal Multiple Access*
NR – *New Radio*
NRB – *New Radio Bandwidth*
NRF - *Network Repository Functions*
NS - *Network Slicing*
NSA – *Non-Standalone*
NSP - *Network Service Provider*
NSSAA - *Network Slice Specific Authentication and Authorization*
NSSAAF - *Network Slice-Specific Authentication and Authorization Function*
NSSF - *Network Slice Selection*
NSSAI - *Network Slice Selection Assistance Information*
NVDAF - *Network Data Analytics Function*
N3IWF - *non-3GPP Interworking Function*
NWDAF - *Network Data Analytics Function*
OEBS – Organizacija za Evropsku Bezbjednost i Saradnju
OECD - *Organisation for Economic Co-operation and Development*
OFDMA - *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*
OSP - *Online Service Providers*

OSS - *Operations Support System*
OTA - *Over the Air*
O&M - *Operations & Maintenance*
PaaS - *Platform as a Service*
PAPR - *Peak-to-Average-Power-Ratio*
PBCH - *Physical Broadcast Channel*
PCF - *Policy Control Function*
PCRF - *Policy and Charging Enforcement Function*
PDC - Personal Digital Cellular
PDCCH - *Physical Downlink Control Channel*
PDCP - *Packet Data Convergence Protocol*
PDSCH - *Physical Downlink Shared Channel*
PDU - *Packet Data Unit*
PDN – *Packet Data Network*
P-GW - *Proxy Gateway*
PEI - *Permanent Equipment Identifier*
PFCP - *Packet Forwarding Control Plane*
PGW - *Packet Gateway*
PKI - *Public Key Infrastructure*
PLC - *Programmable Logic Controllers*
PLMN - *Public Land Mobile Network*
PPDR - *Public Protection and Disaster Relief*
PPP - *Infrastructure Public Private Partnership*
PRACH - *Physical Random-Access Channel*
PSK - *Phase Shift Keying*
PSS - *Primary Synchronization Signal*
PT-RS - *Phase-Tracking - Reference Signals*
PUCCH - *Physical Uplink Control Channel*
PUSCH - *Physical Uplink Shared Channel*
QAM - *Quadrature Amplitude Modulation*
QoS - *Quality of Service*
RAN - *Radio Access Network*
RAT - *Radio Access Technology*
RFC - *Request for Comments*
RG - *Residential Gateway*
RIT – *Radio Interface Technology*
RLAN - *Radio Local Area Networks*
RLC - *Radio Link Control*
RM - *Registration Management*
RNL - *Radio Network Layer*
RRC - *Radio Resource Control*
RRH - *Remote Radio Head*
RRM - *Radio Resource Management*
RSE - *RAN Sharing Enhancements*
RSPG - *Radio Spectrum Policy Group*
RSU – *Road-side unit*
RTT - *Round Trip Time*
RU – *Radio Units*
SA - *System Architecture*

SAE - *System Architecture Evolution*
SAS - *Service Access Point*
SAWAP - *Small-Area Wireless Access Point*
SBA - *Service Based Architecture*
SCAS - *Security Assurance Specification*
SCF - *Service Control Function*
SCP - *Service Communication Proxy*
SDG - *Sustainable Development Goals*
SEAF - *Security Anchor Functionality*
SEPP - *Security Edge Protection Proxy*
SCEF - *Service Capability Exposure Function*
SC-FDMA - *Single-Carrier Frequency Division Multiplexing Access*
SCM - *Security Context Management*
SCTP - *Stream Control Transmission Protocol*
SDL - *Supplemental* Downlink
SDN – *Software Defined Networking*
SDS - *Structured Data Storage*
SDSF - *Structured Data Storage Network Function*
SDU – *Service Data Units*
SGSN - *Serving GPRS Support Node*
SGW - *Serving Gateway*
SEAF - *SEcurity Anchor Function*
SECAM - *Security Assurance Methodology*
SEG - *Security Gateway*
SFN - *Single Frequency Network*
SIB - *System Information Block*
SIC - *Successive Interference Cancellation*
SIDF - *Subscription Identifier De-concealing Function*
SIGTRAN - *Signaling Transport*
SIM - *Subscriber Identity Module*
SLA - *Service Level Agreement*
SM - *Session Management*
SMAL - *Short Message Application Layer*
SM-CP - *Short Message Control Protocol*
SM-DP - *Subscription Manager Data Preparation*
SMC - *Short Message Control*
SMF - *Session Management Function*
SMR - *Short Message Relay*
SMRL - *Short Message Relay Layer*
SM-RP - *Short Message Relay Protocol*
SMS - *Short Message Service*
SMSF - *Short Message Service Function*
SMTL - *Short Message Transfer Layer*
SN - *Secondary Node*
SNSSAI – *Single Network Slice Selection Assistance Information*
SON – *Self Optimizing Network*
SRIT - *set of* RITs
SRS - *Sounding Reference Signals*
SSC - *Session and Service Continuity*

SSS - *Secondary Synchronization Signal*
SUCI - *Subscription Concealed Identifier*
SUPI - *Subscription Permanent Identifiers*
TACS - *Total Access Communications System*
TCAP - *Transaction Capabilities Application Part*
TCP - *Transmission Control Protocol*
TD-CDMA - *Time Division* CDMA
TDMA - *Time Division Multiple Access*
TDD - *Time Division Duplexing*
TDF - *Traffic Detection Function*
TIA - *Telecommunications Industry Association*
TI-SCCP - *Transport Independent Signaling Connection Control Part*
TLV – *Type Length Value*
TLS - *Transport Layer Security*
TNL - *Transport Network Layer*
TR – *Technical Report*
TRxPs – *Transmission Reception Points*
TSDS - *Telecommunications Standards Development Society*
TTA - *Telecommunications Technology Association*
TTC - *Telecommunication Technology Committee*
UAV - *Unmanned Aerial Vehicle*
UDF - *User Plane Function*
UDM - *Unified Data Management*
UDP - *User Datagram Protocol*
UDR - *Unified Data Repository*
UDSF - *Unstructured Data Storage Function*
UE - *User Equipment*
UHD – *Ultrahigh Definition*
UICC - *Universal Integrated Circuit Card*
UL - *Uplink*
UL-CL - *Uplink Classifier*
UMTS - *Universal Mobile Telecommunication System*
UN - *United Nations*
UP - *User Plane*
UPF - *User Plane Function*
URLLC – *Ultra Reliable Low Latency Communications*
USB - *Universal Serial Bus*
USI - *User's Subscription Information*
USIM - *Universal Subscriber Identity Module*
VAS – *Value Added Service*
VDSL - *Very high bit rate Digital Subscriber Line*
VNF - *Virtual Network Functions*
VoLTE - *Voice over LTE*
VPLMN - *Visited Public Land Mobile Network*
VPN – *Virtual Private Networks*
VR - *Virtual Reality*
vSEPP - *Visited Network's Security Proxy*
V2X - *Vehicle-to-everything*
WCDMA - *Wideband Code Division Multiple Access*

WHO - *World Health Organization*
WiMAX - *Worldwide Interoperability for Microwave Access*
WP5D - *ITU Working Party 5D*
WLAN - *Wireless Local Area Network*
WRC - *World Radio Conference*
W-AGF - *Wireline Access Gateway Function*
W-5GAN - *Wireline 5G Access Network*
XaaS - *Anything as a Service*
2G - Druga generacija celularnih mreža
3G - Treća generacija celularnih mreža
4G - Četvrta generacija celularnih mreža
4IR – Četvrta Industrijska Revolucija
5G - Peta generacija celularnih mreža
5G-AN - 5G *Access Network*
5GC - *5G Core*
3GPP - *3rd Generation Partnership Project*
5GS – 5G *Systems*

REFERENCE

[1] Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost: „Izvještaj o radu za 2019. god.“, Podgorica, 2020.

[2] Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost: „Informacija o stanju tržišta elektronskih komunikacija-mobilna telefonija“, decembar 2020.
(http://www.ekip.me/izvjestaji/mobilna.php)

[3] Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost: „Informacija o stanju tržišta elektronskih komunikacija-Internet“, decembar 2020.
(http://www.ekip.me/izvjestaji/ibpristup.php)

[4] Michal Szydelko, Marcin Dryjanski: „*Spectrum Toolbox Survey: Evolution Towards 5G*“, 2015.

[5] Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost: „Analiza rezultata mjerenja parametara kvaliteta usluge u javnim mobilnim elektronskim komunikacionim mrežama u cilju provjere ispunjenosti zahtjeva iz odobrenja“, april 2020.

[6] Internet stranice operatora: www.telekom.me, www.telenor.me, www.mtel.me, www.telemach.me.

[7] Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost: „Stepen pokrivenosti signalom mobilnih mreža“, januar 2021.

[8] „Studija o mogućnostima korišćenja radio-frekvencija iz opsega 694-790MHz, 1452-1492MHz, 2300-2400MHz, 3400-3600MHz i 3600-3800MHz za IMT sisteme“, Institut za razvoj i istraživanja zaštite na radu Podgorica, avgust 2017.

[9] „Strategija razvoja informacionog društva Crne Gore do 2020. Godine“, Vlada Crne Gore, 2016.

[10] K .H. Tantawi, A. Sokolov: *„Advances in Industrial Robotics: From Industry 3.0 Automation to Industry 4.0 Collaboration”*, *4th Technology Innovation Management and Engineering Science International Conference* (TIMES-iCON), Decembar 2019.

[11] T. Farley: „Mobile telephone history”,Telektronikk Journal, vol.3, no. 4, pp. 22–34, 2005.

[12] F.Hillebrand: „*GSM, UMTS: The Creation of Global Mobile Communication*”, John Wiley, 2002.

[13] *International Telecommunications Union Radio (ITU-R): „Detailed specifications of the terrestrial radio interfaces of International Mobile Telecommunications-2000’”, Recommendation* ITU-R M.1457-12, Februar 2015.

[14] H. Holma, A. Toskala: „*HSDPA/HSUPA for UMTS*“, John Wiley, 2007.

[15] Y. Yuan: „*TE-Advanced Relay Technology and Standardization*”, Springer, 2013.

[16] *Qualcomm Incorporated*: „*New work item: Narrowband IOT (NB-IOT)*”, *Work Item* RP-151621, 3GPP TSG RAN *Meeting* 69, Septembar 2015.

[17] *T-Mobile*: „*5G Architecture Options - Full Set*”, RP-161266 *of* RAN/SA *meeting*, 3GPP, Busan, 2016.

[18] 3GPP: 3GPP TSG-SA WG3 *Meeting* 91, CR S3-181517, 3GPP S3, 2018.

[19] 3GPP TS 38.401, 3GPP, 2018.
[20] 3GPP TS 23.501: *„System Architecture for the 5G System, Release* 15, V. 15.1.0", 3GPP, 2018.
[21] J. T. J. Penttinen: *„5G Explained: Security and Deployment of Advanced Mobile Communications*", John Wiley, 2019.
[22] A. Osseiran: *„5G Mobile and Wireless Communications Technology*", *Cambridge University Press*, 2016.
[23] *„Enabling ICN in 3GPP's 5G NextGen Core Architecture*", IETF, Octobar 2017.
[24] *„Control and User Plane Separation of EPC nodes (CUPS)*", 3GPP, 2017.
[25] 3GPP TS 23.501: *„System Architecture for the 5G System*", *Release* 15, 3GPP, 2018.
[26] P. Eronen: "2006 IKEv2 *Mobility and Multihoming Protocol* (MOBIKE)", IETF, 2007.
[27] Peter Schmitt (*Huawei*): „2017 *Control and User Plane Separation of EPC nodes (CUPS)*", 3GPP, 2018.
[28] „IR.34 – *Guidelines for IPX Provider networks; Version 9.1*", GSMA, 2013.
[29] 3GPP TS 24.011: "*Point-to-Point* (PP) *Short Message Service (SMS)*", *Release* 15, 3GPP, 2018.
[30] https://www.itu.int/en/myitu/News/2020/01/24/14/40/WRC19-identifies-additional-frequency-bands-for-5G, posjeta februar 2021.
[31] G. Kongara: *„A Comparison of CP-OFDM, PCC-OFDM and UFMC for 5G Uplink Communications*", *Proceedings of the IEEE*, vol. 7, pp. 157574 - 157594, Decembar 2019.
[32] Q. Y. Liau: *„Successive User Relaying in Cooperative NOMA System*", *Proceedings of the IEEE*, vol. 8, issue 3, pp. 921 - 924, Jun 2019.
[33] M. A. Habibi: *„A Comprehensive Survey of RAN Architectures Toward 5G Mobile Communication System*", *Proceedings of the IEEE Access*, vol. 7, pp. 70371 - 70421, Maj 2019.
[34] B. M. Lee: "Massive MIMO With Massive Connectivity for Industrial Internet of Things", Proceedings of the IEEE Access, vol. 67, issue 6, pp. 5187 - 5196, July 2019.
[35] T. L. Marzetta: *„Non-cooperative cellular wireless with unlimited numbers of base station antennas*", *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 9, no. 11, pp. 3590-3600, Novembar 2010.
[36] J. Lee: *„Performance Analysis and Resource Allocation for Cooperative D2D Communication in Cellular Networks With Multiple D2D Pairs*", *Proceedings of the IEEE Communications Letters*, vol. 23*, issue* 5, pp. 909 - 912, Maj 2019.
[37] LTE&5G *Subscribers*: December 2020 – Q3 *Growth and Forecast*, GSA *report* https://gsacom.com/reports/, pristupano 17.12.2020.
[38] ITU-R Report M.2370-0: *„IMT traffic estimates for the years 2020 to 2030",* Jul 2015.
[39] *Ericsson Mobility Report*, Novembar 2020.
https://www.ericsson.com/4adc87/assets/local/mobility-eport/documents/2020/november-2020-ericsson-mobility-report.pdf

.

[40] D3.4: *„Harmonization of standars for 5G technologies, H2020 project, EU-China study on IoT and 5G*", *Grant Agreement no*. 723227, Novembar 2016 – Januar 2019.

[41] ITU-R *Recommendation* M.2083-0: *„IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond*", Septembar, 2015.

[42] W. Xiang, K. Zheng, X. Shen: *„5G Mobile Communications*", Springer, 2017.

[43] https://www.bcg.com/publications/2019/5g-will-take-different-kind-launch

[44] P. Schulz, M. Matthe, H. Klessig, i ostali: *„Latency Critical IoT Applications in 5G: Perspective and the Design of Radio Interface and Network Architecture*", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, no. 2, pp. 70-78, Februar 2017.

[45] B. Soret, P. Mogensen, K. I. Pedersen, and M. C. Aguayo-Torres: *„Fundamental Tradeoffs among Reliability, Latency and Throughput in Cellular Networks*", *Proc. Globcom Conf.*, pp. 1391-1396, Decembar 2014.

[46] 3GPP Technical Report 38.913, V0.3.0: *„Study on scenarios and requirements for next generation access technologies*", Mart 2016.

[47] 3GPP Technical Report 38.913, V16.0.0: *„5G Study on scenarios and requirements for next generation access technologies*", Jul 2020.

[48] *„5G white paper*", NGMN *Alliance*, Mart 2015.

[49] https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-2020-12-billion-iot-connections-surpassing-non-iot-for-the-first-time/ , pristupano 24.12.2020.

[50] ITU-R Report M.2410-0: *„Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s)",* Novembar 2017.

[51] *Ericsson white paper*: *„5G deployment considerations*", 2018.

[52] I. Parvez, A. Rahmati, I. Guvenc, A. I. Sarwat and H. Dai: *„A Survey on Low Latency Towards 5G: RAN, Core Network and Caching Solutions*", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20, no. 4, pp. 3098-3130, 2018.

[53] IMT-2020: „5G *vision and requirements*", (5G) *Promotion Group white paper*.

[54] *NGMN Alliance: „5G White Paper 2",* Jul 2020.

[55] *„Connected Manufacturing - A guide to Industry 4.0 transformation with private cellular technology*", *Ericsson in partnership with Hexagon*, Novembar 2020.

[56] *Great Expectations*: *„Sizing the Opportunity in Vertical Industries*", *Interdigital Survey report, published by Mobile World Live*, Mart 2020.

[57] *„Green 5G: Building a sustainable worlds*", *Huawei*, Avgust 2020.
https://www.huawei.com/en/public-policy/green-5g-building-a-sustainable-world

[58] 3GPP *Techical Specification* TS 22.261, *ver.* 15.8.0: *„5G Service requirements for next generation new services and markets*", Octobar 2019.

[59] 3GPP *Techical Specification* TS 22.186*, ver. 15.3.0: „5G Service requirements for enhanced V2X scenarios",* Jul 2018.

[60] LTE&5G *Subscribers*: *„December 2020 – Q3 Growth and Forecast*", GSA *report*, 2020. https://gsacom.com/reports/, pristupano 17.12.2020.

[61] *„Harnessing the 5G consumer potential", Ericsson report*, Novembar 2020.
[62] *„Did 5G Just Get Real*?", *Keysight blogs – industry insights*, Novembar 2020. https://blogs.keysight.com/blogs/inds.entry.html/2020/10/31/did_5g_just_get_real-1ryQ.html?elq_cid=1053874&cmpid , pristupano 19.12.2020.
[63] *European Commission*: *„A Digital Single Market Strategy for Europe*", 2015.
[64] *European Commission: „Connectivity for a Competitive Digital Single Market - Towards a European Gigabit Society", 2016.*
[65] *European Commission: „Shaping Europe's digital future", 2020.*
[66] *European Commission: „5G for Europe: Action plan", 2016.*
[67] *DIRECTIVE (EU) 2018/1972 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing the European Electronic Communications Code,* 2018.
[68] *5G Observatory Quarterly Report 10 (A study prepared for the European Commission DG Communications Networks, Content & Technology by IDATE DIGIWORLD),* Januar 2021.
[69] *European Commission - COCOM Working Group on 5G: „Report on the exchange of Best Practices concerning national broadband strategies and 5G "path-to-deployment",* Septembar 2018.
[70] *European Commission - RADIO SPECTRUM POLICY GROUP: „STRATEGIC ROADMAP TOWARDS 5G FOR EUROPE - Opinion on spectrum related aspects for next-generation wireless systems (5G)", Novembar 2016.*
[71] *European Commission: „ICT Standardisation Priorities for the Digital Single Market", 2016.*
[72] *European Commission: „Implementing Regulation to pave the way for high capacity 5G network infrastructure", Jul 2020.*
[73] Internet stranice nacionalnih regulatora u razmatranim državama.
[74] *5G Country profile: Republic of Albania, ITU,* Octobar 2020.
[75] *5G Country profile: Republic of Serbia, ITU,* Octobar 2020.
[76] *5G Country profile: Republic of North Macedonia, ITU,* Octobar 2020.
[77] *5G Country profile: Bosnia and Herzegovina, ITU,* Octobar 2020.
[78] *Memorandum of understanding on 5G roadmap for digital transformation in Western Balkans region,* Tirana, Novembar 2020.
[79] *Ericsson Mobility Report,* 2019.
[80] *The 5G Economy: „How 5G will contribute to the global economy", IHS Markit,* 2019.
[81] *„5G for the Fourth Industrial Revolution", PwC Strategy and World Economic Forum,* 2019.
[82] *ENISA Threat Landscape for 5G Networks, European Union Agency for Cybersecurity,* Decembar 2020.
[83] TS 133.501 5G*: „Security architecture and procedures for 5G System", 3GPP TS 33.501 version 15.4.0 Release 15,* ETSI, 2019.

[84] TS 33.517 5G: *„Security Assurance Specification (SCAS) for the Security Edge Protection Proxy (SEPP) network product class*", ETSI, 2019.

[85] TS 33.401: *„3GPP System Architecture Evolution (SAE); Security architecture*", ETSI, 2019.

[86] TS 33.511: *„Security Assurance Specification (SCAS) for the next generation Node B (gNodeB) network product class"*, ETSI, 2019.

[87] TS 33.210: *„Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; 3G security; Network Domain Security (NDS); IP network layer security*", 3GPP TS 33.210, *version* 12.2.0 Release 12, ETSI, 2014.

[88] TS 33.310: *„Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Network Domain Security (NDS); Authentication Framework (AF)*", 3GPP TS 33.310 *version* 10.4.0 *Release* 10, ETSI, 2011.

[89] TS 38.470 5G: *„NG-RAN; F1 general aspects and principles*", 3GPP TS 38.460 *version* 16.2.0 *Release* 16, ETSI, 2020.

[90] TS 38.460 5G: *„NG-RAN; E1 general aspects and principles*", 3GPP TS 38.460 *version* 16.2.0 *Release* 16, ETSI, 2021.

[91] TS 33.512 5G: *„Security Assurance Specification (SCAS); Access and Mobility management Function (AMF)*", ETSI, 2019.

[92] TS 33.514 5G: *„Security Assurance Specification (SCAS) for the Unified Data Management (UDM) network product class*", ETSI, 2019.

[93] TS 33.516 5G: *„Security Assurance Specification (SCAS) for the Authentication Server Function (AUSF) network product class*", ETSI, 2019.

[94] TS 33.518 5G: *„ Security Assurance Specification (SCAS) for the Network Repository Function (NRF) network product class*", ETSI, 2019.

[95] RFC 3748: *„Extensible Authentication Protocol (EAP)*", IETF, 2004.

[96] RFC 5448: *„Improved Extensible Authentication Protocol Method for 3rd Generation Authentication and Key Agreement (EAP-AKA)*", IETF, 2009.

[97] TS 33.520 5G: *„Security Assurance Specification (SCAS); Non-3GPP InterWorking Function (N3IWF)*", ETSI, 2019.

[98] TS 23.502: *„Procedures for the 5G System*", 3GPP TS 23.502 *version* 15.2.0 *Release* 15, ETSI, 2018.

[99] TS 38.323 5G; NR; *„Packet Data Convergence Protocol (PDCP) specification*", 3GPP TS 38.323 *version* 15.2.0 *Release* 15, ETSI, 2018.

[100] RFC 7296: *„Internet Key Exchange Protocol Version 2* (IKEv2)", IETF, 2014.

[101] TS 23.501 5G: „System architecture for the 5G System (5GS)", 3GPP TS 23.501 version 16.6.0 *Release* 16), ETSI, 2020.

[102] RFC 6083: *„Datagram Transport Layer Security (DTLS) for Stream Control Transmission Protocol* (SCTP)", IETF, 2011.

[103] RFC 7540: *„Hypertext Transfer Protocol Version* 2 (HTTP/2)", IETF, 2015.

[104] RFC 2818: „HTTP *Over* TLS", IETF, 2000.

[105] TS 28.533 5G: *„Management and orchestration; Architecture framework*", 3GPP TS 28.533 *version* 15.0.0 *Release* 15), ETSI, 2018.

[106] TS 28.531 5G: *„Management and orchestration; Provisioning*", 3GPP TS 28.531 *version* 15.4.0 *Release* 15), ETSI, 2018.

[107] RFC 7858: *„Specification for DNS over Transport Layer Security (TLS)"*, IETF, 2016.

[108] RFC 8310: *„Usage Profiles for DNS over TLS and DNS over DTLS"*, 2018.

[109] RFC 4890: *„Recommendations for Filtering ICMPv6 Messages in Firewalls"*, IETF, 2007.

[110] TS 23.273 3GPP TS 23.273: *„5G System (5GS) Location Services (LCS)"*, *Stage* 2, ETSI, 2020.

[111] TS 38.305: „NG Radio Access Network (NG-RAN); Stage 2 functional specification of User Equipment (UE) positioning in NG-RAN", ETSI, 2020.

[112] FS.13 Network Equipment Security Assurance Scheme – Overview, GSMA, 2019.

[113] FS.14 Network Equipment Security Assurance Scheme – Security Test Laboratory Accreditation, GSMA, 2019.

[114] FS.15 Network Equipment Security Assurance Scheme – Product Development and Lifecycle Accreditation Methodology, GSMA, 2019.

[115] FS.16 Network Equipment Security Assurance Scheme – Vendor Development and Product Lifecycle Security Requirements, GSMA, 2020.

[116] TR 33.916: *„Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Security Assurance Methodology (SCAS) for 3GPP network products"*,3GPP TR 33.916 *version* 16.0.0 *Release* 16, ETSI, 2020.

[117] TR 33.926: *„Security Assurance Specification (SCAS) threats and critical assets in 3GPP network product classes"*, 3GPP TR 133 926 V13.0.0 *Release* 13, ETSI, 2016.

[118] TS 33.513 5G: *„Security Assurance Specification (SCAS); User Plane Function (UPF)"*.

[119] TS 33.515 5G: *„Security Assurance Specification (SCAS) for the Session Management Function (SMF) network product class"*, ETSI, 2019.

[120] TS 33.519 5G: *„Security Assurance Specification (SCAS) for the Network Exposure Function (NEF) network product class"*, ETSI, 2019.

[121] TS 33.521 5G: *„Security Assurance Specification (SCAS); Network Data Analytics Function (NWDAF)"*, ETSI, 2019.

[122] TS 33.522 5G: *„Security Assurance Specification (SCAS); Service Communication Proxy (SECOP)"*, ETSI, 2020.

[123] TR33.818: *„Security Assurance Methodology (SECAM) and Security Assurance Specification (SCAS) for 3GPP virtualized network products"*, ETSI, 2018.

[124] FS.36: „5G *Interconnect Security*", GSMA, 2020.

[125] NG.113: „5GS *Roaming Guidelines*", GSM, 2020.

[126] *DIRECTIVE (EU) 2018/1972 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on measures to reduce the cost of deploying high-speed electronic communications networks*, 2014.

[127] BEREC *Document* BoR (19) 245: *„A first assessment based on stakeholder inputs - Report on the impact of 5G on regulation and the role of regulation in enabling the 5G ecosystem"*, 2019.

[128] BEREC *Document* BoR (20) 223: *„Guide to the BEREC 5G Radar", 2020*.

[129] Zakon o elektronskim komunikacijama, "Službeni list CG", br. 40/13, 56/13, 2/17 i 49/19.

[130] Plan namjene radio-frekvencijskog spektra, "Službeni list CG", br. 89/20 i 104/20.

[131] ITU-T Rec. E.164: „*The international public telecommunication numbering plan*".

[132] ECC/ERC/(11)03: „*ECC Recommendation on numbering and Addressing for Machine-to-Machine (M2M) communications*", 2011.

[133] BEREC Document BoR (19) 114: „*BEREC guidelines on common criteria for the assessment of the ability to manage numbering resources by undertakings other than providers of electronic communications networks or services and of the risk of exhaustion of numbering resources if numbers are assigned to such undertakings*".

[134] ETSI GR IP6 011: „*IPv6-Based 5G Mobile Wireless Internet; Deployment of IPv6-Based 5G Mobile Wireless Internet*".

[135] Plan migracije na protokol IPv6 u Crnoj Gori, Institut za razvoj i istraživanje u oblasti zaštite na radu, 2019.

[136] BEREC Document BoR (19) 110: "*BEREC Common position on infrastructure sharing*".

[137] *Decision* (15)01: „*Harmonised technical conditions for mobile/fixed communications networks (MFCN) in the band 694-790 MHz including a paired frequency arrangement (Frequency Division Duplex 2x30 MHz) and an optional unpaired frequency arrangement (Supplemental Downlink)*", 2015.

[138] *Commission Decision* (EU) 2016/687 *on the harmonisation of the 694-790 MHz frequency band for terrestrial systems capable of providing wireless broadband electronic communications services and for flexible national use in the Union*, 2016.

[139] *Decision (EU) 2017/899 of the European Parliament and of the Council on the use of the 470-790 MHz frequency band in the Union, 2017*.

[140] *Commission Decision 2014/276/EU on amending Decision 2008/411/EC on the harmonisation of the 3400-3800 MHz frequency band for terrestrial systems capable of providing electronic communications services in the Community, 2014*.

[141] *Commission implementing Decision (EU) 2019/784 on harmonisation of the 24,25-27,5 GHz frequency band for terrestrial systems capable of providing wireless broadband electronic communications services in the Union, 2019*.