

LEVEL OF TECHNOLOGICAL - TECHNICAL DEVELOPMENT AND AVAILABILITY OF MOBILE COMMUNICATION NETWORKS AND SERVICES IN MONTENEGRO AND PERSPECTIVES FOR FURTHER DEVELOPMENT

Mersad Mujević

International University in Novi Pazar, Serbia, mersad.mujevic@uninp.edu.rs

Abstract: New technologies such as cloud computing, artificial intelligence and machine learning, augmented and virtual reality, IoT and billions of connected devices are pushing boundaries and setting new demands on connectivity and mobile communication performance. network. The development of mobile technologies is faster and more widespread among users every year. Mobile technologies are portable technologies that enable user mobility during use. We also share simple mobile or wireless networks, mobile devices and mobile services. With the advent of new wireless networks such as 4G, 5G WiMAX and advanced WLANs, new applications and service delivery are opening up. Development in the field of mobile devices is moving towards human-friendly interfaces, fast data transfer, powerful multimedia players and universal communication devices that will enable users to communicate directly with other users, office and home appliances. Services will be increasingly personalized, which means that functions and content will be tailored to each user individually.

Keywords: 5G, mobile technologies, performance, communication networks, computer networks.

NIVO TEHNOLOŠKO - TEHNIČKOG RAZVOJA I DOSTUPNOSTI MOBILNIH KOMUNIKACIONIH MREŽA I USLUGA U CRNOJ GORI I PERSPEKTIVA DALJEG RAZVOJA

Mersad Mujević

Internacionalni Univerzitet u Novom Pazaru, Srbija, mersad.mujevic@uninp.edu.rs

Abstrakt: Nove tehnologije kao što su cloud computing, vještačka inteligencija i mašinsko učenje, proširena i virtuelna stvarnost, IoT i milijarde povezanih uređaja pomjeraju granice i postavljaju nove zahtjeve u pogledu konektivnosti i performansi mobilnih komunikacionih mreža. Razvoj mobilnih tehnologija je iz godine u godinu brži i sve rašireniji među korisnicima. Mobilne tehnologije su prenosive tehnologije koje omogućavaju mobilnost korisnika tokom upotrebe. Dijelimo ih najjednostavnije na mobilne ili bežične mreže, mobilni uređaji i mobilne usluge. Sa pojavom novih bežičnih mreža kao što je 4G, 5G WiMAX i napredni WLAN-ovi otvaraju nove aplikacije i pružanje usluga. Razvoj u oblasti mobilnih uređaja ide u pravcu čovjeka korisnički prilagođeni interfejsi, brzi prenos podataka, moćni multimedijalni plejeri i univerzalni komunikacioni uređaji koji će omogućavaju korisnicima direktnu komunikaciju sa drugim korisnicima, i kancelarijskim i kućnim aparatima. Usluge će biti sve više personalizirane, što znači da će funkcije i sadržaj biti prilagođeni svakom korisniku posebno.

Ključne riječi: 5G, mobilne tehnologije, performanse, komunikacione mreže, računarske mreže.

1. STEPEN TEHNIČKO - TEHNOLOŠKOG RAZVOJA MOBILNIH KOMUNIKACIONIH MREŽA U CRNOJ GORI

Prema stepenu i dinamici tehničko - tehnološkog razvoja i dostupnosti naprednih usluga, kao i prema stepenu tržišne konkurencije, mobilne komunikacije predstavljaju najrazvijeniji segment tržišta telekomunikacija u Crnoj Gori, [1], [2] i [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 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 u Crnoj Gori: Telenora, Telekom i Mtela, su zasnovane na harmonizovanim standardima druge, treće i četvrte generacije – 2G, 3G i 4G. 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 opspezi 800MHz ili 900MHz, 1800MHz i 2100MHz ili 2600MHz. Opsjezi 900MHz, 1800MHz i 2100MHz za UMTS i LTE se koriste na bazi refarming-a spektra. Stepenu tehničko - 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 uslovljava 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 na uplink-u i HSPA+ tehnologiju na downlinku. 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 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 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. 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 uplinku.

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 Telenora i T-Mobilea 2012, odnosno 2013. godine, a u mreži Mtelea nešto kasnije, 2016. godine. Bez obzira što je prema ITU nomenklaturi zvanično dio IMT-2000 familije standarda, LTE se, zbog činjenice da se zasniva na potpuno novom konceptu višestrukog pristupa i all-IP komutaciji, tretira kao 4G tehnologija.

Međutim, tek sa komercijalnom ekspanzijom LTE-Advanced sistema, 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 dat je pregled karakteristika 3GPP standarda, koje se odnose na LTE tehnologiju i unaprjeđenja,[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 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 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 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 u cilju omogućavanja kapaciteta do 1Gb/s po ćeliji, ali je izostala komercijalna primjena.

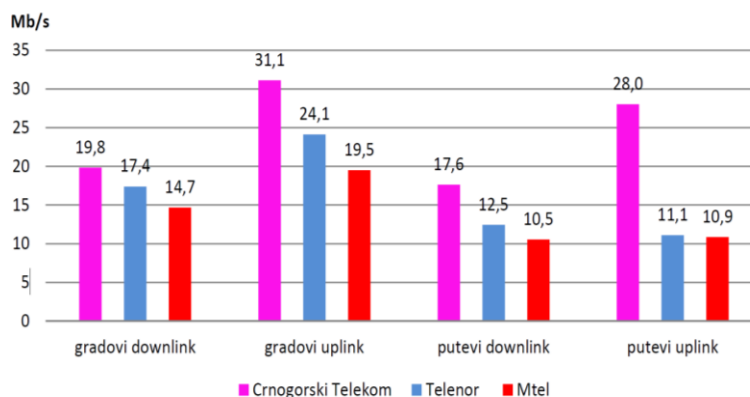
Tabela 1: Karakteristike LTE standarda i unapređenja po 3GPP specifikacijama

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 sproveda 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.

Slika 1. Prosječna brzina prenosa podataka u mobilnim mrežama po FTP sesiji



Prema istim mjerenjima, u urbanim područjima je postignuti protok na downlink-u u mrežama T-Mobile-a i Telenora 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-Mobilea je u 90% sesija bio veći od 10Mb/s.

Stepen uspješno započelih i završenih sesija prenosa podataka tokom mjerne kampanje se kretao od 97,5% u mreži T-Mobilea, preko 98,8% u mreži Mtela, 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-Mobilea i Telenora, dok je ovaj udio u mreži Mtela 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 Mtela na putevima, gdje je tokom mjerne kampanje kroz GSM mrežu realizovano relativno visokih 8,5% od ukupnog broja sesija prenosa podataka.

Usluga prenosa govora se u sve tri mobilne mreže pruža posredstvom GSM/DCS1800 i UMTS mreža, na bazi komutacije kola. VoLTE tehnologija još uvijek nije implementirana, što predstavlja bitan indikator tržišta mobilnih komunikacija sa aspekta tehnološkog razvoja. Prema rezultatima mjerenja parametara kvaliteta usluge u mobilnim mrežama koja je Agencija sprovedla 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 napor 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 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.

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 EU. 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, glavne saobraćajnice, 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, ostvarena je za oko 97% stanovništva.

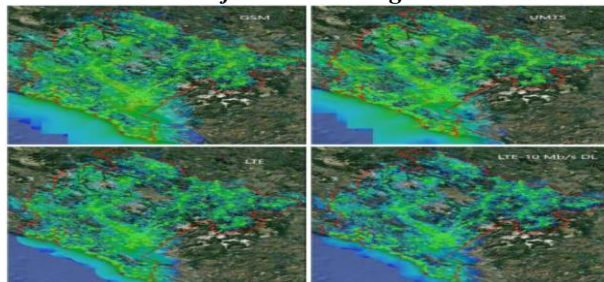
Imajući u vidu veoma zahtjevnu konfiguraciju terena u Crnoj Gori sa aspekta pokrivanja radio signalom, radio pristupni dio mreža sva tri operatora realizovan je sa prilično velikim brojem radio baznih stanica. Na kraju 2020. godine T-Mobile je imao aktivne radio bazne stanice za spoljašnje i tunelsko 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-Mobilea i Mtela je realizovan radio baznim stanicama na oko 350 lokacija, a Telenor-a na preko 400 lokacija. 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-Mobilea na kraju 2020. godine bilo je aktivno oko 300 Node B stanica (oko 130 u opsegu 900MHz), u mreži Telenora preko 400 Node B stanica (oko 110 u opsegu 900MHz), a u mreži Mtela oko 300 Node B stanica (80 realizovanih u opsegu 900MHz).

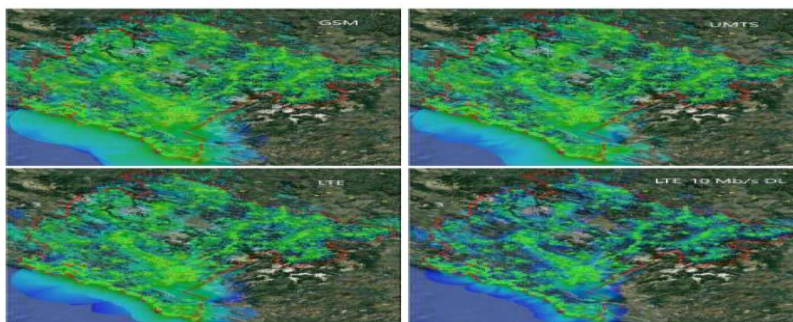
Najveći progres na planu razvoja mobilnih komunikacionih mreža u protekle tri godine se desio u pristupnom dijelu LTE/LTE-Advanced mreža sva tri operatora. Tako je T-Mobile do kraja 2020. godine implementirao LTE radio bazne stanice u opsezima 800MHz, 1800 MHz i 2600MHz na preko 350 lokacija, od čega 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 2. [7].

Slika 2. Pokrivenost teritorije Crne Gore signalom mreže T-Mobile-a



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 Telenora 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 Telenora, date su na Slici 3 [7].

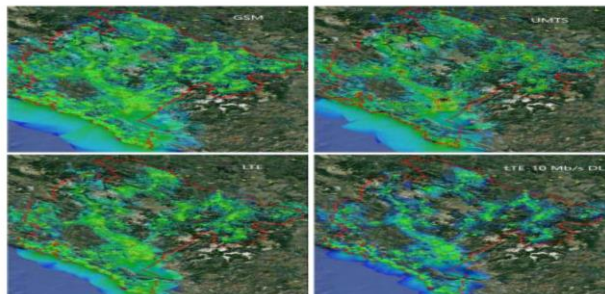
Slika 3. Pokrivenost teritorije Crne Gore signalom mreže Telenor-a



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 Mtela, date su na Slici 4. [7].

Slika 4. Pokrivenost teritorije Crne Gore signalom mreže Mtel-a



3. STEPEN TEHNIČKO - TEHNOLOŠKOG RAZVOJA I DOSTUPNOSTI ŠIROKOPOJASNIH KOMUNIKACIONIH MREŽA I USLUGA

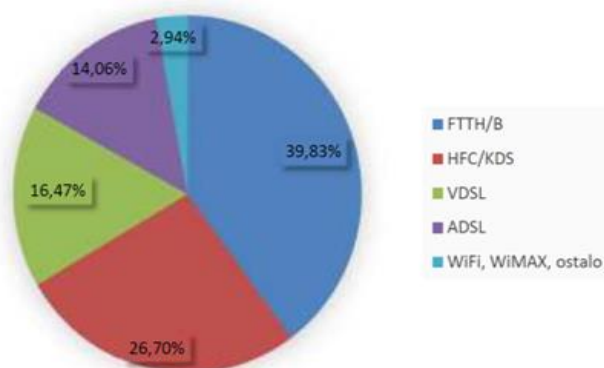
Za potrebe ovog rada, osim stepena razvoja i dostupnosti mobilnih komunikacionih mreža i usluga značajno je dati kratak pregled i stepena dostupnosti fiksnih širokopojasnih mreža i usluga. Ovo iz razloga što se širokopojasne mobilne mreže mogu efikasno iskoristiti za obezbjeđivanje širokopojasnog pristupa 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).

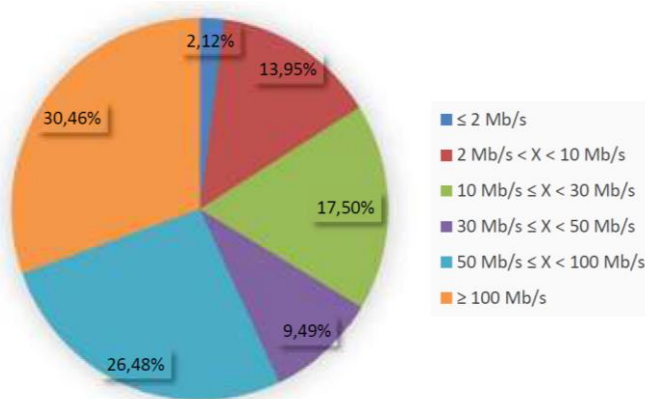
Kablovski distributivni sistemi (KDS), kroz implementaciju DOCSIS 3.0 standarda, pored distribucije audio-vizuelno medijskih sadržaja omogućavaju i pružanje usluga govorne telefonije i pristupa Internetu. U prethodnom periodu je izvršena migracija klasičnog KDS sa koaksijalnim kablovima ka unaprijeđenim sistemima, tzv. HFC mrežama, uvođenjem kablova sa optičkim vlaknima u distributivni dio mreže. Priključci na bazi KDS i HFC dostupni su u 18 opština. Na Slici 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 5. Učešće pojedinih tehnologija fiksnog pristupa na tržištu usluga prenosa podataka u Crnoj Gori



Na Slici 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 6. Struktura korisnika fiksnih usluga prenosa podataka u odnosu na brzinu pristupa u Crnoj Gori



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 DCHSPA (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 širokopoljanskih usluga prenosa podataka. 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.

LTE-Advanced Pro unapređenja 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 širokopoljanske (eMTC) IoT komunikacije. Na Slici 7 dato je poređenje ključnih tehnologija omogućenih u LTE-Advanced Pro i 5G NR mrežama [Izvor:Qualcom].

Slika 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 praćeni 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 infrastrukture, 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, i ako 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.

5. ZAKLJUČAK

Analiza stepena tehničko - tehnološkog razvoja mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori, zatim analiza dostupnosti mobilnih komunikacionih usluga, kao i procjena perspektive njihovog daljeg razvoja, pokazuje da je 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 DCHSPA 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 [8].

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.

LITERATURA

- Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost: „Izveštaj o radu za 2019. god.“, Podgorica, 2020.
- Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost: „Informacija o stanju tržišta elektronskih komunikacija-mobilna telefonija“, decembar 2020. (<http://www.ekip.me/izvjestaji/mobilna.php>)
- Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost: „Informacija o stanju tržišta elektronskih komunikacija-Internet“, decembar 2020. (<http://www.ekip.me/izvjestaji/ibpristup.php>)
- Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost: „Stepen pokrivenosti signalom mobilnih mreža“, januar 2021.
- 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.
- Internet stranice operatora: www.telekom.me, www.telenor.me, www.mtel.me, www.telemach.me.
- Pejanović – Đurišić, M., Veljović, Z., Kočan, E., Kuklinski, S., & Urošević, U. (2021). „Studije o strategiji uvođenja 5G mobilnih komunikacionih mreža u Crnoj Gori“, Institut za razvoj i istraživanjau oblasti zaštite na radu, Podgorica mart 2021.godina, <https://www.institutrz.com>.
- Szydelko, M., & Dryjanski, M. (2015). „Spectrum Toolbox Survey: Evolution Towards 5G“