



UNIVERZITET U BANJOJ LUCI
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET



**PASIVNA OPTIČKA MREŽA NOVE GENERACIJE NG-PON2
KAO PODRŠKA ZA 5G MOBILNE SISTEME**

MASTER RAD

Mentor:
Prof.dr Edvin Škaljo

Kandidat:
Amir Adilović

Banja Luka, maj 2022. godine



UNIVERSITY OF BANJA LUKA
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING



NEXT GENERATION PASSIVE OPTICAL NETWORK NG-PON2 TO SUPPORT 5G MOBILE SYSTEMS

MASTER THESIS

Mentor:
Prof. Edvin Škaljo, PhD

Candidate:
Amir Adilović

Banja Luka, May 2022.

INFORMACIJE O MENTORU I MASTER RADU

Mentor:

Prof.dr Edvin Škaljo

Vanredni profesor na Prirodno-matematičkom fakultetu Univerziteta u Sarajevu

Naslov master rada:

Pasivna optička mreža nove generacije NG-PON2 kao podrška za 5G mobilne sisteme

Rezime:

Osnovni cilj istraživanja je da se potvrdi efikasnost 5G mreže korištenjem NG-PON2 tehnologije. Zatim, da se javnom mnjenju publikuje značaj: NG-PON2 kao prioritet 5G mreže, brzina PON mreže nove generacije NG-PON2, značaj uvođenja NG-PON2, spremnost i analiza uticaja za 5G i podrška za uvođenjem 5G. Za postizanje osnovnog cilja, potrebno je ostvariti sljedeće specifične podciljeve: analizirati i prikazati stanje telekomunikacijske pristupne mreže; analizirati razvojna obilježja telekomunikacijskog prometa; analizirati karakteristike i značaj pristupnih mreža; analizirati ulogu regulatora za telekomunikacije; analizirati evoluciju kretanja generacija mobilnih telekomunikacija; analizirati karakteristike, tehničko-tehnološke elemente 5G mobilnih sistema; analizirati medicinski aspekt EM talasa za uvođenje 5G; analizirati stanje TK tržišta mobilnih tehnologija u svijetu sa osvrtom na 5G; analizirati evolucijski put od GPON do NG-PON2; analizirati karakteristike, tehničko-tehnološke elemente NG-PON2; analizirati aplikacije NG-PON2; analizirati tehničko-ekonomska rješenja za 5G sa NG-PON2; analizirati simulaciju opravdanosti NG-PON2 za 5G.

Ključne riječi:

Pristupna mreža, 5G, Elektromagnetno zračenje, Ekonomska efikasnost, NG-PON2, TWDM-PON, WDM-PON, Podrška, Simulacija

Naučna oblast:

Inženjerstvo i tehnologija

Naučno polje:

Elektrotehnika, elektronika i informaciono inženjerstvo

Klasifikaciona oznaka:

T170 - Elektronika, T180 - Telekomunikacioni inženjering

Tip odabrane licence Kreativne zajednice:

Autorstvo - nekomercijalno - bez prerade (CC BY-NC-ND)

Komisija za master rad:

Prof.dr Slavko Šajić, predsjednik

Prof.dr Edvin Škaljo, mentor

Doc.dr Jovan Galić, član

INFORMATION ABOUT MENTOR AND MASTER THESIS

Mentor:

Prof. Edvin Škaljo, PhD

Associate Professor at the Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Sarajevo

Title of master thesis:

Next generation passive optical network NG-PON2 to support 5G mobile systems

Summary:

The main goal of the research is to confirm the efficiency of the 5G network using NG-PON2 technology. Then, to publicize the importance of public opinion: NG-PON2 as a priority of the 5G network, the speed of the new generation PON network NG-PON2, the importance of the introduction of NG-PON2, readiness and impact analysis for 5G and support for the introduction of 5G. To achieve the basic goal, it is necessary to achieve the following specific sub-goals: analyze and present the state of the telecommunications access network; analyze the development characteristics of telecommunication traffic; analyze the characteristics and importance of access networks; analyze the role of telecommunications regulators; analyze the evolution of the movement of generations of mobile telecommunications; analyze the characteristics, technical-technological elements of 5G mobile systems; analyze the medical aspect of EM waves for the introduction of 5G; analyze the state of the telecommunications market in mobile technologies in the world with reference to 5G; analyze the evolutionary path from GPON to NG-PON2; analyze the characteristics, technical-technological elements of NG-PON2; analyze NG-PON2 applications; analyze technical-economic solutions for 5G with NG-PON2; analyze the NG-PON2 justification simulation for 5G.

Keywords:

Access Network, 5G, Electromagnetic Radiation, Economic Efficiency, NG-PON2, TWDM-PON, WDM-PON, Support, Simulation

Scientific area:

Engineering and Technology

Scientific field:

Electrical engineering, electronics and information engineering

Classification code:

T170 - Electronics, T180 - Telecommunication engineering

Type of license selected Creative Commons:

Authorship - Noncommercial - Without Processing (CC BY-NC-ND)

Committee of master thesis:

Prof. Slavko Šajić, PhD, Chairperson

Prof. Edvin Škaljo, PhD, Mentor

Assist.prof. Jovan Galić, PhD, Member

Zahvalnica

Želim da se zahvalim predavačima na postdiplomskom studiju:

- *Prof.dr Milan Šunjevarić*
- *Prof.dr Irini Reljin*
- *Prof.dr Slavko Šajić*
- *Doc.dr Željko Jungić*
- *Doc.dr Predrag Stefanov*

koji su strpljenjem i pedagoškim pristupom dali svoj doprinos u mojim novim naučnim vidicima.

Zahvaljujem se svom mentoru, prof.dr Edvin Škaljo, na ekspeditivnosti pri pisanju svoga rada.

Učenje je kao veslanje protiv struje. Čim prestaneš veslati, tj. učiti, neizostavno ideš nazad. (Benjamin Britten)

Amir Adilović



Sadržaj

1. Uvodna razmatranja	1
2. Obilježja telekomunikacijske pristupne mreže	3
2.1. Osnovni pojmovi	3
2.2. Razvojna obilježja telekomunikacijskog prometa	4
2.2.1. Razvoj telekomunikacija u svijetu	4
2.2.2. Periodi u razvoju telekomunikacija	8
2.2.3. Razvoj mobilne telefonije	8
2.2.4. Komunikacijska obilježja u Bosni i Hercegovini	9
2.3. Opisna shvatanja telekomunikacijske pristupne mreže	10
2.3.1. Infrastruktura telekomunikacija	10
2.3.2. Komunikacijski sistem	12
2.3.3. Komunikacijska mreža	14
2.3.3.1. Komponente i struktura telekomunikacijske mreže	16
2.3.3.2. Jezgrena mreža	18
2.3.3.3. Telekomunikacijska pristupna mreža	19
2.3.3.4. Vrste telekomunikacijskih mreža	22
2.4. Regulatorna agencija i dozvole	23
3. Trend mobilne mreže 5G	24
3.1. Evolucija generacija mobilnih komunikacija	24
3.1.1. Prva generacija mobilnih komunikacija (1G)	24
3.1.2. Druga generacija mobilnih komunikacija (2G)	25
3.1.3. Treća generacija mobilnih komunikacija (3G)	27
3.1.4. Četvrta generacija mobilnih komunikacija (4G)	28
3.2. Telekomunikacijska industrija i nove mobilne tehnologije (5G)	32
3.3. Osnovne karakteristike 5G	35
3.3.1. Brzina 5G	36
3.3.2. Latencija 5G	37
3.3.3. Frekvencijski spektar 5G	38
3.4. Arhitektura 5G mreže	39
3.5. Tehničko-tehnološki elementi 5G mobilnih sistema	41
3.5.1. Testiranje 5G mreža	41
3.5.2. Tehnologija 5G komunikacijskih sistema	42
3.5.3. Bazne stanice 5G	44
3.5.4. 5G mobilni uređaji	47
3.6. Upotreba 5G komunikacijskih sistema	48
3.7. Očekivanja 5G tehnologije	49
3.8. Uticaj EM zračenja mobilnih sistema na ljudsko zdravlje	49
3.8.1. Zračenja u elektromagnetnoj sredini	49
3.8.2. Biološki efekti i vrste zračenja	51
3.8.3. Elektromagnetna (EM) polja	53
3.8.3.1. Magnetno polje	54
3.8.3.2. Električno polje	56
3.8.3.3. EM talasi	57
3.8.3.4. RF zračenje	59
3.8.4. Nejonizujuća zračenja i bežični komunikacijski sistemi	60
3.8.5. Analizirani fizičko-hemijski proces EM zračenja u tkivima	64
3.8.6. Preventivne mjere uticaja zračenja mobilnih komunikacija	67

3.9.	Stanje telekomunikacijskog tržišta mobilnih tehnologija	68
3.9.1.	Vrednovanje usluge	68
3.9.1.1.	Tržište sa marketinške tačke gledišta	69
3.9.1.2.	Obilježja telekomunikacijskog tržišta	70
3.9.1.3.	Tržišne funkcije	71
3.9.1.4.	Lanac vrijednosti u telekomunikacijama	71
3.9.1.5.	Tržišni elementi kao značajni faktori TK usluge	73
3.9.2.	Tržište telekomunikacija u svijetu	75
3.9.3.	Tržište telekomunikacija u Evropi	77
3.9.4.	Tržište telekomunikacija u Bosni i Hercegovini	78
3.9.5.	Efikasnost poslovnog rješenja telekomunikacijskog sistema	82
4.	Pasivna optička mreža nove generacije NG-PON2	86
4.1.	Karakteristike pasivnih optičkih mreža	86
4.2.	Vrste pasivnih optičkih mreža	88
4.2.1.	BPON	88
4.2.2.	GPON	89
4.2.3.	EPON	90
4.3.	Evolucijski put od GPON do NG-PON2	90
4.4.	Osnovne karakteristike NG-PON2	94
4.4.1.	Mobilnost talasne dužine (Wavelength Mobility)	94
4.4.2.	Vezivanje kanala (Channel Bonding)	94
4.4.3.	Konvergencija usluge (Service Convergence)	94
4.5.	Tehničko-tehnološki elementi NG-PON2	95
4.6.	Aplikacije NG-PON2	96
5.	5G mobilna tehnologija sa posebnim akcentom na NG-PON2	98
5.1.	C-RAN arhitektura	99
5.2.	Opravdanost NG-PON2 za 5G	99
6.	Simulacija NG-PON2 za 5G	100
6.1.	TWDM-PON	100
6.2.	WDM-PON	102
6.3.	Studija slučaja: Analiza simulacije opravdanosti NG-PON2 za 5G	104
7.	Zaključak	108
	Literatura	110
	Popis skraćenica	115
	Popis tabela	121
	Popis slika	122

1. Uvodna razmatranja

Do nedavno, optički kablovi su bili korišteni isključivo za poslovne korisnike i povezivanje čvorova u vlasništvu telekoma i internet provajdera. Međutim u posljednje vrijeme i tzv. obični korisnici imaju sve veće zahtjeve za telekomunikacijskim servisima koji se ogledaju prije svega u gledanju video sadržaja visoke rezolucije te korištenju brzog i pouzdanog interneta.

U cilju osiguranja ovih zahtjeva telekom operateri i ISP (Internet Service Provider) provajderi sve se više okreću prema fiber optičkim kablovima te grade mreže u pristupnom dijelu, bazirane na ovim kablovima poznate kao FTTH (Fiber to the Home). Telekomunikacijski operateri su primorani da idu u ovom smjeru jer se i u budućnosti očekuju povećane potrebe za telekomunikacijskim servisima koji će biti zahtjevniji po pitanju propusnog opsega i pouzdanosti. Izgradnja fiber optičkih mreža u pristupu predstavlja dugotrajan i skup posao. U sklopu ovog projekta moraju se uzeti u obzir životni vijek od minimalno 30 godina za optičku mrežu, zatim životni vijek od svega nekoliko godina za opto-elektroničke komponente i da su promjene u arhitekturi mreže skupe (važno je dobro projektovati mrežu). Greške u odabiru tehnologije i arhitekture će poskupiti ovaj proces stoga je potrebno analizirati trenutne i nadolazeće tehnologije. Jedna od obećavajućih tehnologija je pasivna optička mreža nove generacije NG-PON2 (Next Generation Passive Optical Network 2), koja nudi simetričnom kapacitetu *upstream/downstream* i kompatibilnost sa prethodnim tehnologijama, spaja mrežu za poslovne korisnike, mrežu između operatorskih čvorova (*fronthaul* i *backhaul*) i dio se odnosi na rezidentne korisnike u jedinstvenu mrežu. Upravo u ovoj jedinstvenosti očekuje se lakše postizanje ekonomske isplativosti.

Pristupni sistem treba da omogući korisniku da "pristupi" mreži tj. sistem koji treba mrežu da prilagodi korisniku. Možemo ga definisati i kao dio telekomunikacijske (TK) mreže koji ima zadatak da uspostavi direktnu komunikaciju sa korisnikom i da mu omogući da koristi resurse mreže za uslugu koju on želi. S obzirom na cilj provođenja komparativne analize TK sektora BiH u odnosu na svjetska kretanja, moguće je uočiti određene prednosti i nedostatke u okviru razvoja TK sektora u BiH te ugledajući se na iskustvo prestižnih zemalja u svijetu telekomunikacija, treba pronaći način njihove optimizacije. Što se tiče samog tržišta jedina realna analiza se može napraviti na nivou države. Radi situacije u BiH i samog nastanka telekoma nijedan od telekom operatera nema fiksnu mrežu na području cijele države. Slična je situacija i sa mobilnim mrežama. Svako od operatera se koncentriše na područje gdje su njegovi korisnici a ostala područja pokriva mobilnom mrežom radi regulative u BiH.

Predmet istraživanja ovog rada je pasivna optička mreža nove generacije NG-PON2 kao podrška za 5G mobilne sisteme. Polazna pretpostavka kod 5G mreže je da će tehnologija zadovoljiti kriterijum krajnjeg korisnika sa pruženim uslugama, uvođenje nove aplikacije, novi poslovni modeli i nove usluge koje se gigabitnim brzinama brzo isporučuju korisnicima usluga. Tu imamo i poboljšanje efikasnosti i pouzdanosti mreža. Zatim NG-PON2 će preko TWDM-PON tehnologije da omogući podršku više talasnih dužina po vlaknima (korisnik može odabrati isporuku $N \times 10$ Gbit/s propusne širine na uređaj korisnika).

Planirana istraživanja su provediva s obzirom na postojeću statističku podlogu i rezultate istraživanja koja su se sistemski provodila u razvijenim zemljama TK sektora. Cilj istraživanja jeste utvrđivanje povezanosti i otkrivanje uzročnih odnosa upotrebe NG-PON2 tehnologije u transportnom dijelu 5G mreže. Metodologija ovog rada je proces koji se sastoji od nekoliko faza, uz Uvodna razmatranja i Zaključak kao zasebne dijelove završnog rada, koje su podržane odgovarajućom naučnom metodom.

Da bi se razumjela pristupna mreža, 5G mobilna tehnologija, NG-PON2, i ostala obilježja koja se vezuju za isto, prvo će se pristupiti teorijskoj analizi kroz: definisanje osnovnih pojmova, razvojna obilježja, opisna shvatanja TK pristupne mreže (infrastrukturu telekomunikacija, komunikacijski sistem, komunikacijsku mrežu "komponente i struktura TK mreže, jezgrena mreža, TK pristupna mreža, vrste TK mreža"), regulatorna agencija i dozvole.

U sljedećoj fazi, Trend mobilne mreže 5G, ćemo opisati petu generaciju mobilnih telekomunikacija kao novi mobilni sistem, sa promijenjenim i prodornim uslugama, kao nastavak 4G LTE-A/WiMAX (Long Term Evolution Advanced/Worldwide Interoperability for Microwave Access), 3G UMTS (Universal Mobile Telecommunications Service) i 2G GSM (Global System for Mobile communications) sistema. U ovoj fazi ćemo prezentovati: evoluciju mobilnih TK sistema kao prikaz stanja generacija mobilnih telekomunikacija, osnovne karakteristike kao i tehničko-tehnološke elemente 5G mobilnih sistema i transportnih mreža za povezivanje baznih stanica, uticaj elektromagnetnih talasa 5G mobilnih sistema na ljudsko zdravlje, trendovi dominantnosti tržištem mobilnih tehnologija i zainteresiranosti korisnika usluga.

Zatim, u fazi: Pasivna optička mreža nove generacije NG-PON2, opisać ćemo PON mrežu nove generacije 2 koja u većem dijelu nije saglasna sa starim verzijama XG-PON mreža. Prednost ove PON mreže će biti zbog povećanja otpornosti mreže zbog pojave prekida, pojačana sigurnost mreže, a centrale koje se temelje na GPON tehnologiji su brojčano smanjene. Prezentovat će se: evolucijski put od GPON do NG-PON2, osnovne karakteristike NG-PON2 (mobilnost talasne dužine "wavelength mobility", vezivanje kanala "channel bonding", konvergencija usluge "service convergence"), tehničko-tehnološki elementi NG-PON2, aplikacije NG-PON2.

Postizanje tehničko-ekonomskog rješenja za 5G sa NG-PON2, prezentovat će se u fazi: 5G mobilna tehnologija sa posebnim akcentom na NG-PON2. Ovdje postoji podrška za mobilne, poslovne i stambene usluge, a NG-PON2 je prioritet jer će povezivati 5G ćelije zasnovane na milimetarskom opsegu elektromagnetnih talasa.

U posljednjoj fazi, Simulacija NG-PON2 za 5G, potrebno je realizovati simulacioni model, pomoću kojeg je detaljno analizirano ponašanje NG-PON2 za 5G mobilne sisteme pomoću tehnologija TWDM-PON (Time and Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network) i WDM-PON (Time and Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network).

Nakon postizanja postavljenih ciljeva, može se očekivati da će biti ostvarni sljedeći rezultati:

- Pozitivni rezultati za uslugom 5G generacije mobilnih telekomunikacija i preporuke NG-PON2 čiji je rezultat kvalitet, ekonomska opravdanost pružanja usluge, brzina isporuke usluge, itd.
- Pozitivni rezultati administrativnih i korisničkih faktora za uvođenjem usluge u bilo kojoj zemlji, a ti faktori su: zakonodavna vlast na svim administrativni nivoima, regulatorna agencija zemlje, tržište, brojnost i zainteresiranost korisnika usluge, uticaj usluge na zdravlje živih bića i sl.
- Simulacija mehanizama NG-PON2 za 5G sa prikazivanjem opravdanosti NG-PON2 kao podrške 5G mobilnim sistemima, kroz rezultate i diskusije tehnologije TWDM-PON, WDM-PON, mobilnost talasnih dužina i uvezivanje propusnog opsega što predstavlja ključne prednosti u odnosu na ostale tehnologije iz oblasti pristupnih i transportnih gradskih mreža.

2. Obilježja telekomunikacijske pristupne mreže

Želja i potreba čovjeka za ostvarivanjem komunikacije se najviše ostvaruje putem čula vida i čula sluha. Razmjena informacija na udaljenostima između jednog korisnika i drugog korisnika koristeći se nekom od komunikacijske tehnologije definiše pojam telekomunikacija. Komunikacijske tehnologije uključuju internet, multimediju, e-poštu, telefon i druga sredstva komunikacije zasnovana na zvuku i videu. Dizajniranje i održavanje tehničkih sistema komunikacije se radi u skladu sa potrebama određenog posla, industrije ili tržišta. Da bi mogli analizirati evoluciju i migraciju postojećih mreža za pristup i predvidjeti buduće događaje, a samim tim i upotrebnu pristupnu tehnologiju, potrebno je poznavanje tehnologije te pripadajući joj vrijednosni lanac, s definisanom ponudom i potražnjom. Stvaranje i upotreba komunikacije predstavljaju važnu privrednu aktivnost.

2.1. Osnovni pojmovi

U nastavku definišemo osnovne ključne pojmove koji se analiziraju u našem radu.

Pristupne mreže imaju više definicija pa pomenimo neke:

- Pristupna mreža (Access Network, AN) povezuje krajnjeg korisnika sa telefonskom centralom i ne obuhvata komutacionu opremu (tradicionalna definicija, jedini dio opreme na strani centrale koji se ubraja u AN je glavni razdjelnik (Main Distribution Frame, MDF)). Novije definicije razdvajaju poslove mrežne agregacije ili pristupa (Access Network) od poslova transporta (Core Network). Agregaciona oprema uključuje fiksno povezivanje do korisničke opreme (bakar, optika ili radio) kao i različite mrežne multipleksere. Ona može uključiti i linijske kartice na komutacionoj opremi (digitalni linijski interfejs unutar komutacije).¹
- Pristupna mreža je mreža koja se sastoji od lokalnih petlji, za koje se ponekad koristi i naziv pretplatničke linije (subscriber lines), te od pridružene im mrežne opreme.²
- Pristupna mreža je mreža koja pokriva područje mjesnoga telefonskog prometa i može biti realizirana kao centralizirana (s jednom pristupnom centralom) ili decentralizirana (s dvjema ili više pristupnih centrala).³

Optička mreža je komunikacijska mreža čiji su prenosni linkovi izrađeni od optičkih vlakana, pri čemu su iskorištene sve prednosti optičkog vlakna prilikom projektovanja njene arhitekture. Za rješavanje problema optičkog pristupa do krajnjeg korisnika imamo pasivne optičke mreže. One nude komponente koje ne zahtjevaju posebnu opremu za instalaciju niti napajanje i ovdje imamo primjenu pasivnih optičkih splitera, koji višestruko iskorištavaju jedno optičko vlakno.

Trend je ono što je popularno u određenom trenutku. Trend odražava ono što se odvija u svakom trenutku. Trend može biti u bilo kojoj oblasti i ne odražava samo modu, pop kulturu i zabavu. Može postojati i trend na berzi u zavisnosti od ekonomskih pokazatelja, ili političkog trenda koji odražava sadašnje raspoloženje nacije. Neki trendovi su zabavni, neki fenomenalni, neki užasni, ali koliko god dugo oni traju moramo shvatiti da će uvijek postojati novi trend koji će zamijeniti stari.

¹ Željko Jungić: Pristupne mreže, Elektrotehnički fakultet u Banjoj Luci, Banja Luka, 2015.

² Marija Vrdoljak: Lokalne i pristupne mreže, Sveučilišni studijski centar za stručne studije u Splitu, Split, 2010.

³ Antun Stipetić: Infrastruktura telekomunikacijskog prometa, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2000.

Pojavom digitalizacije i potreba za ličnom zabavom do povezivanja društva u digitalizaciji, raste i zahtjev za 5G mobilnim sistemima. 5G mobilna tehnologija će ponuditi nove aplikacije i usluge kroz dobru pokrivenost mrežnim signalom, veliku brzinu prenosa podataka, malu latenciju i značajno poboljšane performanse i pouzdane komunikacije. Peta generacija mobilnih sistema (5G) će omogućiti prevazilaženje pružanja usluga povezivanjem kod bežičnih operatera, te pristupačne cijene za korisnike i poslovne subjekte. Stvorit će se uslovi za implementaciju konvergirane žične i bežične mreže, kao i mogućnost integracije sistema upravljanja mrežom.

Zahtjev za 40 Gbit/s pri čemu implementacija može koristiti jednu talasnu dužinu po vlaknima, nudeći jednostavnu nadogradnju sa GPON-a, Međunarodna unija za telekomunikacije (2015. ITU-T G.989 preporuka) je razvila pasivnu optičku mrežu nove generacije 2 (NG-PON2). Pored opštih zahtjeva, u preporuke su uključeni principi za mrežni raspored i opisan mogući scenario migracije (od postojećih PON sistema do NG-PON2). U preporuku NG-PON2 su uključene tehnologije Time and Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network (TWDM-PON) i Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network (WDM-PON).

Kod NG-PON2 značaj će biti u multipleksu talasne dužine, dok kod GPON (Gigabit Passive Optical Network) i NG-PON1 (Next Generation Passive Optical Network 1) smo imali značaj na vremensku podjelu zajedničkog komunikacijskog kanala među velikim brojem krajnjih korisnika.

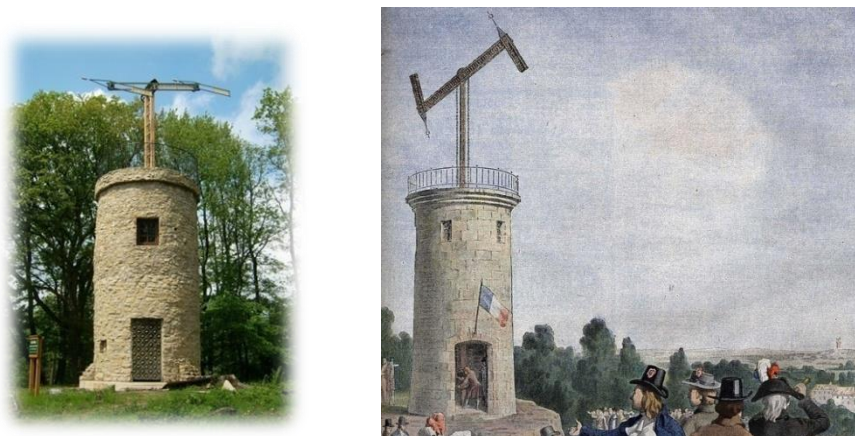
2.2. Razvojna obilježja telekomunikacijskog prometa

2.2.1. Razvoj telekomunikacija u svijetu

Kada govorimo o razvoju telekomunikacija u svijetu, imamo sljedeća kretanja:

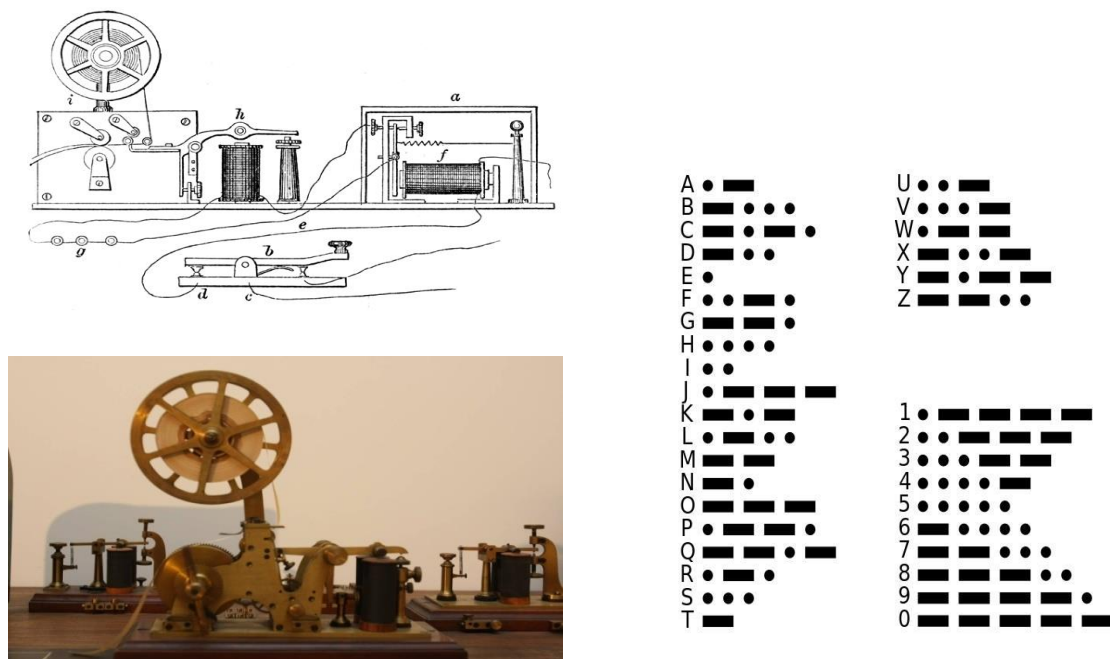
- Sistem optičke telegrafije (pronalazač: Claude Chappe (1763.-1805.), u Francuskoj)
Na visokom stubu bila je pričvršćena prečka koja je mogla da se okreće oko svog centra, a na njenim krajevima, dvije pokretne ruke davale su mogućnost da se različitim položajima prečke i ruke obilježi 196 različitih znakova koji su predstavljali slova, brojke i znakove interpunkcije (slika broj 1.). U Francuskoj je postojalo oko 500 relejnih stanica.
- Početak elektronskih komunikacija (Samuel Finley Breese Morse (1791.-1872.))
Početak elektronskih komunikacija smatra se kada je Morse 1844.-te ostvario prvi telegrafski penos između Vašingtona i Baltimora. Godine 1851. je 50 firmi u SAD-u eksploatisalo Morseov patent. Te godine je položen i prvi podmorski telegrafski kabl između Francuske i Engleske, a 1866.-te je položen prvi transatlantski kabl između Nove Zemlje i Irske (slika broj 2.).
- Telefonija (Alexander Graham Bell (1847.-1922.))
Godina 1876. je godina pojave telefona. Zvučna energija govora se pretvara u električni signal koji se prenosi do drugog aparata u kome se vrši konverzija električne energije u zvučni signal.
- Automatska telefonska centrala
Godine 1892. postavljena prva automatska telefonska centrala u mjestu La Porte (Kalifornija, SAD).
- Otkrića u oblasti elektromagnetike
Krajem XIX vijeka dolazi do otkrića u oblasti EM oscilacija, koja predstavljaju naučnu osnovu na kojoj su izgrađene radio-komunikacije.
Radovi koji predstavljaju naučnu osnovu su:
 - Joseph Henry (1797.-1878.) - utvrdio oscilatornu prirodu električnih opterećenja,
 - James Clerk Maxwell (1831.-1879.) - dao matematičku interpretaciju EM pojava,
 - Heinrich Hertz (1857.-1894.) - prvi proizveo, detektovao i mjerio EM talase.

- Prvi patent za bežičnu telegrafiju (prvi prijavio: Guglielmo Marconi (1874.-1937.))
Patent za bežičnu telegrafiju je prijavio 1897. sa kojim je ostvario vezu na rastojanju od 1 km, a 1904.-te je sklopio ugovor sa crnogorskom vladom za instaliranje radio-stanice na brdu Volujica (Bar) čime je ostvarena prva radio-telegrafska veza na trasi Volujica (Bar) - Italija.
- Prva radio-komunikacija u javnom prometu
Godine 1927. ostvarena je prva radio-komunikacija u javnom prometu između Njujorka i Londona. Od tada se radio-komunikacije javljaju u dva vida:
 - profesionalnog karaktera (povezuju se dva korespodenta) i
 - masovne komunikacije / radio-difuzija
(sa jednog mjesta poruka se prenosi velikom broju korisnika).
- Prvi prenos televizijskog signala
Između Njujorka i Vašingtona, 1927. je ostvaren prvi prenos televizijskog signala.
- Prvi telefonski podmorski kabl
Između Amerike i Engleske, 1956.-te je postavljen prvi telefonski podmorski kabl. Moglo se prenijeti istovremeno 36 govornih signala.
- Lansiran prvi telekomunikacijski satelit
Godine 1960.-te lansiran je prvi telekomunikacijski, pasivni satelit "Echo 1", a oktobra iste godine prvi aktivni satelit "Courier IB". Echo 1 je bio korišten u prvom američkom TV prenosu ikada, od jedne obale do druge, i ostao je u orbiti osam godina provodeći testove. Radi se o metaliziranom balonu prečnika 30 m, u niskoj orbiti Zemlje, koji je reflektovao radio prenos sa zemlje (slika broj 3. lijevo).
- Eksperimentalni televizijski prenos slike u boji preko satelita
Godine 1965.-te je ostvaren prvi eksperimentalni televizijski prenos slike u boji preko satelita, a nešto kasnije iste godine u komercijalne svrhe mogao je da se ostvari prenos 240 telefonskih razgovora ili dva TV programa preko satelita. Sa satelita "Молния" je ostvaren prvi eksperimentalni prenos TV slike u boji (slika broj 3. desno).
- Razvoj mobilnih radio komunikacija i optičkih komunikacija
Intenzivan razvoj počinje drugom polovinom 20. vijeka.

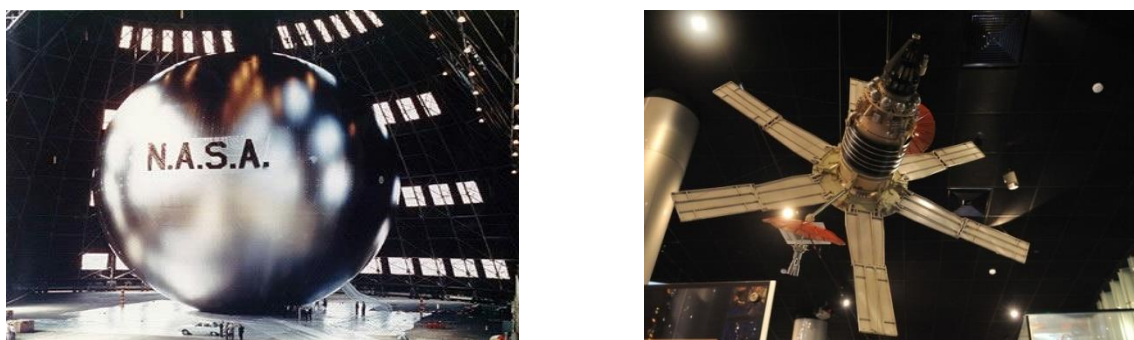


Slika broj 1. Optički telegraf

Potreba za tehnikom prenosa tekstualnih poruka na daljinu korištenjem signalnih kodova je potreba za telegrafom. Prvi telegraf čiji su glavni dijelovi: davač, primač, i prenosna linija je Morseov telegraf, a "kod" za prikazivanje tekstualnih znakova je Morseova abeceda, kojim se svaki tekstualni znak predstavlja kao kombinacija određenog broja tačaka i crtica.



Slika broj 2. Morseov telegraf sa azbukom desno



Slika broj 3. Lijevo: Echo 1, desno: komunikacijski satelit Молния

Na slici broj 4. imamo slikovni prikaz evolucije komunikacije od prvih civilizacija koje su koristile prve pisane riječi na kamenu kao sredstvo komunikacije do novih tehnologija koje su omogućile komunikaciju na daljinu i pomogle privredi u efikasnom poslovanju. Slika također pokazuje želju ljudi tokom vijekova za novom i pristupačnijom komunikacijskom tehnologijom.



Slika broj 4. Razvoj komunikacije

Četiri osnovna cilja komunikacije su: ⁴

- da uputimo poruku i da ona stigne do cilja,
- da poruku učinimo razumljivom,
- da poruka bude prihvaćena,
- da postignemo cilj (promijenimo ponašanje ili stav druge strane).

Na slikama broj 5., broj 6. i broj 7. su pronalazači iz svijeta nauke koji su dali doprinos razvoju telekomunikacija u svijetu.



Slika broj 5. Lijevo: C. Chappe, sredina: S. Morse, desno: G. Bell



Slika broj 6. Lijevo: J. Henry, sredina: J. C. Maxwell, desno: H. Hertz



Slika broj 7. Guglielmo Marconi sa patentom

⁴ Željko Jungić: Vještine komuniciranja, Banja Luka, 2014.

2.2.2. Periodi u razvoju telekomunikacija

Tri su homogena razdoblja u razvoju telekomunikacija:⁵

- (I) Sredina XIX vijeka - kraj II svjetskog rata
 - razvijeno je tržište telekomunikacijskih usluga,
 - konkurencija između zapadnih sila za dobivanje licenci za polaganje i eksploataciju podmorskih kablova i kopnenih puteva,
 - stvorene su globalne telekomunikacijske mreže.
- (II) Poslije II svjetskog rata do 1980.-te
 - stvaranje niza međunarodnih institucija,
 - među kojima je i ITU (International Telecommunication Union, 1947. god.)
 - važi princip jednakosti među državama i stabilna kooperacija između državnih monopola,
- (III) 1980.-te do danas
 - reforma telekomunikacija, dva ključna principa: slobodna konkurencija i privatizacija,
 - demonopolizacija državnih operatera,
 - razdvajaju se telekomunikacije i pošta i stvaraju se novi privatni operateri
 - grade se nove mreže, uvode se novi servisi, a konkurencija dovodi do snižavanja cijena (internet, multimedija, youtube, socijalne mreže, ...)

Ranije je za svaki servis bila izgrađivana posebna infrastruktura. Tako je nastala javna mreža za telefonski servis, telegrafski servis i servis za prenos podataka.

Potrebe korisnika za novim, interaktivnim i multimedijalnim servisima (video na zahtjev, videokonferencija, širokopojasni pristup Internetu, rad od kuće, učenje na daljinu, telemedicina, online kupovina, itd.), uslovile su promjene u pristupu izgradnje infrastrukture i načinu kreiranja i pružanja servisa.

2.2.3. Razvoj mobilne telefonije

Razvoj mobilne telefonije počinje početkom XX vijeka i bilježi sjedeća kretanja:

- 1908.
Profesor Albert Jahnke i "Oakland Transcontinental Aerial Telephone and Power Company" su tvrdili da su razvili bežični telefon.
Optuženi su za prevaru i optužba je odbačena, ali proizvodnja nije nastavljena.
- 1918.
Njemačka željeznica testira bežični telefon u vojnim vozovima između Berlina i Zossena.
- 1924.-1926.
 - Prva javna proba telefonske veze na željeznici između Berlina i Hamburga.
 - Osnovana je kompanija Zugtelephonie A. G. za snadbjevanje željeznice telefonskom opremom.
 - Telefonska usluga u vozovima Deutsche Reichsbahna i njemačke pošte na trasi između Hamburga i Berlina bila je odobrena i ponuđena putnicima prve klase.
- 1940.
 - Prvi "ručni" uređaji (Walkie-Talkie).
 - Mobilni telefoni u automobilima

⁵ Dejan Nemec: Evolucija mobilnih telekomunikacionih sistema, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu – Katedra za telekomunikacije i obradu signala, Novi Sad, 2015.

- Drugi svjetski rat
Koriste se telefonski radio-linkovi u vojne svrhe.
- 1947.
 - Prvi telefonski poziv između automobila i aviona,
 - SAD, inženjeri kompanije BEL (D.H.Ring i V.R.Jang) predložili upotrebu heksagonalne ćelije i usmjerenih antena koje bi odašljale signale u tri različita smjera za potrebe mobilne telefonije instalirane u vozila. Tehnologija za masovnu upotrebu tih uređaja nije postojala niti su bile odobrene frekvencije i tako će ostati sve do 1960.-tih godina.
- 1958.
SSSR, prvi mobilni telefon za automobile.
- SSSR, Леонид Куприянович (Leonid Kuprijanovič)
 - 1955. - Toki-voki; Težina (t) = 1,2 kg; Domet (d) = 1,5 km
 - 1957. - Toki-voki; Težina (t) = 50 g; Domet (d) = 2 km
 - 1957. - Mobilni telefon LK; Težina (t) = 1,3 kg, Domet (d) ≈ 30 km
 - 1958. - Mobilni telefon; Težina (t) = 500 g.
 - 1961. - Džepni telefon; Težina (t) = 70 g, Domet (d) = 80 km.
- 1965.
Bugarska "Radiotehnika" prezentovala baznu stanicu koja se povezuje na jednu telefonsku liniju i mogla je da opsluži 15 korisnika.

Mobilnim telefonima se služe pojedinci, skupine i mnoge organizacije širom svijeta.

Grupe koje rade na zagovaranju ljudskih prava koriste mobilnu tehnologiju na nove i kreativne načine. Većina mobilnih uređaja imaju mogućnost internetskog povezivanja.

2.2.4. Komunikacijska obilježja u Bosni i Hercegovini

Razvojna obilježja komunikacija u BiH su:

- Stari Rim - Prenos poruka i pošiljki na prostoru BiH
Prvo obilježje komunikacija u BiH se bilježi poštanskim prometom. Prenos poruka i pošiljki odvijao se preko Bosne do Panonije, a kasnije od Dubrovnika do Luke Drijeva kod Gabele.
- Otomanska vladavina u BiH - Druga polovina XIX vijeka
Ovdje je aktuelan transport roba, pošte i novca. To su putevi kojima se kretala otomanska ugledna karavana prema Zapadu.
- Druga polovina XIX vijeka
Osnovane su privatne pošte austrijskog konzula u Sarajevu.
- Dolazak Topal Osman - paše (1861.-1869.) za bosanskog vezira
Povoljne prilike za organizaciju pošte i njene mreže, nakon donošenja Seferske naredbe.
- Prva pošta (telegrafska stanica)
Godine 1858. je ustanovljena u Mostaru, a 1864.-te u Sarajevu - privatna kuća (zgrada kod Konaka).
- Aneksija Bosne i Hercegovine
Organizacija poštanske mreže i telegraf se formira u skladu s državnim, vojnim, ekonomskim, političkim i geostrateškim ciljevima Austro-Ugarske.
- Otvaranje telegrafskih stanica
Godine 1878. otvorene su u: Derventi, Doboju, Maglaju, Banjoj Luci, Sarajevu i Travniku. Nešto kasnije u Zenici i Busovači, da bi u oktobru dvadesetčetiri časovno telegrafske stanice bile formirane u Brčkom, Jajcu, Livnu, Prijedoru, Tuzli, Zvorniku, Bihaću, Goraždu, Mostaru, Trebinju, itd.

- Vojne poštanske stanice
Austroougarska uprava je otvorila ukupno 150 poštanskih stanica. Do 1914.-te bilo je 118 vojnih poštanskih stanica.
- Velika zgrada Glavne pošte u Sarajevu
Josip Vancaš projektuje početkom 1911.-te Veliku zgradu Glavne pošte, a ona se pušta u rad 1913.-te.
- Posljednja decenija prije II svjetskog rata
Razvijena je telefonska mreža. Prije II svjetskog rata bilo je 188 poštanskih ureda telegrafa i telefona u BiH. Imamo i početke uvođenja automatskih telefonskih centrala zabilježeni u: Sarajevu, Ilidži i Trebinju.
- Banovina u Jugoslaviji
Uredi u BiH bili su podređeni pošti, telegrafu i telefonu u gradovima: Sarajevu, Splitu, Cetinju i Zagrebu.
- Period nakon Drugog svjetskog rata
Direkcija PTT-a u BiH funkcionisala je u okviru Zajednice jugoslovenskog PTT-a (JPTT). Telekomunikacije su bile dobro uspostavljene prije nego što je bosanski rat izbio početkom devedesetih. Infrastruktura je uključivala telefonsku i telegrafsku mrežu, kao i mrežu za prenos podataka. Ukupan kapacitet telefonskih centrala Bosne i Hercegovine iznosio je 744 000 telefonskih linija.
- Ratni period u BiH
Pored potpunog uništenja telekomunikacijskih kapaciteta i prekida telefonskog prometa tokom 1992., rat je izazvao ogromnu materijalnu štetu telekomunikacijskim objektima. Pored toga, administrativna podjela zemlje na dva entiteta stvorila je podjelu u sektoru telekomunikacija.
- Posljeratni period
U Bosni i Hercegovini postoji nekoliko operatera javnih mobilnih usluga, odnosno korisnika GSM dozvole, među kojima se po procentu pruženih usluga na tržištu kao dominantni izdvajaju: BH Telecom d.d. Sarajevo, M:tel a.d. Banja Luka i JP Hrvatske telekomunikacije d.d. Mostar. Telekomunikacije u Bosni i Hercegovini obuhvataju područje radija, televizije, fiksne i mobilne telefonije i interneta.

Primjećujemo da su komunikacijska obilježja u BiH obilježena poštanskim i telekomunikacijskim tehnologijama i mrežama.

2.3. Opisna shvatanja telekomunikacijske pristupne mreže

Da bi pojednostavili pojam i ulogu telekomunikacijske pristupne mreže moramo kroz obilježja TK prometa doći do objašnjenja funkcionisanja TK pristupne mreže koja spaja pretplatnika s pristupnom centralom.

2.3.1. Infrastruktura telekomunikacija

Infrastrukturu telekomunikacijskog prometa čine građevine, stabilna postrojenja i uređaji koji obuhvataju prenos informacija između korisnika priključenih na mrežu. U telekomunikacijama se obavlja elektromagnetni prenos informacija putem žičnih, bežičnih, svjetlovodnih i drugih sistema. Telekomunikacijska infrastruktura i oprema namjenjena za upotrebu u državi, mora se projektovati, proizvoditi, graditi, održavati i upotrebljavati u skladu sa nacionalnim standardima, evropskim standardima instituta, komiteta, zatim odluka, preporuka i drugi propisa međunarodne unije u području telekomunikacija.

U zoni telekomunikacijske infrastrukture i opreme te spojnog puta ne smiju se izvoditi radovi ili graditi nove građevine koje bi ih mogle oštetiti ili ometati njihov rad.

Telekomunikacijska oprema je oprema kojom se obavljaju telekomunikacije.

Tri su temeljna podsistema infrastrukture telekomunikacijskog prometa:

- pristupni korisnički podsistemi (instalacije),
- komutacija (čvorišta i centrale),
- transmisija (žični i bežični prenosni sistemi).

Sistemi prenosa u mreži mogu biti:

- nadzemni kablovi,
- podzemni kablovi,
- podvodni kablovi,
- radijski (Radio-Relajni, RR) i satelitski prenosni sistemi,
- prenosni sistem telekomunikacijskim satelitima.

Firme telekomunikacijske branše se dijele na:

- Firme za telekomunikacijske mreže (Carrier);
- Firme za telekomunikacijske usluge (Service Providern);
- Firme za proizvodnju telekomunikacijske opreme (Supplier).

Ekonomski, na infrastrukturu se može gledati kao elemente ekonomije koja dopušta proizvodnju dobara i usluga koje same nisu dio proizvodnog procesa, kao npr. putevi koji omogućavaju prevoz sirovina kao i gotovih proizvoda.

Razvitkom i izgradnjom jeftine, brze i sigurne TK infrastrukture osigurava se zadovoljenje potreba građana, privrede, tijela državne uprave i društva u cjelini. S ciljem razvoja Sektora telekomunikacija potrebno je omogućiti racionalnije korištenje postojeće i ubrzati razvitak nove TK infrastrukture.

Bosna i Hercegovina se nedvosmisleno mora opredjeliti za osiguravanjem bržeg razvoja telekomunikacija, kao osnovu za razvoj informacijskog društva i uklapanja BiH u opšte globalizacijske tokove, kao i za brže podizanje opšteg standarda građana BiH. S tim u svezi zakonodavne vlasti na svim administrativnim nivoima će osigurati:⁶

- Carinske olakšice za svu informacijsku i TK opremu koja se ne proizvodi u BiH, prema Programu mjera koji će, na prijedlog Resornog ministarstva, donijeti Vijeće ministara Bosne i Hercegovine;
- Poreske olakšice za sve operatere TK mreža koji razvijaju pristupnu infrastrukturu po progresivnoj stopi u odnosu na veličinu uloženih sredstava, prema Programu mjera koji će, na prijedlog Resornog ministarstva, donijeti Vijeće ministara Bosne i Hercegovine;
- Pojednostavljenje procesa osiguravanja uslova prava na trasu i lociranje TK opreme i davanja prioritetnog prava na trasu u koju se polaže ili na koju se instalira telekomunikacijska struktura;
- Proračunska sredstva, u razdoblju važenja ove politike, za podršku naučnim i istraživačkim projektima u oblasti informacijskih i komunikacijskih tehnologija, na nivou procentualnih izdvajanja od ukupnih proračunskih sredstava zemalja iz okruženja.

⁶ Politika sektora telekomunikacija Bosne i Hercegovine za razdoblje 2008. – 2012.: Vijeće ministara BiH i predsjedatelj Vijeća ministara BiH Nikola Špirić, Sarajevo, 2008.

2.3.2. Komunikacijski sistem

Sistem je relativno izolirana svrsishodna cjelina koju čine određene komponente i relacije između njih.⁷

Izraz možemo zapisati kao:

$$S = (K, R) \tag{2.1}$$

gdje je:

K - skup komponenti (elemenata ili "stvari") riješenih u sistemu

R - relacija ili skup relacija definisanih na K

Procesima se ostvaruje osnovna zadaća (funkcija) i misija sistema.

Struktura odražava uređenost podsistema i komponenti sistema.

Sistem je u vlasništvu nekoga, odnosno postoje interesne grupe koje određuju svrhu i temeljne ciljeve funkcionisanja sistema. Analiziranjem nekog sistema, posmatraju se njegovi ulazi, rad sistema i njegovi izlazi. Svaki sistem karakterišu četiri osnovna pojma:

- Granica, koja ima funkciju utvrditi da li se određeni element može smatrati sastavnim dijelom sistema ili njegove okoline;
- Stanje ulaza i izlaza, i njihova interakcija u odnosu na okolinu;
- Stanje odnosa, između elemenata sistema, ulaza i izlaza i vanjskih međudnosa između ulaza i izlaza,
- Stanje sistema, koje se s određenom tačnošću, može okarakterisati kao skup vrijednosti veličina koje određuju njegovo ponašanje.

Komunikacije (= svaki prenos informacije) uključuju telekomunikacije, radio, emitiranje (uključujući kablovsku televiziju) i usluge i sredstva koja su s tim u svezi.

Informacija je skup podataka (elemenata, događaja) koji se spuštaju po nekom određenom matematičkom zakonu o vjerovatnoći.⁸ Može biti: govorna, glasovna i podatkovna. Informacija je rezultat analize i organizacije podataka na način da daje novo znanje primatelju. Informaciju čine podaci kojima je dato značenje putem relacijskih veza, odnosno organizovani podaci koji su uređeni za bolje shvatanje i razumijevanje.

Podatak je jednostavna neobrađena izolirana misaona činjenica koja ima neko značenje.

Podatak je nematerijalne prirode koji postoji u našim mislima i nema značenje unutar ili izvan svog postojanja. Njegovo značenje pridružujemo opisu osobina objekata. Oblici podataka su: zvučni, slikovni, brojevi i tekstualni.

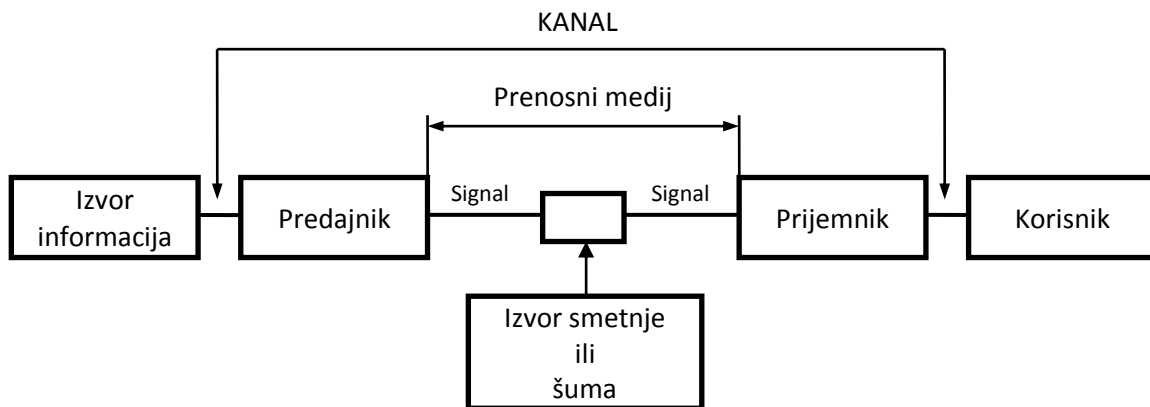
Komunikacijski sistem⁹ je sistem koji omogućava prenos informacija između udaljenih područja. Sastoji se od nekoliko jedinica: izvor informacije, predajnik, prijemnik i korisnik. Sve između izvora informacija i korisnika naziva se kanalom, a prenosni medij je veza između predajnika i prijemnika. Prenosni medij (odnosno električni signali koji se njime prenose) je pod uticajem smetnji. Smetnje stvaraju "probleme" prilikom prenosa informacija, tj. predstavljaju osnovno ograničenje u prenosu.

⁷ Ivan Bošnjak, Samir Čaušević: Osnove sustavskog inženjerstva, FPZ&FSK, Zagreb&Sarajevo, 2003.

⁸ Marko Periša: Uvod u teoriju informacija i komunikacija, FPZ – zavod za informacijsko komunikacijski promet, Zagreb, 2016.

⁹ Gordan Šišul: Elektroničke komunikacije, Fakultet elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, Zagreb, 2017.

Na slici broj 8. imamo opšti model, koji se može primijeniti na prenos informacije putem električnog signala kao i na ostale komunikacijske sisteme.



Slika broj 8. Opšti model komunikacijskog sistema

Izvor informacija može biti osoba, objekt, uređaj i sl. koji generišu informaciju koju treba prenijeti korisniku. Informacija može biti predstavljena kao niz diskretnih elemenata (npr. slova, brojevi, note i sl.), koji se nazivaju simboli, ili kao funkcija jedne ili više varijabli. Prenosni sistem mora osigurati zadovoljavajuće uslove prenosa za bilo koju od mogućih poruka.

Predajnik vrši konverziju informacija u signal pogodan za prenos. Signal je električni ekvivalent informacije koja se prenosi (napon, struja, električno polje, magnetno polje).

Prenosni medij predstavlja sredstvo kroz koje se signal prenosi od predajnika do prijemnika, a dijelimo ga na:

- Žični (vođeni medij)
 - upletena parica, koaksijalni kabl, svjetlovod;
- Bežični ili radio prenos (nevođeni medij)
 - slobodni prostor u kome se prenosi elektromagnetni talas.

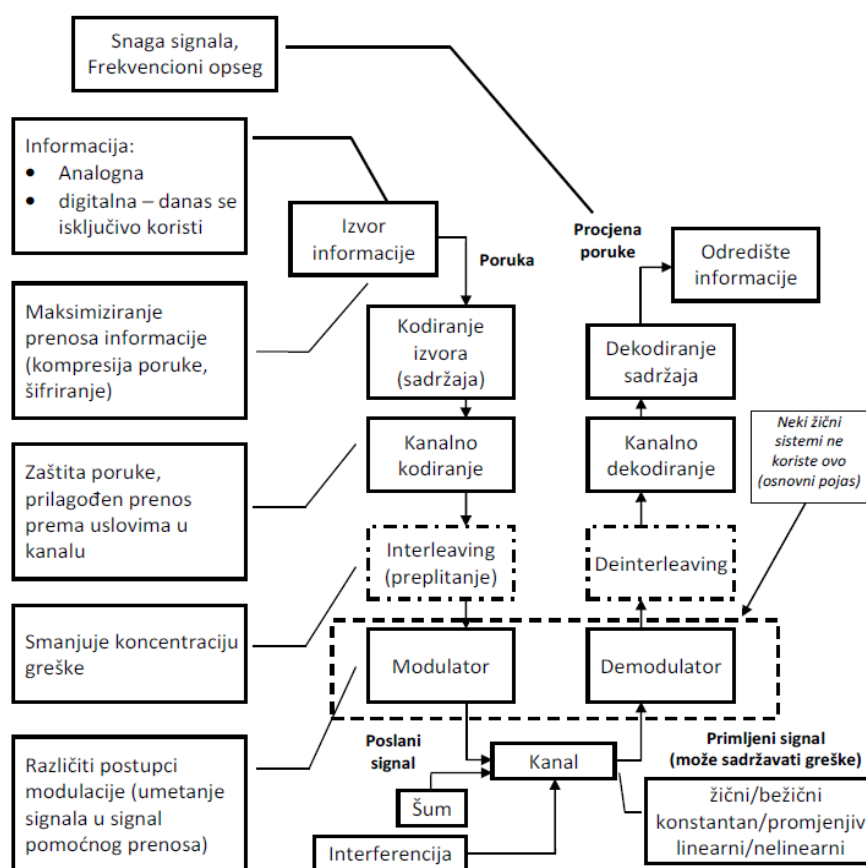
Smetnjom ili šumom može doći do pojava izmjene oblika električnog signala te dovesti do degradacije parametara cijelog sistema. Pojave vezane uz šum su stohastičke prirode, a zbog djelovanja šuma primljeni signal nije jednoznačno određen poslanim signalom.

Prijemnik vrši konverziju primljenog električnog signala u informaciju, a komunikacijski sistem završava s korisnikom (osoba, uređaj ili objekt) kome je informacija namijenjena.

Komunikacijski sistem treba da omogući da se "izlaz" iz izvora informacija tačno reproducira na mjestu koje odgovara korisniku. Postavlja se pitanje tačnosti reprodukcije, a odgovor na postavljeno pitanje daje krajnji korisnik. Za uspješnu komunikaciju ključno je korisnikovo zadovoljstvo. Treba napomenuti kako postoje i objektivne mjere tačnosti reprodukcije.

Telekomunikacija se može definisati i kao elektronsko povezivanje fizički (geografski) udaljenih računara, a telekomunikacijski sistem kao komponenta kompatibilnih telekomunikacijskih uređaja kojim se povezuju fizički odvojeni uređaji kojima mogu da se prenose tekstovi, slike, zvučni signali i video informacije.

Na slici broj 9. imamo detaljniji model električnog komunikacijskog sistema, koji se sastoji od daleko većeg broja cjelina nego opšti model.



Slika broj 9. Detaljniji model komunikacijskog sistema

U praksi se često poistovjećuju ili zamjenjuju pojmovi komunikacijskog sistema i komunikacijske mreže (slika broj 10.).

2.3.3. Komunikacijska mreža

Telekomunikacijska mreža označava prenosne sisteme i u slučajevima na koje se to odnosi, opremu za komutiranje i usmjeravanje poziva, te druga sredstva koja omogućavaju prenos signala putem žice, optičkih kablova, radijskim, ili bilo kojim drugim elektromagnetnim putem, uključujući ali ne ograničavajući se na satelitske mreže kao i fiksne i mobilne zemaljske mreže.

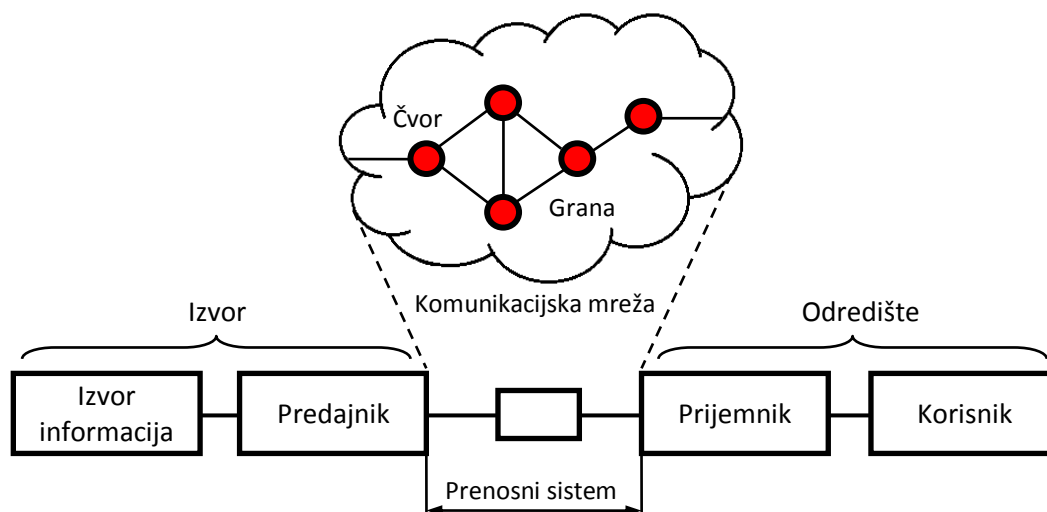
Telekomunikacijska mreža je skup telekomunikacijskih sredstava koja omogućavaju prenos poruka između korisnika saglasno njihovim zahtjevima.¹⁰

Telekomunikacijska sredstva su oprema i uređaji za obradu, prenos i prijem signala.

Korisnik je fizičko ili pravno lice koje koristi ili želi da koristi telekomunikacijske servise po osnovu zaključenog pretplatničkog ugovora ili na drugi predviđeni način.

Telekomunikacijska usluga je usluga prenosa, odašiljanja ili prijema znakova, signala, pisanog teksta, glasa ili govora, slika i zvukova ili saopštenja bilo koje prirode. Ona se pruža žičnim, radijskim, svjetlosnim ili drugim elektromagnetnim sistemom, uključujući i omogućavanje upotrebe tih sistema, u cijelosti ili djelomično, davanjem u najam, prodajom ili na drugi način.

¹⁰ Goran Marković, Vesna Radonjić: Telekomunikacione i računarske mreže, Beograd, 2017.



Slika broj 10. Komunikacijska mreža

Telekomunikacijska mreža je jedan od glavnih elemenata komunalne infrastrukture gradskih područja. Sastav TK mreža se gradi godinama ali nije homogen ni u koncepcijskom, ni u tehnološkom smislu.

Smetnje u telekomunikacijama predstavljaju konstantan problem pri održavanju TK mreže i izravno utiču na njenu raspoloživost. Kako svaka smetnja ima i izravne ekonomske posljedice (popravke, i sl.) od posebnog je značaja njihovo pravovremeno uklanjanje odnosno prevencija i sanacija faktora koji ih mogu prouzročiti.

Svaki telekom operater odgovoran za razvoj, eksploataciju i održavanje TK mreže nastojat će minimizirati pojavu smetnji na svom području i ukoliko je to moguće predvidjeti potencijalne lokacije za nastanak novih smetnji, te poduzeti odgovarajuće korake kako bi spriječio, odnosno skratio vrijeme trajanja smetnje.

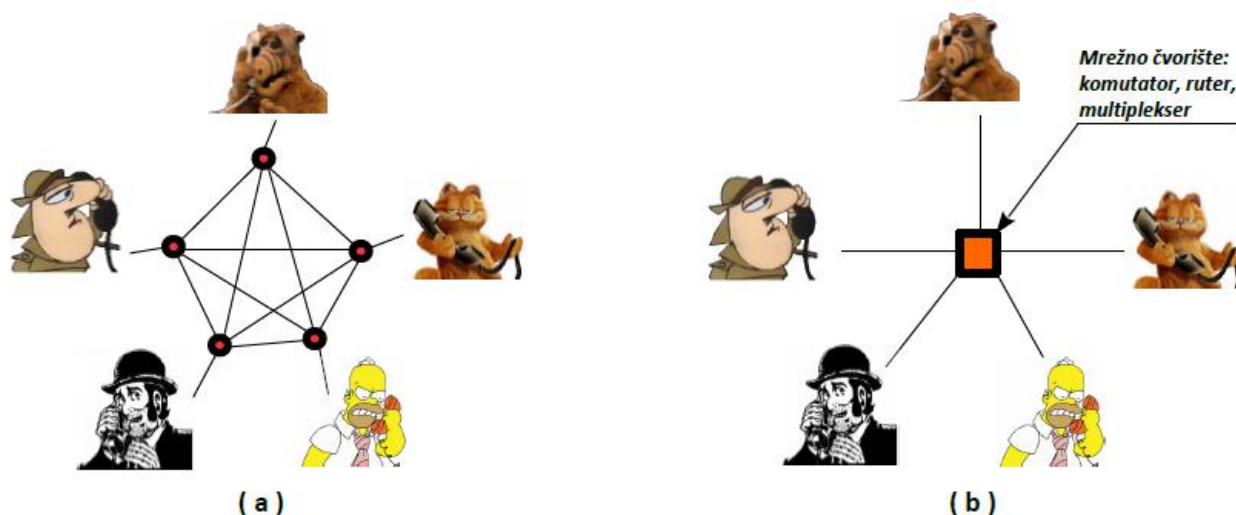
U procesu obrade smetnje ključni element koji definiše efikasnost njenog rješavanja je ispravna i uvijek raspoloživa tehnička dokumentacija kablovske mreže koja omogućava timovima zaduženim za otklanjanje smetnji, brzo pronalaženje lokacije i uzroka nastanka smetnje, a time i njeno uklanjanje.

Osnovna svrha telekomunikacijskih mreža je povezivanje korisnika u cilju njihove međusobne komunikacije. Princip da se svi korisnici telekomunikacijskih servisa međusobno povezuju direktnim vodovima "svaki-sa-svakim" bio bi potpuno nerazuman i apsurdan (imajući u vidu da je broj potencijalnih korisnika izuzetno veliki). Ovakav princip bi bio preskup, jer bi za međusobno povezivanje N čvorova trebalo instalirati ukupno $N \cdot (N - 1) / 2$ komunikacijskih linkova, zato se veze među korisnicima ostvaruju posredstvom mrežnih čvorova (slika broj 11.).

Korisnici se preko svojih pretplatničkih vodova priključuju na čvorove (N) koji su sastavni dio TK mreže. Preko posebnih vodova - sistema prenosa ostvaruje se povezivanje čvorova.

Lokalni čvor mreže obavlja funkciju uspostavljanja veze između korisnika iz lokalnog okruženja.

Komutacija je osnovni postupak za uspostavljanje veze, kojim se na zahtjev korisnika njegov pretplatnički vod povezuje sa pretplatničkim vodom drugog korisnika u lokalnom ili u udaljenom čvoru mreže.



Slika broj 11. Broj spojenih komunikacijskih puteva: a) $L = N \cdot (N - 1) / 2$, b) $L = N$

Troškovi građenja i održavanja mreže trebaju biti što manji sa kvalitetom i pouzdanosti mreže, što se vodi pri projektovanju i izgradnji telekomunikacijske mreže.

Kvalitet i pouzdanost telekomunikacijskog sistema se ogleda kroz kvalitet mreže. Arhitektura i karakteristike savremene telekomunikacijske mreže se mogu prilagođavati uslovima prometa, zahtjevanom kvalitetu servisa, itd.

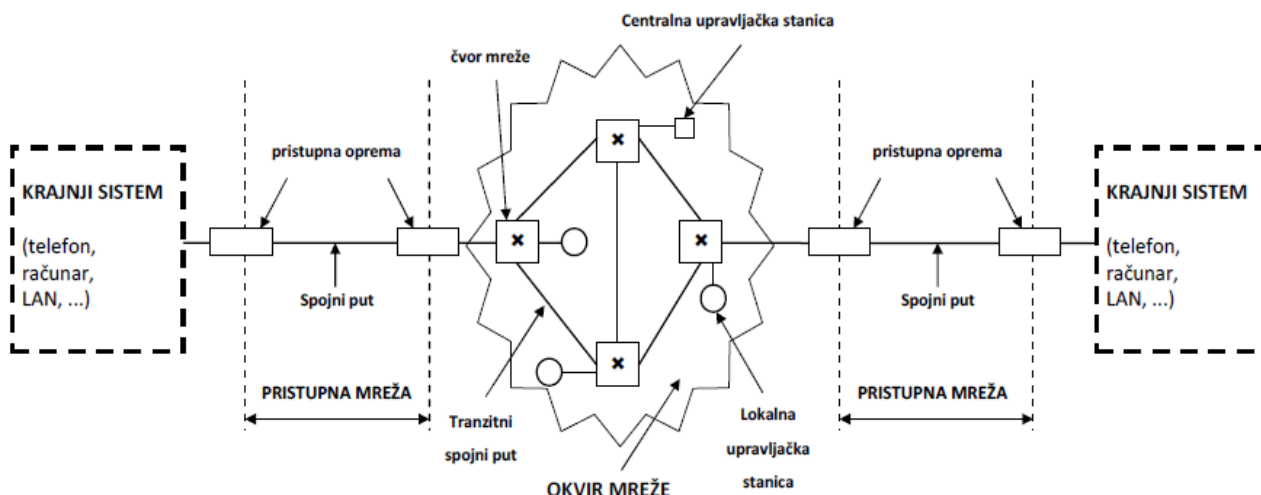
2.3.3.1. Komponente i struktura telekomunikacijske mreže

U sastavne dijelove telekomunikacijske mreže spadaju (slika broj 12.):

- Čvorovi mreže (telefonske centrale, multiplekseri, habovi, ruteri i dr.);
- Komunikacijske jedinice / Spojni putevi (sistemi prenosa - povezuju čvorove mreže);
- Pristupna mreža (osigurava pristup terminala čvorovima mreže);
- Krajnji sistem (terminali - osiguravaju pristup korisnika TK mreži);
- Sistem za nadzor i upravljanje.

Osnovne etape matematičkog modeliranja telekomunikacijske mreže su:

- postavljanje problema i definisanje cilja,
- utvrđivanje informativnih parametara i ograničenja,
- utvrđivanje matematičkih promjenljivih,
- formulisanje funkcije cilja,
- formulacija ograničenja u obliku jednačina i nejednačina,
- popuna neodređenih modela ostalim uslovima,
- izbor algoritma za rješavanje problema,
- rješavanje problema,
- provjera rezultata,
- provjera fleksibilnosti modela pri promjeni informativnih promjenljivih (analiza osjetljivosti modela),
- određivanje granica modela, i
- realizacija rezultata.



Slika broj 12. Komponente telekomunikacijske mreže

Strukturu telekomunikacijske mreže na fizičkom nivou čine prenosni i komutacioni sistemi preko kojih se ostvaruju različiti oblici telekomunikacija.

U fiksnoj mreži korisnički uređaj je stacioniran i žično priključen na pristupnu centralu, dok je u mobilnoj mreži korisnik priključen s pomoću pokretne radijske stanice.

Prenosni sistemi su sredstva (vodovi i uređaji) čija je zadaća povezati pretplatničke uređaje s centralama, te centrale na različitim nivoima međusobno.

Pravilan izbor prenosnog sistema ovisi o:

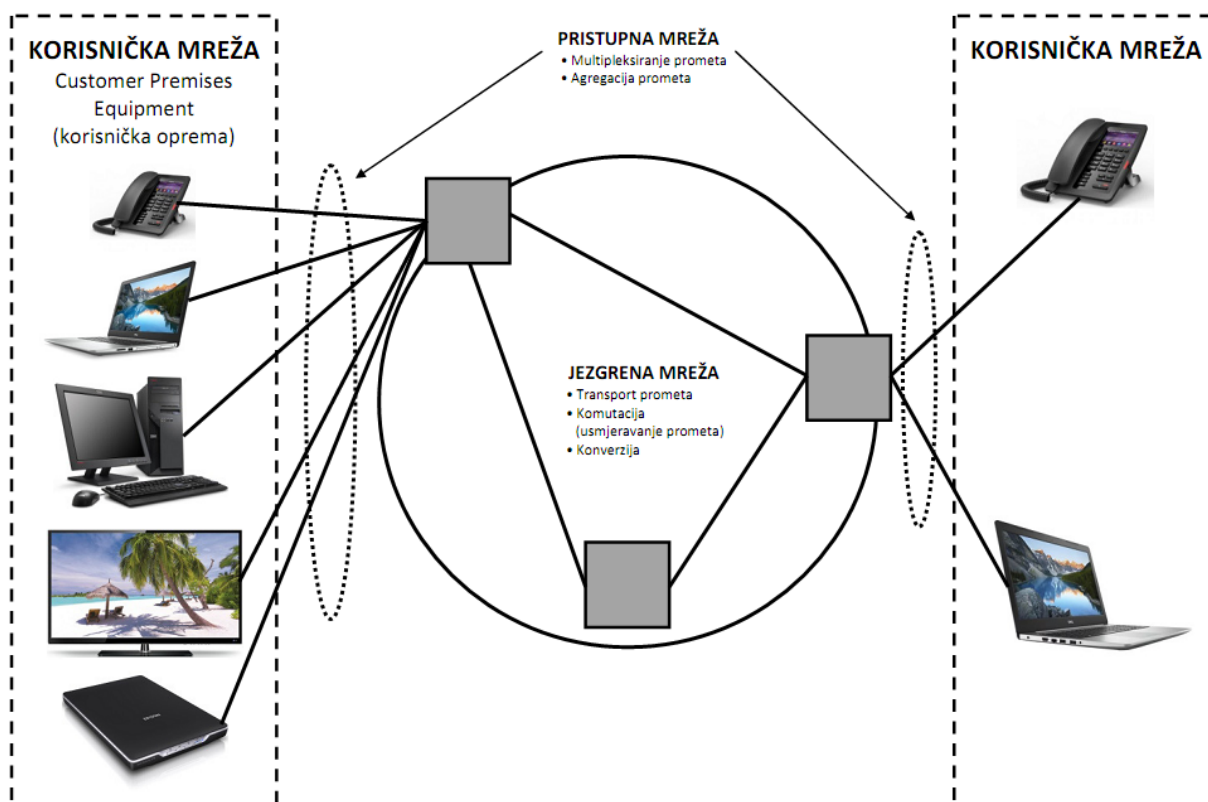
- vrsti i obimu informacija koje treba prenijeti,
- udaljenosti na koju treba prenijeti informacije,
- kvaliteti prenosa,
- cijeni izgradnje,
- cijeni održavanja,
- vijeku trajanja.

U strukturi TK mreže razlikujemo dva dijela:

- Jezgrena mreža (Core Network, CN), i
- Pristupna mreža (Access Network, AN).

Mreža ima zadaću isporuke informacije sa traženom kvalitetom. Složeni mrežni mehanizmi trebaju ostati skriveni za korisnika usluge i aplikacije.

U podjeli telekomunikacijske mreže pominje se korisnička mreža (User Premises Equipment, UPE) koja predstavlja dio mreže koji se nalazi na korisničkoj strani. Sastoji se od krajnjih / terminalnih uređaja (End-Device) (slika broj 13).



Slika broj 13. Segmentacija telekomunikacijske mreže

2.3.3.2. Jezgrena mreža

Jezgrena mreža (Core Network, CN) je središnji dio komunikacijske mreže. Omogućava usmjeravanje i prenos informacija između dva rubna dijela mreže.¹¹ Povezuje sisteme u pristupnoj mreži te omogućava komunikaciju s drugim mrežama. Uz komutiranje i usmjeravanje informacijskih tokova, jezgrena mreža učestvuje u rješavanju usluga i aplikacija, njihovom prilagođavanju korisnicima i zaštiti, zatim u lociranju korisnika u mobilnim mrežama (slika broj 14.).

Jezgrena mreža nastaje od sistema velikih kapaciteta i visokih performansi. Može biti zajednička za više pristupnih mreža, čime se postižu efikasnija rješenja i bolja iskoristivost raspoloživih kapaciteta.

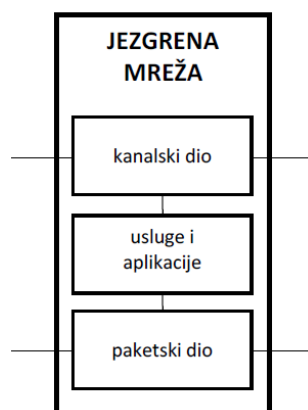
Jezgrena mreža čini okosnicu (okvir) mreže (backbone network) i regionalne (metro) mreže.

Okosnicom mreže ostvaruje se povezivanje gradova i naselja, a regionalnom mrežom se povezuju prigradska naselja i manji gradovi u metropolama sa središtem.

Strukturu jezgra mreže čine:

- Transportna mreža - transmisioni linkovi (sistemi prenosa) velikih kapaciteta koji povezuju komutacione čvorove mreže;
- Komutaciona i signalizaciona mreža - skup uređaja koji omogućava uspostavljanje veze između pojedinih korisnika na njihov zahtjev.

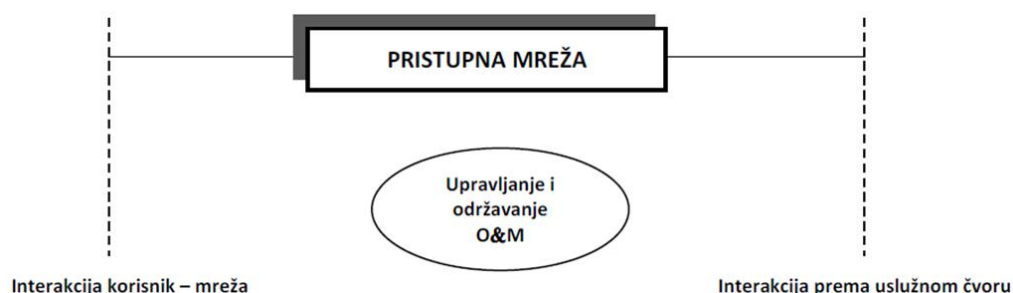
¹¹ Dragan Peraković, Marko Periša, Slavko Šarić, Ivan Forenbacher: Arhitektura telekomunikacijske mreže, FPZ – Zavod za informacijsko komunikacijski promet, Zagreb, 2017.



Slika broj 14. Arhitektura jezgrene mreže

2.3.3.3. Telekomunikacijska pristupna mreža

Pristupna mreža je mreža neovisna o uslugama, koja omogućava spajanje pretplatnika na različite čvorove usluga¹² (slika broj 15.).



Slika broj 15. Standardna sučelja

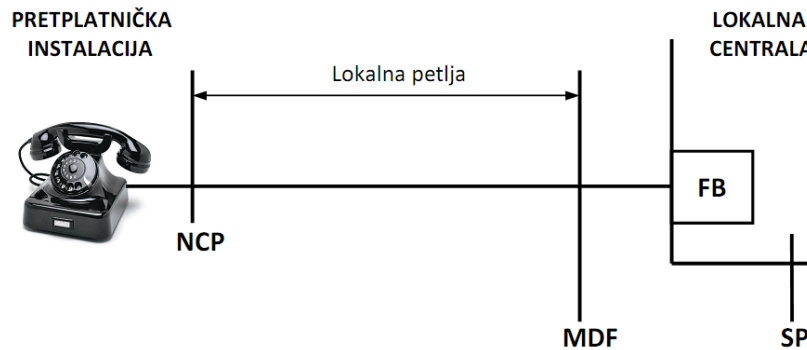
Ključni elementi podrške za pristupnu mrežu su standardna sučelja za različite čvorove usluga. Pristupna mreža povezuje pretplatnika s pristupnom centralom. Zahtjeve za kvalitetu i širom ponudom govorni i podatkovni usluga traže korisnici usluga.

Mreža ima zadaću za ostvarivanje komunikacije i pružanje informacijske i/ili komunikacijske usluge upotrebom jednog ili više oblika informacija, odnosno s jednim ili više medija: govor, zvuk, slika, video, tekst ili podatak.

Pristupna mreža krajnjim korisnicima omogućava povezivanje sa jezgrenom mrežom preko koje pristupaju raznim uslugama.

Na slici broj 16. imamo lokalne petlje koje povezuju lokacije krajnjih korisnika usluge s lokalnim centralama.

¹² Nediljko Bilić, Nedžad Rešidbegović: Tehnika komunikacija, FSK – Odsjek za komunikacije, Sarajevo, 2005.



LEGENDA:

NCP (Network Connection Point) - tačka priključenja na mrežu

MDF (Main Distribution Frame) - glavni razdjelnik

SP (Switching Point) - komutaciona tačka

FB (Feeder Bridge) - sklop za napajanje linije

Slika broj 16. Povezivanje lokacija krajnjih korisnika usluge

Pristupni sistem treba da omogući korisniku da "pristupi" mreži tj. sistem koji treba mrežu da prilagodi korisniku. Možemo ga definisati i kao dio TK mreže koji ima zadatac da uspostavi direktnu komunikaciju sa korisnikom i da mu omogući da koristi resurse mreže za uslugu koju on želi.

Sa stanovišta korisnika TK mreža treba da osigura (bez obzira na ishod):¹³

- Pouzdanu komunikaciju između krajnjih korisnika, uz minimalno vrijeme uspostavljanja veze i kašnjenja signala;
- Razmjenu informacija u formatu pogodnom za prijem i eksploataciju na korisničkim terminalima, uz odgovarajući kvalitet servisa zahtjevan od strane korisnika;
- Pružanje dodatnih usluga u skladu sa zahtjevima korisnika i visoku fleksibilnost;
- Jednostavno održavanje uz minimalnu vjerovatnoću otkaza.

Ponudač usluga ne mora imati tehnološki najbolje rješenje, nego rješenje za koje su telekomunikacijski zahtjevi korisnika i ekonomski interesi ponuđača usklađeni.

Širokopolasni pristup po izvornoj definiciji je pristup prenosne brzine veće od 2 Mbit/s, sa praktičnom granicom (tržišnom):

- 144 kbit/s u EU,
- na granici 200 kbit/s u SAD "definisao FCC (Federal Communication Commission)"¹⁴

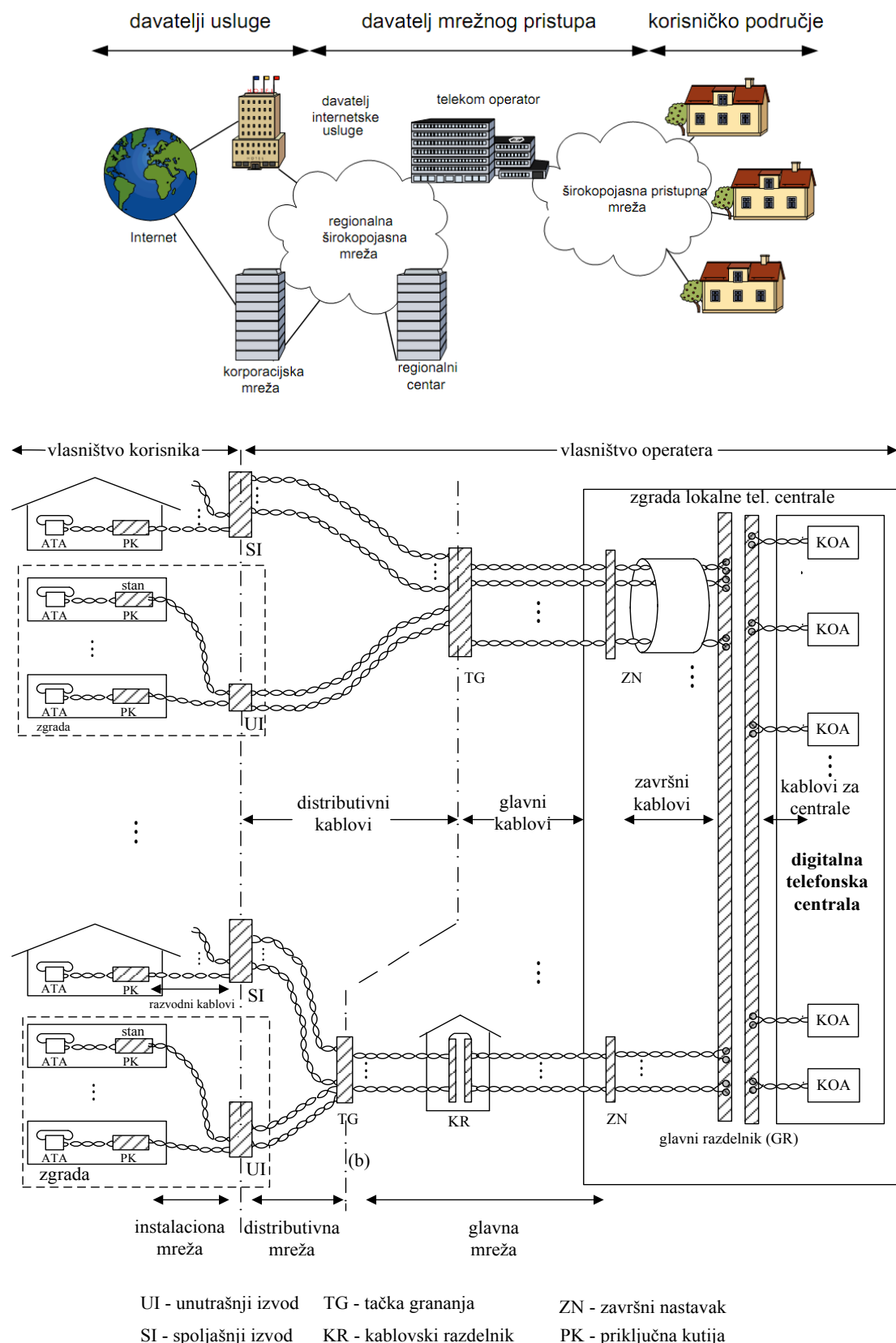
Širokopolasni pristup možemo definisati i:

Def.1. Širokopolasni pristup je brži pristup internetu i pristup internetu sa stalnom prosjernošću (always-on).

Def.2. Širokopolasni pristup je veza velike podatkovne brzine ali ne isključivo prema internetu i veza mora biti dvosmjerna (podatkovne brzine ne moraju biti jednake u oba smjera komuniciranja i ne mora biti isti ni put kojim se prenosni smjerovi transportuju mrežom).

¹³ Miroslav Dukić, Dejan Vujić: Telekomunikacione pristupne mreže, Elektrotehnički fakultet u Beogradu – katedra za telekomunikacije, Beograd, 2002.

¹⁴ Alen Bažant, Gordan Ježić: Regulatorni aspekti mreža i usluga, Fakultet elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, Zagreb, 2018.



Slika broj 17. Pristupna mreža

Mreža koja uključuje puteve od telefonske centrale do korisnika (kablovi, ili dionice koje su bežične jer se ostvaruju npr. radio-relejom vezom) se naziva pristupna mreža (slika broj 17.).

Pristupna mreža nosi ogroman dio troškova čitave telefonske mreže. Ako su korisnici fiksni onda je pristupna mreža kruta i nefleksibilna i teško ju je proširivati malo po malo jer nije isplativo zbog cijene radova na postavljanju kablova do korisnika. Otuda se proširenje pristupne mreže radi tek kada treba veći broj korisnika povezati na telefonsku centralu.

Primjer (telefonska mreža):

Pojasnimo primjer korisnikovog korištenja kapaciteta TK mreže korištenjem pristupnog sistema sastavljenog od jednog telefona, jedne telefonske parice i telefonske centrale.

Imamo: Korisnik (K1) želi da uspostavi vezu sa korisnikom (K2). Ljudski glas nije pogodan za prenos. Slijedi konvertovanje u električni signal u mikrofONU telefona, pa se taj signal transportuje putem telefonske parice, zatim u telefonskoj centrali se digitalizuje i prosljeđuje dalje na neki sistem prenosa kroz telekomunikacijsku mrežu.

2.3.3.4. Vrste telekomunikacijskih mreža

Razne su podjele TK mreža, a neke od njih su: prema vlasništvu, prema veličini oblasti (područja) pokrivanja, prema načinu distribucije informacija, prema vrsti servisa, itd.

Najčešći kriterijum podjele TK mreža je:¹⁵

- Prema vrsti informacije kojom se komunicira;
- Prema namjeni mreže;
- Prema pokretljivosti korisnika.

A) Prema vrsti informacije kojom se komunicira

Osnovna podjela je na:

- Mreže za govornu komunikaciju (npr. telefonska mreža), i
- Mreže za podatkovnu komunikaciju (zavisno od dominantnosti medija "govor ili podatak") (npr. Internet).

B) Prema namjeni mreže

Mogu biti:

- Javne mreže
Pravo na uslugu postiže se Ugovorom sa operaterom, i korisniku usluge je omogućeno komuniciranje sa korisnicima iste ili drugih mreža, zatim korisnicima u zemlji i inostranstvu, bez vremenskih i prostornih ograničenja; i
- Privatne mreže
Pravo na uslugu formira i upotrebljava fizička ili pravna osoba. Namjenjene su određenoj grupi korisnika unutar iste zajednice pa se po svojoj namjeni nazivaju akademskim, korporacijskim, poslovnim, funkcijskim, itd.

C) Prema pokretljivosti korisnika

Ova podjela određuje:

- Fiksnu mrežu (fixed network). Komunikacija se ostvaruje preko fiksne pristupne tačke, i ovo je vrsta komunikacije koja ograničava kretanje korisnika; i
- Mobilnu mrežu (mobile network). Komunikacija se ostvaruje bežično, i ovo je vrsta komunikacije u pokretu korisnika na području pokrivenom odgovarajućim radijskim signalom.

¹⁵ Ignac Lovrek: Telekomunikacije – tehnologija i tržište, Za izdavača Element Zagreb, Zagreb, 2010.

Da bi korisnici razumjeli da je komunikacijska usluga zadovoljavajućeg kvaliteta, što je prije svega subjektivna ocjena (npr. "razgovori se često prekidaju," "slika i glas nisu usklađeni", "slabo te razumijem", "dugo čekam stranicu weba", "datoteka je prenesena jako brzo", "u tekstu ima puno grešaka", "glas nije usklađen s otvaranjem usta", itd.), potrebno je uvažavati tehničke parametre kvaliteta usluge (Quality of Service, QoS), kao što su: kašnjenje, vjerovatnoća greške, dostupnost, pouzdanost, itd.

2.4. Regulatorna agencija i dozvole

Regulatorna agencija u području telekomunikacija je regulator koji treba da bude samostalan i nezavisan, koristeći se praksom zemalja u Evropi, kako bi se napravila veza tehnologija u telekomunikacijama i emitovanju zbog tržišta, pri čemu se agencija mora voditi Zakonom kojim je definisano njeno upravljanje.

U BiH takva agencija je Regulatorna agencija za komunikacije Bosne i Hercegovine (RAK) i njen madat je definisan Zakonom o komunikacijama BiH (Službeni glasnik BiH, br. 31/03).

U skladu sa Zakonom o komunikacijama BiH, nadležnosti Agencije su:¹⁶

- kreiranje i promovisanje pravila u sektorima emitovanja i telekomunikacija,
- licenciranje operatera u sektorima emitovanja i telekomunikacija,
- planiranje, upravljanje i dodjeljivanje frekvencijskog spektra,
- primjenjivanje tehničkih i drugih standarda koji se tiču kvaliteta,
- te uspostavljanje i održavanje sistema naknada za dozvole.

Zakonom o komunikacijama BiH je regulisana oblast komunikacija u Bosni i Hercegovini te uspostavljanje i rad Regulatorne agencije za komunikacije Bosne i Hercegovine u skladu sa Ustavom Bosne i Hercegovine, koji predviđa uspostavljanje i funkcionisanje zajedničkih i međunarodnih komunikacijskih sredstava.

Zakon se ne odnosi na TK opremu instaliranu u upotrebi i za potrebe javne sigurnosti i odbrane i Regulatorne agencije za komunikacije. Sa RAK-om se mora usaglašavati oko frekvencija koje ta oprema koristi.

Slične Agencije imamo i u susjednim državama: Srbija (Regulatorna agencija za elektronske komunikacije i poštanske usluge, RATEL), Hrvatska (Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti, HAKOM), Crna Gora (Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost, EKIP), Slovenija (Agencija za komunikacijska omrežja in storitve / Agencija za komunikacione mreže i usluge, AKOS), Severna Makedonija (Агенција за електронски комуникации / Agencija za elektronske komunikacije, AEK).

U skladu sa Zakonom o komunikacijama BiH, za operatere mrežnih i telekomunikacijskih usluga Regulatorna agencija izdaje sljedeće vrste dozvola:¹⁷

- Dozvola za pružanje javnih mobilnih telefonskih usluga (GSM i UMTS);
- Dozvola za pružanje fiksnih javnih telefonskih usluga;
- Dozvola za obavljanje djelatnosti operatera javnih elektronskih komunikacijskih mreža;
- Dozvola za obavljanje djelatnosti davaoca pristupa Internetu (ISP);
- Dozvola za davaoca usluge upravitelja centralne administrativne baze podataka prenesenih brojeva (CADB).

¹⁶ Regulatorna agencija za komunikacije (RAK) BiH: <https://www.rak.ba>

¹⁷ ADVOKATSKA FIRMA SAJIĆ O.D. BANJA LUKA: Telekomunikacije u BiH, Banja Luka, 2014.

3. Trend mobilne mreže 5G

Nadogradnja i trend nove mobilne tehnologije 5G biće: veća brzina prenosa više podataka, smanjeno kašnjenje za kraća vremenska učitavanja i povećana mogućnost povezivanja više uređaja odjednom.

3.1. Evolucija generacija mobilnih komunikacija

Mobilne komunikacije dijelimo u generacije, sa oznakom broja generacije i engleskog slova "G" (znači: generacija). Prije nego kažemo o potrebi za pojavom nove mobilne tehnologije 5G potrebno je dati pregled stanja generacija koje 5G tehnologija nastavlja.

Infrastruktura mobilnih operatera se sastoji u stvaranju ćelijske mreže koja se sastoji od zona radio pokrivenosti, zvanih ćelije. Iz tog razloga, mobilne tehnologije se često nazivaju ćelijskim.

3.1.1. Prva generacija mobilnih komunikacija (1G)

Obilježje prve generacije mobilnih sistema je upotreba višestrukih ćelija i mogućnost prenosa poziva iz jedne ćelije u drugu ako korisnik putuje u području pokrivenom s nekoliko ćelija tokom razgovora.

Kompanija NTT u Japanu je ostvarila 1979.-te prvu komercijalnu automatiziranu mrežu ćelija (1G generacije).

Godina 1981. smatra se pojavom 1G mreže, pri čemu je došlo do prave revolucije u cijelom svijetu komunikacija, jer ta analogna mreža mogla je da podrži samo prenos glasa pa je omogućavala da razgovaramo dok smo u pokretu.

Neke od mana uređaja u 1G su: masa uređaja (t) = (3,00 do 4,00) kg, uređaji nisu za ličnu upotrebu, cijena uređaja npr. Motorola DynaTAC je koštala 3.995,00 USD, itd.

Ograničenja 1G mobilne tehnologije bila su:

- Loš kvalitet zvuka;
- Ograničena pokrivenost;
- Potpuni analogni način komunikacije, otuda neefikasna upotreba spektra;
- Mali kapacitet, FDMA (Frequency Division Multiple Access) tehnika ne maksimizira kapacitet sistema;
- Različiti 1G sistemi su nekompatibilni jedni s drugima zbog različitih frekvencijskih opsega sistema;
- Nije podržan roming između različitih operatera;
- Slaba sigurnost vazdušnog interfejsa, nema podrške za šifrovanje;
- Nema primopredaje uz pomoć mobilnih uređaja, a samim tim i veći teret za Mobilni komutacioni centar (Mobile Switching Center, MSC).

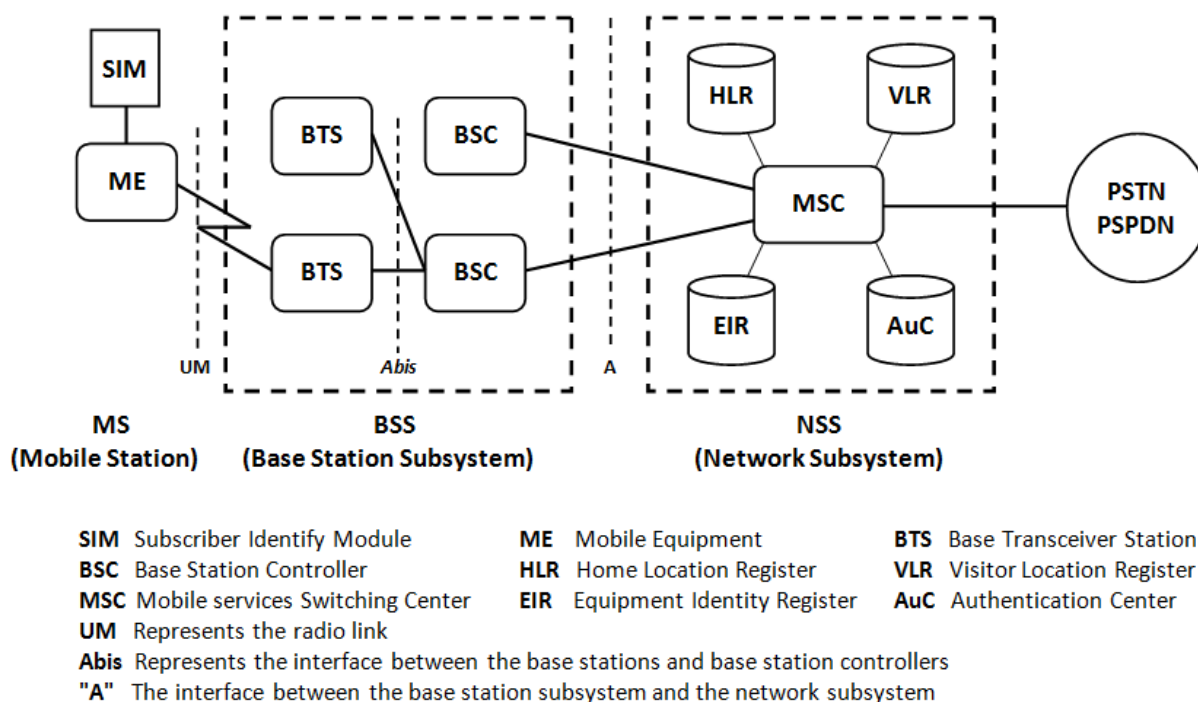
3.1.2. Druga generacija mobilnih komunikacija (2G)

Obilježje druge generacije mobilnih sistema je korištenje GSM (Global System for Mobile communications) standarda, a novitet kod 2G telefonskih sistema je što koristi digitalni prenos podataka (umjesto analognog). Korištenje pretplaćenog mobinog telefona u tom razdoblju je bio mobitel za kojeg se kupuju bonovi koje će korisnik trošiti svaki puta kada nekome uputi poziv.

Slanje poruka putem SMS-a (Short Message Service, SMS), u početku samo preko GSM mreža a kasnije i preko svih digitalnih mreža, je ostvareno prvi put 1993. u Finskoj između dva korisnika. U razdoblju druge generacije je uvedena i mogućnost pristupa multimedijalnom sadržaju na mobilnim telefonima.

Prve usluge prenosa podataka na mobilnim telefonima počele su slanjem SMS poruka, a prva Internet usluga uvedena je u Japanu 1999.-te.

Godina 1991. smatra se pojavom 2G mreže, i ta mreža je podržavala kvalitetni nivo usluge glasa i mogućnost da se razmijenjuju poruke. Njena nasljednica tzv. 2,5G mreža donijela je GPRS (General Packet Radio Service) tehnologiju tj. mogućnost da koristimo Internet preko mobilnog telefona. Brzina ovog prvog Interneta je bila skromna i u prosjeku je iznosila od (20 do 40) kbit/s, dok su maksimalne brzine iznosile oko 250 kbit/s. GSM mreža se sastoji od nekoliko cjelina: mobilna stanica, podsistem bazne stanice i mrežni podsistem (slika broj 18.).



Slika broj 18. Struktura GSM mreže

Sistemi 2,5G i GPRS pružaju usluge bez brzog prenosa podataka i cjelokupne multimedijalne usluge, kao i sistemi treće generacije. Poboľšanje GPRS tehnologije je bilo u tzv. 2,75G - EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) tehnologiji koja omogućava telekomima da koriste postojeće GSM frekvencijske opsege (900; 1800; 1900) MHz za pružanje multimedijalnih usluga na bazi IP brzina do 384 kbit/s. Tu imamo i do tri puta veći kapacitet prenosa podataka kod EDGE od GPRS-a. EDGE koristi TDMA (Time Division Multiple Access) tehniku multipleksiranja.

Metode pristupa komunikacijskim kanalima koje koriste sistemi druge generacije su:

- Code Division Multiple Access (CDMA)
Ovu metodu pristupa kanalima koriste različite tehnologije za komunikaciju preko radio signala. Upotrebom tehnike CDMA više mobilnih uređaja mogu koristiti iste frekvencije te svi mobilni uređaji mogu biti stalno aktivni jer kapacitet mreže ne ograničava broj aktivnih uređaja.
- Time Division Multiple Access (TDMA)
Ova metoda pristupa kanalu ne koristi multipleksiranje kao CDMA već koristi podjelu vremena. TDMA tehnika omogućuje da nekoliko korisnika koriste isti frekvencijski kanal podjelom u vremenske odsječke.

Tri tradicionalna koncepta višestrukog pristupa u mobilnim radio komunikacijama su: frekvencijski multipleks (FDMA), vremenski multipleks (TDMA) i kodni multipleks (CDMA). U FDMA tehnici korisnici su razdvojeni u frekvencijskom domenu, u TDMA tehnici u vremenskom domenu, dok u CDMA tehnici više korisnika pristupa dostupnom spektru kontinuirano tokom trajanja komunikacije, a korisnici su razdvojeni odgovarajućim kodovima.

U tabeli broj 1. imamo komparaciju razmatranih tradicionalnih tehnika višestrukog pristupa i primjećuje se da u odnosu na individualne zahtjeve različite tehnike imaju manja ili veća ograničenja.

Tabela broj 1. Komparacija metoda FDMA, TDMA i CDMA

	FDMA	TDMA	CDMA
Stabilnost frekvencije nosioca	<i>zahtjeva se</i>	<i>nije neophodno</i>	<i>nije neophodno</i>
Sinhronizacija	<i>ne zahtjeva se</i>	<i>zahtjeva se</i>	<i>zahtjeva se</i>
Mjerenje snage (monitoring)	<i>teško</i>	<i>lahko</i>	<i>lahko</i>
Near-far problem (hearability problem)	<i>ne postoji</i>	<i>ne postoji</i>	<i>postoji, potrebna kontrola snage</i>
Promjenljiv digitalni protok	<i>teško</i>	<i>lahko</i>	<i>lahko</i>
Uticaaj multipath fedinga	<i>neznan, ekvilajzer nije potreban</i>	<i>značajan, ekvilajzer potreban</i>	<i>RAKE prijemnik</i>
Veličina ćelije	<i>makro/mikro/piko</i>	<i>makro/mikro/piko</i>	<i>mikro/piko</i>

- Near-far problem ili hearability problem (problem nosivosti) je efekat jakog signala iz bliskog izvora signala koji otežava prijemniku da čuje slabiji signal iz drugog izvora zbog smetnji susijednog kanala, smetnji ko-kanala, izobličenja, efekata zauzeća, ograničenja dinamičkog opsega ili nešto tome slično.
- Small-scale feding, ili kako se još naziva multipath feding, koristi se za opisivanje brzih fluktuacija amplitude radio signala na mjestu prijema u toku kratkog vremenskog intervala ili duž malog pređenog rastojanja, pri čemu se efekti slabljenja i log-normalnog fedinga mogu zanemariti. Multipath feding je posljedica interferencije između dvije ili više replika prenošenog signala koje stižu na mjesto prijema u bliskim, ali različitim, vremenskim trenucima. Pojava prostiranja signala po više putanja naziva se multipath efekat i on je posljedica prisutnosti različitih objekata u oblasti u kojoj se odvija komunikacija na kojima dolazi do refleksije, difrakcije i rasijanja prenošenog signala.
- Ekvalizatori su softverski ili hardverski filtri koji prilagođavaju glasnost signala određenih frekvencija.
- RAKE prijemnik je radio prijemnik dizajniran da se suprotstavi efektima *multipath* fedinga. To čini pomoću nekoliko "pod-prijemnika". CDMA sistem koristi RAKE prijemnik koji osigurava poboljšanje veze kroz tehniku vremenskog diverzitija.

3.1.3. Treća generacija mobilnih komunikacija (3G)

Obilježje treće generacije mobilnih sistema je potražnja za uslugama prenosa podataka (Internet) i potreba za sve većim brzinama prenosa podataka. Novitet kod 3G tehnologije je upotreba preusmjeravanja paketa za prenos podataka, a standardizacija je usmjerena više na potrebe nego na tehnologiju (misli se na povećanja brzine i količine penosa podataka). Sistemi treće generacije koriste verzije CDMA standarda koji su nadograđeni kako bi podržali 3G tehnologije.

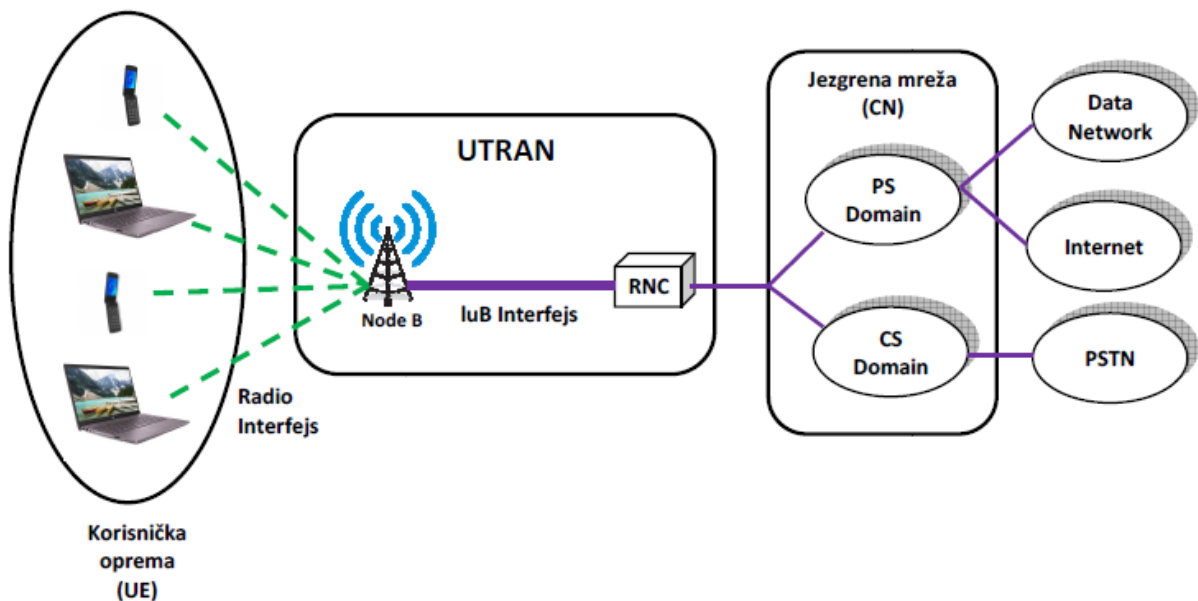
Kompanija NTT DoCoMo u Japanu je ostvarila 2001. prvu nekomercijalu 3G mrežu. Treća generacija kombinuje CDMA i TDMA standarde kako bi bili kompatibilni sa 2G sistemima.

Godina 2001. smatra se pojavom 3G mreže, i ta mreža donosi veliki napredak na području brzina, kvalitete i dostupnosti servisa mobilne telefonije. Pomjerene su i granice korištenja Interneta na mobilnim uređajima, učinivši Internet bržim i stabilnijim. U razdoblju treće generacije je omogućeno i da korisnici preko mobilne mreže razmjenjuju multimedijalni sadržaj sa brzinama u prosjeku od (128 do 250) kbit/s, dok je maksimalna granica iznosila 384 kbit/s.

Standard koji pripada 3G je IMT-2000 ili IMT-MC (IMT-Multi Carrier). Temelji se na CDMA metodi pristupa komunikacijskom kanalu za slanje govora, podataka i podataka o pozivima.

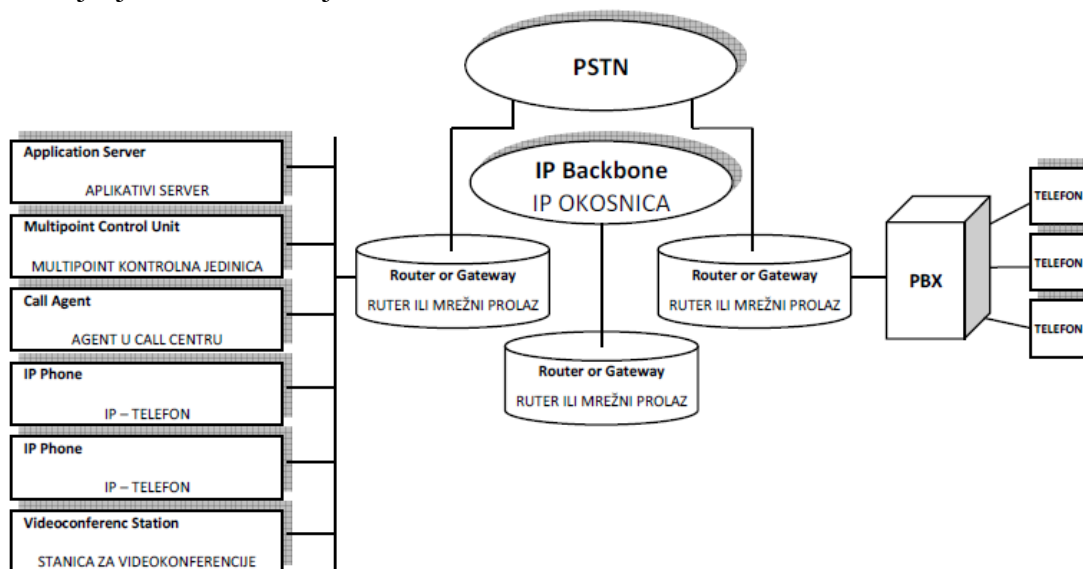
Imamo zatim i pojavu nove tehnologije 3,5G ili 3G+ ili turbo 3G koja se danas koristi na našim mobilnim uređajima. Ovu tehnologiju koriste mreže koje se temenje na UMTS sistemu. UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) se koristi u Evropi, Japanu, Kini i drugim zemaljama sa različitim iterfejsima gde se koristi GSM, a standard UMTS uključuje: bežičnu mrežu, jezgrenu mrežu (CN) i potvrdu identiteta korisnika putem SIM (Subscriber Identify Module) kartica. Nove bazne postavke i određivanje novih frekvencija je bio uslov za ostvarivanje UMTS-a. Ovaj standard pruža i veće brzine prenosa i veći kapacitet za prenos podataka (slika broj 19.).

Tehnologija 3,5G ima prosječne brzine od nekoliko Mbit/s (1,8; 3,6; 7,2 i 14), dok maksimalnu brzinu do 42,20 Mbit/s omogućuje HSPA+ (koristi DC (Dual-Carrier) tehniku).



Slika broj 19. Struktura UMTS mreže

U razdoblju 3G pojavila se i Voice over Internet Protocol (VoIP) tehnologija (slika broj 20.). VoIP¹⁸ ("Glas preko IP") je temeljni izraz za skup tehnologija koje omogućavaju prenos glasovnih podataka preko Internet Protokola (Internet Protocol, IP), korištenjem internet veze. Znači imamo prenos glasovnih podataka preko Interneta i drugih podatkovnih mreža. Prednost kod ovih tehnologija je povoljna cijena obavljanja međunarodnih poziva. Jedan od ciljeva ovih standarda je omogućiti integraciju između IP telefonije i globalnih standarda celularne telefonije, kao što je globalni sistem za mobilne komunikacije (GSM). Međutim, pomicanje prema standardima bilo je sporo, a samo nekoliko dobavljača nudi VoIP usluge klase mobilnih operatera s prihvatljivim nivoima kašnjenja u komunikaciji.



Slika broj 20. Komponente VoIP mreže

3.1.4. Četvrta generacija mobilnih komunikacija (4G)

Obilježje četvrte generacije mobilnih sistema je brži i kvalitetniji mobilni Internet na komunikacijskim uređajima i ispravke nedostataka prethodnih generacija. Tehnologija 4G je nasljednik 3G i 2G familije mobilnih komunikacija. Uočivši da 3G mreže postaju preopterećene brojem korisnika i upotrebom aplikacija kojima je potreban širokopojasni kanal za prenos podataka, počinje razvoj za 4G tehnologijom, koja uključuje: izmijenjeni mobilni web pristup, brži prenos podataka i multimedijalnih sadržaja, trenutno učitavanje onlajn sadržaja, brže postavljanje video sadržaja u HD rezoluciji, prenos HD/3D video sadržaja, usluge onlajn igara u realnom vremenu i mogućnost za SD/HD video konferencije.¹⁹

Mogućnosti koje pruža 4G je definisao ITU u IMT-Advanced sistemu i standardu. International Mobile Telecommunications Advanced (IMT-Advanced) je standard i sistem koji je kreirala Međunarodna unija za telekomunikacije, a zahtjevi koje je ITU sektor radiokomunikacija (ITU Radiocommunication Sector, ITU-R) izdao 2008. godine je ono što se prodaje kao 4G za stvaranje, rad i upravljanje mobilnim mrežama i Internet komunikacijama.

¹⁸ Network Encyclopedia: <https://networkencyclopedia.com> [pristupljeno 2020].

¹⁹ Rezolucija ekrana je mjerenje broja piksela procjenom visine i širine. SD (Standard Definition) emitovanje je nižeg kvaliteta, ali zahtjeva manji propusni opseg. Dobra su opcija za gledaoce sa veoma malim brzinama internetske veze jer niža brzina prenosa znači da će prenositi glatkije sa manjom vjerovatnoćom baferovanja u poređenju sa video zapisima većeg kvaliteta. SD ima rezoluciju od 720×576 piksela. HD (High Definition) emitovanje ima veći kvalitet, ali zahtjeva veći propusni opseg. HD (poznat i kao 720p) ima rezoluciju od 1280×720 piksela. Također, HD rezolucijom se smatra i 1920×1080 (poznata i kao 1080p), ali se češće naziva FHD (Full HD, Full High Definition).

Strateška vizija za 4G je postavljena 2002. Kompanija NTT DoCoMo iz Japana je 2004.-te predložila prvi put LTE (Long Term Evolution). U novembru 2005.-te kompanija KT Corporation je predstavila mobilnu WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) uslugu u Busanu (Južna Koreja). U aprilu 2006.-te, kompanija KT Corporation pokrenula je prvu komercijalnu mobilnu WiMAX uslugu na svijetu u Seulu (Južna Koreja).

Standard LTE prvog izdanja komercijalno je implementiran u Oslu (Norveška) i Stokholmu (Švedska) 2009.-te, a od tada je raspoređen u većini dijelova svijeta. Međutim, raspravljalo se treba li verzije prvog izdanja smatrati 4G LTE.

Godina 2009. smatra se pojavom 4G mreže, i ta mreža koristi mobilni uređaj koji podržava 4G mrežu, odgovarajuću SIM karticu i pokrivenost područja 4G mrežom. Brzine u teorijskom smislu idu do max 150 Mbit/s, dok je prosječna brzina oko 40 Mbit/s. Zbog ovakvih brzina i odziva mreže: učitavanje onlajn sadržaja je trenutno, korisnici u kratkom vremenskom roku preuzimaju postove i sadržaje u HD ili 3D rezoluciji, pa imamo i igranje igrice u realnom vremenu.

Dvije tehnologije koje pretenduju na 4G standard LTE (ponuđen u Skandinavskim državama) i WiMAX (ponuđen u SAD) svojim inicijalnim verzijama nisu zadovoljile stroge IMT-Advanced specifikacije od 100 Mbit/s za mobilni i 1 Gbit/s za stacionarni promet ali se zahvaljujući provajderima usluga i operaterima danas široko prihvaćeno nazivaju 4G tehnologijama. Ono što povezuje ove dvije tehnologije prikazano je u tabeli broj 2.

Brzina prenosa podataka (4G) omogućava puno veće brzine prenosa podataka koje su potrebne zbog sve većih mogućnosti mobilnih telefona. Realna brzina ovisi o: nivou signala, modelu mobilnog uređaja i opterećenju mreže.

Tabela broj 2. Sličnosti LTE i WiMAX

Sličnosti	LTE	WiMAX
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Obje pripadaju all IP tehnologijama</i> • <i>Obje podržavaju naprednu MIMO antensku tehnologiju</i> • <i>Obje koriste sličnu modulacionu tehnologiju zasnovanu na OFDM</i> • <i>Obje imaju slične ciljeve koji omogućuju globalno povezivanje bežičnih podatkovnih mreža za mobilne telefone, prenosne računare i druge računarske uređaje</i> • <i>Obje dolaze do nivoa do koje su usluge dostupne u njihovoj regiji i nude bolju brzinu i pouzdanost, ali niti jedna tehnologija ne očekuje da će zamijeniti Wi-Fi kućne mreže</i> • <i>Obje imaju sličnu mrežnu strukturu (korištenje elemenata slični u funkciji: korisnički uređaji, bazna stanica, mrežni prolazi, centralni čvor, transportna mreža (IP/MPLS protokol), kontrolni sistem)</i> 		

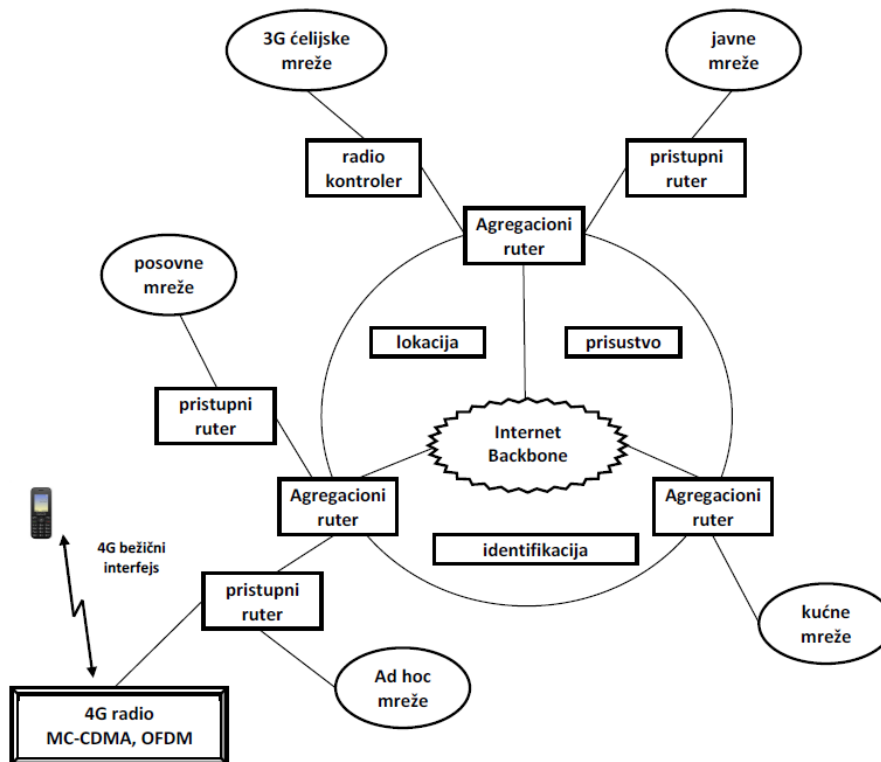
Tehnologija LTE je došla do izražaja u 4G zbog spuštanja donjih granica brzina koje su se po zakonu propisivale za 4G mreže. Kako kompanije nisu uspjele da postignu brzinu propisanu za 4G mreže, izjavili su da bi mobilna mreža mogla biti prepoznata kao 4G ako TK operater može dokazati da su njegove brzine značajno veće od 3G. Tako je LTE dobio naziv 4G LTE.

Pojavila se i tehnologija LTE-A (ili LTE +). Slovo A u LTE-A znači Advanced i predstavlja sljedeći korak u LTE tehnologiji. Ova 4G LTE-A tehnologija se najčešće koristi kada kompanije navode da imaju 4G jer neke još nisu savladale 4G brzine.

Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) je standardizovana tehnologija (od strane IEEE instituta, kroz seriju IEEE 802.16 standarda) koja osigurava širokopolasni bežični pristup korisniku (last mile) i predstavlja alternativu kablovskim modemima (CaTV) i DSL (Digital Subscriber Line) tehnologijama. WiMax forum je neprofitna organizacija čiji je cilj promovisanje i uvođenje WiMAX bežične tehnologije na način u kome će uređaji različitih proizvođača opreme međusobno nesmetano funkcionisati. Mreža WiMAX ne podržava prethodne sisteme kao što su 3G i 2G, dok je LTE kompatibilan. Troškovi za izgradnju WiMAX mreže su manji od troškova za izgradnju LTE mreže.

Tehnologija WiMAX je privlačna nekim TK firmama pri njihovom izboru, zbog:

- Ekonomske isplativosti
Isplativost WiMAX-a u smislu pružanja usluga i pristupa mreži. Korisnicima se omogućava rad na teško dostupnim područjima, što ima dobar uticaj i na broj pretplatničkih baza i na raspon usluga.
- Jednostavnosti korištenja u odnosu na rad s tradicionalnim ožičenim kanalima
Ako je potrebno WiMAX se može lako rasporediti i nadograditi. Ova osobina je korisna kada trebamo pružiti veliku mrežu u što kraćem vremenskom periodu.

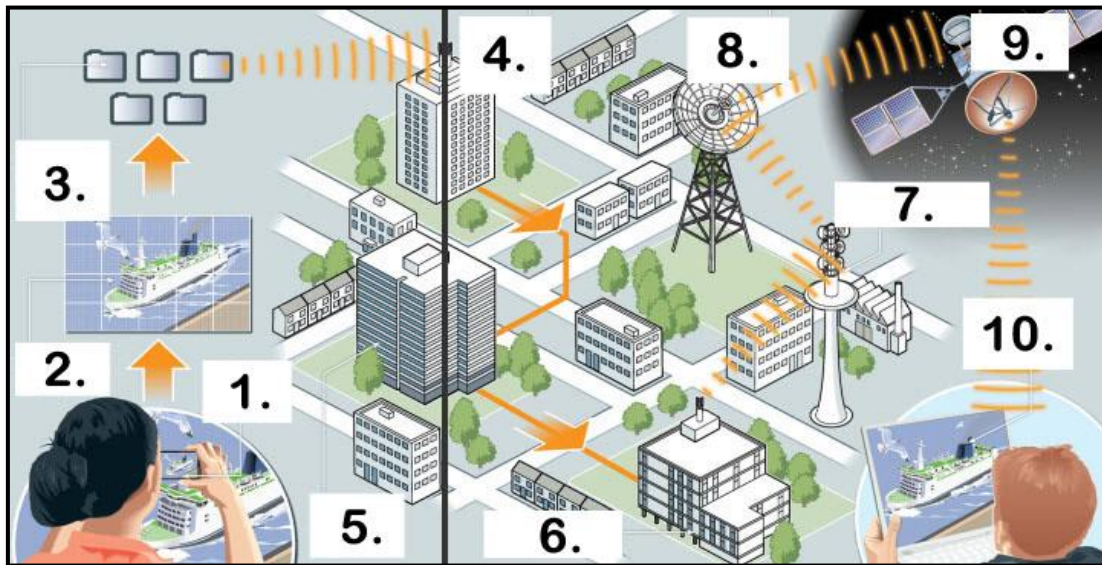


Slika broj 21. Arhitektura 4G mreže

Na slici broj 21. imamo arhitekturu 4G koja podrazumijeva i korištenje nekih mrežnih elemenata kao što su serveri i mrežni prolazi za pojedine vrste medija. Serveri omogućavaju pristup aplikacijama, dok mrežni prolazi pružaju mogućnost povezivanja na različite vrste mreža (uključujući i mreže za pristup).

Uspostavljanje ove arhitekture podrazumijeva rješavanje mnogobrojnih problema, a neki od njih su: potpuna mobilnost korisnika, veoma brz handover, zadovoljavajući kvalitet servisa, sigurnost i tarifiranje.

Generaciju mobilnih standarda 4G možemo definisati kao mrežu koja koristi Internet protokol u cilju kombinovanja različitih vrsta pristupnih mreža. U okviru 4G sistema, radio pristupna mreža (Radio Access Network , RAN) kao i jezgrena mreža (Core Network, CN) zasnivaju se na komutaciji paketa što podrazumijeva potpunu IP arhitekturu jezgra mreže.



LEGENDA:

- | | |
|----------------------|-------------------------------|
| 1 - Slanje poruke | 6 - Telefonska centrala |
| 2 - Konverzija | 7 - Telekomunikacijski toranj |
| 3 - Paketi podataka | 8 - Satelitska postaja |
| 4 - Bazna stanica | 9 - Povratak na Zemlju |
| 5 - Mobilna centrala | 10 - Primanje poruke |

Slika broj 22. Put podataka od pošiljatelja do primatelja koristeći 4G LTE

Na slici broj 22. imamo niz događaja slanja (slike, videa, poruke, obavljanja poziva) koristeći se 4G LTE:²⁰

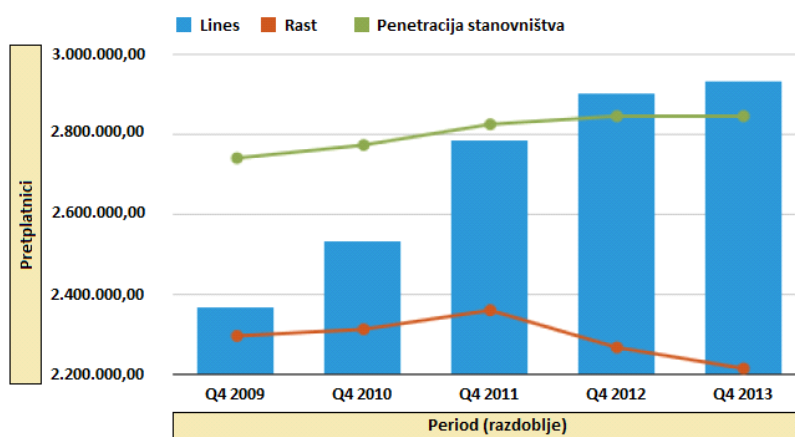
1. Pošiljatelj obavi poziv, pošalje SMS, sliku ili video nekom na drugoj strani svijeta.
2. Analogni podaci postaju digitalni nakon što dođu do našeg uređaja, te potom dolazi do njihove kompresije.
3. Kompresirani podaci dijele se na malene segmente (pakete) koji se povezuju s adresom za primatelje i nastavljaju daljnji put zasebno.
4. Najbliža LTE radio antena (mobilna bazna stanica) prikuplja pakete i šalje ih do sljedeće stanice.
5. Mobilna centrala šalje pakete do glavne telefonske centrale.
6. Budući da je naša poruka namijenjena međunarodnom primatelju, paketi se prosljeđuju do telekomunikacijskog tornja.
7. Odatle, poruka se šalje do zemaljske satelitske postaje.
8. Za komunikaciju na duge udaljenosti, paketi se bežično šalju do satelita, dok se preoceanske poruke mogu slati i putem podmorskog kabla.
9. Nakon što paketi prođu put preko satelita ili podmorskog kabla - proces se obrne: od 7 - 6 - 5 - 4 - pa sve do primatelja.
10. Primateljev uređaj ponovno spoji pakete, napravi dekompresiju podataka i pretvori ih u originalni (tekst, video, sliku ili telefonski poziv).

²⁰ Znanost Blog.com: <http://www.znanostblog.com> [pristupljeno 2020].

3.2. Telekomunikacijska industrija i nove mobilne tehnologije (5G)

Telekomunikacijska industrija je pretrpjela značajne promjene na većini tržišnih mjesta, uzrokovane tehnološkim promjenama, deregulacijom i M&A (Mergers and Acquisitions) aktivnostima.²¹ Povećana konkurencija i pad cijena za tradicionalne usluge prisilile su telekomunikacijsku industriju da se bavi novim inovacijama. Snažno i konkurentno tržište telekomunikacija zabilježeno je u Hong Kongu. Povećana je svjetska stopa prodora u fiksnim i mobilnim uslugama i široka upotreba širokopojsnih uređaja. Pored toga što Kina ima najveće tržište mobilnih komunikacija na svijetu, tržište i dalje ubrzano raste.

Krajem Q4 (četvrtog kvartala) 2013. u Hong Kongu je bilo 2 930 000 pretplatnika fiksne širokopojsne mreže. Godišnja stopa rasta je bila 0,93%, dok je penetracija stanovništva porasla na 40,37% (slika broj 23.).



Slika broj 23. Fiksna širokopojsna mreža Hong Konga

Tržište fiksne širokopojsne mreže u Hong Kongu je poraslo za 0,93% u 2013. što je znatno niže od stope rasta za sve globalne regione tokom istog perioda (tabela broj 3.).

Tabela broj 3. Poređenje rasta fiksne širokopojsne mreže Hong Konga sa zemljama u regiji [22]

Regija	PRETPLATNICI Q4 2013	GODIŠNJI RAST
Hong Kong	2 930 000	0,93%
Amerika	162 000 000	5,86%
Azija	307 000 000	6,64%
Evropa	194 000 000	5,80%
Bliski Istok & Afrika	23 000 000	11,09%
Okeanija	8 000 000	5,18%

Telekomunikacijska industrija izgrađuje, održava i upravlja TK mrežama, i ona omogućava korisnicima i organizacijama mogućnost komunikacije unutar i van granica države.

²¹ M&A (Mergers and Acquisitions) je opšti termin koji opisuje konsolidaciju kompanija ili imovine kroz različite vrste finansijskih transakcija, uključujući spajanja, akvizicije, konsolidacije, tenderske ponude, kupovinu imovine i akvizicije upravljanja. Akvizicija - podrazumijeva proces spajanja dvije ili više kompanija u jednu.

²² Point Topic- Hong Kong broadband overview: <https://point-topic.com> [pristupljeno 2020].

Tradicionalno razlikovanje između telefonskih usluga bilo kojeg oblika, kao i razgraničenje između glasovnih, podatkovnih i video usluga, brzo nestaje. Internet je dostigao trećinu svjetske populacije. Međunarodne komunikacije imaju najbrži rast u telekomunikacijskoj industriji. Pored opštih makroekonomskih i političkih rizika, stope rasta telekomunikacijske industrije će se značajno razlikovati u pojedinim zemljama. Telefonija je dobro uspostavljena usluga koja donosi vrijednost kupcima iz različitih područja i kultura, tako da postoji ogroman potencijal za rast usluga telefonije širom svijeta.

Kompanije koje učestvuju u međunarodnoj trgovini moraju se suočiti sa kulturološkim razlikama, kao i nepostojanjem zajedničkog međunarodno primjenjivog pravnog okvira (razmjenjivane usluge su složene, a regulatorni okvir presudan).

Globalizacija kompanije je sredstvo za smanjenje transakcijskih troškova i olakšavanje brzih reakcija na nove poslovne prilike.

Neke specifične trendove tehnološkog razvoja u industriji pametnih satova, uređaja za praćenje fitnesa i mobilnih uređaja je prepoznao Huawei. Zatim, kompanije su sa klasičnih telefona prešle na savitljive i telefone čiji se ekran može preklopiti.

Od načina na koji se uspostavlja komunikacija do načina na koji kupujemo, putujemo ili koristimo bilo koje usluge, sve što radimo na mreži svodi se na mobilne komunikacije. Osnova toga je što mobilne komunikacije održavaju Internet - funkcionišući kao veza između korisnika i dobavljača sadržaja (npr. bez obzira na to koliko miliona video snimaka YouTube ima na svojim serverima, svi se troše ukoliko se korisnicima ne osigura brza i pouzdana internet veza za pristup).

Prije nego je Internet postao popularan, SMS i glasovni pozivi bili su glavni kanali prihoda telekom operatera, a u mobilnim aplikacijama imali smo sve svedeno na kalkulator i kalendare. Dolaskom Interneta, došao je i beskrajn niz mogućnosti, od kojih je jedna bila razmjena trenutnih poruka. S jedne strane, tamo gdje su mobilne komunikacije pronašle novu mogućnost u pogledu povezivanja podataka, stari pouzdani SMS jednostavno je zamijenjen razvojem aplikacija za chat.

Nove tehnologije su uvijek korak ispred očekivanja, ali ono što se ne može predvidjeti je odakle će doći promjena. Prvo se razgovara o onom što je sigurno, a onda se vrše nagađanja.

Očito je da su mobilni telefoni 3G i 4G mreže neizmjeni pokretač naglog porasta upotrebe interneta na mobilnim telefonima širom svijeta i kontinuiranog rasta mreže.

Sljedeća generacija telekom mreže je 5G koja će raditi na višim radio frekvencijama i nuditi priliku za mnogo veće brzine interneta.

Potreba za novom tehnologijom (5G) koja nastavlja 4G (LTE-A/WiMAX), 3G (UMTS) i 2G (GSM) familiju mobilnih komunikacija, je potreba za većom virtualizacijom i nekim osnovnim prednostima u odnosu na 4G, a to su:

- Veća brzina prenosa podataka;
- Niža kašnjenja signala;
- Mogućnost povezivanja više uređaja;
- Veća energetska efikasnost;
- Dramatično povećana propusnost;
- Veća mobilnost korisnika.

Prije je svaka generacija mobilnih komunikacija bila ispred prethodne uglavnom u pogledu fizičkih karakteristika.

Tehnologija 5G će proširiti kontekst nudeći novo razumijevanje tehnologije: inovativna platforma na temelju koje će mnoge industrije odmah dobiti vjetar u leđa za razvoj. To će značiti pojavu potpuno novih usluga, poslovnih modela, vrsta interakcija između uređaja, proizvodnih lanaca i infrastrukture.

Nova 5G tehnologija nadilazit će samo hardverska rješenja. Mnoge funkcije u 5G biće implementirane u softveru, a ne na nivou fizičke infrastrukture.

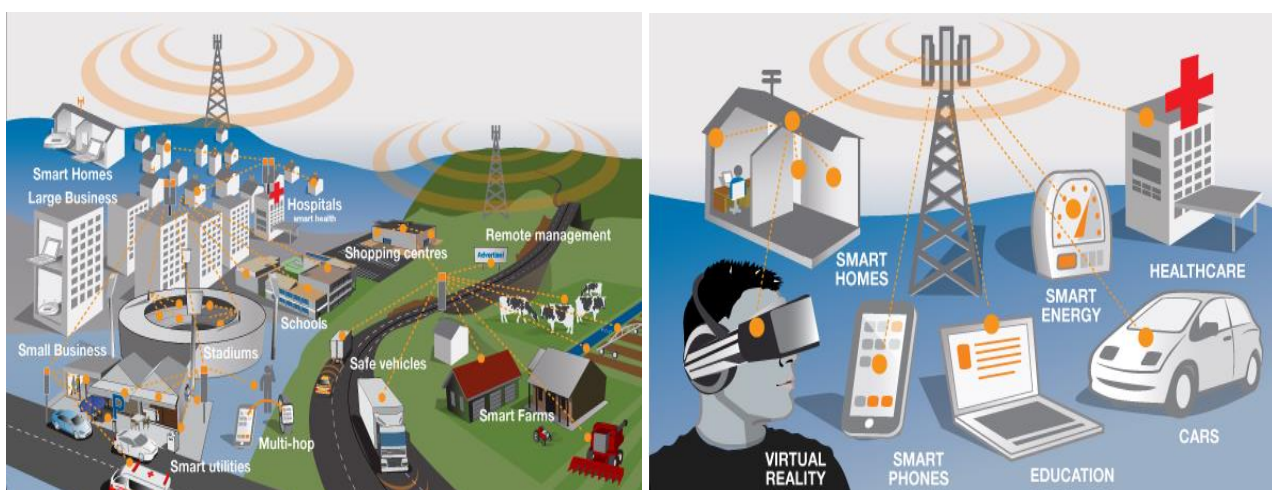
Obilježje pete generacije mobilnih sistema biće: puno brža obrada podataka od 4G mreže i odgovor na povećanje porasta podataka i povezanosti današnjeg modernog društva, zatim internet stvari (IoT) s milijardama povezanih uređaja i budućih inovacija. Pored bržeg povezivanja i većeg kapaciteta, vrlo važna prednost 5G biće i brzo vrijeme odziva koje se naziva latencija.

Godina 2019. smatra se komercijalnom pojavom 5G mreže kada izlazi na tržište, i ta mreža će donijeti:

- veću brzinu (prenos veće količine podataka u jedinici vremena),
- nižu latenciju (da bude sa bržim odzivom), i
- sposobnost da se međusobno konektuje mnogo više uređaja kao što su senzori i IoT (Internet of Things) oprema.

Ključna uloga 5G biće podrška vladama i kreatorima politika u pretvaranju velikih naselja u modernizovane gradove, a time i jača socio-ekonomska strana digitalne ekonomije vođene podacima za stanovništvo i zajednicu.

Peta generacija (5G) će koristiti radio talase ili radio frekvenciju (Radio Frequency, RF) za prenos i prijem glasa i podataka povezujući naše zajednice, i osigurat će brzinu, nisko kašnjenje i povezivost kako bi omogućila novu generaciju aplikacija, usluga i poslovnih mogućnosti (slika broj 24.).



Slika broj 24. Funkcionalno povezana zajednica u 5G sistemu

3.3. Osnovne karakteristike 5G

5G radio-sistem (5G NR) neće biti kompatibilan sa 4G, ali za sve 5G uređaje biće potrebna podrška 4G, neophodna za inicijalnu konekciju, sve do prelaska signala na 5G.

Uvođenjem tri nove poboljšane karakteristike: niska latencija, distribucija i prolaznost, nove poslovne mogućnosti moći će se riješiti. Razvijanjem standarda 5G tehnologija će transformisati mreže i operacije na nove načine. Infrastruktura virtualizacije mrežne funkcije (Network Function Virtualization Infrastructure, NFVI) je područje u kome će tehnologija i operativni modeli se mijenjati.

Automatizacija i orkestracija (automatizovana konfiguracija, koordinacija i upravljanje računarskim sistemima i softverom) transformisaće način na koji se grade i upravljaju mrežama budućnosti. Mrežna transformacija će se dogoditi velikim usvajanjem virtualizacije mrežnih funkcija (Network Functions Virtualization, NFV), orkestracijom mrežnih usluga i automatizovanim upravljanjem mrežom.

Vještačka inteligencija, mašinsko učenje i usvajanje novih 5G tehnologija transformiraće modele mrežnog rada i poslovnu ekonomiju što će dovesti do stvaranja široko distribuiranih, visoko gustih mobilnih mreža velike propusnosti. Slučajevi korištenja poput virtualne stvarnosti i autonomnog upravljanja mogu promijeniti način na koji ljudi troše i komuniciraju s tehnologijom. Ovi novi slučajevi upotrebe i drugi slučajevi upotrebe koji se pojavljuju izmijenit će formulu potrošnje i dovesti do stvaranja novih usluga i novih mogućnosti prihoda za prevoznike.

Peta generacija mobilnih sistema (5G) će ubrzati transformaciju, kada su pretplate na mobilne uređaje širom svijeta u pitanju pa i IoT uređaji sa pretplatama na mobilne uređaje, i stvoriti nove slučajeve korištenja, nove izvore prihoda i nove poslovne modele za industriju i potrošače.

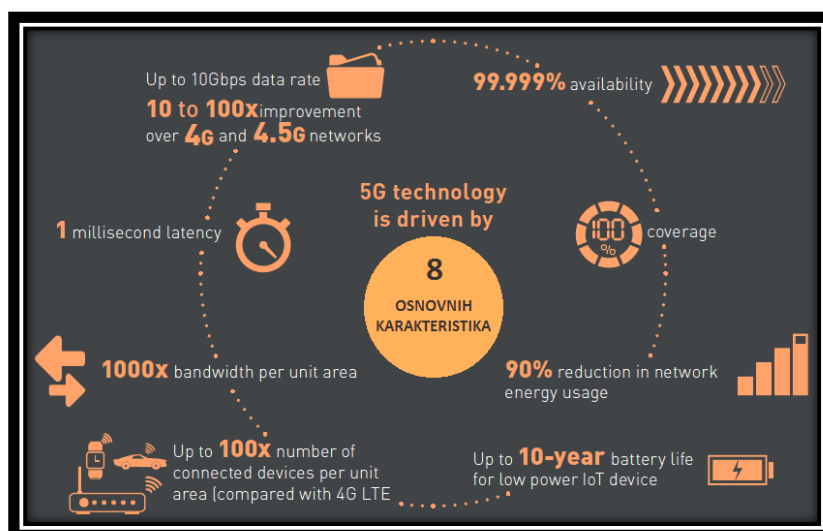
Sa ovim novim mrežnim sistemima, industrije bi imale koristi povezivanjem uređaja iz fizičkog svijeta na internet u cilju stvaranja inovativnih proizvoda ili usluga, pružanja boljeg korisničkog iskustva, povećanja efikasnosti i/ili poboljšanja sigurnosti, zatim povezanosti koja je prilagođena njihovim zahtjevima i sposobnosti da se brzo kreću u susret potrebama kupaca.

Obzirom na poboljšanja brzine, tehnologija će otpočeti masovni 5G IoT (Internet of Things) ekosistem u kojem će mreže moći zadovoljiti komunikacijske potrebe za milijarde povezanih uređaja, uz prave kompromise između brzine, latencije i troškova.

Osnovne karakteristike 5G mobilnih sistema biće (slika broj 25).²³

- Brzina prenosa podataka do 10 Gbit/s ⇒ poboljšanje brzine od 10 do 100x u odnosu na 4G mreže,
- Latencija: od 1 ms,
- 1000x veća širina pojasa po jedinici površine,
- Do 100x veći broj povezanih uređaja po jedinici površine (u poređenju s 4G LTE),
- 99,999% dostupnost,
- 100% pokrivenost,
- 90% smanjenje upotrebe mrežne energije,
- Do 10 godina trajanja baterije za IoT uređaj male snage.

²³ Introducing 5G technology and networks (speed, use cases and rollout): <https://www.thalesgroup.com> [pristupljeno 2020].



Slika broj 25. Pokretači 5G tehnologije

3.3.1. Brzina 5G

OpenSignal je kompanija za mobilnu analitiku koja kombinira stvarna mjerenja sa naučnom analizom kako bi pružio nezavisan uvid u mobilnu povezanost na globalnom nivou. Na osnovu njene studije 2020.-te i podataka sa informatičkog portala o tehnologiji i računarima „PC Chip“ iz Hrvatske, u tabeli broj 4. imamo poređenje brzina 4G LTE, 4G i 5G.

Tabela broj 4. Poređenje brzina 4G LTE, 4G i 5G

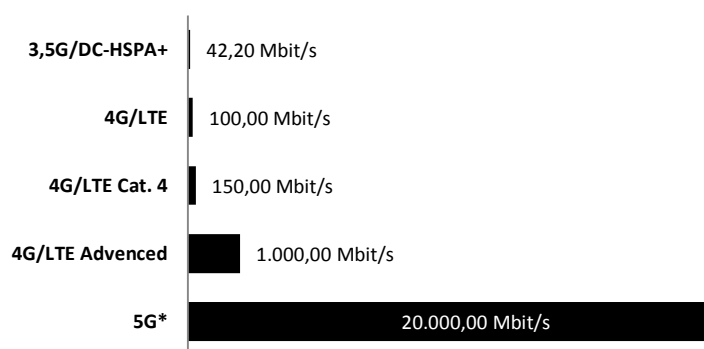
Mreža	Maksimalna brzina preuzimanja	Prosječna brzina (u teoriji)	Prosječna brzina u stvarnom svijetu
4G LTE	100 Mbit/s	(30-60) Mbit/s	(2-50) Mbit/s
4G	1 Gbit/s	100 Mbit/s	N/A
5G	20 Gbit/s	(200-1000) Mbit/s	111,80 Mbit/s

Analizom pojave 5G po cijelom svijetu, primijetit ćemo nejednake maksimalne brzine u različitim zemljama. Shvatanje kolika će biti brzina 5G, trebamo pogledati testiranja i primjere u stvarnom svijetu.

Maksimalna brzina 4G LTE mreže je oko 100 Mbit/s, a brže od toga je 4G mreža. Teorijska brzina je ono što 4G LTE telekom operateri mogu ponuditi kupcu od mreže.

Tehnologija 4G treba isporučivati 1 Gbit/s kada je korisnik u mirovanju (npr. stoji) i 100 Mbit/s kada je u pokretu (npr. u automobilu). Nijedan od uslova se ne može postići, pa ne možemo reći koja je brzina 4G mreže u stvarnom svijetu. Performanse 5G mreže biće prilično dobre iako su nove, a maksimalna brzina koju teorijski postiču biće 20 Gbit/s. TK kompanije za mobilne analize tvrde da se može postići brzina između 200 Mbit/s i 1 Gbit/s na njihovim testnim 5G mrežama.

Što se tiče brzine, evolucija podatkovnih usluga od 3,5G mreža je spektakularna kao što je prikazano na sljedećem dijagramu (slika broj 26.).



Slika broj 26. Brzine u evoluciji podatkovnih usluga počev od 3,5G [24]

Prema komunikacijskim načelima, što je frekvencija niža, propusnost je veća. Korištenje nižih frekvencija (milimetarski talasi između 30 GHz i 300 GHz) za 5G mreže biće razlog zašto 5G može biti brži. Ovaj 5G spektar širokog frekvencijskog opsega pružat će očekivano poboljšanje ne samo u brzini već i u kapacitetu, maloj latenciji i kvalitetu.

Brzina 5G preuzimanja (5G download speed) razlikovat će se uveliko u zavisnosti od područja.

3.3.2. Latencija 5G

Latencija je vrijeme koje je potrebno da uređaji komuniciraju jedni s drugima, ili sa serverom koji im šalje informacije. To je ono vrijeme koje prođe od trenutka kada pošaljete poruku prijatelju, i trenutka kada njihov telefon registruje da ima novu poruku. Razlika postoji između latencije i brzine. Brzina određuje vrijeme koje je potrebno vašem telefonu da preuzme sadržaj neke internet stranice.²⁵

Cilj svakog TK operatera u 5G mreži biće ostvarivanje veće brzine i kapaciteta sa što nižom latencijom (kašnjenjem) od 4G mreže. Definisane 5G stantarda sa ostvarivanjem brzine od 20 Gbit/s i latencijom od 1 ms radi se kroz regulatorna tijela. U CNN-u (Cable News Network) se navodi da pored vrlo niske latencije u 4G, latencija u 5G će se praktično svesti na nulu.

Tehnologija pete generacije nudit će izuzetno nisku stopu latencije, kašnjenje između slanja i primanja informacija (latencija = 1 ms = 1/1000 s) (tabela broj 5.).

Tabela broj 5. Poređenje latencija 2G, 3G, 4G i 5G [26]

Mreža	Latencija (kašnjenje)
2G	(500-1000) ms
3G	200 ms
4G	100 ms
5G	1 ms

²⁴ Gemalto: Introducing 5G networks – Characteristics and usages, 2018.

²⁵ Elta-kabel: Brzina, kapacitet... Razlike između 4G i 5G mreže: <https://www.elta-kabel.com> [pristupljeno 2020].

²⁶ MDPI: How 5G Wireless (and Concomitant Technologies) Will Revolutionize Healthcare?: <https://www.mdpi.com> [pristupljeno 2020].

Smanjenje latencije je ključno za:

- robotiku,
- virtualnu stvarnost,
- neka industrijska rješenja,
- razvoj *online* igara,
- tačnost pozicioniranja u navigaciji na centimetarskom nivou.

3.3.3. Frekvencijski spektar 5G

Mreže pete generacije će u osnovi da rade na dvije vrste frekvencija:

- ispod 6 GHz, i
- iznad 6 GHz.

Nisko-frekvencijske 5G mreže, koje će se zasnivati na postojećim mobilnim i Wi-Fi frekvencijama, koristit će prednosti fleksibilnog kodiranja i većih veličina kanala, što će im osigurati brzine od (25-70)% veće od LTE-a.

Prelazak na viši frekvencijski opseg nije direktno povezan sa povećanjem brzine. Frekvencijski spektar biće mnogo širi od opsega od (3,4-3,8) GHz. Mreže 5G će koristiti i takve frekvencije poput 700 MHz, a penjati se i do 70 GHz.

Za povremene korisnike ne očekuju se u početku zapanjujuće velike brzine. Prije nego što se aktivira infrastruktura u opsegu milimetarskih talasa (najkraća i pruža brzine od nekoliko gigabita u sekundi), postojeći kapaciteti će pružiti ne tako značajan rast u parametrima.

Glavni razlog za prelazak na nove opsege je nedostatak frekvencija u spektru ispod 6 GHz. Kroz 5G komunikacijske sisteme nastojat će se pružiti operaterima besplatne frekvencije, zatim širi opsezi unutar kojih će se moći prenijeti više podataka.

Nebitno o kojoj je mobilnoj mreži riječ, količina signala koji dolazi dobiva se od frekvencija koje mreža koristi za opskrbu svake mobilne generacije.

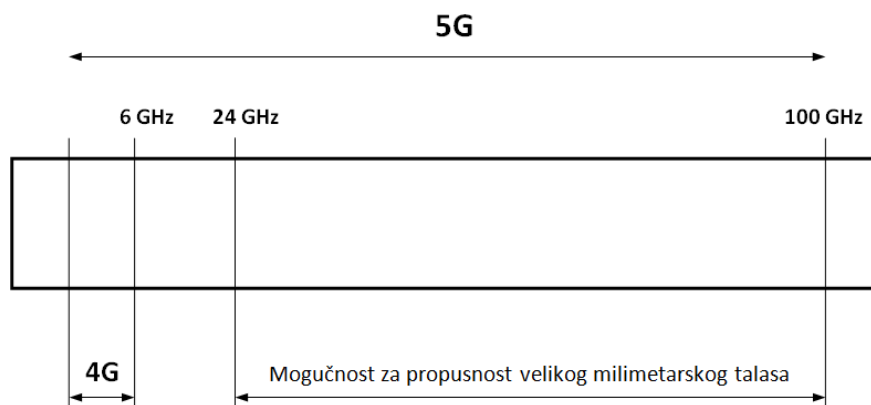
Niže frekvencije su najpouzdanije i sposobne da prođu kroz prepreke poput zgrada. Može se primijetiti da će 3G često raditi na više mjesta od 4G. Signali viših frekvencija su usmjereniji, ali ih također lakše raspršuju objekti.

Ogromno povećanje u poređenju sa bilo kojom prethodnom generacijom mreže 3G = (do 2 GHz), 4G = (do 6 GHz), biće kod pete generacije mobilnih sistema 5G = (i do 95 GHz).

Korištenjem nižih frekvencija, mobilni operateri time žele pružiti pouzdane mreže, a to se realizuje pod cijenom nižih brzina za njihove korisnike.

Korištenjem viših frekvencija koje će imati ograničeni domet, potrebno će biti instaliranje više 5G jarbola kako bi se podržala pouzdanost mreže.

Prednost 5G za razliku od 4G, je u tome što mrežnim tornjevima neće biti potrebno graditi jarbole, oni će se moći postaviti na zgrade, stubove sa lampama (bandere), itd. Za pristup 5G uslugama biće potreban uređaj koji podržava 5G. Telefoni pete generacije u područjima u kojima nema 5G mreže, automatski biće prebačeni na 4G mrežu. Frekventna porast 5G u odnosu na 4G je prelazak na novije više frekvencije poznate kao „milimetarski talasi“ (slika broj 27.).



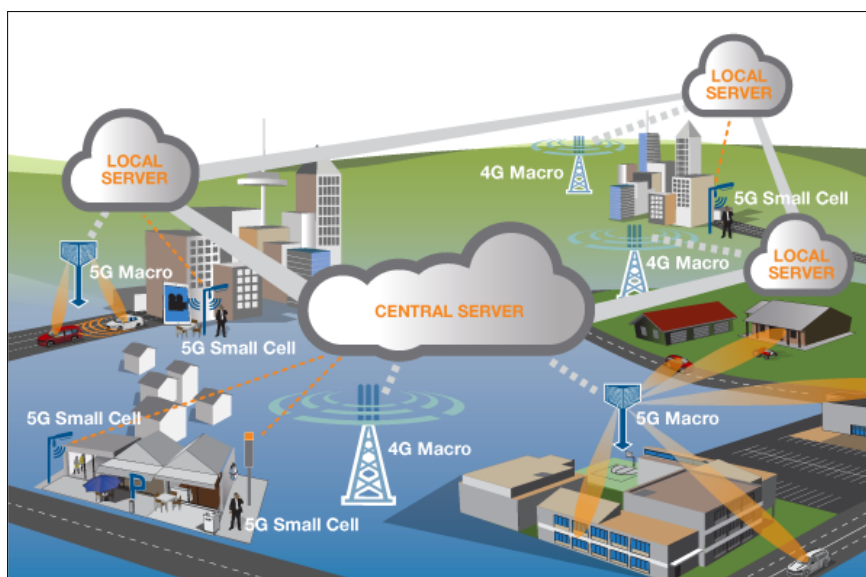
Slika broj 27. Poređenje frekvencijskog spektra 4G i 5G

3.4. Arhitektura 5G mreže

Peta generacija će koristiti inteligentniju arhitekturu koja više nije ograničena blizinom bazne stanice ili složenom infrastrukturom. Osnovni cilj prethodnih generacija mobilnih mreža bio je jednostavno pružanje brzih i pouzdanih usluga mobilnih podataka korisnicima mreže. Tehnologija pete generacije će proširiti ovaj opseg nudeći širok spektar bežičnih usluga.

Tehnologija pete generacije će voditi ka raščlanjenom, fleksibilnom i virtualnom RAN-u sa novim interfejsima (sučeljima) koji stvaraju dodatne pristupne tačke za podatke.

Većina operatera u početku će integrisati 5G mreže sa postojećim 4G mrežama kako bi osigurale kontinuiranu vezu.



Slika broj 28. Kontinuirana veza rada 4G i 5G

Na slici broj 28. imamo 5G mrežna arhitektura koja slikovno objašnjava 5G i 4G kako rade zajedno, sa centralnim i lokalnim serverima koji korisnicima pružaju brži sadržaj i aplikacije male latencije.

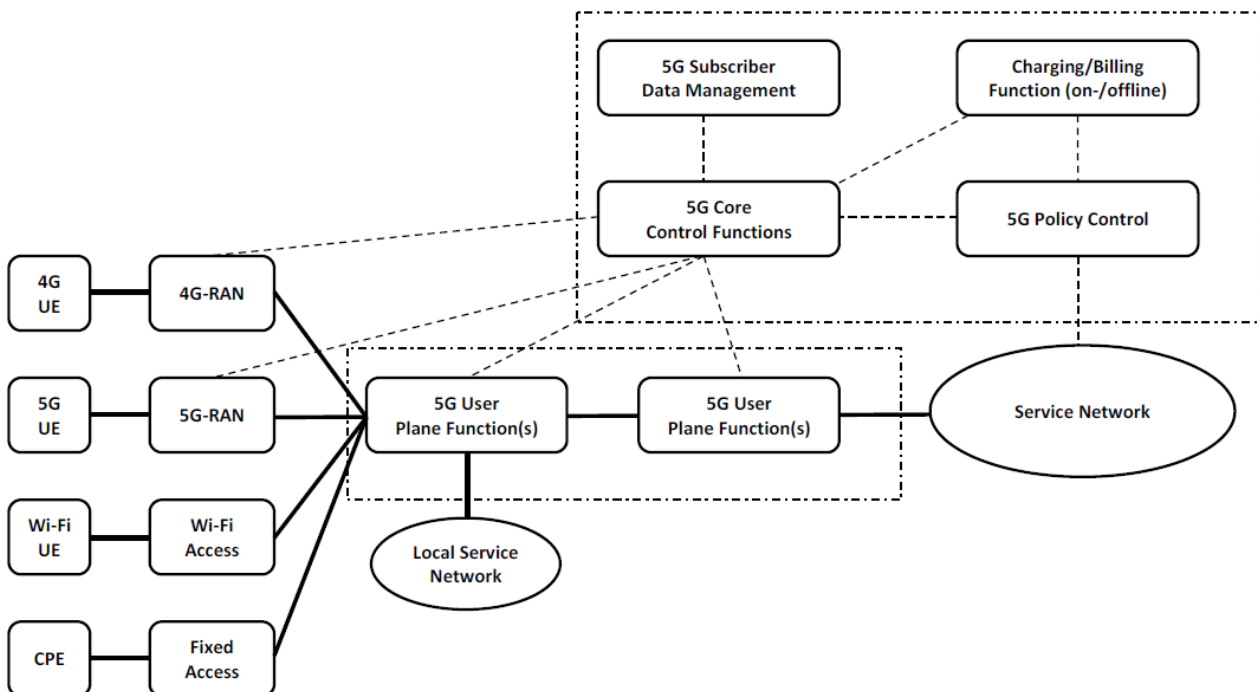
Mobilna mreža ima dvije glavne komponente:

- Radio pristupne mreže (Radio Access Network, RAN)
Sastoji se od radio-jarbola i pripadajuće opreme za odašiljanje i prijem. Ne vrši se obrada podataka. Glavna karakteristika 5G mreža biće male ćelije, posebno na frekvencijama novog milimetarskog talasa (mmWave) gdje je domet veze vrlo kratak. 5G makro-ćelije će koristiti MIMO (više ulaznih, više izlaznih) antene koje imaju više elemenata ili veza za istovremeno slanje i primanje više podataka. Veći broj korisnika će se moći istovremeno povezati na mrežu. Tamo gdje MIMO antene koriste veoma veliki broj antenskih elemenata, oni se često nazivaju "massive MIMO", međutim, fizička gabaritnost će im biti slična postojećim 3G i 4G antenama baznih stanica.
- Jezgrena mreža (Core Network, CN)
Sadrži centralne elemente za kontrolu i obradu podataka u mreži. Jezgrena mreža je mreža za mobilnu razmjenu i prenos podataka koja upravlja svim mobilnim komunikacijama za prenos glasa, podataka i Interneta. Za 5G, je redizajnirana kako bi se bolje integrisala s Internetom i uslugama, a uključuje i distribuirane servere širom mreže, poboljšavajući vrijeme odziva (smanjujući latenciju).

Mreža pete generacije je dizajnirana na osnovu nove arhitekture koja ima novi vazdušni interfejs, nazvan 5G NR (5G New Radio). 5G NR predstavlja novi vazdušni interfejs i radio pristupnu mrežu (RAN) razvijen da zadovolji različite zahtjeve primjena upotrebe 5G, kao što su velika propusnost, mala latencija, energetska efikasnost, itd.

Neke od ključnih karakteristika 5G NR su:

- Radio spektar (Radio Spectrum)
5G NR bi radio u širokom rasponu frekvencijskih opsega.
- Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
5G NR će koristiti OFDM kao osnovnu šemu modulacije.
- Oblikovanje snopa (Beamforming)
5G NR će podržati upotrebu oblikovanja snopa za postizanje veće propusnosti.



Slika broj 29. Arhitektura 5G mreže

Na slici broj 29. imamo prikaz uključenosti funkcija u pružanju mrežnih usluga. Svaka usluga će imati određene karakteristike, poput QoS-a ili mobilnosti. Usluge se mogu dodijeliti namjenskim i/ili podijeljenim mrežnim parčadima. Svako mrežno parče biće realizovano stvaranjem jedne ili više virtualnih mreža, a svaka od njih sa određenim karakteristikama performansi. Usluge pretplaćene od korisnika biće preslikane na parčad. Sa potencijalno beskonačnim brojem mrežnih presjeka koji će biti potrebni, biće potrebna jaka infrastruktura za virtualizaciju mrežnih funkcija (NFVI).

Orkestracija, analitika i automatizacija imat će ključnu ulogu u transformisanju mreže za podršku i pokretanje 5G mreže.

3.5. Tehničko-tehnološki elementi 5G mobilnih sistema

3.5.1. Testiranje 5G mreža

Kompanija NTT DoCoMo i Huawei su 2016.-te u Tokiu (Japan) napravili prvo svjetsko 5G terensko ispitivanje u opsegu 4,5 GHz koristeći novu numerologiju i strukturu okvira u skladu s trenutnim ugovorima 3GPP 5G New Radio (NR). U ispitivanju koje je zajednički provedeno sa NTT DoCoMo, Inc., ukupna korisnička propusnost od 11,29 Gbit/s i manje od 0,5 ms latencije korisničke ravnine u jednom smjeru, postignuti su u pokrivenosti makro ćelija stvarnog urbanog scenarija primjene u Yokohami (Japan).²⁷



Slika broj 30. Prvo 5G testiranje na svijetu u Yokohami, Japan

Na slici broj 30. je makro ćelija sastavljena od jedne bazne stanice koja radi s propusnom širinom od 200 MHz, 64 TRX-a/BTS-a (primopredajnika bazne stanice) i 23 UE-a na obje vrste stacionarnog i mobilnog prometa. Prema testu, ukupna korisnička propusnost od 11,29 Gbit/s postignuta je s 24 sloja, pri čemu je svako UE dobilo po 2 sloja. Vrhunska postignuta efikasnost spektra bila je 79,82 bit/s/Hz/ćeliji. S novom strukturom okvira i numerologijom postignuto je manje od 0,5 ms kašnjenja korisničke ravnine u jednom smjeru. Ovo područje (ravnina) latencije iznosilo je oko 1/10 latencije LTE-a.

²⁷ Huawei-Huawei and DOCOMO Conduct World's First 5G Large Scale Field Trial in the 4.5 GHz Band: <https://www.huawei.com> [pristupljeno 2020].

S porastom potražnje za mrežama novih i boljih komunikacija i velikom propusnošću podataka, raste i potreba za ubrzanje primjene i testiranje 5G mreža.

Izazovi u testiranju 5G mreže su:

- Testna 5G oprema je skupa zbog velike potražnje;
- Izvođenje 5G testiranja je kritično i dugotrajno dok ne dođe do faze analize; i
- Masovno postavljanje sredstava prilikom terenskih testiranja zahtijeva veća ulaganja.

Neke od kompanija (npr. RantCell) kao zamjenu za proceduralno testiranje mreže osmislilo je rješenje za testiranje 5G koje je kompatibilno na Android uređajima i može lako izvršiti mrežne testove (tabela broj 6.).

Tabela broj 6. Uređaji koji podržavaju RantCell [28]

Marka uređaja	Naziv modela	Mrežna tehnologija
<i>Samsung</i>	<i>Samsung Galaxy S20 Ultra 5G + Android 10</i>	<i>GSM / HSPA / LTE / 5G</i>
<i>Samsung</i>	<i>Samsung Galaxy S20+ 5G + Android 10</i>	<i>GSM / HSPA / LTE / 5G</i>
<i>Samsung</i>	<i>Samsung Galaxy S10 5G + Android 10</i>	<i>GSM / HSPA / LTE / 5G</i>
<i>Samsung</i>	<i>Samsung Galaxy Note 10+ 5G + Android 10</i>	<i>GSM / HSPA / LTE / 5G</i>
<i>Samsung</i>	<i>Samsung Galaxy Note 10 5G + Android 10</i>	<i>GSM / HSPA / LTE / 5G</i>

Kako se mrežni koncepti i tehnologije razvijaju za 5G, tako će se i odgovarajuće testne metode i procesi razvijati u skladu s tim. Buduće metode testiranja 5G morat će pružiti veliko povjerenje operaterima da su tehnologija i usluge implementirani u skladu sa specifikacijama te da se kvaliteta usluge podudara sa zahtjevima aplikacije ili usluge koja se isporučuje.

Potpuno usmjerena na podatke 5G mreža s vrlo širokim i raznolikim nizom aplikacija za testiranje zahtijevala bi ogroman napor u samostalnom testiranju. Automatizacija, nadzor i ugrađeni sistemi za testiranje će biti presudni za pravilnu analizu performansi takve mreže. Iako će 5G uvesti mnogo novih zahtjeva za testiranje i izazova korištenjem NFV-a, ta ista tehnologija također se može koristiti za stvaranje novih testnih rješenja.

3.5.2. Tehnologija 5G komunikacijskih sistema

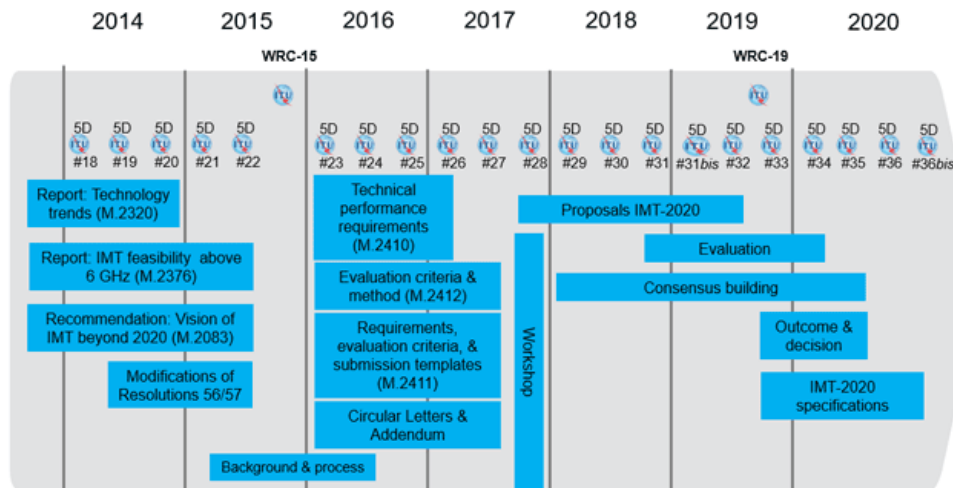
Tehnologija pete generacije (5G) će koristiti ćelijski sistem koji dijeli teritorije na sektore i putem radio-talasa šalje enkodirane signale između hotspot-ova (antena). Svaka ćelija mora da bude konektovana na kičmu mreže, bilo žičnim bilo bežičnim putem. Mreža će koristiti OFDM vrstu enkodiranja, koji je sličan onom upotrebljenom za 4G LTE tehnologiju. Dizajn OFDM-a je za manje latencije i veću fleksibilnost od LTE-a.

Zahtjeve koje je ITU sektor radiokomunikacija Međunarodne telekomunikacijske unije (ITU-R) izdao 2015. godine za 5G mreže, uređaje i usluge je standard IMT-2020 (International Mobile Telecommunications-2020). Standard IMT-2020 je naziv za sisteme, komponente i srodne elemente koji podržavaju poboljšane mogućnosti izvan onih koje nude IMT-2000 (tj. 3G) i IMT-Advanced (tj. 4G) sistemi.

²⁸ 5G Network Testing Solution: <https://rantcell.com> [pristupljeno 2020].

Standard IMT-2020 postavlja temelje za:²⁹

- 5G istraživačke aktivnosti koje se pojavljuju širom svijeta;
- Definiše okvir i opšte ciljeve procesa 5G standardizacije; i
- Utvrđuje putokaz za vođenje ovog procesa do završetka do 2020. (slika broj 31.)



Slika broj 31. Detaljan vremenski raspored i proces IMT-2020 u ITU-R [30]

Prema IMT-2020, postoje tri osnovna slučaja upotrebe 5G mobilnih komunikacija:

- enhanced Mobile Broadband, eMBB
(Poboljšana mobilna širokopojasna mreža)
Uobičajeni korisnički internet, ali brži i bolji. Brzina u zatvorenom može da dostigne 1 Gbit/s, a na otvorenom - do 300 Mbit/s. Ograničene brzine će biti moguće u fazi instaliranja najnaprednijih antena koje rade u milimetarskom talasu (mmWave). Kako im je veličina manja, time je i pogodno njihovo postavljanje na: stubove, drveće, zidove zgrada, itd.
- Ultra Reliable and Low Latency Communications, URLLC
(Ultra pouzdane i niske latencije komunikacije)
Komunikacije kod kojih je brzina manje važna od niske latencije. To je važno za autonomna vozila, kojima u kritičnoj situaciji može trebati manje od milisekunde da donesu odluku. Trenutno se raspravlja o zamjeni satelitske navigacije takvim tehnologijama.
- massive Machine Type Communication, mMTC
(Masovne komunikacije mašina na mašinu / Machine-to-Machine)
Komunikacija mašina na mašinu ili M2M, kao i IoT zasebni su segment potrošača 5G komunikacije. Karakteriše ga povezivanje velikog broja uređaja, najčešće industrijskih, sa malom potrošnjom energije, za koje je glavni zahtjev stabilnost i pouzdanost veze. To su posebno mjerni uređaji, senzori i infrastrukturni objekti modernizovanog grada.

Partnerski projekt treće generacije (3rd Generation Partnership Project, 3GPP) je industrijsko tijelo za standardizaciju mobilnih tehnologija, koje radi na razvoju standarda za 5G mreže na osnovu zahtjeva ITU-a.

²⁹ TEC: 5G-Key Capabilities&Applications, New Delhi, 2019.

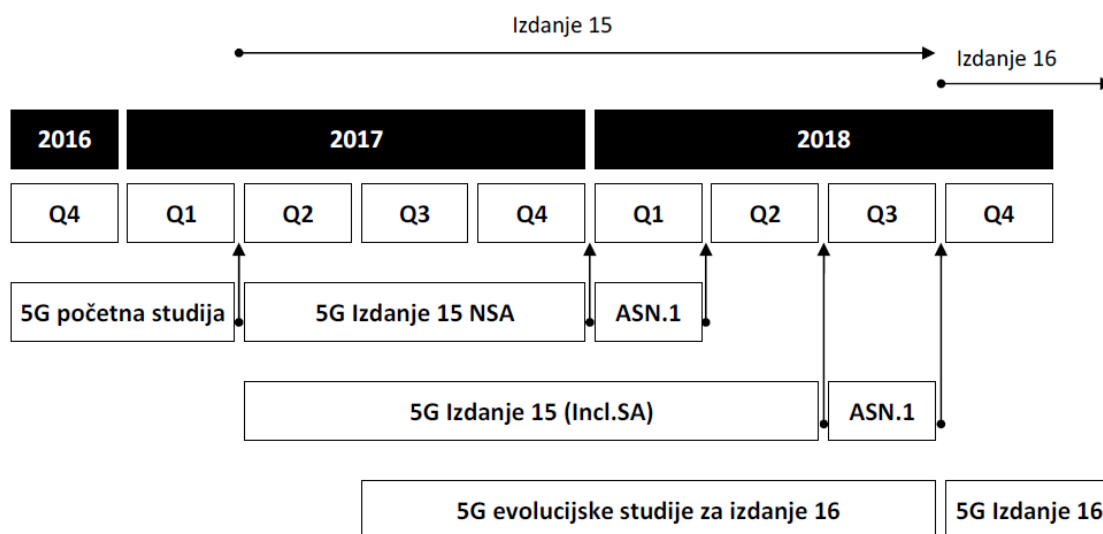
³⁰ Futuristic mobile technologies foresee "IMT for 2020 and beyond": <https://www.itu.int/en> [pristupljeno 2020].

Projekt partnerstva treće generacije (3GPP) objedinjuje sedam organizacija za razvoj telekomunikacijskih standarda (ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA, TTC), poznatih kao "organizacijski partneri" i svojim članovima pruža stabilno okruženje za izradu izvještaja i specifikacija koji definišu 3GPP tehnologije. Projekt pokriva mobilne telekomunikacijske tehnologije, uključujući radio pristup, jezgenu mrežu i uslužne mogućnosti, koje pružaju potpuni opis sistema za mobilne telekomunikacije. Tri grupe tehničkih specifikacija (Technical Specification Groups, TSG) u 3GPP su: radio pristupne mreže (Radio Access Network, RAN), usluge i sistemski aspekti (Services & Systems Aspects, SA), jezgerna mreža i terminali (Core Network & Terminals, CT).

Zahvaljujući LTE, LTE-Advanced, LTE-Advanced Pro i 5G radu - 3GPP je postao žarište velike većine mobilnih sistema izvan 3G-a.

3GPP je podijelio 5G standarde u dva izdanja (slika broj 32.):

- Izdanje 15. (NR faza 1)
U ovoj fazi postoje zajednički elementi između LTE i NR, a to je da koriste OFDM. Za implementiranje pune verzije NR-a, potrebna je primjena novog hardvera. Za nastavak korištenja postojećeg hardvera predložen je fazni pristup. Postoji nesamostalna verzija (Non Standalone, NSA) koja će koristiti LTE jezgru, pa će 5G raditi zajedno s LTE-om.
- Izdanje 16. (NR faza 2)
Druga opcija je samostalna verzija (Standalone, SA) koja će koristiti NR jezgro i biti potpuno nezavisna od jezgre LTE mreže, što znači da će 5G raditi nezavisno od LTE.

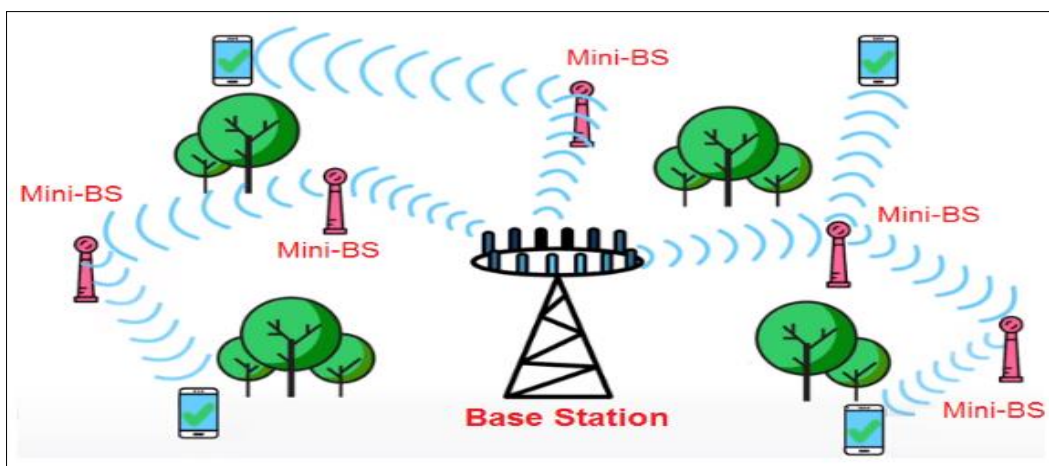


Slika broj 32. Vremenski okvir izdanja 3GPP za 5G

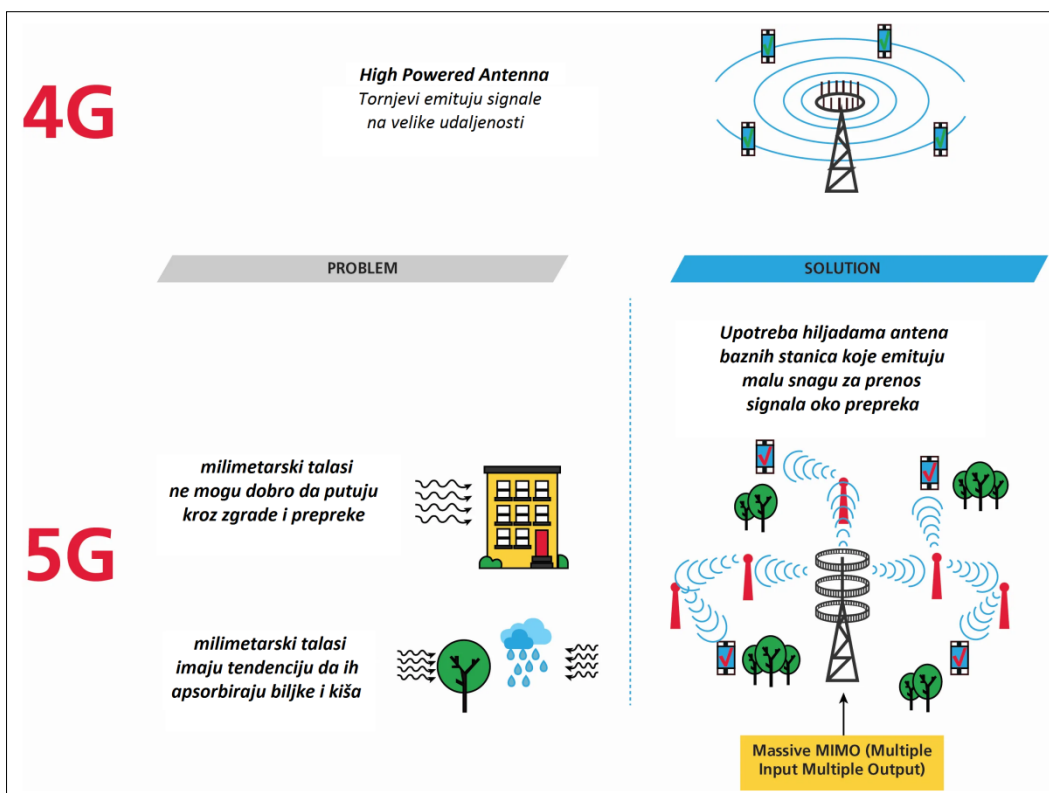
3.5.3. Bazine stanice 5G

Peta generacija baznih stanica i uređaja moći će koristiti napredne antene za odašiljanje radio signala u smjeru prijemnika. Mreže pete generacije (5G) su dizajnirane da rade zajedno sa 4G mrežama koristeći niz makro ćelija, malih ćelija i namjenskih sistema u zgradi. Male stanice su mini bazne stanice dizajnirane za vrlo lokalizirano pokrivanje, otprilike od (10-100) m, pružajući nadopunu za veću makro mrežu. Male ćelije su ključne za 5G mreže jer frekvencije milimetarskog talasa imaju vrlo kratak domet veze (slika broj 33.).

Bazna stanica sa više elemenata ima: veći kapacitet, više korisnika i brži prenos podataka.



Slika broj 33. Mreža malih ćelija za 5G komunikaciju



Slika broj 34. Ključna razlika između 4G i 5G antenske tehnologije

Mreže pete generacije će koristiti masivne MIMO (massive MIMO) (više ulaznih, više izlaznih) antena koje imaju vrlo velik broj antenskih elemenata ili veza za istovremeno slanje i primanje više podataka. Povezivanje više korisnika na mrežu i održavanje visoke propusnosti je u ovom slučaju od koristi za korisnike. Ukupna fizička veličina 5G masivnih MIMO antena biće slična 4G. Korisnička oprema 5G, uključujući mobilne telefone i uređaje, također će imati ugrađenu tehnologiju MIMO antena za frekvencije milimetarskog talasa (slika broj 34.).

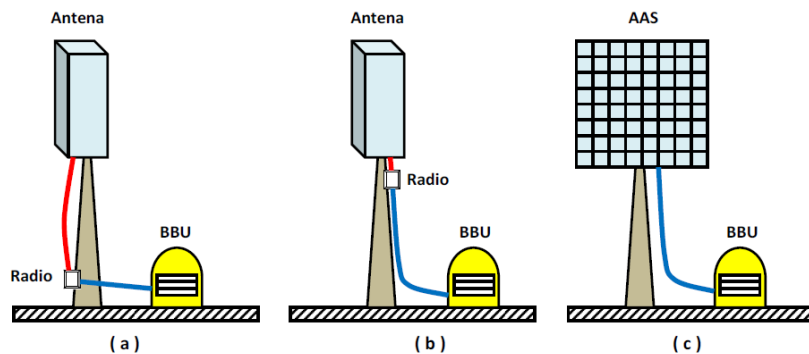
Stavovi nekih članova Kineske inženjerske akademije su: da će se smanjivati troškovi izgradnje baznih stanica, kako se ubrzava gradnja 5G mreže.

Tradicionalna bazna stanica sastoji se od tri glavne komponente:

- Jedinice baznog opsega (Base Band Unit, BBU), koja se brine o digitalnoj obradi signala,
- Radijske jedinice (Radio Unit, RU), koja stvara analogni radio frekvencijski (RF) signal, i
- Pasivne antene, koja emitira RF signale s konstantnim uzorkom zračenja.

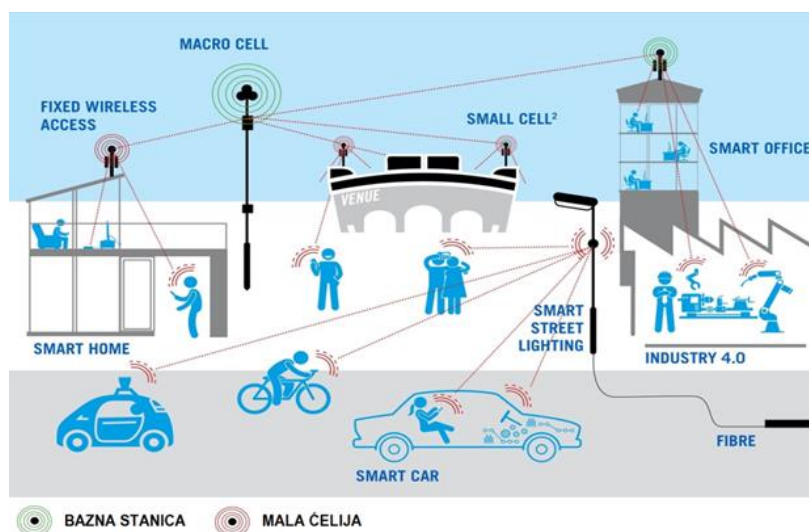
Zbog ograničenja veličine i težine jarbola i tornjeva, radio i BBU su postavljeni odozdo, a između antene i radija je dugački RF kabl za napajanje, što rezultira značajnim gubicima snage (slika broj 35. slučaj (a)). Jedan BBU može podržati više radio stanica koje su raspoređene na istoj lokaciji, a koje mogu pokrivati različite frekvencijske opsege ili ćelijske sektore. Smanjenjem radio hardvera, uobičajeno je koristiti udaljene radio jedinice koje su postavljene u tornju, blizu antene, umjesto blizu BBU-a (slika broj 35. slučaj (b)). Ovo je slučaj za razdoblje 4G.

Potreban je samo kratki RF kabl za napajanje, dok se optičko vlakno može izvući sa BBU na radio. Sljedeći slučaj u razvoju su aktivne antene koje integrišu antenu i radio u jednu cjelinu. Postoje mnoge vrste aktivnih antena, od jednostrukih antena s konstantnim uzorcima zračenja do massive MIMO antena koje prilagođavaju obrasce zračenja oblikovanjem zraka. Da bi se te stvari razlikovale, pojam napredni antenski sistem (Advanced Antenna System, AAS) koristi se u industriji koji se odnosi na aktivne massive MIMO antenske nizove (slika broj 35. slučaj (c)). Ovo je slučaj za razdoblje 5G. Da bi ograničio kapacitet optičkog vlakna između AAS i BBU, AAS može izvršiti ograničeni skup obrade osnovnog opsega za komprimiranje / dekompresiju signala.



Slika broj 35. Evolucijski put tehnologije baznih stanica kroz tri slučaja

Na slici broj 36. imamo rad baznih stanica i malih ćelija u sistemu funkcionisanja 5G.



Slika broj 36. Bazne stanice i male ćelije

3.5.4. 5G mobilni uređaji

Pojam mobilni uređaji odnosi se na klasu prenosnih elektronskih uređaja namijenjenih za ličnu upotrebu. To su minijaturni "džepni" uređaji sa specijalizovanim, ali češće univerzalnim funkcijama.

Mobilni uređaji uključuju: mobilne telefone, pametne telefone (smartphone), komunikatore (PDA), prenosni radio, kamere, tablete, fitnes tragači (tracker), smart narukvice, muzičke plejere i e-knjige.

Većina mobilnih uređaja ima jedan ili više ugrađenih radio predajnika koji omogućavaju komunikaciju sa drugim uređajima direktno ili preko bežičnih mreža, uključujući Internet.

Kada je riječ o 5G uređajima, svi 5G uređaji moraju da imaju i 4G podršku koja je neophodna za inicijalnu konekciju, prije nego što se signal "prebaci" na 5G. Glavne prednosti 5G uređaja biće znatno veće brzine u pristupu podacima, preuzimanju i multimedijalnom sadržaju.

Uređaji pete generacije će imati povećanu računarsku snagu i iskoristit će nižu latenciju, što znači bolje komunikacije na mreži, kao i veća povezanost u pokretu zbog upotrebe naprednog upravljanja antenskim snopom.

Na slici broj 37. imamo neke mobilne uređaje sa specifikacijom koji će podržavati 5G vezu.

<p>Apple iPhone 12 Pro Max mobilni telefon , 128 GB, Pacific Blue</p> <p style="text-align: center;">SPECIFIKACIJA</p> <ul style="list-style-type: none"> • 17,02 cm (6,7") OLED Super Retina XDR zaslon s HDR10 i Dolby Vision • Trostruka kamera izuzetno široke rezolucije 12 Mp + 12 Mp +12 Mp • Deep Fusion, Smart HDR 3, noćni način, panorama • Elegantan dizajn s elementima od nehrđajućeg čelika • Tehnologija LiDAR • Podrška za izuzetno brz 5G internet • Pouzdan hardware čitač lica • MagSafe tehnologija za jednostavno bežično punjenje • Izuzetno moćan A14 Bionic čip s naprednim strojnim učenjem • Kompletna zaštita od vode IP68 	
<p>ASUS ROG Phone 3 pametni telefon, 12GB/512GB, crni</p> <p style="text-align: center;">SPECIFIKACIJA</p> <ul style="list-style-type: none"> • 16,70 cm (6,59") veliki AMOLED zaslon s osvježavanjem brzine 144 Hz • S trostrukom glavnom kamerom rezolucije 64 Mp + 13 Mp + 5 Mp • Smišljen za besprijekorno igranje mobilnih igara • Opremljen je bezkompromisnim izvedbama, koje između ostalog kombiniraju Qualcomm Snapdragon 865 Plus 5G mobilna platforma visokih performansi radnu memoriju kapaciteta 12 GB • Izvrsnom rezolucijom Full HD + (2340×1080) • Napredan i visoko efikasan GameCool 3 sistem hlađenja • Dugotrajna zabava s baterijom kapaciteta čak 6000 mAh 	

Slika broj 37. Mobilni uređaji za 5G mrežu [31]

³¹ MALL.HR: <https://www.mall.hr/mobilni-telefoni> [pristupljeno 2020].

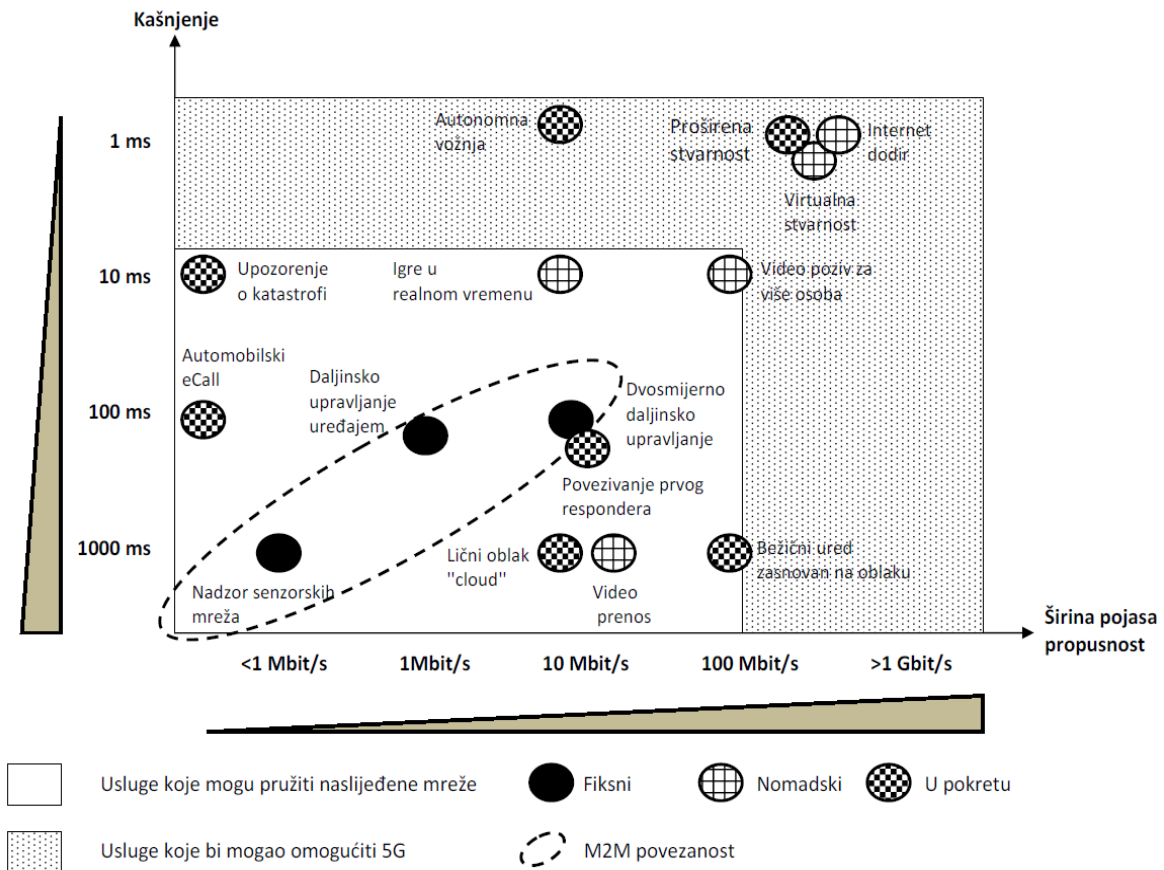
3.6. Upotreba 5G komunikacijskih sistema

Osim potrošačke upotrebe, tehnologija ima i industrijski aspekt. Glavni kupac usluga 5G biće korporativni sektor. Najbrži rast količine prenesenih podataka i broja uređaja pokazuje segment IoT, uključujući industrijski.

Komercijalna analiza testiranja pokretanja 5G u svijetu pokazuje da:

- Broj pretplatnika sa 5G terminalima raste nekoliko puta brže nego u 3G i LTE mrežama;
- U 3G mrežama period kada je baza dostigla 500 miliona korisnika bio je za 10 godina;
- U 4G mrežama period kada je baza dostigla 500 miliona korisnika bio je za 5 godina; i
- Za 5G mreže prema analizama nekih analitičara, ovaj nivo korisnika biće za 3 godine.

Na slici broj 38. imamo GSMA mapu sa različitim slučajevima upotrebe, u odnosu na njihove potrebe, za brzinom i bržim vremenom odziva (latencijom). Zona pokazuje koje će usluge imati koristi od poboljšanja: brzine, kašnjenja, ili zajedno (i brzine i kašnjenja).



Slika broj 38. GSMA mapa

Tehnologija pete generacije će ispuniti očekivanja za izuzetno pouzdane i kritične sisteme donošenja odluka u širokom spektru industrijskih usluga, a time i usluga za građane, i to:

- Sensori za aktuatoru u realnom vremenu za industrijsku primjenu;
- Sistemi za nadzor u medicini;
- Navigacija automobila bez vozača; i
- Dronovi (robotizacija).

3.7. Očekivanja 5G tehnologije

Tehnologije 5G će poboljšati kvalitet usluge za krajnje korisnike nudeći nove aplikacije i usluge gigabitnim brzinama, kao i značajno povećavajući efikasnost i pouzdanost mreža. Nadovezat će se na uspjehe 4G, 3G i 2G mobilnih mreža koje su transformisale društvo podržavajući razvoj novih usluga i novih poslovnih modela. Peta generacija će omogućiti bežičnim operaterima da idu dalje od povezivanja i razvijaju rješenja i usluge bogate karakteristikama za korisnike i industriju u čitavom nizu industrija i po pristupačnim cijenama. Omogućit će se usvajanje konvergentnih žičnih i bežičnih mreža, posebno omogućavanjem integracije sistema za upravljanje mrežom.

Primjer (medicinska operacija na visokom nivou):

Zamislimo situaciju u kojoj pacijent iz jedne zemlje ima vrlo tešku operaciju.

Imamo: Hirurški tim izvodi u operacionoj sali operaciju uz vodstvo i savjete doktora koji se nalaze u drugoj zemlji, udaljenoj i do više hiljada kilometara. Nekada potpuno nezamislivo. Rješenje je moguće uz 5G brzi internet.

Razvijanjem smartphona (pametnih telefona) uporedo se razvijaju i mobilne mreže, tako da svaka generacija novih mreža ima veći kapacitet i domet. Svaka nova generacija mobilne mreže predstavlja veliki napredak u tehnologiji te nam omogućava brže pristupanje internetu s većim brojem istovremeno povezanih korisnika.

3.8. Uticaj EM zračenja mobilnih sistema na ljudsko zdravlje

3.8.1. Zračenja u elektromagnetnoj sredini

Elektromagnetna sredina se analizira zbog prisustva električnih i elektronskih uređaja, antena, kablova, industrijskih postrojenja, radara, gromobrana, mobilnih telefona, itd. Pa u takvom okruženju imamo pojavu raznih bolesti. Izlaganje životne sredine elektromagnetnim poljima koje je stvorio čovjek stalno raste kako su rastuća potražnja za električnom energijom. Naprednije tehnologije i promjene u društvenom ponašanju stvaraju sve više i više vještačkih izvora. Svako je izložen složenoj kombinaciji slabih električnih i magnetnih polja, kako kod kuće tako i na poslu, od proizvodnje i prenosa električne energije, kućanskih aparata i industrijske opreme, do telekomunikacija i emitiranja.

Električna, magnetna i elektromagnetna (EM) polja, predstavljaju prirodan fenomen u čovjekovom okruženju, u okviru kojeg se i odigrala evolucija ljudske vrste i na čije se prisustvo ljudski organizam navikao.

Kako svemir ima elemente koji emituju zračenje, uzimajući u obzir i ljude, imamo da je zračenje prisutno u svakodnevnom životu. Bukvalno govoreći može se doći do logičkog zaključka da svako od nas zrači.

Elektromagnetna zračenja (= energija koju elektromagnetni talasi ili materijalne čestice prenose kroz prostor) predstavljaju elektromagnetna talasna kretanja koja mogu da nastanu i da se prenose kako u materijalnoj sredini, tako i vakuumu (bezvazдушnom prostoru) brzinom svjetlosti.³²

³² Dragan Cvetković: Fizički parametri radne i životne sredine – Elektromagnetna zračenja, Fakultet zaštite na radu u Nišu, Niš, 2014.

Analizirajući činjenicu-zagrijanost atoma na temperaturi $T=37^{\circ}\text{C}$ i to najviše u infracrvenom području, dolazimo do zaključka da zračimo elektromagnetne talase. Zračenje se pokazuje i jednim dijelom kroz gama zrake kao posljedicu nuklearnog zračenja kalija, male količine ali i bitne.

Zračenje je proces emitovanja energije u obliku talasa (čestica) kroz prostor ili materiju. Izvor bilo kojeg elektromagnetnog zračenja je naboj koji se ubrzava.

Sva tijela su neki određeni izvor elektromagnetnog zračenja, jer stvari oko nas su nastale od atoma koji su u neprekidnom kretanju.

Osobine EM zračenja zavise od njegove talasne dužine i kao takve se dijele na: električne, radio i mikro-talase, zatim na infracrvenu, vidljivu i ultraljubičastu svjetlost, X-zrake i gama zrake. Cijeli opseg talasnih dužina EM zračenja se naziva EM spektar.

Biološki efekti elektromagnetnog talasa na korisnika, mijenjaju se u zavisnosti od frekvencija i amplituda signala, udaljenosti korisnika od bazne stanice i vremenskom kretanju korisnika u zoni ovih talasa.

Štetna zračenja mogu biti i od:

- poremećenog Zemljinog magnetizma,
- podzemnih vodenih tokova i tektonskih pokreta (geopatogena zračenja),
- Hartmanove i Karijeve globalne mreže (kosmička zračenja).

Uticaji štetnih geopatskih polja i EM zračenja mogu narušiti imunitet živih bića.

U tabeli broj 7. imamo osnovnu podjelu zračenja na osnovu kvantiteta i kvaliteta predate energije zračenja i efekata u sredini kroz koju prolazi.

Tabela broj 7. Osnovna podjela zračenja

VRSTA	FREKVENCIJA (f)	TALASNA DUŽINA (λ)
JONIZUJUĆA ZRAČENJA (Ionising Radiation, IR)		
	$> 3000 \text{ THz}$	$< 100 \text{ nm}$
NEJONIZUJUĆA ZRAČENJA (Non-Ionising Radiation, NIR)		
Ultraljubičasto (UV) zračenje	$(750 - 3000) \text{ THz}$	$(100 - 400) \text{ nm}$
Vidljiva svjetlost	$(385 - 750) \text{ THz}$	$(400 - 780) \text{ nm}$
Infracrveno (IC) zračenje Infrared (IR) radiation	$(0,3 - 385) \text{ THz}$	$(0,78 - 1000) \mu\text{m}$
RF zračenje	$300 \text{ Hz} - 300 \text{ GHz}$	$1\text{mm} - 100 \text{ km}$
ELF (Extremely Low Frequency) polja	$< 300 \text{ Hz}$	$> 1000 \text{ km}$

3.8.2. Biološki efekti i vrste zračenja

Biološki efekti su mjerljivi odgovori na podražaj ili promjenu u okolini. Ove promjene nisu nužno štetne po naše zdravlje. Na primjer, slušanje muzike, čitanje knjige, jedenje jabuke ili igranje tenisa će proizvesti niz bioloških efekata. Ipak, nijedna od ovih aktivnosti se ne očekuje da uzrokuje zdravstvene posljedice. Tijelo ima sofisticirane mehanizme da se prilagodi mnogim i raznovrsnim uticajima na koje nailazimo u našem okruženju. Tekuće promijene čine normalan dio naših života. Ali, naravno, tijelo nema adekvatne mehanizme kompenzacije za sve biološke efekte.

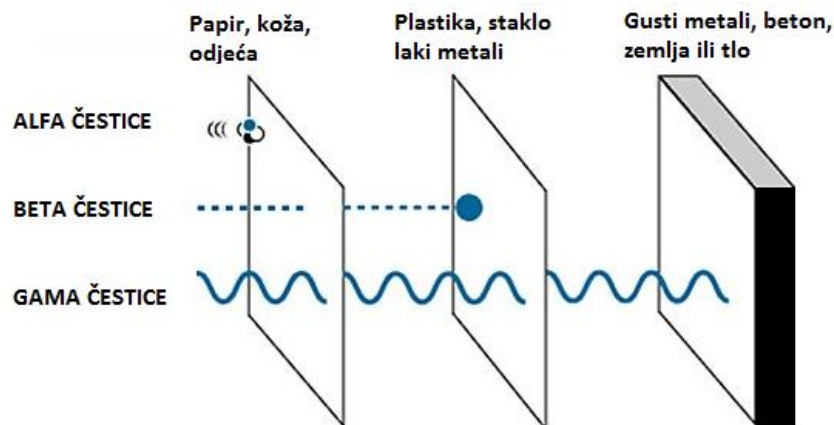
Biološki efekti zračenja EM polja su efekti energije (energija koju elektromagnetni talasi ili materijalne čestice prenose kroz prostor) na zdravlje živih bića.

Elektromagnetno zračenje možemo definisati i kao stanje promijene EM polja u funkciji vremena. Ovo zračenje je nosilac elektromagnetne interakcije (sile) i može se interpretirati kao talas ili kao čestica, u zavisnosti od slučaja.

Glavne vrste zračenja su (slika broj 39.):

- Alfa zračenje: koje se sastoji od jezgra helijuma (dva protona i dva neutrona), također nazvane "alfa čestice". Širenje ovih čestica u vazduhu iznosi samo nekoliko centimetara. Obični list papira može poslužiti kao njihova prepreka.
- Beta zračenje: koje se sastoji od elektrona visoke energije koji se emituju raspadanjem radionuklida. List aluminijuma ili obično prozorsko staklo dovoljni su da spriječe širenje elektrona.
- Gama zračenje: elektromagnetno zračenje iste prirode kao i vidljiva svjetlost (fotoni, X-zrak/rendgen), ali sa većom energijom i prodornom snagom. Olovni ili betonski štiti je potreban da bi se zaustavilo njihovo širenje.
- Neutronska zračenje: sastoji se od čestica atomskog jezgra - neutrona i vrlo je prodorno.

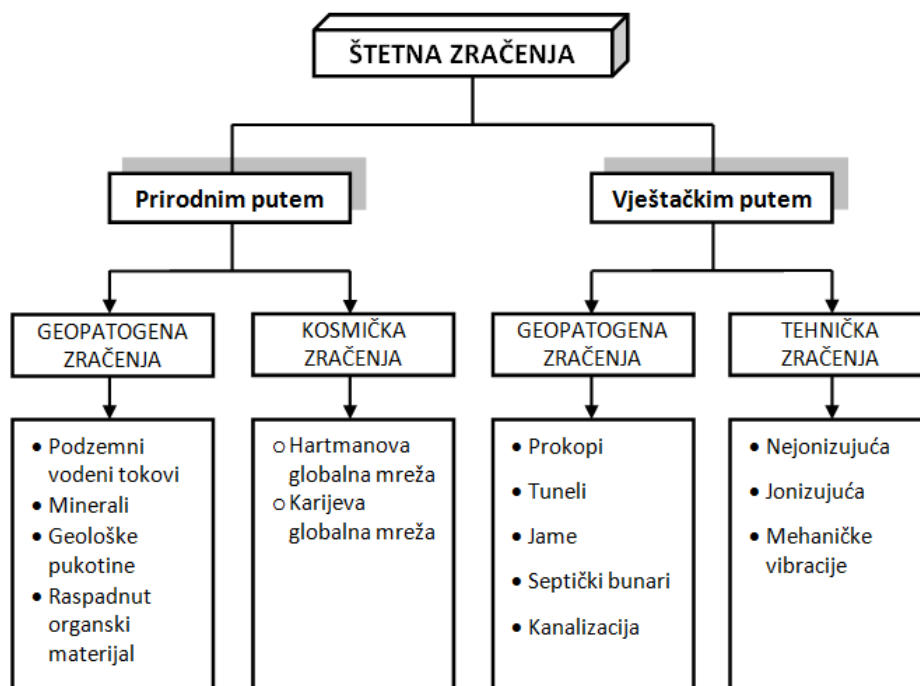
Postoje i druge vrste zračenja, za svemirske objekte i istraživačke objekte, ali ta zračenja su rijetka i karakteristična.



Slika broj 39. Prodiranje zračenja

Zračenje je prenos energije putem čestice ili talasa. Zračenje koje se prenosi putem čestica (neutron, proton, mezoni i dr.) se naziva korpuskularno zračenje, a ono koje se prenosi u obliku talasa se zove elektromagnetno zračenje.

Na slici broj 40. imamo podjelu štetnih zračenja prema porijeklu.



Slika broj 40. Štetna zračenja [33]

Geopatogena zračenja su zračenja sa štetnim biološkim efektima i njihovi izvori se nalaze ispod površine zemlje, a njihova pojava može nastati narušavanjem prirodne homogenosti Zemljinih slojeva.

Kosmička zračenja su zračenja čiji biološki efekti (po nekim studijama - mogu biti pad radnih sposobnosti, oštećenja pamćenja i teškoće u koncentraciji), a nastaju interakcijom kosmičkih sila sa Zemljinim gravitacionim i magnetnim poljima. Linije mrežnih kosmičkih zračenja nisu štetne same po sebi. Neka od istraživanja kosmičkog zračenja su rađena na laboratorijskim miševima gdje su naučnici zaključili da je mozak miševa oticao i da su imali teškoće u prenosu nervnih signala, što dovodi do pada kognitivnih sposobnosti.

Tehnička zračenja su zračenja u osnovi sa štetnim biološkim efektima zbog pojave industrije novih tehnologija uređaja različitog porijekla i namjene kao izvora zračenja. To su zračenja svih električnih mašina i uređaja, a mogu biti:

- Korisna (biotička): biogeneratori, biojonizatori: djeluju na ljudski organizam pozitivnim (biotičkim) energijama.
- Štetna (patogena): djeluju na ljudski organizam negativnim (biološki nezdravim, nebiotičkim) energijama.

Neplanski razvoj telekomunikacija, gradnja i širenje elektromagnetnog distribucijskog sistema uzrok je velikih elektromagnetnih štetnosti i u području visokih frekvencija. Svaki uređaj koji se napaja električnom energijom stvara EM zračenje. Porastom gustoće mikrotalasa (od radiodifuzije, televizije, radarskih sistema, kućanskih aparata) - zbog gustoće istih stvara se elektromagnetni smog.

³³ Katarina Kanjevac Milovanović, Jovan Milivojević: Uticaj elektromagnetnog zračenja na zdravlje i kvalitet života ljudi, Mašinski fakultet u Kragujevcu – Centar za kvalitet, Kragujevac, 2018.

EM spektar zračenja obuhvata:

- Nejonizujuća zračenja

To su zračenja koja ne posjeduju dovoljnu energiju (energija fotona manja od 12,4 eV) da izazovu jonizaciju atoma u živim organizmima, zbog čega se smatraju manje štetnim od jonizujućih zračenja. U nejonizujuća zračenja spadaju zračenja nižih energija - električna i optička zračenja. Neki od izvora radijacije su: bazne stanice, TV uređaji, radio uređaji, vidljiva svjetlost, ultraljubičasta i infracrvena svjetlost, mikrotalasna, električna i magnetna polja.

- Jonizujuća zračenja

To su zračenja koja posjeduju dovoljnu energiju (energija fotona ili čestice u kretanju veća od 12,4 eV) da izbiju elektrone iz atoma i tako proizvedu jone. U jonizujuća zračenja spadaju zračenja visokih energija, rendgensko i gama zračenje i sva čestična zračenja su jonizujuća. Neki od izvora radijacije su: alfa zraci (jezgro helijuma), beta zraci (elektroni) (-), neutroni (nenaelektrisane čestice), gama i X-zraci.

Područja nejonizujućih zračenja sa velikim EM spektrom od statičkih polja preko polja ekstremno niskih frekvencija (ELF), radio frekvencija (RF) do polja najviših frekvencija ultraljubičastog (Ultraviolet, UV) svjetla nazivaju se "Elektrosmog".³⁴

Kada je upitanju kvalitet života ljudi, EM zračenja i jonizujuća i nejonizujuća se posmatraju sa dva gledišta:

- (I) Uticaj na razvoj ljudske zajednice; i
- (II) Uticaj na zdravlje ljudi.

Zbog uticaja EM zračenja mobilnih tehnologija na životnu sredinu, mi ćemo analizirati medicinski aspekt EM talasa mobilni sistema za uvođenje 5G tehnologije i obratiti pažnju na biološke efekte EM zračenja.

Štetna zračenja u osnovi se mogu izbjeći ukoliko se previše ne zadržavamo prilikom kretanja na mjestima štetnih zračenja i pri tome nećemo prouzrokovati veće posljedice na organizam. Opasnost prijete ukoliko se na takvim mjestima zadržavamo po par sati svakog dana.

Neka od štetnih zračenja na ljudski organizam je i mjesto gdje se spava. Vodeni tokovi i energetske čvorovi na mjestu gdje spavamo prije ili kasnije dovode do zdravstvenih problema - organizam slabi, postaje osjetljiv na razne bolesti, a može doći i do kancerogenih oboljenja.

3.8.3. Elektromagnetna (EM) polja

Elektromagnetno (EM) polje je prostorno i vremenski promjenjivo polje koje se opisuje preko jakosti električnih i magnetnih jačina polja i širi se od izvora zračenja (npr. antene odašiljača ili elektrode visoko frekvencijskog uređaja).³⁵

Upotrebom električne energije imamo doprinose u mnogim inovacijama, koje posljedično generišu polje ili koriste EM polje za bežični prenos informacija. Antenski sistemi radijske i TV difuzije, bazne stanice mobilne telefonije, uređaji za bežični pristup internetu i mnogi drugi su viještački izvori EM polja. Svi ovi viještački izvori emituju EM polje u naše životno i radno okruženje, u odgovarajućem obimu frekvencija.

³⁴ Željko Smojver: Promet i ekologija, Rijeka, 2016.

³⁵ Hamid Molla Djafari: Visoko frekvencijska elektromagnetska polja polja – priručnik, Ministarstvo rada i mirovinskoga sustava, Zagreb, 2013.

Elektromagnetno polje je posljedica djelovanja izvora, koji mogu biti unutar ili izvan domena u kome se polje razmatra. Izvori elektromagnetnog polja mogu biti električna opterećenja u stanju mirovanja i električna opterećenja u kretanju (električne struje) i oni čine, tzv. primarne izvore. Međutim, treba imati na umu da su električna opterećenja povezana sa materijalnom sredinom u kojoj djeluju. Posljedica te povezanosti je pojava, tzv. vezanih opterećenja koja se mogu tretirati kao sekundarni izvori polja. Međutim, važno je istaknuti da izvore elektrostatičkog polja predstavljaju električna opterećenja u stanju mirovanja i kod kojih se opterećenja u funkciji vremena ne mijenjaju.³⁶

Električno opterećenje predstavlja svojstvo čestice materije, koje se odlikuje uzajamnom vezom sa vlastitim i međusobnim djelovanjem sa vanjskim elektromagnetnim poljem.

Kada govorimo o izvorima EM polja, izvori koji generišu polja visokih frekvencija se koriste u sistemima za prenos signala i informacija bežičnim putem. Povećanjem broja izvora ovog tipa povećava se i intenzitet polja visokih frekvencija u prostoru koji nas okružuje. Na povećanje intenziteta polja u našem okruženju može da utiče rad predajnika veće snage (radari, radijski i TV predajnici, bazne stanice mobilne telefonije) koji se nalaze u relativnoj blizini, ali i rad uređaja male snage koje svakodnevno koristimo, kao što su mobilni telefoni, mikrotalasne rerne, Wi-Fi ruteri, itd.

EM polja možemo definisati i:

- Elektromagnetna (EM) polja nastaju kao posljedica naelektrisanja i električnih struja.³⁷
- U prostoru oko promjenljivog magnetnog polja indukuje se promenljivo električno polje. Ovakva kombinacija dva polja nazvana je elektromagnetno polje.³⁸
- Elektromagnetno polje, koje se još naziva i EM polje, nastaje kada se naelektrisane čestice, kao što su elektroni, ubrzavaju. Sve električki nabijene čestice okružene su električnim poljima. Punjene čestice u pokretu proizvode magnetna polja. Kada se brzina naelektrisane čestice promijeni, nastaje EM polje.³⁹

Elektromagnetizam, ili elektromagnetna sila je jedna od četiri fundamentalne sile u prirodi, ostale tri su jaka nuklearna sila, slaba nuklearna sila, i gravitacija. Ova sila je opisana elektromagnetnim poljima, i ima bezbroj fizičkih slučajeva uključujući i interakciju naelektrisanih čestica, te interakciju nanaelektrisane magnetne sile polja sa električnim provodnicima.⁴⁰

Elektromagnetna polja ekstremno niskih frekvencija ($f < 300$ Hz, $\lambda > 1000$ km) su vremenski sporo promjenjiva EM polja (kvazistatička EM polja) i u tom domenu im je brzina promjene struja i naelektrisanja u toku vremena takva da se, približno mogu računati komponenta magnetnog polja i ona komponenta električnog polja koja potiče od naelektrisanja po formulama za statička polja i to u svakoj tački domena i u svakom trenutku.

3.8.3.1. Magnetno polje

Magnetno polje je stanje kada pojava mehaničke sile djeluje na provodnik kroz koji protiče struja i u ovom polju pravac i smjer sile zavise i od smjera struje u strujnom elementu ali i od položaja provodnika u odnosu na polje.⁴¹

³⁶ Irfan Turković: Teorija elektromagnetnih polja, Elektrotehnički fakultet u Sarajevu, Sarajevo, 2018.

³⁷ Branislav Vulević: Elektromagnetska polja u životnoj sredini, JP Nuklearni objekti Srbije u Vinči - Beogradu, Beograd, 2015.

³⁸ Bratislav Ivković: Elektromagnetno polje, Niš, 2012.

³⁹ TechTarget: <https://whatis.techtarget.com/definition/electromagnetic-field> [pristupljeno 2020].

⁴⁰ Sva Fizika: <http://svafizika.org/2017/04/17/sta-je-to-elektromagnetizam> [pristupljeno 2020].

⁴¹ Dejan M. Petković: Elektromagnetna zračenja – elektromagnetizam, Fakultet zaštite na radu u Nišu, Niš, 2016.

Veličine koje karakterišu magnetno polje su:⁴²

- B = magnetna indukcija; - jedinica je tesla (T);
- H = jačina magnetnog polja; - jedinica je amper po metru (A/m).

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (3.1)$$

μ_0 - magnetna permeabilnost vakuuma

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \left[\frac{\text{Tm}}{\text{A}} \right] \quad (3.2)$$

Jačina magnetnog polja (H) je komponenta magnetnog vektora elektromagnetnog polja u odabranom smjeru u prostoru. Magnetno polje nastaje kada se nosioci naboja kreću dakle kada struja teče.

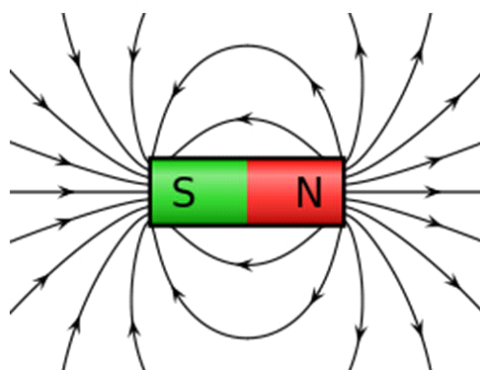
Magnetna indukcija ili gustoća magnetnog toka (B) (vektor magnetne indukcije) opisuje magnetno polje, a definiše se silom koja u magnetnom polju djeluje na naboj koji se giba.

Veza između magnetne indukcije i jačine magnetnog polja u nekoj sredini relativne permeabilnosti μ_r je:

$$\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H} \quad (3.3)$$

Magnetno polje ne možemo da vidimo očima, niti osijetimo prstima (osim ako naši prsti ne budu stegnuti između dva magneta).

Često se magnetno polje crta linijama i strelicama što nazivamo linijama magnetnog polja. Strelice pokazuju smjer magnetnog polja, a rastojanje između linija pokazuje kolika je jačina polja. Linije magnetnog polja su uvijek zatvorene i nikad se ne sijeku, a što su linije gušće to je polje jače. Izvor linija polja je sjeverni (North, N), a završetak je južni (South, S) magnetni pol (slika broj 41.).



Slika broj 41. Linije magnetnog polja oko magneta

Elektrostatičko polje nastaje svakim naelektrisanjem "koje miruje" u svojoj okolini. Jačina ELF magnetnog polja opada sa rastojanjem od izvora (za jedan provodnik jačina magnetnog polja je obrnuto proporcionalna udaljenosti od izvora).

⁴² Dragoljub Mirjanić, Blanka Škipina: Tehnička fizika 2 - Elektromagnetizam, Tehnološki fakultet u Banjoj Luci, Banja Luka, 2018.

3.8.3.2. Električno polje

Električno polje se definiše kao određeno stanje prostora ili onaj dio prostora u kojem električne sile djeluju na naelektrisanja.⁴³

Električno polje je prostor oko električnog naboja, ili više njih, u kojem se pojavljuju električne pojave, kao što su npr. odbojno ili privlačno djelovanje na električne naboje, influencija i polarizacija.

Naelektrisano tijelo oko sebe stvara električno polje (prostor u kome druga naelektrisana tijela osjećaju dejstvo datog naelektrisanja). To dejstvo se ispoljava preko električne sile.

Kod električnog polja imamo isti pravac kao i električna sila, dok mu smjer zavisi od znaka naelektrisanja. U magnetnom polju imamo da: pravac i smjer sile zavise i od smjera struje u strujnom elementu ali i od položaja provodnika u odnosu na polje.

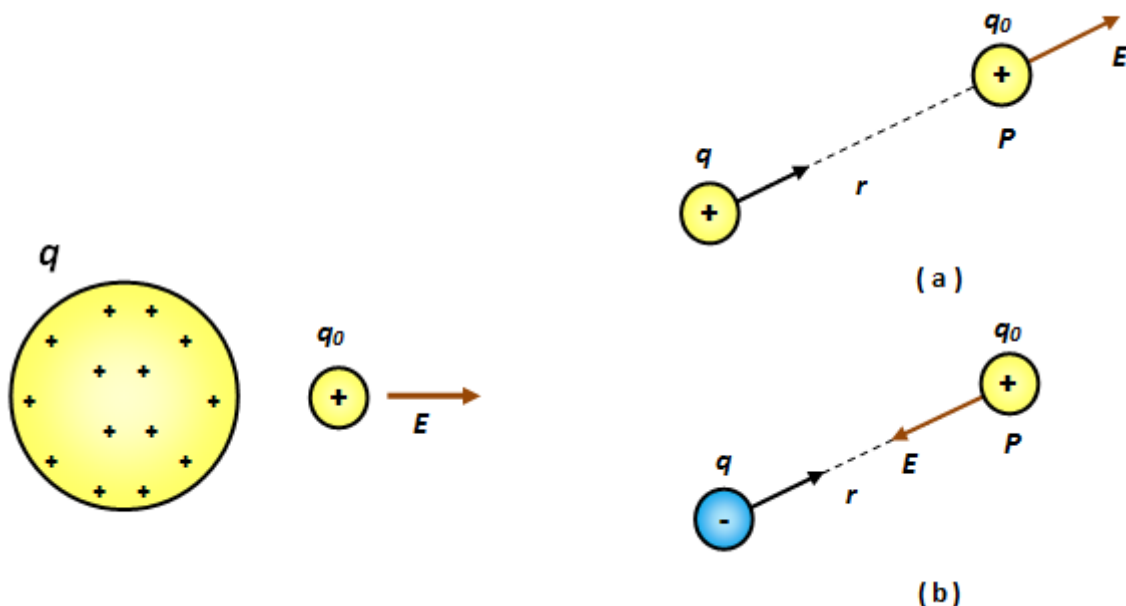
Veličine koje karakterišu električno polje su:

- F = električna sila; - jedinica je njutn (N);
- E = jačina električnog polja; - jedinica je njutn po kulonu (N/C) ili volt po metru (V/m).

$$\vec{F} = q_0 \vec{E}$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (3.4)$$

q_0 - naboj naelektrisan malom količinom naelektrisanja



Slika broj 42. Djelovanje q naelektrisanja na probno naelektrisanje q_0

⁴³ Izudin Kapetanović: Osnovi elektrotehnike – predavanja, FSK – Odsjek za komunikacije, Sarajevo, 2005.

Jačina električnog polja (E) je komponenta električnog vektora EM polja u odabranom smjeru u prostoru i ona je u nekoj tački prostora oko naelektrisanja (q) koje ga stvara jednaka sili po jedinici probnog naelektrisanja ($+q_0$) kojom to naelektrisanje (q) djeluje (privlači ili odbija) probno naelektrisanje ($+q_0$) (slika broj 42.).

Ukoliko između dvije tačke postoji električno polje tada se jačina električnog polja u najjednostavnijem slučaju pokazuje kao napon po odstojanju.

Jačina električnog polja ne ovisi o (q_0) već samo o mjestu u prostoru gdje se taj naboj nalazi. Probno naelektrisanje svojim električnim poljem ne utiče na spoljašnje električno polje.

Prisustvom nosioca naboja nastaje električno polje, dok magnetno polje nastaje kada se nosioci naboja kreću (kada teče struja). U praksi se električna polja velike jačine nalaze tamo gdje vladaju veliki naponi dok kod velikih struja prevladava magnetno polje.

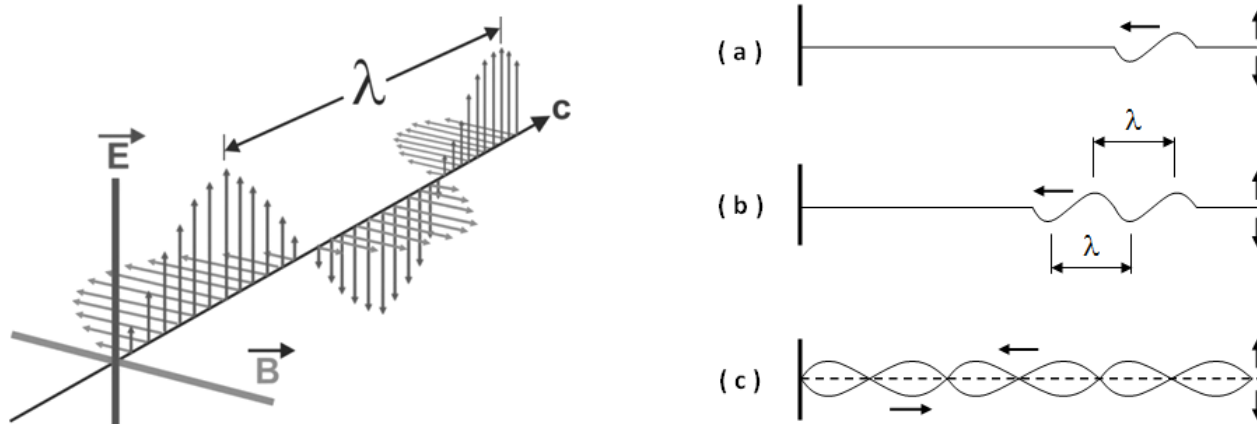
3.8.3.3. EM talasi

Elektromagnetni talas se sastoji od dvije komponente: električnog polja i magnetnog polja.

Električno polje i magnetno polje prenose se kroz prostor naizmjenično oscilujući (vibrirajući). U tački koja je daleko od izvora zračenja, električno polje i magnetno polje osciluju na površini koja je okomita na smjer putovanja, a pravci oscilacija električnog polja i magnetnog polja okomiti su jedni prema drugima (slika broj 43.).

EM talas nastaje tako što električni naboj u provodniku stvara električno polje u smjeru svog prostiranja, uzrokujući magnetno polje oko njega. Tako nastalo magnetno polje ponovno stvara električno polje u prostoru, postavljeno pod pravim uglom, što opet izaziva pojavu magnetnog polja, itd. Tako je stvoren EM talas koji se nastavlja širiti u prostoru, smjerom okomitim na električno i magnetno polje.

Zbog okomitog oscilovanja čestica sredine na pravac kretanja talasa, EM talas je transverzalan.



Slika broj 43. Elektromagnetni talasi

Vrijeme za koje data čestica napravi jednu oscilaciju (jedan period) imamo rastojanje koje je prešao talas a koje se naziva talasna dužina ($\lambda = c/f$).

Brzina talasa je proizvod talasne dužine i broja oscilacija u jedinici vremena (frekvencije oscilovanja), a zavisi od talasnih dužina i broja oscilacija u određenom vremenu. Brzina u vakuumu se smatra najvećom brzinom i ona iznosi $c = 300\,000\text{ km/s}$ (mjerjenja za brzinu u uslovima vakuuma nisu rađena).

Energija zavisi od talasa, jer se EM talasom prenosi energija od izvora talasa (a ne masa).

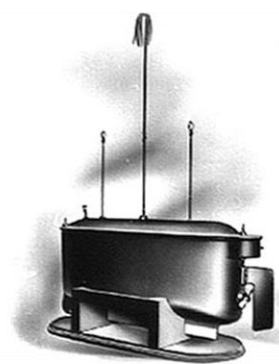
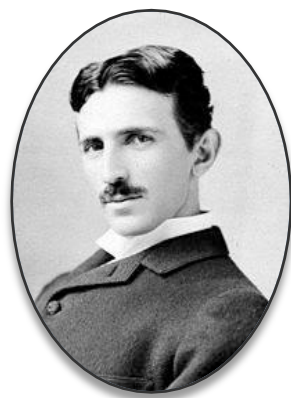
Intenzitet talasa (I) je jednak energiji koju talas prenese u jedinici vremena kroz jedinicu površine okomitu na pravac prostiranja talasa.

$$\text{Intenzitet talasa} = \frac{\text{snaga}}{\text{površina}} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]; \quad \text{snaga} = \frac{\text{energija}}{\text{vrijeme}} \quad (3.5)$$

Područja primjene EM talasa su široka zbog potreba zajednice, a neka od njih su:

- Televizijski i FM radio signali;
- Satelitski signali;
- Pripremanje hrane u mikrovalnoj pećnici;
- Daljinski upravljači, tosteri, sigurnosne kamere za noćno snimanje;
- Detektori lažnog novca, pročišćivač zraka, sterilizatori;
- RTG aparati (X-ray machine);
- Aparati za zračenje koji se koriste u terapiji malignih oboljenja⁴⁴; itd.

Veliki doprinos u primjeni EM talasa dao je Nikola Tesla (1856.-1943.), svojim pronalascima u oblasti radija i daljinskog upravljanja (slika broj 44.). Na izložbi u Medison Skver Gardenu 1898. Tesla je predstavio brod na daljinsko upravljanje. On je za tu priliku iskoristio par jakih akumulatora, radio signale koji se kontrolišu serijom prekidača, električni motor koji je pokretao brod i seriju svjetala na brodu koja su se napajala iz akumulatora. Ova tehnologija se nije dugo koristila nakon Tesle. Ove ideje je iskoristila uglavnom vojska s naumom da stvori daljinski upravljaju vojnu tehnologiju. U drugom svjetskom ratu, njemci su napravili prvi tenk na daljinsko upravljanje, i nakon toga su ovakvi izumi preplavili tržište.



Slika broj 44. Nikola Tesla i brod na daljinsko upravljanje

⁴⁴ Maligne bolesti su zloćudni tumori - Rak (lat. cancer). To su nova tkiva, dijelovi čovjekovog organizma, koji su se otrgli kontroli i počeli nekontrolisano da rastu i razmnožavaju se, uništavajući na svom putu zdrava tkiva.

3.8.3.4. RF zračenje

Radiofrekvencijska (RF) polja su EM polja koja se koriste za rad mobitela i baznih stanica (2G, 3G, 4G, 5G), WiFi, Bluetooth i sličnih bežičnih uređaja.

Uticaj RF zračenja na ljudsko zdravlje analiziraju lica tehničke struke, ali nisu kompetentni za procjenu zdravstvenih rizika od RF zračenja i njihova poveznica za davanje stava je Svjetska zdravstvena organizacija (World Health Organization, WHO).⁴⁵

Pored mišljenja nekih naučnika i javnih zdravstvenih radnika da RF zračenja mogu imati uticaj na ljudsko zdravlje, i da studije i laboratorijski eksperimenti ukazuju da često korištenje mobilnog telefona uzrokuje bolesti (tumor na mozgu, sterilnost, nervoza, glavobolja, nedostatak koncentracije, nesanica, itd.) nijedna od studija ne može sa sigurnošću praktično ustanoviti vezu navedene bolesti i RF zračenja. Zato se prave vodiči zdravstvenih organizacija (kroz naučne studije) kao preventiva i uputstvo za stanovništvo.

Istraživanje o uticaju bežičnih tehnologija na ljudsko zdravlje u protekli tridesetak godina ne pokazuje znakove o povećanju zdravstvenog rizika od EM polja ispod nivoa utvrđenih od međunarodnih organizacija.

Međunarodna telekomunikacijska unija (ITU) ne utvrđuje maksimalne nivoe izloženosti ljudi EM poljima. Ove nivoe utvrđuju nadležna tijela, ali ITU se poziva na njihove standarde i preporuke. Države članice ITU-a u većini slučajeva koriste ITU preporuke kao osnovu, ali svoje nacionalne standarde usvajaju po procjenama izloženosti EM polja.

Osnovna podjela izvora RF zračenja je na:

- Prirodne izvore; i
- Vještačke izvore.

A) Prirodni izvori

Obuhvataju širok obim frekvencija i izloženost njima je u svakodnevnicu, a mogu biti:

- Atmosferska polja
Nastaju usljed prirodnih električnih fenomena na frekvencijama ispod 30 MHz. Njihova jačina i obim frekvencija zavise od više faktora: geografski položaj, godišnje doba, itd.;
- EM zračenja planete Zemlje
Planeta Zemlja emituje EM zračenja kao i ostale sredine, ali je temperatura različita od "apsolutne nule" ($T = 0 \text{ K}$). Ljudsko tijelo prosječne površine od $1,8 \text{ m}^2$ izrači snagu od $0,0054 \text{ W}$ do gornje granične frekvencije od 300 GHz; i
- Kosmička polja
Kosmičko zračenje je zračenje visoke energije koje dopire na Zemlju iz svemira. Kosmičke zrake nastaju pri velikim promjenama EM polja Sunca i zvijezda kao posljedica snažnih erupcija. Između planete Zemlje i kosmičkih izvora nejonizujućih zračenja je prirodni štit. Prodiranje EM talasa kroz ovaj štit ograničeno je sa dva frekvencijska prozora: optički i frekvencijski prozor od (10 do 37,5) GHz. Određeni molekuli u atmosferi (iznad svega: O_2 i H_2O) apsorbuju radio-talase iznad 37,5 GHz.

⁴⁵ Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) (sjedište: Ženeva) je koordinacijsko tijelo Ujedinjenih nacija nadležno za zdravlje. Odgovorno je za upravljanje globalnim zdravstvenim pitanjima, oblikovanje programa istraživanja i razvoja u zdravstvu, postavljanje standarda, definisanje strateških dokumenata zasnovani na naučnim dokazima, pružanje tehničke podrške državama te za nadzor i procjenu trendova u zdravstvu.

B) Vještački izvori

Njihov uzrok je ljudski faktor, a osnovna podjela ovih izvora je prema gustoći snage na:

- Izvore velike snage
To su izvori RF zračenja koji na rastojanju 100 m od izvora zračenja mogu u glavnom snopu da proizvedu gustoću snage od 1 W/m^2 ; i
- Izvore male snage
To su izvori RF zračenja koji su u potpunoj suprotnosti od izvora velike snage.

3.8.4. Nejonizujuća zračenja i bežični komunikacijski sistemi

Analiziranjem bioloških efekata fiziološke promjene u biološkom sistemu koji se javljaju izlaganjem životne sredine EM poljima se vrši opažanjem ili mjerenjem. Ti efekti mogu biti bezopasni. Pozitivni efekti su: sunčevo zagrijavanje u normalnim granicama (osjećaj povećanja protoka krvi u koži), toplota sunčeve svjetlosti (njen osjećaj u hladnom vremenu, zatim zdravstveni efekat proizvodnje vitamina D u ljudskom organizmu), itd. Svako izlaganje ima i svoje granice tj. efekte negativnog djelovanja (opekotine, rak kože, itd.).

Kada posmatramo EM spektar kroz zrake velike energije koje mogu iz ljuske atoma izbaciti elektrone i tako jonizovati atom, tada imamo slučaj jonizujućih zraka koje mogu štetno djelovati na ljudski organizam (npr. izazivajući kancer). U drugom slučaju EM spektra nejonizujućih zraka, imamo da zrake manje energije nemaju jačinu da joniziraju. One su mnogo manje štetne pri djelovanju na ljudski organizam zbog slabe energije.

Dio spektra EM zračenja koje nema energiju fotona dovoljnu da izazove jonizaciju u živom tkivu ($12,4 \text{ eV}$) predstavlja nejonizujuće zračenje. Suprotno od ovoga je jonizujuće zračenje (energija fotona dovoljna za jonizaciju, preko $12,4 \text{ eV}$).

Standardna jedinica za energiju čestice odnosno fotona je eV (elektron Volt). Po SI sistemu (International System of Units), jedinica za energiju je J (Džul), pa je:

$$1 \text{ [J]} = 6,24 \cdot 10^{18} \text{ [eV]} \quad (3.6)$$

Karakteristike nejonizujućeg zračenja sa vrijednostima talasne dužine, frekvencije i energije su u tabeli broj 8.

Tabela broj 8. Karakteristike nejonizujućih zračenja

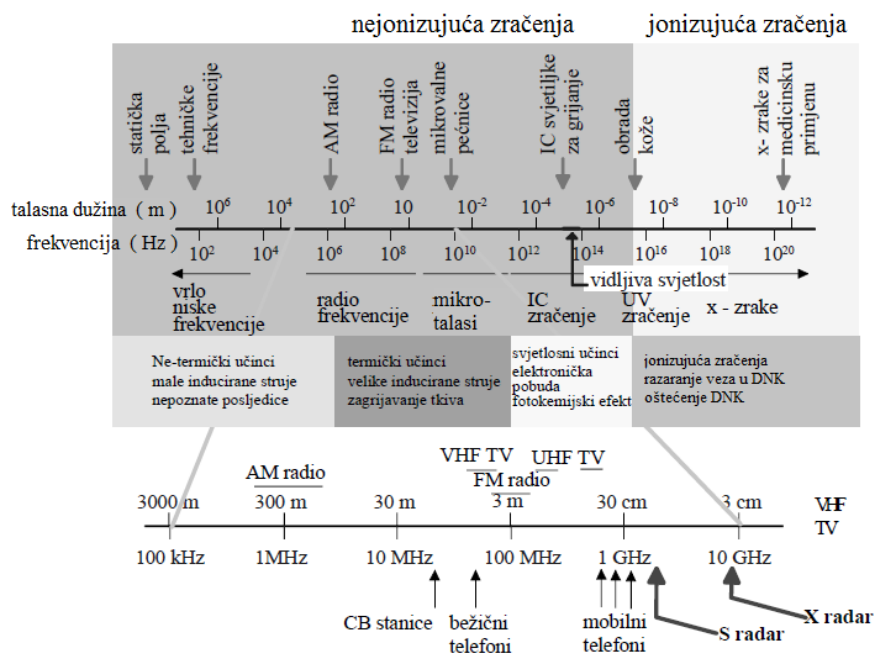
TALASNA DUŽINA (λ) [m]	FREKVENCIJA (f) [Hz]	ENERGIJA (E) [eV]
10^{-18}	3×10^{26}	$1,24 \times 10^{12}$
10^{-10}	3×10^{18}	$1,24 \times 10^4$
10^{-6}	3×10^{14}	1,24
10^2	3×10^6	$1,24 \times 10^{-8}$

Uticaj nejonizujućih zračenja na ljude kroz naučne stavove daju nezavisne naučne međunarodne ili nacionalne organizacije. Tu se najviše izdvajaju i imaju ključnu ulogu Međunarodna komisija za zaštitu od nejonizujućih zračenja (International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP). Ona je neprofitna naučna organizacija koja daje međunarodne preporuke o granicama prilikom istraživanja rizika po zdravlje ljudi, koji mogu biti povezani sa nejonizujućim zračenjem.

Svaka regulacija zaštite od nejonizujućeg zračenja zasniva se na principima po kojima se formiraju pravila i zakoni ponašanja, a možemo ih svrstati u tri grupe:

- (I) Princip zabrane izlaganja nejonizujućim zračenjima iznad propisane granice;
- (II) Princip dozvole korištenja izvora nejonizujućih zračenja od posebnog značaja ljudske zajednice, sa ukalkulisanom cijenom zbog procjene štetnog djelovanja njihovog korištenja; i
- (III) Princip javne dostupnosti podataka o nejonizujućim zračenjima.

Na slici broj 45. prikazana je veoma gruba podjela frekvencija sa naznakom NIR - IR granice, područjima upotrebe i mogućih bioloških efekata na tkivo. Poređenja radi, talasne dužine EM zračenja na prelazu NIR - IR odgovaraju veličini bakterije ili virusa.



Slika broj 45. EM spektar zračenja i mogući biološki efekti [46]



Slika broj 46. Znak opasnosti od nejonizujućeg zračenja

Poznavanje štetnih efekata nejonizujućih zračenja i izloženosti nejonizujućem zračenju, stanovištvo ne mora biti toga svjesno, ali operateri koji koriste te izvore su lica koja nadgledaju te izvore i poštuju propise (tj. imaju odgovornost). Operater mora osigurati da su sigurnosni znakovi postavljeni na mjestima gdje se rizici ne mogu izbjeći i mora uzeti u obzir procjenu rizika i osigurati da su sigurnosni znakovi uvijek na svom mjestu (slika broj 46.).

⁴⁶ Josip Sušan, Branka Milotić: O neionizantnom zračenju navigacijskoga radara, Rijeka, 2019.

Izvori nejonizujućih EM polja kojima su ljudi svakodnevno izloženi su: polja ispod dalekovoda visokog napona, antene baznih stanica, radarski sistemi, televizijske i radijske stanice, mobilni telefoni, bežični internet, daljinski upravljači, indukcijske ploče za kuhanje, protuprovalni sistemi te uređaji za dijagnostiku i terapiju u medicini.

Izvori u EM dijelu nejonizujućih zračenja spektra su istosmjerna polja, energetska postrojenja niskog i visokog napona te svi elektronički sklopovi koji u svom radu koriste elektromagnetni talas. Izvor, jeste uređaj, instalacija ili objekat koji emituje ili može da emituje nejonizujuće zračenje.

Moguće biološke efekte koji se analiziraju kod nejonizujućih zračenja možemo podijeliti na:

- Optičko zračenje, kada može doći do pobude elektrona (vidljiva svjetlost, IC zračenje),
- Dio spektra čije su talasne dužine manje od tijela i može doći do zagrijavanja putem indukcije (mikrotalasno i visokofrekvencijsko RF), i
- Dio spektra čije su talasne dužine veće od tijela i rijetko dolazi do zagrijavanja putem indukcije (niskofrekvencijsko RF, statička polja). (Detaljnije: tabela broj 9.).

Tabela broj 9. Analizirani mogući biološki efekti i energija fotona za nejonizujuća zračenja

VRSTA	BIOLOŠKI EFEKTI	ENERGIJA FOTONA (E)
NEJONIZUJUĆA ZRAČENJA		
UV zračenje	<i>Oklo - fotohemijska katarakta; Koža - eritem, pigmentacija</i>	<i>(3,10 - 12,40) eV</i>
Vidljiva svjetlost	<i>Koža - starenje; Oklo - fotohemijske i termičke povrede mrežnjače</i>	<i>(1,59 - 3,10) eV</i>
IC zračenje	<i>Infracrveno A zračenje: <u>Laseri, daljinski upravljači</u> Oklo - termičke povrede mrežnjače, termička katarakta, opekotine kože Infracrveno B zračenje: <u>Laseri, telekomunikacije</u> Oklo - opekotine rožnjače, katarakta, opekotine kože Infracrveno C zračenje: <u>Laseri, daleko IR područje</u> Oklo - opekotine rožnjače, katarakta, zagrijavanje površine tijela</i>	<i>(1,24 - 1590) meV</i>
RF zračenje	<i>Zagrijavanje tkiva, povišena tjelesna temperatura Opekotine, jakost indukovani struja</i>	<i>12,40 peV - 1,24 meV</i>
ELF polja	<i>Polja ELF moduliraju protok jona u ćeliji, uzrokujući curenje ili tzv. izliv kalcijuma. U ćeliji se javlja oksidativni stres, oslobađaju se enzimi kinaze, a mijenjaju se biosinteza proteina i transkripcija DNK</i>	<i>< 12,40 peV</i>

Granica izloženosti nejonizujućem zračenju je maksimalno dozvoljena vrijednost intenziteta polja u okolini, koja se utvrđuje standardom ili drugim propisom.

Zona opasnog zračenja je područje oko izvora nejonizujućeg zračenja u kojem intenzitet nejonizujućeg zračenja prelazi propisanu granicu.

U svijetu savremenih telekomunikacija bitnu ulogu zauzimaju mobilni telefoni. Procentualno 70% korisnika posjeduje mobilni telefon, ali taj postotak se svakim danom povećava. Zbog porasta broja korisnika mobilne telefonije, ispitivanja studija su rađena na kraće vremensko zadržavanje pri izlaganju cijelog tijela RF poljima puno jačim od onih koji se obično povezuju sa bežičnim komunikacijama. U tim istraživanjima trenutno nema naznaka negativnog uticaja na zdravlje zbog izlaganja niskim, netermičkim jačinama EM polja mobilnih telefona. Problem koji nastaje je druge prirode, a to je korištenje mobilnog telefona (ručno ili eng. hands-free) prilikom vožnje, koje ometa vozača i daje efekat mogućnosti pojave prometne nesreće.

U navodima TK operatera M:tel iz 2017., vodiča: Gradimo kvalitetnu mobilnu mrežu, elektromagnetno zračenje mobilne telefonije, odnosno baznih stanica nije štetno po ljudski organizam. Studija je izvedena od Vazduhoplovnog zavoda Kosmos i Instituta zaštite i ekologije Republike Srpske, a ista je sačinjena na samom početku rada mobilne mreže. Navodi se da operater poštuje sve propise, vrši redovan nadzor nad korištenjem svoje opreme u smislu održavanja zdrave životne sredine, u skladu sa zakonom propisanim normama (principima).

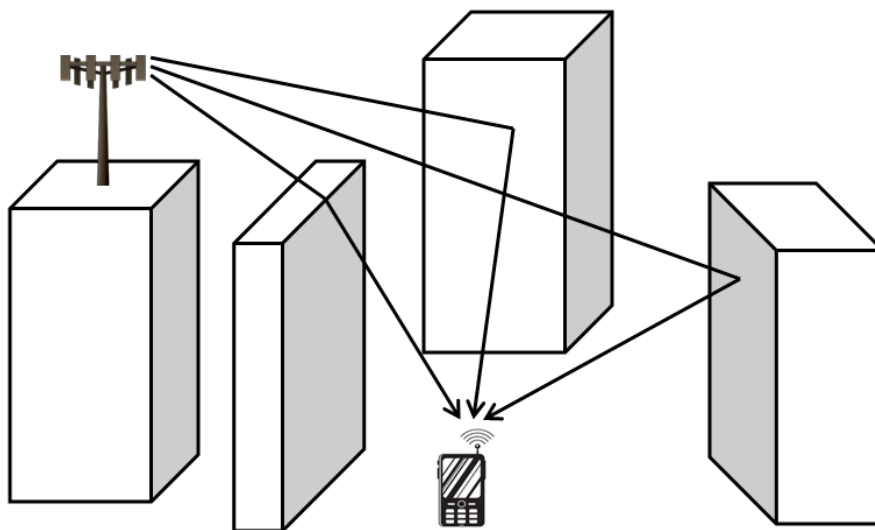
Mobilni telefoni su uređaji koji emituju male količine niskofrekvencijski EM talasa, odnosno radio talasa, i to samo kada su uključeni. Komuniciranje preko mobilnih telefona se ostvaruje odašiljanjem radio talasa preko mreže antena (baznih stanica).

Uticaj mobilnih telefona na zdravlje prema stavu WHO organizacije, nakon mnogih istraživanja je, da trenutno nije ustanovljen štetan uticaj mobilnih telefona na zdravlje.

Zračenje u smjeru ispod antena baznih stanica je najmanje, dok u ostalim smjerovima nivo zračenja dodatno se smanjuje s kvadratom udaljenosti. Udaljenost ne može biti mjerodavan parametar za određivanje uticaja EM polja, jer na većoj udaljenosti od bazne stanice u smjeru jačeg zračenja moguće je izmjeriti veći nivo polja nego na manjoj udaljenosti u smjeru slabijeg zračenja.

Najkritičnije tačke u kojima se provode mjerenja, od strane nekoliko ovlaštenih izvođača mjerenja pod nadzorom nadležnih tijela i institucija, određuju se na osnovu: položaja antene i okolnih objekata (slika broj 47.).

Postavljanje antena baznih stanica je takvo, da je u njihovom glavnom smjeru djelovanja slobodan prostor zbog daljeg širenja EM talasa i pokrivanja određenog područja njihovim signalom.



Slika broj 47. Skica položaja antene i okolnih objekata pri određivanju kritičnih tačaka

Propisi iz oblasti zaštite od nejonizujućih zračenja u državama EU su zahtjevni, pa imamo veći broj zakona, direktiva, pravilnika, standarda i preporuka u oblasti zaštite od RF zračenja.

Značajne preporuke za korištenje izvora nejonizujućih zračenja daju:

- Vijeće / Savjet Evrope (Council of Europe)⁴⁷,
- Svjetska zdravstvena organizacija (WHO), i
- Međunarodna komisija za zaštitu od nejonizujućeg zračenja (ICNIRP).

Savjete koje daju odnose se na uputstvo i preventivne mjere, a to su:

- Strožija primjena nacionalnih i međunarodnih standarda;
- Primjena mjera zaštite od nejonizujućih zračenja;
- Aktivno učešće lokalne vlasti i stanovništva; i
- Informisanje javnosti.

Referentne propise i standarde u cilju ograničavanja izlaganja ljudi EM zračenju u BiH (na osnovu preporuke Vijeća/Savjeta Evrope, ograničavanje izlaganja EM poljima od 0 Hz do 300 GHz) je usvojila Regulatorna agencija za komunikacije.

3.8.5. Analizirani fizičko-hemijski proces EM zračenja u tkivima

Za sučeljavanje biološkog tkiva sa EM poljem, potrebna je veza između oblasti medicine i elektromagnetike. Bitno je poznavati veličine koje opisuju EM osobine tkiva.

Kada se analizira biomedicinski značaj RF polja, neupitna i nepobitna su tri stava:

- Posmatrano tkivo se može pregrijati (hipertermija) prilikom izloženosti EM poljima ovakvih frekvencija;
- Pojava opekotina - indukovane struje su dovoljno jake; i
- Pulsna EM polja imaju značajan biomedicinski efekat od kontinuiranih polja - pri istim fizičkim uslovima.

U tabeli broj 10. imamo osnovne biološke efekte usljed interakcije EM polja i biološkog sistema s obzirom na frekvencijski opseg za odgovarajuću dozimetrijsku veličinu.

Tabela broj 10. Analizirana interakcija EM polja i ljudskog tijela [48]

FREKVENCIJSKI OPSEG	BIOMEHANIZAM	DOZIMETRIJSKA VELIČINA
<i>Polja niskih frekvencija (3 - 100) kHz</i>	<i>Neuromuskularna stimulacija</i>	<i>Gustoća struje u pobuđenom tkivu $J [A/m^2]$</i>
<i>Radiotalasi (100 kHz - 3 GHz)</i>	<i>Zagrijavanje tkiva</i>	<i>Specifični nivo apsorpcije SAR [W/kg]</i>
<i>Mikrotalasno zračenje (3-300 GHz)</i>	<i>Površinsko zagrijavanje</i>	<i>Gustoća snage $S [W/m^2]$</i>

⁴⁷ Vijeće/Savjet Evrope je međunarodna organizacija čiji su glavni zadaci jačanje demokratije, zaštite ljudskih prava i pravne države na evropskom kontinentu.

⁴⁸ Dragan Poljak: Izloženost ljudi zračenju antenskih sustava baznih postaja – Dozimetrija upadnog polja, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu, Split, 2012.

Prema ICNIRP-u granične vrijednosti karakterističnih parametara EM polja date su u dvije kategorije:

- (I) Osnovna ograničenja - veličine interakcije EM energije s biološkim tkivom: gustoća apsorbirane snage SAR [W/kg], gustoća indukovane struje J [A/m²] i gustoća indukovane snage S [W/m²]; i
- (II) Referentni nivoi - veličine koje opisuju upadno (incidentno) EM polje: jačina električnog polja E [V/m], jačina magnetskog polja H [A/m] i gustoća snage EM talasa S [W/m²].

U praksi se u većini slučajeva procjene štetnosti svode na zadovoljavajuće referentne nivoe.

EM osobine biološkog tkiva se opisuju kompleksnom dielektričnom konstantantom (ϵ):

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r + j \frac{\sigma}{2\pi f} ; \quad \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \left[\frac{F}{m} \right] \quad (3.7)$$

gdje je:

ϵ_0 - dielektrična konstanta vakuuma

ϵ_r - relativna dielektrična konstanta

σ - električna provodnost tkiva

f - frekvencija EM talasa

j - imaginarna jedinica

Rastojanje od ivice tkiva do tačke u kojoj jačina polja opadne e puta ($e=2,71828$) u odnosu na počenu vrijednost je dubina penetracije EM polja (δ), koju računamo:

$$\delta = \frac{1}{\omega} \left[\left(\frac{\mu_0 \epsilon_r \epsilon_0}{2} \right) \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \epsilon_0 \epsilon_r} \right)^2} - 1 \right) \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (3.8)$$

U tabeli broj 11. imamo vrijednosti veličina koje karakterišu mišično tkivo i odgovarajuće dubine penetracije za različite frekvencije.

Tabela broj 11. Analizirane vrijednosti veličina za mišično tkivo [49]

Frekvencija (MHz)	Relativna dielektrična konstanta (ϵ_r)	Električna provodnost (σ) [S/m]	Dubina penetracije (δ) [cm]
0,1	1850	0,56	213
1	411	0,59	70
10	131	0,68	13,2
100	79	0,81	7,7
1000	60	1,33	3,4
10000	42	13,3	0,27
100000	8	60	0,03

⁴⁹ Dejan D. Krstić, Vera V. Marković, Nataša M. Nikolić, Boris Đinđić, Stojan S. Radić, Dejan M. Petković, Milan D. Marković: Biološki efekti zračenja bežičnih komunikacionih sistema, Univerzitet u Nišu, Niš, 2015.

Iz priloženog se vidi da EM osobine tkiva zavise od frekvencije, ali dubina penetracije nije dovoljna da karakteriše efekte prodrlog EM polja.

Uticaji frekvencije do 10 MHz koje uzrokuju biološke promjene, mjeri se gustoćom struje.

Gustoću struje računamo:

$$J = \sigma \cdot E \left[\frac{\text{A}}{\text{m}^2} \right] \quad (3.9)$$

Pretpostavimo da je električna provodnost tkiva (σ) homogena i izotropna, a organizam se nalazi u promjenljivom magnetnom polju, gustoću struje računamo po Faradayevoj jednačini električne indukcije:

$$J = \pi \cdot R \cdot f \cdot \sigma \cdot B \left[\frac{\text{A}}{\text{m}^2} \right] \quad (3.10)$$

R - poluprečnik kruga koji čini ljudsko tijelo

Za frekvencije od (10 - 110) MHz, mjerenje struje je u amperima (A).

Za frekvencije od (0,1 - 10 000) MHz, prenos energije iz EM polja na naelektrisane čestice ozračenog tkiva definisan je kao specifična brzina apsorpcije (Specific Absorption Rate, SAR). Brzina SAR ima smisla samo za ovaj frekvencijski opseg, jer je dubina penetracije veća od 1 cm.

Specifičnom brzinom apsorpcije (SAR) možemo opisati rezultujuću raspodjelu energije.

$$SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{\rho dV} \right) \left[\frac{\text{W}}{\text{kg}} \right] \quad (3.11)$$

gdje je:

W - energija posmatrane zapremine

dW/dm - apsorbovana doza D ili specifična apsorpcija SA [J/kg]

dm = ρdV

ρ - gustoća tkiva [kg/m³]

V - zapremina

Kod lokalnog SAR-a (SAR_l) imamo beskonačno malu zapreminu, pa je:

$$SAR_l = \left(\frac{dW}{dt} \right) \cdot \frac{1}{\rho} \left[\frac{\text{W}}{\text{kg}} \right] \quad (3.12)$$

Brzinu SAR možemo izraziti kao funkciju intenziteta unutrašnjeg električnog polja E, i to:

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho} \left[\frac{\text{W}}{\text{kg}} \right] \quad (3.13)$$

Alternativna definicija je:

$$SAR = c_i \frac{dT}{dt} \quad (3.14)$$

gdje je:

c_i - toplotni kapacitet tkiva [J/kg⁰C]

dT/dt - brzina promjene temperature tkiva

Kod RF frekvencija ispod 100 kHz značajan parametar je gustoća indukovane struje, dok je na frekvencijama iznad 6 GHz važna gustoća upadne snage.

Za frekvencije od 10 GHz (= 10 000 MHz) do frekvencija jonizujućeg zračenja definisana je gustoća snage zračenja (Power Density, S).

$$S = E \cdot H = \frac{E^2}{Z_0} = H^2 \cdot Z_0 \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (3.15)$$

$$Z_0 = E / H \quad [\Omega] \quad (\text{impedansa slobodnog prostora})$$

3.8.6. Preventivne mjere uticaja zračenja mobilnih komunikacija

Analizirani medicinski aspekt EM talasa za uvođenje novih mobilnih komunikacija, pored toga što ne pokazuje znake opasnosti, kroz metode opažanja i analiziranjem nejonizujućih zračenja, potreban je vodič kao preventiva i uputstvo za analizirano područje koji obuhvata skup mjera i postupaka kojima se ukazuje na dejstvo nejonizujućih zračenja u životnoj sredini putem proračuna (mjenja) u oblasti elektromagnetike i medicinske oblasti. Tu imamo i opšte postupke i upute za smanjivanje nivoa električnih i magnetnih polja na radnom mjestu, u kući i u okruženju.

Mjere koje se mogu poduzeti kao smjernice zaštite od nejonizujućeg zračenja su:

- Propisivanje graničnih nivoa i praćenje izloženosti ljudi nejonizujućem zračenju;
- Proračun i procjena nivoa zračenja u okruženju izvora nejonizujućeg zračenja;
- Mjerenje nivoa zračenja u okruženju izvora nejonizujućeg zračenja;
- Smanjenje nivoa zračenja u životnoj sredini, vremensko ograničenje izloženosti ljudi; i
- Odgovarajuće obilježavanje prostora, obuka i stručno usavršavanje zaposlenih u vezi sa zaštitom od nejonizujućeg zračenja.

Preventivni postupci koji se preporučuju od strane medicinskih organizacija su:⁵⁰

- Mobilne telefone koristiti za kraće razgovore ili za vrijeme kad obični telefon nije dostupan (kada više slušamo, a manje govorimo, smanjuje se izloženost zračenju);
- Izbjegavati prekomjerne upotrebe mobilnih uređaja (posebno za period intenzivnog rasta i razvoja);
- Izbjegavati spavanje pokraj uređaja koji su izvor EM polja;
- Izbjegavati neprekidno nošenje mobilnih uređaja uz tijelo. Mobilne telefone držati dalje od tijela kada se ne koriste, jer povremeno zrače i u stand-free modu (stanju pripravnosti);
- Koristiti hands-free uređaje (slušalice, spikerfon) zbog udaljenosti mobilnoga i glave, pri čemu je zračenje puno manje. Ne preporučuje se stalno nošenje slušalica na uhu.

⁵⁰ Zavod za javno zdravstvo Dubrovačko-neretvanske županije, Ul.dr. Ante Šercera 4a, 20000, Dubrovnik, Hrvatska
Ministarstvo zdravstva, Ksaver 200a, 10000, Zagreb, Hrvatska

- Koristiti oba uha za razgovore preko mobitela (slušalice stavljati na oba uha);
- Komunicirati tekstualnim porukama umjesto telefonskim razgovorima kada je to moguće. Pri slanju poruke, količina zračenja mobitela je kratkotrajna a primanje poruke ne zrači;
- Razgovarati na otvorenom prostoru zbog jačine signala, jer kod slabijeg signala mobitel mora pojačati svoju frekvenciju kako bi stupio u kontakt s predajnikom;
- Ograničiti upotrebu mobilnih telefona kod djece; i
- Navlaka za antenu ili futrola koja prekriva tastaturu, nema efikasnost zaštite od zračenja.

3.9. Stanje telekomunikacijskog tržišta mobilnih tehnologija

Telekomunikacijska industrija je jedna od najvećih grana privrede u kojoj se analizira: makroekonomsko stanje u evrozoni, zatim prihodi fiksne i mobile telefonije te potreba za većim kapitalnim ulaganjima u mrežu zbog pojačanja osnove za većom potražnjom širokopojasnog pristupa internetu.

Za procjenu stanja industrije bitne su i ekonomske promjene koje istovremeno utiču na domaćinstva, poduzeća i tržišta. Analiziraju se i traže se odgovori na pitanja, kao npr. zašto je u nekim zemljama prosječan dohodak visok, a u nekim nizak; zašto cijene u pojedinim periodima brzo rastu, a drugima su stabilne; zašto se proizvodnja i zaposlenost u nekim godinama povećavaju, a u drugima smanjuju; itd.

Kada procjenjujemo da li je jedna privreda u dobrom ili lošem stanju, logično je sagledati ukupan dohodak koji svi ljudi ostvaruju u nekoj privredi.

U ovom dijelu analiziramo stanje TK tržišta mobilnih tehnologija prolazeći kroz: teorijsku analizu tržišta (vrednovanje usluge), analizu sagledavanja stanja TK tržišta u svijetu i Evropi, i analizu stanja TK tržišta u Bosni i Hercegovini kroz ekonomske pokazatelje. Sagledavanjem stanja imamo jednim dijelom informisanost o zainteresiranosti korisnika usluge za nove mobilne komunikacije (kako u svijetu tako i kod nas), zatim uočavamo prednosti i nedostatke mobilne tehnologije (kako trenutne tako i nove).

3.9.1. Vrednovanje usluge

Otvaranje TK tržišta doprinosi širenju mreže, nacionalnoj pokrivenosti i međunarodnoj povezanosti na nivou opštih i osnovnih usluga. Učešće u globalnoj ekonomiji zahtijeva informacijsku i komunikacijsku infrastrukturu koja može da posluži najzahtjevnijim poslovnim korisnicima u pogledu kapaciteta, kvaliteta i međunarodne povezanosti, u skladu sa mogućnostima iste evropske i svjetske infrastrukture. Po spektru, cijeni i kvaliteti usluga se ne smije biti lošiji od konkurentnog okruženja. Sigurnost mreža, usluga i transakcija je od suštinskog značaja za izgradnju povjerenja u različite oblike ličnog komuniciranja i e-poslovanja. Sigurnost se postiže mjerama zaštite mreža, računarskih i komunikacijskih sistema, razmjene podataka te informacijske i komunikacijske tehnologije.

Tržište je oblik razmjene proizvoda i usluga posredstvom novca, mjesto na kome se ostvaruje određeni odnos između ponude i potražnje i u kom se slučaju obrazuju cijene. Na strani ponude su proizvođači (odnosno u njihovo ime prodavaci), a na strani potražnje su kupci.⁵¹

⁵¹ Alija Behmen: Ekonomika transportnih i komunikacijskih sistema, FSK – Odsjek za komunikacije, Sarajevo, 2004.

Na tržištu (mjestu na kojem kupci i prodavci komuniciraju kako bi odredili cijenu i količinu usluge), usluge se ne prodaju po vrijednosti već po cijenama. Zbog efekta ponude i potražnje, cijene se kolebaju oko vrijednosti, u zavisnosti od jače ili slabije konkurencije, i teži se ka ostvarenju većeg ili manjeg viška vrijednosti, odnosno profita na tržištu.

Tržišne cijene postižu se koordiniranim odlukama potrošača i proizvođača i imaju ulogu svojevrsnog točka ravnoteže u tržišnom mehanizmu, na način koji zadovoljava želje i potrebe svih uključenih strana. Zbir utrošenog, stalnog i promjenljivog kapitala i prosječnog profita čini cijenu proizvodnje.

3.9.1.1. Tržište sa marketinške tačke gledišta

Tržište TK usluga se može opisati i uzimanjem u obzir tri komponente:

- (I) Područja u kojima su definisani izvori potražnje za uslugama;
- (II) Pravci u kojima se uspostavljaju veze između različitih područja; i
- (III) Obim i struktura potražnje u pogledu prenesene informacije ili pružene TK usluge.

S ekonomskog aspekta, troškovi u telekomunikacijskom prometu mogu se posmatrati kao mikroekonomski aspekt troškova, odnosno troškova koje ima TK kompanija (operater), te kao makroekonomski aspekt troškova, odnosno troškova TK usluga (troškovi koji nastaju prilikom svakog prenosa informacija - troše se TK sredstva i ljudska radna snaga koja sudjeluje u tom TK procesu).

Sa stanovišta marketinga potrebno je imati u vidu sljedeće komponente tržišta:⁵²

- da je to određeni prostor,
- da na tom prostoru moraju postojati prodavci, kupci i odgovarajuće institucije marketinga, koje se često nazivaju i tržišne institucije,
- da mora postojati objekt razmjene roba ili usluga,
- da moraju postojati dohoci, s jedne strane, i cijene proizvoda i usluga, s druge strane,
- da se cijena formira ili pretežno formira na bazi odnosa ponude i tražnje,
- da su ponuđači spremni da svoje robe ili usluge ponude po datim cijenama, a potraživači da svoje dohotke razmijene za određena dobra ili usluge,
- da tržište mora biti regulisano sa pravnog i društvenog stanovišta tako da se zaštite ekonomski, etički i društveni interesi ponuđača i potraživača, odnosno potrošača, osiguraju željeni ekonomski procesi (raspodjela i razmjena i potrošnja) i odgovarajuće alociranje resursa,
- da se na tržištu nalaze razne vrste kupaca i prodavaca, koji mogu da učestvuju u tržišnim procesima zbog transakcija, verifikovanja rezultata rada i osiguravanja uslova za potrošnju i proširenje materijalne osnove rada ili samo zbog transakcija i alimentiranja potrošnje (lična potrošnja), i
- da tržišna cijena kao statička i dinamička kategorija služi kao osnova za alociranje resursa.

Da bi se procesi odvijali na željeni način i da bi se postigli željeni efekti na društvenoj skali, potrebno je vršiti stalna regulisanja tržišta. Za regulisanje tržišta, neophodno je imati odgovarajuće institucije državne kontrole.

⁵² Radovan Milanović: Osnovi marketinga, Svjetlost, Sarajevo, 1985.

Ako tržište nije regulisano u skladu sa interesima društva, privrednih subjekata i potrošača, ono može ispoljiti i ispoljava određene anarhične tendencije. Intenzitet anarhičnih tendencija na tržištu zavisi od proizvodnog odnosa, ali i od samih učesnika na tržištu.

Za uspješno prevazilaženje anarhičnih komponenti tržišta, koje imaju najviše izražaja u području donošenja odluka na bazi ex post informacija, pored promjene društvenog odnosa, posebno su važni tržišni propisi i tržišna aktivnost privrednih subjekata.

3.9.1.2. Obilježja telekomunikacijskog tržišta

Karakteristike TK tržišta su:

- mobilnost i fleksibilnost,
- konkurencija i pad cijena, i
- educirani i zahtijevni korisnici.

Telekomunikacijsko tržište obuhvata:

- proizvodnja i prodaja opreme (tehnologije opreme),
- pružanje usluga u najširem smislu riječi (tehnologije organizovanja prometa),
 - usluge TK mreže
 - usluge u užem smislu riječi (govor, slika, podaci)
 - usluge sadržaja (informacije, zabava, lociranje, itd.)
- proizvodnja i implementacija rješenja za sisteme operativne podrške (Operations Support Systems, OSS) i sisteme poslovne podrške (Business support systems, Bss),
 - briga o korisniku, pozivni centri, nadzor, itd.

Korištenje informacija i komunikacija omogućava informacijsko - komunikacijska tehnologija (Information and Communication Technology, ICT).

Informacijska tehnologija (Information Technology, IT), odnosi se uglavnom na segment informacija, uključujući obradu podataka.

Evropsko tržište informacijskih i komunikacijskih tehnologija (ICT market) obuhvata:

- cjelokupnu informacijsku i komunikacijsku opremu (ICT equipment), i
- programsku opremu ili softver (software) te usluge.

Komunikacijskim segmentom dominiraju telekomunikacije, tako da se dio ukupnog tržišta na kojem djeluje sektor telekomunikacija naziva tržište telekomunikacija (telecommunications market) ili tržište telekomunikacijskih usluga (telecommunication services market).

Procesi konvergencije brišu granice između različitih oblika informacija, načina komuniciranja i djelovanja na tržištu. Stoga se u novije vrijeme u EU sve više koriste pojmovi: tržište elektronskih komunikacija (electronic communications market) i sektor elektronskih komunikacija (e-communications sector).

Tržište elektronskih komunikacija je sektor naprednih tehnologija, a njegove osnovne karakteristike su: razvoj tehnologija, stalno uvođenje novih usluga i stalni razvoj poslovnih modela. Za regulisanje ovog tržišta, institucije državne kontrole (npr. RAK), usmjeravaju se na uspostavljanje ravnoteže između zainteresiranih strana: korisnika s jedne i tržišta s druge, zaštite interesa korisnika na konkurentnom tržištu i podrške ulasku novih učesnika.

3.9.1.3. Tržišne funkcije

Pored privatnog vlasništva, tržište je jedna od najvažnijih institucija privrednog sistema. Na tržištu postoji razmjena između privrednih subjekata koja zadovoljava potrebe nekih privrednih subjekata, ali također valorizuje proizvodne napore preduzeća.

Samo na tržištu firme mogu dobiti tačne informacije o tome da li njihov proizvod zadovoljava potrošače. To je i mjesto na kome svakodnevno nastaju nove firme (operateri), ali i nestaju one firme (operateri) koje nisu mogle da se izbore sa konkurencijom.

Osnovna funkcija tržišta je povezivanje proizvodnje i potrošnje u onom privrednom sistemu u kojem vladajući imovinski odnosi dovode do pojave decentraliziranog privrednog odlučivanja.

Tržište obavlja četiri osnovne funkcije, a to su:⁵³

- Alokacijska funkcija (kako proizvoditi) - određuje ko će i u kojoj mjeri i na koji način učestvovati sa svojim proizvodima na tržištu;
- Distribuciona funkcija (za koga) - određuje položaj svih učesnika u ekonomskom procesu u osnovnoj raspodjeli;
- Selektivna funkcija (šta proizvoditi) - tržište signalizira koje proizvode treba proizvoditi i u kojim količinama; i
- Informativna funkcija - tržište daje povratne informacije proizvođačima o ispravnosti tržišne politike koju vode.

Tržište prilagođava proizvođača za puštanjem oni proizvoda koji još ne postoje na tržištu. Proizvođači raznih proizvoda uvijek rizikuju. Izračunavaju situacije koje mogu nastati, a često ne računaju ništa. Ako je proizvođač poseban, a njegovi proizvodi originalni, tada će tržište reagovati brzo i pozitivno.

Nikome nisu potrebni nekvalitetni proizvodi (usluga, tehnologija) i niko neće kupiti (biti pretplatnik) za loš proizvod (uslugu), osim možda s velikim popustom. Jasno je da proizvođač neće pokriti troškove i dobit. Tržište uvijek motiviše proizvođače i podstiče ih da ažuriraju proizvode (poboljšaju i koriguju propuste za pruženu uslugu), a često i na pokretanju novih proizvoda (usluga, tehnologija).

3.9.1.4. Lanac vrijednosti u telekomunikacijama

Firme nastoje da identifikuju mogućnosti u okruženju i stvore proizvod (uslugu) koji će nadmašiti konkurenciju u jednom ili više elemenata. Prednost u tome imaju inovativne firme i one uspijevaju zadržati natprosječnu zaradu.

Efikasno komponovanje resursa firme dovodi do stvaranja dodane vrijednosti (dodana vrijednost naše usluge je pozitivna razlika (finansijski ili nefinansijski mjerljiva) između onog što kupac plaća i dobije kroz našu uslugu).

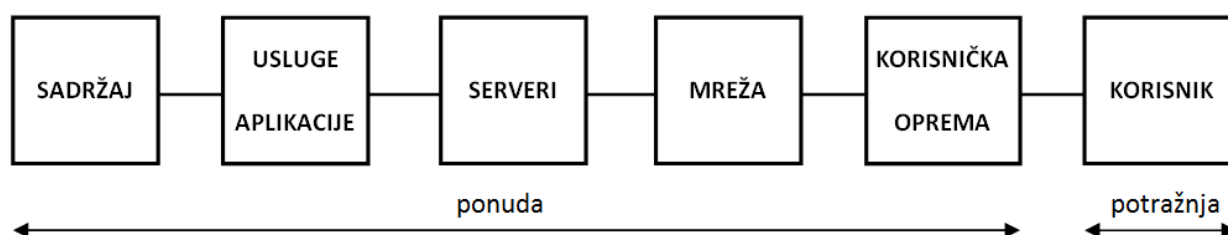
Stvaranje vrijednosti odvija se u nizu usmjerenih aktivnosti koje su međusobno povezane. Svaka od aktivnosti povezana je sa jednim ili više procesa. Završetak jednog procesa je ulazak u sljedeći proces. Ono što je bitno u cijelom ovom sistemu je: "izlazna vrijednost mora biti veća od ulazne vrijednosti".

⁵³ Tomislav Ivančević, Kristina Perc: Osnove ekonomije, Izdavač - Visoka poslovna škola Zagreb, Zagreb, 2017.

Na tržištu je potrebno poznavati informacijsku i komunikacijsku tehnologiju i njen vrijednosni lanac.

Strategijski menadžment koji uključuje razmišljanje, odlučivanje i akciju za stvaranje konkurentne prednosti i omogućava strukturne promjene u firmi, a isti ima za cilj određivanje misija i ciljeva, a da se pri tome ne zanemare sredstva koja su potrebna za uspjeh, ima jedan od ključnih koncepata, a to je lanac vrijednosti.

Lanac vrijednosti (Vrijednosni lanac, Value Chain) je jedan od ključnih koncepata strategijskog menadžmenta, a uključuje korisnika koji pomoću svoje opreme komunicira s drugim korisnicima putem mreže ili pristupa serverima za različite usluge i aplikacije, uključujući i informacijske sadržaje (content) dostupne korisnicima (slika broj 48.).



Slika broj 48. Lanac vrijednosti informacijske i komunikacijske tehnologije

Međunarodna standardizacija i standardizacija u oblasti informacijske i komunikacijske tehnologije preduslov su za globalnu primjenu opreme i transparentnost usluga.

Uređaj koji je dostupan krajnjem korisniku (end-user) naziva se korisničkom opremom (user equipment). Ako je namjena za komunikaciju, onda se radi o krajnjoj korisničkoj komunikacijskoj opremi (end-user communication equipment) (fiksni i mobilni telefoni). Imamo i višenamjensku korisničku opremu (poput ličnog ili drugog računara sa pristupom Internetu koji pruža razne informacijske i komunikacijske usluge i aplikacije).

Centralni element lanca vrijednosti informacijske i komunikacijske tehnologije je mreža (network). Ona ostvaruje komunikacije i pruža informacijske i/ili komunikacijske usluge koristeći jedan ili više oblika informacija, ili sa jednim ili više medija: govor, zvuk, slika, video, tekst ili podatak (jedinica: bit=količina informacije, bit/s=brzina prenosa informacija, kapacitet i propusnost sistema).

"Poziv" je osnovna komunikacijska usluga u svrhu razmjene informacija, koja uspostavlja, održava i prekida veze između dva korisnika ili korisnika i mreže.

Na raspolaganju korisniku su komunikacijske usluge sa svojim tehnološkim mogućnostima koje omogućavaju konverzaciju (npr. govorna usluga) i drugi oblici razmjene informacija (npr. poruka). Tržište nudi i informacijske usluge i aplikacije (npr. pretraživanje baza podataka, e-poslovanje), od kojih neke uključuju i informativne sadržaje poput izvještaja sa berze, muzika, film, itd. (Berze su organizovane i strogo regulisane finansijska tržišta na kojima se trguje vrijednosnim papirima robom, uslugama ili valutama. Trgovanje na berzama zasniva se na principu ponude i potražnje. Vrijednosni papir predstavlja dokument kojim se dokazuje vlasništvo odnosno određeno pravo u privrednom odnosu).

U fiksnoj i mobilnoj mreži, pored govorne usluge, dostupne su i dodatne usluge koje pojednostavljaju pozivanje, proširuju ili ograničavaju mogućnosti pristupa korisnika i razmjenjuju informacije o korisnicima. Kod Interneta je to: e-pošta, pretraživanje i pronalaženje različitih informacija na Internetu, prenos datoteka i rad na udaljenom računaru. Usluga kratkih poruka (SMS) je najčešći način komunikacije sa podacima (tekstom) na mobilnoj mreži.

Uspješno upravljanje osnovnim i pratećim aktivnostima rezultira razlikom između vrijednosti prodatih proizvoda i troškova potrebnih za njihovo stvaranje.

Da bi se uradila analiza osnovnih procesa u nekoj firmi mjerenjem, polazi se od pitanja: šta se mjeri u svakom dijelu procesa i kakav uticaj to ima na cjelokupan vrijednosni lanac i na kraju zarada firme.

3.9.1.5. Tržišni elementi kao značajni faktori TK usluge

Ključni tržišni elementi za razumijevanje tržišta su pojmovi ponude i potražnje, kao i karakter predmeta razmjene (proizvodi ili usluge), sredstva razmjene koja se koriste i ekonomski zakoni koji sankcionišu i regulišu odnos između svega navedenog.

Brojni su faktori koji utiču na veličinu i strukturu tržišta, kako ponude tako i potražnje. Tu postoje i faktori koji su izvan tržišta: politički, socijalni, tehničko-tehnološki, i drugi.

Ponuda zavisi od nivoa razvijenosti proizvodnje u zemlji, zatim sezonskih i klimatskih uslova, socijalne i tržišne organizacije, odnosa troškova i cijena i drugih mogućih faktora (ponuda se povećava ako tržišna cijena raste brže od troškova proizvodnje).

Potražnja (pojam koji se razlikuje od pojma potraživanja) je akt kojim kupac (korisnik), na osnovu izražene potrebe pretražuje tržište za odgovarajućom upotrebnom vrijednošću. Ona je ograničena s jedne strane izraženim potrebama, a sa druge ponudom, odnosno ostvarenom veličinom proizvodnje (u potražnji kupci mogu biti i proizvođači i potrošači).

Relevantno (mjerodavno) tržište je ključ primjene pravila o zaštiti tržišne konkurencije, jer se sve pojave posmatraju na nivou tržišta. Tržišnu dimenziju (dimenzija proizvoda jednog tržišta) čine oni proizvodi (usluge) koji su, posmatrani sa pozicije korisnika, međusobno zamjenljivi zbog svojih karakteristika, cijena ili upotrebe. Područje gdje su određene kompanije uključene u ponudu i potražnju proizvoda ili usluga, i gdje su uslovi konkurencije dovoljno homogeni da ih razlikuju od bliskih (komšijskih) područja, jer se uslovi konkurencije značajno razlikuju predstavljaju geografsku dimenziju relevantnog tržišta.

Efekti supstitucije na strani potražnje su efekti supstitucije javno ponuđenih TK usluga na relevantnom tržištu, koji omogućavaju korisnicima da odgovore na porast cijena jedne usluge prelaskom na drugu ili druge usluge zamijene od drugih pružatelja usluga i operatera na relevantnom tržištu.

Efekti supstitucije na strani ponude predstavljaju sposobnost pružatelja usluga ili operatera na relevantnom tržištu da zamijene ponudu jednog ili više pružatelja usluga ili operatera na istom relevantnom tržištu kako bi nadoknadili efekte povećanja cijena jednog ili više pružatelja usluga ili operatera prilagođavanjem slobodnog tržišta.

Potencijalnu konkurenciju pružaju pružatelji usluga ili operateri koji mogu i žele snositi dodatne troškove neophodne za pristup relevantnom tržištu.

Ako je na tržištu monopol, potrošači ne mogu disciplinovat tržište. Kupac nema izbora jer je pod dominacijom jedne firme, a tržišna snaga (moć preduzetnika da povećaju cijene iznad konkurentnog nivoa) mora biti ograničena na drugi način zbog javnog interesa.

Analiza ponude daje odgovor na pitanje kako se ponuda mijenja (kako se ponašaju ponuđači) kada na ponudu utiče cijena, odnosno kada na ponudu utiču necijenovni faktori (ponuđači određuju koliko će proizvoditi / prodavati prema odnosu cijene i troškova u proizvodnji).

Analiza potražnje daje odgovor na pitanje kako se potražnja mijenja (kako se ponašaju kupci) kada se cijena proizvoda (usluge) mijenja ili kako se mijenja kada na nju utiču necijenovni faktori.

Ponuda i potražnja različitih proizvoda i usluga je mehanizam za regulisanje odnosa između kupaca i prodavaca i određivanje cijena proizvoda ili usluga.

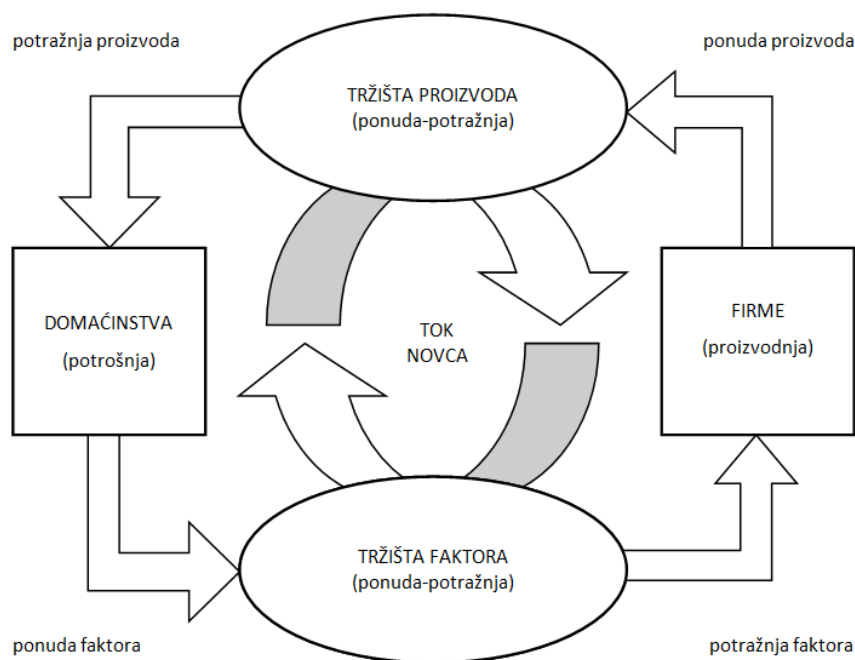
Elementi koji utiču na ponudu su: cijena samog dobra, tehnologija, ulazne cijene, cijene dobara povezane sa tim dobrom, organizacija i posebni uticaji.

Elementi koji utiču na potražnju su: cijena samog dobra, prosječan dohodak (zarada), broj stanovnika, cijene dobara povezane sa tim dobrom, ukusi i posebni uticaji.

Odnos između proizvoda (usluge) tržišne cijene i količine tog proizvoda (usluge) koju su proizvođači (operatori) spremni da proizvode (pružaju usluge) i prodaju pod uslovom da ostale stvari ostanu iste predstavlja krivu ponude za taj proizvod (uslugu).

Odnos između tržišne cijene proizvoda (usluge) i tražene količine tog proizvoda (usluge), pod uslovom da se druge stvari ne promijene predstavlja krivu potražnje za taj proizvod (uslugu).

Ravnoteža cijena i količina se uspostavlja na onom nivou gdje je dobrovoljno ponuđena količina jednaka dobrovoljno traženoj količini (nema viškova, niti deficita).



Slika broj 49. Kružni tok u privredi

U novim privrednim aktivnostima, cijene se formiraju na tržištu i u prosjeku treba da izraze vrijednost rada. Formiranje cijena se ne postiže u svim uslovima prema tržišnim principima, već se određuje prema datim društvenim potrebama i ciljevima, ali u osnovi uvijek imajući u vidu osnovne ekonomske zakone. Tok novca i proizvoda kroz privredu je opisan na slici broj 49.

3.9.2. Tržište telekomunikacija u svijetu

Današnje telekomunikacijske mreže povezuju praktično sve zemlje svijeta sa ogromnim prenosnim kapacitetima. Globalni prenos informacija ima mnogo puta veće mogućnosti danas nego prije. Doprinos tome nije samo izuzetan razvoj telekomunikacijske tehnologije, već i uporna izgradnja telekomunikacijskih mreža širom svijeta.

Zahvaljujući telekomunikacijama, koje predstavljaju posebnu vrstu prometnog sistema, upotreba informacija u trgovanju, kao i trgovina informacijama, postala je paradigma nove ekonomije.

Na globalnom nivou, ali i u uskim okruženjima, postoji višedimenzionalni problem digitalnog jaza (digital divide, digital gap) između imučnih i onih sa nedostatkom osnovnih uslova za život (digitalni jaz (digitalna nejednakost, digitalna podjela) je razlika između onih koji imaju pristup informacijsko-komunikacijskim tehnologijama (ICT) i sadržajima i onih koji ga nemaju). Zatim: jaz između različitih država, jaz unutar država između različitih regija i jaz između različitih kategorija stanovništva.

Sektor telekomunikacija doprinosi rastu kroz povrat investicionog kapitala i kroz izlaz koji generišu mreža i indirektni vanjski efekti. Ono što je karakteristično u telekomunikacijskoj industriji u svim regijama svijeta je da sektor usluga pokazuje mnogo brži rast od sektora proizvodnje opreme (tabela broj 12.).

U savremenom svijetu digitalne ekonomije, telekomunikacije igraju ključnu ulogu u pružanju informacija potrebnih za donošenje upravljačkih odluka, kako na nivou pojedinačnih kompanija, tako i na nivou države u cjelini. Prelazak na informacijsko društvo zahtijeva aktivan razvoj TK sektora, koji je pokretač rasta u napretku i globalne ekonomije.

Tabela broj 12. Stanje telekomunikacijskih usluga sa Pay TV u svijetu (2017.-2020.)

Godina	Tržište procjena prema Međunarodnoj korporaciji za podatke (International Data Corporation (IDC))
2020.	<i>Tržište telekom usluga nije palo u uslovima COVID-19 (1,53 biliona USD)</i>
2019.	<i>Telekom u EMEA raste brže nego u svijetu</i>
2018.	<i>Opseg tržišta na 1,62 biliona USD</i>
2017.	<i>Veličina tržišta prema procjenama (1,67 biliona USD)</i>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Međunarodna korporacija za podatke (International Data Corporation, IDC) je vodeći globalni pružatelj tržišne inteligencije, savjetodavnih usluga i događaja za tržišta informacijske tehnologije, telekomunikacija i potrošačke tehnologije. ▪ EMEA (Europe, the Middle East and Africa) = Evropa, Bliski Istok i Afika. ▪ Bliski Istok (Middle East, ME) je naziv za područja SI Afrike i JZ Azije (zapadnjački geopolitički naziv). ▪ Pay TV (naplatna televizija) je usluga u kojoj operater ili proizvođač TV programa od krajnjega korisnika naplaćuje naknadu za pristup određenim TV kanalima ili audiovizuelnim (AV) sadržajima. 	

U 2020.-oj godini potrošnja kompanija i potrošača na TK usluge, uključujući Pay TV, dostigla je 1,53 biliona USD. Isti obim je zabilježen godinu dana ranije, prema analitičarima IDC-a.

Tržište TK usluga na kraju 2020.-te godine u zemljama Sjeverne i Južne Amerike iznosilo je 583 milijarde USD (0,7% više u odnosu na 2019.). U azijsko-pacifičkom regionu dinamika je bila nula, a obim tržišta je dostigao 482 milijarde USD. Troškovi fizičkih i pravnih lica za TK usluge u regionu EMEA smanjili su se za 0,8% (467 milijardi USD).

Dinamika na tržištu telekomunikacija u 2020.-oj godini bila je neujednačena usred pandemije. Zbog toga su u prvoj polovini godine značajno smanjeni troškovi korisnika i pretplatničkih baza operatera. Do pada je došlo posebno zbog ograničenja naredbi državnih vlasti u borbi protiv širenja zaraze, kao i zbog opšteg pesimizma i panike koji su primorali ljude da troše manje novca na nebitne proizvode i usluge.

U drugoj polovini 2020.-te godine oporavila se potražnja za telekomunikacijama, podržana mjerama za podršku ekonomiji stanovništva, zatim pojavom vakcine u borbi protiv COVID-19 što je vratilo optimizam stanovništvu i pomoglo globalnom i regionalnom tržištu da nadoknadi gubitke zabilježene u prvoj polovini godine i približi se rezultatima iz 2019.-te godine.

Pandemija je promijenila trendove koji određuju stanje TK tržišta. Usluga fiksne telefonije kao najvažnije sredstvo povezivanja s Internetom za potrošače (korisnike) postala je trend, jer pomaže u radu, učenju i igranju kod kuće.

Dinamika rasta troškova za usluge fiksne komunikacije u B2B⁵⁴ segmentu znatno se pogoršala, ali su telekom operateri spašeni dugoročnim ugovorima sa kompanijama. Firme su počele češće da napuštaju tradicionalnu telefoniju. Mala preduzeća su se počela zatvarati, a većina preostalih preduzeća smanjila je troškove takvih usluga.

Tržište mobilne telefonije je smanjilo troškove u 2020.-oj godini, uglavnom zbog sporijeg obnavljanja ugovora, smanjenih troškova izvan paket tarifa i naglog pada prihoda od rominga od operatera.

U 2018.-oj godini je opseg globalnog tržišta telekomunikacija sa uslugom Pay TV dostigao 1,62 biliona USD, a procijenjeno tržište u 2017.-oj godini je na 1,67 biliona USD. Mobilne usluge čine 53,10% globalne potrošnje na tržištu u 2018.-oj godini zbog velike potražnje za smartphonima (pametnim telefonima), a govorni telefonski pozivi opadaju kako ovaj segment dostiže vrhunac i suočava se s konkurencijom internetskih usluga poput WhatsApp-a i Skype-a.

5G mreža ima veliki uticaj na tržište telekomunikacija jer nude bolju arhitekturu, nove usluge i brže brzine prenosa podataka. Njihova osnova je svijet sa više umreženih komunikacija.

Na tržištu 2020.-te je bilo 380 uređaja 5G, što je 8 puta više nego godinu ranije. Baza mobilnih 5G korisnika dostigla je 220 miliona, a bežičnih kućnih širokopoljnih usluga 1,05 miliona, što je oko dvadesetak puta više u odnosu na prethodnu godinu.

Cijene 5G telefona padaju, tako da na tržištu već postoji više uređaja po cijeni ispod 150 USD i oko 30 srednjih i nižih telefona po cijeni ispod 300 USD. U Kini i Južnoj Koreji, prvim zemljama koje su uvele 5G tehnologije, telekom operateri već vide komercijalni povrat na svoje investicije u 5G mrežu.

⁵⁴ B2B (Business-to-business) - označava vrstu elektronskog poslovanja koje je usmjereno na razmjenu roba, servisa i usluga između organizacija.

3.9.3. Tržište telekomunikacija u Evropi

Svaka zemlja EU ima drugačiji skup operatera koji nude usluge na nacionalnom nivou i ugovori su obično specifični za svaku zemlju.

Evropska komisija pokreće prekršajne postupke protiv država članica ako se desi propust da nisu uveli nova TK pravila EU-a. Evropski regulatorni okvir za elektronske komunikacije ažuriran je Zakonikom (kodeks) kako bi potrošačima pružio veći izbor i veća prava. Tu su: jasniji ugovori, kvalitet usluga i veća konkurencija na tržištima. Postavljaju se i viši standardi za TK usluge (npr. lakše i efikasnije je komunicirati sa službama za hitne slučajeve). Operateri također imaju koristi od pravila koja podstiču ulaganje u mreže velikog kapaciteta i poboljšanju razvoja inovativnih digitalnih usluga i infrastrukture.

Evropska komisija je u skladu sa zakonikom 2020.-te donijela propise kako bi se učvrstila tržišna konkurencija, regulatorna usklađenost i jednaki uslovi za sve učesnike na tržištu zaštite potrošača i omogućila normalne cijene i razne vrste ponuda internetskih i telefonskih usluga i to:

- Nova delegirana uredba kojom se utvrđuje jedinstvena maksimalna cijena završavanja glasovnih poziva u cijeloj EU koje operateri smiju jedni drugima naplaćivati za pozive između njihovih fiksni i mobilni mreža; i
- Ažurirana Preporuka o relevantnim (mjerodavnim) tržištima, kojom se ažurira lista unapred definisanih tržišta, koja evropska nacionalna regulatorna tijela moraju redovno da preispituju.

Veći obim operatera u Americi je jedan od razloga zašto su usluge mobilni sistema šire i jeftinije u SAD-u nego u Evropi. Kina i Japan nadmašuju EU iz istih razloga.

Strategija jedinstvenog digitalnog tržišta želi osigurati da evropska ekonomija, industrija i društvo u potpunosti iskoriste novo digitalno doba. Pored e-rješenja i podataka i prekograničnih digitalnih usluga, čini sastavni dio EU projekta za digitalnu Evropu. U 2015.-oj postavljeni su temelji jedinstvenom i održivom evropskom digitalnom društvu, a u 2016.-oj i 2017.-oj ostvareno je sljedeće: ukidanje naknada za roming, modernizacija zaštite podataka, prekogranična prenosivost Internet sadržaja i sporazum o uklanjanju prepreka e-trgovini ukidanjem neopravdanog geografskog blokiranja.

Doprinos potpuno funkcionalnog digitalnog tržišta privrede EU mogao bi biti do 415 milijardi EUR-a na godinu. Ovim bi se omogućilo da EU postane svjetski lider u digitalnim dostignućima. Realizacija ovoga je zahtijev da EU provodi cjelokupne reforme, od novog okvira autorskih prava do uredbi o geografskom blokiranju.

Evropskoj uniji je potrebno dodatnih 300 milijardi EUR-a ulaganja u naredne četiri godine ako želi da se takmiči sa Kinom ili SAD po pitanju 5G mreža i gigabitnog interneta (Istraživanje studije: Evropsko udruženje operatera telekomunikacijskih mreža (European Telecommunications Network Operators' Association, ETNO)).

U navodima Boston Consulting Group (BCG) (američka firma za savjetovanje o upravljanju sa sjedištem u Bostonu, država: Massachusetts, osnovana: 1963.) imamo:

- 150 milijardi EUR-a je potrebno da se realizuje cjelokupni scenario 5G, i
- 150 milijardi EUR-a za dovršetak ažuriranja fiksne infrastrukture i ispunjavanje potencijala pune brzine.

Firma BCG obrazlaže ulaganje od 300 milijardi EUR-a, i to: "Mala i srednja preduzeća nemaju uslove za dodatna ulaganja, što znači da njih 83% ne koristi napredne tehnologije. Zbog toga bi trebalo godišnje izdvojiti 26 milijardi EUR-a za pomoć u ovom pravcu. Za digitalno obrazovanje istovremeno treba uložiti oko 14 milijardi EUR-a na godinu, jer se ulaže u budućnost."

Zbog pandemije COVID-19 nema veći ulaganja od strane operatera, ali ono što naglašavaju neke istraživačke studije je da bi lideri EU i država članica trebalo da olakšaju propise kako bi omogućili pružateljima TK usluga saradnju, zajednička investiranja i odvajanje gradnje infrastrukture od pružanja TK usluga.

Prijedlozi su da se operaterima omogući trgovanje podatkovnim prometom na mrežama kako bi sustigli Google, Facebook, Microsoft i druge tehnološke gigante koji stiču sve veću prednost na 5G tržištima.

3.9.4. Tržište telekomunikacija u Bosni i Hercegovini

Za pružanje fiksne javne TK usluge u domaćem i INO telefonskom prometu na području Bosne i Hercegovine, bilo putem svoje mreže, u kombinaciji sopstvene mreže i javni TK mreža drugih licenciranih TK operatera ili u cijelosti preko iznajmljenog kapaciteta drugog licenciranog TK operatera mora postojati licenca za pružanje usluge.

TK operaterima koji pružaju usluge putem sopstvene mreže također su izdate dozvole za obavljanje djelatnosti operatera javnih elektronskih komunikacijskih mreža.

Za razliku od tržišta fiksne telefonije, na tržištu mobilne telefonije postoji veći stepen konkurencije, s obzirom na to da tri postojeća operatera nude svoje usluge na cijeloj teritoriji Bosne i Hercegovine.

Zaštita potrošača i prava korisnika i pretplatnika elektronskih komunikacija, kao i obaveze operatera koji pružaju javno dostupne komunikacijske usluge na nivou BiH, regulisani su: Zakonom o zaštiti potrošača BiH, Zakonom o komunikacijama i podzakonskim aktima donesenim od RAK-a i Ministarstva komunikacija i prometa BiH.

Prihodi (=pokazatelji efikasnosti, ali i preduslov opstanka operatera) poslovanja nekog pružatelja usluga (operatera) se ostvaruju na tržištu prodajom proizvoda i usluga proisteklih iz njegovog proizvodnog odnosno poslovnog procesa koje kupci traže.

Tabela broj 13. Prihodi telekomunikacijskih usluga u BiH (2016.-2020.) [55]

	Procijenjeni UP od svih TK usluga (KM)	Mobilna telefonija (KM)	Fiksna telefonija (KM)	Internet usluge (KM)
2020.	<i>1.104.987.494,19</i>	<i>501.736.904,41</i>	<i>274.986.973,80</i>	<i>171.587.644,63</i>
2019.	<i>1.240.252.331,00</i>	<i>529.267.242,00</i>	<i>297.852.347,00</i>	<i>172.082.676,00</i>
2018.	<i>1.200.000.000,00</i>	<i>553.085.193,00</i>	<i>270.464.311,00</i>	<i>142.236.849,00</i>
2017.	<i>1.375.000.000,00</i>	<i>569.244.670,00</i>	<i>294.352.348,00</i>	<i>111.024.868,00</i>
2016.	<i>1.400.000.000,00</i>	<i>610.983.407,00</i>	<i>340.837.030,00</i>	<i>184.301.590,00</i>

⁵⁵ Regulatorna agencija za komunikacije BiH (RAK): <https://www.rak.ba> (Telekomunikacijski indikatori BiH)

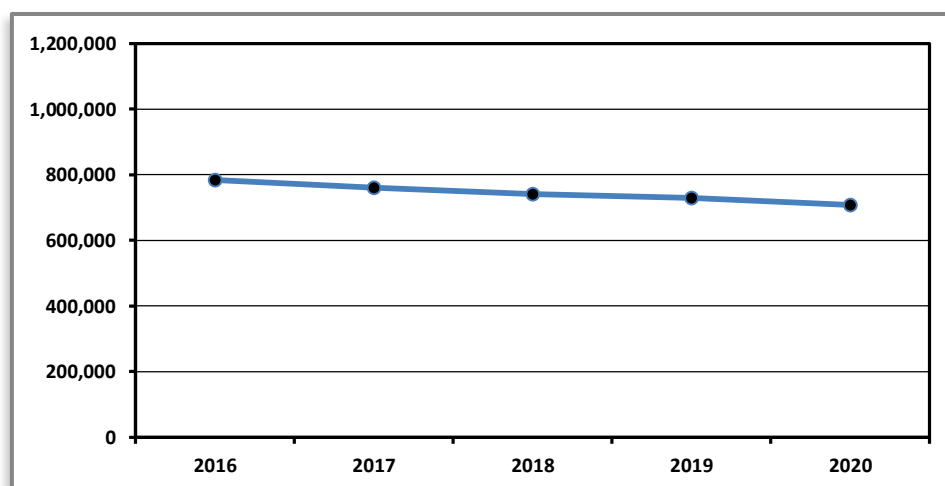
U tabeli broj 13. imamo:

- Procijenjeni ukupan prihod od svih TK usluga - prihod od: fiksne telefonije, mobilne telefonije, Internet usluga, podatkovnih usluga i usluga od kablovske distribucije TV signala.
- Mobilna telefonija - ukupni prihod mobilnih operatera i servis provajdera u mobilnim komunikacijama.
- Fiksna telefonija - prihod od fiksne telefonije - incumbent i alternativni operateri.
(Termin incumbent operateri se odnosi na operatere koji su prije liberalizacije tržišta imali državni (zakonski) monopol, u BiH su: BH Telecom, Telekom Srpske i HT Mostar)
- Internet usluge - prihod od Internet usluga.

Tabela broj 14. Broj korisnika telekomunikacijskih usluga u BiH (2016.-2020.) [56]

	Fiksna telefonija -linija-		Mobilna telefonija -korisnici-		Širokopojasni Internet -pretplatnici-	
	(broj & penetracija)	(broj & penetracija)	(broj & penetracija)	(broj & penetracija)	(broj & penetracija)	(broj & penetracija)
2020.	706 918	20,02%	3 509 674	99,39%	755 843	21,40%
2019.	728 322	20,63%	3 755 521	106,35%	745 887	21,12%
2018.	740 807	20,98%	3 461 058	98,01%	716 685	20,30%
2017.	759 351	21,50%	3 440 085	97,42%	700 578	19,84%
2016.	784 223	22,21%	3 404 043	96,40%	663 775	18,80%

U tabeli broj 14. imamo broj korisnika TK usluga i postotak penetracije definisan na osnovu podatka o broju stanovnika u BiH od starne Agencije za statistiku BiH. Prema Agenciji za statistiku BiH, popisom stanovništva, domaćinstava i stanova u Bosni i Hercegovini provedenog 2013.-te, u BiH živi 3 531 159 stalnih stanovnika (FBiH=2 219 220 (62,85%), RSBiH=1 228 423 (34,79%) i DBBiH=83 516 (2,37%)).

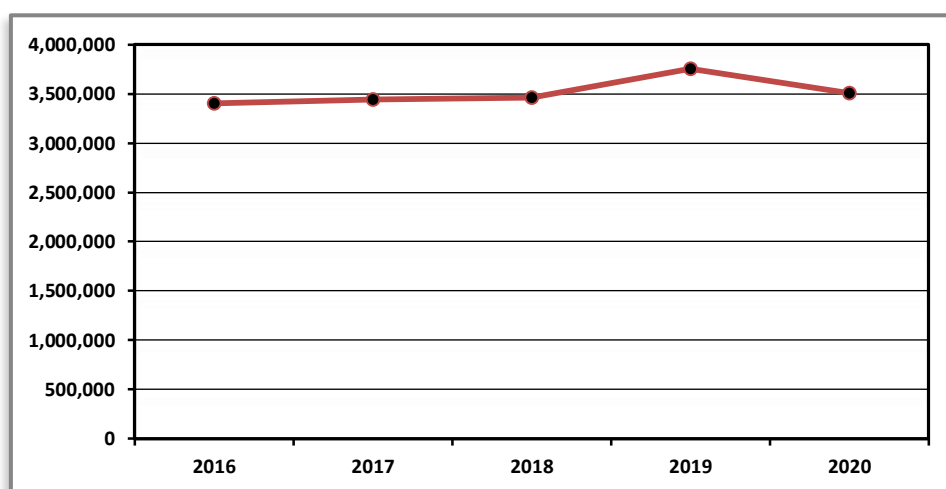


Slika broj 50. Kretanje broja pretplatnika fiksne telefonije u BiH (2016.-2020.)

Na slici broj 50. primjećuje se pad broja aktivnih fiksnih telefonskih linija 2020.-te u odnosu na 2019.-tu. (smanjen broj za 21 404 pretplatnika).

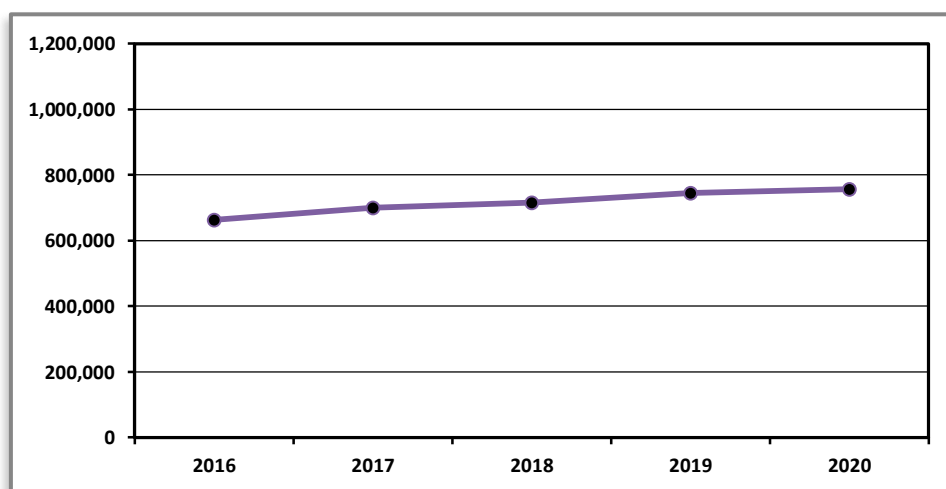
⁵⁶ Regulatorna agencija za komunikacije BiH (RAK): <https://www.rak.ba>
(Godišnji izvještaj Regulatorne agencije za komunikacije za 2020. godinu)

Na slici broj 51. primjećujemo uspon od 2016.-te prema 2019.-oj sa ostvarenim porastom korisnika u 2019.-oj u odnosu na 2018.-tu (porast za 294 463 korisnika), ali broj korisnika u 2020.-oj zabilježio je ogroman pad za 245 847 korisnika u odnosu na 2019.-tu. To daje signal da se mora analizirati kvalitet i cijena usluge i raditi na uvođenju nove tehnologije.



Slika broj 51. Kretanje broja korisnika mobilne telefonije u BiH (2016.-2020.)

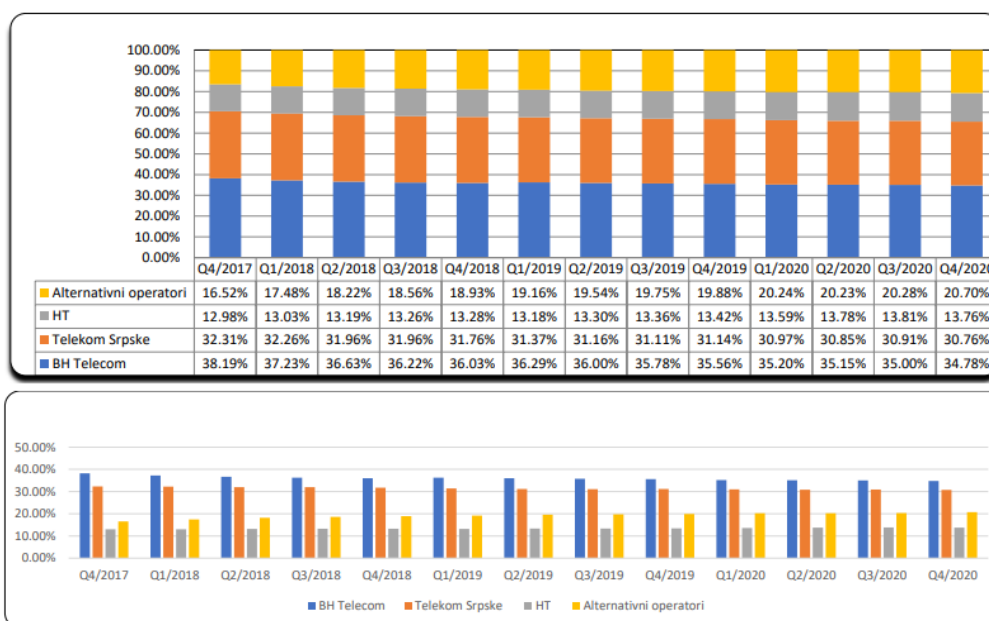
U BiH u upotrebi su dial-up internet pristup (putem analognog modema i ISDN (Integrated Services Digital Network)) i širokopojasni pristup internetu.



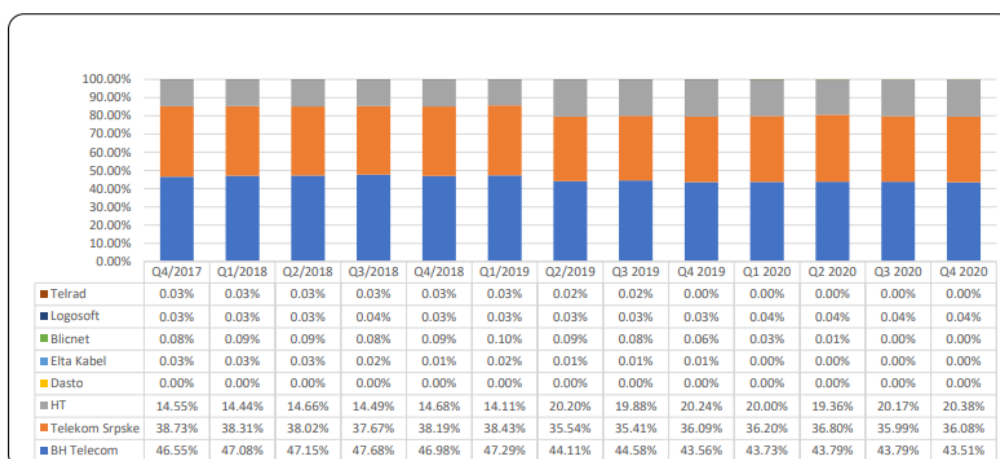
Slika broj 52. Kretanje broja pretplatnika širokopojasnog interneta u BiH (2016.-2020.)

Na slici broj 52. primjećujemo rast broja korisnika interneta u 2020.-oj u odnosu na 2019.-tu sa penetracijom 21,40% (što je 0,28% više u odnosu na 2019.-tu). Primjećujemo da je i kretanje od 2016.-te prema 2020.-oj bilo u usponu.

Pored kvalitete i cijene usluge, do pada broja korisnika svih TK usluga došlo je i zbog nespremnosti u ograničavanju sa mjerama državnih institucija (Federalni štab civilne zaštite, Krizni štab za vanredne situacije Republike Srpske, Štab za zaštitu i spašavanje Brčko distrikta BiH) u borbi protiv COVID-19, pri čemu je došlo do panike korisnika i ekonomisanja. Primjećuje se da je i u BiH kao i u svijetu Internet u porastu i u kriznim situacijama, jer naredbama državnih organa koristi se kao sredstvo onlajn poslovanja od kuće, zatim edukacijsko sredstvo za učenje na daljinu, i sredstvo za informisanje.



Slika broj 53. Tržišno učešće operatera - Fiksna telefonija (2018.-2020.)



Slika broj 54. Tržišno učešće operatera - Mobilna telefonija (2018.-2020.)

Na slikama su prikazani kvartalni uporedni podaci o tržišnom učešću operatera koji pružaju usluge fiksne telefonije (slika broj 53.) i usluge mobilne telefonije (slika broj 54.).

U BiH imamo otežan razvoj širokopojasnog pristupa, jer se razvoj mreža namijenjenih za pristup uslugama interneta velikih brzina u fiksnoj, mobilnoj i satelitskoj mreži prepušta na preduzimanje mjera samog operatera.

Trenutni problemi su:

- Neujednačeni uslovi za uspostavljanje mreža nove generacije;
- Izgradnjom operatorskih mreža, ne postoji svijest o značaju širokopojasnog pristupa za cjelokupno društvo i ekonomiju; i
- Otežano dobivanje dozvole za gradnju TK mreža, neujednačeni standardi gradnje i projektovanja, nemogućnost dijeljenja infrastrukture, kapaciteta i nedostatak bilo kakvih olakšica značajno usporavaju zamjenu zastarjelih i uspostavljanje novih mreža velikih brzina.

Izlaz iz svega navedenog je 5G orbitalna mreža koja će predstavljati ozbiljnu konkurenciju zemaljskim baznim servisima, jer takva mreža nema geografskih prepreka za dostupnost usluge.

Tabela broj 15. Vrijednost telekomunikacijskog tržišta u BiH (2010.-2020.) [57]

Godina	Vrijednost tržišta	Bruto domaći proizvod (BDP)	Udio telekomtržišta u BDP (%)
2010.	<i>1 265 120 000</i>	<i>25 346 000 000</i>	<i>4,99%</i>
2011.	<i>1 276 027 000</i>	<i>26 210 000 000</i>	<i>4,87%</i>
2012.	<i>1 403 456 000</i>	<i>26 193 000 000</i>	<i>5,36%</i>
2013.	<i>1 391 945 476</i>	<i>26 743 000 000</i>	<i>5,20%</i>
2014.	<i>1 394 495 504</i>	<i>27 304 000 000</i>	<i>5,11%</i>
2015.	<i>1 401 132 072</i>	<i>28 540 000 000</i>	<i>4,91%</i>
2016.	<i>1 391 015 000</i>	<i>29 279 000 000</i>	<i>4,75%</i>
2017.	<i>1 339 081 000</i>	<i>31 332 000 000</i>	<i>4,27%</i>
2018.	<i>1 266 234 859</i>	<i>33 444 000 000</i>	<i>3,79%</i>
2019.	<i>1 240 252 331</i>	<i>35 025 000 000</i>	<i>3,54%</i>
2020.	<i>1 240 877 266</i>	<i>35 092 831 000</i>	<i>3,54%</i>

U tabeli broj 15. imamo vrijednost tržišta i udio prihoda od TK usluga u BDP-u u periodu od 2010. do 2020.⁵⁸ Najveći ostvareni prihod u 2020.-oj je od usluge mobilne telefonije, cca 501.500.000,00 KM. Prihod od usluga fiksne telefonije je u padu u odnosu na prethodnu godinu i iznosi cca 274.000.000,00 KM. Prihod od usluga Interneta je otišao u minus oko pola miliona KM.

3.9.5. Efikasnost poslovnog rješenja telekomunikacijskog sistema

Osnovna važnost efikasnosti je za cjelokupnu nacionalnu privredu, za regiju u kojoj se industrijski poslovni sistem nalazi i za svakog pojedinca koji se u takvom sistemu nalazi i radi.

U savremenom društvu efikasnost u velikoj mjeri zavisi od uspješnih preduzetnika, a menadžment se u tržišnim uslovima rada i poslovanja tretira kao najvažniji faktor tog uspjeha.

Analizirajući zapadni sistem razvoja privrede, primjećuje se veliki uspjeh jer su prilagođeni vlasnički sistem i u njemu obrazovni sistem kroz koji se educiraju brojni menadžeri - kadrovi koji će sutra biti nosioci stvaranja viška kapitala, kao i razvoja uopšte.

Menadžeri moraju biti profesionalni u izvršavanju upravljačkih funkcija: planiranja, organizovanja, kadrovskog popunjavanja, vođenja i kontrole.

Svaka organizacija mora imati i svoje ciljeve, što znači da mora imati svoju strategiju razvoja.

Sa ekonomske tačke gledišta, efikasnost može biti sinonim za dobit po proizvodu, ali sa tehničke tačke gledišta može biti proizvedena količina ili postignuta kvaliteta.

⁵⁷ Regulatorna agencija za komunikacije BiH (RAK): <https://www.rak.ba>
(Ocjena stanja tržišta telekomunikacija u BiH)

⁵⁸ Bruto domaći proizvod (BDP) (eng. GDP (Gross Domestic Product)) predstavlja tržišnu vrijednost sve finalne robe i usluga proizvedenih u zemlji u određenom vremenskom periodu.

Ako bismo efikasnost (E_f) definisali relacijom sa idealnog aspekta, imali bismo sljedeće:

$$E_f = \frac{\textit{korisnost}}{\textit{ukupni naponi}} \quad (3.16)$$

U formuli primjećujemo da nam nije jasno kako da izmjerimo efikasnost (E_f), a i na šta se odnosi brojnik i nazivnik. Ono što je jasno da efikasnost (E_f) raste sa smanjenjem ukupnih napora, i/ili povećanjem korisnosti.

Ukupni naponi nisu samo smanjivanje troškova, ili utrošene količine opreme za ostvarivanje komunikacije TK usluge, tu su i mnogi umni naponi za uspješnost radne organizacije. To su uloženi naponi: savremenim proizvodima (uslugama), novim mobilnim tehnologijama, manjim utroškom rada, boljim plasmanom na tržištu, borbom za ugled radne organizacije, velikim naporima da se ispoštuju rokovi, naporima u traženju novije opreme, mnogim umnim naporima na unapređenju poslovanja, raznim ulaganjima, itd.

Korisnost treba shvatiti kao konačno olakšanje životnih uslova koji su već dovoljno dobri u odnosu na uslove u kojima i danas živi većina stanovništva. Korisnost je zavisna promenljiva, a nezavisna promenljiva je količina potrošenih dobara ili usluga. Funkcija korisnosti definiše nivo koristi ili zadovoljstva u zavisnosti od količine potrošnje dobara ili usluga (ona pretpostavlja poznavanje preferencija korisnika).

Poslovni sistem u TK sektoru ima nekoliko konstanti pri pokretanju novog posla, a to su:

- Neophodnost izrade sveobuhvatnog poslovnog plana;
- Dovoljan proračun za pokretanje posla;
- Registrovanje kompanije kod svoje države i porezne uprave; i
- Razumijevanje marketinških strategija za privlačenje potencijalnih korisnika u naše poslovanje.

Svi elementi (podsistemi) trebaju biti relativno uravnoteženi u pogledu efikasnosti, od najnižih nivoa rutinskih zadataka do strateškog odlučivanja (npr. Služba prodaje može biti efikasna, ali neefikasno ispoštivanje rokova; Razvoj novih mobilnih tehnologija efikasan, ali neefikasan marketing; itd.).

Ono što treba da zanima svaku radnu organizaciju je kako izvući više iz postojeće tehnologije, postojećeg kadra, sa postojećim asortimanom proizvoda, što je opšta težnja svakog proizvodnog i poslovnog sistema u svakom trenutku.

Analizirajući povećanje efikasnosti telekomunikacijske industrije radne organizacije, polazimo sa uslovima:

- da je TK tehnologija barem na zadovoljavajućem nivou,
- da objektivno postoji izvor nabavnog snadbijevanja,
- da je tržište zainteresirano za određeni proizvodni i uslužni program,
- da se proizvodi i usluge mogu prodati, i
- da se zanemari sitna modernizacija uređaja, kao i nabava ponekog uređaja ili sredstva od sitne investicijske potrebe.

Uzimajući u obzir ove uslove, razni umni naponi u bilo kojem polju aktivnosti za određenu radnu organizaciju povećat će efikasnost (E_f), što znači:

- bolje poznavanje tržišta,
- povećan plasman,

- smanjenje direktnih troškova,
- smanjenje opštih troškova,
- povećanje produktivnosti kroz razne intervencije na radnom mjestu,
- tačnost u vremenskom pružanju proizvoda i usluge,
- veća briga i naponi za kvalitetu,
- poboljšanje komunikacije s dobavljačima i kupcima,
- veća saradnja unutar radne organizacije po svim pitanjima i problemima,
- bolje poznavanje budućih potreba,
- bolja informisanost, itd.

Posmatrajući firme telekomunikacijske industrije u svijetu, imamo:

- Smanjivanje zaposlenosti čime se ostvariva brzo povećanje produktivnosti, bez obzira na veću potražnju TK usluga;
- U većini slučajeva radnici u telekomunikacijskoj industriji npr. 2008. su radili sedmično 40 sati. Oko 14% ih je u prosjeku radilo više od 50 sati;
- Od radnika se ponekad traži prekovremen rad, posebno u hitnim slučajevima (poplava, uragan, itd.), kako bi se obnovila mrežna komunikacija;
- Radnici za instalacije, održavanje i popravke rade na otvorenom i zatvorenom prostoru bez obzira na vremenske uslove. Rade na visokim mjestima, kao što su krovovi i telefonski stubovi. Na mjestima gdje su u neposrednoj blizini električni izvori, pa moraju poduzimati mjere predostrožnosti kako ne bi došlo do elektro udara. Potrebna im je i sigurnosna oprema prilikom ulaska u šahtove i testiranje na prisustvo plina;
- Menadžeri, administracija i operativci rade većinom u čistim uslovima;
- Korisnička služba, radi većinom u pozivnim centrima gdje se javljaju na pozive službi za korisnike; i
- Većina zaposlenih radi u gradovima koji imaju veliku koncentraciju industrijskih i poslovnih objekata.

Poslovi u telekomunikacijskoj industriji su vezani za: firme ICT tehnologija i obrade signala, firme telekomunikacijskih usluga (fiksna i mobilna telefonija, veleprodaja, prodaja uređaja, internet, poslovni korisnici, itd.); firme za upravljanje, održavanje i projektovanje TK sistema; firme za istraživanje i razvijanje TK tehnologija i mreža; itd.

Kompanije i organizacije moraju znati koje proizvode i usluge nude, kome ih nude i koje rezultate očekuju, a to je suština planiranja.

U procesu planiranja potrebno je uključiti određivanje budućih pravaca djelovanja, odnosno utvrđivanje zašto provesti određene radnje, kako ih poduzeti i kada i ko će ih poduzeti.

Primjer (kineska izreka o planiranju):

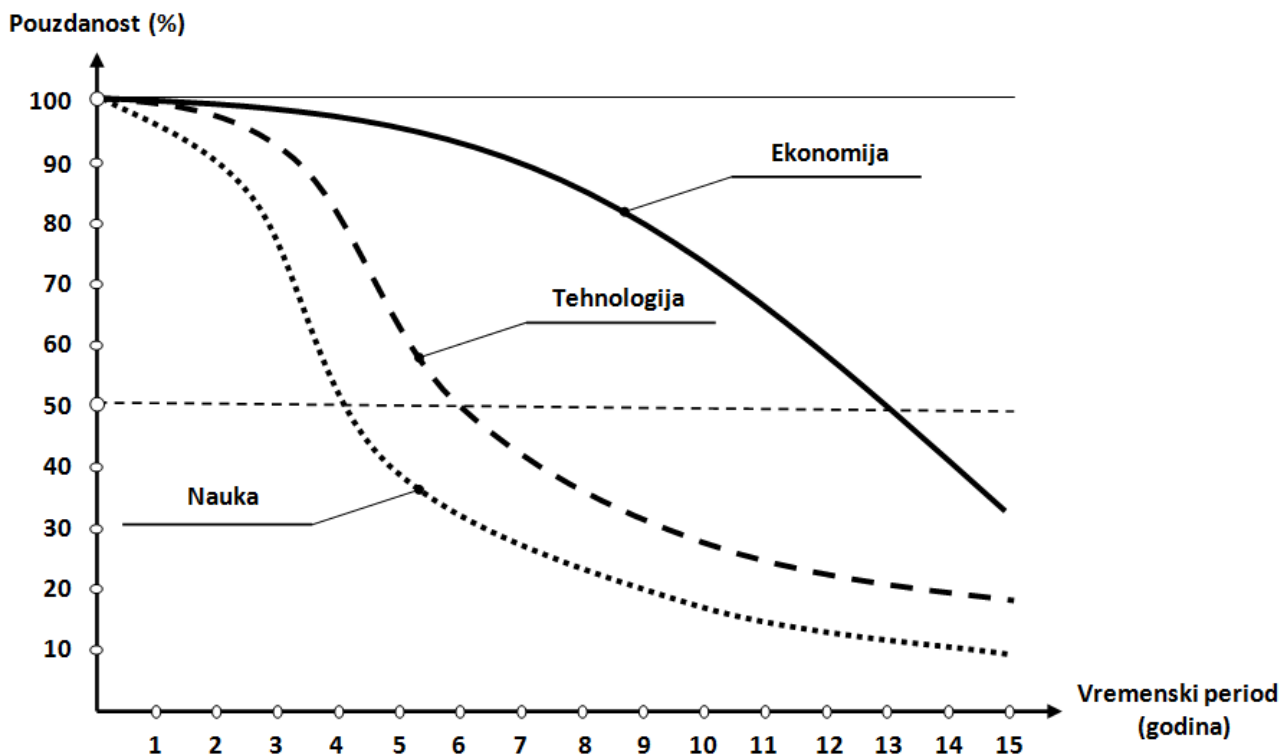
Ako planirate godinu, posadite kukuruz. Ako planirate deceniju, posadite drveće. Ako planirate za cijeli život, obrazujte ljude.

Imamo: Odluke stoga treba donositi na osnovu toga gdje se trenutno nalazite i kuda želite da idete. Treba da odlučite da li ste zadovoljni svojim stalnim "boravkom u polju kukuruza" ili želite se popeti na brdo i postići neki cilj o kojem sanjate. Drugim riječima, trebali biste razmotriti kratkoročne, srednjoročne ili dugoročne ciljeve.

Planiranjem predviđamo načine za postizanje željenih rezultata, ali ako aktivnosti nisu dobro isplanirane, vjerovatno će biti potrebe za hitnom akcijom, snalažljivošću i žurbom, što doprinosi stresu, gubitku resursa i greškama.

Efikasna organizacija mora da predvidi budućnost, kako bi spriječila pojavu neprijatnih događaja, a samim tim uticala na buduće događaje, odnosno blagovremeno poduzela potrebne radnje kako bi štetni događaji imali što manji ili nikakav uticaj na proizvodni sistem (spriječiti iznenađenja, smanjiti nesigurnost i ograničiti postojeću dezorijentaciju).

Predviđanja na kraći vremenski period (npr. od 1 do 3 godine) lakše je provesti i formirati u većini slučajeva. Problemi nastaju kada se rade predviđanja na više godina, a za strateški plan razvoja (od 5 do 10 godina) vjerovatnoća je mala (gotovo nemoguća) i analizirajući bilo koji aspekt (ekonomski, tehnološki, naučni) primjetit ćemo da će planirano biti prevaziđeno, jer dolaze nove TK tehnologije koje su ekonomski i naučno opravdane (primjer je slika broj 55.).



Slika broj 55. Pouzdanost predviđanja

Na slici broj 55. imamo: pouzdanost tehnoloških prognoza $p=0,5$ (50%) kod vremenskog perioda za 6 godina. Kod $p=0,3$ (30%) je predviđanje za period od 10 godina. Pouzdanost predviđanja sa slike analizira se pomoću metode Delfi, a krivulje su dobivene u firmi Messerschmitt-Bölkow-Blohm GmbH (MBB).⁵⁹

Dvije su vrste budućih događaja, koji imaju bitnu ulogu u proizvodnom sistemu:

- događaji koji će se dogoditi samo ako nešto preduzmemo, i
- događaji koji će se dogoditi ako ne preduzmemo ništa i budu štetni za naš proizvodni i poslovni sistem.

⁵⁹ Messerschmitt-Bölkow-Blohm GmbH (MBB) je poznati njemački koncern (koncern: nastaju spajanjem nekoliko kompanija ili firmi, obično iste industrije), proizvođač aviona, helikoptera, raketa i druge vojne i satelitske opreme. Nakon mnogih spajanja i preuzimanja, postao je dio DASA (Daimler Chrysler Aerospace AG). Rezultat razvoja MBB grupe kroz istoriju je pojava nekoliko različitih kompanija kao što su MBB Liftsysteme, MBB Projects, MBB Gelma, MBB Industries i dr. Danas većina kompanija MBB saraduje ili je dio EADS-a (Evropske vazduhoplovne odbrambene i svemirske kompanije).

4. Pasivna optička mreža nove generacije NG-PON2

Optički pristup se može ostvariti pomoću optičkih niti i bežično. U konceptu FTTx imamo pristup pomoću optičkih niti: optičke niti do stana (Fiber To The Home, FTTH), optičke niti do zgrade (Fiber to the Building, FTTB), optičke niti do pločnika (Fiber To The Curb, FTTC ili Fiber To The Kerb, FTTK) i optičke niti do kabineta (Fiber to the Cabinet, FTTCab).

Optičke niti FTTH se definišu kao arhitektura pristupne mreže u kojoj je krajnji priključak do prostorije korisnika izveden optičkim vlaknom. Optičko vlakno je terminirano na/u kući (K), poslovnom prostoru (PP) ili stanu (S) (prostoriji) u svrhu povezivanja samo jednog "pretplatnika".

Sistem FTTH koriste pasivne optičke mreže (Passive Optical Networks, PON), prenoseći na taj način signal sa centrale na više korisnika pomoću optičkog razdjelnika odnosa 1:N smeštenog u pasivnom uredu, a zatim ide sve do mrežnog interfejsa smještenog izvan kuće (pasivni optički razdjelnik (passive optical splitter) dijeli vlakno na više korisnika 1:16, 1:32, 1:64 pa i do 1:128).

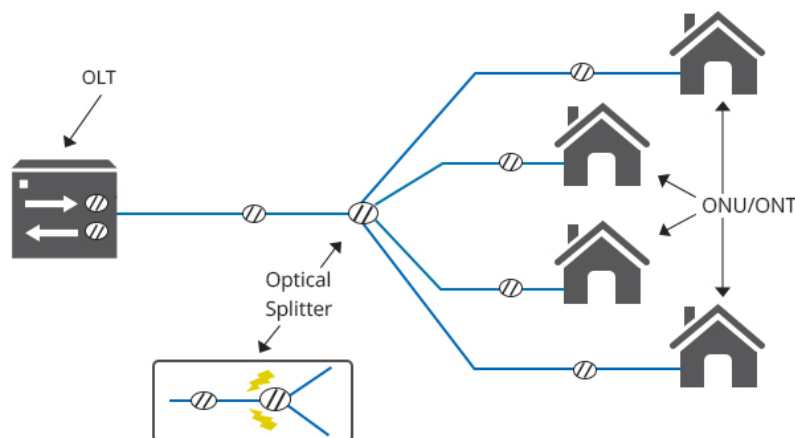
4.1. Karakteristike pasivnih optičkih mreža

Nivo pristupa u mrežama mnogih telekom operatera se značajno promijenio jer su aktivne mreže sa pristupnim prekidačima zamijenjene sa pasivnim optičkim mrežama (PON).

Mrežno stablo sada se može graditi bez upotrebe skupih prekidača - zamijenjeni su optičkim razdjelnicima. Ovo je pojednostavilo: postavljanje opreme i upravljanje mrežom. Sada je optička infrastruktura nivoa pristupa jedna optička mreža sa nultom potrošnjom energije - aktivna oprema se instalira samo na krajnjim tačkama. Regeneratori za PON su izuzetak, ali se danas rijetko koriste.

Pasivna optička mreža (PON) se tumači na način da je to optička mreža koju čine neaktivne komponente u svim fazama između ishodišta (lokalna centrala) i krajnje tačke (pretplatnici ili kupci).

Pasivna optička mreža (PON) se sastoji od terminala optičke linije (Optical Line Terminal, OLT) u centralnom uredu, jedinice optičke mreže (Optical Network Unit, ONU) ili terminala optičke mreže (Optical Network Terminal, ONT) na korisničkoj strani i pasivnog optičkog razdjelnika (passive optical splitter) koji omogućava da se jedan PON interfejs dijeli sa mnogim pretplatnicima (slika broj 56.).



Slika broj 56. Arhitektura PON mreže

Optički razdjelnik je komponenta sa najvećim slabljenjem u PON sistemu. Popularne su dvije vrste optičkih razdjelnika: FBT (Fused Biconical Taper) i PLC (Planar Lightwave Circuit). Najčešći razdjelnici raspoređeni u PON sistemu su ujednačeni razdjelnici snage sa omjerom razdjelnika 1: N ili 2: N, gdje je N broj izlaznih portova. Optička ulazna snaga je ravnomjerno raspoređena po svim izlaznim portovima.

Gubitak optičkog umetanja (optical insertion loss) je gubitak optičkog signala koji je rezultat umetanja komponente kao što je konektor ili spojnica u sistemu optičkih vlakana. Testiranje gubitaka u umetanju optičkog razdjelnika je veoma važno da bi se obezbijedila usklađenost sa optičkim parametrima proizvedenog razdjelnika u skladu sa specifikacijom GR-1209 CORE. Gubitak signala unutar sistema se izražava korištenjem decibela (dB) koji je mjera slabljenja snage signala (tabela broj 16.).

Tabela broj 16. Tipični gubici za razdjelnike

Omjer razdjelnika (Splitter Ratio)	Idealan gubitak / port (Ideal Loss / Port) [dB]	Višak gubitka (Excess Loss) [dB, max]	Tipični gubitak (Typical Loss) (dB)
1:2 fiber splitter	3	1	4
1:4 fiber optic splitter	6	1	7
1:8 optical splitter	9	2	11
1:16 optic fiber splitter	12	3	15
1:32 optic splitter	15	4	19

- Višak gubitka (Excess Loss) je odnos optičke snage pokrenute na ulaznom portu razdjelnika i ukupne optičke snage mjerene sa svih izlaznih portova. Osigurava da ukupni izlaz nikada nije tako visok kao ulaz.
- Gubitak umetanja (Insertion loss) je odnos optičke snage pokrenute na datom ulaznom portu razdjelnika prema optičkoj snazi bilo kojeg izlaznog porta.
- Maksimalni dozvoljeni gubitak umetanja za optički razdjelnik koji se koristi u PON sistemu može se odrediti korištenjem proračuna:
 - 1:N optički razdjelnik => $0,8 + 3,4 \log_2 N$ (N-broj izlaznih portova)
 - 2:N optički razdjelnik => $1,0 + 3,4 \log_2 N$ (N-broj izlaznih portova)

Razlika između pasivne i aktivne mreže je u tome što: pasivna mreža - ne koristi električno opremljenu opremu ili komponente za prijem signala sa jednog mjesta na drugo, a aktivna mreža - koristi električnu opremu ili komponente za usmjeravanje signala sa jednog mjesta na drugo.

"Point-to-Multipoint" (P2MP, PTMP ili PMP) je jedna od zasebnih karakteristika koje pasivna optička mreža posjeduje, što znači da se jedno optičko vlakno koristi za opsluživanje više krajnjih tačaka. P2MP pružaju niže troškove po korisniku dijeljenjem ukupnih troškova optičkih vlakana i opreme s većim brojem korisnika. Pasivna optička mreža ne mora da osigura pojedinačna vlakna između čvorišta i kupca, što u velikoj mjeri smanjuje količinu vlakana i opreme za centralni ured (Central Office, CO) u poređenju sa Point-to-Point (PtP ili P2P) arhitekturom (u PtP arhitekturi je svaki korisnik povezan zasebnim optičkim vlaknom s komutacionim centrom).

Upotreba PON sistema je tamo gdje korisnik traži veće brzine i gdje je otežano snabdijevanje energijom na udaljenoj lokaciji. Sistemi su korisni zbog osiguranja kvaliteta usluge za male i srednje poslovne korisnike na tržištu.

Prednosti PON mreža su:

- Ekonomičnost - uštede na količini optičkog kabela i jednostavnosti topologije;
- Pouzdanost - velika zbog cjelokupne pasivne strukture; i
- Skalabilnost - magistrala je mehanički tanka zbog multipleksiranja.

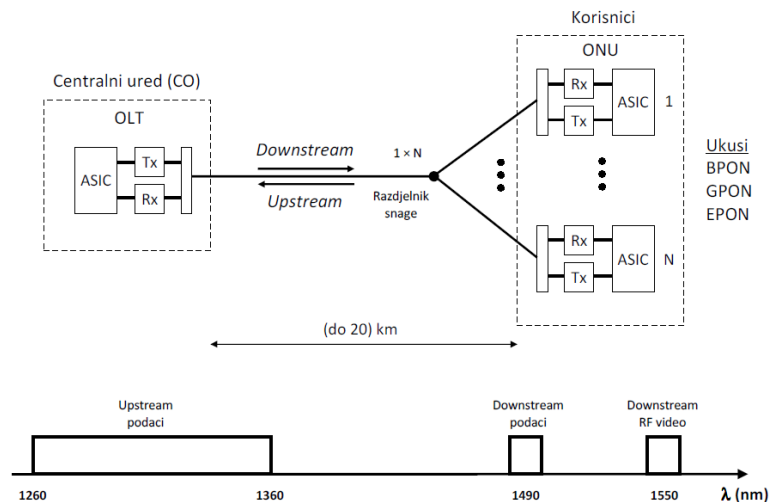
Mane PON mreža su ograničen promet i ograničen prenosni pojas.

Arhitektura PON postaje sve popularnija zbog svoje efikasnosti i isplativosti u poređenju sa bakarnim mrežama. Koristi se za simultani prenos signala u uzvodnom (*upstream*) i nizvodnom (*downstream*) pravcu do i od krajnjih tačaka korisnika.

4.2. Vrste pasivnih optičkih mreža

Pasivne optičke mreže (PON) možemo podijeliti na: Širokopojasni PON (Broadband PON, BPON), Gigabitni PON (Gigabit PON, GPON) i Ethernet PON (EPON). Svi PON standardi su razvijeni za implementaciju na fizičkoj topologiji stabla.

Tehnologije su zasnovane na TDM (Time Division Multiplex) načinu multipleksiranja (Time Division Multiplex Passive Optical Network, TDM-PON). TDM-PON je arhitektura za optičke pristupne sisteme koju preferiraju mnogi mrežni operateri, zbog manjih operativnih i kapitalnih troškova i pruža mnogo visok propusni opseg za aplikacije podataka, ali ima ograničenu dostupnost krajnjim korisnicima (slika broj 57.).



Slika broj 57. TDM-PON

U nastavku ćemo reći osnovno o BPON / GPON / EPON tehnologijama (kapacitet podataka, broj krajnjih korisnika, podržani protokol, i dr.), što će biti uvod u našu analizu evolucijskog puta zbog brzih PON rješenja (GPON, NG-PON1 (XG-PON) i NG-PON2) jer imaju bitnu ulogu u velikim postavkama za više korisnika (stanara) ili poslovnih klijenata i kao dio bežičnih 5G mreža.

4.2.1. BPON

Širokopojasni PON (BPON) je poboljšana verzija APON-a ("A" je skraćenica od "ATM" (Asynchronous Transfer Mode))⁶⁰. On ima za cilj da se standardizuju neki dodatni širokopojasni servisi putem optičkih mreža, koji prethodno nisu bili obuhvaćeni APON standardom (Ethernet pristup, video distribucija, iznajmljene linije velike brzine, i dr.). Standardi koji su danas međusobno konkurentni za dominantan položaj na tržištu FTTH su: Gigabit PON (GPON) i Ethernet PON (EPON).

⁶⁰ APON je prvi PON koji je postigao značajnu komercijalnu primjenu električnim slojem izgrađenim na ATM-u.

Tabela broj 17. Specifikacija BPON tehnologije

Tehnologija	BPON	
Standard (godina)	<i>ITU-T G.983.x (od 1998.)</i>	
Kapacitet podataka (binarni protok) [Mbit/s]	Downstream	<i>155, 622 ili 1244</i>
	Upstream	<i>155 ii 622</i>
Korisnika PON	32	
Binarni protok po korisniku [Mbit/s]	20	
Maksimalan domet [km]	20	
Jedinica za prenos podataka	<i>ATM ćelija</i>	
Podržani protokol (servisi)	<i>Multiservis (Ethernet, TDM, POTS)</i>	
Procijenjeni troškovi	<i>Mali</i>	

4.2.2. GPON

Gigabitni PON (GPON) se temelji na ITU-T standardu za nove generacije širokopojasnog pasivnog optičkog pristupa. Kao tehnološki standard za mobilnog operatera, GPON također nudi zaštitni mehanizam na nivou pristupne mreže i potpune OAM funkcije, koji je široko primijenjen u FTTH mrežama.⁶¹

Osnovna karakteristika GPON-a je primjena metode enkapsulacije GEM (GPON Encapsulated Method), koja omogućava efikasno pakovanje korisničkih podataka u ramove promjenljivih dužina. Mreža GPON također može podržati protokole sa više izvora i prilagoditi se standardima Ethernet, TDM i ATM, da bi pružila tradicionalne poslovne usluge, kao što su glasovne i zakupne linije zasnovane na TDM-u, bez promjene korisničke opreme.

Osnovne karakteristike standardizovane GPON tehnologije prikazane su u tabeli broj 18.

Tabela broj 18. Specifikacija GPON tehnologije

Tehnologija	GPON	
Standard (godina)	<i>ITU-T G.984.x (2003.)</i>	
Kapacitet podataka (binarni protok) [Mbit/s]	Downstream	<i>1244 ili 2488</i>
	Upstream	<i>155, 622, 1244, 2488</i>
Korisnika PON	64	
Binarni protok po korisniku [Mbit/s]	40	
Maksimalan domet [km]	20	
Jedinica za prenos podataka	<i>GEM ram</i>	
Podržani protokol (servisi)	<i>Multiservis (Ethernet, TDM, POTS)</i>	
Procijenjeni troškovi	<i>Srednji</i>	

⁶¹ Operacije, administracija i upravljanje ili operacije, administracija i održavanje - Operations, administration and management ili Operations, administration and maintenance (OA&M ili OAM) su procesi, aktivnosti, alati i standardi koji su povezani s radom, upravljanjem, upravljanjem i održavanjem bilo kojeg sistema. To se obično odnosi na telekomunikacije, računarske mreže, i računarski hardver.

4.2.3. EPON

Ethernet PON (EPON) prihvata Ethernet pakete umjesto ATM ćelija i razvijen je za besprijekornu kompatibilnost sa Ethernet uređajima. Na osnovu standarda IEEE 802.3, EPON-u nisu potrebni dodatni protokoli enkapsulacije ili konverzije za povezivanje sa mrežama zasnovanim na Ethernet-u, primjenjujući i *upstream* i *downstream* uputstva za prenos podataka.

On nije tako efikasan kao GPON u smislu upravljanja propusnim opsegom i osiguravanja Quality of Service (QoS), ali je ekonomičniji.

Ethernet pasivna optička mreža (EPON) kombinuje prednosti pasivne optičke mreže (PON) i Ethernet tehnologije: niska cijena, velika propusnost, jaka skalabilnost, fleksibilna i brza reorganizacija usluga i kompatibilnost sa postojećom Ethernet kompatibilnošću, itd.

Osnovne karakteristike standardizovane EPON tehnologije prikazane su u tabeli broj 19.

Tabela broj 19. Specifikacija EPON tehnologije

Tehnologija	EPON	
Standard (godina)	<i>IEEE 802.3ah (2004.)</i>	
Kapacitet podataka (binarni protok) [Mbit/s]	Downstream	<i>1000</i>
	Upstream	<i>1000</i>
Korisnika PON	<i>16</i>	
Binarni protok po korisniku [Mbit/s]	<i>60</i>	
Maksimalan domet [km]	<i>20</i>	
Jedinica za prenos podataka	<i>Ethernet ram</i>	
Podržani protokol (servisi)	<i>Ethernet servisi</i>	
Procijenjeni troškovi	<i>Najmanji</i>	

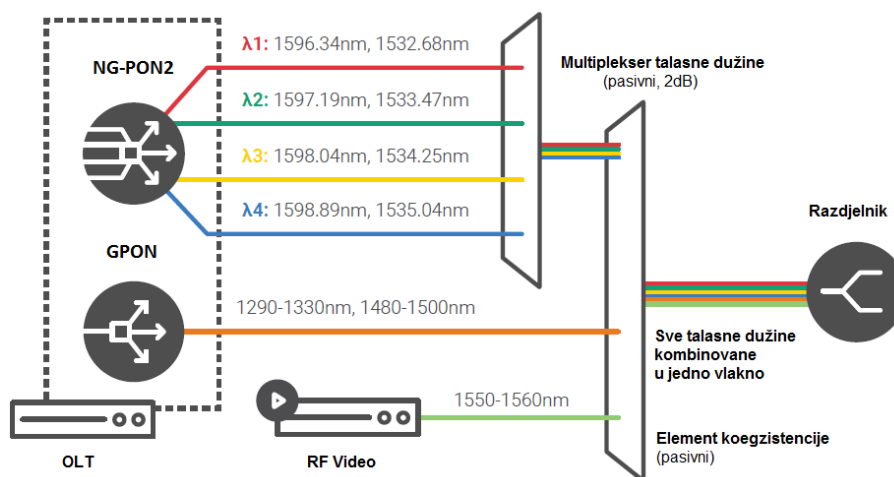
Svaki PON standard prenosa koristi svoj opseg talasnih dužina. Kako se razvijaju, pokušavaju da održe "retro" kompatibilnost sa prethodnim standardima koristeći talasne dužine koje se nisu koristile u prethodnim standardima.

4.3. Evolucijski put od GPON do NG-PON2

U svijetu se pasivne optičke mreže smatraju dobro uspostavljenim optičkim sistemima za pristup javnim mrežama. Procjenjuje se da pasivne optičke distributivne mreže imaju vijek trajanja nekoliko decenija (≈ 50 godina), dok aktivna oprema na strani centrale i na strani kupaca ima kraći vijek trajanja (jedna, maksimalno dvije decenije). Za maksimalno iskorištenje optičke distributivne infrastrukture važno je nadograditi sisteme na postojećoj mreži.

Prilikom prelaska s GPON-a na NG-PON2, potrebno je uložiti dvije osnovne investicije:

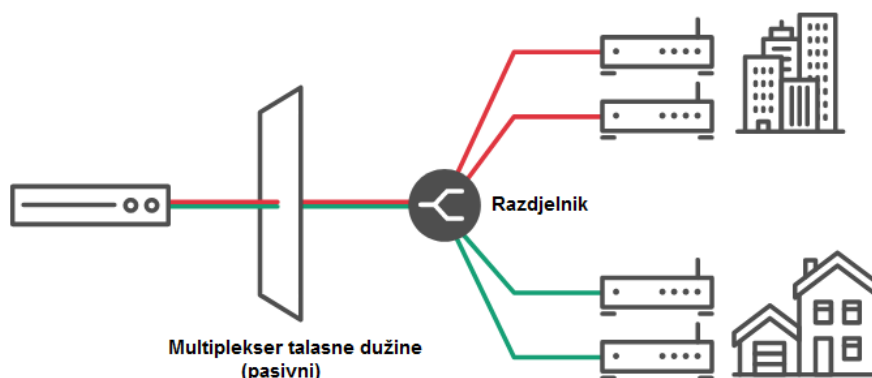
- Novi ONU-ovi sa prilagodljivim laserima (koji se mogu programirati na različite kanale ili talasne dužine), filteri i prijemnici su potrebni da podržavaju usklađene planove talasnih dužina. Neki postojeći ONU-ovi već su opremljeni podesivim laserima, kao i filterima koji omogućavaju koegzistenciju GPON-a i NG-PON2 (slika broj 58.).
- Nove OLT linije kartica su potrebne za podršku usklađenim planovima talasnih dužina (kao kod ONU-a). U nekim su slučajevima potrebni i novi OLT-ovi kako bi se osigurala neblokirajuća podrška NG-PON2 i omogućila željena gustoća u centralnom uredu (CO).



Slika broj 58. Koegzistencija GPON sa NG-PON2 [62]

Upravljanje kapacitetom na zahtjev omogućava (slika broj 59.):

- preraspodjelu talasnih dužina, bez uticaja na postojeće usluge, i
- nove mogućnosti pružanja usluga i poboljšanja balansiranja opterećenja.



Slika broj 59. Upravljanje kapacitetom na zahtjev

Na svjetskom tržištu 2004.-te GPON ima glavnu ulogu kao mrežna infrastruktura najveće brzine, najdužeg vijeka trajanja i najjeftinija mreža dostupna na tržištu. Tehnologija ima široku primjenu kod potrošača sa svojom funkcionalnošću i karakteristikama.

Kako je tehnologija prilagođena korisniku i jednostavna za upotrebu, budući korisnik je morao da uzme u obzir jednu stvar iz prakse, a to je da je modem postavljen u blizini rupe kroz koju je stegnuto optičko vlakno, što smanjuje dužinu linije (potrebno je osigurati prisustvo 220 V utičnice pored instalacije optičkog terminala). Preporuka ITU-T G.984.1 opisuje fleksibilnu pristupnu mrežu optičkih vlakana sposobnu da podrži propusni opseg poslovnih i stambenih usluga i pokriva sisteme sa nominalnim brzinama od 2,4 Gbit/s u *downstream* smjeru, i 1,2 Gbit/s (češće, mreža radi u asimetričnom režimu) ili 2,4 Gbit/s (rijetko, mreža radi u simetričnom režimu) u *upstream* smjeru. Praktično, GPON kapacitet dostiže (zaokruženo) do 2,5 Gbit/s.

⁶² Calix: Next-Generation PON: Eliminating physical constraints from the access network, 2017.

NG-PON1 je PON sistem sa nominalnim ukupnim kapacitetom od 10 Gbit/s u *downstream* smjeru. NG-PON1 sistem predstavlja XG-PON (10-Gigabit Passive Optical Network (ITU-T G.987 serije)).⁶³

U 2010.-toj imamo NG-PON1 (preporuka ITU-T G.987.1), standardizovanu 10 Gigabitnu PON tehnologiju. Kompatibilan je s naslijeđenim GPON optičkim distributivnim mrežama.

XG-PON1 (10-Gigabit-capable Passive Optical Network, 10G-PON), koji je poboljšan TDM-PON sistemom iz GPON-a, ima asimetrični 10 Gigabitni sistem sa brzinom prenosa od 10 Gbit/s u *downstream* smjeru i 2,5 Gbit/s u *upstream* smjeru. Sistemi zasnovani na XG-PON1 imaju koristi od proširenja koja objedinjuju mogućnost potpunog pristupa optičkim vlaknima.

Srodna tehnologija (simetrični 10 Gigabitni sistem) koja može isporučiti brzine prenosa u *downstream* smjeru i *upstream* smjeru do 10 Gbit/s je XGS-PON (preporuka ITU-T G.9807.1, odobrenje: 2016.). Kod XGS-PON (XG-PON2, Simetrični 10G-PON) se zahtijevaju kvalitetniji i savremeniji (skuplji) burst-mode laseri na terminalima optičke mreže za postizanje *upstream* brzine prenosa. Laserski burst-metod rada je svestran i koristan alat za ispitivanje turbulentnih protoka velike brzine.

NG-PON2 je PON sistem sa nominalnim ukupnim kapacitetom od 40 Gbit/s u *downstream* smjeru i 10 Gbit/s u *upstream* smjeru, te implementirajući skup protokola određenih u preporukama ITU-T G.989 serije. NG-PON2 sistem se sastoji od skupa TWDM kanala i/ili od PtP WDM kanala.

NG-PON2 (preporuka ITU-T G.989, odobrenje: 2015.) je kompatibilan sa postojećim PON vlaknima zamjenom terminala optičke linije (OLT) u centralnom uredu i jedinice optičke mreže (ONU) blizu svakog krajnjeg korisnika. Jedinstveno za ovaj standard je korištenje aktivnih filtera i prilagodljivih lasera u jedinici optičke mreže.

Ideja za NG-PON2 je da uključi povratnu kompatibilnost ili koegzistenciju sa prethodnim arhitekturama. Talasne dužine su posebno odabrane kako bi se izbjegle smetnje u mjerenjima GPON, 10G-PON, RF Video i OTDR.⁶⁴ U praksi su ga uspješno prihvatili neki od najvećih pružatelja usluga kao što su: Verizon u SAD-u (američki operater bežične mreže), CityFiber u Velikoj Britaniji (pružatelj TK usluga u Londonu, Engleska), Northpower Fiber u Novom Zelandu (pružatelj širokopojasnih usluga) i Pilot Manhattan Njujork u SAD-u (pružatelj internet usluga).

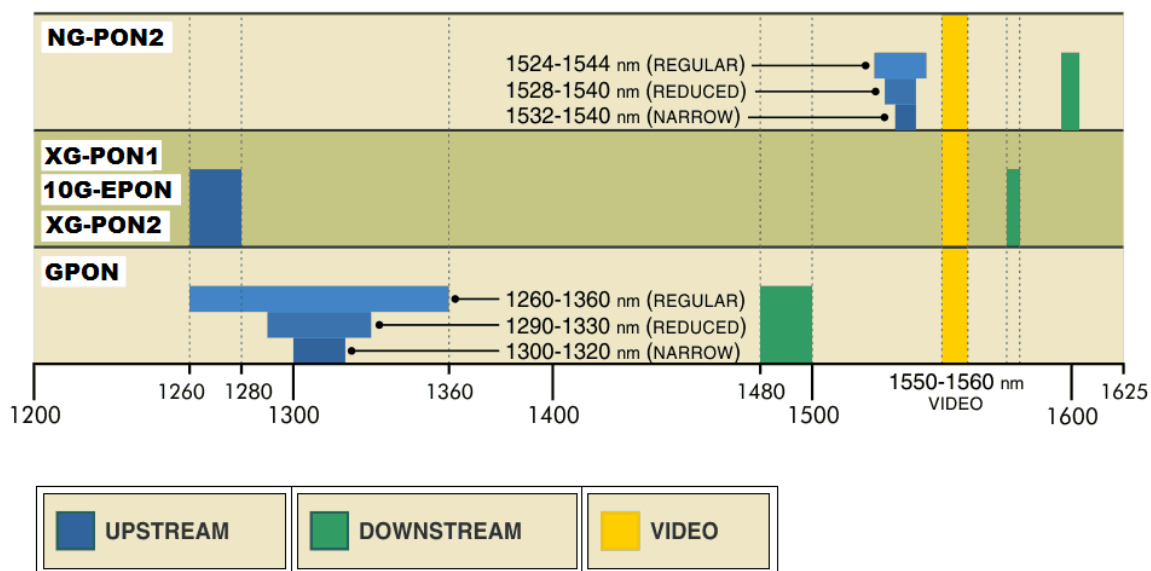
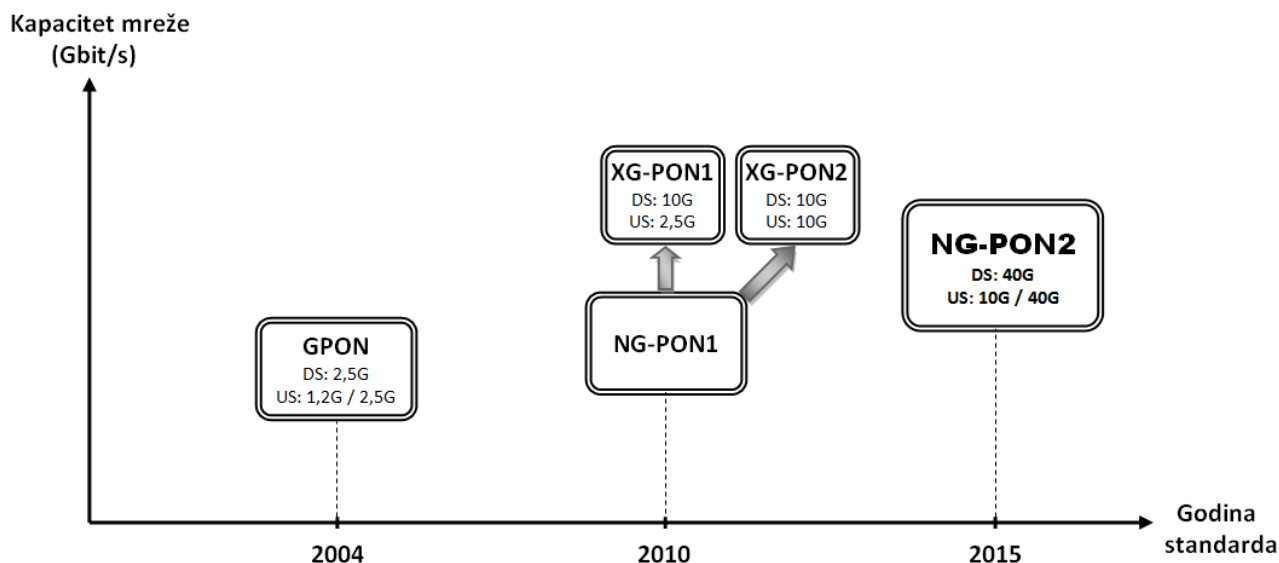
Tabela broj 20. Evolucija osnovnih standarda za optički pristup

	GPON	XG-PON1	XG-PON2	NG-PON2
Upstream (govor/podaci) [nm]	1260-1360	1260-1280	1260-1280	1524-1544 1525-1540 1532-1540
Downstream (govor/podaci) [nm]	1480-1500	1575-1580	1575-1580	1596-1603
Video [nm]	1530-1565	1530-1565	-	-

⁶³ ITU-T: 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): Definitions, abbreviations and acronyms, 2016.

⁶⁴ Optički reflektor s vremenskom domenom (Optical Time Domain Reflectometer, OTDR) je optoelektronski instrument koji se koristi za karakterizaciju optičkog vlakna.

U tabeli broj 20. i na slici broj 60. prikazane su karakteristike tehnologija od GPON do NG-PON2.

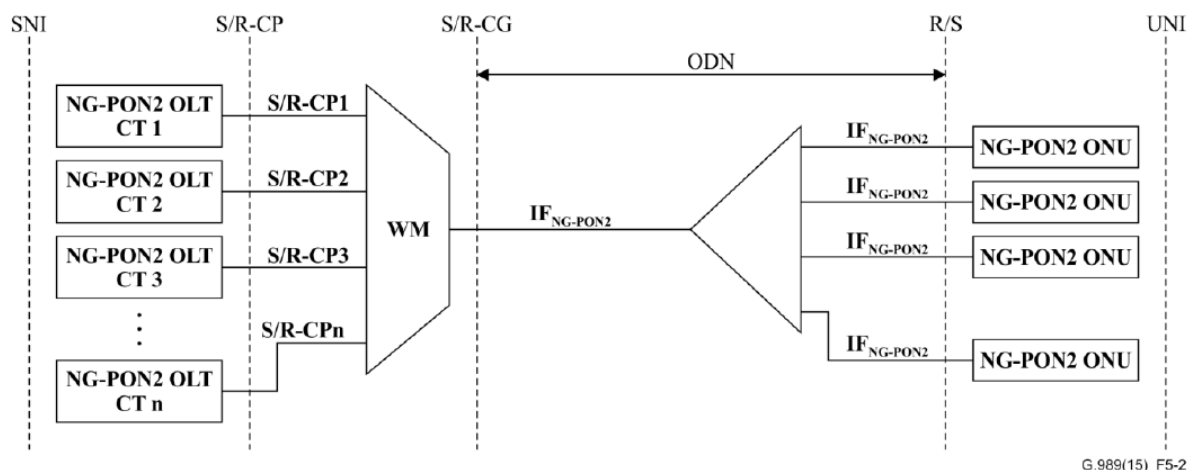


*10G-EPON: tehnologija se ne razlikuje mnogo od EPON-a. Koriste se isti alati. 10G-EPON podržava simetrični (10G / 10G) i asimetrični (10G / 1G) prenos podataka na dvije talasne dužine.

Slika broj 60. Razvoj standarda mrežne infrastrukture od GPON do NG-PON2

Zajednički talasni opseg (1260 do 1280) nm dijele GPON, XG-PON1 i XG-PON2. To je zato što je GPON rezervisao ovaj frekvencijski opseg, a nije bio u mogućnosti da ga koristi. To može biti korisno za XG-PON1 i XG-PON2 od ove male neiskorištene propusnosti.

U sistemu pasivne optičke mreže sa više talasnih dužina, kao što je pasivna optička mreža nove generacije 2 (NG-PON2), terminal optičke linije (OLT) konceptualno je sastavljen od više završetaka OLT kanala - Channel Terminations (CT) povezanih preko multipleksera talasnih dužina (Wavelength Multiplexer, WM). Povezana referentna logička arhitektura i njene referentne tačke predstavljeni su na slici broj 61.



CG - channel group (grupa kanala) CT - channel termination (završetak kanala)
 CP - channel pair (par kanala) WM - wavelength mux (multiplexer talasnih dužina)

Slika broj 61. NG-PON2 referentna logička arhitektura

Standard NG-PON2 će ponuditi jasniji put do većih kapaciteta, pri čemu će zadovoljiti potrebe TK operatera.

4.4. Osnovne karakteristike NG-PON2

Srednjoročne nadogradnje u PON mrežama definisane su kao NG-PON1, dok je NG-PON2 dugoročno rješenje u evoluciji PON-a koje se može primijeniti preko novih ODN-ova (Optical Distribution Network), nezavisno od GPON standarda.

4.4.1. Mobilnost talasne dužine (Wavelength Mobility)

Mobilnost talasnih dužina omogućava pružateljima usluga da kreiraju pravila koja definišu kako ONT-ovi mogu da prelaze između završetka kanala u svrhu održavanja u PON mreži.

Mobilnost talasnih dužina omogućava:

- ONU-ima da vide sve talasne dužine na ODN-u, i
- mogućnost korištenja podesive optike (rekonfigurabilna optika) u ONT-u za podešavanje bilo koje od dostupnih talasnih dužina.

4.4.2. Vezivanje kanala (Channel Bonding)

Vezivanje kanala pruža mogućnost korištenja više talasnih dužina podržanih na ODN-u za proširenje ONU propusnosti.

4.4.3. Konvergencija usluge (Service Convergence)

Koristeći više talasnih dužina, NG-PON2 pruža pružateljima usluga mogućnost da podrže konvergenciju usluga postavljanjem svih svojih usluga na zajednički ODN.

Ovim se pružateljima usluga omogućava:

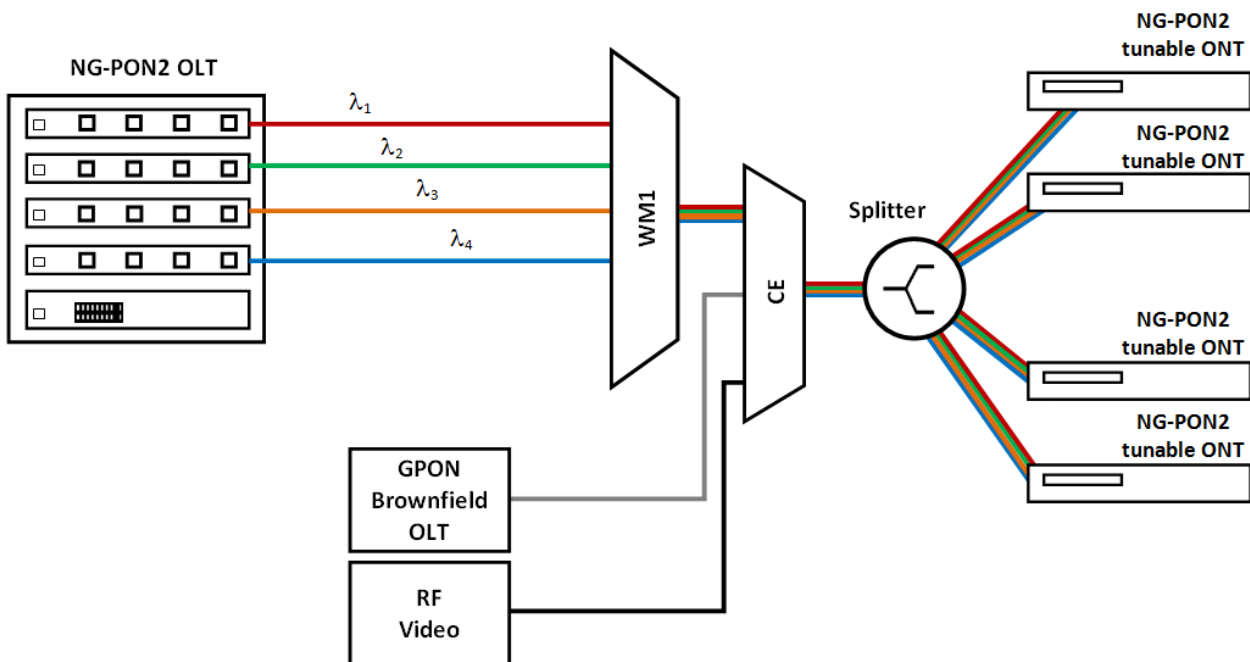
- razdvajanje mobilne, komercijalne i potrošačke usluge na različite talasne dužine, istovremeno ih isporučujući različitim OLT-ovima, i
- smanjivanje troškova održavanja i operativnih troškova održavanjem vlakana ili WDM komponenti za određene usluge.

4.5. Tehničko-tehnološki elementi NG-PON2

Tehnologija NG-PON2 pruža mogućnosti da pružatelji usluga korisnicima pružaju realno mrežno iskustvo. Njen cilj je nadmašiti tehnologije u smislu ODN kompatibilnosti, propusnosti, kapaciteta i isplativosti.

Standard NG-PON2 omogućava konvergenciju više uslužnih mreža na jedan ODN. Rezultat ovoga je značajno smanjenje ukupnih troškova vlasništva (Total Cost of Ownership, TCO), dok istovremeno se omogućava uvođenje novih efikasnih arhitektura koje su duboko prilagođene novim potrebama pretplatnika.

NG-PON2 koristi multipleksiranje sa podjelom vremena i talasnih dužina i podržava minimalno jednu talasnu dužinu, koja može narasti do 4 talasne dužine ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$) ili 8 talasnih dužina (u budućnosti) po modelu plaćanja po rastu na svakom vlaknu (pay-as-you grow model). Svaka talasna dužina unutar jednog vlakna može da obezbijedi simetričnu brzinu od 10 Gbit/s (*upstream* i *downstream*), što omogućava protok od 40 Gbit/s na optičkoj vezi. Standard dozvoljava maksimalno osam talasnih dužina, što omogućava NG-PON2 da obezbijedi brzine do 80 Gbit/s.



Slika broj 62. Glavni gradivni elementi (blokovi) NG-PON2 [65]

⁶⁵ BBF-Broadband Forum: The Future of Passive Optical Networking Here NG-PON2, 2018.

Na slici broj 62. prikazan je NG-PON2 blok dijagram koji uključuje:

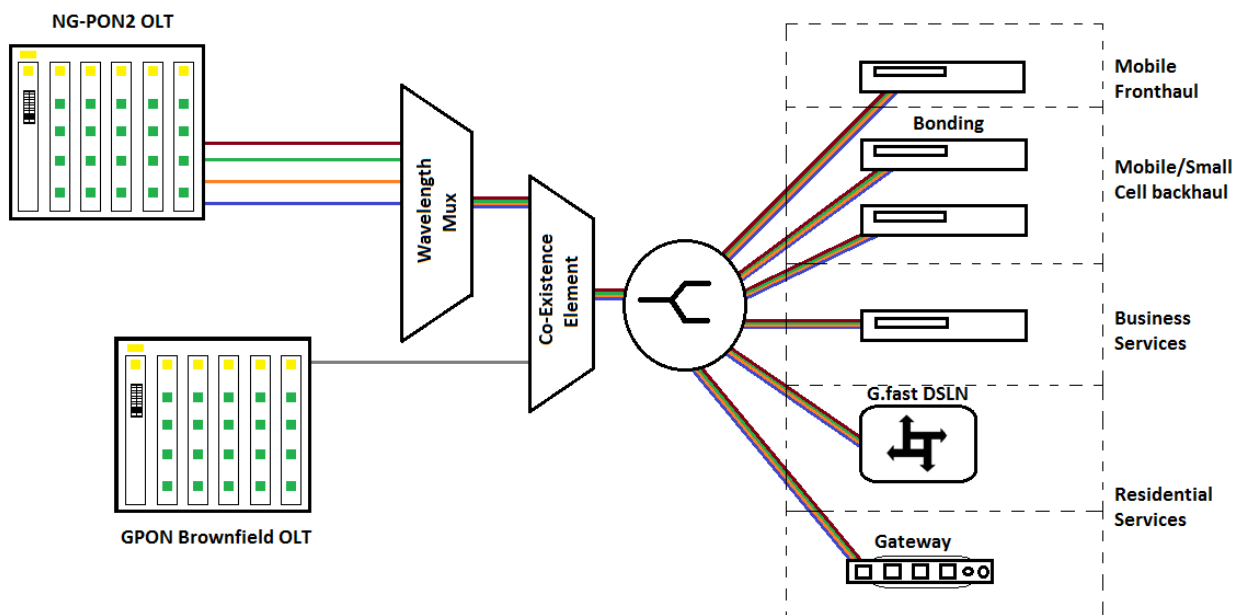
- Optical Line Terminals (OLT)
OLT linijske kartice podržavaju kompatibilne planove talasnih dužina. Linijske kartice pružaju priključne primopredajnike specifične za lambda ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$).
- Optical Networking Units (ONU)
ONU-ovi sa podesivim laserima, filterima i prijemnicima su za podršku kompatibilnim planovima talasnih dužina, omogućavajući mobilnost talasnih dužina.
- Wavelength Multiplexer 1 (WM1)
Muplekser talasnih dužina je pasivni MUX uređaj sa talasnim dužinama koji kombinuje 4 talasne dužine NG-PON2 na jedno vlakno (sa budućom podrškom za 8 talasnih dužina).
- Co-existence Element (CE)
Element koegzistencije je pasivni MUX uređaj talasne dužine koji integriše većinu pristupnih tehnologija na jednom vlaknu.

Prednosti NG-PON2 tehnologije su:

- Omogućava simetričnu brzinu linije 10 Gbit/s po talasnoj dužini, do 8 talasnih dužina na ODN-u;
- Podržava četiri talasne dužine u početnom izdanju, a standard pruža mogućnost prelaska na 8 talasnih dužina;
- Podržava koegzistenciju sa tehnologijama GPON i NG-PON1;
- Podržava podesivu optiku koja omogućava mobilnost talasnih dužina; i
- Omogućava propusnost na zahtjev.

4.6. Aplikacije NG-PON2

Upotrebom NG-PON2 tehnologije i mogućnosti kombinovanja servisnih mreža u jedan ODN, ukupni troškovi vlasništva (Total Cost of Ownership, TCO) su značajno smanjeni.



Slika broj 63. Dijeljenje jednog ODN-a (pomoću WDM) od strane više NG-PON2 λ -podmreža

Korištenjem NG-PON2, na slici broj 63. je prikazano kako pružatelji usluga mogu da spoje svoje poslovne, kućanske i mobilne usluge u zajednički ODN.

NG-PON2 zahvaljujući podršci prilagođenih ONT-ova, pruža pružateljima usluga mogućnost virtualnog premještanja ONT-ova u području usluge kako bi se osiguralo uravnoteženje opterećenja.

Svaki NG-PON2 talasne dužine PON može raditi nezavisno ili se može kombinovati vezanjem talasne dužine na PON velike propusnosti (max 80 Gbit/s *downstream* i 80 Gbit/s *upstream*).

Arhitektura omogućava pružateljima usluga (TK operaterima, provajderima) prelazak na konvergentni ODN, što omogućava da se koriste različite aplikacije na istom vlaknu.

5. 5G mobilna tehnologija sa posebnim akcentom na NG-PON2

Operateri mobilnih mreža suočavaju se s brojnim izazovima zbog eksponencijalno rastućih mobilnih podataka, teško dostupnog mrežnog spektra za proširenje, zajedno s dodatnim regulatornim ograničenjima.

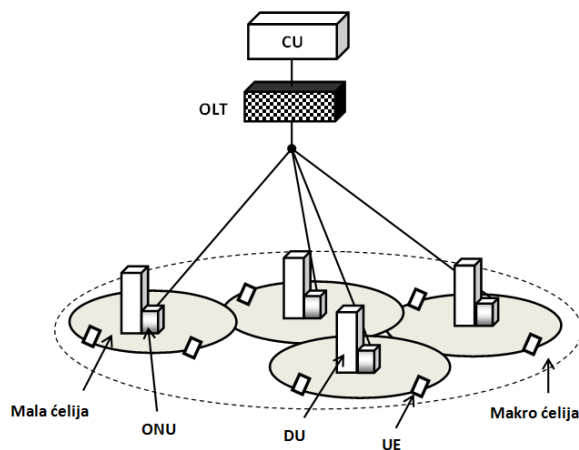
Za isplativu pristupnu mrežu, centralizirana radio pristupna mreža (Centralized Radio Access Network, C-RAN) s distribuiranom jedinicom (Distributed Unit, DU) i centralnom jedinicom (Central Unit, CU) će se koristiti kao arhitektura bazne stanice.

Centralizirana radio pristupna mreža (C-RAN) nudi poboljšane performanse sa svojom sposobnošću koordinacije između stanica i takođe je isplativa kao rezultat udruživanja resursa. C-RAN je centralizirana obrada baze podataka mnogih stanica.

Mobilne mreže pete generacije će raditi na poboljšanju brzine korisnika između distribuirane jedinice (DU) i korisničke opreme (User Equipment, UE) i kapaciteta prometa po jedinici površine.

Kako bi se poboljšao kapacitet prometa po jedinici površine, male ćelije koje zahtijevaju veliki broj optičkih vlakana između CU i DU treba da budu gusto locirane.

Usvajanjem centralizirane RAN arhitekture od strane mobilnih operatera, tržište će imati rješenje za problem kapaciteta i pokrivenosti. Odgovarajuća dostupnost 5G povećat će prodor C-RAN. Za efikasno agregiranje optičkih vlakana, testirat će se C-RAN primenjen sa pasivnom optičkom mrežom (PON) (slika broj 64.).



Slika broj 64. Primijena C-RAN s PON-om

Latencija je ključno tehničko pitanje za implementaciju PON-a na mobilnom *fronthaul-u* (Mobile Fronthaul, MFH), a varijacije kašnjenja također su veliki problem, jer trenutni PON koristi prenos s vremenskom podjelom u paketu (TDM).

Fronthaul je definisan kao veza zasnovana na vlaknima u RAN infrastrukturi između jedinice baznog opsega (Base Band Unit, BBU) i udaljene radio jedinice (Remote Radio Head, RRH). Jedinica baznog opsega (BBU) je jedinica za obradu osnovnog opsega telekomunikacijskih sistema, a udaljena radio jedinica (RRH) u bežične mreže je udaljeni radio-primopredajnik koji se spaja na upravljačku ploču operatera putem električnog ili bežičnog sučelja.

Pasivna optička mreža nove generacije 2 (NG-PON2) će biti i sa malim varijacijama kašnjenja i niskom latencijom za 5G mobilni *fronthaul* implementacijom funkcije fiksnog kašnjenja i mobilne dinamičke alokacije propusnosti (Dynamic Bandwidth Allocation, DBA).⁶⁶

5.1. C-RAN arhitektura

Mobilni operateri će morati značajno da povećaju kapacitet svojih radio mreža, dok će istovremeno morati da smanje kapitalne i operativne troškove jer prihodi krajnjih korisnika neće ići u korak.

Postoji potreba za postavljanjem sve većeg broja baznih stanica s visokom spektralnom efikasnošću i visokim zahtjevima za snagom. Snaga i prostor su rijetki resursi na lokacijama ćelije, a efikasnost se može postići premještanjem nekih dijelova funkcije radio mreže, koji su trenutno locirani sa antenom na lokaciji ćelije, na lokacije dublje u mreži.

C-RAN arhitektura pruža isplativ način pružateljima usluga da podrže nove širokopojasne bežične topologije. Jednostavne udaljene radio bazne stanice mogu biti locirane na ekološki izazovnim lokacijama i centralizirano kontrolisane iz glavnog ureda. Ovo bi smanjilo kapitalne i operativne troškove. Troškovi instalacije bili bi niži, a bilo bi potrebno i manje posjeta ćeliji jer se nadogradnja i rješavanje problema mogu izvesti na centralnoj lokaciji. Zatim, uklanjanje opreme sa lokacije ćelije poboljšava sigurnost u smislu provaljivanja ormarića jer je uklonjen.

5.2. Opravdanost NG-PON2 za 5G

Mrežni operateri treba da potraže isplativiju, skalabilniju i pristupačniju arhitekturu mreže kako bi osigurali da se nadolazeće 5G usluge mogu isporučiti bilo gdje, bilo kome, kod kuće, na poslu ili u igri.

NG-PON2 rješenja će isporučivati zahtjeve za otpornost, višegigabitnu skalu i kašnjenje potrebno za podršku kritičnim aplikacijama. Ove mogućnosti pokazuju kako će NG-PON2 biti ključna tehnologija pristupa za budućnost pružanja usluga za fiksni i mobilni širokopojasni pristup.

Tehnologije PON, izvorno razvijene za FTTH aplikacije, nisu se smatrale dovoljno izdržljivim za usluge temeljene na SLA⁶⁷, uključujući nadolazeći talas 5G i IoT usluga.

Rješavanje raznih 5G *backhaul*, *crosshaul* i *fronthaul* aplikacija zahtijeva se vrlo nisko kašnjenje, što je karakteristika koja nije tradicionalno povezana sa PON tehnologijama.

Pasivna optička mreža nove generacije 2 (NG-PON2) će moći da isporuči performanse, programibilnost i višegigabitnu sveprisutnost potrebnu za podršku inicijativama za kompresiju 5G malih ćelija te visoku propusnost i vrlo osjetljive mobilne usluge koje podržavaju.

NG-PON2 koji će biti baziran na SD-pristupu (Pristup definiran softverom, Software Defined Access, SD Access) imat će potencijal ubrzanja ka 5G tehnologiji.

⁶⁶ Dinamička alokacija propusnog opsega / dinamička alokacija propusnosti (DBA) je tehnika kojom se propusnost prometa u zajedničkom telekomunikacijskom mediju može dodijeliti na zahtjev i pravedno između različitih korisnika te propusnosti.

⁶⁷ Service Level Agreement (SLA) je pisani ugovor između ponuđača IT usluge i naručioca IT usluge kojim se određuju usluge i odgovornosti obje strane.

6. Simulacija NG-PON2 za 5G

Preporuka ITU-T G.989.3 navodi sloj konvergencije prenosa sistema pasivne optičke mreže od 40 Gigabita (NG-PON2) koji omogućava optički pristup za stambene, poslovne, mobilne i druge aplikacije.

NG-PON2 sistem podržava više kanala talasnih dužina i omogućava fleksibilnost za dodavanje kapaciteta kako potražnja raste do 100 Gbit/s i više. Multipleksiranje sa vremenskim i talasnim dužinama (TWDM) i multipleksiranje sa talasnom dužinom od tačke do tačke (PtP WDM) su dve tehnologije NG-PON2 i mogu se ugraditi u istu infrastrukturu vlakana.

NG-PON2 sistem može sadržavati skup kanala za multipleksiranje s vremenskim i talasnim dužinama (Time and Wavelength Division Multiplexing, TWDM) ili skup kanala za multipleksiranje s talasnim dužinama od tačke do tačke (Point to Point Wavelength Division Multiplexing, PtP WDM), ili oboje.

TWDM-PON se koristi za stambeni pristup, dok se PtP WDM-PON koristi za poslovne usluge i za *backhaul* i *fronthaul* mobilne usluge.

6.1. TWDM-PON

Multipleksirana pasivna optička mreža po vremenskoj i talasnoj dužini (Time and Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network, TWDM-PON) je PON sistem sa više talasnih dužina u kojem svaki kanal talasne dužine može da se dijeli između više ONU-ova korištenjem multipleksiranja sa vremenskom podjelom i višestrukog pristupa.

TWDM-PON omogućava prenos na četiri ili više talasnih dužina po vlaknu, od kojih je svaka sposobna da isporuči simetrične ili asimetrične brzine prenosa.

TWDM kanali rade pri nominalnim linijama od 9,95328 Gbit/s (cca 10 Gbit/s) i 2,48832 Gbit/s (cca 2,5 Gbit/s) u oba smjera nizvodno (*downstream*) i uzvodno (*upstream*).

Ono što omogućava TWDM je: veća propusnost (do 10 Gbit/s za svakog korisnika s ukupno 40 Gbit/s) i optimalna fleksibilnost u odnosu na propusnost po korisniku, upravljanje vlaknima, konvergenciju usluga i dijeljenje resursa.

Mreža pristupa punoj usluzi (Full Service Access Network, FSAN)⁶⁸ je već odabrao TWDM-PON kao primarni pristup za NG-PON2. Operateri smatraju da je TWDM-PON manje rizičan, manje ometajući i jeftiniji od drugih pristupa jer koristi postojeće komponente i tehnologije.

Glavna prednost ove arhitekture je da povećava ukupni PON kapacitet uz zadržavanje fleksibilnosti TDM-PON, budući da se krajnji korisnici u načelu mogu premještati preko kanala talasnih dužina radi balansiranja opterećenja. Osim toga, ova tehnologija otvara niz dodatnih mogućnosti za dijeljenje mreže.

⁶⁸ Full Service Access Network (FSAN) je interesna grupa u industriji za vodeće svjetske pružatelje TK usluga, nezavisne laboratorije za testiranje i dobavljače opreme koji rade na zajedničkom cilju širokopojasnih optičkih pristupnih mreža. Misija FSAN-a je uvesti postojeće standarde u usluge i proizvode u industriji, dok istovremeno unapređuje vlastite specifikacije u odgovarajuća standardna tijela.

Neki autori studija su predložili Multi-OLT i višetalasnu optičku pristupnu mrežu koja omogućuje dijeljenje svakog ONT-a među svim operaterima. Međutim, njihovo rješenje ne podržava istovremenu dodjelu vremena i talasne dužine, a u *upstream* dijelu svaki operater usluge koristi pojedinačnu talasnu dužinu.

Prijedlog za dinamički TWDM-PON da se omogući fleksibilnost mobilnoj radio pristupnoj mreži (RAN) omogućava da se virtualni PON konfigurira sa talasnom dužinom tako da se može efikasno primijeniti na RAN scenario. Virtualni dinamički PON reaguje na promjene u zahtjevu za kapacitetom, što poboljšava efikasnost propusnog opsega. Njihove numeričke simulacije potvrđuju da predloženi dinamički TWDM-PON može primiti dvostruko više korisničkih terminala od fiksnog PON-a.

Jedno od praktičnih pitanja koje osporava implementaciju NG-PON2 tehnologije je povećanje cijene zbog potrebe za podesivim predajnicima i prijemnicima i na OLT-u i na ONT-u. Iako bi troškovi mogli biti manji problem za slučajeve upotrebe 5G u kojima se ONT-ovi mogu koristiti za usluge povezane s poslovanjem, potrebno je uzeti u obzir i druge tehničke prepreke. Oni su uglavnom uzrokovani problemima unakrsnih preslušavanja koji su naglašeni korištenjem burst-moda prenosa u blisko raspoređenim kanalima multipleksirane podjele guste talasne dužine (Dense Wavelength Division Multiplexed, DWDM).⁶⁹

TWDM kanal se odnosi na par jednog *downstream* kanala talasne dužine i jednog *upstream* kanala talasne dužine koji pruža povezanost od tačke do više tačaka korištenjem, odnosno, multipleksiranja s vremenskom podjelom i mehanizama višestrukog pristupa.

TWDM kanal koristi sloj predajne konvergencije (Transmission Convergence, TC) (Preporuka ITU-T G.989.3). Svaka referenca na završetak kanala jasno se odnosi na skup TWDM kanala, formalni termin terminacija kanala za multipleksiranje po vremenu i talasnoj dužini terminala optičke linije (Optical Line Terminal Time and Wavelength Division Multiplexing, OLT TWDM) (klauzula iz ITU-T G. 989) je skraćena radi sažetosti na završetak kanala optičkog terminala (Optical Line Terminal Channel Termination, OLT CT).

Specifikacija TWDM TC sloja je primjenjiva na OLT CT-ove koji podržavaju sljedeće kombinacije brzine linije između bilo koja dva uzastopna događaja koji uključuju rekonfiguraciju ili zamjenu završetka kanala (CT) (tabela broj 21.).

Tabela broj 21. Podržane kombinacije nominalne brzine linije OLT CT u TWDM-PON

Downstream brzina linije [Gbit/s]	Upstream brzina linije [Gbit/s]
2,48832	2,48832
9,95328	2,48832
9,95328	9,95328
9,95328	9,95328 i 2,48832

⁶⁹ Burst-mod prenosa je metoda prenosa podataka u kojoj se informacije prikupljaju i šalju kao jedinica u jednom prenosu velike brzine. U burst modu, ulazno/izlazni uređaj preuzima kontrolu nad kanalom multipleksera za vrijeme potrebno za slanje podataka. U stvari, multiplekser, koji obično spaja ulaz iz nekoliko izvora u jedan tok podataka velike brzine, postaje kanal posvećen potrebama jednog uređaja sve dok se cijeli prenos ne pošalje. Burst način se koristi i u komunikacijama i između uređaja u računarskom sistemu. Dense WDM - Gusti WDM - (DWDM) je definiran u smislu frekvencija. DWDM-ov manji razmak talasnih dužina uklapa više kanala u jedno vlakno, ali košta više za implementaciju i rad. DWDM je za sisteme s više od osam aktivnih talasnih dužina po vlaknu.

Četvrta kombinacija brzine linije u tabeli definiše OLT CT sa dvostrukom brzinom i pridruženi *upstream* kanal talasne dužine sa dvostrukom brzinom, sposoban da prihvati ONU kombinacije brzine druge i treće linije (tabela broj 22.) u okviru istog fizičkog rama (Physical (PHY) frame).

Tabela broj 22. Podržane kombinacije nominalne brzine linije ONU u TWDM-PON

Downstream brzina linije [Gbit/s]	Upstream brzina linije [Gbit/s]
2,48832	2,48832
9,95328	2,48832
9,95328	9,95328

Specifikacija TWDM TC sloja primjenjiva je na ONU-ove koji zadovoljavaju jedno ili oba sljedeća ograničenja:⁷⁰

- ONU koji podržava višestruke (9,95328 i 2,48832) Gbit/s brzine *downstream* linije unutar ciklusa aktivacije, sve dok je promjena brzine *downstream* linije povezana sa podešavanjem na kanal različite talasne dužine;
- ONU koji podržava višestruke (9,95328 i 2,48832) Gbit/s brzine *upstream* linije unutar ciklusa aktivacije, pri čemu je promjena brzine *upstream* linije ili povezana sa podešavanjem između kanala talasne dužine ili se izvodi u okviru jednog dvobrzinskog *upstream* kanala talasne dužine.

Opcije talasnih dužina TWDM:

- *Downstream*: (1596 do 1603) nm;
- *Upstream*: (1524 do 1544) nm (Wide / Širokopojasna), (1528 do 1540) nm (Reduced / Smanjenog opsega), (1532 do 1540) nm (Narrow / Uskog opsega).

Tehnologija TWDM-PON je tehnologija pristupa vlaknima sljedeće generacije (FTTx), koja osigurava put nadogradnje za trenutnu Gigabitnu pasivnu optičku mrežu (GPON) za ultraširokopojasne usluge. Ne ističe se ni po jednoj metrici performansi (izvedbe), ali pruža dobru ravnotežu atributa za masovne stambene širokopojasne aplikacije. Nudi dobre performanse po razumnoj cijeni, koristeći komponente dovoljno zrele da ispune vremenske okvire NG-PON2.

6.2. WDM-PON

Multiplesirana pasivna optička mreža s talasnom dužinom (Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network, WDM-PON) je PON sistem dijeljenja distributivne mreže po talasnim dužinama, a ne po snazi, i to zahtijeva korištenje demultiplesera talasnih dužina u optičkoj distributivnoj mreži (ODN) umjesto optičkog razdjelnika, tako da svaki krajnji korisnik može biti povezan na centralni ured (CO) putem namjenske talasne dužine.

Tehnologija WDM-PON sljedeće generacije obećava visok propusni opseg, sigurnu uslugu i simetričan prenos propusnog opsega.

⁷⁰ ITU-T: 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): Transmission convergence layer specification, 2017.

Multipleksiranje s talasnom dužinom PON (WDM-PON) se može koristiti za razdvajanje optičkih mrežnih jedinica (ONU) u nekoliko virtualnih veza od tačke do tačke preko iste fizičke infrastrukture, što je funkcija koja omogućava efikasno korištenje vlakana u poređenju s Ethernetom od tačke do tačke i nudi manju latenciju od pristupa koji se temelje na TDM-u. Značajna prednost ovog pristupa je kombinacija velikog kapaciteta po korisniku, visoke sigurnosti i dužeg optičkog dometa. WDM-PON je vrlo prikladan za aplikacije kao što su mobilni *backhaul* ili pružanje poslovnih Ethernet usluga.

NG-PON2 zasnovan na WDM-u smatra se obećavajućom arhitekturom pristupne mreže koja omogućava podešavanje talasne dužine. Podešavanje talasne dužine u ONU-u osigurava funkcije dinamičke alokacije talasnih dužina.

U WDM-PON-u ONU bi trebalo da bude nezavisan o talasnim dužinama, tj. trebalo bi da bude u stanju da radi na nekoliko talasnih dužina. WDM-PON je predložio G.989.1 sa određenim ograničenjima pod nazivom PtP WDM-PON (Point to Point Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network). Podešavanje talasne dužine je takođe važno u kontekstu 5G mreža koje podržava NG-PON2 PtP WDM-PON kako bi se postigao *fronthaul* transport.

Tehnologija PtP WDM-PON je PON sistem sa više talasnih dužina koji omogućava povezivanje od tačke do tačke korištenjem kanala namjenske talasne dužine po ONU za *downstream* smjer i kanala namjenske talasne dužine po ONU-u za *upstream* smjer.

PtP WDM kanal se odnosi na par jednog *downstream* kanala talasne dužine i jednog *upstream* kanala talasne dužine koji pruža povezivanje od tačke do tačke. Kanali podržavaju nominalne klase brzine linije u zavisnosti od PtP WDM klijenta (tabela broj 23.).

Tabela broj 23. Kombinacije nominalne brzine linije u PtP WDM kanalu

PtP WDM klijent [klasa]	Downstream / Upstream brzina linije [Gbit/s]
<i>Klasa I</i>	1,25
<i>Klasa II</i>	2,5
<i>Klasa III</i>	10

Tehnologija PtP WDM-PON se može koristiti u preklapanju sa TWDM sa mogućnošću dvosmjernog prenosa podataka između OLT-a i ONU-a. PtP WDM kanali pružaju povezivanje od tačke do tačke koristeći neki eksterno specificirani sinhroni ili asinhroni mehanizam.

Zahtjevi sloja zavisnih od fizičkog medija (Physical Medium Dependent, PMD) definišu da PtP WDM mora da izdrži najmanje četiri kanala. PtP WDM-PON sistem je prikladan za poslovne usluge i mobilne *backhaul-ing* i *fronthaul-ing* usluge.

Karakteristika PtP WDM-PON-a je da svaki ONU opslužuje jedan par *upstream* i *downstream* talasnih dužina posvećenih ovom ONU-u. Na strani OLT-a, *downstream* talasne dužine su multiplesirane na zajedničko, dvosmjerno vlakno koje povezuje multiplexer talasne dužine (Wavelength Multiplexer, WM) s čvorom grananja koji može uključivati bilo koju kombinaciju razdjelnika snage, propusnih opsega ili filtera za zaustavljanje opsega ili filtera talasne dužine.

Opcije talasnih dužina PtP WDM:

- *Upstream/Downstream*: (1603 do 1625) nm (Shared Spectrum / Zajednički spektar);
- *Upstream/Downstream*: (1524 do 1625) nm (Expanded Spectrum / Prošireni spektar).

Tehnologija WDM-PON je FTTH rješenje koje karakteriše korištenje PON strukture plus korištenje više talasnih dužina koje se mogu nametnuti svakom korisniku ili dijeliti među grupom korisnika. To povećava kapacitet WDM-PON sistema izvan onih gdje se jedna talasna dužina dijeli među svim korisnicima.

6.3. Studija slučaja: Analiza simulacije opravdanosti NG-PON2 za 5G

Na temelju studije slučaja za područje "Marijin Dvor ili Marindvor" u periodu opterećenja mobilnog prometa, uočiti ćemo važnost podrške (uloge) optičke mreže za mobilne tehnologije.

Pojava većeg broja korisnika na području Marijin Dvora je pojava koja ukazuje na korištenje većeg broja mobilnih uređaja na tom čvorištu. Neke lokacije na kojima se korisnici najviše zadržavaju na ovom području su: restorani, hoteli, turističke i druge atrakcije, muzeji, veliki broj vozila na toj dionici, apoteke, bankomati, itd.

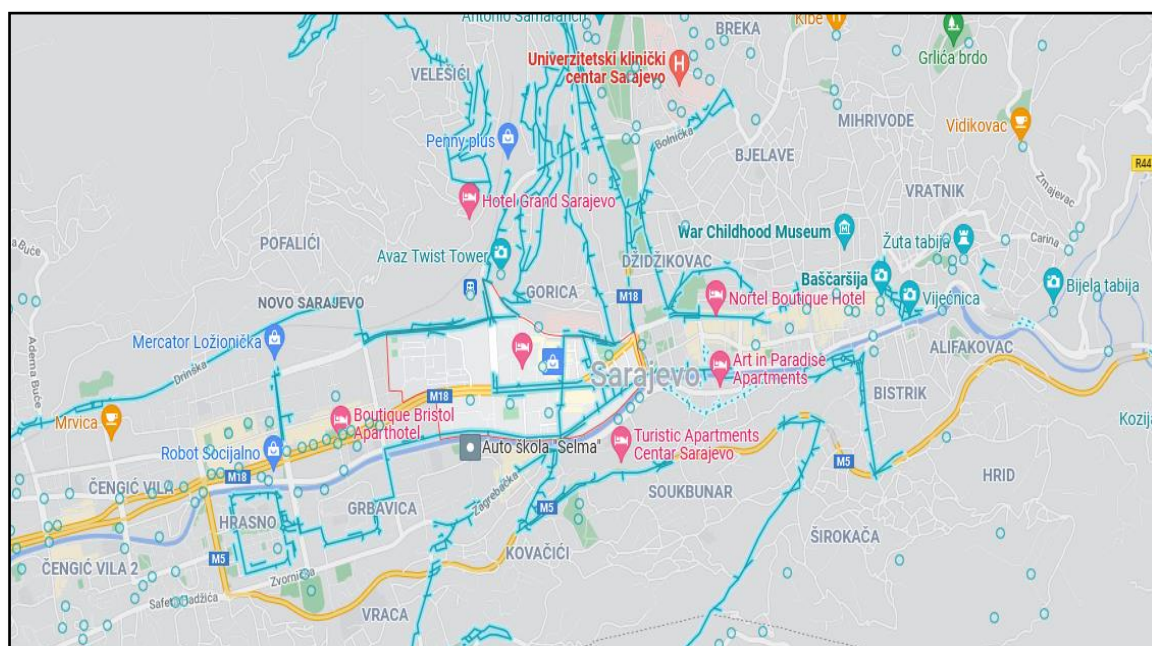
Analizirajući kartu Maps (izvor: google, "Marijin Dvor, Sarajevo 71000", slika broj 65.), uočavamo da na ovom području imamo lokacije za koje treba uzeti u obzir pokrivenost signalom zbog povećanog broja korisnika (spori promet). Neke od lokacija su:

- Duž ulice Put života, sa gornje strane: Autobuska stanica Sarajevo, Čevabdžinica Zmaj 2, Željeznička stanica, a sa donje strane: Kampus Univerziteta u Sarajevu, Ambasada SAD.
- Duž ulice Tešanjaska sa lokacijama: Ambasada Kraljevine Saudijske Arabije, LABOS Laboratorij (medicinska laboratorija).
- Duž ulice Zmaja od Bosne sa lokacijama, sa gornje strane: Srednja mašinska tehnička škola, Hotel Holiday, UniCredit Bank (banka), TC Alta Shopping Centar, a sa donje strane: Zemaljski muzej BiH, Filozofski fakultet Sarajevo, Vijeće ministara BiH (Vladin ured), Trg BiH.
- Duž ulice Fra Anđela Zvizdovića sa lokacijama: iNovine K-23 (prodavnica duhana), Osnovna škola Isak Samokovlija, TC Europronet, Raiffeisen Bank (iPoslovnica), UniCredit Bank (Bankomat), Crkva sv. Josipa.
- Duž ulice Vrbanja sa lokacijama: Replika Zgoščanskog stećka, Agencija za državnu službu BiH (Vladin ured), Ministarstvo civilnih poslova BiH, Pekara Vrbanja.
- Duž ulice Vilsonovo šetalište sa lokacijama: Ambasada Švicarske Konfederacije, Ambasada Republike Turske, Svjetska zdravstvena organizacija.
- Duž ulice Maršala Tita sa lokacijama: Trg Karla Paržika, Caribou Coffee (prodavnica kafe), Borovo (prodavnica obuće), Restoran Marijin Dvor.
- Duž ulice Hiseta sa lokacijama: CM-Cosmetic Market (prodavnica kozmetike), Hotel Swissôtel Sarajevo, TC Sarajevo City Center, Ambasada Slovenije, Mistral Technologies (softverska kompanija), Mitex (prodavnica odjeće), Second hand shop (prodavnica rabljene odjeće), Ribarnica (samoposluga).
- Duž ulice Kotromanića sa lokacijama: Samouslužna autopraonica, Piccolo Mondo (picerija).
- Duž ulice Kranjčevićeva sa lokacijama: Opća bolnica "Prim.dr. Abdulah Nakaš", frizerski saloni.
- Duž ulice Hamze Hume sa lokacijom: Alipašina džamija (granica područja Marindvor).

- Duž ulice Dolina sa lokacijama: ŽGP (građevinska kompanija), Triglav osiguranje, Buregdžinica Žigo, Privatna oftalmološka ordinacija "Dr.Halimić", Pekara Bonjour Artisan.
- Duž ulice Valtera Perića sa lokacijama: Zavod za informatiku i statistiku Kantona Sarajevo, Hair Club (frizer), Pijaca Mala bašta, books.ba (knjižara), Crveni krst Centar Sarajevo.
- Duž ulice Turhanija sa lokacijom: Mikrokreditna fondacija Lider (kreditna agencija).
- Duž ulice Đoke Mazalića sa lokacijom: Federalni zavod za zapošljavanje.

Ono što se još može uzeti za analizu planiranja mobilnog prometnog opterećenja pojedinih lokacija je broj korisnika koji dolaze iz određenog pravca na područje koje analiziramo. A ti pravci mogu biti:

- Iz pravca Pofalića na Put života.
- Iz pravca Velešića i Koševskog brda na Tešanjsku.
- Iz pravca Cigлана, Gorice na Kranjčevićevu.
- Iz pravca Dolac Malta duž ulice Zmaja od Bosne.
- Iz pravca Grbavica, Kovačići na Vilsonovo, Vrbanju i Kotromanićevu.
- Iz pravca Starog grada duž ulice Maršala Tita.



Slika broj 65. Analizirani pravci kretanja korisnika prema području Marijin Dvora

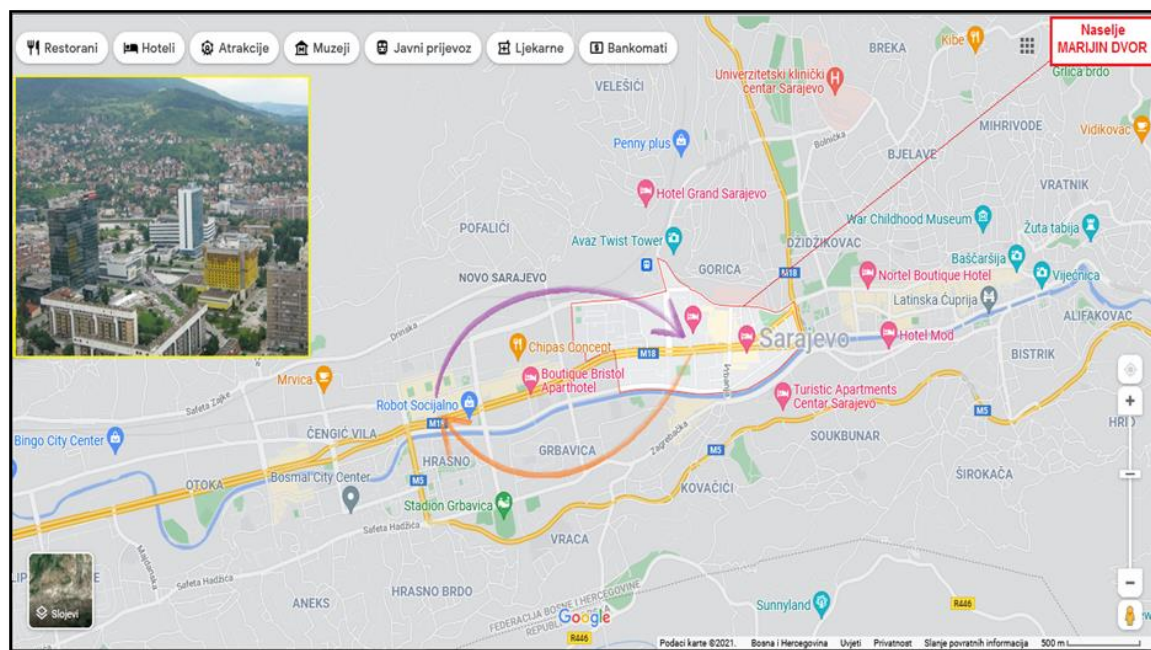
PON mreže koje se temelje na fizičkoj podjeli svjetlosne snage odašilju kompletan signal svim baznim stanicama koje se nalaze na jednom PON stablu. Dakle, promet (internet, glas ili bilo šta drugo) za mobilnog korisnika koji mijenja baznu stanicu već je unaprijed lociran na susjednoj baznoj stanici ako je ta stanica na istom PON stablu, a proces poznat kao *handover* (prosljeđivanje) obavlja se gotovo odmah.

U slučaju da dvije susjedne bazne stanice nisu na istom PON stablu, tada se u svrhu minimalnog vremena za *handover* preporučuje sinhronizacija OLT portova na isti centralni takt (centralni takt baziran na atomskom standardu).

Nadalje, NG-PON2 ima dvije značajne karakteristike poznate kao:

- Mobilnost talasne dužine (Wavelength Mobility); i
- Vezivanje kanala (Channel Bonding).

Ove dvije opcije omogućavaju intervencije na baznim stanicama gdje dolazi ili se predviđa zagušenje. Dodavanje dodatne propusnosti (bandwidth) u obliku 10 Gbit/s može se obaviti u vremenu od 20 ms (slika broj 66.).



Slika broj 66. Analiza podrške PON-a za mobilne sisteme

Uvođenjem 5G tehnologije, kako na području Marindvora tako i na drugim područjima za koja želimo rješenje problema mobilnog opterećenja, uvodi se mobilni sistem koji je iteracija ćelijske tehnologije, dizajniran da značajno poveća brzinu i odziv bežičnih mreža. Podaci koji se prenose putem bežičnih širokopojsnih veza moći će da putuju brzinom od više gigabita u sekundi, sa potencijalnim vršnim brzinama do 20 Gbit/s. Ove brzine će premašiti brzine žične mreže i nudiće kašnjenje od 1 ms, što je korisno za aplikacije koje zahtijevaju povratne informacije u realnom vremenu.

Da bi se pokrenuo i održao potreban visoki propusni opseg u 5G, bežični radio kanali će morati da se podese u skladu sa upotrebom opsega milimetarskih talasa. Milimetarski talasi će moći da dovedu do velikog propusnog opsega, ali će radijus signala biti smanjen sa 1 km u 4G radiju na samo 100 m (ili čak manje, u zavisnosti od terena). To nužno znači da 5G zahtijeva više pristupnih tačaka za istu pokrivenost kao 4G.

Svaki TK operater trebao bi započeti svoje uvođenje mobilne tehnologije testiranjem mreže s tornjevima zbog određenih gradova i ruralnih područja koja imaju problem s primanjem 4G signala. Sve dok se ne postavi dovoljno tornjeva za osiguranje pokrivenosti gdje god i kad god, usluga 5G će biti ograničena.

Većina 3G/4G mobilnih tornjeva koristi mikrotalasnu tehnologiju za povezivanje kao glavni *backhaul* element, međutim, 5G mreže će biti raspoređene na osnovu topologije RAN u oblaku gdje će podaci iz sektora antene ići direktno preko vlakana prema distribuiranoj jedinici (DU). Mreže 5G će odvojiti obradu podataka unutar distribuirane jedinice (DU) od radio jedinice (RU) koja prenosi signal. Premještanje distribuirane jedinice (DU) u centralne urede (CO) na ivici pristupne mreže smanjuje i veličinu i cijenu baznih stanica.

Prednosti 5G ne mogu se u potpunosti ostvariti sve dok TK operateri ne pronađu način za rješavanje infrastrukturnih troškova (optimiziraju troškove postavljanja svojih tornjeva, itd.). Dakle, potrebno je maksimizirati kapacitet unutar RAN-a korištenjem postojeće optičke infrastrukture.

Stoga je logično rješenje koristiti pasivne optičke mreže (PON) gdje su već dostupne za povezivanje optičkim vlaknima do kuće. PON-ovi mogu omogućiti prenos 5G podataka preko vlakana od radio tornjeva do RAN-a.

Pasivna optička mreža (PON) je fleksibilna, pouzdana i dovoljno efikasana za pružanje *fronthaul* transporta i za celularnu i za fiksnu širokopojasnu mrežu u jednoj mreži, što je velika prednost u odnosu na druge distributivne mreže koje zahtijevaju različite vrste distribucije za različite tehnologije.

Postojeće FTTx mreže su velike i obimne, sa dovoljnim resursima linija i priključaka, kao i potrebnim optičkim uređajima i napajanjem. PON nudi otpornost, tako da se konekcija održava čak i ako je linija isključena. PON-om se smanjuju troškovi umrežavanja ponovnim korištenjem postojećih vlakana i optičkih filtera, a može podnijeti različite tokove prometa s puno većim kapacitetom od drugih transportnih opcija.

Kao takvo, postojeće PON vlakno je idealan kanal i isplativo rješenje za prenos 5G prometa od RU-ova do DU-a, a možda čak i dalje do ostatka pristupne mreže.

Mnogi TK operateri traže podršku za WDM-PON (ponekad se naziva kombinirani PON-CPON), koji prekriva nove talasne dužine na stare PON mreže bez ugrožavanja propusnosti postojeće fiksne širokopojasne usluge.

Pasivna optička mreža nove generacije 2 (NG-PON2) zbog svog ogromnog transportnog kapaciteta, ima potencijal da proširi PON mrežu kako bi povezo *midhaul*⁷¹ između distribuirane jedinice (DU) i centralnih jedinica (CU) čak i dublje u radio pristupnu mrežu.

Napredak 5G mreže prema masovnoj implementaciji i prepoznavanje PON-a kao isplativog sredstva velikog kapaciteta za implementaciju 5G prenosa od antene do RAN, više će se napora posvetiti rješavanju problema i smanjenju kašnjenja da bi se zadovoljila 5G mjerila.

Pružatelj usluga pozicionira PON kao optimalnu opciju 5G *fronthaul* transporta jer je lako dostupna i nudi jedinstvenu distributivnu mrežu za fiksni širokopojasni i mobilni prenos podataka.

PON pruža vrijednost jer je jednostavan za instalaciju, prilagodljiv i jednostavan za konfiguriranje na zahtjev, interoperabilan s drugim razvijenim mrežnim arhitekturama i izuzetno je pouzdan. Optimizira troškove operatera, što je ključno u vrijeme kada se infrastrukturni troškovi izdvajaju za implementaciju nužno guste mreže tornjeva koji su okosnica 5G.

⁷¹ Midhaul je Carrier/Metro Ethernet mreža između lokacija RAN baznih stanica.

U hijerarhijskoj telekomunikacijskoj mreži, backhaul dio mreža obuhvata međuveze između jezgrene mreže, ili okosnu mrežu i male podmreže na "ivici" cjeline.

7. Zaključak

Za opisivanje mreže koja povezuje svaki ruter (usmjerivač) ili server (poslužitelj) kojem je potreban pristup Internetu, koristimo pristupnu mrežu. Postoji mala razlika između pristupne mreže kada se opisuje internet veza i radio pristupne mreže. Mreže za radio pristup (Radio pristupna mreža, Radio Access Networks, RAN) se sastoje od radija i antena, čvorova ili ćelija, i bakarnih ili optičkih kablova. Koncept je sličan, ali radio pristupne mreže se koriste za ćelijske komunikacije i uređaje.

Kako je cilj svake mobilne komunikacije korištenje tehnologije koja nam omogućava komunikaciju s drugima na različitim lokacijama, naša nova mobilna komunikacija će koristiti 5G tehnologiju koja će biti dio nacionalne kritične infrastrukture i tehnologija će biti veoma fleksibilna (mrežnom inteligencijom i sigurnošću će se upravljati na cijeloj mreži).

Prednost 5G u odnosu na 4G LTE biće prenos velike količine podataka na kraće udaljenosti. Time se povećava brzina prenosa podataka i stabilnost veze, kao i same mreže, čak i kada smo u pokretu. Zbog opterećenja LTE mreže u vršnom satu mobilnog prometa u većim gradovima, rješenje problema biće 5G tehnologija koja će omogućiti mobilni internet koji će zahtijevati manje resursa, a biće brži i jeftiniji i moći će da podrži više uređaja.

Pozitivni rezultati za uslugom 5G će otvoriti mnoge mogućnosti, a to su:

- 5G mrežne brzine će omogućiti: preuzimanje 8K filmova - 8K rezolucija je 7680×4320 piksela (4320 p - ili ekvivalent od 33,2 Mp) (5G pretplatnicima će trebati nekoliko sekundi umjesto da čekaju oko 30 minuta kao sa 4G mrežom), pouzdanost (isporučena brzina će biti pouzdanija na pametnim telefonima i drugim uređajima s tehnologijom bežične mreže nego ikada prije), itd.
- 5G mrežne niske latencije otvorit će mogućnosti za usluge: tehnološke inovacije (mogućnost povezivanja ljudi s podacima gotovo u stvarnom vremenu trebala bi dovesti do poboljšanih 3D slika, holograma, virtualne stvarnosti i proširene stvarnosti), javna sigurnost (osobe koje prve intervenišu trebale bi imati brži pristup kritičnim informacijama potrebnim za izvođenje svojih napora za spašavanje života), itd.
- 5G mrežni frekvencijski opseg moći će opsluživati više uređaja, a trošit će manje energije.

Ključni značaj 5G tehnologije za Evropu je postizanje konkurentnosti na globalnom tržištu. Veće koristi od 5G biće ostvarene u četiri industrijska sektora: automobilske industriji, zdravstvu, transportu i energetici.

Evropskim zakonom o elektroničkim komunikacijama (European Electronic Communications Code) podržat će se uvođenje i upotreba 5G mreža, posebno u pogledu dodjele frekvencijskog spektra, podsticaja ulaganja i povoljnih okvirnih uslova. U privatnom sektoru sudionici na tržištu planiraju ulaganja u infrastrukturu i uspostavljanju partnerstva za prenos tehnoloških rješenja u komercijalnu primjenu.

Mobilni sektor pokazuje predanost uvođenju održivosti u korporativne strategije, politike i procedure, te razvija dosljedan pristup upravljanju životnom sredinom. Težnja za izvrsnošću i inovacijama ne može samo da obezbijedi konkurentnu prednost za poslovanje, već i da doprinese razvoju društva. Strane telekomunikacijske kompanije već sprovode programe održivog razvoja u društveno-ekonomskoj sferi regiona svog prisustva.

Efikasnost svih poslovnih operacija telekomunikacijskog operatera biće rezultat cjelokupnog sistema rada uspješne TK organizacije, koji se sastoji od produktivnih zaposlenih, pravilnog korištenja TK sredstava i opreme i efikasnog pristupa menadžmentu. Za postizanje efikasnosti biće neophodno identifikovati suvišne zadatke, kontraproduktivne poslovne procese i zastarjele procedure. Time će se smanjiti godišnji poslovni troškovi koji su direktan rezultat neefikasnosti.

Sa uvođenjem mobilnih tehnologija, došlo je do određene zabrinutosti javnosti o potencijalnim zdravstvenim rizicima povezanim sa upotrebom mobilnih telefona i životom u blizini baznih stanica. Uprkos opsežnim istraživanjima o zdravstvenim efektima mobilnih telefona i baznih stanica u posljednjih tridesetak godina, nema naznaka povećanog zdravstvenog rizika od izlaganja elektromagnetnim poljima ispod nivoa koje su utvrdile međunarodne organizacije. Povezanost između prenosa koronavirusa i emisija iz 4G/5G mreža ili bilo kojih drugih elektromagnetnih talasa nemaju naučnu osnovu. Preporuke ITU-a sadrže reference na standarde, smjernice i preporuke u vezi s maksimalnim nivoima izloženosti EM polja, koje postavljaju nadležna međunarodna tijela.

U prošlosti je primjena bakarnih žica na projektovanoj nacionalnoj mrežnoj infrastrukturi bila česta, ali potrebom za novim mobilnim tehnologijama s većim brzinama imamo da optički kablovi imaju važnu ulogu. Optički kablovi prenose signale brže na veće udaljenosti i fizički su pouzdaniji s manjom vjerovatnoćom degradacije ili uništenja.

Pasivna optička mreža (Passive Optical Network, PON) je najbrže rastuća i najperspektivnija tehnologija za širokopolasni višesuslužni pristup preko optičkih vlakana. Suština PON tehnologije sastoji se u činjenici da je distributivna mreža izgrađena bez upotrebe aktivnih komponenti. Grananje optičkog signala u komunikacijskoj liniji sa jednim vlaknom vrši se pomoću pasivnih optičkih razdjelnika.

Pasivna optička mreža nove generacije 2 (NG-PON2) omogućit će operaterima da koriste FTTH arhitekturu za pružanje usluga različitim korisnicima koristeći jedan ormarić sa vlaknima. To znači da je moguće koristiti različite talasne dužine za različite korisnike ili čak različite stope na istim talasnim dužinama. Prednost NG-PON2 povećava kapacitet mreže i isporučuje više propusnog opsega uz nižu cijenu po bitu. Tehnologije NG-PON2 za podršku 5G će biti:

- Multipleksirana pasivna optička mreža po vremenskoj i talasnoj dužini
Time and Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network (TWDM-PON)

Tehnologija TWDM-PON će podržavati različite vrste pretplatnika ili aplikacija korištenjem različitih talasnih dužina i različitih brzina prenosa na tim talasnim dužinama. TWDM-PON ima za cilj dobru povratnu kompatibilnost (backward compatibility), mogućnost podrške budućim korisničkim aplikacijama i nisku cijenu nadogradnje.

- Multipleksirana pasivna optička mreža s talasnom dužinom od tačke do tačke
Point to Point Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network (PtP WDM-PON)

Tehnologija PtP WDM-PON će podržavati spektralnu fleksibilnost. PtP WDM-PON ima za cilj osigurati namjensku talasnu dužinu (u *downstream* i *upstream* smjeru) između CO (OLT) i korisničkih prostorija (ONU) i koristiti različitu talasnu dužinu (po smjeru) za svakog korisnika.

Kako prenosna mreža treba da uskladi vrijeme, isporuku sadržaja i protok prometa do nanosekundne preciznosti (potrebno za kašnjenje od 1 ms i 10 Gbit/s na realnost bežičnog uređaja), NG-PON2 kao podrška za 5G će pojednostaviti transportnu mrežu koja je distribuirana, softverski vođena, uvijek uključena, brza i povezuje sve raščlanjene dijelove radio pristupne mreže zajedno.

Literatura

- [1] Antun Stipetić: Infrastruktura telekomunikacijskog prometa, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2000.
- [2] Miroslav Dukić, Dejan Vujić: Telekomunikacione pristupne mreže, Elektrotehnički fakultet u Beogradu – katedra za telekomunikacije, Beograd, 2002.
- [3] Faruk Turčinhodžić: Informacije i komunikacije, FSK – Odsjek za komunikacije, Sarajevo, 2003.
- [4] Ivan Bošnjak, Samir Čaušević: Osnove sustavskog inženjerstva, FPZ&FSK, Zagreb&Sarajevo, 2003.
- [5] Zoran Veljović, Uglješa Urošević, Slavica Tomović: Osnovi analognih telekomunikacija, Univerzitet Crne Gore – Elektrotehnički fakultet, Podgorica, 2004.
- [6] Nediljko Bilić, Nedžad Rešidbegović: Tehnika komunikacija, FSK – Odsjek za komunikacije, Sarajevo, 2005.
- [7] Alen Bažant: Uvod u xDSL i ADSL, Fakultet elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, Zagreb, 2006.
- [8] Borislav Zorić: Globalni sustav pokretnih komunikacija (GSM), Fakultet elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, Zagreb, 2007.
- [9] Edvin Skaljo, Mujo Hodzic, Ismet Bektas: Migration from G(E)PON to NGPON, 2009 International Conference on Ultra Modern Telecommunications & Workshops. IEEE, Sant Petersburg, 2009.
- [10] Faruk Selmanovic, Edvin Skaljo: GPON in telecommunication network, International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems, Moskva, 2010.
- [11] Marija Vrdoljak: Lokalne i pristupne mreže, Sveučilišni studijski centar za stručne studije u Splitu, Split, 2010.
- [12] Željko Jungić: Vještine komuniciranja, Banja Luka, 2014.
- [13] Amir Adilović: Telekomunikacijske pristupne mreže i njihov budući razvoj, seminarski rad iz predmeta Pristupne mreže, Elektrotehnički fakultet u Banjoj Luci, Banja Luka, 2015.
- [14] Željko Jungić: Pristupne mreže, Elektrotehnički fakultet u Banjoj Luci, Banja Luka, 2015.
- [15] Dejan Nemeć: Evolucija mobilnih telekomunikacionih sistema, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu – Katedra za telekomunikacije i obradu signala, Novi Sad, 2015.
- [16] Marko Periša: Uvod u teoriju informacija i komunikacija, FPZ – zavod za informacijsko komunikacijski promet, Zagreb, 2016.
- [17] Goran Marković, Vesna Radonjić: Telekomunikacione i računarske mreže, Beograd, 2017.
- [18] Dragan Peraković, Marko Periša, Slavko Šarić, Ivan Forenbacher: Arhitektura telekomunikacijske mreže, FPZ – Zavod za informacijsko komunikacijski promet, Zagreb, 2017.
- [19] Gordan Šišul: Elektroničke komunikacije, Fakultet elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, Zagreb, 2017.
- [20] Gordan Šišul: Radijske pristupne mreže, Fakultet elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, Zagreb, 2017.
- [21] Drago Žagar: Komunikacijske mreže, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku, Osijek, 2017.
- [22] Alen Bažant, Gordan Ježić: Regulatorni aspekti mreža i usluga, Fakultet elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, Zagreb, 2018.
- [23] Hodara Henri, Edvin Skaljo: Beyond 400 Gbps: Reaching for Higher Data Rates and Connectivity Fiber and Integrated Optics, 2019.
- [24] Dirk Breuer, Klaus Grobe, Eran Weis, Sandro Krauß: 5G Transport in Future Access Networks, Berlin, 2016.
- [25] Mansoor Shafiq, et al. 5G: A Tutorial Overview of Standards, Trials, Challenges, Deployment, and Practice, IEEE Journal on Selected Areas in Communications 35.6, 2017.
- [26] Leonardo Linguaglossa, et al.: Survey of Performance Acceleration Techniques for Network Function Virtualization, Proceedings of the IEEE 107.4, 2019.
- [27] Nima Afraz, Frank Slyne, Harleen Gill, Marco Ruffini: Evolution of Access Network Sharing and Its Role in 5G Networks, Applied Sciences, 2019.
- [28] Kinza Shafique, et al.: Internet of Things (IoT) for Next-Generation Smart Systems: A Review of Current Challenges, Future Trends and Prospects for Emerging 5G-IoT Scenarios, IEEE Access 8, 2020.
- [29] Amir Adilović, Edvin Škaljo: Očekivana poboljšanja mobilnih sistema uvođenjem 5G tehnologije u telekomunikacijskoj industriji mobilnih sistema, Međunarodni naučni skup NOVI HORIZONTI 2021, Dobož, 2021.

- [30] Izudin Kapetanović: Osnovi elektrotehnike – predavanja, FSK – Odsjek za komunikacije, Sarajevo, 2005.
- [31] Natalija Pejnović: Utjecaj bežičnih tehnologija na ljudsko zdravlje, HZJZ, Zagreb, 2009.
- [32] Bratislav Ivković: Elektromagnetno polje, Niš, 2012.
- [33] Dragan Poljak: Izloženost ljudi zračenju antenskih sustava baznih postaja – Dozimetrija upadnog polja, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu, Split, 2012.
- [34] Hamid Molla Djafari: Visoko frekvencijska elektromagnetska polja polja – priručnik, Ministarstvo rada i mirovinskoga sustava, Zagreb, 2013.
- [35] Dragan Cvetković: Fizički parametri radne i životne sredine – Elektromagnetna zračenja, Fakultet zaštite na radu u Nišu, Niš, 2014.
- [36] Branislav Vulević: Elektromagnetska polja u životnoj sredini, JP Nuklearni objekti Srbije u Vinči - Beogradu, Beograd, 2015.
- [37] Dejan D. Krstić, Vera V. Marković, Nataša M. Nikolić, Boris Đinđić, Stojan S. Radić, Dejan M. Petković, Milan D. Marković: Biološki efekti zračenja bežičnih komunikacionih sistema, Univerzitet u Nišu, Niš, 2015.
- [38] Željka Tomić: Elektrostatika, 2016.
- [39] Željko Smojver: Promet i ekologija, Rijeka, 2016.
- [40] Dejan M. Petković: Elektromagnetna zračenja – elektromagnetizam, Fakultet zaštite na radu u Nišu, Niš, 2016.
- [41] Branislav Cvetković: Elektromagnetni talasi od Herca do lasera, Univerzitet u Beogradu – Institut za fiziku, Beograd, 2017.
- [42] Dragoljub Mirjanić, Blanka Škipina: Tehnička fizika 2 - Elektromagnetizam, Tehnološki fakultet u Banjoj Luci, Banja Luka, 2018.
- [43] Katarina Kanjevac Milovanović, Jovan Milivojević: Uticaj elektromagnetnog zračenja na zdravlje i kvalitet života ljudi, Mašinski fakultet u Kragujevcu – Centar za kvalitet, Kragujevac, 2018.
- [44] Irfan Turković: Teorija elektromagnetnih polja, Elektrotehnički fakultet u Sarajevu, Sarajevo, 2018.
- [45] Nenad Bolf: Ionizirajuće zračenje, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije u Zagrebu, Zagreb, 2018.
- [46] Josip Sušan, Branka Milotić: O neionizantnom zračenju navigacijskoga radara, Rijeka, 2019.
- [47] Vera Marković: Sistemi zaštite životne sredine – zaštita od nejonizujućeg zračenja, Niš, 2020.
- [48] Antun Vila: Teorija i praksa funkcioniranja organizacija, Informator, Zagreb, 1983.
- [49] Radovan Milanović: Osnovi marketinga, Svjetlost, Sarajevo, 1985.
- [50] Alija Behmen: Ekonomika transportnih i komunikacijskih sistema, FSK – Odsjek za komunikacije, Sarajevo, 2004.
- [51] Dubravko Sabolić: Tržišna snaga u telekomunikacijama, Kigen, Zagreb, 2007.
- [52] Mehmed Pojskić: Menadžment u funkciji ekonomskog razvoja, Sarajevo, 2007.
- [53] Ignac Lovrek: Telekomunikacije – tehnologija i tržište, Za izdavača Element Zagreb, Zagreb, 2010.
- [54] Dubravko Sabolić: Inženjerska ekonomika, Fakultet elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, Zagreb, 2012.
- [55] Antonis M. Hadjiantonis, Burkhard Stiller: Telecommunication Economics, Springer Heidelberg Dordrecht London New York, 2012.
- [56] Nataša Rupčić: Strateško planiranje - put do uspjeha, 2013.
- [57] Tomislav Ivančević, Kristina Perc: Osnove ekonomije, Izdavač - Visoka poslovna škola Zagreb, Zagreb, 2017.
- [58] José Luis Gómez-Barroso, Raquel Marbán-Flores: Telecommunications and economic development – The 21st century: Making the evidence stronger, Telecommunications Policy, Elsevier, Amsterdam, 2020.
- [59] Vladanka Aćimović-Raspopović, Goran Marković, Vesna Radonjić: Pasivne optičke mreže za pristup, Beograd, 2007.
- [60] José Salgado, Rong Zhao, Nuno Monteiro, Pauline Rigby: New FTTH-based Technologies and Applications, Fiber to the Home Council Europe, 2014.
- [61] José Salgado, Rong Zhao, Nuno Monteiro: New FTTH-based Technologies and Applications, 2014.
- [62] Jean-Charles Point, JCP-Connect: Analysis of transport network architectures for structural convergence, 2015.
- [63] Nathan J. Gomes: Flexible Ethernet Fronthaul, University of Kent, Kent, 2016.
- [64] Cláudio Rodrigues, Tiago Miguel Mendes, Francisco Manuel Ruivo, Paulo Mão-Cheia, José Salgado: NG-PON2, 2016.

- [65] Loring Wirbel: 10GBPS PONS FOLLOW TWO PATHS XGS-PON and NG-PON2 Address Diverging Deployments, 2017.
- [66] Junichi Kani: Recent progress in ITU-T PON standards, 2018.
- [67] Adrian J. Torregrosa Fuentes: Introduction to Optical Networks, DBBT, 2018.
- [68] Keita Takahashi, et al.: NG-PON2 Demonstration with Small Delay Variation and Low Latency for 5G Mobile Fronthaul, University of Agriculture and Technology, Tokyo, 2018.
- [69] Daisuke Iida, Shigeru Kuwano, Jun-ichi Kani, Jun Terada: Dynamic TWDM-PON for Mobile Radio Access Networks, Optics Express, 2013.
- [70] Monir Hossen, Masanori Hanawa: Multi-OLT and multi-wavelength PON-based open access network for improving the throughput and quality of services, Optical Switching and Networking, 2015.
- [71] Martin Carroll, Derek Nasset, Peter Dawes: FSN Highlights & NG-PON2 Standards Update, FSN, 2015.
- [72] Marco Ruffini, David B. Payne: Business and ownership model case studies for next generation FTTH Deployment, 2016.
- [73] Vivek Kachhatiya, Shanthi Prince: Four-fold increase in users of time-wavelength division multiplexing (TWDM) passive optical network (PON) by delayed optical amplitude modulation (AM) upstream, Elsevier - Optical Fiber Technology, 2017.
- [74] Hélène Debrégeas, et al.: TWDM-PON Burst Mode Lasers With Reduced Thermal Frequency Shift, Journal of Lightwave Technology, 2018.
- [75] Juliene Monteiro Goenopawiro: Next generation mobile network supported by NG-PON2, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra – Portugal, 2018.
- [76] Alaeldin Mohammed, S.H. Shah Newaz, Sankar D S, Md. Shamim Ahsan: A Green Converged TWDM-PON and 5G HetNet Catering Applications Demanding Low Latency, Optical Fiber Technology, 2020.
- [77] David Levi: The Case for Using PON for 5G Fronthaul, Ethernity Networks, 2020.
- [78] ADVOKATSKA FIRMA SAJIĆ O.D. BANJA LUKA: Telekomunikacije u BiH, Banja Luka, 2014.
- [79] Politika sektora telekomunikacija Bosne i Hercegovine za razdoblje 2008. – 2012.: Vijeće ministara BiH i predsjedatelj Vijeća ministara BiH Nikola Špirić, Sarajevo, 2008.
- [80] HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.: 5G Network Architecture A High-Level Perspective, China, 2016.
- [81] MOBILNE RADIOKOMUNIKACIJE, Tehnike višestrukog pristupa: Novi Sad, 2017.
- [82] 5G Network Transformation: Copyright 2017 5G Americas, 2017.
- [83] Autor-ITU: Подготовка к внедрению 5G: возможности и проблемы, 2018.
- [84] Gemalto: Introducing 5G networks – Characteristics and usages, 2018.
- [85] Congressional Research Service: Fifth-Generation (5G) Telecommunications Technologies: Issues for Congress, 2019.
- [86] EMF Explained Series: 5G and EMF Explained: 5G, 2019.
- [87] TEC: 5G-Key Capabilities&Applications, New Delhi, 2019.
- [88] Australian Mobile and Telecommunications Association (AMTA): 5G and EMF Explained, Australija, 2019.
- [89] Ministarstvo zdravstva: Neionizirajuća elektromagnetska zračenja, Zagreb, 2016.
- [90] Calix: Next-Generation PON: Eliminating physical constraints from the access network, 2017.
- [91] BBF-Broadband Forum: The Future of Passive Optical Networking is Here NG-PON2, 2018.
- [92] FTTH Council Europe: Fixed-Mobile Network Convergence The Key Role of Fibre, 2019.
- [93] ITU-T: Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics, 2008.
- [94] ITU-T: 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requirements, 2010.
- [95] ITU-T: 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): Definitions, abbreviations and acronyms, 2016.
- [96] ITU-T: 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): Transmission convergence layer specification, 2017.
- [97] Zakon o komunikacijama: Parlamentarna skupština BiH, Sarajevo, 2003.
- [98] Zakon o telekomunikacijama: Hrvatski sabor i predsjednik Stjepan Mesić, Zagreb, 2003.
- [99] Pravilnik o sigurnosnim znakovima: Ministarstvo rada i mirovinskoga sustava, 2015.
- [100] UNIS telekom d.d.: Trendovi na telekomunikacijskom tržištu, Mostar, 2017.
- [101] Regulatorna agencija za komunikacije BiH (RAK): <https://www.rak.ba>
- [102] JP BH Pošta – službena stranica: <https://www.posta.ba>
- [103] BH Telecom – službena stranica: <https://www.bhtelecom.ba>

- [104] M:tel – službena stranica: <https://mtel.ba>
- [105] HT ERONET – službena stranica: <https://www.hteronet.ba>
- [106] Спутники связи серии «Молния-1» (нет в экспозиции): <https://izi.travel/es> [pristupljeno 2020].
- [107] John Pierce, otac satelitske tehnologije: <https://teve.ba> [pristupljeno 2020].
- [108] Pinterest: <https://www.pinterest.se> [pristupljeno 2020].
- [109] A brief history of 1G mobile communication technology: <https://blog.xoxzo.com> [pristupljeno 2020].
- [110] Međunarodna napredna mobilna telekomunikacija (IMT-napredna): <https://hr.continuousdev.com> [pristupljeno 2020].
- [111] WiMax tehnologija: princip rada opreme, područje primjene: <https://hr.flipperworld.org> [pristupljeno 2020].
- [112] Network Encyclopedia: <https://networkencyclopedia.com> [pristupljeno 2020].
- [113] Znanost Blog.com: <http://www.znanostblog.com> [pristupljeno 2020].
- [114] Investopedia-What Are Mergers and Acquisitions (M&A)?: <https://www.investopedia.com/terms> [pristupljeno 2020].
- [115] Point Topic- Hong Kong broadband overview: <https://point-topic.com> [pristupljeno 2020].
- [116] Introducing 5G technology and networks (speed, use cases and rollout): <https://www.thalesgroup.com> [pristupljeno 2020].
- [117] Elta-kabel: Brzina, kapacitet... Razlike između 4G i 5G mreže: <https://www.elta-kabel.com> [pristupljeno 2020].
- [118] PCCHIP: <https://pcchip.hr> [pristupljeno 2020].
- [119] MDPI: How 5G Wireless (and Concomitant Technologies) Will Revolutionize Healthcare?: <https://www.mdpi.com> [pristupljeno 2020].
- [120] Huawei-Huawei and DOCOMO Conduct World's First 5G Large Scale Field Trial in the 4.5 GHz Band: <https://www.huawei.com> [pristupljeno 2020].
- [121] 5G Network Testing Solution: <https://rantcell.com> [pristupljeno 2020].
- [122] Futuristic mobile technologies foresee "IMT for 2020 and beyond": <https://www.itu.int/en> [pristupljeno 2020].
- [123] 5G Technology and It's Future in Mobile Communications: <https://techblog.comsoc.org> [pristupljeno 2020].
- [124] 5G: как работает технология и зачем нам это нужно: <https://rb.ru> [pristupljeno 2020].
- [125] Everything you need to know about 5G.: <https://www.qualcomm.com> [pristupljeno 2020].
- [126] 5G EXPLAINED - HOW 5G WORKS: <http://www.emfexplained.info> [pristupljeno 2020].
- [127] Što možemo očekivati od nove 5G tehnologije?: <https://ec.europa.eu> [pristupljeno 2020].
- [128] Sve o 5G tehnologiji: U petoj brzini!: <https://pcpress.rs> [pristupljeno 2020].
- [129] 3GPP A GLOBAL INITIATIVE: <https://www.3gpp.org> [pristupljeno 2020].
- [130] What is the difference between 4G and 5G?: <https://tech-troubleshooting.com> [pristupljeno 2020].
- [131] 4.0 – 5G System Architecture: <https://www.tekedia.com> [pristupljeno 2020].
- [132] Ensuring The Connected 5G Experience: <https://www.anritsu.com> [pristupljeno 2020].
- [133] Massive MIMO: <https://ma-mimo.ellintech.se> [pristupljeno 2020].
- [134] MALL.HR: <https://www.mall.hr/mobilni-telefoni> [pristupljeno 2020].
- [135] TechTarget: <https://whatis.techtarget.com/definition/electromagnetic-field> [pristupljeno 2020].
- [136] Sva Fizika: <http://svafizika.org/2017/04/17/sta-je-to-elektromagnetizam> [pristupljeno 2020].
- [137] emf ratel: <http://emf.ratel.rs/lat/em-polja> [pristupljeno 2020].
- [138] ENERGETIKS: <http://www.energetix.ba/magnetna-terapija> [pristupljeno 2020].
- [139] West Medic DOM ZDRAVLJA: <https://www.westmedic.rs> [pristupljeno 2020].
- [140] TOYOCEM: <https://www.toyo-chem.com> [pristupljeno 2020].
- [141] MATERIJA I ENERGIJA: <https://www.analogija.com/strane/energija.html> [pristupljeno 2020].
- [142] Излучение: <http://www.norao.ru/waste/radioactivity/radiation> [pristupljeno 2020].
- [143] Radioaktivnost: <https://radioaktivniotpad.org/radioaktivnost> [pristupljeno 2020].
- [144] Tehnička i rezonantna zračenja: <https://radiestezijska-bioenergija.com> [pristupljeno 2020].
- [145] Uticaj nejonizujućeg zračenja na životnu sredinu: <https://mojasoljajoge.com> [pristupljeno 2020].
- [146] Mobilna mreža 5G: <https://www.mreza-mira.net> [pristupljeno 2020].
- [147] PTC: www.rts.rs/page/magazine/sr/story/491/zdravlje [pristupljeno 2020].
- [148] Zavod za javno zdravstvo Dubrovačno-neretvanske županije: <https://www.zzjzdnz.hr> [pristupljeno 2020].
- [149] Lanac vrijednosti: <http://www.skladistenje.com> [pristupljeno 2021].

- [150] Телекоммуникационные услуги (мировой рынок): <https://www.tadviser.ru> [pristupljeno 2021].
- [151] Poslovne ideje u telekomunikacijama: <https://hr.aldagrupa.com> [pristupljeno 2021].
- [152] MREŽA: <https://mreza.bug.hr/> [pristupljeno 2021].
- [153] European Council Council of the European Union: <https://www.consilium.europa.eu> [pristupljeno 2021].
- [154] ICT Business: predsjednik Carrier Business Group Ryan Ding: <https://www.ictbusiness.info> [pristupljeno 2021].
- [155] ICT Business - Uvođenje 5G mreže i gigabitnog interneta u Europi koštat će dodatnih 300 milijardi eura: <https://www.ictbusiness.info> [pristupljeno 2021].
- [156] Обзор технологий пассивных оптических сетей PON: <https://skeo.ru> [pristupljeno 2021].
- [157] FS community-Passive Optical Network Tutorial: <https://community.fs.com> [pristupljeno 2021].
- [158] FOCC optički CO.- Razumijevanje raspodjele i razine razdvajanja optičkih razdjelnika: <http://ba.opticalpatchcable.com> [pristupljeno 2021].
- [159] Teleweaver- Fiber Optic Splitter Insertion Loss Table Reference for FBT and PLC types: <https://fibrefibre.com> [pristupljeno 2021].
- [160] Shenzhen Optico Communication Co., Ltd: <http://ba.ftxsolution.com> [pristupljeno 2021].
- [161] GPON tehnologija: značajke i svrha: <https://hr.puntomariner.com> [pristupljeno 2021].
- [162] VIAVI: <https://www.viavisolutions.com/en-us/xgs-pon> [pristupljeno 2021].
- [163] FOCC: <http://hr.opticalpatchcable.com> [pristupljeno 2021].
- [164] PROMAX: <https://www.promax.es/ru> [pristupljeno 2021].
- [165] TWDM PON: <https://www.thefastmode.com> [pristupljeno 2021].
- [166] WDM-PON: <https://www.gartner.com> [pristupljeno 2021].
- [167] WDM-PON is a key component in next generation access: <https://www.lightwaveonline.com> [pristupljeno 2021].

Popis skraćenica

- 1G - First generation of mobile network
2G - Second generation of mobile network
3G - Third generation of mobile network
3GPP - 3rd Generation Partnership Project
4G - Fourth generation of mobile network
5G - Fifth generation of mobile network
5G NR - 5G New Radio
"A" - The interface between the base station subsystem and the network subsystem
AAS - Advanced Antenna System
Abis - Represents the interface between the base stations and base station controllers
АЕК - Агенција за електронски комуникации
AKOS - Agencija za komunikacijska omrežja in storitve
AN - Access Network
APON - ATM Passive Optical Network
ARIB - Association of Radio Industries and Businesses
ATIS - Alliance for Telecommunications Industry Solutions
ATM - Asynchronous Transfer Mode
AuC - Authentication Center
AV - Audiovizuelno
B2B - Business-to-Business
BBU - Base Band Unit
BCG - Boston Consulting Group
BDP - Bruto domaći proizvod
BPON - Broadband Passive Optical Network
BSC - Base Station Controller
Bss - Business support systems
BSS - Base Station Subsystem
BTS - Base Transceiver Station
CADB - Centralna administrativna baza prenesenih brojeva
CCSA - China Communications Standards Association
CDMA - Code Division Multiple Access
CG - Channel Group
CN - Core Network
CNN - Cable News Network
COVID-19 - Coronavirus disease 2019

CO - Central Office
CT - Channel Termination
CT in 3GPP - Core Network & Terminals
CP - Channel Pair
CE - Co-existence Element
C-RAN - Centralized Radio Access Network
CU - Central Unit
DASA - Daimler Chrysler Aerospace AG
DBA - Dynamic Bandwidth Allocation
DC - Dual-Carrier
DSL - Digital Subscriber Line
DU - Distributed Unit
DWDM - Dense Wavelength Division Multiplexed
EADS - European Aeronautic Defence and Space Company
EDGE - Enhanced Data rates for GSM Evolution
EIR - Equipment Identity Register
EKIP - Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost Crne Gore
ELF - Extremely Low Frequency
EM - Elektromagnetno
eMBB - enhanced Mobile Broadband
EMEA - Europe, the Middle East and Africa / Evropa, Bliski Istok i Afika
EPON - Ethernet Passive Optical Network
ETNO - European Telecommunications Network Operators' Association
ETSI - European Telecommunications Standards Institute
FB - Feeder Bridge
FBT - Fused Biconical Taper
FCC - Federal Communication Commission
FDMA - Frequency Division Multiple Access
FHD - Full HD, Full High Definition
FM - Frequency Modulation
FSAN - Full Service Access Network
FTTB - Fiber to the Building
FTTC - Fiber To The Curb
FTTCab - Fiber to the Cabinet
FTTH - Fiber to the Home
FTTK - Fiber To The Kerb
FTTx - Fiber to the x
GDP - Gross Domestic Product

GEM - GPON Encapsulated Method
GPON - Gigabit Passive Optical Network
GPRS - General Packet Radio Service
GSM - Global System for Mobile communications
HAKOM - Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti Hrvatske
HD - High Definition
HLR - Home Location Register
HSPA - High Speed Packet Access
HSPA+ - HSPA (Plus) / HSPAP / Evolved High Speed Packet Access
ICNIRP - International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection
ICT - Information and Communication Technology
IDC - International Data Corporation
IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMT-2020 - International Mobile Telecommunications-2020
IMT-Advanced - International Mobile Telecommunications Advanced
IMT-MC (IMT-Multi Carrier)
IoT - Internet of Things
IP - Internet Protocol
IR - Ionising Radiation
IR radiation - Infrared radiation / IC zračenje / Infracrveno zračenje / infracrvena svjetlost
ISDN - Integrated Services Digital Network
ISP - Internet Service Provider
IT - Information Technology
ITU - International Telecommunication Union
ITU-R - ITU Radiocommunication Sector
ITU-T - ITU Telecommunication Standardization Sector
JPTT - Zajednica jugoslovenskih pošta, telegrafa i telefona / Community of Yugoslav PTT
LTE - Long Term Evolution
LTE-A - LTE+, Long Term Evolution Advanced
M&A - Mergers and Acquisitions
M2M - Machine-to-Machine
MBB - Messerschmitt-Bölkow-Blohm GmbH
MDF - Main Distribution Frame
ME - Mobile Equipment
ME as a geopolitical term - Middle East
MFH - Mobile Fronthaul
mMTC - massive Machine Type Communication
MPLS - Multiprotocol Label Switching

MS - Mobile Station
MSC - Mobile Switching Center
N - North
NCP - Network Connection Point
NG-PON1 - Next Generation Passive Optical Network 1
NG-PON2 - Next Generation Passive Optical Network 2
NFV - Network Functions Virtualization
NFVI - Network Function Virtualization Infrastructure
NIR - Non-Ionising Radiation
NR - New Radio
NSA in NR phase 1 - Non Standalone
NSS - Network Subsystem / Network Switching Subsystem / GSM CN (GSM core network)
OA&M - Operations, administration and management
OAM - Operations, administration and maintenance
ODN - Optical Distribution Network
OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OLT - Optical Line Terminal
OLT CT - Optical Line Terminal Channel Termination
OLT TWDM - Optical Line Terminal Time and Wavelength Division Multiplexing
ONT - Optical Network Terminal
ONU - Optical Network Unit
OSS - Operations Support Systems / OpS - Operation System
OTDR - Optical Time Domain Reflectometer
P2MP, PTMP ili PMP - Point-to-Multipoint
Pay TV - naplatna televizija
PBX - Private Branch Exchange
PDA - Personal Digital Assistant
PLC - Planar Lightwave Circuit
PMD - Physical Medium Dependent
PON - Passive Optical Network
PSPDN - Packet Switched Public Data Network
POTS - Plain Old Telephone Service
PSTN - Public Switched Telephone Network
PtP ili P2P - Point-to-Point
PtP WDM - Point to Point Wavelength Division Multiplexing
PtP WDM-PON - Point to Point Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network
PTT - Pošta, Telegraf i Telefon
QoS - Quality of Service

RA - Radio Access
RAK - Regulatorna agencija za komunikacije Bosne i Hercegovine
RAN - Radio Access Network
RATEL - Regulatorna agencija za elektronske komunikacije i poštanske usluge Srbije
RF - Radio Frequency
RNC - Radio Network Controller
RR - Radio-Relajni
RRH - Remote Radio Head
RU - Radio Unit
S - South
SA in 3GPP - Services & Systems Aspects
SA in NR phase 2 - Standalone
SAR - Specific Absorption Rate
SD - Standard Definition
SD Access - Software Defined Access
SI - International System of Units
SIM - Subscriber Identify Module
SLA - Service Level Agreement
SMS - Short Message Service
SP - Switching Point
TC - Transmission Convergence
TCO - Total Cost of Ownership
TDM - Time Division Multiplex
TDM-PON - Time Division Multiplex Passive Optical Network
TDMA - Time Division Multiple Access
TK - Telekomunikacijski
TSDSI - Telecommunications Standards Development Society
TSG - Technical Specification Groups
TTA - Telecommunications Technology Association
TTC - Telecommunication Technology Committee
TWDM - Time and Wavelength Division Multiplexing
TWDM-PON - Time and Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network
UE - User Equipment
UM - Represents the radio link
UMTS - Universal Mobile Telecommunications Service
UPE - User Premises Equipment
URLLC - Ultra Reliable and Low Latency Communications
UTRAN - UMTS Terrestrial Radio Access Network

UV - Ultraviolet / Ultraljubičasto / Ultravioletno

VLR - Visitor Location Register

VoIP - Voice over Internet Protocol

WDM - Wavelength Division Multiplexing

WDM-PON - Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network

WHO - World Health Organization

WiMAX - Worldwide Interoperability for Microwave Access

WM1 - Wavelength Multiplexer 1

WM - Wavelength Multiplexer / Wavelength Mux

XG-PON - 10-Gigabit Passive Optical Network (ITU-T G.987-series)

Popis tabela

Tabela broj 1. Komparacija metoda FDMA, TDMA i CDMA	26
Tabela broj 2. Sličnosti LTE i WiMAX	29
Tabela broj 3. Poređenje rasta fiksne širokopojasne mreže Hong Konga sa zemljama u regiji	32
Tabela broj 4. Poređenje brzina 4G LTE, 4G i 5G	36
Tabela broj 5. Poređenje latencija 2G, 3G, 4G i 5G	37
Tabela broj 6. Uređaji koji podržavaju RantCell	42
Tabela broj 7. Osnovna podjela zračenja	50
Tabela broj 8. Karakteristike nejonizujućih zračenja	60
Tabela broj 9. Analizirani mogući biološki efekti i energija fotona za nejonizujuća zračenja	62
Tabela broj 10. Analizirana interakcija EM polja i ljudskog tijela	64
Tabela broj 11. Analizirane vrijednosti veličina za mišićno tkivo	65
Tabela broj 12. Stanje telekomunikacijskih usluga sa Pay TV u svijetu (2017.-2020.)	75
Tabela broj 13. Prihodi telekomunikacijskih usluga u BiH (2016.-2020.)	78
Tabela broj 14. Broj korisnika telekomunikacijskih usluga u BiH (2016.-2020.)	79
Tabela broj 15. Vrijednost telekomunikacijskog tržišta u BiH (2010.-2020.)	82
Tabela broj 16. Tipični gubici za razdjelnike	87
Tabela broj 17. Specifikacija BPON tehnologije	89
Tabela broj 18. Specifikacija GPON tehnologije	89
Tabela broj 19. Specifikacija EPON tehnologije	90
Tabela broj 20. Evolucija osnovnih standarda za optički pristup	92
Tabela broj 21. Podržane kombinacije nominalne brzine linije OLT CT u TWDM-PON	101
Tabela broj 22. Podržane kombinacije nominalne brzine linije ONU u TWDM-PON	102
Tabela broj 23. Kombinacije nominalne brzine linije u PtP WDM kanalu	103

Popis slika

Slika broj 1. Optički telegraf	5
Slika broj 2. Morzeov telegraf sa azbukom desno	6
Slika broj 3. Lijevo: Echo 1, desno: komunikacijski satelit Молния	6
Slika broj 4. Razvoj komunikacije	6
Slika broj 5. Lijevo: C. Chappe, sredina: S. Morse, desno: G. Bell	7
Slika broj 6. Lijevo: J. Henry, sredina: J. C. Maxwell, desno: H. Hertz	7
Slika broj 7. Guglielmo Marconi sa patentom	7
Slika broj 8. Opšti model komunikacijskog sistema	13
Slika broj 9. Detaljniji model komunikacijskog sistema	14
Slika broj 10. Komunikacijska mreža	15
Slika broj 11. Broj spojenih komunikacijskih puteva: a) $L = N \cdot (N - 1) / 2$, b) $L = N$	16
Slika broj 12. Komponente telekomunikacijske mreže	17
Slika broj 13. Segmentacija telekomunikacijske mreže	18
Slika broj 14. Arhitektura jezgrene mreže	19
Slika broj 15. Standardna sučelja	19
Slika broj 16. Povezivanje lokacija krajnjih korisnika usluge	20
Slika broj 17. Pristupna mreža	21
Slika broj 18. Struktura GSM mreže	25
Slika broj 19. Struktura UMTS mreže	27
Slika broj 20. Komponente VoIP mreže	28
Slika broj 21. Arhitektura 4G mreže	30
Slika broj 22. Put podataka od pošiljatelja do primatelja koristeći 4G LTE	31
Slika broj 23. Fiksna širokopojasna mreža Hong Konga	32
Slika broj 24. Funkcionalno povezana zajednica u 5G sistemu	34
Slika broj 25. Pokretači 5G tehnologije	36
Slika broj 26. Brzine u evoluciji podatkovnih usluga počev od 3,5G	37
Slika broj 27. Poređenje frekvencijskog spektra 4G i 5G	39
Slika broj 28. Kontinuirana veza rada 4G i 5G	39
Slika broj 29. Arhitektura 5G mreže	40
Slika broj 30. Prvo 5G testiranje na svijetu u Yokohami, Japan	41
Slika broj 31. Detaljan vremenski raspored i proces IMT-2020 u ITU-R	43
Slika broj 32. Vremenski okvir izdanja 3GPP za 5G	44
Slika broj 33. Mreža malih ćelija za 5G komunikaciju	45
Slika broj 34. Ključna razlika između 4G i 5G antenske tehnologije	45
Slika broj 35. Evolucijski put tehnologije baznih stanica kroz tri slučaja	46
Slika broj 36. Bazne stanice i male ćelije	46
Slika broj 37. Mobilni uređaji za 5G mrežu	47
Slika broj 38. GSMA mapa	48
Slika broj 39. Prodiranje zračenja	51
Slika broj 40. Štetna zračenja	52
Slika broj 41. Linije magnetnog polja oko magneta	55
Slika broj 42. Djelovanje q naelektrisanja na probno naelektrisanje q_0	56
Slika broj 43. Elektromagnetni talasi	57
Slika broj 44. Nikola Tesla i brod na daljinsko upravljanje	58
Slika broj 45. EM spektar zračenja i mogući biološki efekti	61
Slika broj 46. Znak opasnosti od nejonizujućeg zračenja	61
Slika broj 47. Skica položaja antene i okolnih objekata pri određivanju kritičnih tačaka	63

Slika broj 48. Lanac vrijednosti informacijske i komunikacijske tehnologije	72
Slika broj 49. Kružni tok u privredi	74
Slika broj 50. Kretanje broja pretplatnika fiksne telefonije u BiH (2016.-2020.)	79
Slika broj 51. Kretanje broja korisnika mobilne telefonije u BiH (2016.-2020.)	80
Slika broj 52. Kretanje broja pretplatnika širokopojasnog interneta u BiH (2016.-2020.)	80
Slika broj 53. Tržišno učešće operatera - Fiksna telefonija (2018.-2020.)	81
Slika broj 54. Tržišno učešće operatera - Mobilna telefonija (2018.-2020.)	81
Slika broj 55. Pouzdanost predviđanja	85
Slika broj 56. Arhitektura PON mreže	86
Slika broj 57. TDM-PON	88
Slika broj 58. Koegzistencija GPON sa NG-PON2	91
Slika broj 59. Upravljanje kapacitetom na zahtjev	91
Slika broj 60. Razvoj standarda mrežne infrastrukture od GPON do NG-PON2	93
Slika broj 61. NG-PON2 referentna logička arhitektura	94
Slika broj 62. Glavni gradivni elementi (blokovi) NG-PON2	95
Slika broj 63. Dijeljenje jednog ODN-a (pomoću WDM) od strane više NG-PON2 λ -podmreža	96
Slika broj 64. Primijena C-RAN s PON-om	98
Slika broj 65. Analizirani pravci kretanja korisnika prema području Marijin Dvora	105
Slika broj 66. Analiza podrške PON-a za mobilne sisteme	106

B I O G R A F I J A



Adilović (Hazim) Amir

Adresa stanovanja: **Bosanska 34/4, 72 270 Travnik, BiH**



Kontakt: + 387 (0) 62 490 549



E-mail: sjaj_m@hotmail.com

Amir Adilović je rođen 27. aprila 1982. godine u Travniku. Odrastao u Novom Travniku, gdje je stekao osnovno i srednješkolsko obrazovanje, kao nosilac diplome "Učenik generacije Mašinsko tehničke škole". Diplomirao je na odsjeku Komunikacije Fakulteta za saobraćaj i komunikacije Univerziteta u Sarajevu na temu „Mjere za poboljšanje telekomunikacijskog saobraćaja regionalne direkcije Travnik i strateški pravci razvoja” pod mentorstvom prof.dr Himze Bajrića. Na smjeru Drumski i gradski saobraćaj Fakulteta za privrednu i tehničku logistiku Univerziteta u Travniku diplomirao je na temu „Strategija razvoja drumskog saobraćaja na području opštine Travnik” pod mentorstvom prof.dr Ibrahima Jusufrića.

Položio je pedagoško-psihološko-metodičko-didaktičku grupu predmeta.

U sklopu studija obavio je praktičnu nastavu u: DPU Travnik trans d.o.o. Travnik i BH Telekom d.d. Sarajevo-Direkcija Travnik.

Radio je u: Informativnom časopisu STUDENT-Sarajevo, Ministarstvu privrede Srednjobosanskog kantona-Inspekcija MP u Travniku i Centru za obrazovanje odraslih-Travnik.

Zaposlen je u BNT-Tvornica mašina i hidraulike d.d. Novi Travnik. Neki od projekata u kojima je učestvovao: vođa Profitnog centra za Laboratoriju (poboljšanje postojećeg stanja ispitne i kalibracione laboratorije, aktiviranje laboratorije za metalografska ispitivanja i laboratorije za hemijska i hemijsko-fizikalna ispitivanja); član komisije za kreiranje Analize istraživanja tržišta u smislu potrebe za određenim artiklima, tehnološkim postupcima koje je potrebno aktivirati u Profitnim centrima BNT-TMiH d.d. Novi Travnik.

Član je Inženjerske komore Federacije Bosne i Hercegovine (IK FBiH) - Matična sekcija inženjera automatike, elektronike i telekomunikacija.

УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ
ПОДАЦИ О АУТОРУ ОДБРАЊЕНОГ МАСТЕР/МАГИСТАРСКОГ РАДА

Име и презиме аутора мастер/магистарског рада: **Амир Адиловић**

Датум, мјесто и држава рођења аутора: **27.04.1982, Травник, Босна и Херцеговина**

Назив завршеног факултета/Академије аутора и година дипломирања: **Факултет за саобраћај и комуникације Универзитета у Сарајеву, 2012. године**

Датум одбране завршног/дипломског рада аутора: **12.07.2012.**

Наслов завршног/дипломског рада аутора: **Мјере за побољшање телекомуникацијског саобраћаја регионалне дирекције Травник и стратетешки правци развоја**

Академско звање коју је аутор стекао одбраном завршног/дипломског рада:

Дипломирани инжењер саобраћаја и комуникација

Академско звање које је аутор стекао одбраном мастер/магистарског рада:

Мастер електротехнике - 300 ECTS - Електроника и телекомуникације

Назив факултета/Академије на коме је мастер/магистарски рад одбрањен:

Електротехнички факултет Универзитета у Бањој Луци

Наслов мастер/магистарског рада и датум одбране: **Пасивна оптичка мрежа нове генерације NG-PON2 као подршка за 5G мобилне системе, 20.05.2022.**

Научна област мастер/магистарског рада према CERIF шифрарнику:

T170 - Електроника, T180 - Телекомуникациони инжењеринг

Имена ментора и чланова комисије за одбрану мастер/магистарског рада:

Проф. др Славко Шајић, предсједник

Проф. др Едвин Шкаљо, ментор

Доц. др Јован Галић, члан

У Бањој Луци, дана 13.05.2022.

Декан



ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

**Изјављујем да је
мастер/магистарски рад**

Наслов рада:

Пасивна оптичка мрежа нове генерације NG-PON2 као подршка за 5G мобилне системе

Наслов рада на енглеском језику:

Next generation passive optical network NG-PON2 to support 5G mobile systems

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да мастер/магистарски рад, у цјелини или у дијеловима, није био предложен за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

У Бањој Луци, 15.03.2022.

Потпис кандидата



**Изјава којом се овлашћује Електротехнички факултет
Универзитета у Бањој Луци да мастер/магистарски рад учини јавно доступним**

Овлашћујем Електротехнички факултет Универзитета у Бањој Луци
да мој мастер/магистарски рад, под насловом:

Пасивна оптичка мрежа нове генерације NG-PON2 као подршка за 5G мобилне системе

који је моје ауторско дјело, учини јавно доступним.

Мастер/магистарски рад са свим прилозима предао сам у електронском формату,
погодном за трајно архивирање.

Мој мастер/магистарски рад, похрањен у д и г и т а л н и р е п о з и т о р и ј у м Универзитета
у Бањој Луци, могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце
Креативне заједнице (*Creative Commons*), за коју сам се одлучио.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство - некомерцијално - без прераде
4. Ауторство - некомерцијално - дијелити под истим условима
5. Ауторство - без прераде
6. Ауторство - дијелити под истим условима

У Бањој Луци, 15.03.2022.

Потпис кандидата



Изјава 3

**Изјава о идентичности штампане и електронске верзије
мастер/магистарског рада**

Име и презиме аутора:

Амир Адиловић

Наслов рада:

Пасивна оптичка мрежа нове генерације NG-PON2 као подршка за 5G мобилне системе

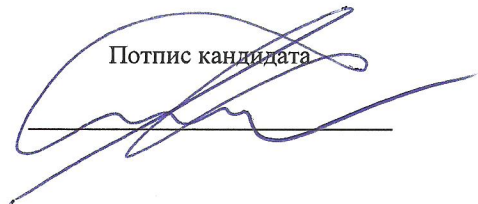
Ментор:

Проф.др Едвин Шкаљо

Изјављујем да је штампана верзија мог мастер/магистарског рада идентична електронској верзији коју сам предао за дигитални репозиторијум Универзитета у Бањој Луци.

У Бањој Луци, 15.03.2022.

Потпис кандидата



УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ
Патре 5
78000 Бања Лука

УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ	
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ	
БАЊА ЛУКА	
Број:	137
Датум:	28.2.2022.

Др Славко Шајић, ванредни професор
Универзитет у Бањој Луци, Електротехнички факултет

Др Едвин Шкаљо, ванредни професор
Универзитет у Сарајеву, Природно-математички факултет

Др Јован Галић, доцент
Универзитет у Бањој Луци, Електротехнички факултет

НАУЧНО-НАСТАВНОМ ВИЈЕЋУ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БАЊОЈ ЛУЦИ

Одлуком Наставно-научног вијећа Електротехничког факултета Универзитета у Бањој Луци број 20/3.224-5/20 од 25.03.2020. године, именовани смо за чланове Комисије за завршни рад II циклуса студија кандидата Амира Адиловића, дипл.инж. саоб. и ком., под називом „Пасивна оптичка мрежа нове генерације NG-PON2 као подршка за 5G мобилне системе“. Након прегледа приложеног рада подносимо следећи

ИЗВЈЕШТАЈ

1. БИОГРАФСКИ ПОДАЦИ КАНДИДАТА

Амир (Хазим) Адиловић је рођен 27. априла 1982. године у Травнику. Одрастао је у Новом Травнику, гдје је стекао основно и средњешколско образовање, као носилац дипломе "Ученик генерације Машинско техничке школе".

Уписао је 2001. године Факултет за саобраћај и комуникације Универзитета у Сарајеву, одсјек Комуникације као редован студент петогодишњег студија према моделу студирања за VII (седми) степен стручне спреме, гдје дипломира на тему: *Мјере за побољшање телекомуникацијског саобраћаја регионалне дирекције Травник и стратешки правци развоја*, те стиче звање: дипломирани инжењер саобраћаја и комуникација.

Године 2008. уписује Факултет за привредну и техничку логистику Универзитета у Травнику, смјер Друмски и градски саобраћај као ванредан студент трогодишњег студија према моделу студирања за I (први) циклус, гдје дипломира на тему: *Стратегија развоја друмског саобраћаја на подручју општине Травник*, те стиче звање: *Bachelor* инжењер привредне и техничке логистике.

У склопу студија обавио је практичну наставу у: ДПУ Травник транс д.о.о. Травник и БХ Телеком д.д. Сарајево - Дирекција Травник.

Радио је у: Информативном часопису СТУДЕНТ - Сарајево, Министарству привреде Средњобосанског кантона - Инспекција МП у Травнику и Центру за образовање одраслих - Травник.

Запослен је у БНТ-Творница машина и хидраулике д.д. Нови Травник. Неки од пројеката у којима је учествовао: вођа Профитног центра за Лабораторију (побољшање постојећег стања испитне и калибрационе лабораторије, активирање лабораторије за металграфска испитивања и лабораторије за хемијска и хемијско-физикална испитивања); члан комисије за креирање Анализе истраживања тржишта у смислу потребе за одређеним артиклима, технолошким поступцима које је потребно активирати у Профитним центрима БНТ-ТМиХ д.д. Нови Травник.

Члан је Инжењерске коморе ФБиХ - Матична секција инжењера аутоматике, електронике и телекомуникација.

Објављени радови кандидата:

- [1] Амир Адилковић, Едвин Шкало: „Очекивана побољшања мобилних система увођењем 5G технологије у телекомуникацијској индустрији мобилних система“, Међународни научни скуп НОВИ ХОРИЗОНТИ 2021, Добој, Република Српска, Босна и Херцеговина, 2021.

2. ОСНОВНИ ПОДАЦИ О РАДУ

Завршни рад II циклуса студија кандидата Амира Адилковића, дипл.инж.саоб. и ком., под називом „Пасивна оптичка мрежа нове генерације NG-PON2 као подршка за 5G мобилне системе“ садржи 130 страница, 66 слика, 23 табеле, 167 референци, као и прилог са пописом скраћеница, табела и слика.

Рад је организован у 7 глава:

1. Уводна разматрања
2. Обилежја телекомуникацијске приступне мреже
3. Тренд мобилне мреже 5G
4. Пасивна оптичка мрежа нове генерације NG-PON2

5. 5G мобилна технологија са посебним акцентом на NG-PON2

6. Симулација NG-PON2 за 5G

7. Закључак

Прва глава, *Уводна разматрања*, даје кратак преглед потребе за 5G и NG-PON2 технологијом. Указује се на анализирање предности и недостатака развоја ТК сектора на свјетском нивоу и потребом за проналажењем начина за оптимизацију њихових рјешења и да циљ буде утврђивање повезаности и откривање узрочних односа употребе NG-PON2 технологије у транспортном дијелу 5G мреже.

Друга глава, *Обиљежја телекомуникацијске приступне мреже*, садржи опис обиљежја која дефинишу приступну мрежу при чему се приступа теоријском дијелу кроз: дефинисање основних појмова, развојна обиљежја, описна схватања ТК приступне мреже (инфраструктуру телекомуникација, комуникацијски систем, комуникацијску мрежу "компоненте и структура ТК мреже, језгрена мрежа, ТК приступна мрежа, врсте ТК мрежа") и регулаторна агенција и дозволе.

Трећа глава, *Тренд мобилне мреже 5G*, садржи опис пете генерације мобилних телекомуникација (5G). Презентована је еволуција мобилних ТК система као приказ стања генерација мобилних телекомуникација, утицај ЕМ зрачења мобилних система на људско здравље и телекомуникационо тржиште мобилних технологија.

Четврта глава, *Пасивна оптичка мрежа нове генерације NG-PON2*, описује пасивну оптичку мрежу нове нове генерације 2. Приказан је еволуцијски пут од GPON до NG-PON2, основне карактеристике NG-PON2 (мобилност таласне дужине "wavelength mobility", везивање канала "channel bonding", конвергенција услуге "service convergence"), техничко-технолошки елементи NG-PON2 и апликације NG-PON2.

Пета глава, *5G мобилна технологија са посебним акцентом на NG-PON2*, приказује постизање техничко-економског рјешења за 5G са NG-PON2. Указано је на централизовану радио-приступну мрежу (C-RAN) с дистрибуираном јединицом (DU) и централном јединицом (CU) у својству кориштења као архитектуре базне станице за исплативу приступну мрежу. Затим се описује C-RAN архитектура и анализира оправданост NG-PON2 за 5G као подршка за мобилне, пословне и стамбене услуге.

Шеста глава, *Симулација NG-PON2 за 5G*, садржи опис TWDM-PON и WDM-PON технологије, и анализира модел симулације студије случаја који детаљно анализира понашање NG-PON2 за 5G мобилне системе.

Седма глава, *Закључак*, формулише закључке истраживања кроз: предности 5G у односу на претходне генерације (већа брзина, ниска латенција, фреквенцијски опсег који опслужује више уређаја и троши мање енергије), конкурентност на глобалном тржишту, ефикасност пословања ТК оператера и позитивна оправданост NG-PON2 технологије као подршке за 5G кроз TWDM-PON и PtP WDM-PON технологије.

3. АНАЛИЗА И НАЈВАЖНИЈИ ДОПРИНОСИ

Пета генерација мобилних система (5G) ће обезбиједити већу пропусност, изузетно ниску латенцију, гарантовану поузданост и припадајуће рачунарске ресурсе за имплементацију дигиталних рјешења у различитим подручјима привреде. 5G мреже пружаће нови квалитет дигиталних услуга становништву, пословању и држави те придонијети развоју дигиталне економије. Технологија која се брзо развија и која највише обећава за широкопојасни мултисервисни приступ преко оптичког влакна је пасивна оптичка мрежа (PON). Суштина PON технологије је у чињеници да је дистрибутивна мрежа изграђена без употребе активних компоненти. Трендови у развоју комуникацијских услуга анализом карактеристика PON технологија за дугорочне планове везане за испуњавање захтјева оператера проналазе рјешење у пасивној оптичкој мрежи нове генерације (NG-PON). Први у индустрији пасивни оптички мрежни систем са више таласних дужина (по смјеру), заснован на стандардима који је компатибилан са оптичким дистрибутивним мрежама са раздвојеним напајањем је NG-PON2. Пасивна оптичка мрежа нове генерације 2 (NG-PON2) је алат који ће омогућити жичним и бежичним мрежама да искористе постојећу PON инфраструктуру како би задовољиле незаситу потребу за пропусношћу. Двије технологије у NG-PON2 стандардима су: TWDM-PON (обећава рјешење за испуњавање захтјева веће пропусности NG-PON2) и PtP WDM-PON (подржава спектралну флексибилност). Телекомуникациони сектор ослања се на мрежну технологију темељену на оптичким влакнима за пружање 5G услуга, који захтијевају ниску латенцију и веће брзине, а NG-PON2 технологија томе одговара.

Разматрајући завршни рад II циклуса студија кандидата Амира Адиловића, Комисија је закључила да достављени рад на преглед својим садржајем, оствареним резултатима и закључцима испуњава критеријуме који се захтијевају за завршни рад II циклуса студија.

Кандидат Амир Адиловић провео је детаљну теоријску анализу пасивних оптичких мрежа нове генерације и 5G мреже с посебним освртом на NG-PON2 као и симулацију, а истраживањем је јасно показао способност и зрелост да систематизира материју из области истраживања, да прикупи податке, те изврши корисну симулацију и тиме да јасан научни допринос.

Проведено истраживање је актуелно и корисно за стручну и научну заједницу.

Комисија констатује да је рад написан у складу са образложењем у пријави теме, као и да су остварени резултати планирани у истој. Узимајући у обзир спроведене анализе у оквиру рада, Комисија сматра да су најважнији сљедећи доприноси:

1. Анализирана је фиксна и мобилна мрежа са становишта тренутних и будућих захтјева корисника и тржишта са јасно указаним потребама за услугом 5G генерације мобилних телекомуникација и препоруке NG-PON2 оправданих квалитетом, економичношћу, брзином, латенцијом и фреквенцијским спектром.

2. Дата је детаљна анализа 5G технологије кроз развој мобилних телекомуникација, основне карактеристике као и техничко – технолошке елементе 5G мобилних система и транспортних мрежа, његову употребу и очекивања, медицински аспект ЕМ зрачења мобилних система, стање телекомуникационог тржишта мобилних технологија и заинтересованости корисника услуга, што указује на позитивне резултате са услугом 5G генерације мобилних телекомуникација.
3. Демонстрирано је успјешно рјешавање потенцијалног загушења механизмима NG-PON2 мреже кориштењем мобилности таласне дужине и везивања канала у виду додавања додатног пропусног опсега од 10 Gbit/s у времену краћем од 20 ms.
4. Проведеном симулацијом јасно је показана оправданост NG-PON2 технологије као подршке 5G мобилним сиситемима.

4. ЗАКЉУЧАК И ПРИЈЕДЛОГ

Комисија сматра да завршни рад II циклуса студија под називом „Пасивна оптичка мрежа нове генерације NG-PON2 као подршка за 5G мобилне системе“ кандидата Амира Адиловића, дипл.инж.саоб. и ком. садржи све потребне елементе и резултате којима су остварени постављени циљеви истраживања, те предлаже Научно-наставном вијећу Електротехничког факултета Универзитета у Бањој Луци да усвоји извјештај Комисије и одобри заказивање усмене јавне одбране.

Бања Лука, Сарајево, фебруар 2022. године

Комисија:

Проф. др Славко Шajiћ, предсједник



Проф. др Едвин Шкаљo, ментор



Доц. др Јован Галић, члан