

Analiza rezultata mjerenja jakosti električnog polja izračenog iz G.fast2 parične telekomunikacijske infrastrukture

Budiša, Domagoj

Postgraduate specialist thesis / Završni specijalistički

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:487401>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-02**

Repository / Repozitorij:

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



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

Domagoj Budiša, dipl. ing. el.

**ANALIZA REZULTATA MJERENJA JAKOSTI ELEKTRIČNOG
POLJA IZRAČENOG IZ G.FAST2 PARIČNE
TELEKOMUNIKACIJSKE INFRASTRUKTURE**

Specijalistički rad

Osijek, listopad 2024.

Mentor: prof. dr. sc. Marijan Herceg

Sumentor: doc. dr. sc. Josip Milanović

Specijalistički rad ima: 69 stranica

Datum obrane rada: 25.10.2024.

Specijalistički rad br.: 18

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. PREGLED POSTOJEĆIH RADOVA IZ PODRUČJA	3
3. ŠIROKOPOJASNE TEHNOLOGIJE ZA PRIJENOS PODATAKA	5
3.1. ADSL tehnologija.....	6
3.1.1. ADSL2 i ADSL2plus	8
3.2. VDSL	9
3.3. VDSL2	11
3.4. Novije generacije G.fast tehnologije.....	13
3.4.1. Prednosti G.fast tehnologije	14
3.5. Namjena radiofrekvencijskih pojaseva.....	15
4. MEĐUNARODNA ZAKONSKA REGULATIVA.....	18
4.1. ITU-T K.60.....	18
4.2. ECC preporuka (05)04.....	19
5. TELEKOMUNIKACIJSKA INFRASTRUKTURA.....	21
5.1. TK33U telekomunikacijski kabel.....	21
5.2. UTP cat5e telekomunikacijski kabel	22
5.3. UTP cat6 telekomunikacijski kabel	23
5.4. UTP cat7 telekomunikacijski kabel.....	23
5.5. Zračenje uvijene bakrene parice	24
6. ANALIZA IZMJERENIH VRIJEDNOSTI JAKOSTI IZRAČENOG ELEKTRIČNOG POLJA KOD G.FAST2 TEHNOLOGIJE	27
6.1. Određivanje referentne razine jakosti izračenog električnog polja	30
6.2. Usporedba razine jakosti izračenog električnog polja G.fast2 tehnologije s obzirom na polarizaciju antene	32
6.3. Analiza utjecaja promjene izlazne snage DSLAM uređaja na razinu jakosti izračenog električnog polja u G.fast2 tehnologiji.....	33
6.4. Analiza utjecaja isključivanja podnosioca G.fast2 signala na jakost izračenog električnog polja	34
6.5. Analiza usporedbe jakosti električno polje G.fast2 spektra za TK33U i UTP cat5e kabela	38
6.6. Usporedba rezultata mjerenja jakosti izračenog električnog polja kada je DSLAM unutar i izvan komore kod G.fast2 tehnologije	39
6.7. Analiza utjecaja suženog frekvencijskog spektra na jakost izračenog električnog polja kod G.fast2 tehnologije	40

6.8. Analiza utjecaja promjene izlazne snage DSLAM uređaja na jakost izračenog električnog polja za UTP cat5e kabela kod G.fast2 tehnologije	42
6.9. Analiza utjecaja promjene izlazne snage DSLAM uređaja na jakost izračenog električnog polja za UTP cat6 kabela kod G.fast2 tehnologije	45
6.10. Analiza utjecaja promjene izlazne snage DSLAM uređaja na jakost izračenog električnog polja za UTP cat7 kabela kod G.fast2 tehnologije	47
6.11. Analiza utjecaja zračenja modema na ukupnu razinu izračenog električnog polja za UTP cat6 kabel kod G.fast2 tehnologije	49
6.12. Analiza jakosti izračenog električnog polja kod svih korištenih kabela kada se njima prenosi G.fast2 signal	51
7. ZAKLJUČAK	53
LITERATURA	54
SAŽETAK	57
ABSTRACT	58
ŽIVOTOPIS.....	59
PRILOZI.....	60

1. UVOD

G.fast profil 212a je širokopojasna tehnologija prijenosa podataka novije generacije koja se odlikuje jednostavnošću implementacije uz ostvarenje velikih brzina prijenosa podataka, što je danas jedan od prioritarnih zahtjeva krajnjih korisnika. Jednostavnost implementacije posljedica je činjenice da G.fast2 tehnologija za prijenos signala koristi postojeću paričnu telekomunikacijsku infrastrukturu, a velika brzina prijenosa podataka, u odnosu na širokopojasne sustave starije generacije, kao što su asimetrična digitalna pretplatnička linija (engl. *asymmetric digital subscriber line* - ADSL) i digitalna pretplatnička linija vrlo velike brzine prijenosa (engl. *very high bit rate DSL* - VDSL), ostvarena je korištenjem šireg frekvencijskog spektra (do 212 MHz). Upravo kombinacija prethodno navedenih odlika G.fast2 tehnologije uzrokuje neke nedostatke koji u znatnoj mjeri mogu utjecati na primjenu spomenute tehnologije. Naime, postojeća telekomunikacijska infrastruktura koja je trenutno u primjeni u velikom broju kućanstava uglavnom nije dizajnirana za prijenos signala na frekvencijama koje koristi G.fast2 tehnologija, što ju čini potencijalnim uzrokom smetnje drugim radijskim sustavima koji rade u istom dijelu frekvencijskog spektra kao i G.fast2 tehnologija.

Osnovni je cilj ovog specijalističkog rada usporediti mjerenja jakosti izračenog električnog polja telekomunikacijskih kabela s graničnim vrijednostima jakosti izračenog električnog polja koje je propisala Međunarodna telekomunikacijska organizacija (engl. *International telecommunication union* – ITU), standardom ITU-T K.60 kada istim prolazi G.fast2 signal. Dodatno, s ciljem analize utjecaja dizajna kabela na iznos zračenja, mjerenje jakosti izračenog električnog polja provedeno je za različite tipove telekomunikacijskih kabela. Osnovni kriterij za odabir telekomunikacijskih kabela koji su korišteni pri analizi jakosti izračenog električnog polja bio je dizajn kabela u smislu izolacije, plašta i broja parica te zastupljenost istih u postojećoj telekomunikacijskoj infrastrukturi korisnika.

U ovom specijalističkom radu opisane su vrste širokopojasnih tehnologija, osnovne karakteristike te njihova primjena s naglaskom na G.fast2 tehnologiju. Budući da telekomunikacijska infrastruktura koja se uglavnom koristi u RH nije predviđena za prijenos podataka na visokim frekvencijama koje koristi G.fast2 tehnologija, u ovom je specijalističkom radu za potrebe analize korištena preporuka Međunarodne telekomunikacijske unije - ITU-T K.60 [1] u kojoj je definirano maksimalno zračenje za parične telekomunikacijske mreže.

Rad je strukturiran na sljedeći način. U drugom poglavlju dan je pregled postojećih radova iz područja G.fast tehnologije, zatim je dan pregled radova koji se bave zračenjem telekomunikacijske infrastrukture kada se njome prenosi G.fast signal te interakcija s VDSL

tehnologijom. U trećem je poglavlju dan pregled širokopolasnih tehnologija za prijenos podataka, a u četvrtom je opisana preporuka graničnih vrijednosti električnog zračenja. U petom je poglavlju opisana telekomunikacijska infrastruktura te su u šestom poglavlju analizirane izmjerene vrijednosti jakosti izračenog električnog polja iz telekomunikacijskih kabela kada istim prolazi G.fast2 signal. Zaključak je dan u zadnjem poglavlju ovoga rada.

2. PREGLED POSTOJEĆIH RADOVA IZ PODRUČJA

U radu [2] napravljen je opsežan pregled naprednih metoda obrade signala koje omogućuju gigabitne brzine prijenosa podataka putem G.fast tehnologije, s naglaskom na izazove preslušavanja i smetnje koje nastaju zbog korištenja viših frekvencija. Obrada signala igra ključnu ulogu u održavanju kvalitete komunikacija putem bakrenih kabela koji su dizajnirani za niže frekvencije. G.fast, nasuprot tome, koristi širi frekvencijski opseg do 212 MHz kako bi omogućio gigabitne brzine, ali uzrokuje i probleme kao što je pojačano preslušavanje između parica unutar istog kabela. Također, G.fast koristi tehniku diskretne višetonske modulacije koja podjelom frekvencijskog spektra na podkanale smanjuje utjecaj frekvencijskih smetnji. Metodologije obrade signala opisane u ovom radu pružaju dublje razumijevanje izazova vezanih uz elektromagnetske smetnje i preslušavanje, što je izravno povezano s analizom zračenja iz G.fast2 infrastrukture. Kako G.fast2 koristi visoke frekvencije, problem zračenja i smetnji postaje izrazitiji te je potrebno pažljivo analizirati kako različite vrste kabela i tehnike obrade signala mogu ublažiti te smetnje. Zaključno, rad pokazuje da su napredne tehnike obrade signala ključne za omogućavanje visokih brzina prijenosa podataka u sustavima kao što je G.fast. Ove tehnike također omogućavaju smanjenje elektromagnetskih emisija i optimizaciju performansi sustava, što je od velike važnosti u telekomunikacijskoj infrastrukturi koja koristi bakrene parice.

U radu [3] napravljena je analiza međusobne interakcije između G.fast i VDSL tehnologija u situacijama kada su obje tehnologije istovremeno aktivne unutar iste telekomunikacijske infrastrukture. Zbog bliskih frekvencijskih opsega koje koriste obje tehnologije, postoji visok rizik od elektromagnetske interferencije (engl. *electromagnetic interference* - EMI), što može negativno utjecati na kvalitetu prijenosa podataka. Eksperimentalna analiza opisana u radu obuhvaća različite scenarije prijenosa te ispituje emisije zračenja kako bi se identificirali ključni čimbenici koji doprinose interferenciji između ovih dvaju sustava. Među predloženim tehničkim mjerama za smanjenje interferencije u radu se spominje primjena smanjenja izlazne snage uređaja koji služe za prijenos signala kod G.fast2 tehnologije, implementacija dinamičkog upravljanja snagom radi smanjenja zračenja te poboljšanje kabelaške izolacije radi smanjivanja emisije elektromagnetskih valova. Autori zaključuju da je uspješna koegzistencija G.fast i VDSL tehnologija moguća, ali zahtijeva preciznu regulaciju i primjenu predloženih mjera kako bi se zadržala usklađenost s ITU-T standardima te minimalizirala elektromagnetska interferencija u mrežnim okruženjima.

U radu [4] napravljena je analiza G.fast tehnologije, odnosno njezine uloge u razvoju gigabitnog društva i doprinos širokopojsnim mrežama u suvremenom svijetu. Tehnologija G.fast, koju je odobrio ITU 2014. godine, ističe se kao jedan od učinkovitijih načina za pružanje gigabitnih

brzina korisnicima bez potrebe za potpunim prelaskom na optičke mreže. Ono što je posebno značajno u ovom radu jest prikaz G.fast-a kao „mosta“ između trenutne infrastrukture, koja se u velikoj mjeri oslanja na bakrene telekomunikacijske kabele, i nadolazeće potpuno optičke mreže. U ekonomskom pogledu, u radu su dani konkretni primjeri poput grada Chattanooga (Sjedinjene Američke Države), gdje je uvođenje gigabitnih mreža izravno utjecalo na smanjenje stope nezaposlenosti i gospodarski rast. Ovo je važan dokaz kako gigabitne mreže ne samo da odgovaraju na rastuće potrebe za podacima, već i potiču širi društveno-ekonomski razvoj. Tehnološki napredak koji donosi G.fast omogućuje fleksibilnije upravljanje mrežnim resursima i poboljšava korisničko iskustvo kroz dinamičku raspodjelu kapaciteta. Ovaj tehnološki aspekt dodatno povećava privlačnost G.fast tehnologije jer omogućuje brže prilagođavanje mreže potrebama korisnika u stvarnom vremenu, osiguravajući simetrične usluge. Zaključno, G.fast tehnologija ključna je za ubrzani razvoj gigabitnog društva. U radu se navodi praktično i ekonomski isplativo rješenje za proširenje gigabitnih brzina na globalnoj razini, posebno u područjima gdje potpuna optička infrastruktura nije izvediva. U radu je pokazano da će, zahvaljujući fleksibilnosti, brzini implementacije i relativno niskim troškovima, G.fast imati ključnu ulogu u digitalnoj transformaciji i prelasku na gigabitno društvo u nadolazećim godinama.

3. ŠIROKOPOJASNE TEHNOLOGIJE ZA PRIJENOS PODATAKA

Javno komutirana telefonska mreža (engl. *public switched telephone network* - PSTN) je javna telefonska mreža koja je prvenstveno namijenjena prijenosu govora. Razvojem tehnologije i potrebom za bržim prijenosom podataka s vremenom je postalo evidentno da se komutirana telefonska mreža može koristiti i za prijenos podataka koji bi uvelike olakšao i ubrzao svakodnevne poslovne procese.

Prva međunarodna veza između čvora Hrvatske akademske i istraživačke mreže (CARNET) u Zagrebu i telekomunikacijskog čvora u Beču ostvarena je sredinom listopada 1992. godine, čime počinje novo telekomunikacijsko razdoblje u Republici Hrvatskoj. Tom je vezom Republika Hrvatska postala dio svjetske internetske mreže. Tadašnje brzine prijenosa podataka bile se izrazito male i iznosile su do maksimalno 64 kbit/s. U to se vrijeme koristila analogna govorna telefonska usluga (engl. *plain old telephone service* – POTS) koja se mogla koristiti ili za prijenos govora ili za prijenos podataka putem jedne uparene parice pri čemu su se za prijenos podataka koristili kanali širine 3,1 kHz u frekvencijskom spektru od 300 Hz do 3,4 kHz. Prijenos podataka obavljao se *dial-up* modemom putem parične veze od krajnjeg korisnika do lokalne centrale. Slika 3.1. prikazuje osnovnu strukturu analogne govorne telefonske usluge.



Slika 3.1. Struktura fiksne analogne govorne telefonske usluge

Istovremeni prijenos govora i podatkovnog prometa omogućen je **korištenjem** uskopojasne digitalne mreže integriranih usluga (engl. *narrowband integrated services digital network* – N-ISDN). Nedostatak ove tehnologije bile su male brzine prijenosa podataka (do 2 Mbit/s). Potreba za sve većim brzinama prijenosa podataka dovela je do razvoja širokopojasne digitalne mreže integriranih usluga (engl. *broadband integrated services digital network* - B-ISDN).

Potreba za većim brzinama prijenosa podataka te razvojem širokopojasnih usluga uzrokovala je razvoj digitalne pretplatničke linije (engl. *digital subscriber line* - DSL). Zajednički

naziv xDSL učestalo se koristi za označavanje svih DSL tehnologija čiji je osnovni cilj realizacija korisničkih zahtjeva za sve većim brzinama prijenosa podataka. DSL tehnologije koriste postojeću bakrenu telefonsku infrastrukturu za prijenos podataka, što je omogućilo njenu jednostavniju implementaciju te povećalo dostupnost navedene tehnologije krajnjim korisnicima. DSL tehnologije razlikuju se po brzinama prijenosa podataka, maksimalnoj udaljenosti od lokalne centrale do krajnjeg korisnika te širini korištenog frekvencijskog spektra. DSL tehnologije kod kojih su brzine u dolaznom i odlaznom smjeru različite nazivaju se asimetrične, a tehnologije gdje su brzine u dolaznom i odlaznom smjeru iste nazivaju se simetrične DSL tehnologije.

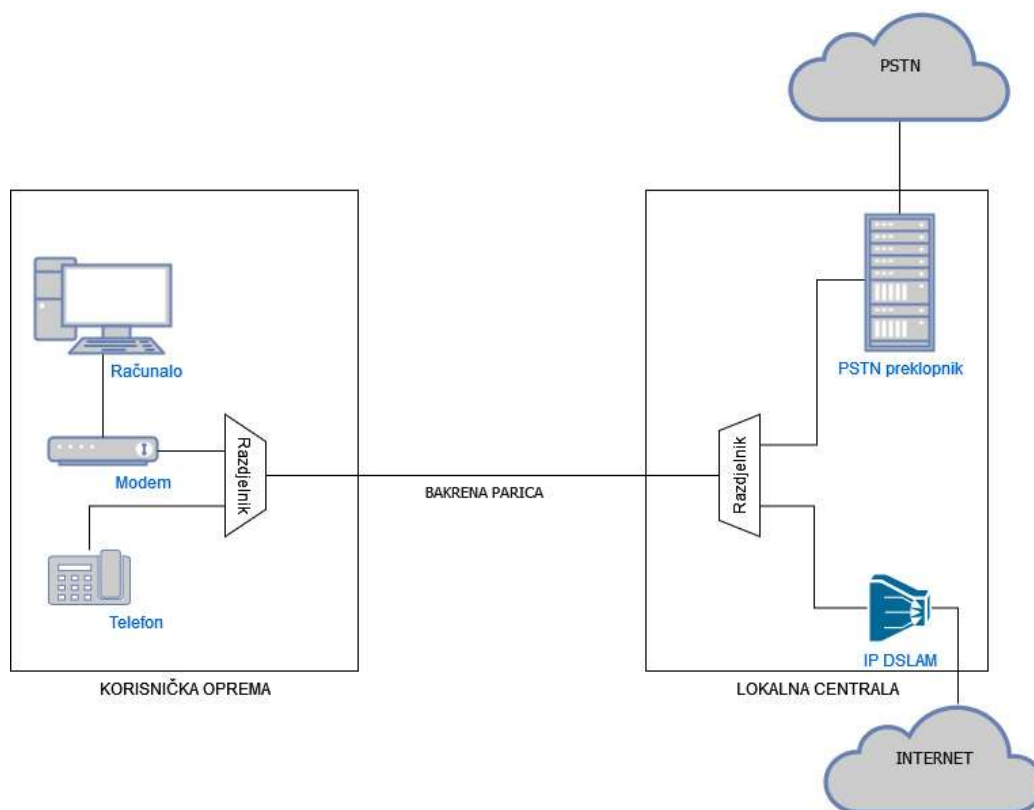
3.1. ADSL tehnologija

Značajka ADSL tehnologije, osim omogućavanja velikih brzina prijenosa podataka, jest i u različitim dolaznim i odlaznim brzinama prijenosa podataka odakle i naziv asimetrična. Tehnički parametri ADSL tehnologije definirani su standardom ITU-T G.992.1 [5]. Jedan je od osnovnih problema koji utječu na ograničenje maksimalne brzine prijenosa podataka kod ADSL sustava preslušavanje. Što je više upredenih parica preslušavanje je veće, dok je na strani korisnika preslušavanje manje jer je broj upredenih parica značajnije manji. Preslušavanje je preklapanje električnog signala na susjednoj parici u istom kabelu uzrokovano električnim poljem iz jedne od aktivnih linija (parica kojom se prenosi signal). Naime, tijekom prijenosa signala putem parice, dolazi do zračenja električnog polja koje izaziva smetnje na drugoj parici u kabelskom snopu.

Arhitektura ADSL tehnologije sastoji se od korisničke opreme, parične infrastrukture i opreme pružatelja usluge. Modem, razdjelnik, računalo i telefon sastavni su dio korisničke opreme, dok su lokalna centrala, DSL multiplekser (engl. *Digital Subscriber Line Access Multiplexer* - DSLAM), PSTN preklopnik i razdjelnik sastavni dio opreme pružatelja usluge. U osnovnom ADSL sustavu razdjelnik se koristi kako bi odvojio prijenos govora od prijenosa podataka. Arhitektura ADSL tehnologije prikazana je na Slici 3.2.

Brzina prijenosa koja se može ostvariti korištenjem ADSL tehnologije uvelike ovisi o udaljenosti korisničke opreme od centrale, što je prikazano u rezultatima u Tablici 3.1. Iz navedene je tablice vidljivo kako je maksimalna udaljenost korisničke opreme od lokalne centrale otprilike 5,5 km pri čemu je moguće ostvariti brzine do 0,8 Mbit/s, dok je kod novijih ADSL tehnologija ta brzina dvostruko ili čak trostruko veća.

Zbog mogućnosti korištenja postojeće bakrene telekomunikacijske infrastrukture, ADSL tehnologija postigla je značajan uspjeh među korisnicima budući da je zadovoljavala njihove potrebe za brzinom prijenosa podataka u oba smjerovima - prema korisniku i prema mreži.



Slika 3.2. Arhitektura ADSL tehnologije [6]

Navedena tehnologija također je omogućavala pružatelju usluge prijenos POTS kanala i ADSL signala korištenjem iste parice.

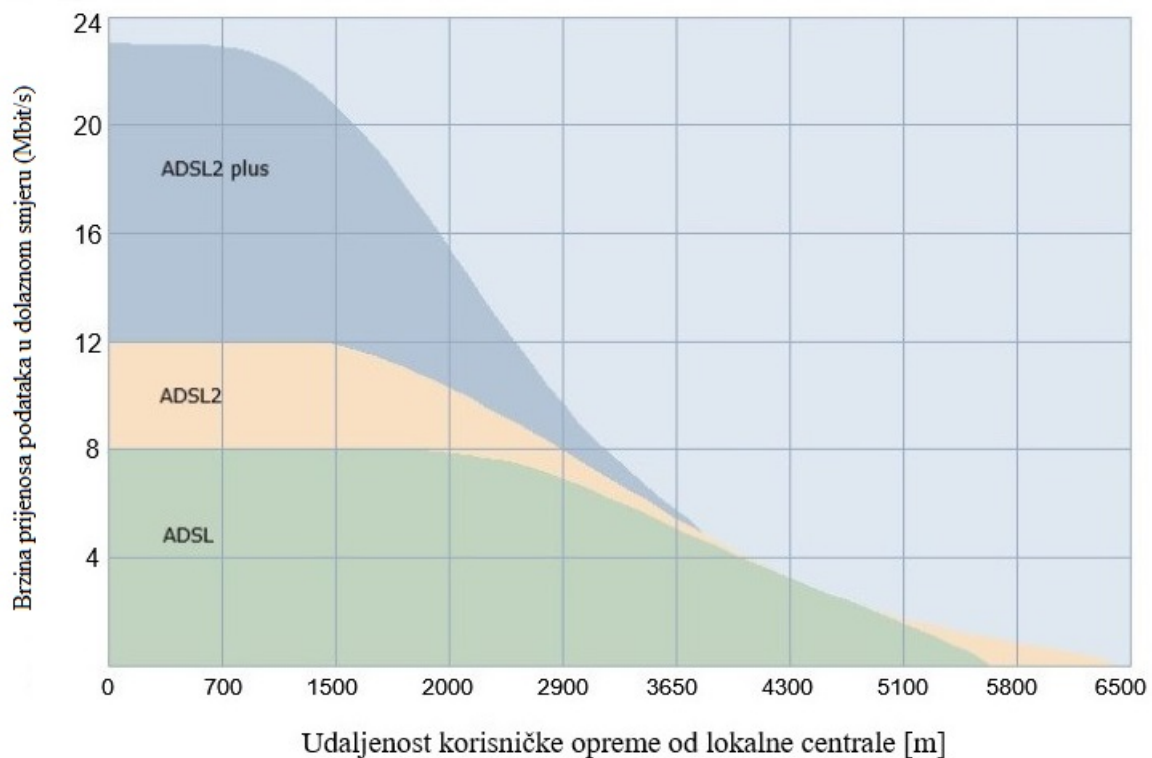
Tablica 3.1. Brzina prijenosa podataka kod ADSL tehnologije ovisno o udaljenosti korisničke opreme od lokalne centrale [7]

Udaljenost korisničke opreme (km)	Brzina prijenosa podataka (Mbit/s)
5,5	0,8
5,0	1,0
4,5	2,3
4,0	3,6
3,5	5,0
3,0	6,7
2,3	7,9
0 – 2,3	8

3.1.1. ADSL2 i ADSL2plus

Daljnji razvoj asimetričnih DSL tehnologija (ADSL2 i ADSL2plus) doveo je do povećanja brzine prijenosa podataka u dolaznom smjeru, što je omogućilo prijenos multimedijskog sadržaja. ADSL2 tehnologija razvijena je kako bi se poboljšale karakteristike osnovnog ADSL sustava te povećao domet prijenosa signala. Ova tehnologija omogućava brzinu prijenosa podataka u dolaznom smjeru do 12 Mbit/s, a u odlaznom smjeru do 1 Mbit/s [8]. Tehnički parametri ADSL2 tehnologija definirani su standardom ITU-T G.992.3 [9].

Glavna je značajka ADSL2plus tehnologije korištenje frekvencijskog spektra do 2,2 MHz s 512 podkanala, čime je omogućena brzina prijenosa u dolaznom smjeru do 24 Mbit/s. Tehnički parametri ADSL2plus tehnologija definirani su standardom ITU-T G.992.5 [10]. Na Slici 3.3. prikazana je brzina prijenosa podataka u dolaznom smjeru za ADSL/ADSL2/ADSL2plus tehnologiju u ovisnosti o udaljenosti korisničke opreme od lokalne centrale [11].



Slika 3.3. Brzine prijenosa podataka u dolaznom smjeru za ADSL, ADSL2 i ADSL2plus tehnologiju u ovisnosti o udaljenosti korisničke opreme od lokalne centrale [11]

Ovisnosti brzine prijenosa podataka u dolaznom smjeru i udaljenosti korisničke opreme od lokalne centrale prikazane su u Tablici 3.2. [11].

Tablica 3.2. Prikaz ovisnosti brzine prijenosa podataka u dolaznom smjeru i udaljenosti korisničke opreme od lokalne centrale

	Brzina prijenosa podataka (Mbit/s)	Optimalna udaljenost (km)	Maksimalna udaljenost (km)
ADSL	8	< 2	5,5
ADSL2	12	< 1,5	6
ADSL2plus	23	< 1	6

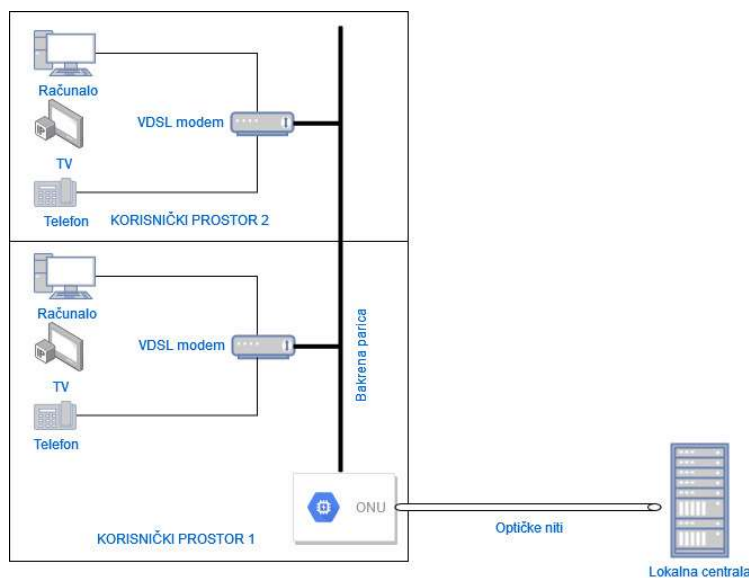
Iz Tablice 3.2. i Slike 3.3. vidljivo je da se prednosti korištenja šireg spektra postižu pri kraćim udaljenostima, dok se pri većim udaljenostima razlika u ostvarenim brzinama između pojedinih sustava značajno smanjuje. Prikazani rezultati dovode do zaključka da su ADSL2 i ADSL2plus sustavi na kraćim udaljenostima učinkovitiji od ADSL sustava u smislu brzine prijenosa podataka.

3.2. VDSL

Kako bi se zadovoljile potrebe korisnika za sve većim brzinama prijenosa podataka, razvijena je VDSL tehnologija. Tehnički parametri VDSL tehnologija definirani su standardom ITU-T G.993.1 [12]. Ova tehnologija podržava asimetrični i simetrični prijenos podataka velikih brzina. Osim toga, zbog povećanja maksimalne brzine prijenosa podataka kod VDSL tehnologije, korisnicima koji se nalaze do 900 m udaljenosti od lokalne centrale omogućeno je korištenje gotovo dvostruko veće brzine prijenosa podataka u odnosu na ADSL2plus tehnologiju. Za razliku od ADSL2plus tehnologije, VDSL tehnologija koristi frekvencijski spektar do 12 MHz. Teoretske brzine koje se mogu postići korištenjem VDSL tehnologije su i do 50 Mbit/s.

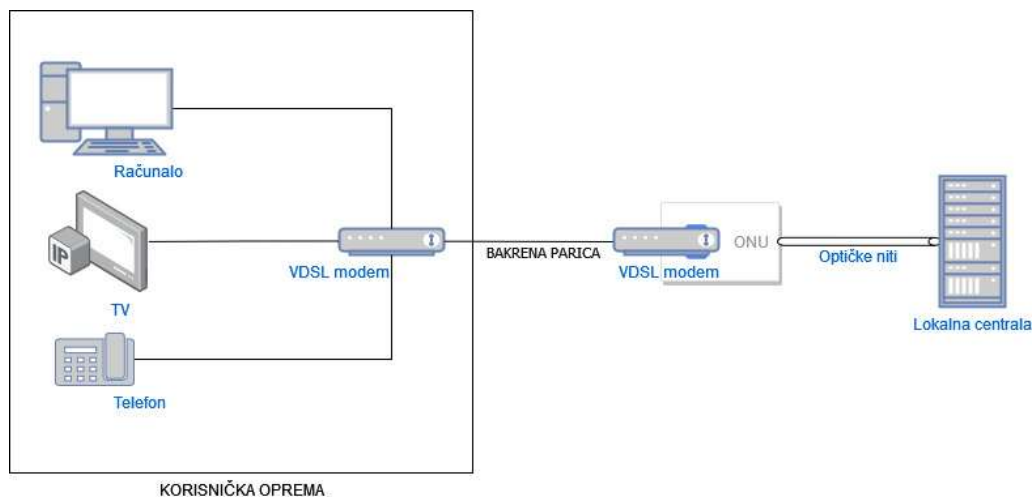
VDSL se tehnologija u većini slučajeva koristi u kombinaciji s optičkom infrastrukturom na način da se optičke niti koriste od lokalne centrale do zgrade, a unutar zgrade koristi se postojeća telekomunikacijska infrastruktura. Upravo ta kombinacija infrastrukture i širi frekvencijski spektar omogućio je primjenu arhitekture optičkih vlakna do zgrade (engl. *fiber to the building* - FTTB) [13] za korisnike koji su udaljeniji od lokalne centrale. Arhitektura FTTB prikazana je na Slici 3.4. [13]. Arhitektura FTTB koristi optičke niti do lokalne centrale, dok se na korisničkoj strani primjenjuju upletene parice. Kroz optičke mrežne jedinice (engl. *optical network units* – ONU),

smještene u blizini korisničkih prostorija, krajnjem se korisniku omogućuje pristup internetu putem VDSL tehnologije.



Slika 3.4. Arhitektura FTTB sustava [13]

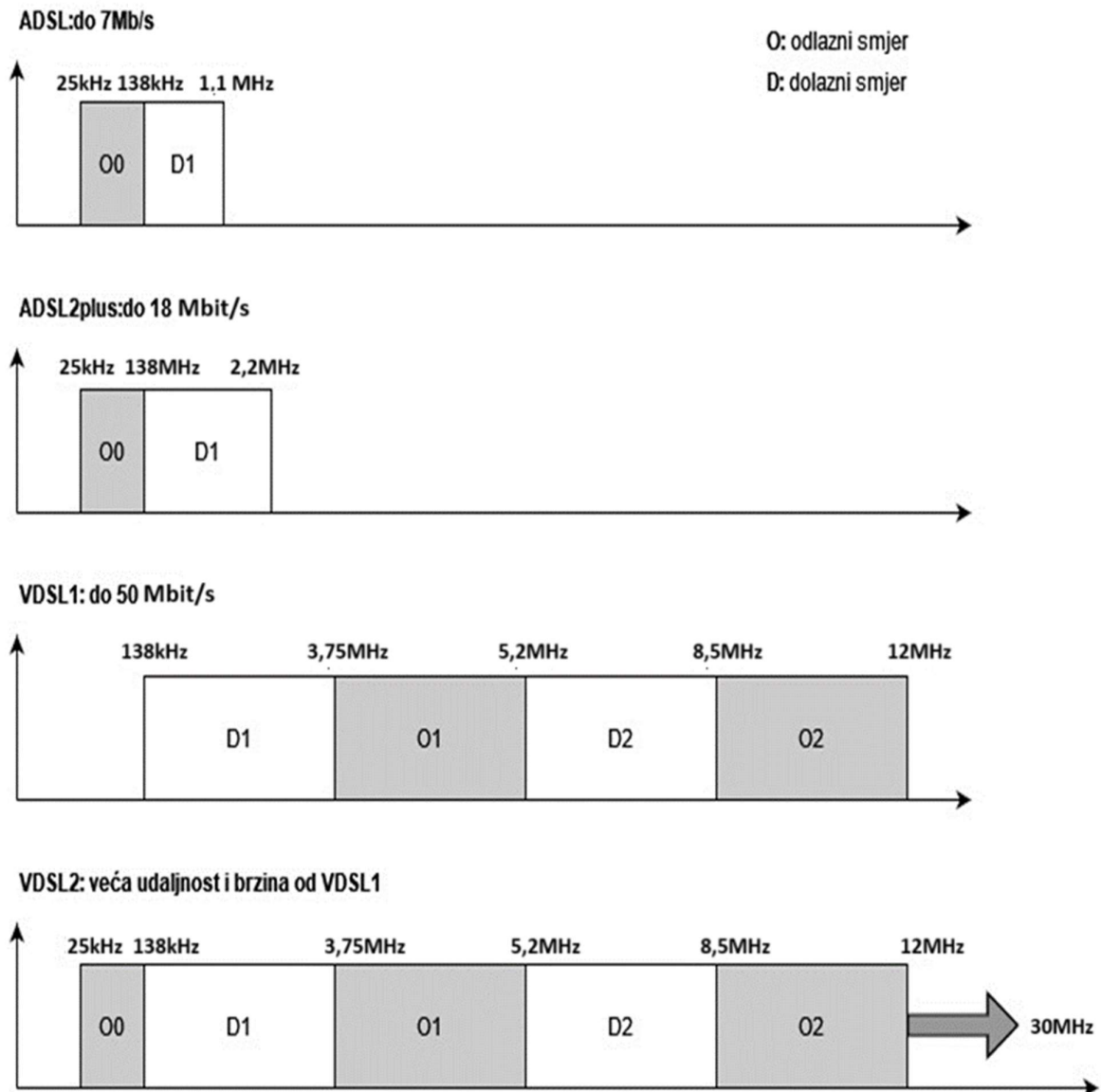
Osim arhitekture FTTB postoji i arhitektura optičkih vlakana do doma (engl. *fiber to the home* - FTTH) u kojoj se, za razliku od arhitekture FTTB, ONU jedinica nalazi u prostoru korisnika te na taj način putem postojeće parične infrastrukture unutar prostora korisnika omogućava pristup internetu putem VDSL tehnologije [14]. Slika 3.5. prikazuje arhitekturu FTTH.



Slika 3.5. Arhitektura FTTH sustava [13]

3.3. VDSL2

Simetrična tehnologija za širokopolasni prijenos podataka koja podržava vrlo visoke brzine prijenosa podataka do 100 Mbit/s i u dolaznom i u odlaznom smjeru po jednoj uparenoj parici zove se VDSL2 tehnologija. VDSL2, kao i VDSL, koristi diskretnu multitonsku modulaciju (engl. *discrete multitone modulation* – DMT). Postizanje vrlo velikih brzina prijenosa podataka do 100 Mbit/s kod VDSL2 tehnologije omogućeno je korištenjem frekvencijskog spektra do 30 MHz. Slika 3.6. prikazuje različite frekvencijske planove za ADSL, ADSL2plus, VDSL i VDSL2 [15].



Slika 3.6. Frekvencijski plan ADSL i VDSL tehnologije [15]

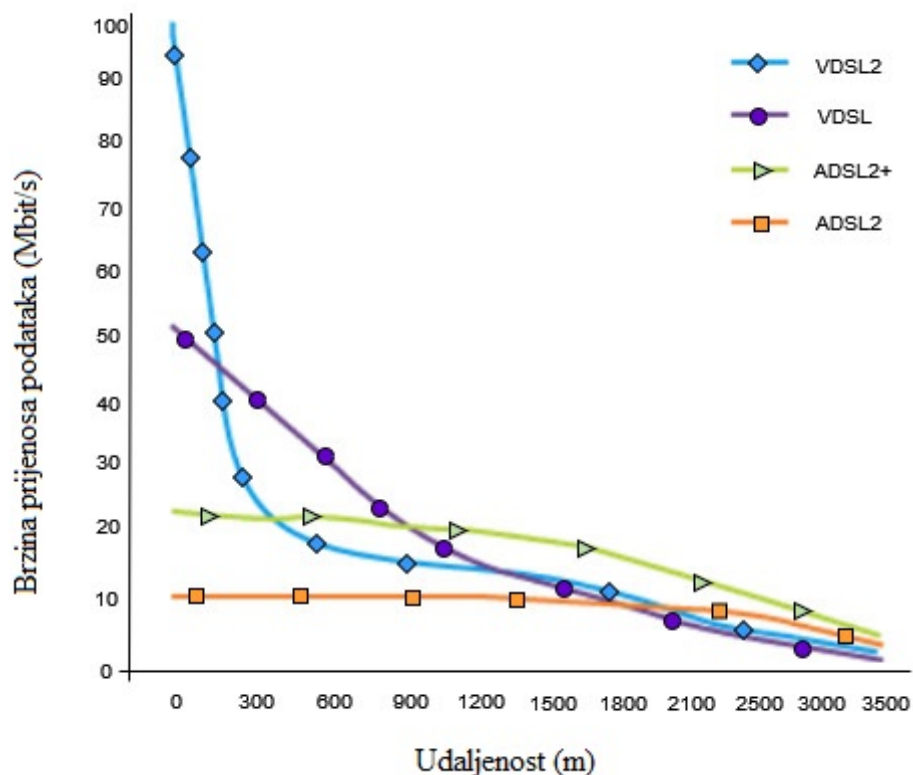
Tehnički parametri VDSL2 tehnologije definirani su standardom ITU-T G.993.2 [16]. Različiti parametri, kao što su širina spektra, širina podkanala, maksimalna brzina u dolaznom smjeru i maksimalna brzina u odlaznom smjeru za posljedicu imaju promjenu maksimalne brzine prijenosa podataka. VDSL2 profili te prethodno navedeni parametri prikazani su u Tablici 3.3. [17].

Tablica 3.3. Prikaz parametara VDSL2 profila [17]

Parametar	VDSL2 profili						
	8a	8b	8c	12a	12b	17a	30a
Širina spektra (MHz)	8,832	8,832	8,832	12,000	12,000	17,664	30,000
DMT tonovi	2048	2048	2048	2783	2783	4096	3479
Širina DMT tona (kHz)	4,312	4,312	4,312	4,312	4,312	4,312	8,625
Maksimalna brzina u dolaznom smjeru (Mbit/s)	50	50	50	68	68	100	200
Maksimalna brzina u odlaznom smjeru (Mbit/s)	16	16	16	22	22	50	100
Maksimalna snaga (dBm)	17,5	20,5	11,5	14,5	14,5	14,5	14,5

Kao što je prethodno spomenuto, maksimalna brzina prijenosa podataka, unatoč svim poboljšanjima, ovisi o udaljenosti korisničke opreme od lokalne centrale kao i o kvaliteti parice. Zbog boljih tehničkih svojstava VDSL2 tehnologija zamjenjuje ADSL2plus tehnologiju te svojom brzinom prijenosa podataka omogućava interaktivni multimedijски sadržaj. Navedena tehnologija korisnicima omogućava istovremeno korištenje prijenosa govora, podataka i video prikaza visoke kvalitete korištenjem jedne pretplatničke usluge.

Na udaljenostima do 500 m VDSL sustavi omogućuju velike brzine prijenosa, što je vidljivo iz Slike 3.7. [18]. Slika 3.7. prikazuje da je brzina prijenosa podataka VDSL tehnologijom na udaljenostima iznad 1 000 m izjednačena s brzinama prijenosa podataka kod VDSL2plus tehnologije. Nadalje, Slika 3.7. prikazuje da brzina prijenosa podataka značajno opada s povećanjem udaljenosti između korisničke opreme od lokalne centrale, što je jedan od osnovnih nedostataka ove tehnologije.



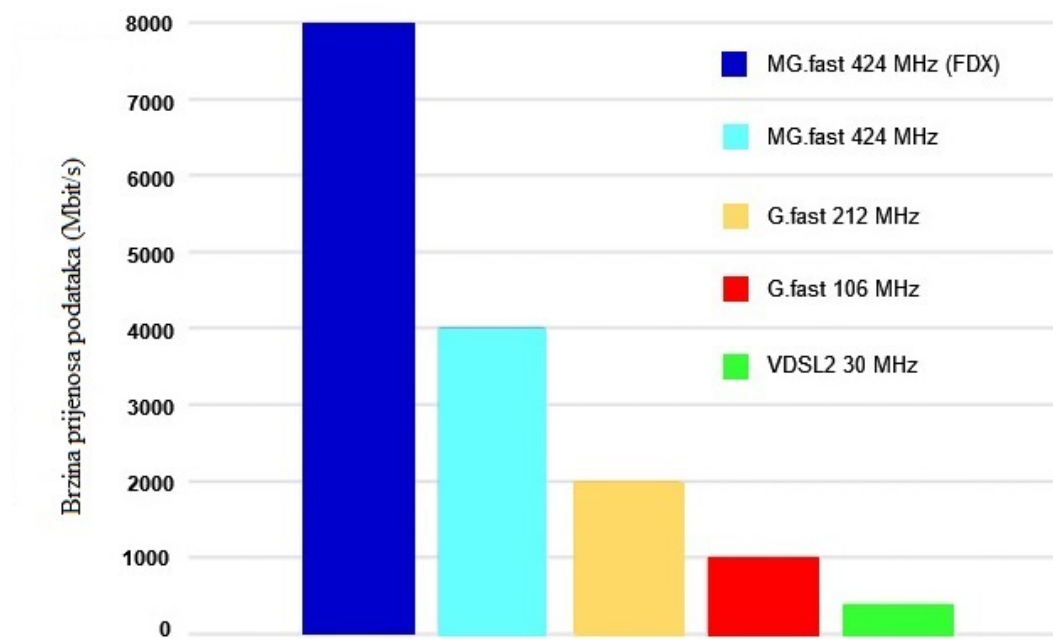
Slika 3.7. Brzine prijenosa podataka u odnosu na duljinu parice kod VDSL, ADSL, ADSL2 i ADSL2+ tehnologije [18]

3.4. Novije generacije G.fast tehnologije

Stručnjaci za međunarodne standarde postigli su još jedan „korak naprijed“ u širokopojasnom pristupu podataka preko telefonske bakrene parice s višegigabitnom tehnologijom (engl. *multi gigabit* – MG.fast). Ove širokopojasne tehnologije omogućuju prijenos podataka ukupne brzine do 8 Gbit/s u načinu rada punog dupleksa (engl. *full duplex* - FDX). Tehnički parametri MG.fast tehnologije definirani su standardom ITU G.9710 [19]. MG.fast tehnologija ne omogućava samo veće brzine prijenosa podataka, već i izuzetno malo kašnjenje prijenosa podataka koje je ključno za potrebe interaktivnih usluga kao što su aplikacije virtualne i proširene stvarnosti

te online igre. Činjenica da se G.fast tehnologija dalje razvija pokazuje i to da je još više spektra dodijeljeno G.fast tehnologiji. Proširenjem frekvencijskog spektra do 424 MHz za potrebe MG.fast tehnologije omogućene su veće brzine prijenosa podataka. Buduća generacija MG.fast tehnologije koristit će frekvencijski spektar do 848 MHz, što će omogućiti još veće brzine prijenosa podataka [19].

Usporedba brzine prijenosa podataka MG.fast tehnologije s ostalim širokopoljnim tehnologijama prikazana je na Slici 3.8.



Slika 3.8. Usporedba brzine prijenosa podataka MG.fast tehnologije s ostalim širokopoljnim tehnologijama [20]

Kombiniranjem najboljih svojstava optičkih vlakana i parične telekomunikacijske infrastrukture G.fast i MG.fast tehnologije omogućavaju korisnicima samostalnu instalaciju telekomunikacijske opreme. Na taj način G.fast i MG.fast tehnologije ekonomičnije ispunjavaju potrebe za sve većim brzinama prijenosa podataka.

3.4.1. Prednosti G.fast tehnologije

G.fast tehnologija uvodi bakrenu telekomunikacijsku infrastrukturu u gigabitno područje omogućavajući brzine prijenosa podataka poput onih koje omogućavaju optička vlakna. G.fast tehnologija jednostavnija je za implementaciju s bržim prijenosom podataka od standardnog DSL-a te omogućava brži povrat ulaganja.

Uvođenjem G.fast tehnologije putem optičkih vlakna do zgrade/doma (FTTB/FTTH), operateri mogu koristiti postojeću bakrenu infrastrukturu kao što su telefonske linije za isporuku širokopojasnog pristupa internetu, ali većih brzina od prijašnjih tehnologija. Važna je značajka G.fast tehnologije samoinstalacija. Kod G.fast tehnologije, jedinice distribucijskog mjesta (engl. *distribution point units* - DPU) podržavaju, stručnjacima prepoznatljiv naziv, *plug-and-play* način spajanja. G.fast korisničku opremu korisnici mogu sami lako instalirati kod kuće. To značajno smanjuje vrijeme do isporuke usluge širokopojasnog pristupa internetu i troškove instalacije. Ponovnom uporabom postojeće bakrene telekomunikacijske infrastrukture izbjegavaju se problematični i ekonomski neisplativi konstrukcijski i građevinski radovi unutar korisničkih prostorija, čime se izbjegavaju instalacijski problemi. Kombiniranje FTTB/H i G.fast tehnologije omogućava operaterima brzo proširenje širokopojasne pokrivenosti uz niže troškove [20].

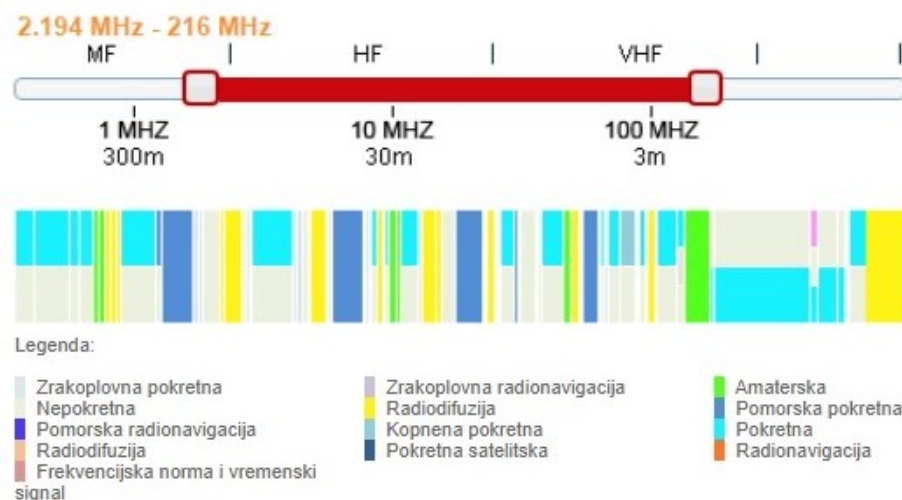
G.fast tehnologija omogućava operaterima definiranje omjera dolazne/odlazne brzine prijenosa podataka, dok je kod standardne tehnologije fiksnog pristupa širokopojasne usluge taj omjer fiksiran. Na primjer, za ADSL2plus, tipična brzina prijenosa podataka u dolaznom smjeru iznosi 2 Mbit/s – 8 Mbit/s, a brzina prijenosa podataka u odlaznom smjeru iznosi 512 kbit/s – 1 Mbit/s. U doba telekomunikacijskih usluga u oblaku, niska brzina prijenosa podataka u odlaznom smjeru predstavlja ograničenje za krajnje korisnike koji žele dijeliti velike količine sadržaja. Uz G.fast tehnologiju, omjer brzine prijenosa podataka u dolaznom i odlaznom smjeru može se fleksibilno postaviti u omjeru između 1:9 i 1:1 (na primjer, 900 Mbit/s u dolaznom smjeru i 100 Mbit/s u odlaznom smjeru ili 500 Mbit/s u dolaznom smjeru i 500 Mbit/s u odlaznom smjeru). Fleksibilnost pomaže u poboljšanju mrežnih mogućnosti i omogućuje operaterima pružanje novih usluga kao što je kućna video komunikacija, daljinski video nadzor za sigurnost doma te funkcionalnost pametne kuće (engl. *smart home*) [20].

3.5. Namjena radiofrekvencijskih pojaseva

Kako bi se omogućio nesmetan rad radijskih sustava, Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti (HAKOM), kao nacionalni regulator za mrežne djelatnosti, propisuje tablicu namjene radiofrekvencijskog spektra. Tablica namjene radiofrekvencijskog spektra omogućava usklađivanje korištenja radiofrekvencijskog spektra kao i primjenu te razvoj naprednih komunikacijskih mreža i usluga. HAKOM je za svaki pojedini frekvencijski spektar odredio područje upotrebe, namjenu te sustav primjene za pojedine radiokomunikacijske službe [21].

G.fast2 tehnologija koristi frekvencijski spektar do 212 MHz zbog čega je važno znati koji radijski sustavi rade u navedenom frekvencijskom području kako bi se izbjegle neželjene

interferencije i međusobni utjecaji. Namjena radiofrekvencijskog spektra od 2 MHz do 216 MHz prikazana je na Slici 3.9.



Slika 3.9. Namjena radiofrekvencijskog spektra u frekvencijskom području od 2 MHz do 216 MHz [21]

U Tablici 3.4. prikazan je popis tehnologija koje dijele frekvencijski spektar s G.fast2 tehnologijom, njihova namjena te sustav primjene [21].

Tablica 3.4. Popis tehnologija koje dijele frekvencijski spektar s G.fast2 tehnologijom [21]

Frekvencija (kHz)	Uporaba	Namjena	Primjena
2498 – 2502; 4995 – 5005; 9995 – 10005; 14990 – 15010; 19990 – 20010; 24990 – 25010	civilna	frekvencijska norma i vremenski signali za točno vrijeme	
3500 – 3800; 7000 – 7200; 10100 – 10150; 14000 – 14350; 18068 – 18168; 21000 – 21450; 24890 – 24990; 28000 – 29700; 50000 – 52000; 68000 – 70450; 144000 – 146000	civilna	radioamaterska služba	prijenos govora ili telemetrija
5900 – 6200; 7200 – 7450; 9400 – 9900; 11600 – 12100; 13570 – 13870; 15100 – 15800; 17480 –	civilna	radiodifuzija	radio na srednjem valu

17900; 18900 – 19020; 21450 – 21850; 25670 - 26100			
26175 - 27500	civilna	radio komunikacija	komunikacija govorom (građanski opseg)
37500 - 61000	vojna	pokretne i nepokretne komunikacije	sustavi obrane
87500 - 108000	civilna	radiodifuzija	ultrakratki val (FM)
108000 - 137000	civilna/ vojna	zrakoplovna radiokomunikacija	ILS/lokalizer, VOR, komunikacija govorom
137000 – 138000	civilna	meteorološka satelitska	meteorološki sateliti
188000 – 216000	civilna	radiodifuzija	digitalni radio (DAB)

Kada se G.fast2 signal prostire paričnom telekomunikacijskom infrastrukturom postoji utjecaj jakosti izračenog električnog polja na sustave radiodifuzije s primjenom u analognom radiju, zrakoplovne komunikacije s primjenom u govornoj komunikaciji i radiodifuzije s primjenom u digitalnom radiju. Preporukom ITU-T K.60 te preporukom Europskog odbora za komunikacije ECC/REC/(04)/05, definirane su smjernice i zahtjevi za zaštitu telekomunikacijske opreme od EMI u okruženju gdje se koristi oprema za telekomunikacije. Izračeno električno polje iz telekomunikacijske parične infrastrukture potencijalni je izvor smetnji radijskim sustavima koji rade u istom dijelu frekvencijskog spektra kao i G.fast2 tehnologija pri čemu se onemogućuje njihov neometan rad. To je posebno važno u službama gdje takvo zračenje može izravno utjecati na funkcionalnost kritičnih sustava i sigurnost ljudskog života. Kako bi se ograničilo neželjeno zračenje iz telekomunikacijske parične infrastrukture, predložene su različite granice zračenja.

4. MEĐUNARODNA ZAKONSKA REGULATIVA

Organizacije za normizaciju propisuju posebne propise i preporuke za granične vrijednosti električnog zračenja, a dijele se na međunarodne i europske. ITU se sastoji od nekoliko sektora: sektor standardizacije (engl. *telecommunication standardization sector* - ITU-T), sektor radiokomunikacija (engl. *radiocommunication sector* - ITU-R) i sektora razvoja (engl. *telecommunication development sector* - ITU-D). Osnovni je zadatak ITU organizacije upravljanje s dodjelom frekvencijskih pojaseva te kreiranje propisa, preporuka, standarda i normi u telekomunikacijskom i radiokomunikacijskom području. Međunarodni odbor za elektrotehniku (engl. *International Electrotechnical Commission* - IEC) definira međunarodnu normizaciju u elektrotehnici. Međunarodni odbor za radio smetnje (fr. *comité international spécial des perturbations radioélectriques* - CISPR) povezan s IEC-om donosi posebne propise, standarde, preporuke i norme za reguliranje i kontrolu elektromagnetskih smetnji.

Propisi koje donose navedena tijela predstavljaju temelj europskih standarda, koje u području elektromagnetske kompatibilnosti izrađuje Europski odbor za elektrotehničku normizaciju (engl. *European Committee for Electrotechnical Standardization* - CENELEC) koji surađuje s Europskim institutom za telekomunikacijske standarde (engl. *European Telecommunications Standards Institute* - ETSI). Odbor za elektroničke komunikacije (engl. *Electronic Communications Committee* - ECC) ima zadatak razvijanja zajedničke politike i propisa u području elektroničkih komunikacija te planiranje i predlaganje što učinkovitije upotrebe i primjene frekvencijskog spektra. Odbor za elektroničke komunikacije zastupa i europske interese u ITU-u i drugim međunarodnim organizacijama.

4.1. ITU-T K.60

Međunarodna preporuka ITU-T K.60 [1] definira granične vrijednosti i metodu mjerenja ukupnog izračenog električnog polja iz parične telekomunikacijske infrastrukture u frekvencijskom području od 9 kHz do 6 GHz. Prethodno spomenuta preporuka također sadrži opis postupak koji se odnosi na istraživanje pritužbi krajnjih korisnika na radio smetnje i postupak za ocjenu emisije zračenja. Preporukom je, osim maksimalno dozvoljene izračene razine elektromagnetskog polja iz telekomunikacijske infrastrukture, definirana i mjerna procedura kojom se osiguravaju najveće izmjerene vrijednosti izračenog električnog polja. Antenu je potrebno postaviti na nevodljivi stalak kako preko uzemljenja ne bi bilo utjecaja na rezultate mjerenja. Lokacija mjerne antene treba biti odabrana kao mjesto gdje očekujemo najveće

izmjerene vrijednosti jakosti izračenog električnog polja pri čemu je potrebno voditi računa da je udaljenost antene od izvora zračenja 3 m. Mjerni sustav mora biti u skladu s međunarodnim normama za reguliranje i kontrolu elektromagnetskih smetnji koju propisuje CISPR u suradnji s IEC-om. Granice zračenja za dio frekventijskog spektra kojeg koristi G.fast2, koje definira ITU, prikazane su u Tablici 4.1. [1].

Tablica 4.1. Granice električnog zračenja u preporuci ITU-T K.60 [1] za spektar koji koristi G.fast2 tehnologija

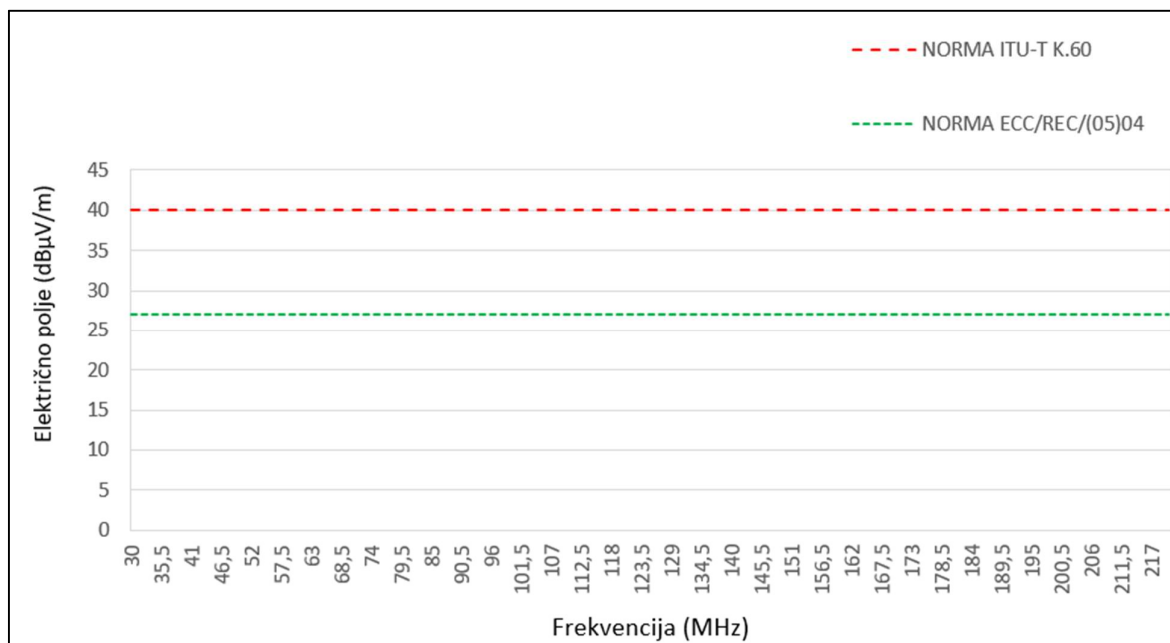
Frekventijsko područje (MHz)	Jakost izračenog električnog polja (dB μ V/m)	Udaljenost od izvora zračenja	Propusni pojas
1 - 30	$52 - 8,8 \cdot \log_{10}(f[\text{MHz}])$	3 m	9 kHz
30 - 230	40	3 m	120 kHz

4.2. ECC preporuka (05)04

Preporuka ECC/REC/(05)04 je europska preporuka i odnosi se na granične vrijednosti ukupnog izračenog električnog polja i mjerne metode. Kao i međunarodna preporuka, i europska preporuka propisuje razine zračenja i ispitne metode za parične telekomunikacijske mreže kako bi se smanjile elektromagnetske smetnje. Granične vrijednosti ukupnog zračenja znatno su strože u odnosu na međunarodne ITU-T K.60 preporuke. Usporedba navedenih graničnih vrijednosti prikazana je na Slici 4.1. Ograničenje zračenja temelji se na njemačkoj odredbi o upotrebi tehničkog dodatka za telekomunikacije (njem. *bachrichtentechnisches beiblatt* - NB30) nastaloj kao kompromis između potreba operatera i radijskih usluga. Granice zračenja definira ECC za frekventijsko područje od 1 MHz do 1 000 MHz te su prikazane u Tablici 4.2. [22].

Tablica 4.2. Granice zračenja električnog polja prema preporuci ECC/REC (05)04 [22]

Frekventijsko područje [MHz]	Jakost izračenog električnog polja [dB μ V/m]	Udaljenost od izvora zračenja	Propusni pojas
1 - 30	$40 - 8,8 \cdot \log_{10}(f[\text{MHz}])$	3 m	9 kHz
30 - 1000	27	3 m	120 kHz



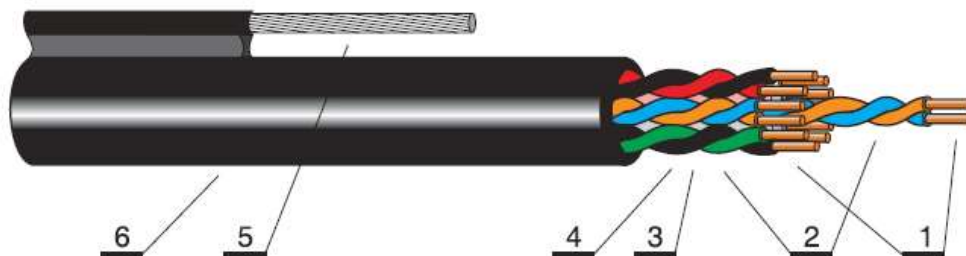
Slika 4.1. Usporedba graničnih vrijednosti zračenja električnog polja za preporuku ITU-T K.60 i ECC/REC (05)04

5. TELEKOMUNIKACIJSKA INFRASTRUKTURA

Telekomunikacijska mreža sastoji se od triju osnovnih elemenata: predajnika, prijemnika i telekomunikacijske infrastrukture, koja uključuje telekomunikacijske kabele. Funkcija je telekomunikacijske infrastrukture omogućiti prijenos informacija od predajnika do prijemnika. U suvremenom društvu, gotovo svako kućanstvo ima priključak na javnu telekomunikacijsku mrežu, čime je omogućena razmjena informacija putem različitih usluga. Jedna od značajnih prednosti naprednih tehnologija, poput G.fast2 tehnologije, jest mogućnost korištenje postojeće parične infrastrukture za prijenos podataka velikih brzina. Ova tehnologija zasniva se na korištenju frekvencijskog spektra koji se do sada nije koristio za prijenos podataka. Razvoj modernih telekomunikacijskih tehnologija također potiče razvoj novih konstrukcija kabela čija svojstva optimiziraju prijenosne performanse. U nastavku rada napravljena je analiza mjerenja jakosti izračenog električnog polja korištenjem četiri različite vrste paričnih telekomunikacijskih kabela. Osnovni dizajn tih kabela čine bakreni vodiči obloženi polietilenskom izolacijom, što omogućava učinkovit i stabilan prijenos podataka.

5.1. TK33U telekomunikacijski kabel

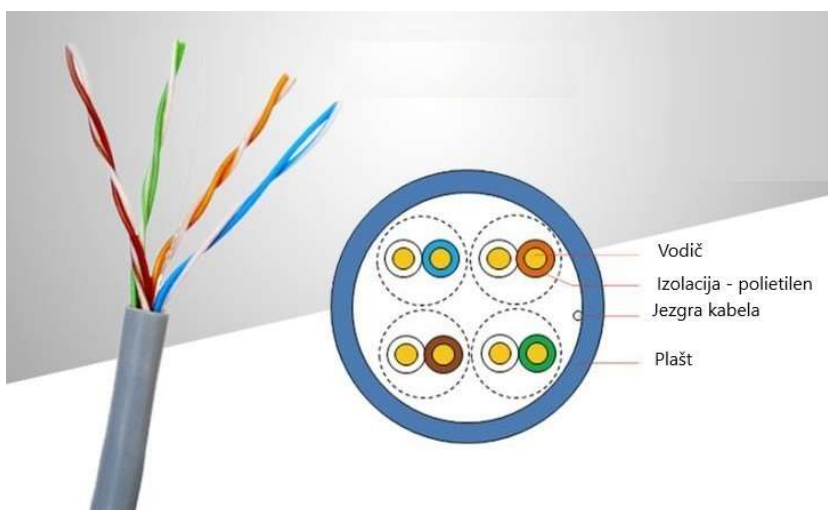
TK33U telekomunikacijski kabel poznat je i pod nazivom samonosivi pretplatnički kabel s nosivim užetom. TK33U ima nekoliko tehničkih prednosti koje ga čine pogodnim za određene vrste telekomunikacijskih mreža. Prvenstveno, ovaj kabel nudi dobar prijenosni kapacitet na kraćim i srednjim udaljenostima uz dovoljnu fleksibilnost koja olakšava instalaciju u različitim okruženjima i solidnu otpornost na elektromagnetske smetnje i preslušavanje, čime se poboljšava kvaliteta prijenosa signala. TK33U ima i određena ograničenja koja utječu na njegovu primjenu. Prijenos podataka putem ovog kabela nije na razini modernijih rješenja, a nije ni pogodan za prijenos podataka pri višim frekvencijama. Na većim udaljenostima signal slabi, što zahtijeva korištenje pojačala ili drugih tehnika za osiguranje kvalitete prijenosa podataka. TK33U se najčešće koristi za frekvencijski raspon od 1 MHz do 2 MHz; u ovom frekvencijskom opsegu podržava brzine prijenosa podataka do 1 Mbit/s. TK33U se sastoji od vodiča (1), izolacije (2), elementa pouzjenja (3), jezgre kabela (4), nosivog užeta (5) i plašta (6) kako je i prikazano na Slici 5.1. [23].



Slika 5.1. Konstrukcija TK33U kabela [23]

5.2. UTP cat5e telekomunikacijski kabel

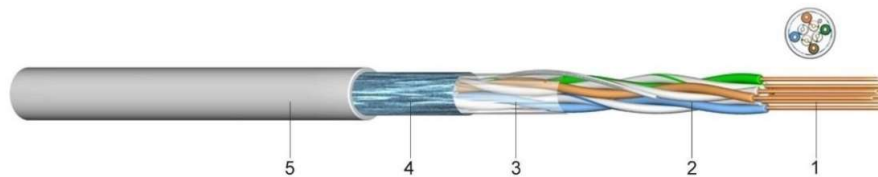
Neoklopljeni upleteni kabel (engl. *unshielded twisted pair* - UTP) kategorije 5e (engl. *enhanced category 5 – cat5*) dizajniran je da podržava brzine prijenosa podataka do 1 Gbit/s. UTP cat5e kabel ima strože specifikacije za preslušavanje od onih za UTP cat5 kabel. Isto kao i UTP cat5 kabel, i UTP cat5e kabel koristi se za prijenos podataka u frekventijskom opsegu do 100 MHz, ali omogućava veće brzine prijenosa podataka od UTP cat5 kabela. UTP cat5 kabel koristi se za telekomunikacijske mreže za prijenos podataka do 100 Mbit/s i udaljenosti do 100 m, dok UTP cat5e kabel omogućuje brzine prijenosa podataka do 1 Gbit/s i udaljenosti do 100 m. UTP cat5e kabel sastoji se od četiriju parica, izolacije vodiča, jezgre kabela i plašta kako je prikazano na Slici 5.4. [24].



Slika 5.4. Konstrukcija UTP cat5e kabela [24]

5.3. UTP cat6 telekomunikacijski kabel

UTP kabel kategorije 6 (cat6) pruža bolje performanse od UTP cat5e kabela te ima strože specifikacije za preslušavanje. Kako bi prijenos podataka bio u skladu s cat6 specifikacijama, utičnice, spojni kabeli, spojni paneli i kabeli moraju ispunjavati cat6 standarde. Važno je napomenuti da ako se UTP cat6 kabel koristi s cat5e utičnicama, brzine će prijenosa podataka raditi na razini UTP cat5e kabela [25]. UTP cat6 kabel koristi se za prijenos podataka u frekvencijskom opsegu do 250 MHz i podržava brzine prijenosa podataka do 1 Gbit/s na udaljenosti do 100 m. Kabel se sastoji od četiriju bakrenih parica (1), izolacije vodiča SFS polietilenom (2), sloja plastične folije (3), plastikom prevučene aluminijske folije (4) i PVC-plašta ili bez halogeni plašta (5) kako je i prikazano na Slici 5.5. UTP cat6 kabel koristi se za frekvencije do 250 MHz [25].

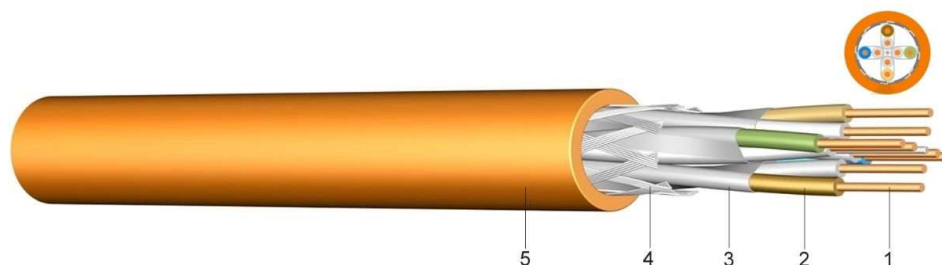


Slika 5.5. Konstrukcija UTP cat6 kabela [25]

5.4. UTP cat7 telekomunikacijski kabel

UTP kabel cat7 koristi se za prijenos podataka u frekvencijskom opsegu do 600 MHz. Sastoji se od četiriju pojedinačno zaštićenih parica unutar zajedničkog štita naziva oklopljeni/upleteni par (S/FTP). Navedeni kabel može podržavati brzine prijenosa podataka do 10 Gbit/s. U S/FTP kabelu, sve četiri parice zajedno omotane su u metalnu pletenicu. UTP cat7 kabel kompatibilan je sa standardnim cat6 i cat5 kabelom, ali ima daleko strože specifikacije za preslušavanje. Potpuno zaštićeni kabel praktički eliminira preslušavanje unutar parica. Osim toga, kabel je otporan na elektromagnetska zračenja, što ga čini idealnim za područja s visokim elektromagnetskim zračenjem [26].

Kabel se sastoji od bakrenog vodiča (1), izolacije vodiča pjenastim polietilenom (2), paričnog zaslona s plastikom prevučenom aluminijskom folijom s pokositrenom odvodnom žicom Ø 0,4 (3), opletom od pokositrenih bakrenih žica (4), vanjskim plaštom od polivinil klorida (PVC) - sivi ili od bez halogene polimerske smjese narančasti (5) kako je i prikazano na Slici 5.6. [26]. Nedostaci UTP cat7 kabela svakako su cijena i krutost samog kabela, što otežava instalaciju i povlačenje.



Slika 5.6. Konstrukcija UTP cat7 kabela [26]

U nastavku je tablični prikaz usporedbe maksimalne brzine prijenosa podataka za različite kategorije UTP kabela za udaljenosti do 100 m [27].

Tablica 5.1. Usporedba brzine prijenosa podataka različitih tipova UTP kabela te maksimalne frekvencije za koju je napravljen kabel za udaljenosti do 100 m [27]

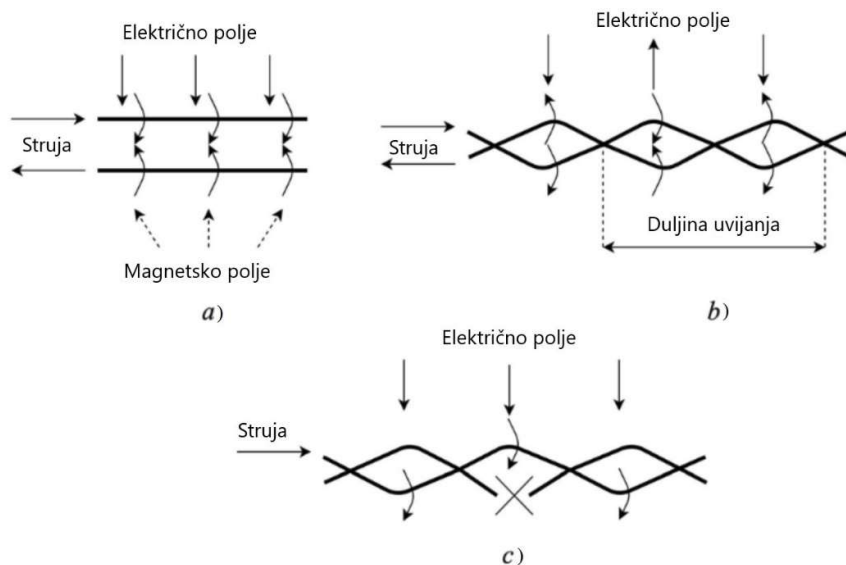
Tip kabela	Maksimalna frekvencija za koju je kabel rađen (MHz)	Maksimalan brzina prijenosa podataka (Gbit/s)
cat5e	100	1
cat6	250	1
cat7	600	10

5.5. Zračenje uvijene bakrene parice

Budući da većina telekomunikacijskih kabela koji su već instalirani kod krajnjeg korisnika nisu predviđeni za prijenos podataka na frekvencijama koje koristi G.fast2 tehnologija, prilikom prijenosa podataka kroz kabel dolazi do povećanja izračenog električnog polja iz parične infrastrukture. Ovo izračeno električno polje može povećati ukupno zračenje parične infrastrukture iznad definiranih granica zračenja, što je obično rezultat neadekvatnog dizajna kabela, nepravilne instalacije kabela i/ili neodgovarajućeg održavanja kabela te takvo, povećano, zračenje može utjecati na rad drugih radijskih sustava.

Osnovna je metoda koja se koristi za smanjenje zračenja kabela uvijanje žica u kabele (upleteni kabele). Upleteni kabel sastoji se od dviju izoliranih žica uvijenih jedna oko druge s duljinom uvijanja manjom od $\lambda_{\min} / 4$, pri čemu λ_{\min} predstavlja najmanju valnu duljinu signala u kabele. Smanjenje zračenja u paru upletenih žica proizlazi iz činjenice da se zračenje poništava jer se generira električno polje suprotnog smjera, što rezultira međusobnim poništavanjem električnog

polja generiranog kabelom (Slika 5.7. b). Ako je prisutna nesavršenost geometrijske simetrije žičanog para, na primjer prekid jednog paričnog vodiča, odnosno jedne žice unutar parice, rezultat će biti povećano zračenje kabela (Slika 5.7. c) [13].



Slika 5.7. Zračenje električnog polja uvijene bakrene parice a) ravni kabel, b) uvijeni kabel i c) nebalansirani kabel [13]

Za opisivanje smanjenja razine zračenja iz telekomunikacijske infrastrukture koristi se pojam uravnotežen (engl. *balanced*). Uravnoteženje kabela, u smislu napona, definirano je izrazom [28]:

$$b_v = \frac{U_{com}}{U_{diff}} \quad (5-1)$$

gdje U_{com} predstavlja nesimetrični napon, a U_{diff} diferencijalni napon. Na skali decibela, uravnoteženje kabela često se opisuje kao uzdužni gubitak pretvorbe (engl. *longitudinal conversion loss - LCL*), definiran izrazom [13]:

$$LCL = -20 \log_{10}(b_v) [dB] \quad (5-2)$$

Da bi se dodatno smanjilo zračenje bakrenih parica, kao i utjecaj vanjskih radijskih sustava na kabel, uvijene bakrene parice u modernim xDSL kabelima prekrivene su aluminijskom trakom (oklopljeni kabeli). Iako oklopljeni kabeli imaju bolje tehničke karakteristike od neoklopljenih

kabela, neoklopljeni se kabeli često koriste kao dio žičane telekomunikacijske mreže zbog nižih troškova. Uzimajući to u obzir kao i činjenicu da je postojeća infrastruktura obično izrađena od neoklopljenih kabela, mogle bi se očekivati značajnije smetnje u radu radijskih sustava koji koriste isti dio frekvencijskog spektra kao i G.fast2 tehnologija. Kako bi se analizirala razina zračenja iz korisničkog dijela telekomunikacijske mreže kada se koriste različite vrste kabela, u ovom su radu promatrana zračenja kada su korišteni TK33U kabel, UTP cat5e kabel, UTP cat6 kabel i UTP cat7 kabel. Kabeli su odabrani kako bi odražavali glavne tehničke karakteristike telekomunikacijskih kabela koji se uglavnom koriste za distribuciju xDSL signala.

6. ANALIZA IZMJERENIH VRIJEDNOSTI JAKOSTI IZRAČENOG ELEKTRIČNOG POLJA KOD G.FAST2 TEHNOLOGIJE

G.fast2 tehnologija omogućava gigabitnu vezu prijenosom visokofrekvencijskih signala preko postojeće bakrene telekomunikacijske mreže. Da bi se detektirala razina električnog zračenja iz korisničkog dijela telekomunikacijske mreže, u ovom radu mjerena je razina jakosti izračenog električnog polja kada su G.fast2 modem i telekomunikacijski kabel instalirani u radiofrekvencijskoj komori (hr. *radiofrekvencijskoj* - RF), dok je DSL multiplekser (engl. *digital subscriber line access multiplexer* – DSLAM) instaliran izvan komore. G.fast2 modem, odnosno DSLAM uređaj generira G.fast2 signal i ima mogućnost smanjenja izlazne snage kako bi se vidio utjecaj na jakost izračenog električnog polja. Sukladno preporuci ITU-T G.9700, maksimalna snaga DSLAM uređaja koji se koristio u mjerenjima je 4 dBm [13]. Radiofrekvencijska komora je specijalizirani prostor dizajniran za testiranje i mjerenje elektromagnetskih signala u radiofrekvencijskom spektru. Ove su komore ključne za analizu radiofrekvencijske kompatibilnosti i elektromagnetske kompatibilnosti elektroničkih uređaja uključujući telekomunikacijsku opremu poslužitelja i korisničku telekomunikacijsku opremu. Sva električna oprema korištena u ovom radu sukladna je elektromagnetskoj kompatibilnosti (engl. *electromagnetic compatibility* – EMC), odnosno smjernicama i standardima Direktive Vijeća 2015/863/EU i 2014/30/EU, koja definira maksimalno dopušteno zračenje iz električnih uređaja. Iako je električna oprema korištena u ovoj studiji proizvedena u skladu s EMC direktivom, to ne znači da je ukupno zračenje iz telekomunikacijske mreže u skladu s ograničenjima zračenja koje su definirane međunarodnim preporukama. Razlog tome je što se telekomunikacijska mreža, osim elektroničke opreme, sastoji i od postojećih bakrenih telekomunikacijskih kabela koji obično nisu dizajnirani za prijenos podataka na frekvencijama koje koristi G.fast2 tehnologija. Ova činjenica rezultira povećanim zračenjem kada G.fast2 signal prolazi kroz telekomunikacijsku infrastrukturu. Kako bi analizirali utjecaj dizajna kabela na izmjerenu razinu zračenja *E*-polja, u ovom se radu mjerila jakost izračenog električnog polja različitih vrsta telekomunikacijskih kabela. Duljina kabela je 6 m, a tehničke specifikacije kabela korištenih u ovom radu dane su u Tablici 6.1.

Tablica 6.1. Tehničke specifikacije korištenih telekomunikacijskih kabela

Tip kabela	Konstrukcija	Izolacija vodiča	Plašt
TK33U	3 x 4 x 0,4	Polietilen	Ne

UTP cat5e	4 x 2 x 0,4	Polietilen	Ne
UTP cat6	4 x 2 x 0,4	Polietilen	Aluminijska folija
UTP cat7	4 x 2 x 0,4	Polietilen	Aluminijska folija + bakrena pletenica

Komora je idealno mjesto za ispitivanje jakosti električnog polja iz telekomunikacijske infrastrukture jer je to okruženje bez utjecaja vanjskog zračenja u kojem je prisutno samo zračenje predmeta od interesa (telekomunikacijski kabel). Da bi se smanjila refleksija unutar komore, na zidove unutar komore postavljeni su RF apsorberi koji su prikazani na Slici 6. 1. Dimenzije komore u kojoj su provedena mjerenja iznose $7,62 \times 5,18 \times 5,49$ m (duljina \times širina \times visina).



Slika 6.1. Prikaz RF apsorbera unutar komore

Mjerenja razine jakosti izračenog električnog polja napravljena su pomoću prijemnika prikazanog na Slici 6.2. R&S ESMD, koji omogućuje mjerenje signala u frekvencijskom spektru (od 9 kHz do 26,5 GHz) visoke osjetljivosti, što omogućava identifikaciju slabih signala. Za potrebe mjernog postupka koristila se i Schwarzbeck VULB 9160 linearno polarizirana logaritamska širokopoljasna antena prikazana na Slici 6.3., koja je dizajnirana za nominalni frekvencijski opseg od 30 MHz do 1 GHz. Navedena antena koristi se za testiranje elektromagnetske kompatibilnosti, istraživanje radiofrekvencijskog spektra te nadzor elektromagnetskih signala. Antena je postavljena na stativ visine 1,7 m iznad razine tla i 3 m od telekomunikacijskog kabela, kao što je definirano u ITU-T K.60 preporuci [1].

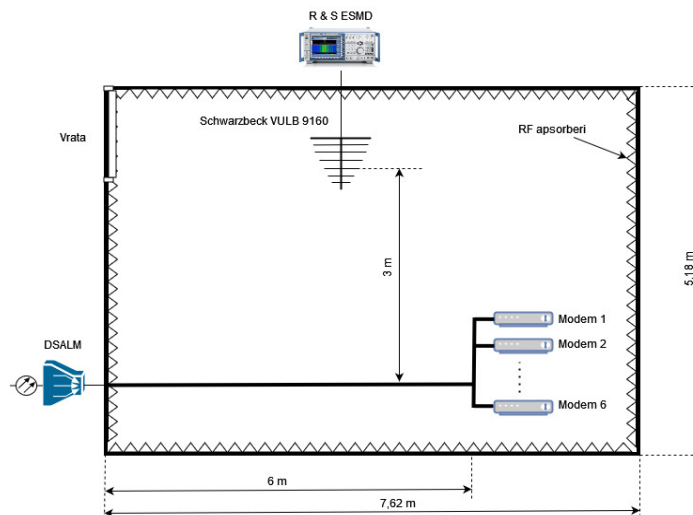


Slika 6.2. Rohde&Schwarz ESMD širokopojasni prijemnik



Slika 6.3. Schwarzbeck VULB 9160 linearno polarizirana logaritamska širokopojasna antena

R&S ESMD prijemnik postavljen je da mjeri frekvencijsko područje od 30 MHz do 212 MHz uz korak od 51,75 kHz. Korak je jednak razmaku podnosioca u G.fast2 tehnologiji, što je definirano u ITU-T G.7900 preporuci [30]. Kako ESMD prijemnik na svom ulazu očitava napon signala, izmjerenim vrijednostima prijemnika potrebno je dodati korekcijski faktor pojačanja antene te gubitke u kabelu i konektorima, što je moguće naći u specifikaciji opreme. Slika 6.4. prikazuje blok shemu komora s postavljenom opremom.



Slika 6.4. Blok shema komora za ispitivanje zračenja iz telekomunikacijske infrastrukture bez utjecaja vanjskog zračenja

Praktični dio mjerenja ovog specijalističkog rada prikazan je na Slici 6.5. a odnosio se na mjerenje jakosti izračenog električnog polja telekomunikacijskih kabela tipa TK33U (uparena parica), UTP cat5e, UTP cat6, UTP cat7 korištenih za prijenos podataka kod G.fast2 tehnologije te usporedbu izmjerenih vrijednosti s ITU-T K.60 preporukom.

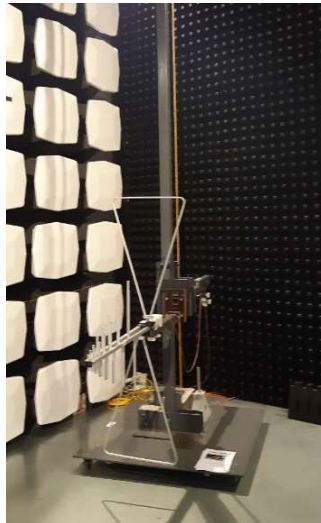
Iako G.fast2 tehnologija radi na frekvencijskom području od 2,2 MHz – 212 MHz, zbog frekvencijskog područja antene, mjerenja su rađena u frekvencijskom području 30 MHz – 212 MHz. Prema ITU-T K.60 preporuci, ograničenje zračenja za prethodno definirano frekvencijsko područje iznosi 40 dB μ V/m na udaljenosti 3 m od žičane telekomunikacijske mreže kao što je prikazano u poglavlju 4.1. [1].



Slika 6.5. Prikaz mjernih uređaja za potrebe mjerenja jakosti izračenog električnog polja telekomunikacijskih kabela

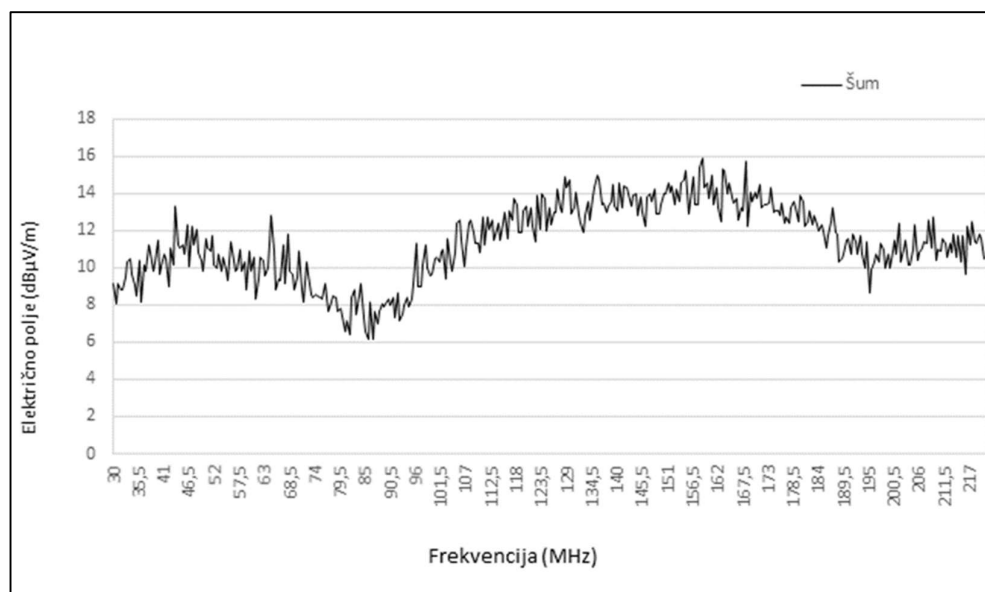
6.1. Određivanje referentne razine jakosti izračenog električnog polja

Razina jakosti izračenog električnog polja iz telekomunikacijske parične infrastrukture postavljene u komori izmjerena je kada se antena postavi u vertikalni položaj, što je prikazano na Slici 6.6. jer je u tom položaju antene moguć maksimalan prijem električnog polja, što je vidljivo u mjernom postupku sljedećeg poglavlja. Prema specifikacijama definiranim u ITU-T K.60 preporuci [1], za mjerenje jakosti izračenog električnog polja, korišten je vršni detektor sa širinom pojasa razlučivanja (engl. *resolution bandwidth*) od 120 kHz. Ukupna snaga predajnika G.fast2 signala iznosi 4 dBm kako je navedeno u ITU-T G.7900 preporuci [29].



Slika 6.6. Prikaz položaja antene kod određivanja referentne razine izračenog električnog polja

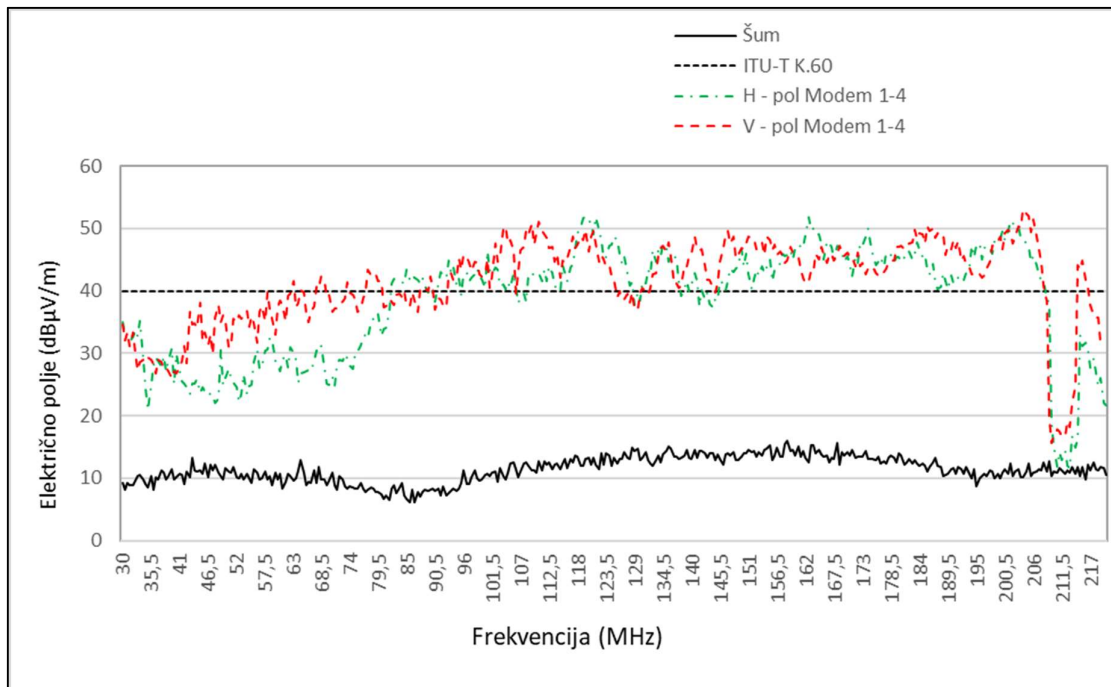
Za potrebe analize izmjerenih vrijednosti polja izračunata je srednja vrijednost izračenog električnog polja za svaku vrstu telekomunikacijskog kabela korištenog u ovom specijalističkom radu. Referentna razina jakosti izračenog električnog polja dobivena je na način da se prvo mjerenje provelo kad je bila isključena sva telekomunikacijska oprema, odnosno modemi. Ovaj rezultat mjerenja predstavlja razinu šuma u komori i u ovom se radu koristi za procjenu razine zračenja iz telekomunikacijske mreže instalirane u komori. Rezultat referentnog (mjerenja) razine šuma, odnosno razine jakosti izračenog električnog polja prikazan je na Slici 6.7. Srednja vrijednost referentnog šuma iznosi 11,39 dB μ V/m.



Slika 6.7. Referentna razina jakosti izračenog električnog polja - šum

6.2. Usporedba razine jakosti izračenog električnog polja G.fast2 tehnologije s obzirom na polarizaciju antene

Tijekom ovog mjerenja koristi se UTP cat5e kabel na način da se na četiri parice kabela spajaju četiri modema te se antena postavlja u H-polarizaciju i V-polarizaciju. Rezultati mjerenja jakosti izračenog električnog polja u H-polarizaciji ili V-polarizaciji prikazani su na Slici 6.8. Istraživanje je obuhvatilo mjerenje jakosti izračenog električnog polja G.fast2 signala s obzirom na različite polarizacije prijemne antene. Srednja vrijednost zračenja jakosti izračenog električnog polja, kada je antena bila postavljena u vertikalnu (V) polarizaciju, iznosi 41,6 dB μ V/m, dok je srednja vrijednost zračenja pri horizontalnoj (H) polarizaciji niža i iznosi 39,1 dB μ V/m.



Slika 6.8. Usporedba razine jakosti izračenog električnog polja u G.fast2 tehnologiji s obzirom na polarizaciju antene kod UTP cat5e kabela

S obzirom na veće izmjerene vrijednosti zračenja pri V-polarizaciji, sva daljnja mjerenja zračenja provedena su kada je prijemna antena postavljena u vertikalni položaj kako bi se osigurala konzistentnost i pouzdanost rezultata. Tablica 6.2. prikazuje usporedbu srednjih vrijednosti zračenja (\bar{E}) i maksimalnih izmjerenih vrijednosti (E_{max}) za obje polarizacije. Ova analiza omogućava uvid u to kako različita polarizacija antene utječu na jakost izračenog električnog polja, što može biti ključno za optimizaciju prijemnih sustava u telekomunikacijskim mrežama. Rezultati

ovog mjerenja, prikazani u Tablici 6.2., pokazali su da su izmjerene vrijednosti izračenog električnog polja iznad ITU-T K.60 preporukom propisanih granica. Mjerenja za potrebe analize rezultata dana su u Prilogu P.1.

Tablica 6.2. Vrijednosti izračenog električnog polja za V-polarizaciju i H-polarizaciju prijemne antene

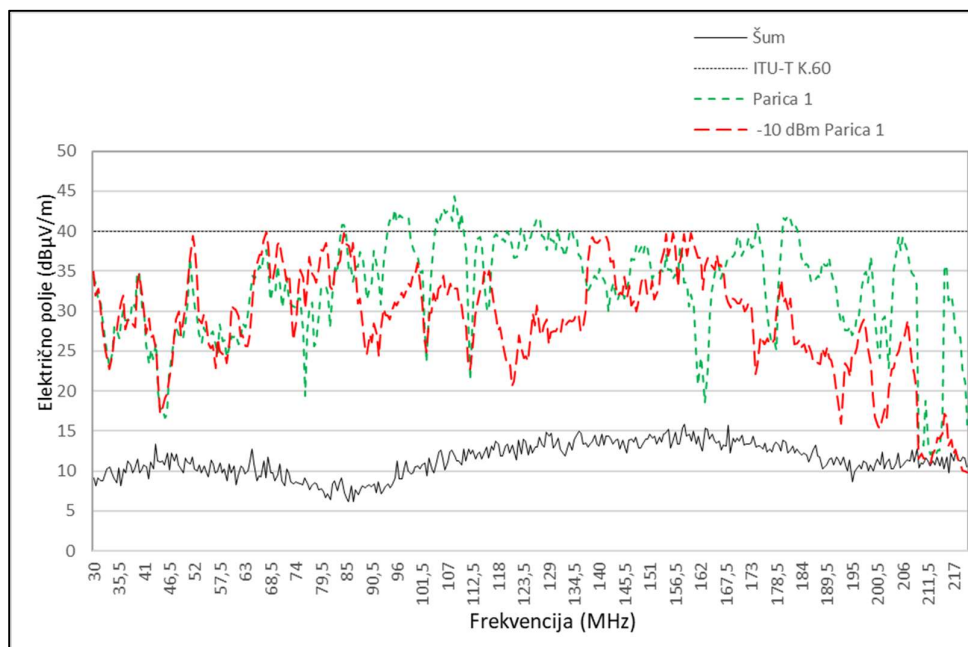
	V polarizacija	H polarizacija
\bar{E} (dB μ V/m)	41,6	39,1
E_{max} (dB μ V/m)	53	52

6.3. Analiza utjecaja promjene izlazne snage DSLAM uređaja na razinu jakosti izračenog električnog polja u G.fast2 tehnologiji

Kako bi se utvrdile razine signala koje će zadovoljiti ITU-T K.60 preporučene vrijednosti, u ovom je potpoglavlju napravljena analiza utjecaja promjene izlazne snage DSLAM uređaja kada se G.fast2 signal prenosi putem jedne parice. Smanjenjem izlazne snage DSLAM uređaja za 10 dB postiže se smanjenje jakosti izračenog električnog polja. Vrijednost mjerenja jakosti izračenog električnog polja kada se G.fast2 signal prenosi putem jedne parice pri osnovnoj izlaznoj snazi DSLM uređaja od 4 dBm i smanjenoj izlaznoj snazi DSLAM uređaja za 10 dB prikazana je na slici 6.9.

Rezultati pokazuju da kada se G.fast2 signal prenosi preko jedne parice TK33U kabela pri osnovnoj izlaznoj snazi DSLM uređaja, srednja vrijednost jakosti izračenog električnog polja iznosi 33,1 dB μ V/m, dok maksimalna vrijednost pri frekvenciji od 108,5 MHz iznosi 44,4 dB μ V/m. Ovi rezultati pokazuju da su izmjerene maksimalne vrijednosti izračenog električnog polja pri prijenosu G.fast2 signala preko jedne parice veće za 4,4 dB u odnosu na ITU-T K.60 preporuku.

Nadalje, rezultati pokazuju da kada se G.fast2 signal prenosi preko jedne parice TK33U kabela te smanjenoj izlaznoj snazi DSLAM uređaja za 10 dB, srednja vrijednost zračenja jakosti izračenog električnog polja iznosi 29,5 dB μ V/m, a maksimalna vrijednost pri frekvenciji od 67,5 MHz iznosi 39,9 dB μ V/m. Rezultati su pokazali da kod prijenosa G.fast2 signala preko jedne parice, smanjena izlazna snaga DSLAM uređaja rezultirala je vrijednostima zračenja koje su ispod preporučenih granica s minimalnim odstupanjem od samo 0,01 dB ispod preporučene vrijednosti.



Slika 6.9. Usporedba jakosti izračenog električnog polja kod TK 33U kabel pri osnovnoj izlaznoj snazi DSLAM uređaja

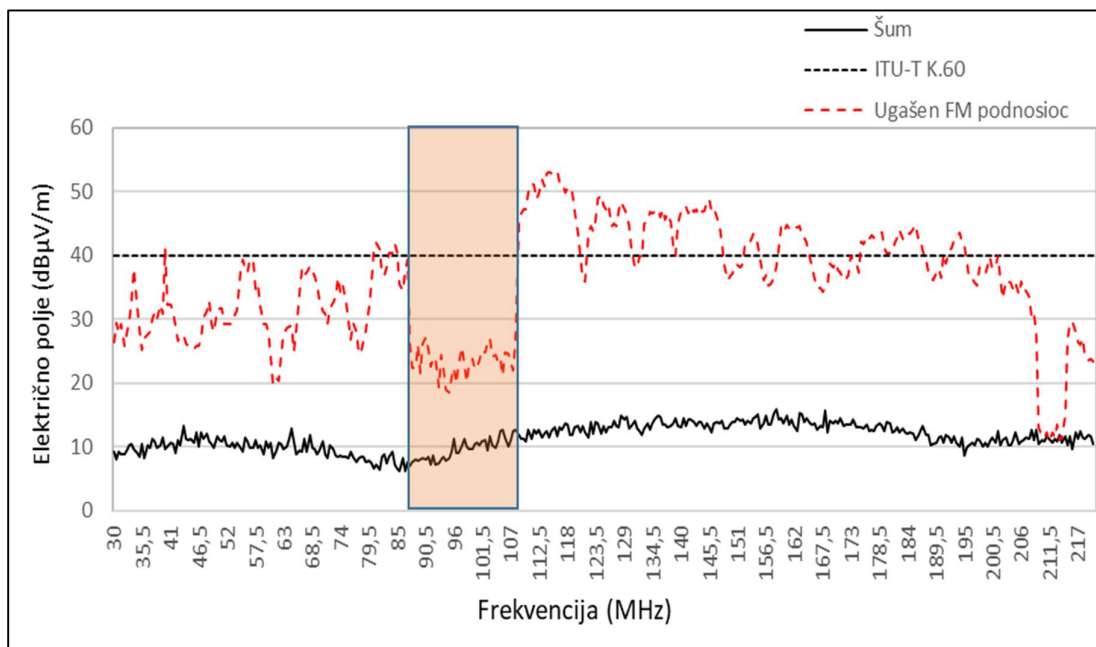
Ova analiza pokazuje značajan utjecaj izlazne snage na jakost izračenog električnog polja kada se G.fast2 signal prenosi preko TK33U kabela. Mjerenja za potrebe analize rezultata dana su u Prilogu P.2.

6.4. Analiza utjecaja isključivanja podnosioca G.fast2 signala na jakost izračenog električnog polja

Kako bi se osigurala koegzistencija G.fast2 sustava i drugih radijskih sustava koji rade u istom dijelu frekvencijskog spektra, DSLAM uređaj za generiranje G.fast2 signala ima mogućnost gašenja pojedinih podnosioca G.fast2 signala koji koriste i drugi radijski sustavi kao što su FM (ultrakratki radio valovi) radio, DAB (digitalni radio) i AL (zrakoplovne komunikacije). Rezultati mjerenja dok G.fast2 signal prolazi jednom paricom TK33U kabela, pri isključivanju podnosioca G.fast2 spektra koje koristi UKV radijski sustav u FM frekvencijskom spektru (87,5 MHz-108 MHz), prikazani su na Slici 6.10.

Srednja vrijednost zračenja jakosti izračenog električnog polja iznosi 36,1 dBµV/m, dok maksimalna vrijednost zračenja jakosti izračenog električnog polja pri frekvenciji od 116,0 MHz iznosi 53,3 dBµV/m. Analizom rezultata mjerenja dolazimo do zaključka kako gašenje pojedinih podnosioca G.fast2 signala znatno utječe na srednju vrijednost zračenja jakosti izračenog

električnog polja kao i maksimalnu vrijednost zračenja jakosti izračenog električnog polja jer se snaga zračenja raspodijelila na ostale podnosiocce.



Slika 6.10. Analiza rezultata mjerenja jakosti izračenog električnog polja za slučaj kada su isključeni podnosioci koje koristi FM spektar kod TK33U kabela

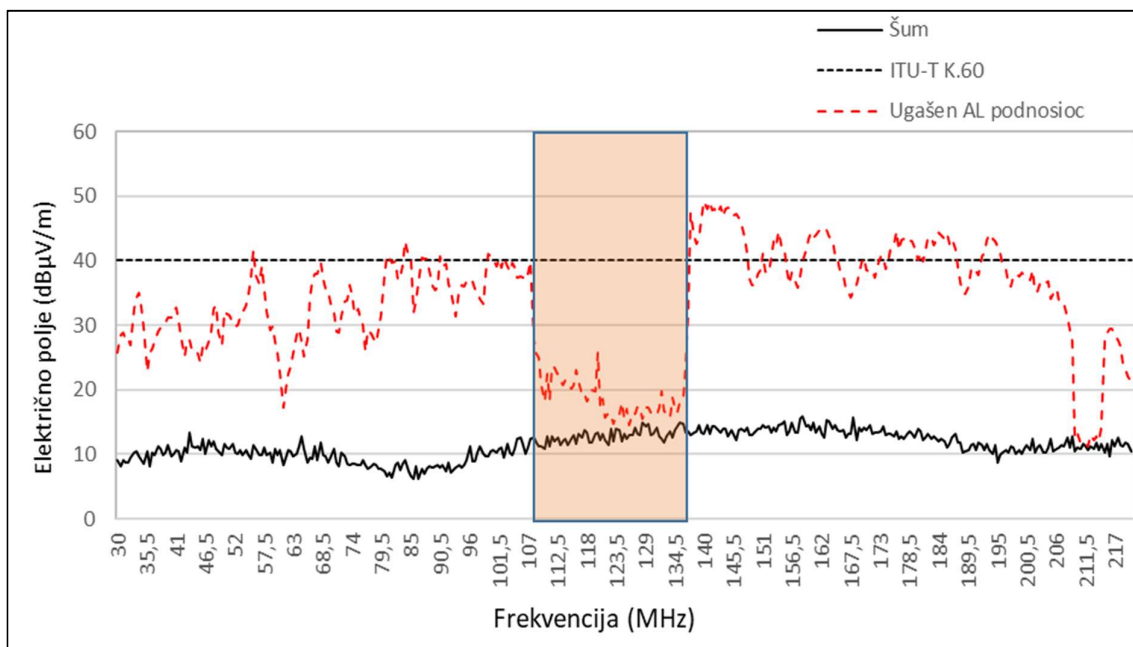
Usporedba rezultata prethodno spomenutog mjerenja prikazana je u Tablici 6.3.

Tablica 6.3. Usporedba rezultata mjerenja jakosti izračenog električnog polja za slučaj kada su isključeni podnosioci koje koristi FM spektar kod TK33U kabela

TK33U kabel	G.fast2 spektar	G.fast2 spektar s isključenim FM podnosiocima
\bar{E}	33,1 dB μ V/m	36,1 dB μ V/m
E_{max}	44,4 dB μ V/m	53,3 dB μ V/m

Rezultati mjerenja jakosti izračenog električnog polja za slučaj kada su isključeni podnosioci koje koristi AL radijski sustav (108 MHz -137 MHz) prikazani su na Slici 6.11.

Srednja vrijednost zračenja jakosti izračenog električnog polja iznosi 38,3 dB μ V/m, dok maksimalna vrijednost iznosi 49,2 dB μ V/m pri frekvenciji 141,0 MHz. Rezultati mjerenja i ovdje pokazuju da se isključivanjem podnosioca G.fast2 signala u AL dijelu frekvencijskog spektra smanjuje mogućnost utjecaja G.fast2 signala na radijske sustave koji rade u AL frekvencijskom spektru od 108 MHz – 137 MHz, ali se povećava smetnja u ostalom dijelu frekvencijskog spektra.



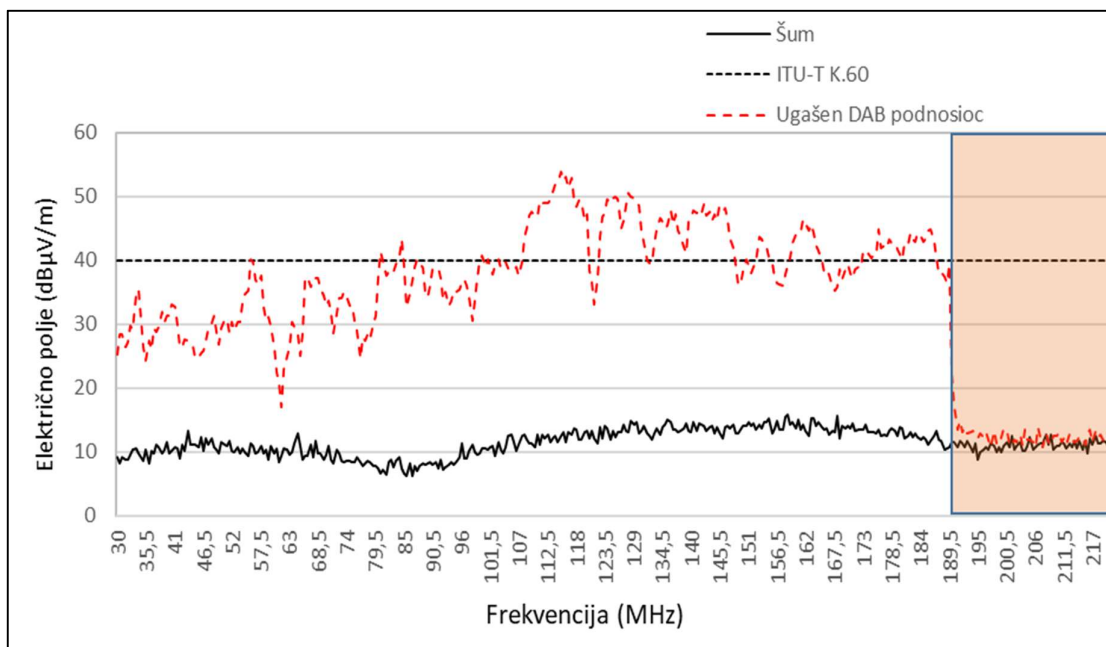
Slika 6.11. Analiza rezultata mjerenja jakosti izračenog električnog polja za slučaj kada su isključeni podnosioci koje koristi AL spektar kod TK33U kabela

Usporedba rezultata prethodno spomenutog mjerenja prikazana je u Tablici 6.4.

Tablica 6.4. Usporedba rezultata mjerenja jakosti izračenog električnog polja za slučaj kada su isključeni podnosioci koje koristi AL spektar kod TK33U kabela

TK33U kabel	G.fast2 spektar	G.fast2 spektar s isključenim AL podnosiocima
\bar{E}	33,1 dB μ V/m	38,3 dB μ V/m
E_{max}	44,4 dB μ V/m	49,2 dB μ V/m

Rezultati mjerenja jakosti izračenog električnog polja za slučaj kada su isključeni podnosioci koje koristi DAB radijski sustav (188 MHz-230 MHz) prikazani su na Slici 6.12. Srednja vrijednost jakosti izračenog električnog polja iznosi 35,1 dB μ V/m, dok maksimalna vrijednost iznosi 53,9 dB μ V/m pri frekvenciji od 115 MHz. Rezultati mjerenja i ovdje pokazuju da se isključivanjem podnosioca G.fast2 signala u DAB dijelu frekvencijskog spektra smanjuje mogućnost utjecaja G.fast2 signala na radijske sustave koji rade u DAB frekvencijskom spektru od 188 do 230 MHz, ali se povećava smetnja u ostalom dijelu frekvencijskog spektra.



Slika 6.12. Analiza rezultata mjerenja jakosti izračenog električnog polja za slučaj kada su isključeni podnosioci koje koristi DAB spektar kod TK33U kabela

Usporedba rezultata prethodno spomenutog mjerenja prikazana je u Tablici 6.5. Mjerenja za potrebe analize rezultata dana su u Prilogu P.3.

Tablica 6.5. Usporedba rezultata mjerenja jakosti izračenog električnog polja za slučaj kada su isključeni podnosioci koje koristi DAB spektar kod TK33U kabela

TK33U kabel	G.fast2 spektar	G.fast2 spektar s isključenim DAB podnosiocima
\bar{E}	33,1 dBµV/m	35,1 dBµV/m
E_{max}	44,4 dBµV/m	53,9 dBµV/m

Usporedba svih rezultata jakosti izračenog električnog polja za slučaj kada su isključeni podnosioci koje koristi FM, AL i DAB spektar kod TK33U kabela prikazana je u Tablici 6.6.

Tablica 6.6. Usporedba svih rezultata jakosti izračenog električnog polja za slučaj kada su isključeni podnosioci koje koriste FM, AL i DAB spektar kod TK33U kabela

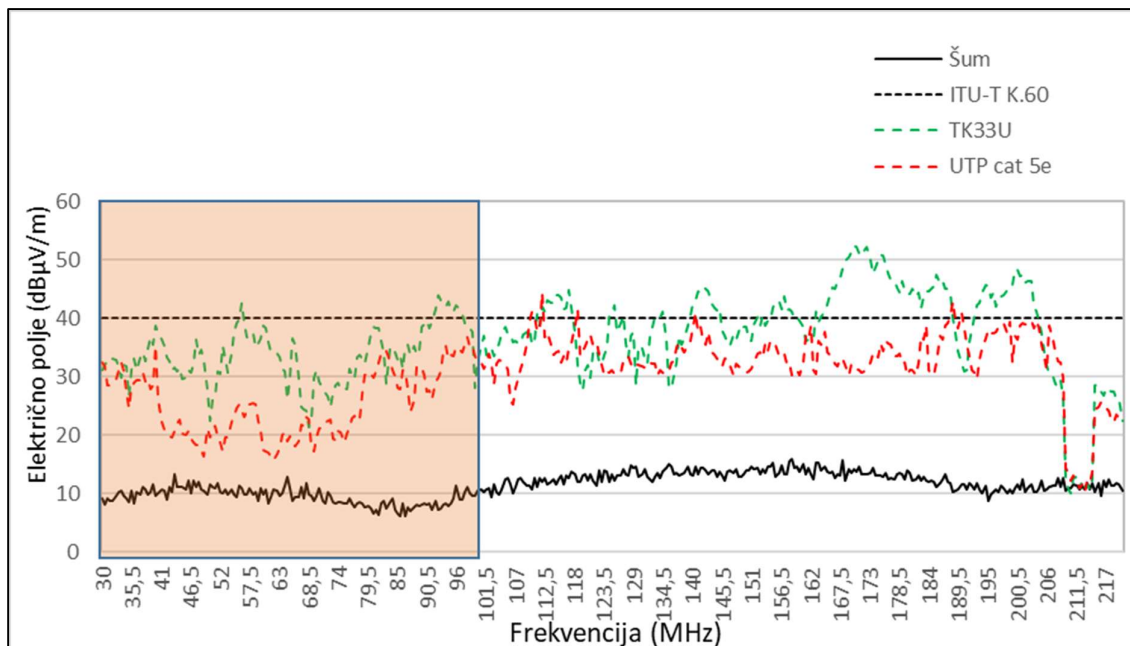
TK33U kabel	G.fast2 spektar	G.fast2 spektar s isključenim FM podnosiocima	G.fast2 spektar s isključenim AL podnosiocima	G.fast2 spektar s isključenim DAB podnosiocima

\bar{E}	33,1 dB μ V/m	36,1 dB μ V/m	38,3 dB μ V/m	35,1 dB μ V/m
E_{max}	44,4 dB μ V/m	53,3 dB μ V/m	49,2 dB μ V/m	53,9 dB μ V/m

Iz Tablice 6.6. vidljivo je kako je najveće zračenje za slučaj kada su isključeni podnosioci koje koristi DAB sustav, dok je najmanje zračenje, ali opet iznad norme, za slučaj kada su isključeni podnosioci koje koristi AL sustav.

6.5. Analiza usporedbe jakosti električno polje G.fast2 spektra za TK33U i UTP cat5e kabela

Kako bi se prikazao utjecaj kvalitete kabela na iznos ukupnog zračenja provedena su mjerenja jakosti izračenog električnog polja kada se signal G.fast2 prenosi pomoću UTP cat5e kabela i pomoću TK33U kabela. Rezultati mjerenja jakosti izračenog električnog polja kada se signal G.fast2 prenosi pomoću UTP cat5e kabela prikazani su na Slici 6.13. Rezultati mjerenja pokazuju da je zračenje iz telekomunikacijske mreže kada se koristi UTP cat5e kabel niže nego kad se koristi TK33U kabel. Rezultat je to dizajna kabela (tj. manje duljine uvijanja), koja omogućuje učinkovit prijenos podataka na višim frekvencijama i smanjuje zračenje iz UTP cat5e kabela. Kao što je spomenuto u poglavlju 4.3., UTP cat5e kabel namijenjen je za prijenos podataka do 100 MHz.



Slika 6.13. Usporedba jakosti izračenog električnog polja kada se signal G.fast2 prenosi pomoću TK33U i UTP cat5e kabel

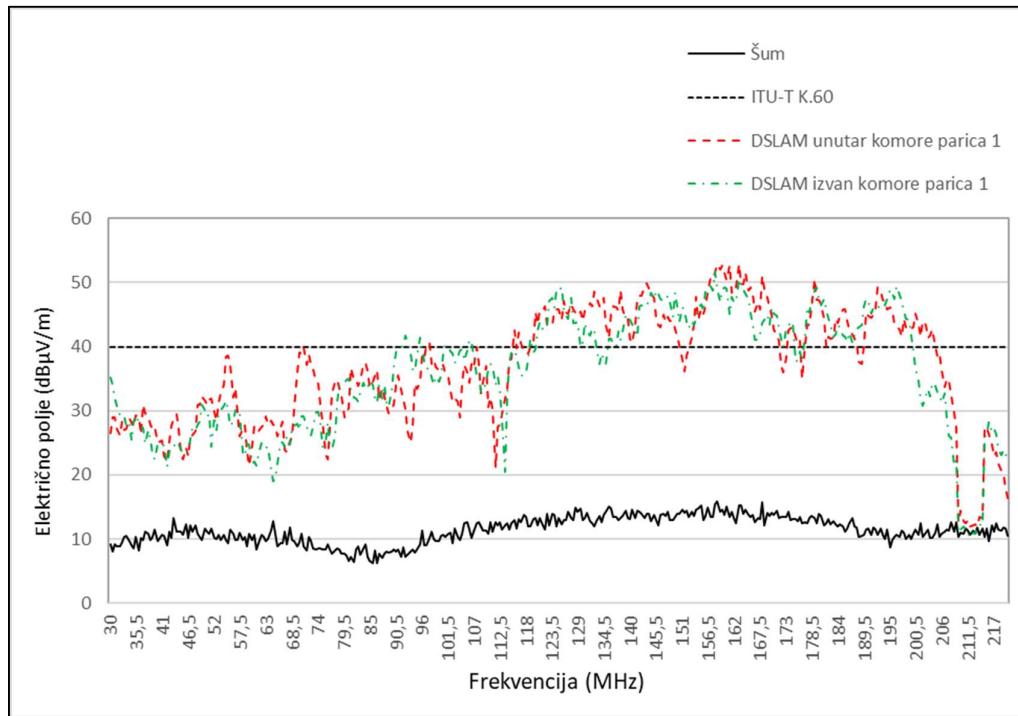
Provedena mjerenja pokazala su da UTP cat5e kabel generira znatno niže razine električnog zračenja u usporedbi s TK33U kabelom, posebno u frekvencijskom rasponu do 100 MHz, za koji je UTP cat5e kabel primarno dizajniran. Naime, srednja vrijednost jakosti izračenog električnog polja kod UTP cat5e kabela za promatrani frekvencijski opseg s jednom aktivnom paricom iznosi 30,6 dB μ V/m, dok je maksimalna izmjerena vrijednost jakosti izračenog električnog polja 44,3 dB μ V/m pri frekvenciji od 112,0 MHz. S druge strane, TK33U kabel pri prijenosu signala preko jedne aktivne parice pokazuje srednju vrijednost jakosti izračenog električnog polja od 37,6 dB μ V/m, dok maksimalna vrijednost jakosti izračenog električnog polja iznosi 52,3 dB μ V/m pri frekvenciji od 170,0 MHz.

Kada se promatra zračenje UTP cat5e kabel u frekvencijskom rasponu za koji je dizajniran (0-100 MHz), srednja vrijednost jakosti izračenog električnog polja smanjuje se na 25,3 dB μ V/m, dok maksimalna vrijednost jakosti izračenog električnog polja iznosi 36,7 dB μ V/m pri frekvenciji od 98 MHz. Ovi rezultati sugeriraju da je jakost izračenog električnog polja unutar tog spektra smanjena za 5 dB, čime UTP cat5e kabel postaje prikladniji za primjenu u kućnim telekomunikacijskim infrastrukturama, gdje se često koristi u novije vrijeme. Mjerenja za potrebe analize rezultata dana su u Prilogu P.4.

Navedeni podaci pokazuju da je UTP cat5e kabel optimiziran za minimalno zračenje u području za koje je dizajniran, što ga čini boljim izborom za smanjenje elektromagnetskih emisija u korisničkim prostorijama.

6.6. Usporedba rezultata mjerenja jakosti izračenog električnog polja kada je DSLAM unutar i izvan komore kod G.fast2 tehnologije

Za analizu jakosti izračenog električnog polja kada se DSLAM uređaj nalazi unutar komore i izvan nje koristila se jedna parica. Rezultati pokazuju kako lokacija smještaja DSLAM uređaja nema značajnijeg utjecaja na jakost izračenog električnog polja, odnosno nema značajnijeg utjecaja na jakost izračenog električnog polja kada je DSLAM uređaj unutar ili izvan komore jer je utjecaj kvalitete kabela na jačinu izračenog električnog polja puno veći od utjecaja opreme koja se koristi u mjerenjima. Analizom rezultata potvrđeno je da je uređaj napravljen sukladno Normi za elektromagnetsku kompatibilnost ETSI EN 300 386 V2.1.1. (2016-017). Rezultati mjerenja prikazani su na Slici 6.14.



Slika 6.14. Usporedba rezultata mjerenja jakosti izračenog električnog polja kada je DSLAM uređaj unutar i izvan komore

Pri postavljanju DSLAM uređaja unutar komore, srednja vrijednost jakosti izračenog električnog polja, za promatrani frekvencijski opseg s jednim aktivnim modemom, iznosi 37,5 dBµV/m, dok maksimalna vrijednost jakosti izračenog električnog polja iznosi 52,9 dBµV/m na frekvenciji od 163 MHz. Kada je DSLAM uređaj smješten izvan komore, srednja vrijednost jakosti izračenog električnog polja iznosi 36,7 dBµV/m, a maksimalna vrijednost jakosti izračenog električnog polja 51,7 dBµV/m pri frekvenciji od 158 MHz.

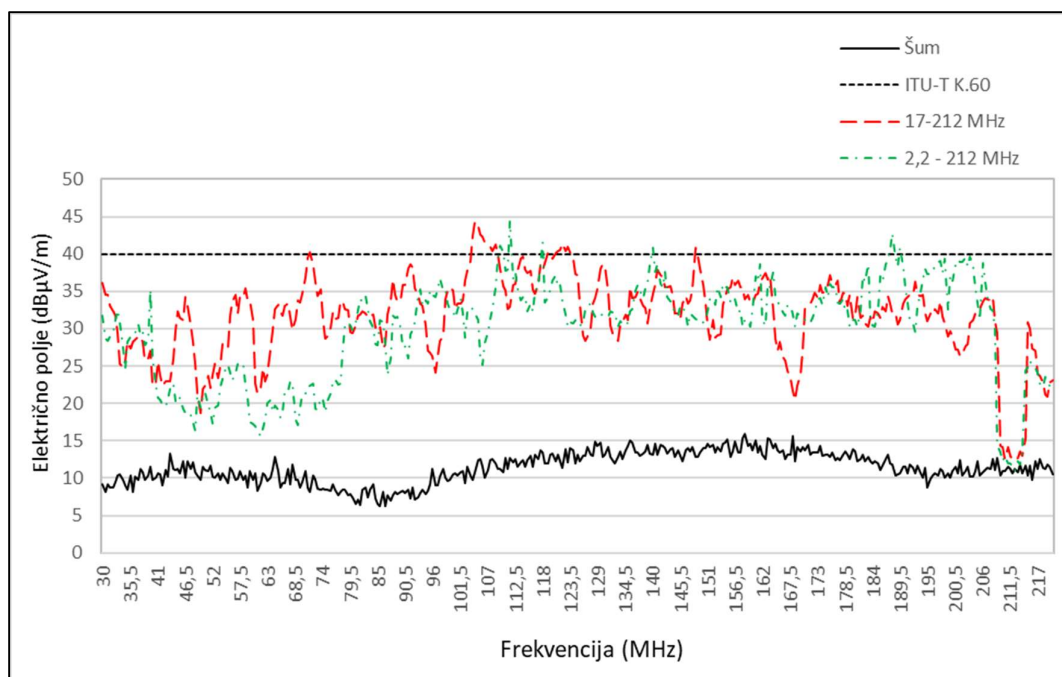
Ovi podaci upućuju na to da pozicija DSLAM uređaja, unatoč različitim prostornim uvjetima, ne utječe značajno na razine zračenja jakosti izračenog električnog polja. Iz dobivenih rezultata zaključuje se kako lokacija DSLAM uređaja, bilo unutar prostora korisnika ili izvan njega, ne predstavlja čimbenik koji bi značajno mijenjao električno zračenje u telekomunikacijskoj infrastrukturi. Mjerenja za potrebe analize rezultata dana su u Prilogu P.5.

6.7. Analiza utjecaja suženog frekvencijskog spektra na jakost izračenog električnog polja kod G.fast2 tehnologije

VDSL2 profil117a koristi frekvencijsko područje od 17 MHz do 212 MHz za prijenos podataka preko bakrenih telefonskih linija. VDSL2 tehnologija obično ima manji domet od drugih

tehnologija, ali i manje zračenje. G.fast2 tehnologija koristi frekvencijski raspon od 2 MHz do 212 MHz za prijenos podataka preko bakrenih telefonskih linija. Jakost je izračenog električnog polja kod G.fast2 tehnologije manja od zračenja jakosti izračenog električnog polja kod VDSL2 tehnologije. Jače električno polje može uzrokovati veće smetnje, što može smanjiti kvalitetu signala i brzinu prijenosa podataka. U konačnici, jakost izračenog električnog polja ovisi o mnogim čimbenicima, uključujući frekvencijski raspon, snagu signala, smetnji i ostalih čimbenika okruženja.

U nastavku je dana usporedba vrijednosti jakosti izračenog električnog polja za frekvencijski spektar od 17 MHz do 212 MHz koji koristi VDSL2 tehnologija za prijenos signala s vrijednostima jakosti izračenog električnog polja za frekvencijski spektar od 2,2 MHz do 212 MHz koji koristi G.fast2 tehnologija za prijenos signala kod UTP cat5e kabela. Rezultati mjerenja prikazani su na Slici 6.15.



Slika 6.15. Usporedba jakosti izračenog električnog polja za frekvencijski spektar od 17 MHz do 212 MHz i frekvencijski spektar od 2,2 MHz do 212 MHz za UTP cat5e kabela kod G.fast2 tehnologije

U ovom su istraživanju analizirane razine zračenja jakosti izračenog električnog polja kod UTP cat5e kabela kada G.fast2 sustav radi u različitim frekvencijskim opsezima. Pri radu u frekvencijskom području od 17 MHz do 212 MHz, za jednu aktivnu paricu, srednja vrijednost jakosti izračenog električnog polja iznosi 32,4 dBµV/m, dok maksimalna izmjerena vrijednost jakosti izračenog električnog polja pri frekvenciji od 104,5 MHz iznosi 44,3 dBµV/m.

S druge strane, pri radu u širem frekvencijskom opsegu od 2,2 MHz do 212 MHz, srednja vrijednost jakosti izračenog električnog polja iznosi 28,2 dB μ V/m, dok maksimalna izmjerena vrijednost jakosti izračenog električnog polja pri frekvenciji od 108,0 MHz iznosi 44,3 dB μ V/m, što je prikazano u Tablici 6.7.

Tablica 6.7. Utjecaj užeg frekvencijskog spektra na jakost izračenog električnog polja za UTP cat5e kabela kod G.fast2 tehnologije

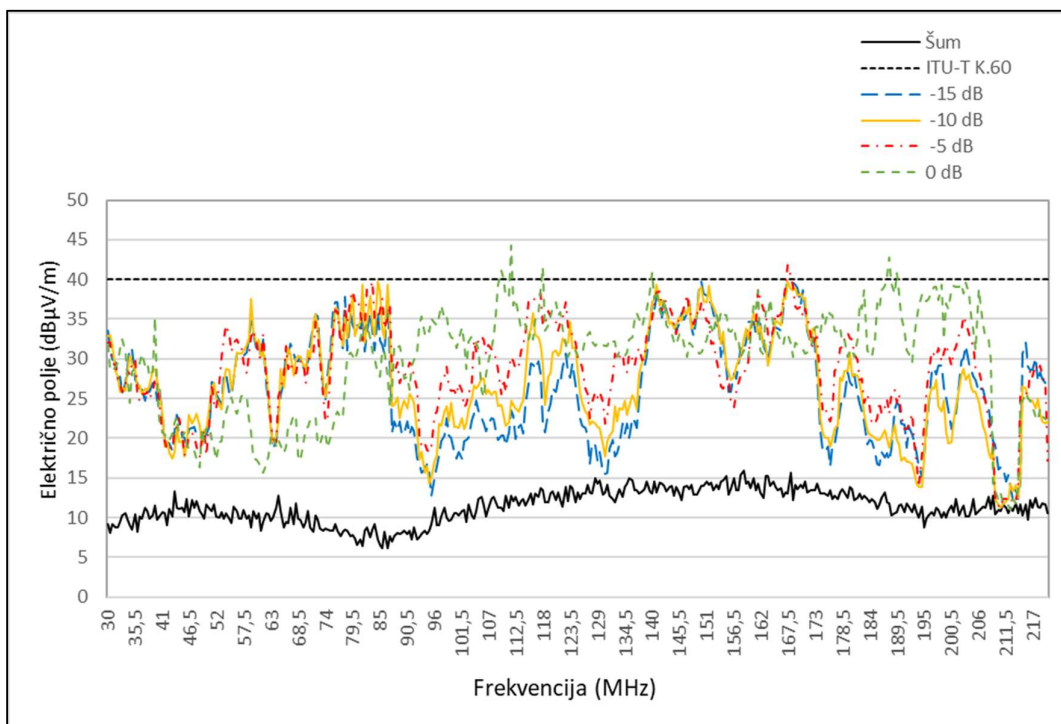
Frekvencijski spektar	\bar{E} (dB μ V/m)	E_{max} (dB μ V/m)
17 MHz – 212 MHz	32,4	44,3
2,2 MHz – 212 MHz	28,2	44,3

Usporedba izmjerenih vrijednosti pokazuje da je srednja vrijednost jakosti izračenog električnog polja u frekvencijskom području od 17 MHz do 212 MHz veća za 4,2 dB u odnosu na opseg od 2,2 MHz do 212 MHz. Mjerenja za potrebe analize rezultata dana su u Prilogu P.6.

Rezultati mjerenja pokazuju da zabilježene maksimalne izmjerena vrijednost jakosti izračenog električnog polja nisu unutar granica propisanih ITU-T K.60 preporukom.

6.8. Analiza utjecaja promjene izlazne snage DSLAM uređaja na jakost izračenog električnog polja za UTP cat5e kabela kod G.fast2 tehnologije

DSLAM uređaj omogućava promjenu izlazne snage te na taj način utječe na jakost izračenog električnog polja. Kako bi analizirali utjecaj promjene izlazne snage DSLAM uređaja za G.fast2 signal napravljena su mjerenja na način da se smanjivala izlazna snaga DSLAM uređaja za 5 dB, 10 dB i 15 dB. U istraživanju su analizirani učinci smanjenja izlazne snage DSLAM uređaja na jakost izračenog električnog polja kod UTP cat5e kabela za frekvencije iznad 100 MHz. Dodatna analiza rezultata pokazuje koliko smanjenje izlazne snage DSLAM uređaja može pridonijeti najboljoj iskoristivosti, a da je jakost izračenog električnog polja manje od maksimalne dozvoljene vrijednosti koja je propisana ITU-T K.60 preporukom. Usporedbu utjecaja smanjenja izlazne snage DSLAM uređaja na jakost izračenog električnog polja prilikom korištenja UTP cat5e kabela prikazuje Slika 6.16.



Slika 6.16. Usporedba utjecaja smanjenja izlazne snage DSLAM uređaja na jakost izračenog električnog polja kod UTP cat5e kabela kod G.fast2 tehnologije

Kada je izlazna snaga DSLAM uređaja slabljena za 5 dB za frekencijsko područje od 100 MHz, srednja vrijednost jakosti izračenog električnog polja iznosi 30,2 dBµV/m, dok je maksimalna izmjerena vrijednost izračenog električnog polja 41,8 dBµV/m pri frekvenciji od 168 MHz. Brzina prijenosa podataka iznosi 0,6 Gbit/s u odlaznom smjeru i 1,3 Gbit/s u dolaznom smjeru.

Daljnje smanjenje izlazne snage DSLAM uređaja za 10 dB rezultiralo je srednjom vrijednošću jakosti izračenog električnog polja od 27,4 dBµV/m, dok maksimalna izmjerena vrijednost iznosi 39,8 dBµV/m, također pri frekvenciji od 168 MHz. Brzina prijenosa podataka bila je 0,6 Gbit/s u odlaznom smjeru i 1,3 Gbit/s u dolaznom smjeru.

Kada je izlazna snaga DSLAM uređaja oslabljena za 15 dB, srednja vrijednost jakosti izračenog električnog polja iznosi 26,5 dBµV/m, dok je maksimalna izmjerena vrijednost ostala na 39,8 dBµV/m pri frekvenciji od 168 MHz. Brzina prijenosa podataka u odlaznom smjeru smanjila se na 0,5 Gbit/s, dok je u dolaznom smjeru iznosila 1,2 Gbit/s.

Kako je UTP cat5e kabel dizajniran za frekencijsko područje do 100 MHz, srednje vrijednosti jakosti izračenog električnog polja za frekencijski spektar do 100 MHz i iznad 100 MHz uspoređene su i prikazane u Tablici 6.8.

Tablica 6.8. Srednje vrijednosti jakosti izračenog električnog polja za UTP cat5e do 100 MHz i od 100 MHz

Smanjenje izlazne snage DSLAM uređaja	\bar{E} (dB μ V/m) do 100 MHz	\bar{E} (dB μ V/m) od 100 MHz
0 dB	27,8	33,2
5 dB	27,2	30,2
10 dB	26,5	27,4
15 dB	25,7	26,5

Iz prikazanih rezultata mjerenja može se zaključiti da je zračenje kod UTP cat5e u skladu s očekivanjima ako se uspoređuje zračenje u frekvencijskom spektru do 100 MHz i od 100 MHz. Rezultati mjerenja pokazuju utjecaj smanjenja signala na brzinu prijenosa podataka, što je i vidljivo u Tablici 6.9.

Tablica 6.9. Utjecaj smanjenja nominalnog signala na brzinu prijenosa podataka kod UTP cat5e kabela za frekvencijsko područje do 100 MHz

Smanjenje izlazne snage DSLAM uređaja	Odlazni smjer (Gbit/s)	Dolazni smjer (Gbit/s)
0 dB	0,6	1,3
5 dB	0,6	1,3
10 dB	0,6	1,3
15 dB	0,5	1,2

Rezultati koji su prikazani u Tablici 6.9 pokazuju da se smanjenjem izlazne snage DSLAM uređaja neznatno smanjuju i brzine prijenosa podataka. Analizom grafova i rezultata mjerenja dolazimo do zaključka da je smanjenje izlazne snage DSLAM uređaja za 10 dB najoptimalnije s obzirom na smanjenje brzine prijenosa podataka u odnosu na ostala smanjenja razine signala pri čemu su zadovoljeni uvjeti propisani ITU-T K.60 preporukom. Mjerenja za potrebe analize rezultata dana su u Prilogu P.7.

6.9. Analiza utjecaja promjene izlazne snage DSLAM uređaja na jakost izračenog električnog polja za UTP cat6 kabela kod G.fast2 tehnologije

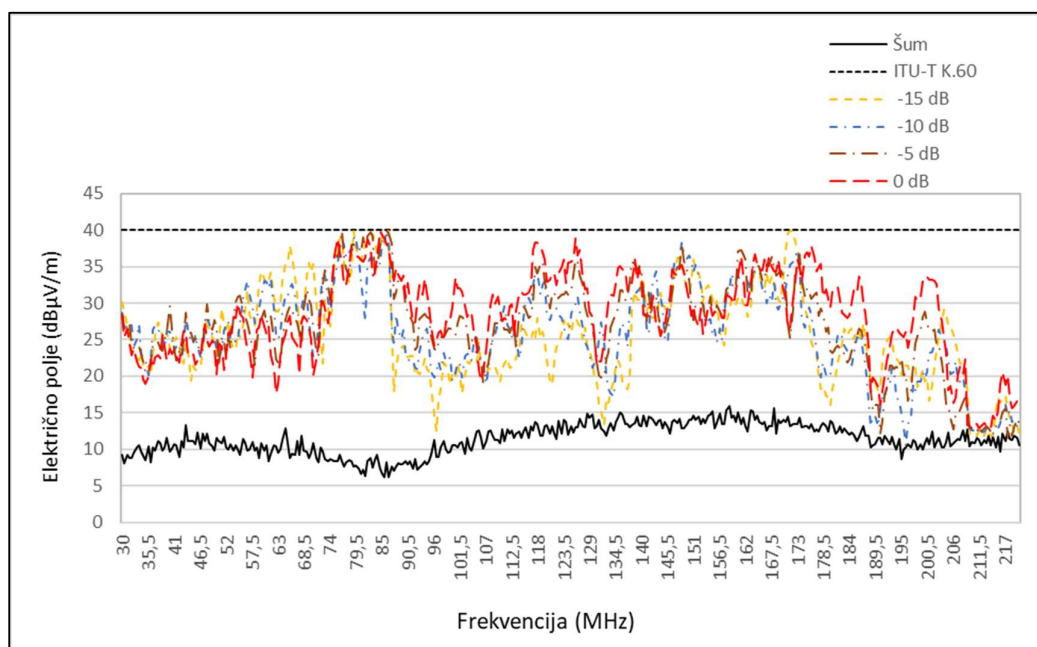
U ovom potpoglavlju napravljena je analiza jakosti izračenog električnog polja kad se G.fast2 signal prenosi UTP cat6 kabelom pri čemu se koristila mogućnost smanjenja izlazne snage DSLAM uređaja. Utjecaj promjene izlazne snage DSLAM uređaja na jakost izračenog električnog polja, kada se G.fast2 signal prenosi UTP cat6 kabelom, kao i kod svih korištenih kabela u radu, ovisi o mnogim čimbenicima, uključujući frekvenciju signala, duljinu kabela, kvalitetu izolacije kabela i pravilnu primjenu promjene izlazne snage DSLAM uređaja. Ovim mjerenjem je pokazan utjecaj korekcije izlazne snage DSLAM uređaja na jakost izračenog električnog polja kada se G.fast2 signal prenosi kroz UTP cat6 kabel.

Rezultati mjerenja koji prikazuju jakost izračenog električnog polja kada se G.fast2 signal prenosi kroz UTP cat6 kabel prikazani su na Slici 6.17. Smanjenje izlazne snage DSLAM uređaja napravilo se kao i kod UTP cat5e kabela - izlazna snaga DSLAM uređaja smanjivana je za 5 dB, 10 dB i 15 dB. Kao što je opisano u poglavlju 5.4., UTP cat6 kabel dizajniran je na način kao i UTP cat5e; ima 4 parice koje su zasebno upletene bez plašta. Kabel je namijenjen za primjenu u frekvencijskom spektru do 250 MHz.

Mjerenja zračenja jakosti izračenog električnog polja kod UTP cat6 kabela pri različitim izlaznim snagama DSLAM uređaja pokazala su sljedeće rezultate. Kada se kabelom prenosio signal s osnovnom izlaznom snagom DSLAM uređaja, srednja vrijednost jakosti izračenog električnog polja za jednu aktivnu paricu iznosi 28,2 dB μ V/m, dok maksimalna izmjerena vrijednost jakosti izračenog električnog polja iznosi 39,9 dB μ V/m pri frekvenciji od 85,0 MHz. Brzina prijenosa podataka iznosi 0,6 Gbit/s u odlaznom smjeru i 1,3 Gbit/s u dolaznom smjeru.

Nakon smanjenja izlazne snage DSLAM uređaja za 5 dB, srednja vrijednost jakosti izračenog električnog polja iznosi 27,9 dB μ V/m, dok maksimalna izmjerena vrijednost iznosi 39,8 dB μ V/m pri frekvenciji od 76,5 MHz.

Pri smanjenju izlazne snage DSLAM uređaja za 10 dB, srednja vrijednost jakosti izračenog električnog polja iznosi 26,8 dB μ V/m, dok maksimalna izmjerena vrijednost jakosti izračenog električnog polja iznosi 39,8 dB μ V/m pri frekvenciji od 86,0 MHz. Brzina prijenosa podataka iznosi 0,5 Gbit/s u odlaznom smjeru i 1,2 Gbit/s u dolaznom smjeru.



Slika 6.17. Usporedba smanjenja izlazne snage DSLAM uređaja za UTP cat6 kabel kod G.fast2 tehnologije

Pri smanjenju izlazne snage DSLAM uređaja za 15 dB, srednja vrijednost jakosti izračenog električnog polja iznosi 26,3 dB μ V/m, dok maksimalna izmjerena vrijednost jakosti izračenog električnog polja iznosi 39,9 dB μ V/m pri dvjema različitim frekvencijama: 172,0 MHz i 79,0 MHz. Brzina prijenosa podataka iznosi 0,5 Gbit/s u odlaznom smjeru i 1,2 Gbit/s u dolaznom smjeru. Rezultati jakosti izračenog električnog polja kao i brzine prijenosa podataka u dolaznom i odlaznom smjeru prikazani su u Tablici 6.10. za UTP cat6 kabel pri različitim izlaznim snagama DSLAM uređaja, dok se brzine prijenosa podataka neznatno mijenjaju.

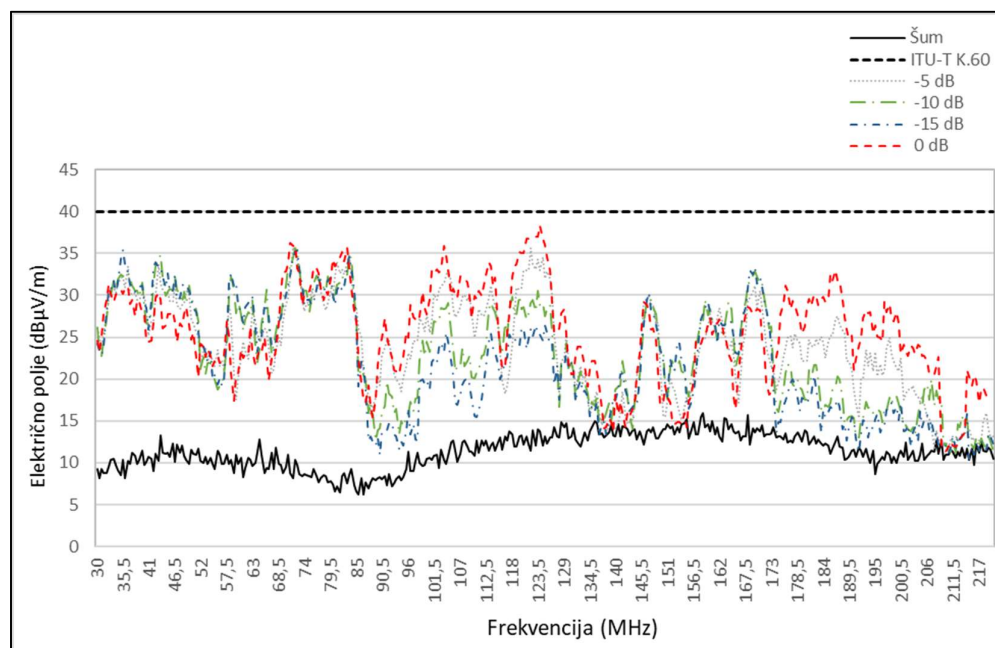
Tablica 6.10. Usporedba jakosti izračenog električnog polja i brzina prijenosa podataka za UTP cat6 kabel pri različitim izlaznim snagama DSLAM uređaja

Smanjenje izlazne snage DSLAM uređaja	\bar{E} (dB μ V/m)	E_{max} (dB μ V/m)	Odlazni smjer (Gbit/s)	Dolazni smjer (Gbit/s)
0 dB	28,2	39,9	0,6	1,3
5 dB	27,9	39,8	0,6	1,3
10 dB	26,8	39,8	0,5	1,2
15 dB	26,3	39,7	0,5	1,2

Iz prikazanih rezultata vidljivo je da UTP cat6 kabel zadovoljava ITU-T K.60 preporuku i pri osnovnoj izlaznoj snazi DSLAM uređaja. Mjerenja za potrebe analize rezultata dana su u Prilogu P.8.

6.10. Analiza utjecaja promjene izlazne snage DSLAM uređaja na jakost izračenog električnog polja za UTP cat7 kabela kod G.fast2 tehnologije

U ovom potpoglavlju napravljena je analiza jakosti izračenog električnog polja kad se putem UTP cat7 kabelom prenosi G.fast2 signal pri čemu se koristila mogućnost smanjenja izlazne snage DSLAM uređaja. Rezultati mjerenja koji prikazuju jakost izračenog električnog polja kada se G.fast2 signal prenosi kroz UTP cat7 kabel prikazani su na Slici 6.18. UTP cat7 kabel razvijen je sa strogim specifikacijama u pogledu zaštite od preslušavanja i elektromagnetskih smetnji. Kako je opisano u poglavlju 4.5., UTP cat7 kabel ima upletene žičane parove koji su pojedinačno umotani u aluminijsku laminiranu plastičnu foliju, a cijele su žice dodatno prekrivene uobičajenom pokositrenom bakrenom pletenicom. Ovaj je kabel dizajniran za rad na frekvencijama do 600 MHz i omogućava 10-gigabitnu telekomunikacijsku vezu. Smanjenje izlazne snage DSLAM uređaja napravljeno je kao i kod UTP cat5e i UTP cat6 kabela; smanjivala se izlazna snaga DSLAM uređaja za 5 dB, 10 dB i 15 dB.



Slika 6.18. Usporedba smanjenja izlazne snage DSLAM uređaja za UTP cat7 kabel kod G.fast2 tehnologije

Srednja vrijednost jakosti izračenog električnog polja kod UTP cat7 kabela s osnovnom izlaznom snagom DSLAM uređaja, za promatrani frekvencijski opseg za jednu aktivnu paricu, iznosi 25,8 dB μ V/m, dok maksimalna vrijednost jakosti izračenog električnog polja iznosi 38,3 dB μ V/m pri frekvenciji od 124,5 MHz, brzina prijenosa podataka iznosi 0,6 Gbit/s u odlaznom smjeru i 1,3 Gbit/s u dolaznom smjeru. Srednja vrijednost jakosti izračenog električnog polja kod UTP cat7 kabela, kada je izlazna snaga DSLAM uređaja oslabljena za 5 dB za jednu aktivnu paricu, iznosi 24,3 dB μ V/m, dok maksimalna vrijednost jakosti izračenog električnog polja iznosi 35,8 dB μ V/m pri frekvenciji od 71,5 MHz, brzina prijenosa podataka iznosi 0,6 Gbit/s u odlaznom smjeru i 1,3 Gbit/s u dolaznom smjeru. Srednja vrijednost jakosti izračenog električnog polja kod UTP cat7 kabela, kada je izlazna snaga DSLAM uređaja oslabljena za 10 dB za jednu aktivnu paricu, iznosi 23,4 dB μ V/m, dok maksimalna vrijednost jakosti izračenog električnog polja iznosi 35,6 dB μ V/m pri frekvenciji od 72,0 MHz, brzina prijenosa podataka iznosi 0,5 Gbit/s u odlaznom smjeru i 1,2 Gbit/s u dolaznom smjeru. Srednja vrijednost jakosti izračenog električnog polja kod UTP cat7 kabela, kada je izlazna snaga DSLAM uređaja oslabljena za 15 dB za jednu aktivnu paricu, iznosi 22,1 dB μ V/m, dok maksimalna vrijednost jakosti izračenog električnog polja iznosi 35,4 dB μ V/m pri frekvenciji od 72,5 MHz, brzina prijenosa podataka iznosi 0,5 Gbit/s u odlaznom smjeru i 1,2 Gbit/s u dolaznom smjeru.

Mjerenje je pokazalo da je razina jakosti izračenog električnog polja kada kroz UTP cat7 kabel prolazi G.fast2 signal manja od razine jakosti izračenog električnog polja kod UTP cat6 kabela. Najviše razine jakosti izračenog električnog polja pokazuju da su svi podnosioci ispod propisanih granica u preporuci ITU-T K.60. Prikaz rezultata mjerenja jakosti izračenog električnog polja kao i brzina prijenosa podataka pri smanjenju izlazne snage DSLAM uređaja dan je u Tablici 6.11.

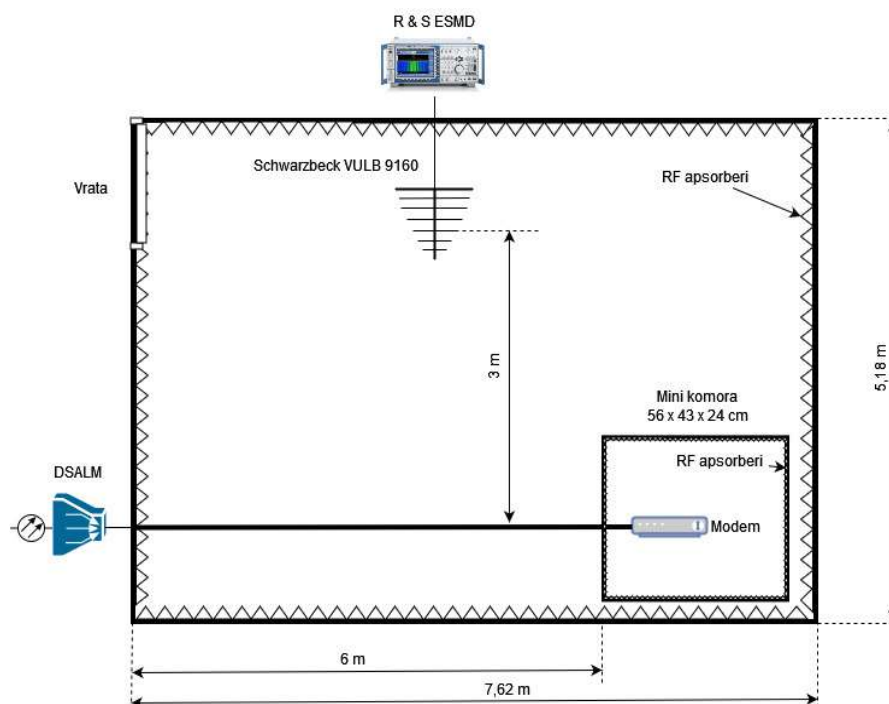
Tablica 6.11. Usporedba jakosti izračenog električnog polja za UTP cat7 kabel pri različitim slabljenjima signala

Smanjenje izlazne snage DSLAM uređaja	\bar{E} (dB μ V/m)	E_{max} (dB μ V/m)	Odlazni smjer (Gbit/s)	Dolazni smjer (Gbit/s)
0 dB	25,8	38,3	0,6	1,3
5 dB	24,3	35,8	0,6	1,3
10 dB	23,5	35,6	0,5	1,2
15 dB	22,1	35,4	0,5	1,2

Iz prikazanih rezultata vidljivo je da UTP cat7 kabel zadovoljava ITU-T K.60 preporuku i pri osnovnoj izlaznoj snazi DSLAM uređaja, dok se brzine prijenosa podataka neznatno mijenjaju i u odlaznom i u dolaznom smjeru. Mjerenja za potrebe analize rezultata dana su u Prilogu P.9.

6.11. Analiza utjecaja zračenja modema na ukupnu razinu izračenog električnog polja za UTP cat6 kabel kod G.fast2 tehnologije

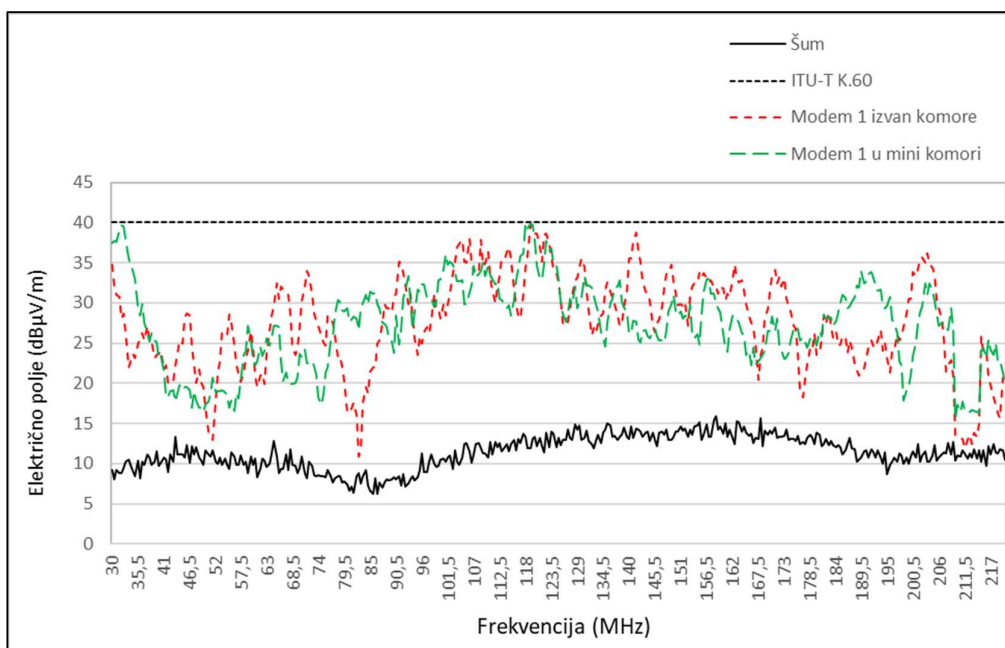
Kako bismo provjerili je li modem koji je lokacijski smješten u prostorijama korisnika napravljen sukladno normi za elektromagnetsku kompatibilnost ETSI EN 300 386 V2.1.1. (2016-017), kod ovog se mjerenja koristila mini komora unutar komore u kojoj se smjestio modem kako je i prikazano na blok shemi na Slici 6.19. Mini komora je dimenzija 56 x 43 x 24 cm. Mini komora slabi signal za 90 dB te se koristi za frekvencijsko područje do 1 GHz. Slika mini komore koja se koristi tijekom mjerenja prikazana je na Slici 6.20. Rezultati utjecaja smještaja modema na jakost izračenog električnog polja prikazani su na Slici 6.21. Mjerenje je rađeno na način da je prijemna antena bila postavljena u V-polarizaciju, G.fast2 signal je prolazio kroz UTP cat6 kabel te su se uspoređivali rezultati jakosti izračenog električnog polja kada je modem smješten u komoru i izvan nje.



Slika 6.19. Blok shema mini komore unutar komore za ispitivanje zračenja iz telekomunikacijske infrastrukture bez utjecaja vanjskog zračenja



Slika 6.20. Mini komora



Slika 6.21. Utjecaj smještaja modema na jakost izračenog električnog polja za UTP cat6 kabel kod G.fast2 tehnologije

Analizom zračenja kabela UTP cat6 kada kroz isti prolazi G.fast2 signal može se zaključiti kako je zračenje praktički neovisno o tome nalazi li se modem unutar ili izvan mini komore. Srednja vrijednost jakosti izračenog električnog polja kod UTP cat6 kabela kada je modem unutar mini komore za promatrani frekvencijski opseg iznosi 27,6 dBμV/m, dok maksimalna izmjerena vrijednost izračenog električnog polja iznosi 39,8 dBμV/m pri frekvenciji od 118 MHz. Srednja

vrijednost jakosti izraćenog električnog polja kod UTP cat6 kabela kada je modem izvan komore za promatrani frekvencijski opseg iznosi 28,2 dB μ V/m, dok maksimalna izmjerena vrijednost iznosi 39,9 dB μ V/m pri frekvenciji od 119 MHz. Tablica 6.12. prikazuje jakosti izraćenog električnog polja kod UTP cat6 kabela kad je modem u mini komori i izvan nje kod G.fast2 tehnologije.

Tablica 6.12. Utjecaj smještaja modema u mini komori na jakost izraćenog električnog polja

Modem	\bar{E} (dB μ V/m)	E_{max} (dB μ V/m)
Unutar mini komore	27,6	39,8
Izvan mini komore	28,2	39,9

Analiza mjerenja pokazuje kako smještaj modema u mini komori i izvan nje nema utjecaja na jakost izraćenog električnog polja, što dokazuje da je modem napravljen sukladno Normi za elektromagnetsku kompatibilnost ETSI EN 300 386 V2.1.1. (2016-017), odnosno utjecaj zraćenja modema na ukupno mjereno zraćenje unutar komore može se zanemariti. Mjerenja za potrebe analize rezultata dana su u Prilogu P.10.

6.12. Analiza jakosti izraćenog električnog polja kod svih korištenih kabela kada se njima prenosi G.fast2 signal

Rezultati svih dosadašnjih mjerenja jakosti izraćenog električnog polja za kabele TK33U, UTP cat5e, UTP cat6 i UTP cat7 kada se njima prenosi G.fast2 signal pokazali su da je najviša razina izraćenog električnog polja izmjerena kada je korišten TK33U kabel, dok je najniža razina izraćenog električnog polja kada je korišten UTP cat7 kabel. Rezultati jakosti izraćenog električnog polja za osnovnu snagu DSLAM uređaja od 4 dBm za sve korištene kabele prikazuje Tablica 6.13. Također, Tablica 6.13. prikazuje kako su brzine prijenosa podataka za korištene UTP kabele identične.

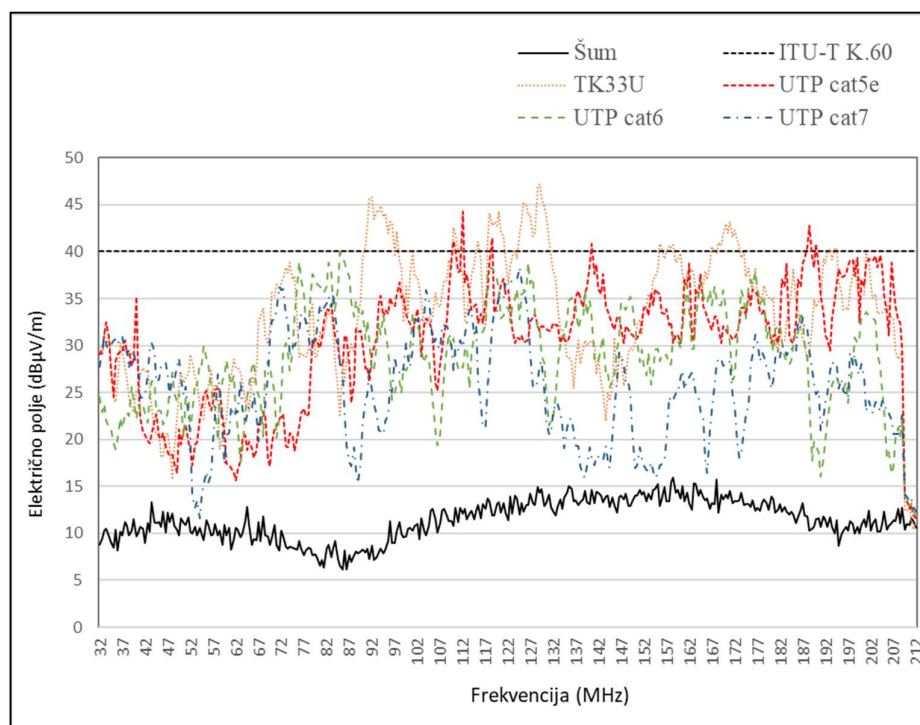
Slika 6.22., kao i rezultati mjerenja u Tablici 6.13., pokazuju da jakost izraćenog električnog polja iz korisničkog dijela telekomunikacijske mreže, kada se G.fast2 signal prenosi putem UTP cat7 kabela, udovoljava ograničenjima zraćenja definiranim u ITU-T K.60 preporuci i iznosi 38,3 dB μ V/m. Također, zraćenje iz korisničkog dijela telekomunikacijske mreže, kada se G.fast2 signal prenosi putem UTP cat6 kabela, udovoljava ograničenjima zraćenja definiranim u ITU-T K.60 preporuci i iznosi 39,9 dB μ V/m. Zraćenje iz korisničkog dijela telekomunikacijske

mreže, kada se za prijenos G.fast2 signala koristi TK33U i UTP cat5 kabeli, nalazi se iznad ITU-T K.60 preporukom definiranih ograničenja.

Usporedba zračenja kada se koristi UTP cat6 ili UTP cat7 i neki drugi telekomunikacijski kabel jasno ukazuje na to da puna zaštita radijskih usluga nije moguća bez značajnih ulaganja u telekomunikacijsku infrastrukturu. Stoga se, kako bi se osigurala koegzistencija između širokopojasne žičane telekomunikacijske mreže i radio usluga koje rade u istom frekvencijskom opsegu, moraju primijeniti učinkovite tehnike i metode za smanjenje zračenja iz telekomunikacijske mreže.

Tablica 6.13. Usporedba jakosti izračenog električnog polja kod TK33U, UTP cat5e, UTP cat6 i UTP cat7 kabela kod G.fast2 tehnologije

Tip kabela	E_{max} (dB μ V/m)	Odlazni smjer (Gbit/s)	Dolazni smjer (Gbit/s)
TK33U	47,2	-	-
UTP cat5e	44,3	0,6	1,3
UTP cat6	39,9	0,6	1,3
UTP cat7	38,3	0,6	1,3



Slika 6.22. Usporedba jakosti izračenog električnog polja kod TK33U, UTP cat5e, UTP cat6 i UTP cat7 kabela kod G.fast2 tehnologije

7. ZAKLJUČAK

U ovom specijalističkom radu izmjereno je i analizirano zračenje iz korisničkog dijela telekomunikacijske mreže kada se signal G.fast2 prenosio putem TK33U kabela, UTP cat5e kabela, UTP cat6 kabela i UTP cat7 kabela. Rezultati mjerenja pokazuju da zračenje iz telekomunikacijske mreže značajno ovisi o strukturi kabela koja se koristi za prijenos G.fast2 signala, odnosno iako je elektronička oprema proizvedena u skladu s EMC direktivom, zračenje iz telekomunikacijske infrastrukture može biti iznad definiranog ograničenja zračenja ako se koristi neodgovarajući kabel. Kako bi se ograničilo neželjeno zračenje iz žičane telekomunikacijske mreže, kao i zaštita radijskih sustava koji rade u istom frekvencijskom opsegu, predložene su granice zračenja u ITU-T K.60 preporuci. Kako bi se procijenilo ispunjava li zračenje telekomunikacijske mreže granične vrijednosti zračenja po preporuci, napravljena je usporedba između izmjerenih vrijednosti jakosti izračenog električnog polja i granične vrijednosti zračenja po preporuci ITU-T K.60 koje iznosi $40 \text{ dB}\mu\text{V/m}$.

Rezultati mjerenja u ovom radu pokazali su da je najviša razina izračenog električnog polja izmjerena kada je korišten TK33U kabel, dok je najniža razina zračenja izmjerena kada su korišteni UTP cat6 i UTP cat7 kabel. Niže razine jakosti izračenog električnog polja kod UTP cat6 i UTP cat7 kabela nastale su zbog poboljšane oklopljenosti kabela, odnosno dizajna samog kabela. Rezultati mjerenja u ovom radu pokazali su kako su brzine prijenosa podataka i u dolaznom i u odlaznom smjeru identične kada se G.fast2 signal prenosi putem UTP cat5e, UTP cat6 i UTP cat7 kabela.

Rezultati mjerenja u ovom radu pokazuju da razina jakosti izračenog električnog polja iz korisničkog dijela telekomunikacijske mreže, kada se koristi UTP cat6 i UTP cat7 kabel, udovoljava ograničenjima zračenja definiranim u ITU-T K.60 preporuci i iznosi $38,3 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ za UTP cat7 kabel, odnosno $39,9 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ za UTP cat6 kabel, dok je zračenje iz telekomunikacijske mreže, kada se koristi TK33U i UTP cat5e kabel, iznad ITU-T K.60 preporukom definiranog ograničenja.

Usporedba jakosti izračenog električnog polja, kada se G.fast2 signal prenosi UTP cat7 i UTP cat6 kabelom s drugim telekomunikacijskim kabelima korištenima u radu, jasno ukazuje na to da puna zaštita radijskih usluga nije moguća bez značajnih ulaganja u telekomunikacijsku infrastrukturu. Stoga se, kako bi se osigurala koegzistencija između širokopojasne žičane telekomunikacijske mreže i radio usluga koje rade u istom frekvencijskom opsegu, moraju primijeniti učinkovite tehnike i metode za smanjenje zračenja iz telekomunikacijske mreže.

LITERATURA

- [1] ITU-T, „ITU-T K.60 Recommendation, Emission levels and test methods for wireline telecommunication networks to minimize electromagnetic disturbance of radio services“, 2015., <https://www.itu.int/rec/T-REC-K.60-201512-I/en>, pristup listopad 2022.
- [2] S. M. Zafaruddin, I. Bergel, A. Leshem, "Signal Processing for Gigabit-Rate Wireline Communications", 2017, <http://arxiv.org/pdf/1706.03538v1>, pristup rujan 2024
- [3] R. Strobel, W. Utschick, „Coexistence of g.fast and vdsl in ftt dp and fttc deployments“, <https://new.eurasip.org/Proceedings/Eusipco/Eusipco2015/papers/1570103537.pdf>, pristup rujan 2024.
- [4] M. Howett, ADTRAN, „Enabling the Gigabit Society: G.fast“, <https://www.adtran.com/en/resources/resources-gated-page/white-papers/gfast---enabling-the-gigabit-society>, pristup rujan 2024.
- [5] ITU-T, „Asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers“ <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.992.1/en>, T-REC-G.992.1-199907-I!!PDF-E, pristup studeni 2022.
- [6] A. Bažant, G. Ježić, „Regulatorni aspekti mreža i usluga, Tema4: Širokopolasni pristup“ https://www.fer.unizg.hr/download/repository/RTEK_2012-RAMiU3-pred3.pdf, pristup svibanj 2023.
- [7] M. Heath, „Chart of ADSL and ADSL2+ Speed Versus Distance“, <https://www.increasebroadbandspeed.co.uk/2012/graph-ADSL-speed-versus-distance>, 25. listopad, 2019., pristup prosinac 2022.
- [8] ITU-T, „Splitterless asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers“, <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.992.2-199907-I/en>, T-REC-G.992.2-199907-I!!PDF-E.pdf, pristup prosinac 2022.
- [9] ITU-T, „ITU-T Asymmetric digital subscriber line (ADSL2) transceivers 2“, 2009., <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.992.3>, pristup studeni 2022.
- [10] ITU-T, „Asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers – Extended bandwidth ADSL2 (ADSL2plus)“, 2005., <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.992.5/en>, pristup studeni 2022.
- [11] „Why does ADSL broadband speed depend on the distance from the exchange?“, <https://www.broadbandspeedchecker.co.uk/guides/adsl-and-distance.html>, pristup rujan 2024.

- [12] ITU-T, „ITU-T Very high speed digital subscriber line transceivers“, 2004., <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.993.1-200406-I/en>, pristup rujan 2022.
- [13] J. Milanović, D. Budiša, „Analysis of the radiated electric field strength from in-house G.fast2 data carrying wire-line telecommunication network“, IET Science, Measurement & Technology, str. 2, 02.2021.
- [14] D. Wei, "G.fast for FTTdp: Enabling gigabit copper access". In: IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), 2015, pristup studeni 2022.
- [15] Electronic Communications Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT) ECCREP079, „High capacity dsl-systems“, Oulu, 03.2006., pristup rujan 2022.
- [16] ITU-T, „ITU-T Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2)“, 2011., <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.993.2>, pristup rujan 2022.
- [17] „VDSL line parameters“, <https://help.keenetic.com/hc/en-us/articles/360015810899-VDSL-line-parameters>, pristup kolovoz 2024
- [18] „Our Top Ten Most Frequently Asked Questions About VDSL“, <https://versatek.com/our-top-ten-most-frequently-asked-questions-about-vdsl/>, pristup rujan 2024.
- [19] ITU-T, „ITU-T Multi-gigabit fast access to subscriber terminals (MGfast) – Power spectral density specification“ 2020., https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.9710-202002-I!!PDF-E&type=items, pristup 2022.
- [20] „MGfast: Multi-Gigabit fast access to subscriber terminals“, https://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/2017-2020/15/Documents/flyers/Flyer_MGfast.pdf, pristup rujan 2024.
- [21] „Tablica namjene RF spektra“, <https://www.hakom.hr/hr/tablica-namjene-rf-spektra/238>, pristup 2024.
- [22] Electronic Communications Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT), „ECC REPORT 24“ 2003, pristup rujan 2023.
- [23] „ELKA – Telekomunikacijski-kabeli.pdf“, <https://elka.hr/wp-content/uploads/2024/09/Telekomunikacijski-kabeli.pdf>, pristup rujan 2024.
- [24] „UTP CAT-5E 20 M“, <https://vacom.hr/proizvod/kabel-sbox-utp-cat-5e-20-m/> pristup rujan 2024.
- [25] „Kabel za prijenos podataka u lokalnim mrežama s centralnim elementom i zaslonom, kategorije 6“, <https://www.teslacables.com/media/documents/lan-350.pdf>, pristup rujan 2024.

- [26] „Kabel za prijenos podataka u lokalnim mrežama s paričnim zaslonom i zajedničkim zaslonom kategorije 7“, <https://www.teslacables.com/media/documents/lan-600.pdf>, pristup rujan 2024.
- [27] „Key Factors to Differentiate Cat5 vs Cat5e vs Cat6 vs Cat7 vs Cat8“, <http://www.cablek.com/technical-reference/cat-5---5e--6--6a---7--8-standards>, pristup rujan 2024.
- [28] F. Moulin, M. Ouzzif, A. Zeddami, et al.: „Discrete multitone-based ADSL and VDSL systems performance analysis in an impulse noise environment“, IEE Proc.-Science, Measurement and Technology, 2003, pristup kolovoz 2023.
- [29] ITU-T, „Measuring arrangements to assess the degree of unbalance about earth“, ITU-T Recommendation O.9 (1999). <https://www.itu.int/rec/T-REC-O.9-199903-I> (2019). pristup rujan 2023.
- [30] ITU-T, „Fast access to subscriber terminals (G.fast)-power spectral density specification, ITU-T Recommendation G.7900“, srpanj 2019, pristup studeni 2022.

SAŽETAK

G.Fast Profil 212a je širokopojasna tehnologija prijenosa podataka novije generacije koja se odlikuje jednostavnošću implementacije uz ostvarenje velikih brzina prijenosa podataka kao jednim od prioriteta zahtjeva krajnjih korisnika. Jednostavnost implementacije posljedica je činjenice da G.fast2 tehnologija za prijenos signala koristi postojeću paričnu telekomunikacijsku infrastrukturu, a velika je brzina prijenosa podataka, u odnosu na širokopojasne sustave starije generacije, asimetrična digitalna pretplatnička linija (engl. *asymmetric digital subscriber line* - ADSL) i digitalna pretplatnička linija vrlo velike brzine prijenosa (engl. *very high bit rate DSL* - VDSL), ostvarena korištenjem većeg frekvencijskog spektra (do 212 MHz). Postojeća telekomunikacijska infrastruktura koja je trenutno u primjeni u Republici Hrvatskoj u velikoj mjeri nije dizajnirana za prijenos signala na frekvencijama koje koristi G.fast2 tehnologija, što čini ovaj sustav potencijalnim uzrokom smetnje drugim radijskim sustavima koji rade u istom dijelu frekvencijskog spektra. Osnovni je cilj ovoga specijalističkog rada napraviti analizu usporedbe izmjerenih razina zračenja jakosti izračenog električnog polja telekomunikacijskih kabela kada istima prolazi G.fast2 signal s graničnim vrijednostima jakosti izračenog električnog polja koje je propisala međunarodna telekomunikacijska organizacija (engl. *International telecommunication union* – ITU) preporukom ITU-T K.60. Dodatno, kako bi se analizirao utjecaj konstrukcije kabela na iznos zračenja, mjerenje će biti provedeno za različite vrste telekomunikacijskih kabela. Također, kako bi se analizirao utjecaj snage DSL multipleksera, mjerenja će biti provedena s različitim izlaznim snagama DSLAM uređaja. U radu je analiziran i utjecaj G.fast2 tehnologije na druge radijske sustave. Rezultati mjerenja u ovom radu pokazuju da razina jakosti izračenog električnog polja iz korisničkog dijela telekomunikacijske mreže, kada se koristi neoklopljeni upleteni kabel (engl. *unshielded twisted pair* - UTP) kategorije (engl. *enhanced category* – cat) 6 i UTP cat7 kabel, udovoljava ograničenjima zračenja definiranim u ITU-T K.60 preporuci, dok je zračenje iz telekomunikacijske mreže, kada se koristi TK33U i UTP cat5e kabel, iznad ITU-T K.60 preporukom definiranog ograničenja.

KLJUČNE RIJEČI: G.fast2, mjerenje jakosti izračenog električnog polja, ECC/REC/(04)/05, ITU-T K.60

Analysis of measurement results of electric field strength emitted from G.fast2 pair telecommunication infrastructure

ABSTRACT

G.Fast Profile 212a is a next-generation broadband data transmission technology, characterized by ease of implementation while achieving high data transmission speeds, which is one of the key demands of end users. The simplicity of implementation is due to the fact that G.fast2 technology uses the existing twisted-pair telecommunications infrastructure for signal transmission, and the high data transmission speed, compared to older broadband systems such as Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) and Very High Bit Rate Digital Subscriber Line (VDSL), is achieved by utilizing a larger frequency spectrum (up to 212 MHz). The existing telecommunications infrastructure currently in use in the Republic of Croatia is largely not designed for signal transmission at the frequencies used by G.fast2 technology, which makes this system a potential source of interference to other radio systems operating in the same frequency range. The primary goal of this specialized study is to perform a comparative analysis of the measured radiation levels of the electric field strength emitted from telecommunications cables when carrying a G.fast2 signal, against the limit values of emitted electric field strength prescribed by the International Telecommunication Union (ITU) in recommendation ITU-T K.60. Additionally, in order to analyze the impact of cable construction on the amount of radiation, measurements will be carried out for different types of telecommunications cables. Furthermore, to assess the impact of the output power of DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) devices, measurements will be conducted with varying output power levels of DSLAM devices. The study also analyzes the effect of G.fast2 technology on other radio systems. The measurement results in this study show that the levels of emitted electric field strength from the user side of the telecommunications network, when using unshielded twisted pair (UTP) category 6 and UTP category 7 cables, comply with the radiation limits defined in ITU-T K.60 recommendation. However, the radiation levels from the telecommunications network, when using TK33U and UTP category 5e cables, exceed the limits defined by the ITU-T K.60 recommendation.

Keywords: G.fast2, electric field strength measurement, ECC/REC/(04)/05, ITU-T K.60

ŽIVOTOPIS

Domagoj Budiša rođen je 1979. godine u Osijeku, gdje je pohađao osnovnu i srednju školu. Maturirao je 1998. godine te iste godine upisao Elektrotehnički fakultet na Sveučilištu J. J. Strossmayera u Osijeku. Diplomirao je 2003. godine na istom Fakultetu. 2015. je godine postao projektant računalnih mreža CISCO CCNA.

Otac je dviju malodobnih kćeri i u braku je od 2004. godine. Od siječnja 2004. godine radi u HEP-Operatoru distribucijskog sustava d.o.o. (HEP ODS d.o.o.), trenutno na poziciji voditelja Odjela za procesne sustave i telekomunikacije Istok u Sektoru za vođenje sustava.

Tijekom svoje karijere, sudjelovao je u raznim stručnim projektima i izradio nekoliko stručnih radova.

PRILOZI

P.1. Usporedba razine jakosti izračenog električnog polja G.fast2 tehnologiji s obzirom na polarizaciju antene

Frekvencija MHz	Šum dB μ V/m	H-polarizacija dB μ V/m	V-polarizacija dB μ V/m
30	9,2	34,9	33
30,5	8,1	32,6	34,6
31	9,2	32,6	32,1
31,5	8,8	31,9	33,4
32	8,8	32,6	31,2
32,5	9,5	33,7	33,3
33	10,3	32,7	30,1
.			
.			
119	11,9	51,6	48,6
119,5	13,1	52	48,2
120	13,3	51,2	49,8
120,5	12,2	50,8	46,3
.			
.			
.			
202,5	11	50,3	47,6
203	11,5	50,4	48,6
203,5	10,2	48,5	50,3
204	10,2	48,4	50,2
204,5	11	47,6	53
205	12,3	47,1	52,3
205,5	10,4	44,7	52
206	10,8	45,5	49,4
206,5	11,1	44,2	51,4
207	11,4	42,5	48,6
207,5	11,3	41,8	46,6
208	12,6	41,6	44,4
208,5	11,1	38,7	40,9
209	12,7	38,1	38,2
209,5	10,4	18,9	19,8
210	11	15,1	15,7
210,5	10,9	11,8	16,7
211	11,6	14,1	17,8
211,5	11,3	12,8	17,4
212	10,6	14,3	16,7
Srednja vrijednost		39,1	41,6
Maksimalna vrijednost		52	53

P.2. Analiza utjecaja promjene izlazne snage DSLAM uređaja na razinu jakosti izračenog električnog polja u G.fast2 tehnologiji

Frekvencija MHz	Šum dB μ V/m	Parica 1 dB μ V/m	-10 dB Parica 1 dB μ V/m
30	9,2	35,6	34,9
30,5	8,1	33,7	31,9
31	9,2	32,6	32,8
31,5	8,8	31,3	30,5
32	8,8	28,9	27,9
32,5	9,5	27,4	25,1
33,5	10,5	23,7	23,9
34	9,7	25,9	22,7
34,5	9,1	28	24,5
.			
.			
.			
66,5	9,3	36,4	37
67	11,2	36,6	38,8
67,5	9,2	35,3	39,9
68	11,8	32,3	37,9
.			
.			
.			
108	12,6	40,7	32,6
108,5	11,9	44,4	32,8
109	11,3	40,2	32,8
.			
.			
.			
207	11,4	37,4	28,8
207,5	11,3	35,6	26,4
208	12,6	34,8	23,9
208,5	11,1	34,3	21,9
209	12,7	33,3	19,8
209,5	10,4	13,5	11,5
210	11	13,8	12,2
210,5	10,9	13,2	11,5
211	11,6	18,8	11,6
211,5	11,3	12,8	11,3
212	10,6	12,1	10,9
Srednja vrijednost		33,1	29,5
Maksimalna vrijednost		44,4	39,9

P.3. Analiza utjecaja gašenja podnosioca G.fast2 spektra na druge radijske sustave

Frekvencija MHz	Šum dB μ V/m	FM isključen Modem 1 dB μ V/m	AL isključen Modem 1 dB μ V/m	DAB isključen Modem 1 dB μ V/m
30	9,2	26,4	25,7	25,3
30,5	8,1	29,4	28,4	28,3
31	9,2	27,8	28,9	28,3
31,5	8,8	29,3	27,7	26,4
32	8,8	25,8	27,9	27,3
32,5	9,5	27,8	26,9	29,7
33	10,3	29,6	32,5	29,1
.				
.				
.				
115	12,4	52,9	20,2	53,9
115,5	13	53,2	20,8	52,5
116	11,6	53,3	23	53,1
116,5	13,1	51,5	21,3	51,3
.				
.				
.				
140,5	14,6	47,1	48,1	47,8
141	13,2	47,7	49,2	47,4
141,5	14,4	46,6	47,9	48,1
142	14,3	47,7	48	47,5
142,5	14	46,9	47,3	48,8
143	13,3	47,2	48,4	47
143,5	13,9	46,2	46,9	47,6
144	14	46,8	48	46,2
144,5	12,8	47,1	48,3	47,2
.				
.				
.				
209	12,7	27,9	27,5	11,1
209,5	10,4	13	12,5	12,5
210	11	11,7	13,4	12,5
210,5	10,9	11,5	11,6	13
211	11,6	12,2	11,8	11,5
211,5	11,3	10,9	11,7	12,1
212	10,6	12,2	11,3	11,2
Srednja vrijednost		36,1	38,3	35,2
Maksimalna vrijednost		53,3	49,2	53,9

P.4. Analiza usporedbe jakosti električnog polja G.fast2 spektra za TK33U i UTP cat5e kabela

Frekvencija MHz	Šum dB μ V/m	TK33U Modem 1 dB μ V/m	UTP cat5e Modem 1 dB μ V/m
30	9,2	31	32,4
30,5	8,1	32	31,7
31	9,2	32,8	28,6
.			
.			
.			
111	11,2	40,7	37,8
111,5	12,7	38,8	37,9
112	12,1	42	44,3
112,5	12,6	41	36,7
113	11,5	43	37,6
113,5	12,1	42,7	35,4
.			
.			
.			
169	14,1	50,4	30,3
169,5	13,6	51,2	32,1
170	14,1	52,3	31,7
170,5	13,7	52,2	31,3
171	14,5	51,1	31,2
.			
.			
.			
206	10,8	31,9	31,1
206,5	11,1	30,4	38,8
207	11,4	30,1	36,3
207,5	11,3	28,8	34,2
208	12,6	28,3	32,7
208,5	11,1	29,4	32,5
209	12,7	26,4	29,8
209,5	10,4	12,7	14,4
210	11	10,9	13,5
210,5	10,9	10,1	12,2
211	11,6	12,6	13
211,5	11,3	12,9	11,9
212	10,6	10,9	11
Srednja vrijednost		37,6	30,6
Maksimalna vrijednost		52,3	44,3

P.5. Usporedba rezultata mjerenja jakosti izračenog električnog polja kada je DSLAM unutar i izvan komore kod G.fast2 tehnologije

Frekvencija MHz	Šum dB μ V/m	DSLAM unutar komore parica 1 dB μ V/m	DSLAM izvan komore parica 1 dB μ V/m
30	9,2	26,5	35,2
30,5	8,1	29	34,1
31	9,2	28,9	32
31,5	8,8	27,2	30,7
.			
.			
.			
157,5	13,4	50,8	48,7
158	15,4	51,6	51,7
158,5	15,9	52,9	49,3
159	14,3	52	47
159,5	14,6	52,7	49
160	13,7	51,5	49,2
160,5	15	50,4	49,1
161	13,4	52,7	45
161,5	14,3	48,4	47,8
162	13,2	49,5	46,9
162,5	12,5	49,3	46,9
163	15,3	52,9	50,5
163,5	15,2	49,8	49,3
164	14	49,8	48,9
164,5	14,6	51,6	48,2
.			
.			
.			
207,5	11,3	34,5	26
208	12,6	32,5	25,8
208,5	11,1	29,7	21,4
209	12,7	27,3	22,2
209,5	10,4	12,7	11
210	11	14,4	11,5
210,5	10,9	12,8	11,9
211	11,6	12,4	11,3
211,5	11,3	13	11,2
212	10,6	11,9	10,1
Srednja vrijednost		37,5	36,7
Maksimalna vrijednost		52,9	51,7

P.6. Analiza utjecaja suženog frekventijskog spektra na jakost izračenog električnog polja

Frekvencija MHz	Šum dB μ V/m	17-212 MHz dB μ V/m	2,2-212 MHz dB μ V/m
30	9,2	36,2	34,8
30,5	8,1	34,6	32,1
31	9,2	34,5	31
31,5	8,8	33,1	30,8
32	8,8	32,3	28
.			
.			
.			
102,5	9,4	36,4	33,7
103	11,6	37,7	35,2
103,5	10,3	39,1	37
104	9,8	42,4	37,3
104,5	10,8	44,3	37,9
105	12,4	43,8	35,2
105,5	12,6	42,6	35
.			
108	13,1	34,3	43,3
.			
118	13,4	37,9	34,4
118,5	11,9	38,8	35,9
119	11,9	40,3	39,8
119,5	13,1	40,1	42,1
120	13,3	39,3	38,6
.			
.			
.			
206,5	11,1	34,1	38,8
207	11,4	34	36,3
207,5	11,3	33,8	34,2
208	12,6	34,2	32,7
208,5	11,1	31	32,5
209	12,7	29,4	29,8
209,5	10,4	14,3	14,4
210	11	14,1	13,5
210,5	10,9	12,6	12,2
211	11,6	14,1	13
211,5	11,3	13	11,9
212	10,6	12,4	12
Srednja vrijednost		32,5	28,2
Maksimalna vrijednost		44,3	44,3

P.7. Analiza utjecaja izlazne snage DSLAM uređaja na jakost izračenog električnog polja kod UTP cat5e kabela

Frekvencija MHz	Šum dB μ V/m	-5 dB Modem 1 dB μ V/m	-10 dB Modem 1 dB μ V/m	-15 dB Modem 1 dB μ V/m
30	9,2	29,1	28,5	29,5
30,5	8,1	32	32,9	33,6
31	9,2	32,1	33	31,4
31,5	8,8	29,6	31,6	30
32	8,8	29,1	28,5	29,5
32,5	9,5	27,6	27,8	27,4
.				
.				
.				
166,5	12,6	35,6	34,2	33,6
167	13,2	37,2	37,5	36,2
167,5	13,1	39	37,5	38,6
168	15,7	41,8	39,8	39,8
168,5	12,2	40,4	38,8	39,6
169	14,1	39,1	38,7	39,6
.				
.				
.				
203	11,5	35,4	28,7	30,1
203,5	10,2	34,6	27,4	31,6
204	10,2	33,2	28,1	29,4
204,5	11	32,3	26,4	28,6
205	12,3	31,6	25,8	27,8
205,5	10,4	28,8	25,8	27,4
206	10,8	28,6	24,6	25,9
206,5	11,1	27,3	22,9	26,2
207	11,4	25,3	21,5	26,1
207,5	11,3	24,7	20,7	24,8
208	12,6	22,2	18,2	23,8
208,5	11,1	19,8	17,4	21,7
209	12,7	19,4	18,9	19,6
209,5	10,4	12,1	12,3	19,1
210	11	11,5	11,5	16
210,5	10,9	11,3	11,2	16,3
211	11,6	12,3	11,7	16,4
211,5	11,3	12,3	12,1	14,5
212	10,6	12,3	12,4	15,4
Srednja vrijednost		29,3	27,4	26,5
Maksimalna vrijednost		41,8	39,8	39,8

P.8. Analiza utjecaja izlazne snage DSLAM uređaja na jakost izračenog električnog polja kod UTP cat6 kabela

Frekvencija MHz	Šum dB μ V/m	Modem 1 dB μ V/m	-5 dB Modem 1 dB μ V/m	-10 dB Modem 1 dB μ V/m	-15 dB Modem 1 dB μ V/m
30	9,2	28,7	28,6	28,7	30,1
30,5	8,1	28,2	26,8	27,2	28,8
31	9,2	25,4	25,9	26,6	26,9
.					
.					
.					
76	9,2	38,9	37,9	37,5	38,7
76,5	8,4	37	39,8	38,7	39
77	7,7	35,5	36,2	38	35,2
77,5	8,2	32,4	34,6	36,3	34,6
78	8,5	32,4	33,6	36,9	32,8
78,5	8,4	35,3	38	37,6	34,6
79	7,7	37,6	38	38,9	39,9
79,5	7,8	37	38,1	39,1	37,7
80	7,4	36,5	37,5	36	36,2
80,5	6,6	36,3	36,9	33,1	35,8
81	7,2	35,9	39	30,3	37
81,5	6,4	35,6	37,5	27,5	38
82	8,4	36,3	39,2	35,4	38,4
82,5	8,8	38,8	39,7	36,2	38,6
83	7,5	37,7	39,2	35,9	39,5
83,5	8,5	33,8	34	35,8	38,4
84	9,2	34	34,8	35,6	37
84,5	7,3	36,1	37,8	35,4	38,1
85	6,6	39,9	39,3	38,7	39,1
85,5	6,2	39,3	39,1	38,1	38,1
86	8,2	38,8	39,8	39,8	39,8
86,5	6,2	38,1	39,6	38,3	39,8
.					
.					
.					
210	11	13,2	12,9	12,6	12,3
210,5	10,9	12,9	12,8	12,6	12,5
211	11,6	13,6	12,5	12,1	11,9
211,5	11,3	13,5	13,2	12,9	12,6
212	10,6	12,8	12,5	12,3	11,8
Srednja vrijednost		28,2	27,9	26,8	26,4
Maksimalna vrijednost		39,9	39,8	39,8	39,9

P.9. Analiza utjecaja izlazne snage DSLAM uređaja na jakost izračenog električnog polja kod UTP cat7 kabela

Frekvencija MHz	Šum dB μ V/m	-5 dB Modem 1 dB μ V/m	-10 dB Modem 1 dB μ V/m	-15 dB Modem 1 dB μ V/m
30	9,2	26,1	26,2	24,2
30,5	8,1	25	22,7	23,4
31	9,2	23,6	22,8	22,9
.
.
70,5	10,9	29,7	33,4	31,2
71	8,8	32,2	33,2	32,4
71,5	8,2	35,8	34,6	34,6
72	10,3	35,2	35,6	35,2
72,5	9,7	34,2	34,9	35,4
73	8,6	33,1	33,4	33,1
73,5	8,4	29,3	29,9	31,2
.
.
201,5	12,4	18,3	14,5	13,9
202	10,3	18,7	14	14,5
202,5	11	18,7	13,8	11,9
203	11,5	19,2	14,3	13,6
203,5	10,2	18,3	13,4	14,2
204	10,2	17,9	15,7	12,5
204,5	11	17,3	17,1	16,2
205	12,3	18	16,7	14,2
205,5	10,4	17	18,7	15,1
206	10,8	15,4	19,3	15,7
206,5	11,1	15,3	17,5	13,9
207	11,4	14,2	19,9	15,1
207,5	11,3	11,8	16,8	13,2
208	12,6	13,9	18,6	13,6
208,5	11,1	12,6	17,7	12
209	12,7	12,8	17,3	12
209,5	10,4	7	8,2	6,6
210	11	4,9	5,3	9
210,5	10,9	8	7,3	6,3
211	11,6	7,8	8,1	7
211,5	11,3	8	7,4	7,7
212	10,6	7,2	6,9	5,7
Srednja vrijednost		24,4	23,5	22,2
Maksimalna vrijednost		35,8	35,6	35,4

P.10. Analiza utjecaja zračenja modema na ukupnu razinu izračenog električnog polja

Frekvencija MHz	Šum dB μ V/m	Modem izvan mini komore dB μ V/m	Modem u mini komori dB μ V/m
30	9,2	34,8	37,5
30,5	8,1	32,1	37,8
31	9,2	31	37,6
31,5	8,8	30,8	39
32	8,8	28	39,7
32,5	9,5	28,7	39,6
.			
.			
.			
117,5	13,7	31,2	36,2
118	13,4	34,4	39,8
118,5	11,9	35,9	39,3
119	11,9	39,9	39,9
119,5	13,1	39,2	39,7
120	13,3	38,6	37,7
.			
.			
.			
204,5	11	34,4	31,5
205	12,3	33,6	30,2
205,5	10,4	30,4	28,7
206	10,8	29,4	27,2
206,5	11,1	28,1	27,5
207	11,4	25,3	27,6
207,5	11,3	21,5	26,9
208	12,6	22,3	26,6
208,5	11,1	22,9	29,3
209	12,7	20,8	26,7
209,5	10,4	7	15,5
210	11	4,8	17,3
210,5	10,9	7,3	16,5
211	11,6	6,1	17,7
211,5	11,3	6,3	16,7
212	10,6	7,8	16,8
Srednja vrijednost		28,2	27,6
Maksimalna vrijednost		39,9	39,8