

# MJERENJE I ANALIZA ZRAČNOG SUČELJA 4G I 5G MOBILNIH MREŽA NA ICT ZELENIH RUTAMA ZA REKREACIJU U GRADU ZAGREBU

## MEASUREMENT AND ANALYSIS OF THE AIR INTERFACE OF 4G AND 5G MOBILE NETWORKS ON ICT GREEN ROUTES FOR RECREATION IN ZAGREB

Antonio Milde<sup>1</sup>, Ivan Braje<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, 10 000 Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup>Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, 10 000 Zagreb, Hrvatska, Student

### SAŽETAK

Dolazak 5G mreže u Hrvatsku potiče sve veću upotrebu mobilnih mreža u svim područjima ljudskog života pa tako i u sportu. Kako bi se vidjela mogućnost upotrebe mobilnih mreža u svrhu rekreacije, provedena su mjerenja zračnih sučelja 4G i 5G mobilnih mreža na 3 rute za rekreaciju u gradu Zagrebu. Napravljena je detaljna analiza važnih radijskih parametara koji su bitni za kvalitetan prijenos podataka između bazne postaje i korisnika te analiza kvalitete korisničkog iskustva (eng. *Quality of Experience* – QoE) kroz dva glavna parametra po kojima se promatra: brzina prijenosa korisničkih podataka u silaznoj vezi i kašnjenje (latencija, odziv) mreže. Dana je usporedba rezultata mjerenja za 4G i 5G mobilnu mrežu. Navedeni su mogući načini iskorištenja mobilnih mreža na izmjerenim rutama s obzirom na rezultate mjerenja.

**Ključne riječi:** mjerenje, mobilne mreže, rekreacija, kvaliteta korisničkog iskustva, 5G

### ABSTRACT

The arrival of the 5G network in Croatia encourages the increasing use of mobile networks in all areas of human life, including sports. To see the possibility of using mobile networks for recreation purposes, measurements of air interfaces of 4G and 5G mobile networks on 3 routes for recreation in the city of Zagreb

were carried out. A detailed analysis of important radio parameters that are essential for high-quality data transmission between the base station and the user was made, as well as an analysis of the quality of the user experience (QoE) through two main parameters that are observed: the speed of user data transmission in the downlink (downlink bit rate) and the delay (latency, response) of the network. The measurement results for 4G and 5G mobile networks are compared. The possible ways of using mobile networks on the measured routes are listed considering the measurement results.

**Keywords:** measurements, mobile networks, recreation, quality of user experience, 5G

## 1. UVOD

### 1. INTRODUCTION

Mobilne mreže ulaze u sve više sfera ljudskog života. Jedno od tih područja su i sport i rekreacija. Mobilne mreže u sportu mogu imati različite upotrebe, pogotovo s dolaskom 5G mobilnih mreža: praćenje sportaša, rezultata i statistika sportskih natjecanja korištenjem različitih senzora, prijenos sportskih događaja u proširenoj stvarnosti, prijenos s više kamera kako bi gledatelj sam mogao odabrati koju želi gledati i slično. Za rekreativne sportaše može olakšati praćenje rezultata korištenjem pametnih telefona, nosivih *gadgeta* i sličnih IoT (*Internet of Things*) rješenja.

Uz sve veći broj pametnih telefona i ostalih nosivih uređaja koji imaju mogućnost spajanja na mobilnu mrežu postoji i veća mogućnost narušenog korisničkog iskustva. Za ovaj rad napravljena su mjerenja 3 rekreacijske rute u gradu Zagrebu u sklopu internog projekta Tehničkog veleučilišta u Zagrebu *ICT zelene rute za rekreaciju u gradu Zagrebu*. Analizirani su osnovni radijski parametri i kvaliteta korisničkog iskustva kako bi se vidjelo mogu li korisnici na mjerenim rutama nesmetano koristiti svoje uređaje za praćenje aktivnosti, streaming glazbe i slično. Analiza je potrebna i iz razloga da se vidi postoji li potencijal za postavljanje IoT uređaja (primjerice uređaja za mjerenje prolaznih vremena, uređaji za praćenje zdravstvenog stanja korisnika, otkucaje srca, zasićenosti kisika u krvi i sl.) koji komuniciraju putem mobilnih mreža. Analiza je napravljena za 4G i 5G mobilnu mrežu te je dana usporedba rezultata.

## 2. ALATI I PROGRAMI ZA MJERENJA

### 2. MEASUREMENT TOOLS AND SOFTWARE

Za mjerenje zračnog sučelja korištena je aplikacija za Android mobilne telefone *Nemo Handy* [1] koja omogućava mjerenja zračnog sučelja, kvalitetu usluge (eng. *Quality of Service*) i kvalitetu korisničkog iskustva (eng. *Quality of Experience*). Aplikacija podržava sve važne mobilne tehnologije od GSM (*Global System for Mobile Communications*) do 5G NR-a (*5G New Radio*) u novijim verzijama te ostale bežične tehnologije poput Wi-Fi, TETRA i slično. Instalirana je na pametni telefon Huawei P40 Pro s kojim su mjerenja provedena. Ovaj uređaj spada u kategoriju LTE Cat 21 što znači da može postići maksimalnu brzinu prijenosa podataka od 1400 Mbps u silaznoj vezi i 300 Mbps u uzlaznoj vezi na LTE tehnologiji.

Aplikacija mjeri bitne radijske parametre zračnog sučelja:

- snaga primljenog signala
- kvaliteta primljenog signala,
- odnos signala prema zbroju šuma i interferencije

- identifikator kvalitete kanala – CQI (*Channel Quality Indicator*) i slično.

Radi se o parametrima koji su potrebni za kvalitetan prijenos signala od bazne stanice prema korisnikovom uređaju (mobitelu, pametnom satu ili nekom drugom uređaju povezanom na mobilnu mrežu). Aplikacija podržava opciju pomoću koje je moguće zaključati uređaj samo na određenu tehnologiju i / ili frekvencijski pojas koji želimo mjeriti (tzv. *Forcing* opcija). To nam omogućava zasebno mjerenje 4G i 5G tehnologije. Za cijelo vrijeme mjerenja, osim mjerenih parametara, spremaju se i GPS podatci o ruti.

Mjerenja u aplikaciji mogu biti ručna, skriptirana i automatska. Provedena mjerenja su skriptirana, a u trećem poglavlju bit će objašnjeno što to znači. Po završetku mjerenja se datoteka s rezultatima mjerenja otvara u programu *Nemo Outdoor* [2] za daljnju analizu i obradu.

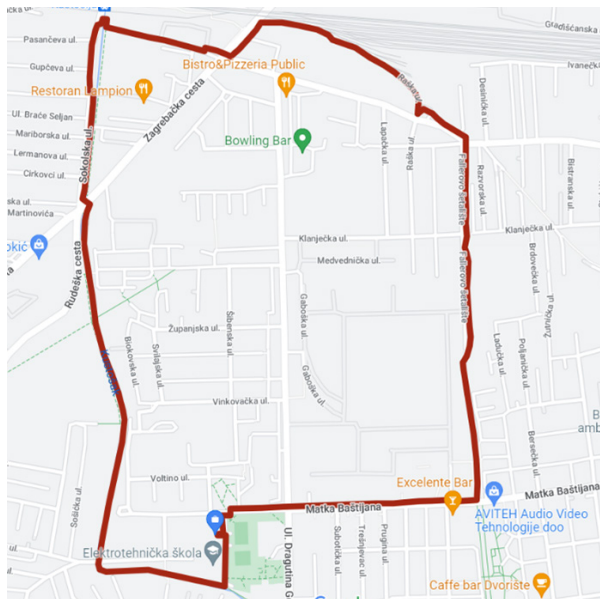
*Nemo Outdoor* je *Windows* programu koji, osim mjerenja zračnog sučelja, omogućava reprodukciju mjerenja u stvarnom vremenu i analizu mjerenih rezultata. Prikaz rezultata mjerenja može biti grafički, tablični, statistički ili na karti duž GPS rute mjerenja. Kroz *Nemo Outdoor* moguće je napraviti izvoz rezultata mjerenja u .csv datoteku za detaljnu analizu u *Microsoft Excelu*.

## 3. RUTE I OPIS MJERENJA

### 3. MEASUREMENT ROUTES AND DESCRIPTION

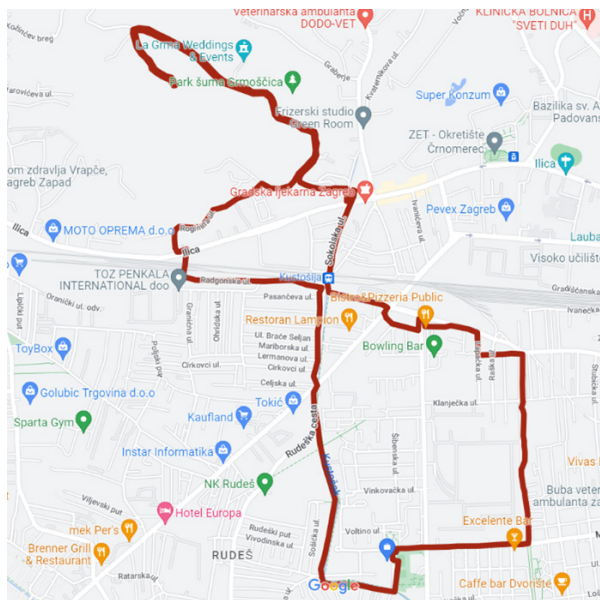
Mjerenja su provedena na 3 rekreacijske rute u gradu Zagrebu, a rute su nazvane prema lokacijama kojima prolaze: *Potoci oko Voltinog, Vidikovci Grmošćice, Sva lica potoka Dubravica*.

Ruta *Potoci oko Voltinog* (Slika 1) započinje kod Tehničkog veleučilišta u Konavoskoj ulici, ide ulicom Matka Baštijana do Fallerovog šetališta, prati Fallerovo šetalište do Tomislavove ulice, prolazi kraj željezničke pruge do Zapadnog kolodvora, zatim Zagrebačkom cestom do potoka Kustošak kojeg prati nazad sve do zgrade Tehničkog veleučilišta.



**Slika 1** Ruta mjerenja Potoci oko Voltinog  
**Figure 1** Streams around the Voltino measurement route  
 Izvor: Rad autora

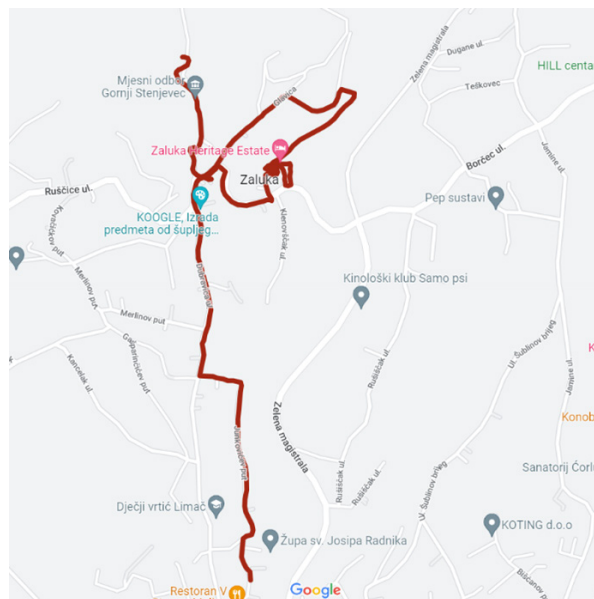
Ruta Vidikovci Grmošćice (Slika 2) se u donjem dijelu većinom poklapa s rutom Potoci oko Voltinog, uz neka manja odstupanja, ali uz to uključuje i uspon na vidikovac Grmošćica.



**Slika 2** Ruta mjerenja Vidikovci Grmošćice  
**Figure 2** Grmošćica viewpoints measurement route  
 Izvor: Rad autora

Ruta Sva lica potoka Dubravica (Slika 3) započinje uz Župu sv. Josipa Radnika i kuriju imanja Junković te se nastavlja na sjever šetnicom uz potok Dubravica prema retenciji potoka

Mačkovec. Nakon toga ruta vodi do Zaluke i nastavlja ulicom Dubravica pokraj starog mlina do najsjevernije točke na ruti.



**Slika 3** Ruta mjerenja Sva lica potoka Dubravica  
**Figure 3** All faces of the Dubravica stream measurement route  
 Izvor: Rad autora

Mapiranje ruta proveo je dr. sc. Mladen Sokele, voditelj projekta ICT zelene rute za rekreaciju u gradu Zagrebu u okviru inicijative Jane's walk - Mapiranje Trešnjevke [3].

Ruta Potoci oko Voltinog nalazi se cijelom svojom duljinom u urbanom području, ruta Vidikovci Grmošćice prolazi i urbanim i ruralnim područjem u dijelu uspona na vidikovac, a ruta Sva lica potoka Dubravica nalazi se na granici urbano / ruralno.

Sva mjerenja provedena su uređajem Huawei P40 Pro s instaliranom Nemo Handy aplikacijom. Kako je već prije navedeno, korištena su skriptirana mjerenja. To znači da se u aplikaciji za mjerenje neprekidno izvodi skripta s unaprijed određenim koracima. Skripta se završava po isteku unaprijed zadanog vremena ili se može prekinuti i ručno kada je izmjerena željena ruta. Skripta s kojom su odrađena mjerenja sastoji se od sljedećih koraka:

- 5 sekundi pauze
- 15 sekundi preuzimanja testne datoteke
- 10 sekundi pauze
- 10 sekundi pinga Googleovog DNS servera
- 10 sekundi pauze.

Na svakoj od 3 rute provedena su 2 mjerenja, jedno za 4G mrežu i jedno za 5G NR NSA (*New Radio Non-standalone*) mrežu. Mjerenja su napravljena jedno za drugim kako bi se postigli približno isti uvjeti za oba mjerenja, odnosno kako bi se smanjio utjecaj opterećenja mreže na rezultate mjerenja. Htjeli su se postići uvjeti koji su što bliže onima kao da mjerimo 4G i 5G mrežu paralelno. Mjerenja su provedena hodajući.

4G mjerenje na ruti provedeno je na način da je mjerni uređaj bio zaključan na LTE (*Long Term Evolution*) zračno sučelje i mjerio samo 4G mrežu. Kod 5G mjerenja uređaj je bio zaključan na LTE + NR zračno sučelje. Razlog tome je što su trenutne 5G mreže u Hrvatskoj takozvane nesamostalne (*Non-standalone*) mreže i za svoj rad još uvijek koriste jezgrene mreže 4G sustava.

5G NR NSA donosi poboljšanja samo u radijskom dijelu mreže, a u transportnoj domeni ima performanse slične 4G mreži. Donosi poboljšanja u samo jednom od 3 glavna scenarija upotrebe 5G mreža – poboljšanom širokopojasnom pristupu (*eMBB – enhanced Mobile Broadband*). Za napredak u preostala 2 scenarija upotrebe (*mMTC – massive Machine Type Communications*, *URLLC – Ultra Reliable Low Latency Communications*), trebat će pričekati dolazak samostalne (*Standalone*) 5G mreže.

Uređaj se u 5G mjerenju prebacuje između 4G i 5G mreže ovisno o dostupnosti signala kako bi to radio i u normalnom korištenju.

Datum i vrijeme mjerenja pojedinih tehnologija na određenim rutama vidljivo je u Tablici 1.

## 4. MJERENI PARAMETRI

### 4. MEASURED PARAMETERS

Za oba mjerenja (4G i 5G) izmjerena su 2 glavna parametra o kojima ovisi kvaliteta korisničkog iskustva – QoE, a to su brzina prijenosa korisničkih podataka u silaznoj vezi (*Application Throughput*) i ping (RTT – *Round Trip Time*). Osim ova 2 parametra, mjerimo i radijske parametre ćelijskih mjerenja:

- RSRP (*Reference Signal Received Power*) – snaga primljenog signala,
- RSRQ (*Reference Signal Received Quality*) – kvaliteta primljenog signala i
- SINR (*Signal to Interference plus Noise Ratio*) – odnos snage primljenog signala prema zbroju šuma i interferencije.

Kod mjerenja 5G NR NSA mreže pomoću parametra *Packet technology* možemo pratiti koja se tehnologija koristi za prijenos podataka između bazne stanice i korisničkog uređaja, odnosno u kojim se trenucima koristi 5G NR NSA mreža. Parametar *Packet Technology* za naše postavke mjerenja može poprimiti vrijednosti LTE DL CA (*Long-Term Evolution Downlink Carrier Aggregation*), LTE FDD (*Long-Term Evolution Frequency Division Duplex*) i EN-DC (*E-UTRAN New Radio Dual Connectivity*). EN-DC je mod dvostruke povezanosti u kojem je korisnički uređaj istovremeno povezan s LTE i NR mrežom tj. s LTE mrežom za kontrolnu ravninu, a NR mrežom za korisničku ravninu. U trenucima kada parametar poprimi vrijednost EN-DC, uređaj je povezan s 5G NR NSA mrežom. Na taj način možemo vidjeti koliki je postotak vremena uređaj povezan s 5G mrežom.

Ruta	Datum	4G / 5G mjerenje	Početak mjerenja	Kraj mjerenja
Potoci oko Voltinog	13.10.2022.	4G	16:00:13	16:44:30
		5G	15:13:42	15:59:04
Vidikovci Grmošćice	14.10.2022.	4G	18:58:07	20:19:48
		5G	15:10:46	16:53:40
Sva lica potoka Dubravica	14.10.2022.	4G	21:26:56	21:59:57
		5G	21:00:18	21:26:17

**Tablica 1** Vrijeme mjerenja na pojedinim rutama

**Table 1** Measurement time on individual routes

Izvor: Rad autora

Idealni RF uvjeti	Odlično	Dobro	Prihvaljivo	Loše
RSRP [dBm]	$\geq -80$	-80 do -90	-90 do -100	$\leq -100$
RSRQ [dB]	$\geq -10$	-10 do -15	-15 do -20	$< -20$
SINR [dB]	$\geq 20$	13 do 20	0 do 13	$\leq 0$
RTT [ms]	0 do 10	10 do 50	50 do 100	$\geq 100$

**Tablica 2** Referentne vrijednosti mjerenih parametara

**Table 2** Measured parameters reference values

Izvor: Rad autora

U Tablici 2 navedene su referentne vrijednosti parametara koje su korištene za analizu rezultata mjerenja i procjenu kvalitete mreže temeljem usporedbe izmjerenih vrijednosti parametara u usporedbi s referentnim vrijednostima. Vrijednosti navedene u tablici proizašle su iz iskustva s prijašnjim mjerenjima [4], a odgovaraju i referentnim vrijednostima koje postavlja *Nemo Outdoor* za pojedine parametre. Kao napomenu uz tablicu valja navesti da 5G eMBB donosi samo mala poboljšanja po pitanju 5G kašnjenja. Zbog toga RTT granične vrijednosti u tablici vrijede i za 4G i za 5G uz napomenu da za 5G očekujemo da će većina mjerenih vrijednosti biti odlična (manja od 10 ms).

## 5. REZULTATI MJERENJA RADIJSKIH PARAMETARA

### 5. RADIO PARAMETERS MEASUREMENT RESULTS

Rezultati mjerenja radijskih parametara prikazani su tablicama koje sadrže srednje vrijednosti mjerenih parametara i raspodjelu parametara u postotcima po razredima iz Tablice 2. Za LTE mjerenje prikazani su radijski parametri LTE zračnog sučelja, a za 5G NR NSA mjerenje prikazani su radijski parametri NR i LTE zračnog sučelja jer radijski parametri LTE zračnog sučelja mogu utjecati na ukupne rezultate kvalitete korisničkog iskustva u 5G mjerenju.

Ruta	Potoci oko Voltinog				
	4G mjerenje (samo LTE)				
Parametar	Prosjek	Odlično	Dobro	Prihvatljivo	Loše
RSRP (dBm)	-72,8	26,28 %	36,82 %	30,61 %	6,29 %
RSRQ (dB)	-9,5	40,92 %	54,40 %	4,66 %	0,02 %
SINR (dB)	5,78	0,00 %	3,59 %	88,77 %	7,64 %
	5G NR NSA mjerenje (LTE 7,7 %; EN-DC 92,3 %)				
	NR radijski parametri				
RSRP (dBm)	-70,5	28,45 %	37,26 %	29,12 %	5,17 %
RSRQ (dB)	-11,3	0,26 %	96,26 %	3,40 %	0,08 %
SINR (dB)	10,56	10,50 %	23,93 %	59,05 %	6,52 %
	LTE radijski parametri				
RSRP (dBm)	-72,7	23,15 %	33,34 %	35,34 %	8,18 %
RSRQ (dB)	-8,3	62,43 %	34,54 %	3,02 %	0,01 %
SINR (dB)	6,12	0,00 %	4,48 %	89,49 %	6,03 %

**Tablica 3** Rezultati mjerenja na ruti Potoci oko Voltinog

**Table 3** Measurement results for the Streams around the Voltino route

Izvor: Rad autora

Za 5G mjerenje prikazan je i postotak vremena povezanosti s 5G mrežom.

Rezultati mjerenja na ruti *Potoci oko Voltinog* prikazani su u Tablici 3.

Na ruti *Potoci oko Voltinog* se za LTE mjerenje snaga primljenog referentnog signala nalazi većinom u rasponima Dobro i Prihvatljivo, parametar RSRQ je preko 90 % u rasponima Odlično i Dobro. Izmjerene vrijednosti parametra SINR su nešto lošije ali ipak ih se preko 88 % nalazi u razredu Prihvatljivo.

Za 5G mjerenje možemo vidjeti da je uređaj povezan s 5G mrežom 92,3 % vremena. LTE radijski parametri poprimaju približno jednake srednje vrijednosti i raspodjelu po razredima. Kod vrijednosti NR radijskih parametara možemo primijetiti da imamo bolju srednju vrijednost parametra SINR čak i uz lošiju snagu (RSRP) i kvalitetu (RSRQ) primljenog signala. Navedeno možemo pripisati činjenici da 5G mreža radi u različitom frekvencijskom pojasu od LTE mreže, broj korisnika je još uvijek relativno mali pa je i interferencija mala.

LTE mreža mjenenog operatora radi na frekvencijskim opsezima oko 800 MHz (LTE band 700, LTE band 800) i 2 GHz (LTE band 1800, LTE band 2100). 5G mreža mjenenog operatora radi u frekvencijskom području od oko 3,5 GHz (NR n78 TDD).

Rezultati mjerenja na ruti *Vidikovci Grmošćice* prikazani su u Tablici 4.

Na ruti *Vidikovci Grmošćice* možemo primijetiti da je uređaj bio povezan s 5G mrežom samo 14,7 % vremena. Radi se o neočekivanim rezultatima jer se gotovo polovica rute *Vidikovci Grmošćice* poklapa s rutom *Potoci oko Voltinog* na kojoj je uređaj bio povezan s 5G mrežom preko 90 % vremena. Detaljnija analiza parametra *Packet Technology*, koji nam govori koliki je postotak povezanosti uređaja s 5G mrežom, bit će dana u 6. poglavlju.

Sve prosječne izmjerene vrijednosti radijskih parametara (za oba mjerenja) su lošije od izmjerenih vrijednosti na ruti *Potoci oko Voltinog*. Za razliku od mjerenja na ruti *Potoci oko Voltinog*, ovdje se veći postotak vrijednosti mjerenih parametara nalazi u rasponima

Ruta	Vidikovci Grmošćice				
	4G mjerenje (samo LTE)				
Parametar	Prosjek	Odlično	Dobro	Prihvatljivo	Loše
RSRP (dBm)	-72,7	26,26 %	19,29 %	23,69 %	30,75 %
RSRQ (dB)	-10	33,06 %	51,51 %	15,36 %	0,07 %
SINR (dB)	4,20	0,00 %	3,97 %	73,49 %	22,54 %
	5G NR NSA mjerenje (LTE 85,3 %; EN-DC 14,7 %)				
	NR radijski parametri				
RSRP (dBm)	-78,9	19,00 %	36,29 %	26,57 %	18,14 %
RSRQ (dB)	-11,6	0,43 %	94,24 %	5,16 %	0,17 %
SINR (dB)	8,96	5,50 %	29,75 %	52,79 %	11,95 %
	LTE radijski parametri				
RSRP (dBm)	-73,5	22,45 %	21,84 %	29,61 %	26,10 %
RSRQ (dB)	-9,7	38,55 %	49,07 %	12,28 %	0,10 %
SINR (dB)	4,16	0,00 %	2,65 %	78,12 %	19,24 %

**Tablica 4** Rezultati mjerenja na ruti *Vidikovci Grmošćice*

**Table 4** Measurement results for the *Grmošćica viewpoints route*

Izvor: Rad autora

Ruta	Sva lica potoka Dubravica				
	4G mjerenje (samo LTE)				
Parametar	Prosjek	Odlično	Dobro	Prihvatljivo	Loše
RSRP (dBm)	-88,3	4,67 %	10,11 %	35,32 %	49,90 %
RSRQ (dB)	-8,6	68,47 %	30,29 %	1,24 %	0,00 %
SINR (dB)	6,84	0,00 %	6,77 %	89,47 %	3,76 %
	5G NR NSA mjerenje (LTE 89,8 %; EN-DC 10,2 %)				
	NR radijski parametri				
RSRP (dBm)	-99,8	0,00 %	0,00 %	33,90 %	66,10 %
RSRQ (dB)	-10,8	0,00 %	100,00 %	0,00 %	0,00 %
SINR (dB)	14,67	6,78 %	59,89 %	33,33 %	0,00 %
	LTE radijski parametri				
RSRP (dBm)	-89,9	1,48 %	17,65 %	40,92 %	39,96 %
RSRQ (dB)	-9,5	38,16 %	57,34 %	4,49 %	0,01 %
SINR (dB)	4,89	0,00 %	1,44 %	90,89 %	7,67 %

**Tablica 5** Rezultati mjerenja na ruti Sva lica potoka Dubravica

**Table 5** Measurement results for the All faces of Dubravica stream route

Izvor: Rad autora

Prihvatljivo i Loše što potvrđuje činjenicu da su prosječne vrijednosti lošije. Ipak, vrijednost 5G SINR parametra je ponovno bolja (oko 5 dB veća) u odnosu na LTE SINR.

Rezultati mjerenja na ruti *Sva lica potoka Dubravica* prikazani su u Tablici 5.

Na ruti *Sva lica potoka Dubravica* uređaj se s 5G mrežom bio povezan samo 10,2 % vremena. To je bilo i za očekivati s obzirom na smještaj rute koje se nalazi na granici urbano/ruralno.

Ipak, zahvaljujući svojoj poziciji i pretpostavljenom slabijem opterećenju mreže i interferenciji, postignute su bolje vrijednosti LTE SINR parametra u odnosu na mjerenje na ruti *Vidikovci Grmošćice* čak i uz lošiju snagu (RSRP oko 16 dB manji) primljenog LTE signala. Kvaliteta primljenog LTE signala je nešto bolja u odnosu na rutu *Vidikovci Grmošćice* (1,4 dB u LTE mjerenju i 0,2 dB u 5G mjerenju).

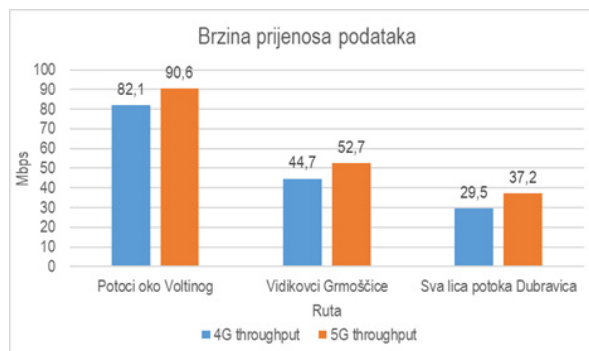
Vrijednost 5G SINR parametra ponovno je puno bolja (7 do 10 dB veća) u odnosu na LTE SINR čak i uz lošiji 5G RSRP (oko 10 dB manji u odnosu na LTE RSRP). Uz pokrivanje od samo 10,2 % u mjerenju koje je trajalo 26 minuta, zaključujemo da je uređaj bio spojen na 5G mrežu manje od 3 minute te da će 5G mreža u ovom

slučaju imati minimalan ili nikakav utjecaj na kvalitetu korisničkog iskustva u 5G mjerenju.

## 6. QOE I PACKET TECHNOLOGY ANALIZA

### 6. QOE AND PACKET TECHNOLOGY ANALYSIS

Slika 4 sadrži grafički prikaz izmjerenih srednjih vrijednosti brzina prijenosa podataka na svim rutama.



**Slika 4** Prosječne brzine prijenosa podataka na mjerenim rutama

**Figure 4** Average data throughput on measured routes

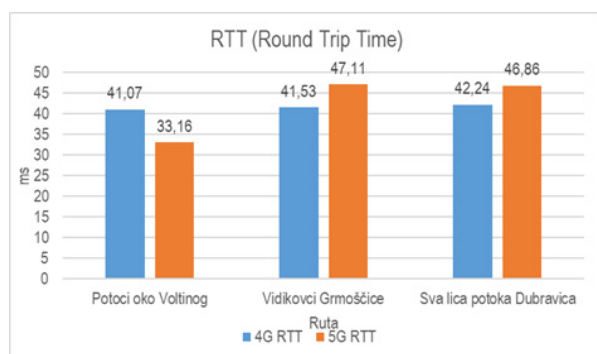
Izvor: Rad autora

Iz grafa možemo zaključiti da brzine prijenosa prate radijske uvjete na rutama i postotak povezanosti uređaja s 5G mrežom. Što su radijski uvjeti i postotak vremena povezanosti uređaja s 5G mrežom bolji, korisnik će moći ostvariti bolju brzinu prijenosa podataka. Na ruti *Potoci oko Voltinog* izmjerene su najveće prosječne brzine za oba mjerenja što je i očekivano s obzirom da se ruta nalazi u potpunosti u gradu.

Na ruti *Vidikovci Grmošćice* izmjerene su otprilike upola manje vrijednosti brzina prijenosa jer ruta jednim svojim dijelom prolazi i cestom kroz šumu van grada do vidikovca Grmošćica. Upravo na tom dijelu rute radijski uvjeti su lošiji od gradskog dijela rute što doprinosi ukupno lošijim vrijednostima parametara kvalitete korisničkog iskustva.

Na ruti *Sva lica potoka Dubravica* izmjerene su najlošije vrijednosti brzina prijenosa korisničkih podataka za oba mjerenja. To odgovara i radijskim uvjetima na ruti jer su izmjerene vrijednosti radijskih parametara na ovoj ruti bila najlošije kao i postotak vremena povezanosti uređaja s 5G mrežom.

Slika 5 prikazuje grafički prikaz rezultata mjerenja parametra RTT na mjerenim rutama.



**Slika 5** Prosječne vrijednosti parametra RTT na mjerenim rutama

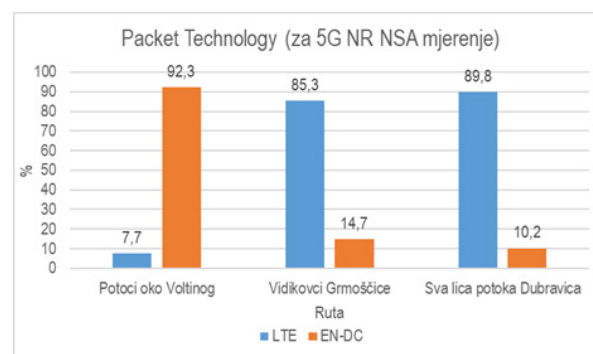
**Figure 5** Average Round Trip Time on measured routes

Izvor: Rad autora

Na svim rutama izmjerene su prosječne vrijednosti parametra RTT ispod 50 ms za oba mjerenja. To možemo smatrati dobrim vrijednostima za 4G mrežu i korisnik će imati dobro iskustvo korištenja mobilnih uređaja na rutama za uobičajene potrebe (audio streaming, video streaming, aplikacije za praćenje sportskih

aktivnosti, društvene mreže i slično). Unatoč tome, ove RTT vrijednosti su previsoke čak i za 4G za neke napredne slučajeve upotrebe kao što je, na primjer, igranje *online* igara. Na sve tri rute srednje izmjerene vrijednosti 4G RTT-a razlikuju se samo oko 1 ms. Na ruti *Potoci oko Voltinog* je vrijednost 5G RTT-a gotovo 10 ms bolja u odnosu na 4G mjerenje, dok je na preostale dvije rute 5G RTT lošiji od 4G RTT-a, ali ne značajno. Kod 5G mjerenja se svakako radi o lošim vrijednostima s obzirom na to da 5G mreža želi u nekim primjenama donijeti RTT od 1 ms ili manje. Kod 5G RTT-a podrazumijeva se RTT za cijelo 5G mjerenje, ne samo za trenutke kada je uređaj bio povezan s 5G mrežom. U nastavku će biti prikazano vrijeme koje je uređaj bio povezan s 5G mrežom na pojedinoj ruti mjerenja.

Još jedan od parametara koji je zanimljivo promotriti za ovo mjerenje je *Packet Technology*. Kao što je već prije navedeno, radi se o parametru koji prikazuje koja se tehnologija koristi za prijenos podataka između bazne stanice i korisničkog uređaja. Grafički prikaz rezultata mjerenja za parametar *Packet Technology* prikazan je Slikom 6.



**Slika 6** *Packet Technology* - vrijeme povezanosti s 5G mrežom

**Figure 6** *Packet Technology* - connection time to 5G network

Izvor: Rad autora

Dok je vrijednost parametra EN-DC, uređaj je spojen s 5G NR NSA mrežom. Na ruti *Vidikovci Grmošćice* imamo samo 14,7 % vremena povezanosti s 5G NR NSA mrežom dok je na ruti *Potoci oko Voltinog* ta vrijednost puno veća, čak 92,3 %. Kako se radi o rutama koje se u gotovo pola svoje duljine preklapaju, rezultat za rutu *Vidikovci Grmošćice* je jako loš. Na Slici 7 prikazani su rezultati mjerenja parametra *Packet Technology* na karti na navedenim rutama.





**Slika 7** Packet Technology na rutama Potoci oko Voltinog i Vidikovci Grmošćice

**Figure 7** Packet Technology on the Streams around the Voltino and Grmošćica viewpoints routes

Izvor: Rad autora

Iz prikaza na karti vidljivo je da uređaj nije povezan s 5G NR NSA mrežom na istim mjestima u dijelovima ruta koje se poklapaju. Mjerenje je napravljeno samo s jednim danom razlike (oba na radni dan nakon 15h). Nažalost ne možemo zaključiti zbog čega je došlo do ovakvog ponašanja mreže. Operator koristi DSS (*Dynamic Spectrum Sharing*) tehnologiju pomoću koje može dinamički alocirati mrežne resurse između 4G i 5G mreže koje na ovaj način mogu koristiti isti spektar. Možemo pretpostaviti da je opterećenje mreže dok se mjerila ruta *Vidikovci Grmošćice* bilo veće u odnosu na dan ranije pa je operator alocirao resurse na način da posluži veći broj 4G korisnika. Također jedan od mogućih razloga je da je taj dan operator provodio održavanje ili nadogradnju 5G mreže pa ona nije bila u potpunosti dostupna. Treći razlog mogao bi biti veći broj 5G korisnika u to vrijeme na mjerenoj ruti koji su zahtijevali veliku brzinu prijenosa podataka pa je njima dodijeljeno više spektralnih resursa. Vidimo da nije bitna samo pokrivenost 5G signalom nego i način na koji operator dodjeljuje 5G resurse korisnicima.

## 7. ZAKLJUČAK

### 7. CONCLUSION

Provedena su detaljna mjerenja i analiza rezultata za tri rekreacijske rute u gradu Zagrebu *Nemo* alatima.

Kvaliteta mobilne mreže na mjenjenim rutama zadovoljit će potrebe prosječnog korisnika mobilnog uređaja. Ipak, što se više udaljavamo od

centra grada prema šumskom i ruralnom području, radijski uvjeti postaju lošiji, a samim time i kvaliteta korisničkog iskustva. To je vidljivo po velikoj razlici brzina prijenosa podataka na ruti *Potoci oko Voltinog* koja cijela prolazi gradom i ruti *Sva lica potoka Dubravica* koja se nalazi na granici gradskog i ruralnog područja. Niti u jednom trenutku nije došlo do potpunog prekida usluge što može biti bitno u slučaju potrebe za pozivom hitnim službama u slučaju ozljede ili nesreće na rekreacijskim rutama.

Mreža s performansama koje ima može podržati postavljanje IoT uređaja za jednostavniju primjenu poput praćenja rezultata na trasama i registracije korisnika putem NFC-a (*Near Field Communication*) ili QR koda. Zahtjevnije primjene koje zahtijevaju veću količinu prijenosa podataka poput video nadzora ruta, video praćenja sportaša uživo dronovima i slično, mogle bi se ostvariti samo na ruti *Potoci oko Voltinog* uz uvjet manjeg kašnjenja. Niti jedna izmjerena vrijednost RTT-a u oba mjerenja nije bila odlična (manja od 10 ms), a za daljinsko upravljanje dronovima ili drugim uređajima u stvarnom vremenu potrebna je latencija od 1 ms ili čak i manje.

Razlika korisničkog iskustva 4G i 5G mreže nije značajna te je u nekim slučajevima 5G mreža i lošija od 4G. Također smo iz rezultata mjerenja vidjeli da 5G NR NSA mreža nije konzistentna i da njena dostupnost ovisi o opterećenju mreže i zahtjevima korisnika.

Situacija će se vjerojatno promijeniti na bolje kada operatori puste u rad samostalne 5G mreže koje će donijeti poboljšanja u sve *use caseove*

5G mreže i omogućiti nove aplikacije. Po implementaciji samostalne 5G mreže od strane operatora, mjerenja se mogu ponoviti da bi se vidjelo postoji li napredak i kakav je.

## 8. REFERENCE

### 8. REFERENCES

- [1.] *Keysight Nemo Handy User Guide*, ver. 4.50, Oulu, Finland: Keysight Technologies, 2022.
- [2.] *Keysight Nemo Outdoor User Guide*, ver. 9.10, Oulu, Finland: Keysight Technologies, 2021.
- [3.] »Mapiranje Trešnjevke,« 2022. [Mrežno]. Available: <https://mapiranjtresnjevke.com/aktivnosti-g/janes-walk/>. [Pokušaj pristupa 16 12 2022].
- [4.] Milde Antonio; Zentner Pilinsky Sonja; Comparison of 4G and 5G NR NSA QoE measurements in Croatian cities; 2022 International Symposium ELMAR, pp. 13 - 18; ISBN 978-1-6654-7003-2; ISSN 1334-2630; Zadar 2022

## AUTORI · AUTHORS

• **Antonio Milde** - Završio preddiplomski i specijalistički diplomski studij elektrotehnike na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu uz pohvalu pročelnika odjela i priznanje za istaknuti uspjeh u studiju. Po završetku studija zapošljava se kao asistent na elektrotehničkom odjelu Tehničkog veleučilišta u Zagrebu gdje održava vježbe iz 6 kolegija na stručnom i specijalističkom studiju elektrotehnike. U slobodno vrijeme bavi se glazbom, folklorom i radom na obiteljskom poljoprivrednom gospodarstvu.

### Korespondencija · Correspondence

antonio.milde@tvz.hr

• **Ivan Braje** - Rođen je 31. svibnja 2000. godine u Zagrebu, 2019. godine je završio Tehničku školu u Karlovcu i iste godine upisao preddiplomski stručni studij elektrotehnike na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu koji je završio 2022. godine i zatim nastavio visokoškolsko obrazovanje na veleučilištu upisom diplomskog stručnog studija elektrotehnike, smjer Telekomunikacije i računalna.

### Korespondencija · Correspondence

ivan.braje@tvz.hr