

TERENSKÉ MERITVE MOBILNIH OMREŽIJ 4G

dr. Tomaž Šturm, Niko Gaberc

Agencija za komunikacijska omrežja in storitve Republike Slovenije

tomaz.sturm@akos-rs.si

niko.gaberc@akos-rs.si

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_18

UDK: 621.39:528.4(497.4)

IZVLEČEK

Terenske meritve mobilnih omrežij 4G

Operaterji mobilne telefonije s tehnologijo 4G zagotavljajo visoke pretočne hitrosti prenosa podatkov od bazne postaje do uporabnika in obratno ter omogočajo mobilne širokopasovne povezave skoraj povsod v Sloveniji. Podatki baznih postaj omogočajo izdelavo kart pokritosti mobilnega omrežja 4G, ki prikazujejo pokritost Slovenije z mobilnim signalom posameznega operaterja. Merilna kampanja, ki smo jo izvedli leta 2020, je omogočila kontrolo kart pokritosti mobilnega omrežja in pokazala na glavne značilnosti mobilnega omrežja 4G v Sloveniji. Primerjava med izmerjenimi vrednostmi točk in kartami pokritosti mobilnega omrežja je pokazala zelo dobro ujemanje med merjenimi in modeliranimi podatki. Razlike med mobilnim omrežjem 4G posameznih mobilnih operaterjev pa so odvisne od prostorske razporeditve baznih postaj, uporabljenih frekvenčnih območij ter razdalje med merjenimi lokacijami in baznimi postajami.

KLJUČNE BESEDE

mobilna tehnologija, operaterji mobilnih omrežij, 4G, merilna kampanja, bazne postaje, karte pokritosti mobilnega omrežja

ABSTRACT

Field measurements of 4G mobile networks

Mobile telephony operators with 4G technology provide fast data throughput to and from the user and provide conditions for normal work almost everywhere in Slovenia. Base stations data enable the production of 4G mobile technology coverage maps, which show the coverage of the mobile signal of an individual operator in Slovenia. The measurement campaign enabled the control of mobile coverage maps and pointed out the main features of the 4G mobile network in Slovenia. A comparison between the measured points and the mobile coverage maps showed very good matching. The differences between the 4G mobile network of individual mobile operators depend on the spatial distribution of base stations, used frequency bands and the distance between the measured locations and base stations.

KEY WORDS

mobile technology, mobile network operators, 4G, measurement campaign, base stations, mobile coverage maps

1 Uvod

Mobilna tehnologija četrte generacije (4G/LTE) doživlja razcvet (The state ... 2021), ker omogoča visoke pritočne hitrosti in posledično zagotavlja dovolj kakovostno internetno povezavo, tudi v primeru, ko nimamo nobene druge povezave s spletom. Zato je največji izziv za operaterje javnih mobilnih omrežij, ki imajo lastno infrastrukturo (v nadaljevanju operaterji), zagotavljanje širokopasovnih storitev z visoko zmogljivostjo. S tem namenom operaterji postavljajo bazne postaje ne samo v urbanih središčih, ampak tudi na ruralnih območjih, s čimer se trudijo pokriti kar največji del Slovenije in omogočiti prebivalcem in obiskovalcem v vsakem trenutku dovolj hiter in zanesljiv internetni dostop. Za spremljanje in optimizacijo delovanja mobilnega omrežja za zagotavljanje visokokakovostnih storitev in boljše izkoriščenost virov so potrebni ključni kazalniki, ki so bili standardizirani s projektom *Third Generation Partnership Project* (Universal ... 2020) in jih je mogoče razvrstiti v naslednje podkategorije: dostopnost, vzdržljivost, mobilnost, celovitost in razpoložljivost. Nekateri od teh kazalnikov se merijo na ravni omrežja, drugi pa na ravni celične skupine, ki je določena s pokritostjo posameznih baznih postaj znotraj omrežja. Ob uvedbi tehnologije 4G, leta 2014, so operaterji pridobili potreben spekter radijskih frekvenc za zagotavljanje storitev mobilnega dostopa 4G. Pogoji uporabe in zaveze operaterjev so zapisani v Odločbah o dodelitvi radijskih frekvenc (v nadaljevanju ODRF; Zakon o ... 2012), Agencija za komunikacijska omrežja in storitve Republike Slovenije (v nadaljevanju agencija) pa je pristojna za preverjanje izpolnjevanja teh pogojev. Pri podeljevanju radijskih frekvenc za mobilna omrežja tehnologije 4G je tako bila določena vrednost hitrosti prenosa podatkov k uporabniku (angleško *download*) 10 Mbit/s (Metodologija ... 2016). Neko področje je tako deklarirano kot pokrito, če so hitrosti od omrežja k uporabniku nad to vrednostjo. Na prenosne hitrosti vpliva veliko različnih parametrov, zato so bili z mnogimi meritvami določeni trije razredi, glede na jakosti sprejetih referenčnih signalov (angleško *Reference Signal Received Power – RSRP*), kjer lahko uporabniki pričakujejo različne uporabniške izkušnje (ECE Report ... 2016). V razredu *zelo dobro* so pričakovane visoke prenosne hitrosti v obe smeri in to znotraj in zunaj objektov, v razredu *dobro* so prav tako pričakovane visoke prenosne hitrosti v obe smeri, vendar zunaj objektov, v razredu *mejno* pa so pričakovane zadovoljive prenosne hitrosti v smeri k uporabniku. Ti razredi določajo verjetnost, s katero bo uporabnik podatke pretočil na ali iz svoje naprave z določeno hitrostjo. Pri preverjanju izpolnjevanja zahtev iz ODRF si agencija pomaga z namenskim orodjem za simuliranje in izračunavanje pokrivanja s signalom mobilnih tehnologij. Karte pokritosti mobilnih omrežij se izdelujejo na podlagi podatkov operaterjev, ki so skladno z Zakonom o elektronskih komunikacijah (2012) zavezani, da agenciji sporočajo parametre svojih omrežij. Z uporabo ustrezne programske opreme se izdelajo grafični sloji, ki prikazujejo pokritosti z mobilnim signalom 4G. Do sedaj agencija še ni izvedla preverbe točnosti izdelave teh kart, kar pa se je spremenilo z merilno kampanjo leta 2020, ki je obsegala meritve mobilnih signalov 3G in 4G. Povod za merilno kampanjo je bila tehnologija 4G, saj je poteklo obdobje, v katerem so operaterji morali izpolniti določene pogoje, ki so jih pridobili pri podeljevanju frekvenčnih pasov za tehnologije 4G (Gaberc 2019). Cilj analize je preveriti, ali se izračunane in izmerjene vrednosti mobilnih signalov v Sloveniji ujemajo, ter nato še podrobneje analizirati moč signala izmerjenih točk in njihovo oddaljenost od baznih postaj.

2 Bazne postaje

Bazna postaja je sestavni del omrežja mobilne telefonije, ki je komunikacijski sistem za zagotavljanje mobilne storitve. Naloga bazne postaje je zagotoviti povezavo med mobilnim telefonom in omrežjem. Vsaka bazna postaja ima pogosto več anten, ki so usmerjene v različne smeri in pokrivajo različne sektorje oziroma področja okoli bazne postaje. Glavno vodilo načrtovanja omrežij je, kako postaviti ekonomsko vzdržno omrežje, ki bo zagotavljalo optimalno pokrivanje, imelo dovolj zmogljivih kapacitet za prenos podatkov med jedrom omrežja in uporabnikom ter bo dovolj kakovostno (Mishra 2004).

Največkrat se išče ravnovesje med temi tremi kriteriji, ki je odvisno od politike posameznega operaterja. Podatki o baznih postajah vsebujejo naslednje informacije:

- datum zajema podatkov o baznih postajah,
- lokacija bazne postaje (f_i , λ),
- tehnologija (4G),
- enolična oznaka operaterja,
- enolični identifikator bazne postaje in ime bazne postaje,
- usmerjenost antene (azimut),
- skupna oddajna moč,
- unikatna številka celice,
- enolična oznaka celice v 4G,
- številka radiofrekvenčnega kanala v 4G.

Operaterji imajo na terenu različne bazne postaje, različno število le-teh in tudi nameščene so na različnih lokacijah (slika 1).

V merilni kampanji so bile izvedene meritve štirih mobilnih omrežij, vendar so imeli z lastnimi baznimi postajami celotno Slovenijo pokrito le trije operaterji (Gaberc 2020). V analizi smo zato obravnavali podatke samo treh operaterjev.

3 Karte pokritosti javnih mobilnih omrežij 4G

Pokrivanje določenega območja z mobilnimi signali je najbolj nazorno prikazano s pomočjo geografskih prikazov (karta). S tem namenom je Združenje evropskih regulatorjev elektronskih komunikacij (BEREC) v svojem priporočilu podalo nekaj smernic, na kakšen način naj nacionalni regulatorji pripravijo in prikazujejo karte pokritosti mobilnih omrežij (BEREC... 2017). Za pravičen izračun pokrivanja s signalom določene tehnologije je treba poznati tudi, kaj vse vpliva na to, da signal iz ene bazne postaje toliko oslabi in postane prešibak za prenos podatkov do uporabnika. Razširjanje radijskih valov lahko opišemo z različnimi modeli, katerih uporaba je nujna za izračune pokrivanja v telekomunikacijah. Modeli morajo biti dovolj natančni, da predstavijo dejansko stanje v naravi.

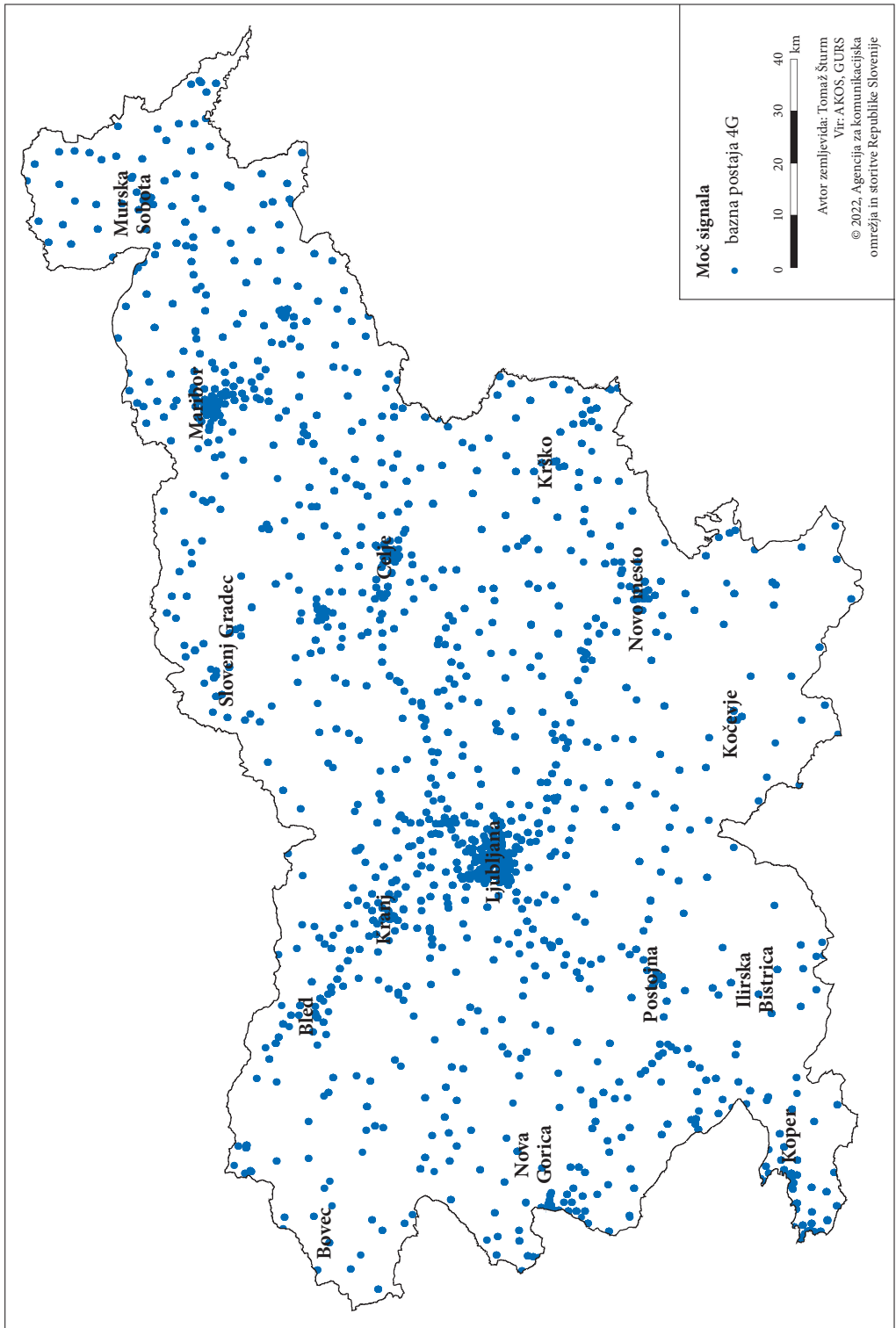
Za izračune pokrivanja javnih mobilnih omrežij agencija v Sloveniji uporablja model po priporočilu Mednarodne zveze za telekomunikacije (ITU; angleško *International Telecommunication Union*), in sicer *ITU-R P.1812-4 (A path-specific ... 2015)*. Bolj podroben opis izračuna mobilnega pokrivanja, za katerega se uporabljajo tudi podatki baznih postaj, je predstavil Gaberc (2019). Za razumevanje kompleksnosti prikazovanja mobilne pokritosti se uporabljajo karte. Takšen prikaz omogoča večjo stopnjo preglednosti in informira uporabnike o razpoložljivosti mobilnih signalov ali storitev na določenem območju ali lokacijah, ki so zanje pomembne (domači naslov, lokacija zaposlitve, nakupovalna in turistična središča...). Poleg informiranja glede pokritosti na določenih območjih pa objava takih kart dviguje ozaveščenost uporabnikov, saj lahko primerjajo razpoložljivost mobilnih omrežij in izberejo operaterja, ki najbolj ustreza njihovim potrebam.

Karte pokritosti mobilnih omrežij z velikostjo celice 25 m za celo državo izdeluje agencija. Te karte so izdelane za vsakega operaterja mobilnega signala 4G z uporabo podatkov o baznih postajah. Kakovost pokrivanja mobilnega signala je razdeljena na tri razrede (*zelo dobro*, *dobro* in *mejno*) glede na moč signala (slika 2). Na vsaki karti obstajajo tudi območja, za katere je izračun teoretičnega pokrivanja mobilnega signala pokazal, da signala 4G ni (Geoportal AKOS 2022).

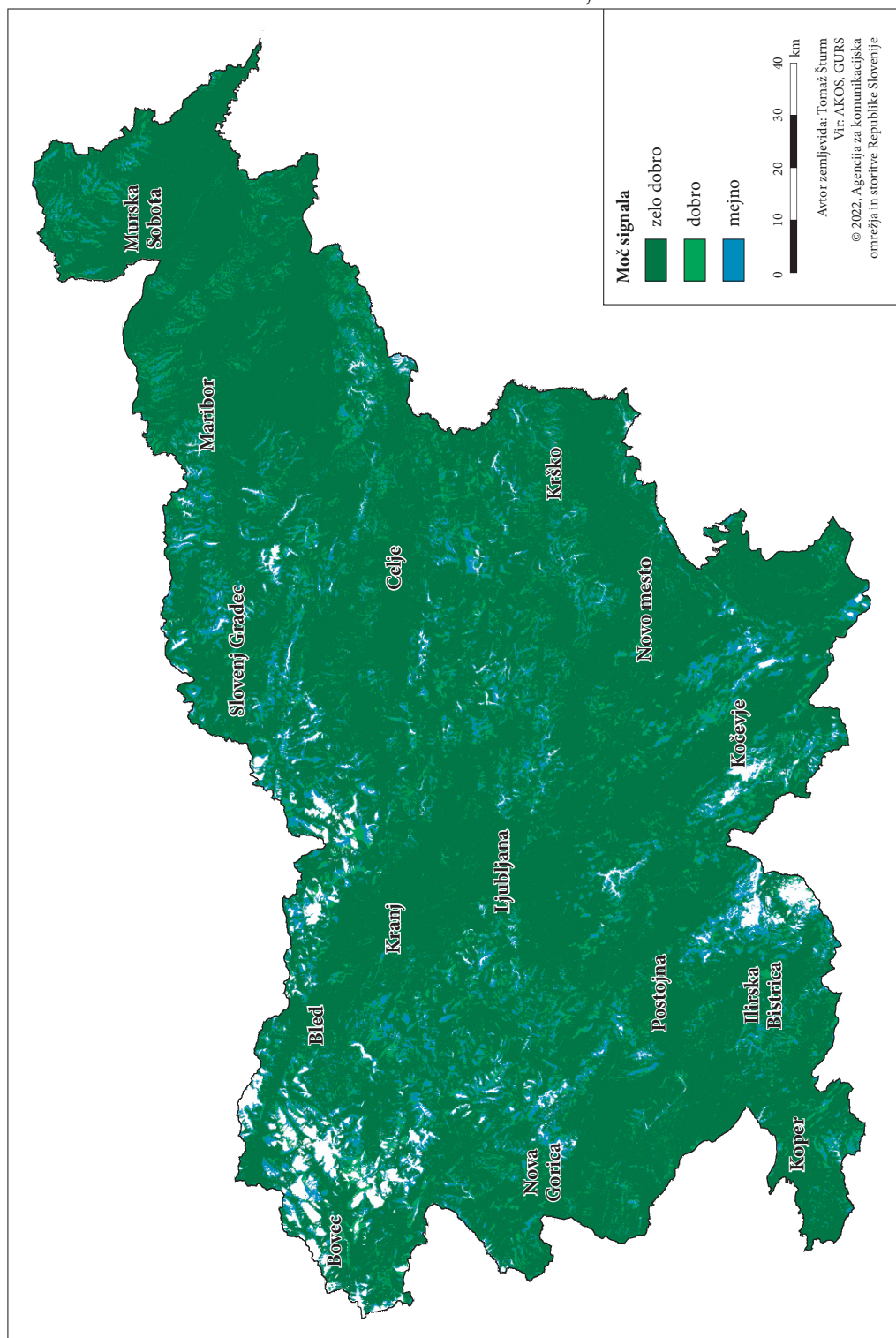
Vsak izmer treh analiziranih operaterjev ima veliko pokritost območja Slovenije z *zelo dobrim* signalom (več kot 67%), na drugi strani pa je zelo malo območij, ki z mobilnim signalom 4G niso pokrita

Slika 1: Lokacije baznih postaj 4G enega operaterja. ► (str. 236)

Slika 2: Karta pokritosti mobilnega omrežja 4G enega izmed operaterjev. ► (str. 237)



Terenske meritve mobilnih omrežij 4G



(manj kot 10 %). Z upoštevanjem zelo dobrega in dobrega signala skupaj, je pokritega več kot 80 % celotnega ozemlja Slovenije pri vsakem od treh operaterjih (preglednica 1).

Preglednica 1: Deleži pokrivanja posamezne moči signala po operaterjih (%).

moč signala	operater 1	operater 2	operater 3
zelo dober	67,7	79,7	72,1
dober	13,0	10,6	12,2
mejno	10,0	6,6	8,8
ni signala	9,2	3,2	6,9

Podatki kažejo na zelo veliko pokritost z vsaj dobrim signalom v večjem delu države, predvsem v urbanih središčih (Geoportal AKOS 2022). Območja brez mobilnega signala v Sloveniji obsegajo dele Julijskih Alp, Karavank, Kamniško-Savinjskih Alp, Pohorja, Kozjaka, Kočevskega Roga ter v okolici Goteniške gore, Snežnika in Trnovskega gozda.

4 Meritve signala javnih mobilnih omrežij 4G

Merjenje in ocenjevanje pokritosti, zmogljivosti in kakovosti storitve (angleško *Quality of Service – QoS*) mobilnega radijskega omrežja je sestavljeno iz uporabe motornega vozila, ki vsebuje opremo za merjenje mobilnega omrežja, ki lahko zazna in zabeleži široko paleto fizičnih in virtualnih parametrov mobilne storitve na določenem geografskem območju. Z merjenjem brezžičnega omrežja na katerem koli določenem območju lahko operaterji izvajajo usmerjene spremembe v svojih omrežjih ter tako zagotavljajo boljšo pokritost in storitve za svoje stranke. Za testiranje je potrebno mobilno vozilo, ki je opremljeno z merilno opremo za testiranje. Opremo običajno sestavljajo visoko specializirane elektronske naprave, kot so širokopasovni merilni sprejemniki, ki so namenjeni zajemanju parametrov mobilnega omrežja (jakost referenčnih signalov, identifikacija celic) ter specialni mobilni terminali, kateri pa služijo meritvam ključnih parametrov, ki nam dajo informacije o kakovosti posameznih omrežij (QoS). To zagotavlja, da so meritve realistične in primerljive z dejanskimi uporabniškimi izkušnjami. Mobilne meritve se izvajajo med vožnjo z merilnim vozilom po celi državi (Fratel 2020).

Na agenciji se za ta namen uporablja prilagojeno specialno merilno vozilo, ki je namenjeno meritvam pokrivanj različnih tehnologij na različnih frekvenčnih področjih zunaj objektov, vozilo pa je prirejeno na način, da je vsa merilna in ostala oprema nameščena v njegovi notranjosti, antene pa so preko povezovalnih radiofrekvenčnih kablov nameščene na strehi vozila. Za mobilne meritve najrazličnejših tehnologij in storitev agencija uporablja merilno opremo proizvajalca *Rohde & Schwarz*. Sistem za merjenje mobilnega signala je sestavljen iz sprejemnika signala GPS, računalnika s programsko opremo, širokopasovnega merilnega sprejemnika, mobilnih terminalov in sistema za brezprekinitveno napajanje (slika 3). Napajanje je zagotovljeno iz merilnega vozila.

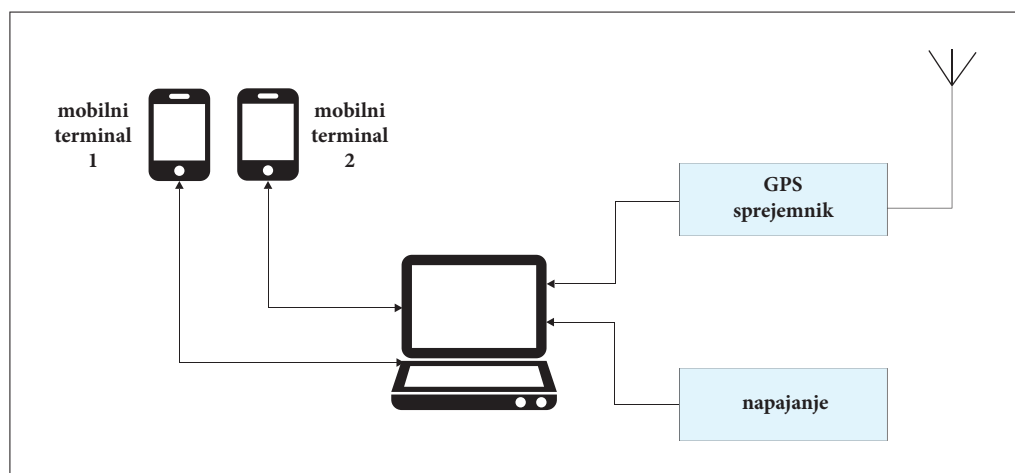
Agencija je izvedla mobilne meritve signalov tehnologij 3G in 4G med vožnjo z merilnim vozilom po slovenskih cestah 1. in 2. kategorije (slika 4). Mobilne meritve so se izvedle v 21 merilnih dneh (od aprila do septembra 2020) oziroma v 78,5 urah, mobilni signali so bili izmerjeni na 4200 km cest (Gaberc 2020).

Vseh izmerjenih točk z vsemi parametri je skupaj 1.733.868, za vsako točko je bilo na voljo 19 različnih parametrov (preglednica 2).

Za analizo so se uporabile vse izmerjene točke tehnologije 4G, razen tistih, ki imajo nepravilno zapisano zemljepisno širino in dolžino. Tako je ostalo več kot 99,9 % vseh točk posameznega operaterja, s katerimi je bila narejena analiza.

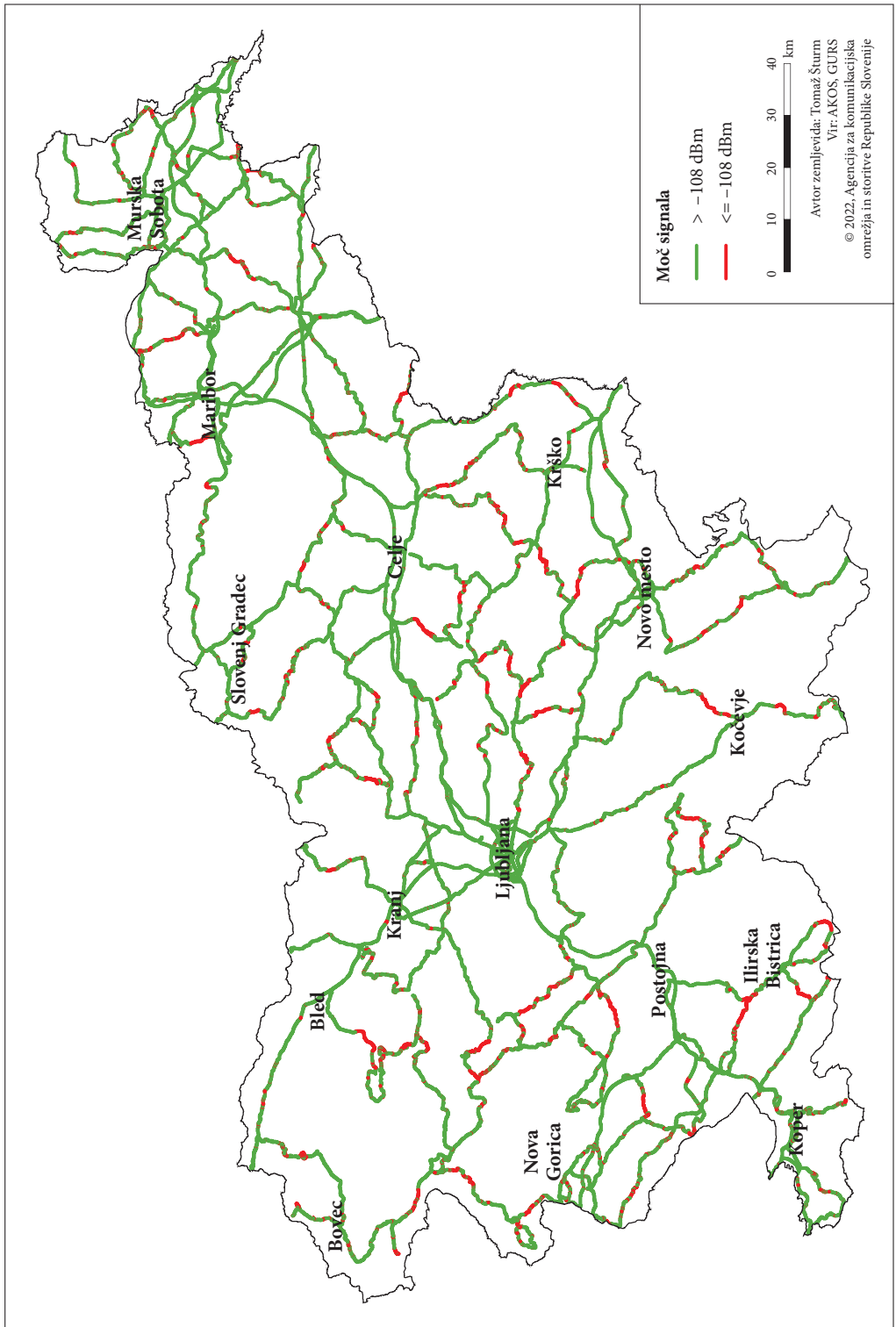
Preglednica 2: Seznam merjenih parametrov izmerjenih točk.

oznaka stolpca	opis
<i>datum</i>	datum meritve
<i>cas</i>	čas meritve
<i>latitude</i>	zemljepisna širina
<i>longitude</i>	zemljepisna dolžina
<i>speed</i>	hitrost merilnega vozila v času zajema vzorca
<i>heading</i>	smer merilnega vozila v času zajema vzorca
<i>tech</i>	tehnologija (2G, 3G, 4G)
<i>mcc</i>	koda države (SLO: 293)
<i>mnc</i>	koda mobilnega operaterja
<i>rsrp</i>	moč sprejetih referenčnih signalov
<i>rsrq</i>	kvaliteta sprejetih referenčnih signalov
<i>sinr</i>	razmerje med signalom ter motnjami in šumom
<i>power</i>	skupna sprejeta moč
<i>eci</i>	28-bitna enolična oznaka celice v 4G
<i>enodeb</i>	ime bazne postaje
<i>cellid</i>	unikatna številka celice
<i>pci</i>	oznaka celice v 4G
<i>frequency</i>	centralna frekvenca kanala
<i>earfcn</i>	številka radiofrekvenčnega kanala v 4G



Slika 3: Sistem za merjenje mobilnega signala (MohaSyed 2013).

Slika 4: Prevožena pot merilne kampanje. ► (str. 240)



5 Primerjava kart pokritosti mobilnih omrežij z izmerjenimi vrednostmi

Primerjava med vrednostmi karte pokritosti mobilnega omrežja 4G (slika 2) in izmerjenimi vrednostmi mobilnega signala (slika 4) je bila narejena zaradi ugotavljanja razlik med simuliranimi podatki in stanjem na terenu. Torej, ali je področje, ki ga je simulacija izračunala za »pokritega«, dejansko pokrito tudi na terenu oziroma obratno, ali je področje, ki ga je simulacija izračunala za »nepokritega«, dejansko nepokrito. Za izračun ujemanja so bile določene tri vrste odstopanj (Gaberc 2019):

- ni odstopanja*: karta pokritosti mobilnega omrežja prikazuje območja enako kot so pokazale tudi meritve,
- odstopanje meritev*: karta pokritosti mobilnega omrežja prikazuje, da področje ni pokrito, meritve pa so pokazale ravno obratno, torej da je področje pokrito z *zelo dobrim*, *dobrim* ali *mejnim* signalom,
- odstopanje simulacije*: karta pokritosti mobilnega omrežja prikazuje, da bi področje moralo biti pokrito z *zelo dobrim*, *dobrim* ali *mejnim* signalom, meritve pa kažejo, da ni pokrito.

Najpomembnejši podatek za oceno kakovosti karte pokritosti mobilnega omrežja predstavlja delež kategorije *ni odstopanja*, ki pomeni ujemanje med vrednostmi karte pokritosti mobilnega omrežja in izmerjenimi vrednostmi. Ujemanje je pri vseh treh operaterjih vsaj 89,5 % (preglednica 3).

Preglednica 3: Delež odstopanja (v %) med izmerjenimi vrednostmi in simuliranimi vrednostmi mobilnega signala.

vrsta odstopanja	operater 1	operater 2	operater 3
ni odstopanja	91,0	89,5	92,3
odstopanje meritev	2,6	0,8	2,1
odstopanje simulacije	6,4	9,7	5,6

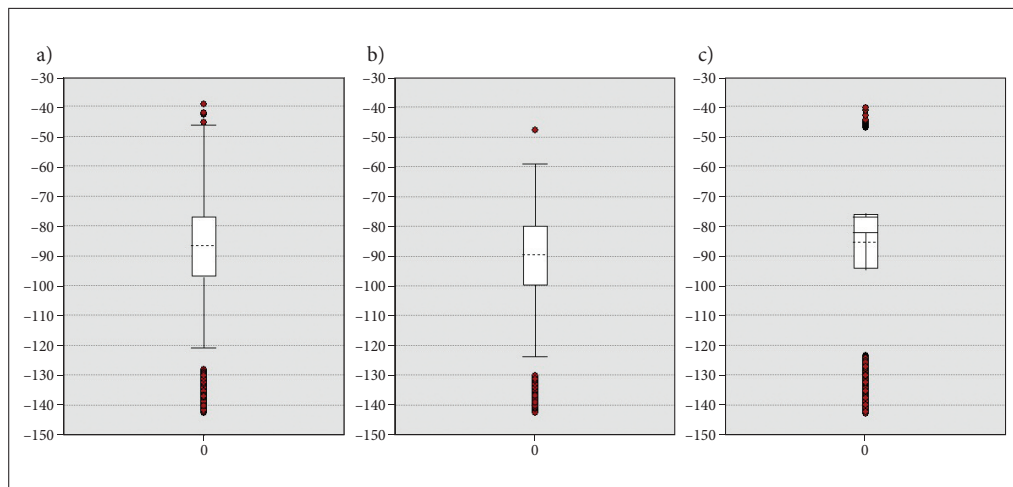
6 Analiza moči oddanega signala in frekvenčnih področij

Analize pokritosti s signali javnih mobilnih omrežij so osredotočene predvsem na moč (jakost) sprejetih referenčnih signalov (RSRP) posamezne bazne postaje, saj se ta parameter lahko najbolj natančno izmeri. Za vsako izmerjeno točko je zapisana vrednost izmerjene moči signala v dBm (decibeli na milivat) in razvrstitev v različne razrede (preglednica 4). Največ izmerjenih točk z *zelo dobrim* signalom ima operater 3, sledi operater 1. Oba imata več kot polovico izmerjenih točk v razredu *zelo dobro*. Operater 2 ima manj kot polovico vseh točk v razredu *zelo dobro*.

Preglednica 4: Primerjava deležev (%) izmerjenih vrednosti točk po razredih.

moč signala	vrednost signala [dBm]	operater 1	operater 2	operater 3
zelo dobro	≥ -88	53,36	45,98	57,14
dobro	< -88 in ≥ -98	23,00	24,94	22,95
mejno	< -98 in ≥ -108	14,30	17,84	12,07
ni signala	< -108	9,34	11,24	7,84
		100,00	100,00	100,00

Statistična razpršenost vrednosti izmerjenih točk glede na moč oddanega signala je prikazana z grafikoni kvartilov (slika 5). Značilni statistični prameter mediana se med operaterji razlikuje, čeprav so vrednosti dokaj blizu skupaj. Operater 1 (slika 5a) in operater 3 (slika 5c) imata mediano v razredu *zelo dobro*, operater 2 (slika 5b) pa v razredu *dobro*.



Slika 5: Grafikoni kvartilov moči signala (dBm) za operaterja 1 (a), operaterja 2 (b) in operaterja 3 (c). Črtna črtica na grafikonu predstavlja mediano, točke predstavljajo odstopajoče vrednosti.

Podatki o izmerjenih točkah vsebujejo tudi podatke, s katero tehnologijo oziroma v katerem frekvenčnem področju so bile zajete. Operaterji v Sloveniji uporabljajo različna frekvenčna področja in sicer LTE800, LTE900, LTE1800, LTE2100 IN LTE2600. Uporaba različnih frekvenčnih področij se med operaterji razlikuje, vsem pa je skupna uporaba tehnologij LTE800 in LTE1800, katerih značilnosti izmerjenih vrednosti točk so prikazane na sliki 6.

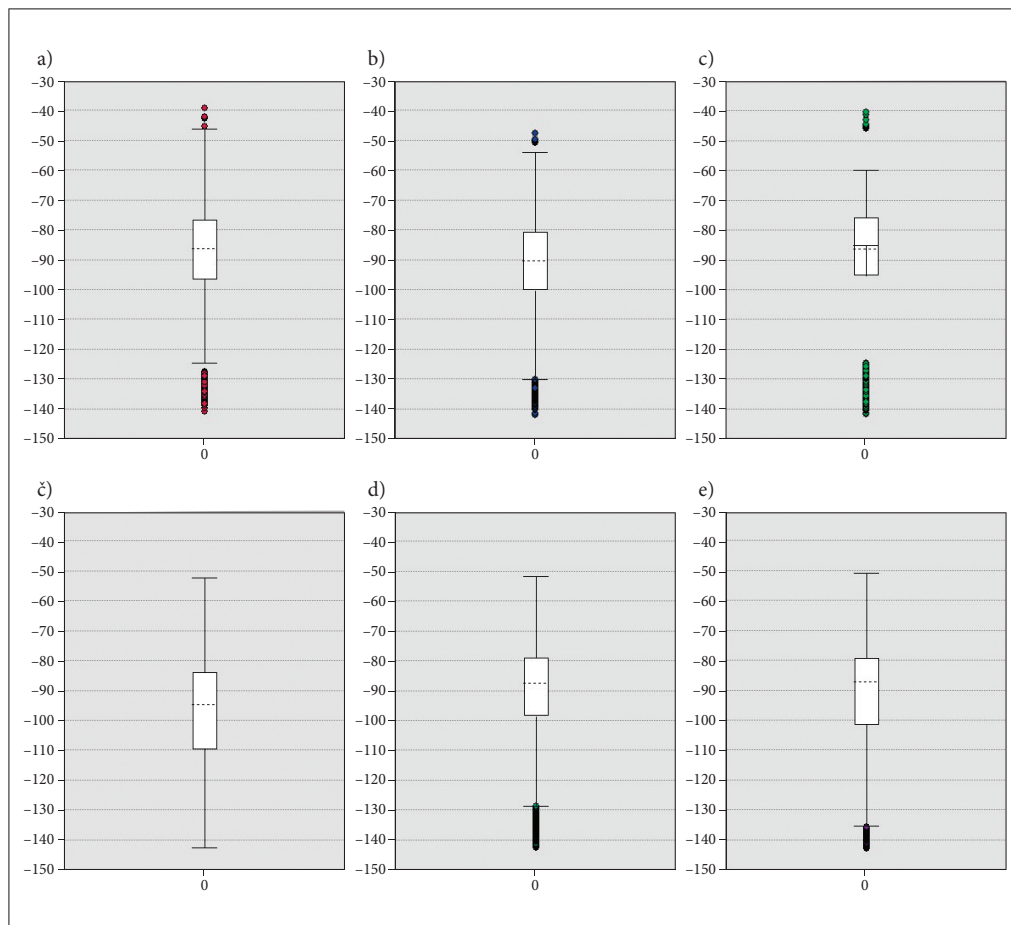
Operater 1 (slika 6a) ima mediano v razredu *zelo dobro* za tehnologijo LTE800, medtem ko je za tehnologijo LTE1800 v razredu *dobro* (slika 6č). Operater 2 ima za tehnologijo LTE800 mediano v razredu *dobro* (slika 6b), za tehnologijo LTE1800 pa v razredu *zelo dobro* (slika 6d). Najboljšo mediano v razredu *zelo dobro* ima v obeh tehnologijah operater 3 (slika 6c, slika 6e).

7 Analiza moči oddanega signala, frekvenčnih področij in oddaljenosti od bazne postaje

Za potrebe analize povprečnih razdalj do baznih postaj po posameznih razredih moči sprejetih referenčnih signalov, se je izmerjenim točkam pripisalo še podatke o lokaciji bazne postaje, iz katere je bil sprejet mobilni signal. Povezava med lokacijami izmerjenih točk in baznimi postajami je pokazala, da v merilni kampanji 2020 niso bile zajete vse bazne postaje vseh operaterjev (Gaberc 2020). Razlike v številu izmerjenih baznih postaj med operaterji se razlikujejo zaradi različnih razpršenosti baznih postaj in uporabe različnih frekvenčnih področij. Prav tako se merijo že delujoča omrežja, katera pa operaterji nenehno dograjujejo in spreminjajo, zato se lahko zgodi, da katera bazna postaja ni izmerjena kljub bližini trase, ker jo je operater med trajanjem merilne kampanje spremenil. Moč signala je povezana z oddaljenostjo od bazne postaje. Iz preglednice 5 je razvidno, da se močnejši signal pojavlja pri manjši oddaljenosti od bazne postaje.

Operaterja 1 in 3 imata povprečne razdalje v vseh razredih nekaj višje kot operater 2. To spet lahko pripišemo temu, da operater 2 uporablja več baznih postaj na višjih frekvenčnih področjih, kar posledično pomeni manjši domet.

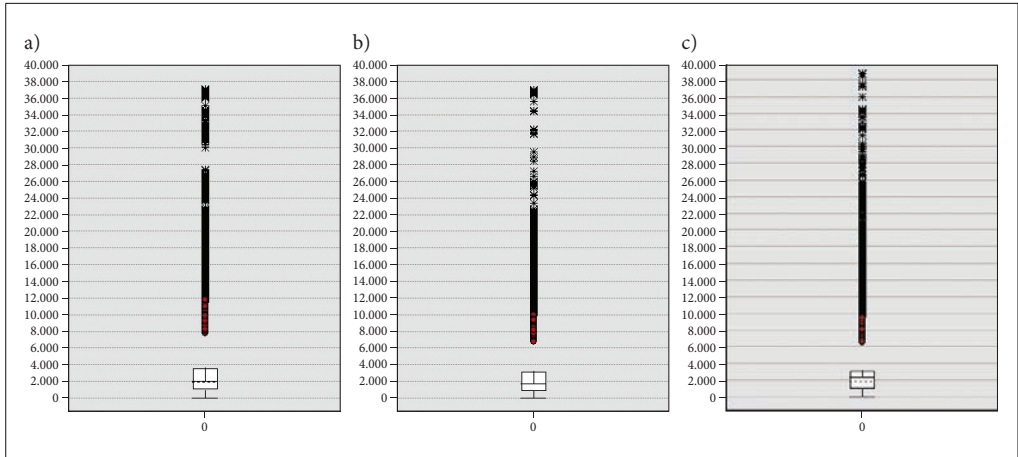
Statistična razporeditev vrednosti izmerjenih točk glede na razdaljo do bazne postaje je predstavljena z grafikonom kvartilov na sliki 7. Operaterja 2 (slika 7b) in 3 (slika 7c) imata krajšo razdaljo med



Slika 6: Grafikoni kvartilov moči referenčnih signalov (dBm) glede na tehnologijo LTE 800 za operaterja 1 (a), operaterja 2 (b) in operaterja 3 (c) ter tehnologijo LTE1800 za operaterja 1 (č), operaterja 2 (d) in operaterja 3 (e). Črtkana črtica na grafikonu predstavlja mediano, točke predstavljajo odstopajoče vrednosti.

Preglednica 5: Moč signala in povprečna razdalja (m).

moč signala	operater 1	operater 2	operater 3
zelo dobro	1643	1304	1563
dobro	3205	2676	2898
mejno	4457	3666	4026
ni signala	7555	5159	5974



Slika 7: Grafikoni kvartilov razdalje (m) med bazno postajo in izmerjenimi točkami za operaterja 1 (a), operaterja 2 (b) in operaterja 3 (c). Črtnana črtica na grafikonu predstavlja mediano, točke predstavljajo odstopajoče vrednosti.

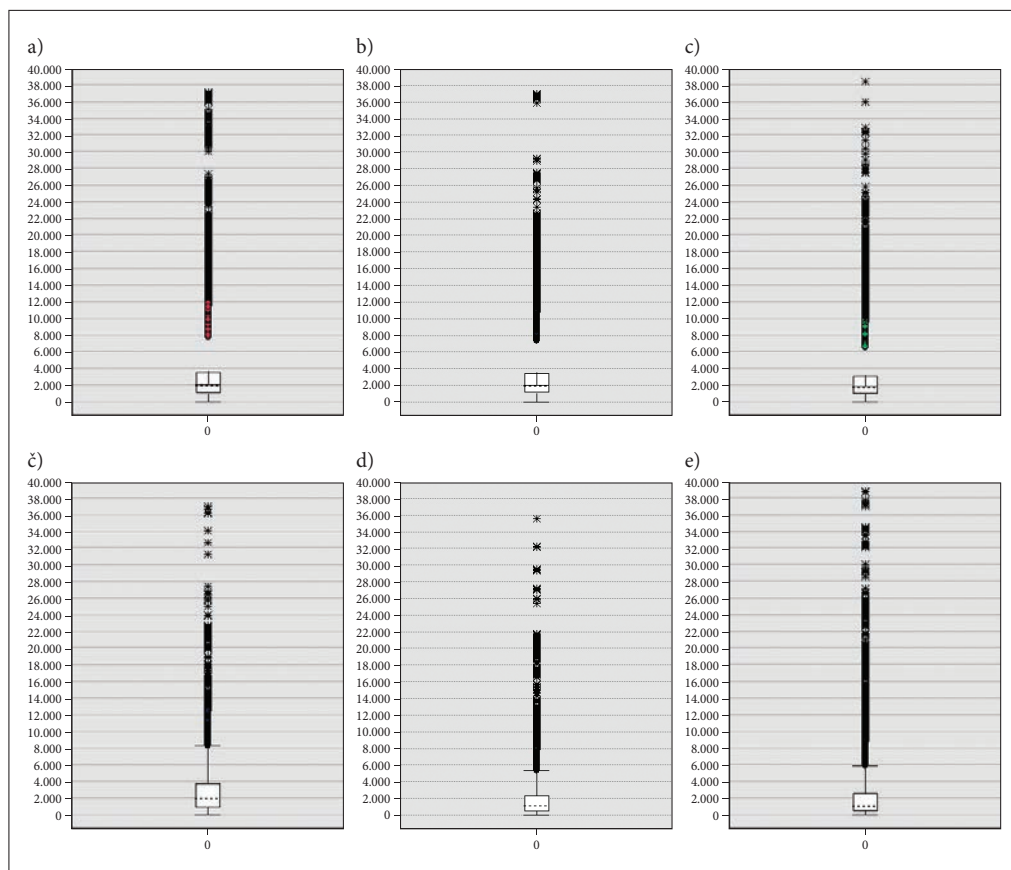
bazno postajo in izmerjeno točko, medtem, ko ima operater 1 (slika 7a) daljšo razdaljo. Število baznih postaj vpliva na razdaljo med izmerjeno točko in bazno postajo (slika 7) (Gaberc 2020).

Izmerjene točke imajo tudi podatek o frekvenčnem področju. Primerjava mediane razdalje med bazno postajo in lokacijo izmerjene točke med posameznimi tehnologijami in operaterji je prikazana na sliki 8.

Vsi trije operaterji imajo vrednosti mediane razdalje pri tehnologiji LTE800 približno enake, se pa pojavljajo večje razlike pri tehnologiji LTE1800. Razdalje pri operaterju 1 (sliki 8a, 8č) so občutno višje, kot pri operaterjih 2 (sliki 8b, 8d) in 3 (sliki 8c, 8e), kar lahko povežemo tudi s številom baznih postaj s tehnologijo LTE1800. Prav tako lahko ugotovimo, da se mediana razdalj zmanjšuje glede na frekvenco omrežja.

8 Razprava

Ocenjevanje kakovosti izkušnje (angleško *Quality of Experience* – QoE) mobilnih omrežij na določenem območju je izjemnega pomena za zagotavljanje visokokakovostne uporabniške izkušnje v omrežju. Uporabniška izkušnja se razlikuje od osebe do osebe, zato je tudi težko določiti objektivne vrednosti, ki bi na karti prikazovale, kakšno izkušnjo lahko uporabnik na določenem mestu pričakuje. Tudi sama uporabniška izkušnja je težko merljiva, vendar pa v veliki meri uporabniki najbolj občutimo, kako hitro dobimo zelene podatke, torej koliko časa mine od trenutka, ko podatek zahtevamo, do trenutka, ko imamo podatek na naši napravi. Na prenosne hitrosti vpliva veliko različnih dejavnikov in parametrov omrežja, vendar je mogoče najlažje in najbolj točno izmeriti nivo sprejetih referenčnih signalov posamezne bazne postaje (Al-Shamisi s sodelavci 2018). Sodobne tehnike simulacije omrežja so omrežnim inženirjem omogočile, da iz podatkov baznih postaj ustvarijo matematični model za oceno učinkovitosti omrežja (Sizun 2005). Rezultati meritev so pokazali, da so karte pokritosti mobilnih omrežij izdelane z zelo veliko natančnostjo (najmanj 89,5 %), sploh če upoštevamo, da tako na merilne rezultate kot tudi na karte pokritosti mobilnih omrežij vpliva veliko dejavnikov. Med najpomembnejšimi dejavniki je časovno obdobje merilne kampanje (5 mesecev), v katerem so operaterji dograjevali in spreminjali svoja omrežja, zato bi ta rezultat lahko bil boljši le v primeru, če bi bili dejansko stanje na terenu



Slika 8: Grafikoni kvartilov oddaljenosti izmerjenih točk od bazne postaje (m) za tehnologijo LTE800 za operaterja 1 (a), operaterja 2 (b) in operaterja 3 (c) ter tehnologijo LTE1800 za operaterja 1 (č), operaterja 2 (d) in operaterja 3 (e). Črtna črtica na grafikonu predstavlja mediano, točke predstavljajo odstopajoče vrednosti.

in podatki za izvedbo simulacij identični. Uporabniki lahko že samo z uporabo teh kart predvidijo, kakšno izkušnjo lahko pričakujejo na določenem območju. Na podlagi kart pokritosti mobilnih omrežij agencija lahko izdeluje analize in ocene kakovosti omrežij ter računsko ugotavlja uporabniško izkušnjo. To je do neke mere pravilno, vendar je za ocenjevanje uporabniške izkušnje še vedno najboljše orodje merilna kampanja.

Pri preverjanju izpolnjevanja zahtev operaterjev se preverja, ali podatki, posredovani od operaterjev, na podlagi katerih se izvajajo simulacije pokritosti, dejansko odgovarjajo stanju na terenu. Ker so bazne postaje posameznih mobilnih omrežij razpršene po celotnem ozemlju Slovenije, meritve pa se izvajajo le po določenih trasah, se izmeri signal le dela baznih postaj. Operaterji svojih baznih postaj nimajo na istih lokacijah oziroma pokrivajo različna območja – eden pokriva bolj prometne ceste in ne toliko ruralnih območij, drugi bolj urbana območja, zato lahko prihaja do razlik med njimi. Vendar lahko kljub temu sklepamo, da tudi neizmerjene bazne postaje ustrezajo posredovanim podatkom, če pri izmerjenih ne najdemo odstopanj (Gaberc 2019). Podatki, zbrani v merilni kampanji, so pokazali na razlike v srednji vrednosti moči signala in razdalje med lokacijami izmerjenih točk in baznih postaj med operaterji. Razlike

so povezane s številom izmerjenih postaj in frekvenčnim območjem, dodaten pa je tudi vpliv izbire merilnih poti. Tehnologiji LTE800 in LTE1800, ki jih uporabljajo vsi trije operaterji, prav tako pokažeta na razlike v moči prejetih signalov in razdalji. Še dodatno prihaja do razlik med medianami moči signala (slika 5) in razdaljami (slika 7) vseh tehnologij posameznega operaterja in samo tehnologij LTE800 in LTE1800 (slika 6, slika 8). Pomembno se je zavedati, da operaterji pri tehnologiji 4G uporabljajo različne frekvence, kar pa lahko pomeni, da ima neki operater nižje moči signalov, vendar pa kljub temu lahko dosega večje prenosne hitrosti podatkov zaradi večjih pasovnih širin.

9 Sklep

Preverjanje izpolnjevanja zahtev, ki jih agencija predpiše pri podeljevanju frekvenc, ki so omejena javna dobrina, je zelo kompleksen postopek, na katerega vpliva veliko število dejavnikov in parametrov. Zavedati se je tudi treba, da se v času razvijanja in gradnje omrežij spreminja tudi zasedenost in obremenjenost le-teh, zato je pomembno, da je postopek preverjanja neodvisen od tega. Postopek, ki ga agencija uporablja, je skupek dobrih praks iz tujine, priporočil strokovnjakov in lastnih izkušenj. Ker pa pri izvajanju tovrstnih meritev nastane velika količina podatkov, je najlažji in najbolj človeku prijazen prikaz na kartah. Z uporabo tehnologije geografskih informacijskih sistemov se lahko izdelava veliko različnih analiz, v tem primeru primerjava med modeliranimi in izmerjenimi vrednostmi mobilnega signala, ki je pokazala na veliko ujemanje med vrednostmi. Iz merjenih podatkov smo pridobili tudi informacije o razlikah v konfiguracijah omrežij različnih operaterjev, ki na prvi pogled niso tako izrazite. Pričujoča analiza je tako prvi korak v nadaljnje bolj poglobljene raziskave nad zbranimi podatki merilne kampanje.

10 Literatura

- A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the VHF and UHF bands, 2015. Medmrežje: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1812-4-201507-I!!PDF-E.pdf (18. 2. 2022).
- Al-Shamisi H., Al-Shamsi H., Kostanic I., Zec J. 2018: Verifying measurements of reference signal received power (RSRP) on LTE network using an app on Android smartphones. IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON). Vancouver. DOI: <https://doi.org/10.1109/IEMCON.2018.8614748>
- BEREC Preliminary report in view of a common position on monitoring mobile coverage, 2017. Medmrežje: https://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/download/0/7300-draft-berec-preliminary-report-in-view-o_0.pdf (18. 2. 2022).
- ECC Report 256 on LTE coverage measurement, 2016. Medmrežje: <https://docdb.cept.org/download/1280> (18. 2. 2022).
- Sorian, S. (ur.) 2020: Measuring mobile network performance: coverage, quality of service and maps. Medmrežje: www.fratel.org/documents/2020/05/document-Fratel-ENG-web.pdf (5. 5. 2022).
- Gaberc, N. 2019: Analiza rezultatov meritev pokrivanja javnih mobilnih omrežij. Magistrsko delo, Fakulteta za komercialne in poslovne vede. Celje.
- Gaberc, N. 2020: Rezultati meritev QoS 2020. Agencija za komunikacijska omrežja in storitve Republike Slovenije. Ljubljana, 2020.
- Geoportal AKOS. Medmrežje: <https://gis.akos-rs.si/> (18. 2. 2022).
- Metodologija za preverjanje izpolnjevanja obveznosti ob rokih, ki so določeni v izdanih odločbah o dodelitvi radijskih frekvenc za mobilne storitve, 2016. Medmrežje: https://www.akos-rs.si/fileadmin/user_upload/Spremenjena-METODOLOGIJA-ZA-PREVERJANJE-IZPOLNJEVANJA-OBVEZ-NOSTI-SLO-11.3.2016.pdf (5. 5. 2022).

- Mishra, A. R. 2004: Fundamentals of cellular network planning and optimisation: 2G/2.5G/3G... Evolution to 4G. West Sussex. DOI: <https://doi.org/10.1002/0470862696>
- MohaSyed, 2013: Drive testing basics. <https://www.slideshare.net/MohaSyed/tele-rf-basic-of-drive-test> (18. 2. 2022).
- Sizun, H. 2005: Radio wave propagation for telecommunication applications. Berlin, Heidelberg. Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Telecommunication management; Key Performance Indicators (KPI) for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN): Definitions (3GPP TS 32.450 version 16.0.0 Release 16), 2020. Medmrežje: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/132400_132499/132450/16.00.00_60/ts_132450v160000p.pdf (18. 2. 2022).
- The state of mobile internet connectivity, 2021. Medmrežje: www.gsma.com/r/wp-content/uploads/2021/09/The-State-of-Mobile-Internet-Connectivity-Report-2021.pdf (5. 5. 2022).
- Zakon o elektronskih komunikacijah. Uradni list Republike Slovenije 109/12, 110/13, 40/14, 54/14, 81/15, 40/17 in 189/21. Ljubljana.