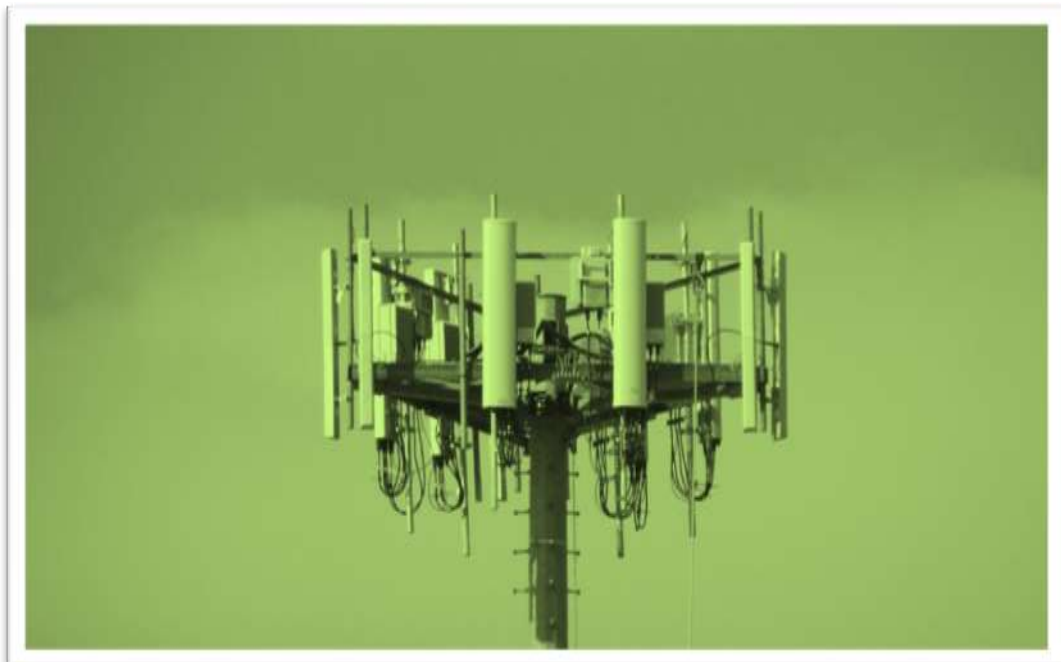




ELEKTROMAGNETNA SEVANJA V OKOLICI BAZNIH POSTAJ 4. GENERACIJE LTE V SLOVENIJI

**Poročilo o študiji
Junij 2014**





ELEKTROMAGNETNA SEVANJA V OKOLICI BAZNIH POSTAJ 4. GENERACIJE LTE

Poročilo o študiji

Avtorji:

Peter Gajšek, Blaž Valič in Tomaž Trček

Izdajatelj

Inštitut za neionizirna sevanj, Ljubljana

Pohorskega bataljona 215

1000 Ljubljana

www.inis.si

Ljubljana, JUNIJ 2014

Pokrovitelja

Projekt Forum EMS, www.forum-ems.si

Narda STS za Slovenijo, www.narda-sts.de



Oblikovanje

Inštitut za neionizirna sevanj, Ljubljana



Povzetek.

Omrežje mobilne telefonije se nenehno razvija v smeri višje hitrosti prenosa podatkov in manjše zakasnitve v omrežjih. Trenutno se vzpostavlja omrežje četrte generacije (Long Term Evolution). V Sloveniji je vodilni operater omrežje LTE že vzpostavil v večini večjih mest. Vzpostavitev omrežij nove generacije za zdaj ne pomenijo izključitve omrežij prejšnjih generacij, zato nova mobilna omrežja hkrati pomenijo tudi nove dodatne obremenitve okolja z elektromagnetnim sevanjem.

V Ljubljani, kjer je omrežje LTE najbolj razširjeno, so bila na skupaj 99 merilnih mestih v okolici 33 baznih postaj, ki so delovale tudi v sistemu GSM in UMTS, izmerjena elektromagnetna sevanja. Meritve so bile izvedene v skladu s standardom SIST 50492, ki zahteva ekstrapoliranje sevalnih obremenitev na najslabši primer, ko bazna postaja najbolj obremenjuje okolje, to je pri največji oddajni moči in polni zasedenosti. Sočasno so bile izvedene tudi meritve trenutnih sevalnih obremenitev kot posledica delovanja vseh virov v okolju, vključno z merjeno bazno postajo. Meritve so bile izvedene z najsodobnejšo merilno opremo Narda SRM-3006, ki je prilagojena tudi za kodno selektivne meritve sistema LTE. Rezultati meritev so bili analizirani in ovrednoteni glede na mejne vrednosti, ki jih določa uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju.

Meritve elektromagnetnih sevanj na območju Ljubljane so pokazale, da so sevalne obremenitve na vseh izmerjenih lokacijah nizke in so precej pod mejnimi vrednostmi, ki jih določa Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju [UI RS 70/96]. Maksimalna trenutna izmerjena vrednost sevalnih obremenitev zaradi baznih postaj je znašala približno 11,2 odstotkov zakonsko določenih mejnih vrednosti, povprečna vrednost pa približno en odstotek mejnih vrednosti. Največ prispeva sistem GSM 900 (64%), sledi sistem UMTS (15%), sistem LTE (12%) in zelo oddaljeni radijski oddajniki FM (8%).

Trenutne sevalne obremenitve kot posledica delovanja vseh virov EMS v okolju so pokazale, da so sevalne obremenitve preostalih virov manjše od sevalnih obremenitev baznih postaj, pri tem pa so na prvem mestu sevalne obremenitve FM radijskih oddajnikov.

Zaradi postavitve sistema LTE so se trenutne sevalne obremenitve zaradi delovanja vseh virov visokofrekvenčnih elektromagnetnih sevanj v okolju v povprečju povečale za 13 odstotkov.

Ključne besede:

LTE, EMS, izpostavljenost, sevanje





1 Uvod

Razvoj tehnologij poleg vseh prednosti prinaša tudi povečano obremenjenost našega bivalnega in delovnega okolja z elektromagnetnimi sevanji (EMS). Jakost umetno ustvarjenih sevanj se v primerjavi z naravnimi sevanji nenehno povečuje. Na področju visokofrekvenčnih EMS je pričela jakost umetno ustvarjenih sevanj izrazito naraščati z razvojem radiodifuzije, ki se je še povečevala z nadaljnjim razvojem brezžičnih sistemov. Na področju mobilnih komunikacij se trenutno uvaja že **četrta generacija mobilne telefonije – LTE**. Starejše generacije mobilne telefonije pa z izjemo prve generacije (NMT) ostajajo in obratujejo vzporedno. Takšen trend v razvoju nedvomno pomeni tudi povečevanje skupne obremenjenosti okolja z EMS.

Z namenom varovanja zdravja pred škodljivimi vplivi EMS so eden najpomembnejših dokumentov smernice mednarodne komisije za varstvo pred neionizirnimi sevanji ICNIRP [1] (v nadaljevanju smernice ICNIRP), ki temeljijo na znanstveno dokazanih vplivih na ljudi. Te smernice podajajo mejne vrednosti, ki upoštevajo 10-kratni varnostni faktor za poklicno izpostavljenost in 50 kratni za izpostavljenost prebivalstva. V Sloveniji mejne vrednosti EMS v naravnem in življenjskem okolju določa uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju (UI RS 70/96) [2] (v nadaljevanju uredba), ki temelji na smernicah ICNIRP in za občutljivejša območja (šole, vrtce, bivalna območja...) predpisuje dodatni varnostni faktor 10. S tem se Slovenija uvršča med države z najstrožjimi zakonsko določenimi mejnimi vrednostmi nasploh.

V Sloveniji se trenutno predvsem v mestih vzpostavlja omrežje LTE, ki pa seveda pomeni tudi novo dodatno obremenitev okolja z EMS. Ker je tehnologija LTE razmeroma nova, so tudi podatki o sevalnih obremenitvah in vplivih na okolje, ki jih povzročata umeščanje novih baznih postaj, omejeni.

Da bi ugotovili, kolikšno je povečanje obremenjenosti okolja z novim sistemom mobilne telefonije LTE, smo v okviru projekta Forum EMS izvedli študijo o sevalnih obremenitvah v okolici 33 baznih postaj na območju Ljubljane, kjer se poleg obstoječih sistemov GSM in UMTS gradi novo omrežje LTE.

Meritve je izvedel Inštitut za neionizirna sevanja, ki je akreditiran po standardu SIST EN 50492 [3] in pooblaščen za izvajanje meritev EMS baznih postaj in drugih virov EMS v Sloveniji.



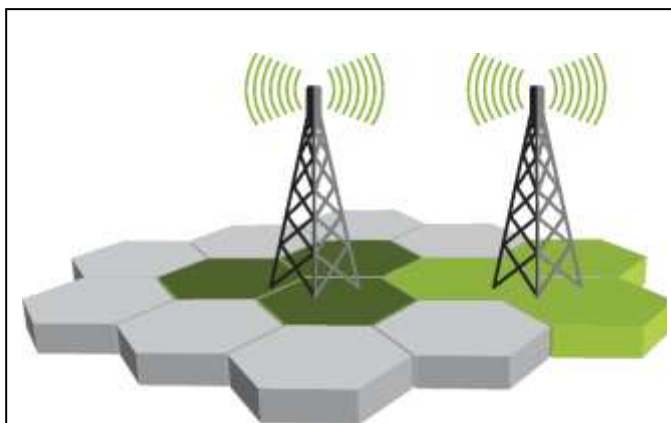
2 Omrežje LTE

Omrežje LTE je četrta generacija mobilne telefonije in je namenjeno predvsem brezžičnemu prenosu podatkov. V primerjavi s predhodnima sistemoma mobilne telefonije druge (GSM) in tretje (UMTS) generacije, sistem LTE z uporabniškega stališča prinaša predvsem bistveno višje hitrosti prenosa podatkov in krajše odzivne čase. Prenosne hitrosti naj bi znašale do 100 Mbit/s v smeri k uporabniku in do 50 Mbit/s v smeri od uporabnika, s kasnejšim razvojem omrežja pa tudi več. Z vidika učinkovitosti pa je zelo pomembno, da je LTE tudi spektralno učinkovitejši, kar pomeni, da tehnologija omogoča večji prenesenih podatkov v določenem frekvenčnem pasu. To je pomembno predvsem zaradi dejstva, da je frekvenčni prostor omejena in tudi plačljiva dobrina.

GSM					
UMTS					
LTE	?				?
frekvenca [MHz]	832-862	925-960	1805-1880	2110-2170	2620-2690

Slika 1: Frekvenčna območja, kjer v Sloveniji delujejo posamezne mobilne tehnologije oziroma posamezne generacije mobilne telefonije. Z znakom ? sta označeni dve polji, ki označujeta najverjetnejšo rabo dveh novih frekvenčnih območij, ki sta bili mobilnim operaterjem dodeljeni v porabo nedavno in se dejansko še ne uporabljata.

Omrežje LTE podpira delovanje v različnih frekvenčnih območjih od 700 do 2700 MHz, v Sloveniji se zaenkrat LTE omrežje gradi v frekvenčnem pasu 1800 MHz, ki je bil namenjen sistemu GSM. Uporaba frekvenčnega pasu 1800 MHz je predvidena predvsem v mestih, kjer slabše propagacijske lastnosti signalov višjih frekvenc zaradi gostejše mreže baznih postaj niso tako izrazite. Na ruralnih področjih, kjer je potrebno zagotoviti pokrivanje s signalom tudi na daljše razdalje, pa je primernejša uporaba signalov nižjih frekvenc z boljšimi propagacijskimi lastnostmi.



Slika 2: Mobilna omrežja so celična, kar pomeni, da določena bazna postaja skrbi za pokrivanje določenega omejenega območja. Kolikšno je to območje, je odvisno od tehnologije in predvsem geografskih danosti.

Omrežje LTE je zgrajeno celično, vsaka celica pa predstavlja eno oddajno sprejemno enoto. Antene baznih postaj so nameščene na samostojne antenske stolpe, na antenske drogove na strehah objektov in podobno. Ker sta omrežji GSM in UMTS večinoma že zgrajeni, se novo omrežje LTE gradi večinoma kot nadgradnja obstoječih omrežij na obstoječih lokacijah baznih postaj. Na nekaterih lokacijah je tako potrebna le namestitev nove opreme, medtem ko je na drugih lokacijah potrebno namestiti nove antene in kable ter postaviti dodatne antenske drogove. Z vizualnega stališča vzpostavitve omrežja LTE tako v glavnem ne prinaša veliko novih posegov v prostor. Zaradi tega tudi nasprotovanja javnosti ob gradnji novega omrežja praktično ne gre pričakovati, saj bo gradnja

le tega potekala skoraj neopazno. Gradnja LTE omrežja se zaenkrat načrtuje le v urbanih področjih, ob sprostitev frekvenčnega pasu okrog frekvence 800 MHz pa tudi izven urbanih področij.





3 Kako so potekale meritve EMS baznih postaj

Meritve EMS so potekale v letu 2014 v Ljubljani v okolici 33 baznih postaj. Okrog vsake bazne postaje so bile izvedene meritve na treh merilnih mestih na človeku dostopnih lokacijah 1 m nad tlemi, običajno v smereh glavnih snopov anten, kjer so pričakovane najvišje sevalne obremenitve. Na vsakem merilnem mestu so bile meritve izvedene po 'sweep' protokolu, ki predvideva pregled vrednosti na manjšem območju (vsaj območje velikosti 1 x 1 m). Na pregledanem območju se kot rezultat meritev shrani največja izmerjena vrednost. Meritve so bile izvedene med 9. in 16. uro, ko je promet baznih postaj pričakovano velik.

Vse merjene bazne postaje so bile kombiniranega tipa, kar pomeni, da so bili na isti lokaciji prisotni tudi sistemi GSM/UMTS. Meritve baznih postaj so potekale v skladu s standardom SIST EN 50492 [3], ki predvideva ekstrapoliranje izmerjenih vrednosti v smislu določitve najvišje možne vrednosti, ko bazna postaja oddaja pri največji moči in so vsi kanali polno zasedeni. Vzporedno so bile na vseh merilnih mestih izvedene tudi meritve trenutnih vrednosti v vseh najpomembnejših frekvenčnih pasovih (FM, TETRA, DVB-T, GSM 900, GSM 1800, UMTS 2100, drugo).

3.1 Vrednotenje sevalnih obremenitev

Izmerjene vrednosti električne poljske jakosti so bile ovrednotene glede na mejne vrednosti, ki jih določa Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju [2]. Mejne vrednosti so frekvenčno odvisne in so za I. in II. območje varstva pred sevanji podane v tabeli 1. V I. območje spadajo tista območja, ki so namenjena bivanju oziroma kjer se prebivalstvo zadržuje dalj časa (stanovanja, šole, bolnišnice...), zato tu veljajo strožje mejne vrednosti. II. območje pa predstavlja ostala območja (gozdovi, njive, transportna in industrijska območja...).

Tabela 1: Mejne vrednosti za električno poljsko jakost za najpomembnejše visokofrekvenčne vire.

nosilna frekvenca [MHz]	mejne vrednosti za električno poljsko jakost [V/m]	
	I.območje	II.območje
87-08 (FM)	8,6	27,5
174-223 (TV VHF)	8,6	27,5
380-470 (Zveze)	8,6 - 9,3	27,5 - 29,7
470-830 (TV UHF)	9,3 - 12,4	29,7 - 39,5
925- 956 (GSM, UMTS)	13,1 - 13,3	41,7 - 42,4
1814-1850 (DCS, LTE)	18,3 - 18,5	58,4 - 58,9
2110-2170 (UMTS)	19,0	61,4

Skupne sevalne obremenitve, ki upoštevajo prispevek vseh virov na določeni lokaciji, se po uredbi vrednotijo s pomočjo enačbe E 1:

$$E 1 \quad SI = \sum_i \left(\frac{E_i}{L_{E,i}} \right)^2 \quad 680 \text{ kHz} < f \leq 300 \text{ GHz},$$

kjer je:

f – frekvenca signala,

E_i – električna poljska jakost i tega vira oziroma i te frekvence in

$L_{E,i}$ – i -temu frekvenčnemu območju ustrezna mejna vrednost.

Vse izmerjene vrednosti električne poljske jakosti so bile ovrednotene glede na mejne vrednosti za I. območje.



3.2 Merilna oprema

Meritve so bile izvedene z najsodobnejšo merilno opremo za merjenje EMS, s kodno selektivnim spektralnim analizatorjem Narda SRM-3006 s pripadajočo trionsno merilno sondo za merjenje električne poljske jakosti v frekvenčnem področju od 27 MHz do 3 GHz. Razširjena merilna negotovost celotnega merilnega sistema znaša $\pm 2,9$ dB. Merilni sistem je posebej prilagojen za merjenje baznih postaj mobilnih sistemov vseh treh generacij (GSM, UMTS in LTE).



Slika 3: Instrument za merjenje elektromagnetnega sevanja, Narda SRM-3006 in primer izvajanja meritev EMS.

3.3 Postopek meritev baznih postaj

Meritve baznih postaj predstavljajo poseben primer, saj le te ne oddajajo ves čas s konstantno močjo na isti frekvenci, temveč se prilagajajo glede na količino prometa. Meritve se izvedejo tako, da se lahko iz rezultatov določi najslabši možni primer, ko bazna postaja oddaja z največjo močjo na vseh prometnih kanalih.

V skladu s standardom SIST EN 50492 [3] je potrebno izmeriti pilotni kanal bazne postaje, ki se oddaja pod znanimi pogoji. Naknadno se te izmerjene vrednosti ekstrapolira na najvišjo vrednost ($E_{MAX} = K \times E_{pilot}$).

Omenjena metoda je pri sistemu GSM dokaj enostavna, saj je potrebno poznati le frekvenco pilotnega kanala in število prometnih kanalov. Za izračun najvišje vrednosti električne poljske jakosti je potrebno izmerjeno vrednost pilotnega kanala, ki se oddaja ves čas s konstantno močjo, pomnožiti s kvadratnim korenem števila vseh kanalov. Pri baznih postajah sistema UMTS in LTE je metoda precej bolj zahtevna, saj lahko ti sistemi delujejo na isti frekvenci, pilotni kanali pa so vgrajeni v sam signal in jih je zato z običajnimi spektralnimi analizatorji nemogoče izluščiti. Za izvajanje meritev UMTS in LTE je zato potrebno uporabiti kodno selektivni spektralni analizator, ob tem pa upoštevati tudi podatke o nastavitvah bazne postaje. Posebna merilna oprema, kakršna je tudi Narda SRM-3006, omogoča meritve pilotnega kanala CPICH za sistem UMTS, za sistem LTE pa meritev referenčnega signala RS. Oba signala se oddajata s konstantno močjo, zato je možno z meritvijo teh dveh signalov in kasnejšo ekstrapolacijo določiti najvišje možne sevalne obremenitve baznih postaj sistema UMTS in LTE. Maksimalna vrednost električne poljske jakosti UMTS bazne postaje tako znaša $E_{MAX} = K \times E_{CPICH}$, pri čemer je $K^2 = P_{MAX}/P_{CPICH}$.

Za sistem LTE maksimalna vrednost električne poljske jakosti znaša $E_{MAX} = K \times E_{RS}$, pri čemer je $K^2 = P_{MAX}/P_{RS}$. Podatka P_{MAX} in P_{CPICH} ter P_{MAX} in P_{RS} je potrebno pridobiti od operaterja.





4 Kakšna je obremenjenost okolja zaradi delovanja baznih postaj LTE

Sevalne obremenitve baznih postaj so bile določene na dva načina.

Najvišje možne sevalne obremenitve so sevalne obremenitve, ki jih v svoji okolici povzroča posamezna bazna postaja takrat, ko je polno zasedena in oddaja z največjo močjo. Višjih sevalnih obremenitev kot najvišjih možnih posamezna bazna postaja v svoji okolici ne more povzročati. Najvišje možne sevalne obremenitve se določijo s pomočjo poglobljenih selektivnih meritev sevalnih obremenitev vseh nameščenih sistemov izbrane bazne postaje. Na podlagi rezultatov teh meritev ter tehničnih podatkov o bazni postaji smo določili najvišje možne ali ekstrapolirane sevalne obremenitve posamezne bazne postaje.

Trenutne sevalne obremenitve so sevalne obremenitve, ki so ob določenem času izmerjene na merilnem mestu. So posledica delovanja vseh visokofrekvenčnih virov EMS na lokaciji in njeni okolici vključno z merjeno bazno postajo. V tem primeru se torej upoštevajo vsi viri v določenem frekvenčnem območju, njihove vrednosti pa se ne ekstrapolirajo za primer polne zasedenosti in odražajo trenutno celotno obremenjenost okolja z EMS.

Za oba načina sevalnih obremenitev smo določili povprečne in maksimalne vrednosti.



4.1 Najvišje možne sevalne obremenitve bazne postaje

Meritve so pokazale, da so najvišje možne sevalne obremenitve baznih postaj na vseh merilnih mestih relativno nizke in so precej pod mejnimi vrednostmi uredbe za I. območje.

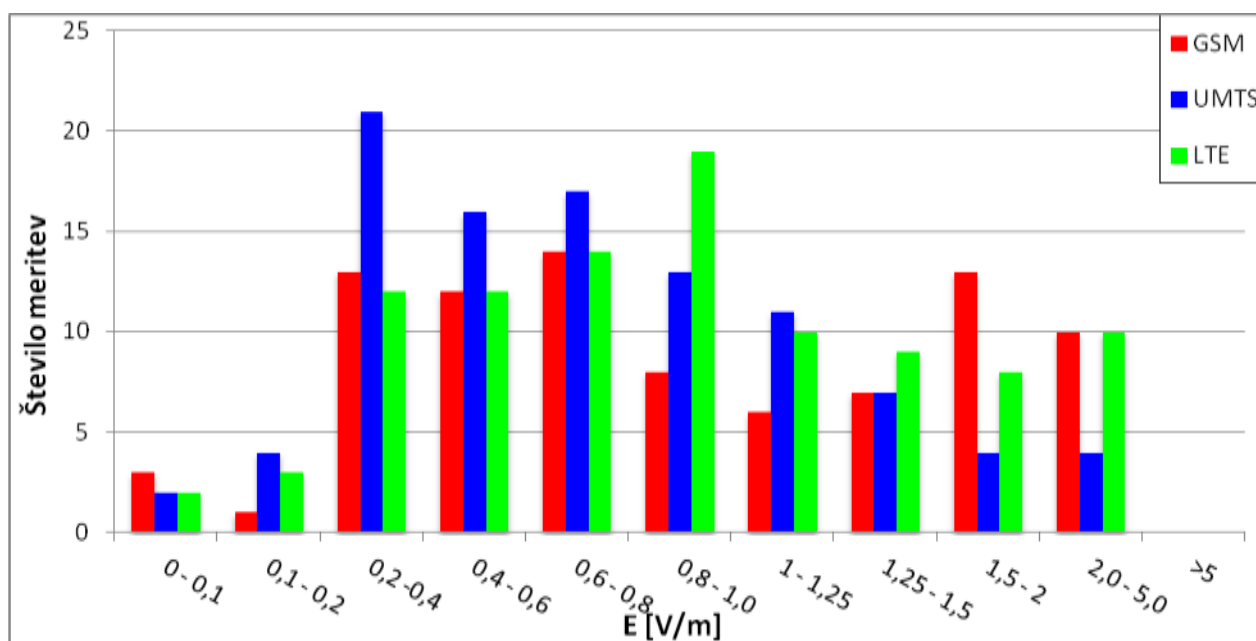
Maksimalna najvišja možna sevalna obremenitev zaradi delovanja bazne postaje je znašala 11,2 % mejnih vrednosti glede na uredbo. Izmerjena je bila za bazno postajo kombiniranega tipa GSM/UMTS/LTE s tremi sektorji ter konfiguracijo 6/4/4 za GSM, 2/2/2 za UMTS in 1/1/1 za LTE. Antene bazne postaje so bile nameščene na antenskem drogu na strehi gasilskega doma na višini 15,8 m nad tlemi. Oddaljenost merilnega mesta je bila 10 m od bazne postaje v smeri glavnega snopa ene od anten. Na istem merilnem mestu je bila hkrati izmerjena tudi najvišja sevalna obremenitev za sistem GSM, ki je znašala 4,32 V/m ali 10,6 % mejnih vrednosti.

Maksimalna najvišja možna sevalna obremenitev sistema UMTS je bila izmerjena za bazno postajo s tremi UMTS sektorji in konfiguracijo 2/2/2 v smeri glavnega snopa ene od antene na oddaljenosti 5 m od bazne postaje. Antene bazne postaje so bile nameščene v oknih zvonika cerkve na višini 21 m nad tlemi. Znašala je 3,92 V/m ali 4,2 %. Za sistem LTE je bila maksimalna sevalna obremenitev izmerjena za bazno postajo s tremi LTE sektorji v smeri glavnega snopa ene od anten na oddaljenosti 25 m od bazne postaje. Antene bazne postaje so bile nameščene na antenskem drogu na strehi gasilskega doma na višini 14,5 m nad tlemi. Sevalna obremenitev je znašala 3,51 V/m ali 3,6 % mejnih vrednosti.

Povprečne vrednosti vseh 99 izmerjenih najvišjih možnih sevalnih obremenitev so znašale 1,6 % mejne vrednosti za vse sisteme skupaj, za sistem GSM 1,05 V/m ali 0,95 %, za sistem UMTS 0,80 V/m ali 0,29 % ter za sistem LTE 1,0 V/m ali 0,43 % mejnih vrednosti glede na Uredbo za I. območje.

Tabela 2: Maksimalna in povprečne vrednosti najvišjih možnih sevalnih obremenitev bazne postaje.

	GSM	UMTS	LTE	Skupne sevalne obremenitve
maksimalna vrednost E [V/m]	4,32	3,92	3,51	/
maksimalna vrednost [%]	10,6	4,24	3,61	11,2
povprečna vrednost E [V/m]	1,05	0,80	1,01	/
povprečna vrednost [%]	0,95	0,29	0,43	1,6



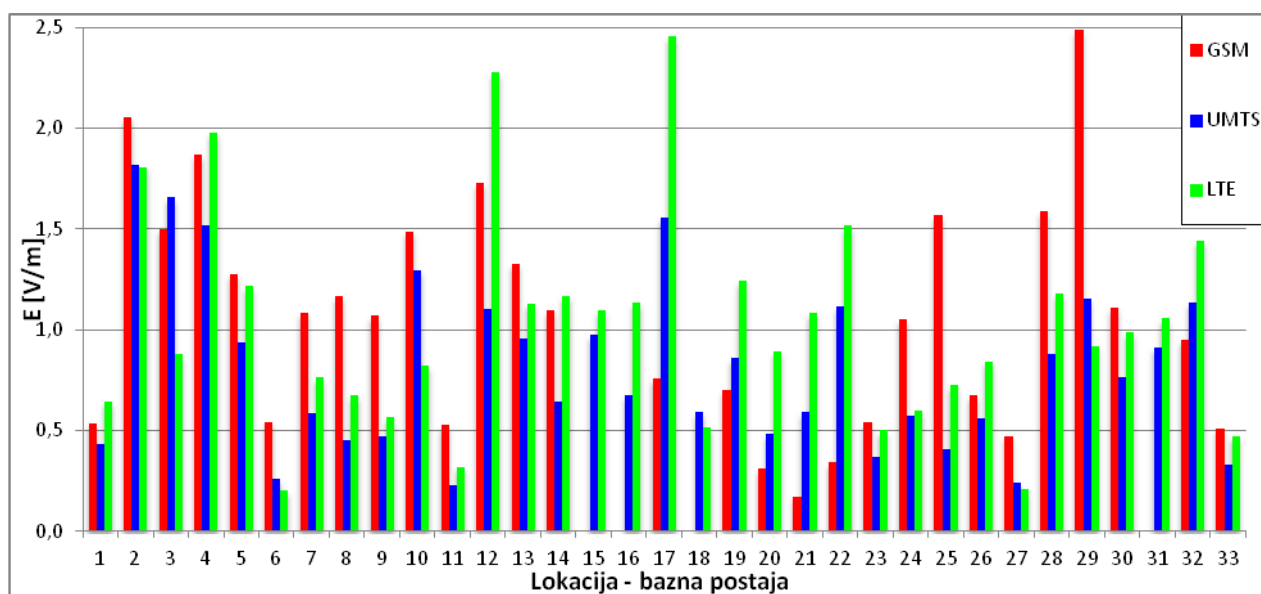
Slika 4: Porazdelitev najvišjih možnih sevalnih obremenitev za posamezno električno poljsko jakost.

Prispevki električne poljske jakosti posameznih sistemov so primerljivi in ne odstopajo izrazito. Med posameznimi sistemi so primerljive tako maksimalna izmerjena vrednost električne poljske jakosti kot povprečne vrednosti. To pomeni, da v najbolj neugodnem primeru, ko deluje s polno oddajno močjo, vsak sistem, tudi LTE, prispeva približno enak delež električne poljske jakosti. To je pričakovan rezultat, saj so največje oddajne moči posameznih sistemov med seboj primerljive, kar pomeni tudi, da vsak sistem izseva približno enako moč.

Če pa primerjamo prispevke posameznih sistemov v odstotkih mejnih vrednosti, največji prispevek sevalnih obremenitev predstavlja delovanje baznih postaj sistema GSM. Sistem GSM v povprečju prispeva nekoliko več kot UMTS in LTE sistema skupaj. Prispevka sistemov UMTS in LTE pa sta med seboj približno enaka. Na bistveno večji prispevek sistema GSM ne vpliva višja električna poljska jakost tega sistema (saj le ta povprečno ni višja), ampak nižja mejna vrednost v tem frekvenčnem področju.

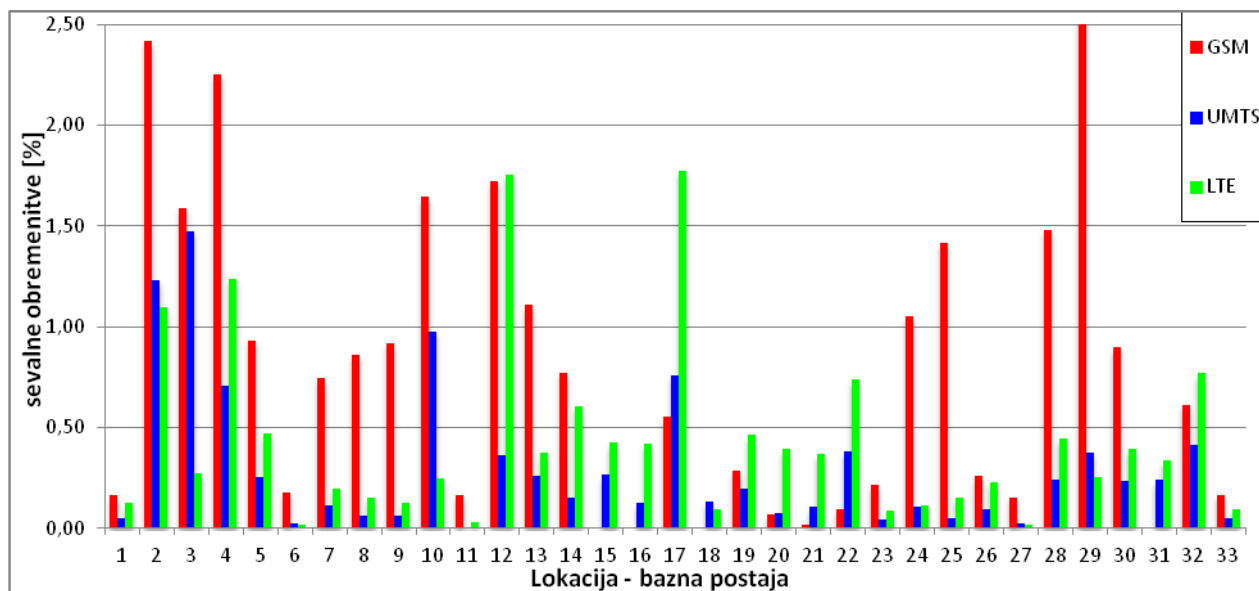
Postavitev sistema LTE na že obstoječe lokacije baznih postaj nedvomno pomeni povečanje sevalnih obremenitev, vendar je to povečanje relativno majhno. LTE bazna postaja doprinese nov del električne poljske jakosti, ki je po vrednosti približno enak električni poljski jakosti sistemov GSM in UMTS. Skupna vrednost električne poljske jakosti se določi kot koren vsote kvadratov posameznih električnih poljskih jakosti. Za primer enakih električnih poljskih jakosti pomeni prispevek tretje komponente k dvema komponentama povečanje skupne električne poljske jakosti za 22 %. Izračunano povprečno povečanje vrednosti skupne električne poljske jakosti zaradi sistema LTE na podlagi meritev pa je znašalo 26 %.

Kljub temu, da v odstotkih glede na mejno vrednost za I. območje sistem LTE v povprečju doprinese le približno 0,5 % novih sevalnih obremenitev, pa hkrati to pomeni tudi 36 odstotno povečanje sevalnih obremenitev glede na stanje pred postavitvijo LTE.

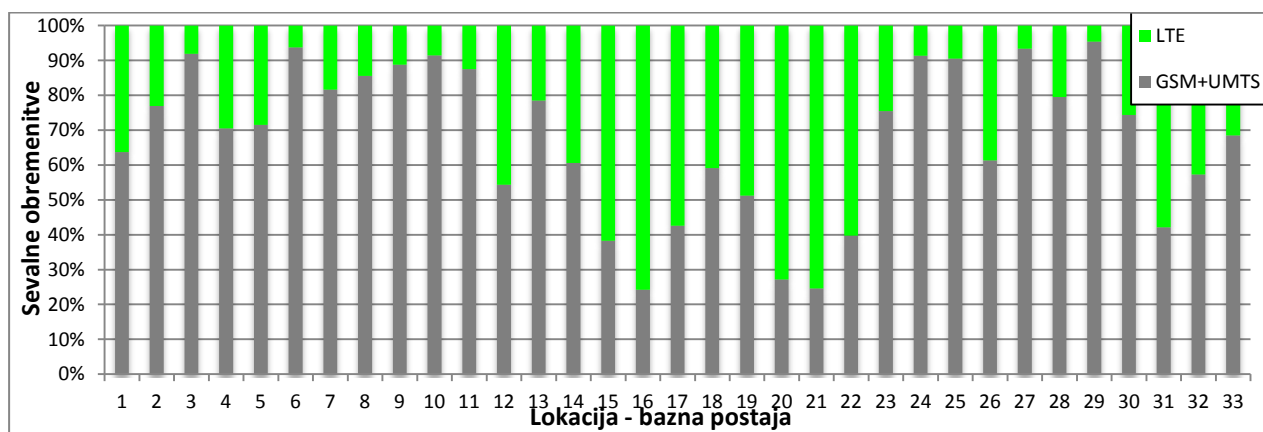


Slika 5: Električne poljske jakosti baznih postaj za posamezen sistem ob upoštevanju najvišjih možnih sevalnih obremenitev, ko je bazna postaja polno zasedena in oddaja z največjo močjo.





Slika 6: Sevalne obremenitve baznih postaj za posamezen sistem v odstotkih mejne vrednosti za I. območje ob upoštevanju najvišjih možnih sevalnih obremenitev, ko je bazna postaja polno zasedena in oddaja z največjo močjo.



Slika 7: Povečanje sevalnih obremenitev zaradi namestitve sistema LTE ob upoštevanju najvišjih možnih sevalnih obremenitev, ko je bazna postaja polno zasedena in oddaja z največjo močjo.

4.2 Trenutne sevalne obremenitve vseh virov

Trenutne sevalne obremenitve so bile izmerjene za vsa najpomembnejša frekvenčna področja (FM, TETRA, zveze, UHF (DVB-T), GSM 900, GSM 1800 (DCS) in UMTS 2100). Tudi te meritve, ki odražajo trenutno celotno obremenjenost okolja z EMS zaradi vseh virov, so pokazale, da so sevalne obremenitve nizke. Maksimalna skupna sevalna obremenitev je znašala 10,7 % mejnih vrednosti glede na uredbo in je bile izmerjena pod objektom, na katerem sta nameščena dva antenska drogova z antenami baznih postaj dveh različnih operaterjev z višino anten od 10 do 15 m. Oddaljenost merilnega mesta od bližje bazne postaje je znašala 2 m, od bolj oddaljene pa 8 m.

Maksimalna vrednost za področje FM oddajnikov je znašala 1,11 V/m ali 1,7 % mejnih vrednosti. Na podlagi geografskih podatkov smo ugotovili, da so FM signali posledica delovanja RTV oddajnika, ki je nameščen 800 m stran na manjšem hribu. Maksimalna vrednost za področje UHF (DVB-T) oddajnikov je znašala 0,19 V/m ali 0,04 % mejnih vrednosti in je bila izmerjena na istem



merilnem mestu kot maksimalna vrednost za področje FM. Izmerjene vrednosti so verjetno v precejšnji meri posledica 800 m oddaljenega RTV oddajnika. Maksimalna vrednost za frekvenčno področje TETRA in zveze je znašala 0,43 V/m ali 0,3 % mejnih vrednosti.

Maksimalna vrednost za frekvenčno področje GSM 900 je znašala 4,09 V/m ali 9,8 % mejnih vrednosti in je bila izmerjena na istem merilnem mestu kot maksimalna skupna sevalna obremenitev, to je pod antenami dveh baznih postaj. Maksimalna vrednost za frekvenčno področje GSM 1800, kjer delujejo tudi bazne postaje sistema LTE, je znašala 1,66 V/m ali 0,8 % mejnih vrednosti in je bila izmerjena 30 m stran od objekta, na katerem sta nameščena dva antenska drogova z antenami baznih postaj dveh operaterjev. Antene baznih postaj so na višini 12 do 15 m.

Maksimalna vrednost za frekvenčno področje UMTS je znašala 2,4 V/m ali 1,6 % mejnih vrednosti in je bila izmerjena na istem merilnem mestu kot najvišja vrednost za sistem UMTS merjene bazne postaje, to je pod antenami bazne postaje, nameščenimi v oknih zvonika cerkve.

Povprečna vrednost skupnih sevalnih obremenitev je znašala 0,8 % mejnih vrednosti glede na Uredbo. Po posameznih frekvenčnih področjih oziroma sistemih je znašala povprečna vrednost za frekvenčno področje FM 0,13 V/m ali 0,1 % mejnih vrednosti, za frekvenčno področje TETRA in zveze ter UHF manj kot 0,1 V/m ali manj od 0,01 % mejnih vrednosti, za frekvenčno področje GSM 900 0,77 V/m ali 0,5 % mejnih vrednosti, za frekvenčno področje GSM 1800 0,46 V/m ali 0,1 % mejnih vrednosti in za frekvenčno področje UMTS 0,54 V/m ali 0,1 % mejnih vrednosti.

Tabela 3: Maksimalna in povprečne vrednosti trenutnih sevalnih obremenitev vseh virov.

	FM	zveze	UHF	GS M	DCS	UMTS	Skupne sevalne obremenitve
maksimalna vrednost E [V/m]	1,11	0,43	0,19	4,09	1,66	2,40	/
maksimalna vrednost [%]	1,67	0,25	0,04	9,78	0,82	1,60	10,7
povprečna vrednost E [V/m]	0,13	0,02	0,01	0,77	0,46	0,54	/
povprečna vrednost [%]	0,07	0,00	0,00	0,52	0,09	0,12	0,80

Največji prispevek k sevalnim obremenitvam iz okolja predstavlja delovanje baznih postaj v frekvenčnem področju GSM 900. Za največji prispevek baznih postaj v tem frekvenčnem področju je najbolj odločilna nižja mejna vrednost v tem frekvenčnem področju, nekoliko pa k temu prispevajo tudi višje vrednosti same električne poljske jakosti. Električna poljska jakost v frekvenčnem področju GSM 900 je približno dva krat višja od električne poljske jakosti v frekvenčnem področju GSM 1800, in sicer tako za maksimalno kot za povprečno vrednost. Vzrok temu je v veliko bolj zasedenemu in uporabljenemu frekvenčnemu področju GSM 900, saj v tem področju deluje še vedno najbolj razširjen sistem mobilne telefonije GSM, ponekod pa tudi mobilna telefonija sistema UMTS. Frekvenčno področje GSM 1800 ni toliko zasedeno, v njem pa delujejo tudi malo številčne bazne postaje sistema LTE.

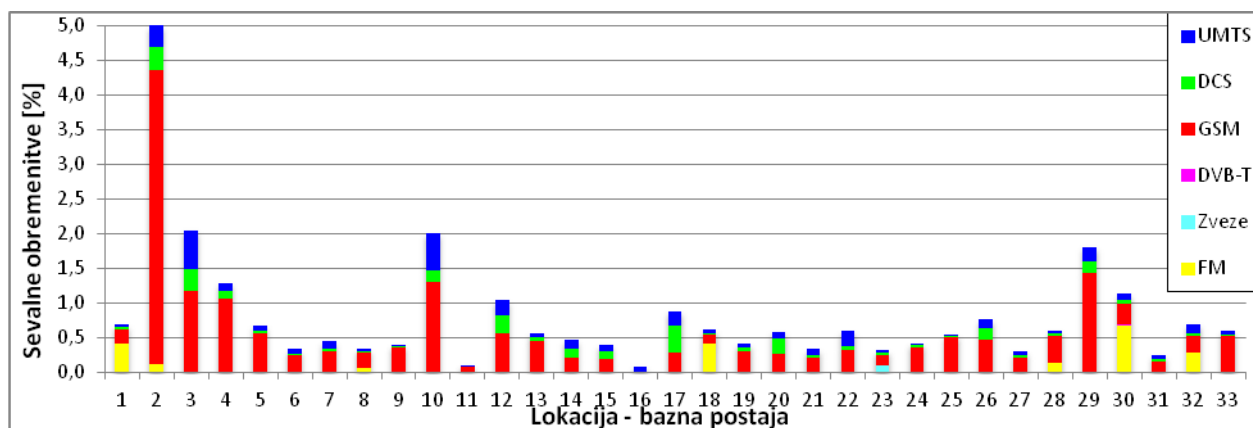
Sevalne obremenitve v frekvenčnem področju FM so nižje od sevalnih obremenitev v frekvenčnem področju GSM 1800 in UMTS, povprečna električna poljska jakost pa znaša približno tretjino povprečne električne poljske jakosti v frekvenčnih področjih GSM 1800 in UMTS. Jakost signala FM je precej bolj konstantna od jakosti signala baznih postaj, saj je pokritost s signalom FM velika in bolj enakomerna, ker je pokrivanje s signalom FM izvedeno za večje področje, običajno z višje ležečih lokacij. Prav tako je zaradi daljše valovne dolžine vpliv stavb in dreves manjši.

Sevalne obremenitve v frekvenčnih področjih DVB-T, TETRA in zvez so še nižje od sevalnih obremenitev v ostalih frekvenčnih področjih. Maksimalna vrednost električne poljske jakosti pa lahko doseže tudi primerljive vrednosti električne poljske jakosti v frekvenčnem področju FM.

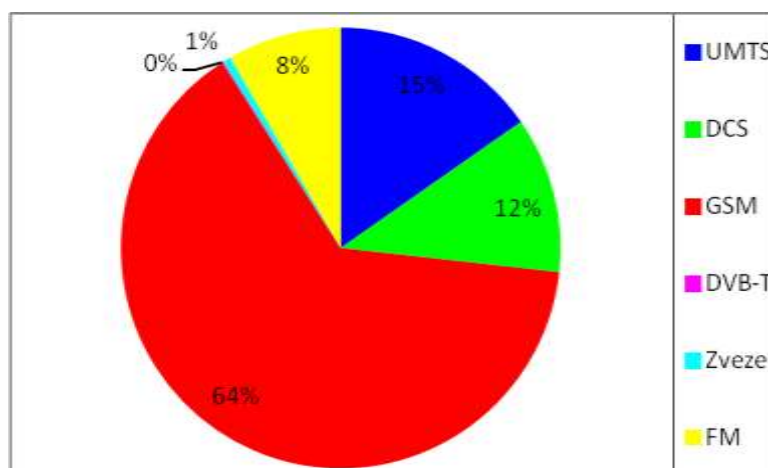
Povečanje sevalnih obremenitev zaradi sistema LTE je iz opravljenih meritev trenutnih sevalnih obremenitev težko določljivo, saj LTE bazne postaje delujejo v frekvenčnem območju GSM 1800



kjer delujejo tudi bazne postaje sistema GSM. Če pa upoštevamo dejstvo, da na merjenih lokacijah bazne postaje sistema GSM 1800 večinoma niso bile nameščene in da so tudi sicer v Sloveniji te bazne postaje redke, lahko za prvi približek rečemo, da so vrednosti v frekvenčnem področju GSM 1800 posledica delovanja baznih postaj sistema LTE. Z upoštevanjem tega približka pomeni postavitve baznih postaj LTE 11% povečanje skupne električne poljske jakosti in 13 % povečanje sevalnih obremenitev glede na stanje pred postavitvijo.



Slika 8: Trenutne sevalne obremenitve glede na zakonsko določeno mejno vrednost za I.območje varstva pred sevanji (UI RS 70/96) za posamezna frekvenčna področja na posameznih lokacijah.



Slika 9: Prispevek posameznega frekvenčnega področja k trenutnim sevalnim obremenitvam.



5 Primerjava rezultatov z drugimi študijami

Podobne meritve so opravili tudi Joseph in sodelavci ter rezultate meritev objavili leta 2012 v članku "In situ LTE exposure of general public: Characterization and Extrapolation" [4]. V študiji so preučevali izpostavljenost EMS najpogostejših virov v okolju s poudarkom na sevalnih obremenitvah zaradi sistema LTE. V ta namen so v mestu Reading v Angliji, kjer je v času meritev delovalo 7 testnih baznih postaj LTE, opravili meritve na 40 naključno izbranih lokacijah. Pri tem sta bili dve meritvi opravljeni znotraj objektov, preostalih 38 meritev pa zunaj. Merilni protokol je zajemal meritve trenutnih sevalnih obremenitev vseh virov v frekvenčnem področju od 80 MHz do 3 GHz ter najvišjih možnih ali ekstrapoliranih sevalnih obremenitev baznih postaj sistema LTE. Rezultati njihove študije so povzeti v tabeli 4, kjer zadnji stolpec (LTE_{eks}) predstavlja najvišje možne vrednosti električne poljske jakosti sistema LTE, preostali stolpci pa trenutne vrednosti električne poljske jakosti.

Tabela 4: Rezultati meritev primerjalne študije 1.

	FM	TETRA	GSM	DCS	UMTS	LTE	LTE_{eks}
maksimalna vrednost E [V/m]	3,49	0,59	2,80	3,12	1,03	0,47	4,46
povprečna vrednost E [V/m]	0,59	0,07	0,32	0,36	0,24	0,15	0,93

Primerjava rezultatov kaže na zelo dobro ujemanje najvišjih možnih vrednosti za bazne postaje LTE. Povprečna vrednost je v obeh študijah znašala blizu 1 V/m. Nekoliko višja je bila v primerjalni študiji maksimalna vrednost, ki je znašala 4,46 V/m v primerjavi s 3,5 V/m.

Približno za polovico nižje so bile v primerjalni študiji povprečne vrednosti trenutnih sevalnih obremenitev za frekvenčna področja GSM/DCS/UMTS. To je možno razložiti z dejstvom, da meritve primerjalne študije niso bile opravljene v okolici baznih postaj, ampak so bile lokacije merilnih mest izbrane naključno. Približno za polovico nižji sta bili v primerjalni študiji tudi maksimalni vrednosti trenutnih sevalnih obremenitev za frekvenčni področji GSM in UMTS. Nekoliko pa izstopajo vrednosti za frekvenčno področje DCS, saj je bila maksimalna vrednost v primerjalni študiji dvakrat višja kot v Sloveniji. Povprečna vrednost v tem frekvenčnem področju je bila najvišja povprečna vrednost za frekvenčna področja baznih postaj in se je precej približala slovenskemu povprečju. To kaže na večjo uporabo frekvenčnega področja DCS v Angliji kot v Sloveniji. Precej višje kot v Sloveniji so bile v Angliji tudi vrednosti v frekvenčnem področju FM.

Še eno podobno študijo so v Nemčiji pod vodstvom Informacijskega centra za mobilne komunikacije (www.izmf.de) izvedli strokovnjaki Inštituta za mobilne in satelitske komunikacije [5]. Meritve sevalnih obremenitev so zajemale vse vire v okolju v frekvenčnem področju od 100 kHz do 3 GHz s poudarkom na meritvah baznih postaj, še zlasti baznih postaj LTE. Meritve so izvedli na 5 do 7 merilnih mestih v okolici 16-ih baznih postaj, skupno na 91 merilnih mestih. Vsaka bazna postaja je bila v eni izmed 16-ih zveznih dežel. 46 meritev so opravili zunaj objektov, 45 pa znotraj objektov tako na vidnih linijah do baznih postaj kot tudi na zastrnjenih. V okolici vsake od baznih postaj so na enem merilnem mestu izvedli tudi meritve trenutnih sevalnih obremenitev zaradi vseh ostalih virov v okolju. Meritve baznih postaj so izvedli kot najvišje možne ali ekstrapolirane sevalne obremenitve.

Rezultati njihove študije so povzeti v tabeli 5, kjer prva dva stolpca povzemata meritve baznih postaj na vseh 91 merilnih mestih, zadnji trije stolpci pa meritve baznih postaj in ostalih virov na izbranem merilnem mestu v okolici vsake izmed 16-ih baznih postaj.



Tabela 5: Rezultati meritev primerjalne študije 2.

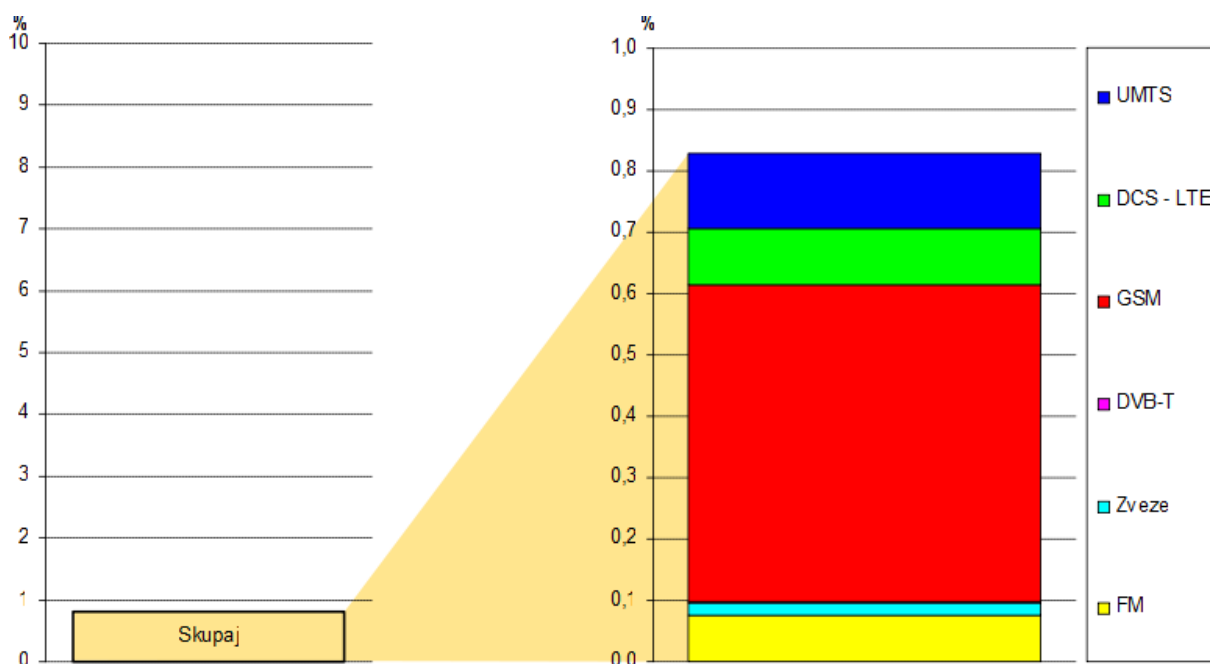
	LTE	GSM/UMTS	BP	ostali viri	skupaj
maksimalna vrednost E [V/m]	7,9	10,44	2,85	1,64	2,85
povprečna vrednost E [V/m]	0,70	1,15	1,24	0,33	1,34

Primerjava in ujemanje rezultatov z rezultati sevalnih obremenitev v Sloveniji na prvi pogled ni očitno, saj zelo izstopajo njihove visoke maksimalne vrednosti v sistemih GSM/UMTS/LTE. Natančnejši pregled rezultatov primerjalne študije je razkril, da so bile te maksimalne vrednosti izmerjene v višjih nadstropjih objektov ob baznih postajah na vidni linij do bazne postaje, kjer je območje glavnega snopa antene precej izrazito. Ostale izmerjene maksimalne vrednosti baznih postaj so znašale nekaj V/m, kar pa je primerljivo z rezultati v Sloveniji. Pomembnejše kot ujemanje maksimalnih vrednosti je ujemanje povprečnih vrednosti, ki za bazne postaje za vse sisteme znaša okrog 1 V/m. Povprečna vrednost ostalih virov je bila v primerjali študiji nekoliko višja in sicer 0,33 V/m v primerjavi s približno 0,2 V/m v Sloveniji.

6 Zaključek

Bazne postaje se med delovanjem ves čas prilagajajo trenutnim razmeram in potrebam uporabnikov, zato se tudi njihova oddajna moč in s tem sevalne obremenitve ves čas spreminjajo. Pri vrednotenju in tolmačenju sevalnih obremenitev je zato potrebno in pomembno vedeti o katerih sevalnih obremenitvah govorimo. Ne glede na to o katerih sevalnih obremenitvah govorimo, pa nobene nikoli ne smejo biti presežene. Najvišje možne sevalne obremenitve bazne postaje bi nastopile le tedaj, ko bi bazna postaja delovala pri največji oddajni moči in polni zasedenosti. Trenutne sevalne obremenitve pa predstavljajo trenutno obremenjenost okolja z EMS zaradi vseh virov, tako baznih postaj kot ostalih virov.

Meritve elektromagnetnih sevanj na območju Ljubljane so pokazale, da so sevalne obremenitve na vseh izmerjenih lokacijah nizke in so precej pod mejnimi vrednostmi za I. območje varstva pred sevanji, ki jih določa Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju [2]. Maksimalna izmerjena vrednost sevalnih obremenitev je znašala približno 10 % mejnih vrednosti za I. območje, povprečna vrednost sevalnih obremenitev pa približno 1 % mejnih vrednosti, in sicer tako za najvišje možne sevalne obremenitve baznih postaj kot za trenutne sevalne obremenitve.



Slika 10: Povprečna vrednost skupnih (kumulativnih) sevalnih obremenitev na 33 lokacijah (levo) glede na zakonsko določeno mejno vrednost za I.območje varstva pred sevanji (UI RS 70/96) in prispevek posameznih tehnologij (desno). Največ prispeva sistem GSM (64%), sledi sistem UMTS (15%), sistem LTE (12%) in zelo oddaljeni radijski oddajniki FM (8%).

Najvišje sevalne obremenitve zaradi baznih postaj povzroča sistem GSM, sledi sistem UMTS. Sistem LTE prispeva skoraj enako kot oddaljeni FM radijski oddajniki. Trenutne sevalne obremenitve zaradi vseh virov v okolju kažejo podobno sliko. Daleč najvišje trenutne sevalne obremenitve prihajajo s frekvenčnega področja GSM 900, sledijo UMTS, GSM 1800 (tu deluje



sistem LTE) in FM, kjer so sevalne obremenitve zopet primerljive. Trenutne sevalne obremenitve v ostalih frekvenčnih področjih (UHF, TETRA) so še nižje. Na bistveno višje sevalne obremenitve sistema GSM oziroma frekvenčnega področja GSM 900 poleg nekoliko višjih izmerjenih vrednosti električne poljske jakosti vpliva predvsem nižja mejna vrednost v tem frekvenčnem področju.

Sevalne obremenitve zaradi uvajanja novega sistema mobilne telefonije LTE v frekvenčnem območju GSM 1800 so nizke in so na splošno primerljive s sevalnimi obremenitvami sistema mobilne telefonije UMTS v frekvenčnem območju 2100 MHz. Meritve so pokazale, da postavitve baznih postaj LTE na že obstoječe lokacije pomeni v povprečju 26 % povišanje najvišje možne skupne električne poljske jakosti zaradi baznih postaj oziroma 36 % povišanje najvišjih možnih sevalnih obremenitev zaradi baznih postaj. Meritve trenutnih sevalnih obremenitev pa so pokazale, da postavitve baznih postaj LTE v povprečju pomeni 11 % povišanje skupne električne poljske jakosti oziroma 13 % povišanje skupnih trenutnih sevalnih obremenitev.

Najvišje možne sevalne obremenitve baznih postaj so običajno višje od trenutnih sevalnih obremenitev zaradi delovanja vseh virov iz okolja. To pomeni, da bazne postaje redko delujejo s polno zmogljivostjo in pri vseh aktivnih sistemih. Ravno zaradi tega je potrebno sevalne obremenitve zaradi baznih postaj določati z ekstrapolacijo na najvišje možne vrednosti. S tem je tudi za skrajne primere, ko je baza postaja polno obremenjena, možno zagotoviti, da mejne vrednosti dejansko ne bodo nikoli presežene.

Primerjava rezultatov meritev s podobnimi študijami izvedenimi v Angliji in Nemčiji z upoštevanjem nekaterih ključnih razlik v metodologiji njihovih meritev kaže na zelo dobro ujemanje rezultatov.





7 Priloga (rezultati meritev po posameznih lokacijah)

V nadaljevanju so predstavljeni rezultati meritev po posameznih lokacijah na vseh merilnih mestih. V tabeli 6 so predstavljeni rezultati najvišjih možnih sevalnih obremenitev na podlagi selektivnih meritev merjene bazne postaje z ekstrapoliranimi vrednostmi, kar predstavlja najvišje teoretično mogoče sevalne obremenitve bazne postaje na merjenem mestu. Takšne sevalne obremenitve so mogoče takrat, ko je bazna postaja polno obremenjena in oddaja s polno močjo. Vrednosti za vsak sistem so podane kot izmerjena vrednost električne poljske jakosti v enotah V/m in izračunane najvišje možne sevalne obremenitve glede na mejne vrednosti za I. območje uredbe o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju. Oznaka MM v tabeli pomeni številko bazne postaje in merilnega mesta v okolici bazne postaje, oznaka r [m] pa oddaljenost merilnega mesta od bazne postaje.

Tabela 6: Rezultati meritev v okolici baznih postaj – ekstrapolirane vrednosti, ki predstavljajo najvišje mogoče sevalne obremenitve na posameznem merilnem mestu.

MM	r [m]	GSM		UMTS		LTE		Skupaj
		[V/m]	[%]	[V/m]	[%]	[V/m]	[%]	
1.1	70	0,4	0,1	0,5	0,1	0,7	0,2	0,3
1.2	100	0,7	0,3	0,4	0,1	0,6	0,1	0,4
1.3	135	0,5	0,1	0,4	0,1	0,7	0,1	0,3
2.1	55	1,8	1,9	0,7	0,2	1,2	0,4	2,4
2.2	8	2,4	3,2	1,4	0,6	1,4	0,6	4,4
2.3	155	2,0	2,2	3,3	3,0	2,8	2,3	7,5
3.1	25	1,1	0,7	0,8	0,2	1,1	0,3	1,2
3.2	5	2,6	3,7	3,9	4,2	1,3	0,5	8,4
3.3	90	0,9	0,4	0,3	0,0	0,3	0,0	0,5
4.1	45	0,9	0,4	0,8	0,2	1,2	0,5	1,1
4.2	25	2,2	2,7	2,0	1,1	2,6	2,0	5,7
4.3	120	2,5	3,6	1,8	0,9	2,1	1,3	5,8
5.1	15	1,4	1,1	1,1	0,3	1,7	0,9	2,3
5.2	65	1,1	0,6	0,8	0,2	1,0	0,3	1,1
5.3	125	1,4	1,1	0,9	0,2	1,0	0,3	1,6
6.1	195	0,5	0,1	0,4	0,0	0,4	0,0	0,2
6.2	110	0,2	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0
6.3	90	0,9	0,4	0,2	0,0	0,2	0,0	0,4
7.1	35	1,1	0,7	0,6	0,1	1,0	0,3	1,1
7.2	30	1,5	1,3	1,0	0,3	1,0	0,3	1,9
7.3	110	0,6	0,2	0,2	0,0	0,3	0,0	0,3
8.1	60	1,4	1,0	0,4	0,0	0,6	0,1	1,2
8.2	40	0,6	0,2	0,4	0,0	0,5	0,1	0,3
8.3	45	1,6	1,4	0,6	0,1	0,9	0,2	1,7
9.1	40	2,1	2,4	0,5	0,1	0,8	0,2	2,6
9.2	85	0,6	0,2	0,4	0,0	0,1	0,0	0,2
9.3	235	0,6	0,2	0,6	0,1	0,8	0,2	0,5
10.1	5	2,7	4,0	3,2	2,9	1,4	0,6	7,5
10.2	60	0,8	0,3	0,4	0,0	0,6	0,1	0,5
10.3	95	1,0	0,6	0,3	0,0	0,4	0,1	0,7
11.1	115	0,3	0,1	0,2	0,0	0,2	0,0	0,1
11.2	105	0,6	0,2	0,2	0,0	0,3	0,0	0,3
11.3	75	0,6	0,2	0,3	0,0	0,4	0,1	0,3
12.1	40	1,6	1,4	0,8	0,2	1,9	1,1	2,7
12.2	25	2,1	2,5	1,6	0,7	3,5	3,6	6,8
12.3	125	1,5	1,2	0,9	0,2	1,4	0,6	2,1
13.1	30	1,3	1,0	1,1	0,3	1,0	0,3	1,7



13.2	60	1,9	2,0	0,8	0,2	1,2	0,4	2,6
13.3	145	0,8	0,3	1,0	0,3	1,1	0,4	1,0
14.1	35	1,7	1,6	0,5	0,1	0,8	0,2	1,9
14.2	120	0,7	0,3	1,2	0,4	2,3	1,6	2,3
14.3	40	0,9	0,5	0,2	0,0	0,4	0,0	0,5
15.1	25	/	/	1,0	0,3	1,8	0,9	1,2
15.2	30	/	/	1,1	0,3	0,9	0,2	0,5
15.3	6	/	/	0,9	0,2	0,6	0,1	0,3
16.1	45	/	/	0,5	0,1	0,7	0,2	0,2
16.2	35	/	/	0,7	0,1	1,7	0,8	1,0
16.3	75	/	/	0,8	0,2	1,0	0,3	0,5
17.1	30	1,7	1,5	0,9	0,2	2,5	1,8	3,5
17.2	75	0,4	0,1	1,5	0,6	2,6	2,0	2,7
17.3	75	0,2	0,0	2,3	1,5	2,3	1,6	3,1
18.1	35	/	/	1,1	0,3	0,5	0,1	0,4
18.2	90	/	/	0,5	0,1	0,8	0,2	0,2
18.3	95	/	/	0,2	0,0	0,3	0,0	0,0
19.1	95	0,7	0,3	0,8	0,2	1,5	0,6	1,1
19.2	70	0,6	0,2	0,9	0,2	1,0	0,3	0,7
19.3	125	0,8	0,4	0,9	0,2	1,3	0,5	1,1
20.1	25	0,4	0,1	0,7	0,1	2,0	1,1	1,3
20.2	65	0,5	0,1	0,5	0,1	0,3	0,0	0,2
20.3	70	0,1	0,0	0,3	0,0	0,5	0,1	0,1
21.1	50	0,3	0,0	0,5	0,1	0,9	0,3	0,4
21.2	50	0,1	0,0	0,8	0,2	1,5	0,6	0,8
21.3	50	0,2	0,0	0,5	0,1	0,9	0,2	0,3
22.1	45	0,7	0,3	1,3	0,5	2,1	1,2	2,0
22.2	110	0,2	0,0	0,6	0,1	0,9	0,2	0,4
22.3	170	0,1	0,0	1,4	0,5	1,6	0,8	1,3
23.1	90	0,2	0,0	0,3	0,0	0,5	0,1	0,1
23.2	65	0,5	0,1	0,2	0,0	0,3	0,0	0,2
23.3	120	0,9	0,5	0,6	0,1	0,7	0,2	0,8
24.1	5	2,3	2,9	0,9	0,2	0,7	0,1	3,3
24.2	95	0,6	0,2	0,4	0,0	0,5	0,1	0,3
24.3	95	0,3	0,1	0,4	0,1	0,6	0,1	0,2
25.1	75	1,9	2,0	0,6	0,1	0,8	0,2	2,3
25.2	65	1,4	1,2	0,3	0,0	0,7	0,1	1,3
25.3	70	1,4	1,1	0,3	0,0	0,7	0,1	1,2
26.1	110	0,5	0,1	0,7	0,1	1,0	0,3	0,6
26.2	45	0,8	0,4	0,3	0,0	0,5	0,1	0,5
26.3	135	0,7	0,3	0,7	0,1	1,1	0,3	0,8
27.1	165	0,3	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,1
27.2	70	0,9	0,4	0,1	0,0	0,2	0,0	0,4
27.3	115	0,3	0,0	0,5	0,1	0,3	0,0	0,1
28.1	35	1,7	1,6	0,7	0,1	1,2	0,4	2,1
28.2	115	1,9	2,1	0,6	0,1	0,8	0,2	2,4
28.3	115	1,2	0,8	1,3	0,5	1,6	0,8	2,0
29.1	10	4,3	10,6	1,3	0,5	0,9	0,2	11,2
29.2	40	0,6	0,2	0,9	0,2	1,0	0,3	0,8
29.3	25	2,5	3,6	1,3	0,4	0,9	0,2	4,3
30.1	25	1,8	1,9	1,5	0,6	1,8	0,9	3,4
30.2	60	1,1	0,7	0,6	0,1	0,9	0,2	1,1
30.3	205	0,4	0,1	0,2	0,0	0,3	0,0	0,1
31.1	15	/	/	1,1	0,3	0,9	0,2	0,6
31.2	35	/	/	1,0	0,3	1,3	0,5	0,8



31.3	90	/	/	0,6	0,1	1,0	0,3	0,4
32.1	40	1,6	1,4	1,8	0,8	2,3	1,6	3,8
32.2	60	0,5	0,1	0,6	0,1	0,5	0,1	0,3
32.3	125	0,8	0,4	1,0	0,3	1,5	0,6	1,3
33.1	290	0,3	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1
33.2	150	0,7	0,3	0,4	0,1	0,8	0,2	0,5
33.3	55	0,5	0,1	0,6	0,1	0,5	0,1	0,3

V tabeli 7 pa so predstavljeni rezultati meritev trenutnih vrednosti za frekvenčna področja, kjer delujejo najpogostejši viri EMS v okolju.

Tabela 7: Rezultati meritev v okolici baznih postaj – trenutne vrednosti, ki predstavljajo trenutne sevalne obremenitve zaradi delovanja vseh virov na posameznem merilnem mestu.

MM	r [m]	FM		Zveze		DVB-T		GSM		DCS-LTE		UMTS		Skupaj
		[V/m]	[%]	[V/m]	[%]	[V/m]	[%]	[V/m]	[%]	[V/m]	[%]	[V/m]	[%]	
1.1	70	0,5	0,3	/	/	/	/	0,3	0,1	0,3	0,0	0,4	0,0	0,4
1.2	100	0,3	0,1	/	/	/	/	0,5	0,1	0,3	0,0	0,2	0,0	0,3
1.3	135	0,8	0,8	/	/	/	/	0,9	0,4	0,4	0,0	0,5	0,1	1,4
2.1	55	0,1	0,0	/	/	/	/	1,6	1,5	0,6	0,1	0,3	0,0	1,7
2.2	8	0,3	0,2	/	/	/	/	4,1	9,8	1,5	0,7	0,6	0,1	10,7
2.3	155	0,4	0,2	/	/	/	/	1,6	1,4	0,9	0,2	1,7	0,8	2,6
3.1	25	0,1	0,0	/	/	/	/	1,0	0,5	1,5	0,7	0,5	0,1	1,3
3.2	5	0,1	0,0	/	/	/	/	2,0	2,2	0,9	0,2	2,4	1,6	4,1
3.3	90	0,0	0,0	/	/	/	/	1,1	0,7	0,3	0,0	0,4	0,1	0,8
4.1	45	0,1	0,0	/	/	/	/	0,5	0,1	0,3	0,0	0,5	0,1	0,2
4.2	25	0,1	0,0	/	/	/	/	1,2	0,8	0,7	0,1	0,9	0,2	1,2
4.3	120	0,1	0,0	/	/	/	/	2,0	2,2	0,7	0,1	0,6	0,1	2,5
5.1	15	/	/	/	/	/	/	1,0	0,6	0,6	0,1	0,5	0,1	0,8
5.2	65	/	/	/	/	/	/	0,7	0,3	0,3	0,0	0,4	0,0	0,3
5.3	125	/	/	/	/	/	/	1,1	0,7	0,3	0,0	0,6	0,1	0,9
6.1	195	0,1	0,0	/	/	/	/	0,3	0,1	0,3	0,0	0,6	0,1	0,2
6.2	110	0,1	0,0	/	/	/	/	0,9	0,4	0,4	0,0	0,5	0,1	0,5
6.3	90	0,1	0,0	/	/	/	/	0,6	0,2	0,4	0,0	0,2	0,0	0,2
7.1	35	/	/	/	/	/	/	0,6	0,2	0,4	0,1	0,3	0,0	0,3
7.2	30	/	/	/	/	/	/	1,0	0,6	0,4	0,0	1,0	0,3	1,0
7.3	110	/	/	/	/	/	/	0,3	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1
8.1	60	0,2	0,0	/	/	/	/	0,7	0,3	0,2	0,0	0,3	0,0	0,3
8.2	40	0,3	0,1	/	/	/	/	0,6	0,2	0,4	0,0	0,4	0,1	0,4
8.3	45	0,2	0,0	/	/	/	/	0,6	0,2	0,3	0,0	0,3	0,0	0,3
9.1	40	0,1	0,0	/	/	/	/	1,2	0,8	0,3	0,0	0,4	0,0	0,9
9.2	85	0,1	0,0	/	/	/	/	0,5	0,1	0,3	0,0	0,3	0,0	0,2
9.3	235	0,0	0,0	/	/	/	/	0,3	0,1	0,2	0,0	0,2	0,0	0,1
10.1	5	0,1	0,0	/	/	0,1	0,0	1,9	2,2	1,0	0,3	2,3	1,5	4,0
10.2	60	0,1	0,0	/	/	0,0	0,0	0,8	0,4	0,5	0,1	0,6	0,1	0,6
10.3	95	0,1	0,0	/	/	0,0	0,0	1,5	1,3	0,6	0,1	0,4	0,0	1,5
11.1	115	0,2	0,0	/	/	/	/	0,3	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,1
11.2	105	0,1	0,0	/	/	/	/	0,3	0,1	0,2	0,0	0,2	0,0	0,1
11.3	75	0,1	0,0	/	/	/	/	0,2	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,1
12.1	40	/	/	/	/	0,0	/	1,0	0,6	1,3	0,5	1,3	0,5	1,5
12.2	25	/	/	/	/	0,0	/	1,0	0,6	0,9	0,2	0,6	0,1	0,9
12.3	125	/	/	/	/	0,0	/	0,9	0,5	0,5	0,1	0,6	0,1	0,7
13.1	30	0,1	0,0	/	/	/	/	0,9	0,5	0,6	0,1	0,6	0,1	0,7
13.2	60	0,1	0,0	/	/	/	/	1,0	0,6	0,3	0,0	0,3	0,0	0,6



13.3	145	0,1	0,0	/	/	/	/	0,6	0,2	0,4	0,1	0,4	0,1	0,4
14.1	35	0,1	0,0	/	/	/	/	0,7	0,3	0,4	0,0	0,3	0,0	0,4
14.2	120	0,1	0,0	/	/	/	/	0,6	0,2	1,0	0,3	1,2	0,4	0,9
14.3	40	0,1	0,0	/	/	/	/	0,5	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2
15.1	25	0,1	0,0	/	/	/	/	0,8	0,4	0,8	0,2	0,8	0,2	0,8
15.2	30	0,1	0,0	/	/	/	/	0,4	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,2
15.3	6	0,0	0,0	/	/	/	/	0,3	0,1	0,4	0,1	0,5	0,1	0,2
16.1	45	0,0	0,0	/	/	/	/	0,1	0,0	0,2	0,0	0,3	0,0	0,0
16.2	35	0,1	0,0	/	/	/	/	0,0	0,0	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1
16.3	75	0,1	0,0	/	/	/	/	0,1	0,0	0,2	0,0	0,4	0,0	0,1
17.1	30	0,1	0,0	0,1	0,0	/	/	0,6	0,2	1,7	0,8	0,9	0,2	1,3
17.2	75	0,1	0,0	0,1	0,0	/	/	0,5	0,2	0,8	0,2	0,7	0,1	0,5
17.3	75	0,1	0,0	0,1	0,0	/	/	0,8	0,4	0,6	0,1	1,1	0,3	0,9
18.1	35	0,6	0,5	0,1	0,0	/	/	0,6	0,2	0,5	0,1	0,7	0,1	0,9
18.2	90	0,5	0,3	0,1	0,0	/	/	0,3	0,1	0,2	0,0	0,3	0,0	0,4
18.3	95	0,6	0,4	0,1	0,0	/	/	0,3	0,1	0,1	0,0	0,2	0,0	0,5
19.1	95	0,1	0,0	/	/	/	/	0,5	0,1	0,5	0,1	0,4	0,1	0,3
19.2	70	0,0	0,0	/	/	/	/	0,4	0,1	0,2	0,0	0,3	0,0	0,1
19.3	125	0,1	0,0	/	/	/	/	1,1	0,7	0,4	0,1	0,6	0,1	0,9
20.1	25	0,1	0,0	/	/	/	/	0,9	0,5	1,4	0,6	1,0	0,3	1,3
20.2	65	0,1	0,0	/	/	/	/	0,6	0,2	0,4	0,0	0,4	0,0	0,3
20.3	70	0,1	0,0	/	/	/	/	0,4	0,1	0,2	0,0	0,3	0,0	0,1
21.1	50	0,1	0,0	0,2	0,0	/	/	0,6	0,2	0,2	0,0	0,3	0,0	0,3
21.2	50	0,1	0,0	0,1	0,0	/	/	0,5	0,1	0,5	0,1	0,9	0,2	0,5
21.3	50	0,1	0,0	0,1	0,0	/	/	0,6	0,2	0,2	0,0	0,2	0,0	0,2
22.1	45	0,1	0,0	0,1	0,0	/	/	0,8	0,4	0,5	0,1	1,3	0,4	0,9
22.2	110	0,1	0,0	0,0	0,0	/	/	0,5	0,2	0,3	0,0	0,5	0,1	0,3
22.3	170	0,1	0,0	0,0	0,0	/	/	0,8	0,4	0,5	0,1	0,7	0,1	0,6
23.1	90	0,1	0,0	0,4	0,3	/	/	0,6	0,2	0,4	0,0	0,4	0,0	0,6
23.2	65	0,0	0,0	0,0	0,0	/	/	0,4	0,1	0,3	0,0	0,3	0,0	0,2
23.3	120	0,0	0,0	0,0	0,0	/	/	0,5	0,2	0,2	0,0	0,4	0,1	0,2
24.1	5	/	/	/	/	0,1	0,0	1,3	0,9	0,4	0,1	0,5	0,1	1,1
24.2	95	/	/	/	/	0,0	0,0	0,4	0,1	0,2	0,0	0,2	0,0	0,1
24.3	95	/	/	/	/	0,1	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,3	0,0	0,1
25.1	75	0,1	0,0	/	/	/	/	1,1	0,8	0,2	0,0	0,3	0,0	0,8
25.2	65	0,1	0,0	/	/	/	/	0,9	0,5	0,2	0,0	0,2	0,0	0,5
25.3	70	0,1	0,0	/	/	/	/	0,6	0,2	0,2	0,0	0,2	0,0	0,3
26.1	110	0,0	0,0	/	/	/	/	0,4	0,1	0,2	0,0	0,5	0,1	0,2
26.2	45	0,0	0,0	/	/	/	/	1,1	0,7	0,9	0,3	0,6	0,1	1,1
26.3	135	0,0	0,0	/	/	/	/	1,0	0,6	0,9	0,2	0,9	0,2	1,0
27.1	165	0,1	0,0	0,0	0,0	/	/	0,5	0,2	0,4	0,0	0,4	0,0	0,3
27.2	70	0,0	0,0	0,1	0,0	/	/	0,8	0,3	0,3	0,0	0,5	0,1	0,5
27.3	115	0,1	0,0	0,1	0,0	/	/	0,4	0,1	0,2	0,0	0,5	0,1	0,2
28.1	35	0,4	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,8	0,3	0,3	0,0	0,3	0,0	0,6
28.2	115	0,3	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	1,0	0,6	0,3	0,0	0,3	0,0	0,8
28.3	115	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,2	0,3	0,0	0,6	0,1	0,4
29.1	10	0,1	0,0	/	/	/	/	2,4	3,4	0,5	0,1	0,7	0,1	3,6
29.2	40	0,0	0,0	/	/	/	/	0,3	0,1	0,7	0,2	0,6	0,1	0,3
29.3	25	0,0	0,0	/	/	/	/	1,2	0,8	0,9	0,2	1,2	0,4	1,4
30.1	25	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,6	0,4	0,1	0,7	0,1	1,0
30.2	60	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,2	0,4	0,1	0,4	0,1	0,4
30.3	205	1,1	1,7	0,2	0,0	0,2	0,0	0,5	0,1	0,4	0,0	0,5	0,1	2,0
31.1	15	0,1	0,0	/	/	/	/	0,2	0,0	0,4	0,0	0,6	0,1	0,2
31.2	35	0,2	0,0	/	/	/	/	0,4	0,1	0,4	0,1	0,5	0,1	0,3
31.3	90	0,2	0,1	/	/	/	/	0,6	0,2	0,2	0,0	0,4	0,0	0,3



32.1	40	0,7	0,6	/	/	0,0	0,0	0,9	0,5	0,4	0,1	0,9	0,2	1,3
32.2	60	0,3	0,2	/	/	0,1	0,0	0,4	0,1	0,4	0,1	0,6	0,1	0,4
32.3	125	0,2	0,1	/	/	0,0	0,0	0,5	0,2	0,4	0,0	0,5	0,1	0,3
33.1	290	0,0	0,0	/	/	0,0	0,0	1,0	0,6	0,3	0,0	0,5	0,1	0,7
33.2	150	0,1	0,0	/	/	0,0	0,0	1,1	0,8	0,3	0,0	0,5	0,1	0,9
33.3	55	0,1	0,0	/	/	0,0	0,0	0,5	0,1	0,3	0,0	0,4	0,1	0,2



8 Literatura

- [1] ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics* 74: 494-522, 1998.
- [2] Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju, UL RS 70/1996
- [3] SIST EN 50492:2009 – Osnovni standard za terensko merjenje jakosti elektromagnetnega polja v zvezi z izpostavljenostjo ljudi v okolici baznih postaj
- [4] Joseph W, Verloock L, Goeminne F, Vermeeren G, Martens L. In situ LTE exposure of the general public: Characterization and extrapolation. *Bioelectromagnetics* 33: 466 – 475, 2012.
- [5] IMST. Confidence by evidence – Putting LTE to the test. IZMF, Berlin, 2013.
- [6] Urbinello D, Huss A, Beekhuizen J, Vermeulen R, Röösl M. Use of portable exposure meters for comparing mobile phone base station radiation in different types of areas in the cities of Baseland Amsterdam. *Science of the Total Environment* 468–469: 1028–1033, 2014.
- [7] Joseph W, Verloock L, Goeminne F, Vermeeren G, Martens L. Assessment of general public exposure to LTE and RF sources present in an urban environment. *Bioelectromagnetics* 31: 576–579, 2010.
- [8] Trček T, Valič B, Kotnik T, Gajšek P. Elektromagnetna sevanja v okolici baznih postaj LTE. *Elektroteh. Vestn.* 81: 39-44, 2014.

