

Elektromagnetna sevanja v okolici baznih postaj LTE

Tomaž Trček, Blaž Valič, Peter Gajšek

*Inštitut za neionizirna sevanja, Pohorskega bataljona 215, Ljubljana
E-pošta: peter.gajsek@inis.si*

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 najodobnejšo 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. Najvišja ekstrapolirana sevalna obremenitev zaradi delovanja merjene bazne postaje na vseh sistemih je pomenila 11,2 odstotka mejnih vrednosti glede na uredbu za I. območje. Meritve so pokazale majhno obremenjenost okolja z EMS, pri čemer najvišje sevalne obremenitve povzročajo bazne postaje sistema GSM 900. Sevalne obremenitve sistema LTE in UMTS so precej manjše in so med seboj primerljive. Zaradi postavitve sistema LTE so se ekstrapolirane sevalne obremenitve baznih postaj v povprečju povečale za 36 odstotkov.

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 iz okolja v povprečju povečale za 13 odstotkov.

Ključne besede: LTE, EMS, izpostavljenost, sevanje

Electromagnetic fields in vicinity of LTE base stations

To allow higher data transmission, mobile networks are subject to continuous development. Currently the fourth-generation network (Long Term Evolution) is being established in Slovenia. Setting up a new mobile network does not mean that the existing ones should be removed, this introduces new sources of the electromagnetic radiation. To evaluate the contribution of a new system, a total of 99 locations in the vicinity of 33 LTE base stations were measured in the city of Ljubljana. Measurements were carried out compliably with the EN 50492 international standard according to which the measured data are extrapolated for the worst case with the base station fully occupied. Measurements were performed with the advanced equipment Narda SRM-3006 allowing special code-selective measurements of the LTE network. The measurement results were analyzed and evaluated according to the Slovenian legislation.

The results show that the exposure rates are very low, the highest extrapolated exposure rate measured for all the base station with the GSM, UMTS and LTE system installed was 11.5 % of the limit values imposed by Slovenian legislation. The highest contributor of the electromagnetic fields among different mobile generations is the GSM network, whereas the LTE and UMTS network contribute much less. On average a new LTE network increases the total exposure rate of all the mobile networks by 36 % and the total exposure rate of all the wireless technologies, including FM and TV transmitters, by 13%.

1 UVOD

Omrežje LTE (Long Term Evolution) je četrta generacija mobilne telefonije in je namenjena predvsem brezžičnemu prenosu podatkov. V primerjavi s predhodnima sistemoma mobilne telefonije UMTS in GSM sistem LTE z uporabniškega stališča prinaša predvsem bistveno višje hitrosti prenosa podatkov in krajše odzivne čase. Omrežje LTE podpira delovanje v različnih frekvenčnih območjih od 700 do 2700 MHz, v Sloveniji se za zdaj omrežje LTE gradi v frekvenčnem pasu 1800 MHz, ki je bil namenjen sistemu GSM 1800.

Omrežje LTE je zgrajeno celično, vsaka celica pa pomeni eno oddajno-sprejemno enoto. Antene baznih postaj so nameščene na samostojne antenske stolpe, na antenske drogove na strehe 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 treba

namestiti nove antene in kable ter postaviti dodatne antenske drogove. Z vizualnega stališča vzpostavitev omrežja LTE tako v glavnem ne prinaša veliko novih posegov v prostor. Zato tudi nasprotovanja javnosti ob gradnji novega omrežja tako rekoč ni pričakovati, saj bo gradnja le-tega potekala skoraj neopazno. Gradnja omrežja LTE se za zdaj načrtuje le na urbanih območjih, ob sprostitev frekvenčnega pasu okrog frekvence 800 MHz pa tudi zunaj njih.

Seveda pa vzpostavitev novega omrežja pomeni dodatno obremenjevanje okolja z elektromagnetnimi sevanji (EMS). Ker je tehnologija LTE razmeroma nova, so tudi podatki o sevalnih obremenitvah in vplivih na okolje skopi. Na Inštitutu za neionizirna sevanja smo kot akreditirana institucija za izvajanje meritev EMS izvedli meritve električne poljske jakosti v okolici 33 baznih postaj na območju Ljubljane, kjer se poleg obstoječih sistemov GSM in UMTS gradi novo omrežje LTE.

2 MERILNE METODE IN MERILNA OPREMA

Meritve EMS so potekale od maja do septembra 2013 v okolici 33 baznih postaj v Ljubljani. V okolici vsake bazne postaje so bile meritve izvedene na treh merilnih mestih, na človeku dostopnih lokacijah en meter nad tlemi, po navadi v smeri glavnih snopov anten, kjer so pričakovane najvišje sevalne obremenitve. Na vsakem merilnem mestu so bile meritve izvedene po protokolu 'sweep', ki predvideva pregled vrednosti na manjšem območju (območje, veliko 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 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 [1], ki predvideva ekstrapoliranje izmerjenih vrednosti za določitev najvišje vrednosti, ko je bazna postaja polno zasedena in oddaja pri največji moči. 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).

2.1 Izhodišče za oceno 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. I. območje so območja, ki so pretežno namenjena bivanju (stanovanja, šole, bolnišnice ...), zato tu veljajo strožje mejne vrednosti. II. območje pa so pretežno nebivalna območja (gozdovi, njive, transportna in industrijska območja).

Tabela 1: Mejne vrednosti električne poljske jakosti za najpomembnejše visokofrekvenčne vire

nosilna frekvenca [MHz]	mejna vrednost električne poljske jakosti [V/m]	
	I. območje	II. območje
87-08 (FM)	8,60	27,50
174-223 (TV VHF)	8,60	27,50
380-470 (Zveze)	8,60 - 9,32	27,50 - 29,70
470-830 (TV UHF)	9,32 - 12,39	29,70 - 39,47
925- 956 (GSM, UMTS)	13,08 - 13,30	41,67 - 42,36
1814-1850 (DCS, LTE)	18,31 - 18,49	58,35 - 58,93
2110-2170 (UMTS)	19,00	61,40

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

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

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 ustreza mejna vrednost.

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

2.2 Merilna oprema

Meritve so bile izvedene z najsodobnejšo opremo za merjenje EMS, s kodno selektivnim spektralnim analizatorjem Narda SRM-3006 s pripadajočo triosno merilno sondo za merjenje električne poljske jakosti v frekvenčnem območju 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).

2.3 Meritve baznih postaj

Meritve baznih postaj so poseben primer, saj ne oddajajo ves čas s konstantno močjo na isti frekvenci, temveč se prilagajajo glede na količino prometa. Meritve se izvedejo tako, da rezultati podajo največje sevalne obremenitve, ki jih lahko povzroči bazna postaja.

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

Omenjena metoda je pri sistemu GSM dokaj preprosta, saj je treba poznati le frekvenco pilotnega kanala in število prometnih kanalov. Za izračun najvišje vrednosti električne poljske jakosti je treba 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 zahtevnejša, saj lahko ti sistemi delujejo na isti frekvenci, pilotni kanali pa so vgrajeni v sam signal in jih je zato z navadnimi spektralnimi analizatorji nemogoče izluščiti. Zato je treba za

izvajanje meritev UMTS in LTE uporabiti kodno selektivni spektralni analizator, pri tem pa upoštevati tudi podatke o nastavitvah bazne postaje. Posebna merilna oprema, kakršna je tudi 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 mogoče z meritvijo teh dveh signalov in poznejšo ekstrapolacijo določiti najvišje sevalne obremenitve bazne postaje sistema UMTS in LTE. Najvišja 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 najvišja 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 treba pridobiti od operaterja.

3 REZULTATI MERITEV

Meritve sevalnih obremenitev so potekale na dveh ravneh. Prva raven so bile poglobljene selektivne meritve sevalnih obremenitev vseh nameščenih sistemov izbrane bazne postaje. Na podlagi rezultatov teh meritev ter tehničnih podatkov o bazni postaji smo določili najvišje mogoče ali ekstrapolirane sevalne obremenitve posamezne bazne postaje. Druga raven meritev so bile meritve trenutnih sevalnih obremenitev kot posledica delovanja vseh virov EMS na lokaciji in v 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.

3.1 Ekstrapolirane sevalne obremenitve izbrane bazne postaje

Meritve so pokazale, da so izmerjene vrednosti sevalnih obremenitev na vseh merilnih mestih relativno nizke in so precej pod mejnimi vrednostmi uredbe za I. območje. Maksimalna ekstrapolirana sevalna obremenitev zaradi delovanja bazne postaje je znašala 11,2 odstotka mejnih vrednosti glede na uredbo za I. območje. Izmerjena je bila za bazno postajo kombiniranega tipa GSM/UMTS/LTE s tremi sektorji in 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 maksimalna ekstrapolirana sevalna obremenitev za sistem GSM, ki je znašala 4,32 V/m ali 10,6 % mejnih vrednosti.

Maksimalna ekstrapolirana 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 anten v 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 ekstrapolirana 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.

Povprečna vrednost vseh 99 izmerjenih ekstrapoliranih sevalnih obremenitev je znašala za vse sisteme skupaj 1,6 % mejne vrednosti, 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 % mejne vrednosti glede na uredbo za I. območje.

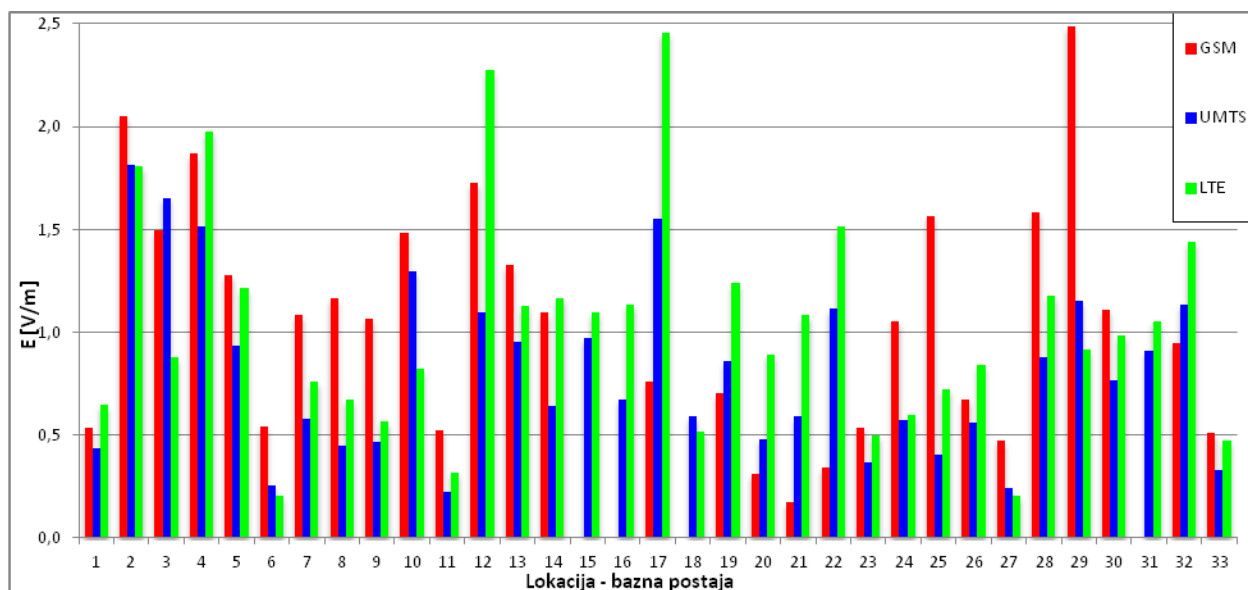
Tabela 2: Maksimalne in povprečne vrednosti ekstrapoliranih sevalnih obremenitev merjene bazne postaje

L1+L2+L3	GSM	UMTS	LTE	skupaj
maks[V/m]	4,32	3,92	3,51	/
maks [%]	10,6	4,24	3,61	11,2
povp[V/m]	1,05	0,80	1,01	/
povp [%]	0,95	0,29	0,43	1,56

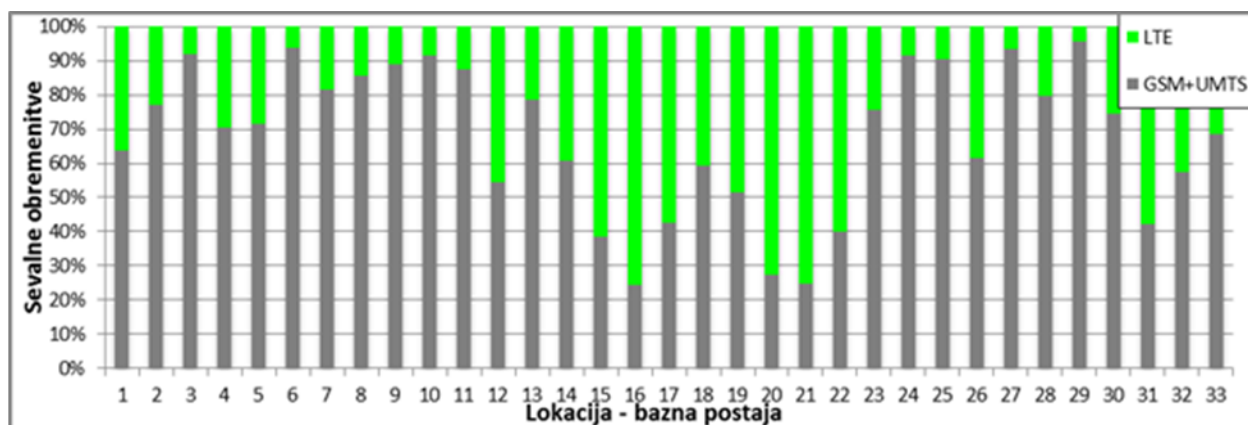
Prispevki električne poljske jakosti posameznih sistemov so primerljivi in ne odstopajo izrazito. Med posameznimi sistemi so primerljive tako maksimalne izmerjene vrednosti električne poljske jakosti kot povprečne vrednosti. To pomeni, da v najbolj neugodnem primeru, ko bazna postaja deluje s polno oddajno 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 pomeni delovanje baznih postaj sistema GSM. Sistem GSM v povprečju prispeva nekoliko več kot sistema UMTS in LTE 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 območju.

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 22-odstotno povečanje skupne električne poljske jakosti. Izračunano povprečno povečanje vrednosti skupne električne poljske jakosti zaradi sistema LTE na podlagi meritev pa je znašalo 26 %.



Slika 1: Ekstrapolirane vrednosti električne poljske jakosti baznih postaj za posamezne sisteme



Slika 2: Povečanje sevalnih obremenitev zaradi namestitve sistema LTE ob upoštevanju ekstrapoliranih sevalnih obremenitev, ko je bazna postaja polno zasedena in oddaja z največjo močjo

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

3.2 Trenutne sevalne obremenitve vseh virov

Trenutne sevalne obremenitve so bile izmerjene za vsa najpomembnejša frekvenčna območja (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 bila 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 območje FM-oddajnikov je znašala 1,11 V/m ali 1,7 % mejne 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 območje UHF (DVB-T) oddajnikov je znašala 0,19 V/m ali 0,04 % mejne vrednosti in je bila izmerjena na istem merilnem mestu kot maksimalna vrednost za območje FM. Izmerjene vrednosti so verjetno v precejšnji meri posledica 800 m oddaljenega RTV-oddajnika. Maksimalna vrednost za frekvenčno območje TETRA in zveze je znašala 0,43 V/m ali 0,3 % mejne vrednosti. Maksimalna vrednost za frekvenčno območje GSM 900 je znašala 4,09 V/m ali 9,8 % mejne 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 območje GSM 1800, kjer delujejo tudi bazne postaje sistema LTE, je znašala 1,66 V/m ali 0,8 % mejne 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 od 12 do 15 m.

Maksimalna vrednost za frekvenčno območje UMTS je znašala 2,4 V/m ali 1,6 % mejne 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 območjih oziroma sistemih je znašala povprečna vrednost za frekvenčno območje FM 0,13 V/m ali 0,1 % mejne vrednosti, za frekvenčno območje TETRA in zveze ter UHF manj kot 0,1 V/m ali manj od 0,01 % mejne vrednosti, za frekvenčno območje GSM 900 0,77 V/m ali 0,5 % mejne vrednosti, za frekvenčno območje GSM 1800 0,46 V/m ali 0,1 % mejne vrednosti in za frekvenčno območje UMTS 0,54 V/m ali 0,1 % mejne vrednosti.

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

	FM	zveze	UHF	GSM	DCS	UMTS	skupaj
maks[V/m]	1,11	0,43	0,19	4,09	1,66	2,40	/
maks [%]	1,67	0,25	0,04	9,78	0,82	1,60	10,7
povp[V/m]	0,13	0,02	0,01	0,77	0,46	0,54	/
povp [%]	0,07	0,00	0,00	0,52	0,09	0,12	0,80

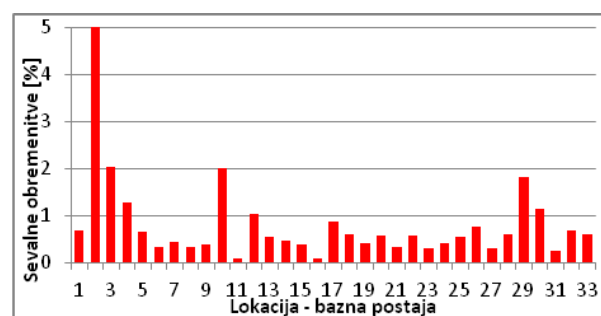
Največ k sevalnim obremenitvam iz okolja prispeva delovanje baznih postaj v frekvenčnem območju GSM 900. Za največji prispevek baznih postaj v tem frekvenčnem območju je najbolj odločilna nižja mejna vrednost v tem frekvenčnem območju, nekoliko pa k temu pripomorejo tudi višje vrednosti same električne poljske jakosti. Električna poljska jakost v frekvenčnem območju GSM 900 je približno dvakrat večja od električne poljske jakosti v frekvenčnem območju GSM 1800, in sicer tako za maksimalno kot za povprečno vrednost. Vzrok je v veliko bolj zasedenem in uporabljenem frekvenčnem območju GSM 900, saj v njem deluje še vedno najbolj razširjen sistem mobilne telefonije GSM, ponekod pa tudi mobilna telefonija sistema UMTS. Frekvenčno območje GSM 1800 ni toliko zasedeno, v njem pa delujejo tudi maloštevilne bazne postaje sistema LTE.

Sevalne obremenitve v frekvenčnem območju FM so manjše od sevalnih obremenitev v frekvenčnem območju GSM 1800 in UMTS, povprečna električna poljska jakost pa znaša približno tretjino povprečne električne poljske jakosti v frekvenčnih območjih 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 območje, po navadi z više ležečih lokacij. Prav tako je zaradi daljše valovne dolžine vpliv stavb in dreves manjši.

Sevalne obremenitve v frekvenčnih območjih DVB-T, TETRA in zvez so še manjše od sevalnih obremenitev v drugih frekvenčnih območjih. Maksimalna vrednost električne poljske jakosti pa lahko doseže tudi primerljive vrednosti električne poljske jakosti v frekvenčnem območju FM.

Povečanje sevalnih obremenitev zaradi sistema LTE je iz opravljenih meritev trenutnih sevalnih obremenitev težko določljivo, saj bazne postaje LTE delujejo v frekvenčnem območju GSM 1800, kjer delujejo tudi bazne postaje sistema GSM. Če pa upoštevamo, 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 območju GSM 1800 posledica delovanja baznih postaj sistema LTE. Z upoštevanjem tega približka pomeni postavitev baznih postaj sistema LTE 11-odstotno povečanje skupne električne poljske jakosti in 13-odstotno povečanje sevalnih obremenitev glede na stanje pred postavitvijo.



Slika 3: Skupne trenutne sevalne obremenitve na posameznih lokacijah

Primerjava rezultatov meritev v Sloveniji z rezultati študije, ki jo je izvedel Joseph s sodelavci [3], kaže na zelo dobro ujemanje ekstrapoliranih vrednosti za bazne postaje LTE. V okolici sedmih testnih baznih postaj LTE so opravili meritve na 40 naključno izbranih lokacijah. Pri tem sta bili dve meritvi opravljena v notranjosti objektov, preostalih 38 meritev pa na prostem. Merilni protokol je zajemal meritve trenutnih sevalnih obremenitev vseh virov v frekvenčnem območju od 80 MHz do 3 GHz ter najvišje mogoče ali ekstrapolirane sevalne obremenitve baznih postaj sistema LTE.

Njihove meritve so pokazale, da so ekstrapolirane vrednosti električne poljske jakosti baznih postaj LTE precej višje od njihovih trenutnih vrednosti. Povprečna vrednost je bila približno šestkrat višja, maksimalna vrednost pa skoraj 10-krat višja.

Njihove meritve so tudi pokazale, da so trenutne vrednosti električne poljske jakosti baznih postaj LTE v primerjavi z baznimi postajami GSM/UMTS nižje.

Povprečna vrednost je bila od malo manj kot polovico nižja kot pri sistemu UMTS do malo več kot polovico nižja kot pri sistemu DCS.

Rezultati njihove študije so povzeti v tabeli 4, kjer zadnji stolpec (LTE_{eks}) kaže najvišje mogoče ali ekstrapolirane vrednosti električne poljske jakosti sistema LTE, preostali stolpci pa trenutne vrednosti električne poljske jakosti.

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

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

Povprečna vrednost je v obeh primerih znašala zelo blizu 1 V/m. Nekoliko višja je bila v primerjalni študiji maksimalna vrednost, ki je znašala 4,46 V/m v primerjavi z 3,5 V/m, kar pa je še vedno zelo dobro ujemanje. Približno za polovico nižje so bile v primerjalni študiji povprečne vrednosti trenutnih sevalnih obremenitev baznih postaj v vseh sistemih. To je mogoče razložiti z dejstvom, da meritve v primerjalni študiji niso bile opravljene v okolici baznih postaj, ampak so bile lokacije merilnih mest izbrane naključno. Približno za polovico nižja je bila v primerjalni študiji tudi maksimalna vrednost trenutnih sevalnih obremenitev baznih postaj GSM in UMTS. Nekoliko pa izstopajo vrednosti v sistemu DCS, saj je bila maksimalna vrednost v primerjalni študiji dvakrat višja kot v Sloveniji. Povprečna vrednost za ta sistem je bila najvišja povprečna vrednost za bazne postaje in se je precej približala slovenskemu povprečju. To kaže na večjo uporabo frekvenčnega spektra DCS v Veliki Britaniji kot v Sloveniji. Precej višje kot v Sloveniji so bile v Veliki Britaniji izmerjene tudi vrednosti električne poljske jakosti v sistemu FM.

4 SKLEP

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 [2]. Maksimalna trenutna izmerjena vrednost sevalnih obremenitev je znašala približno 10 odstotkov mejnih vrednosti, povprečna vrednost pa približno en odstotek mejnih vrednosti.

Sevalne obremenitve zaradi uvajanja novega sistema mobilne telefonije LTE v frekvenčnem območju 1800 MHz so ravno tako nizke in so primerljive s sevalnimi obremenitvami sistema mobilne telefonije UMTS v frekvenčnem območju 2100 MHz. Pri običajnem dnevnem režimu delovanja baznih postaj (trenutne vrednosti) najvišje sevalne obremenitve povzročata sistem GSM 900, sledi UMTS 2100 in nato GSM 1800, kjer trenutno delujejo tudi bazne postaje

sistema LTE. Vrednosti električne poljske jakosti, tako maksimalne kot povprečne, pa so v sistemu GSM 900 približno dvakrat višje kot v sistemu LTE ali UMTS 2100.

Sevalne obremenitve drugih sistemov (FM, UHF, TETRA) so še nižje od sevalnih obremenitev zaradi baznih postaj, pri čemer precej prednjačijo sevalne obremenitve zaradi delovanja oddaljenih radijskih oddajnikov FM.

Ekstrapolirane sevalne obremenitve baznih postaj, ko bazna postaja deluje pri polni moči in ko so zasedeni vsi prometni kanali, 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 zato je treba sevalne obremenitve bazne postaje določiti z ekstrapolacijo na najvišje mogoče vrednosti. V skrajnih primerih pa je le tako tudi mogoče zagotoviti, da mejne vrednosti dejansko ne bodo nikoli presežene.

Meritve so pokazale, da postavitve baznih postaj LTE na že obstoječe lokacije za primer polno zasedenih baznih postaj pomeni v povprečju 26-odstotno povečanje skupne električne poljske jakosti oziroma 36-odstotno povečanje sevalnih obremenitev. Meritve trenutnih vrednosti baznih postaj in tudi drugih virov pa so pokazale, da postavitve baznih postaj LTE v povprečju pomeni 11-odstotno povečanje skupne električne poljske jakosti oziroma 13-odstotno povečanje sevalnih obremenitev.

LITERATURA

- [1] SIST EN 50492:2009 – Osnovni standard za terensko merjenje jakosti elektromagnetnega polja v zvezi z izpostavljenostjo ljudi v okolici baznih postaj.
- [2] Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju, UL RS 70/1996.
- [3] Joseph W, Verloock L, Goeminne F, Vermeeren G, Martens L, In situ LTE exposure of the general public: Characterization and extrapolation. *Bioelectromagnetics* 33 (6): 466–475, (2012)

Tomaž Trček je diplomiral na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. Zaposlen je na Inštitutu za neionizirna sevanja, kjer deluje kot strokovnjak za področje telekomunikacij in merilnih postopkov meritev elektromagnetnih sevanj.

Blaž Valič je doktoriral na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Njegovo področje raziskovanja sta numerično modeliranje porazdelitve EMS v bioloških sistemih in vpliv EMS na človeka.

Peter Gajšek je doktoriral na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, kjer je tudi habilitiran v docenta za področje elektrotehnike. Je direktor Inštituta za neionizirna sevanja in član več mednarodnih organizacij s področja neionizirnih sevanj. Njegovo področje delovanja je proučevanje interakcij EMS z organizmi s poudarkom na eksperimentalni in teoretični dozimetriji.

Projekt "Elektromagnetna sevanja v okolici baznih postaj LTE" v Sloveniji je delno sofinanciran s strani projekta Forum EMS.