

Posnetek obremenjenosti naravnega in življenjskega okolja z elektromagnetnimi sevanji v Sloveniji

Blaž Valič¹, Tomaž Trček¹, Peter Gajšek¹

¹ Inštitut za neionizirna sevanja, Pohorskega bataljona 215, Ljubljana
E-pošta: peter.gajsek@inis.si

Povzetek. Z razvojem družbe in tehnologij se je povečala obremenjenost okolja in človeka z elektromagnetnimi sevanji (EMS). Zato so čedalje bolj potrebne informacije o obremenjenosti okolja z EMS, s katerimi lahko razpolaga država, lokalne skupnosti in seveda vsak občan. Posnetek obremenjenosti naravnega in življenjskega okolja v Sloveniji z EMS je potekal v obliki 24-urnih meritev v skoraj 40 občinah v Sloveniji ter v obliki meritev na več kot 20.000 merilnih mestih v Ljubljani in Mariboru, delu Kranja in Kopra.

Rezultati kažejo, da je tipična obremenjenost življenjskega okolja z elektromagnetnimi sevanji v Sloveniji majhna. Največje vrednosti dosežejo do tri odstotke mejne vrednosti uredbe o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju za I. območje varstva, kar znaša le 0,3 odstotka priporočenih mednarodnih mejnih vrednosti. Izjema so meritve v neposredni bližini radijskih in televizijskih oddajnikov (Pečarovci), kjer je bila izmerjena vrednost večja in je dosegala do 40 odstotkov mejne vrednosti uredbe o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju za I. območje varstva, kar znaša štiri odstotke priporočenih mednarodnih mejnih vrednosti.

Rezultati raziskave so dostopni širši javnosti na internetu na domači strani Foruma EMS (www.forum-ems.si) in na strani Agencije RS za okolje (www.arso.gov.si).

Ključne besede: elektromagnetna sevanja, monitoring, dozimetrija

Measurements of background electromagnetic fields in the human environment

Extended abstract. Due to the use of different new technologies there has been an increase in the electromagnetic fields (EMF) in the living environment. This has led to the need of information about EMF levels to be available for the general public as well as for various institutions and local communes. To provide the Slovenian communities with information about electromagnetic fields (EMF) in their neighborhood, the Forum EMS, an independent project aiming at informing the general public about EMF and their biological effects and the Institute of Non-ionizing radiation have envisaged various monitoring campaigns.

To evaluate the EMF time-varying intensity, the Slovenian communities were invited to host an automatic monitoring station PMM 8055 (PMM, Italy) [1] for a week or two. Till now nearly 40 communities have expressed their interest in taking part in such measuring campaign. During the measurement period, every minute the measuring station stores the value of the electric field intensity. For each location, the collected data are evaluated and presented to the interested public in the community bulletin and on internet.

To evaluate the EMF time-varying intensity in different living environments, an EMF dosimeter Antennessa DSP 090 [2] with analysis software for data processing and analysis was upgraded with a commercial GPS receiver and a custom-made data logger unit to store geographical measurement data. Using this system, mounted on a car roof or bicycle, measurements were made at four locations in Slovenia: in Ljubljana, Maribor, Kranj and Koper. To obtain a representative sample, it was necessary to cover enough population as well as to include different living environments

and EMF sources. Beside large cities, that covered enough population and different EMF sources, we included also rural areas with at least one strong EMF source. The measured frequency spectrum was limited to GSM, DCS, UMTS, FM and TV signals. Using the distance criteria of 20 m, all measurement locations (20.000) were filtered to 12.000. The accuracy of the filtered measurement points was verified at the Environmental Agency of the Ministry of the Environment and Spatial Planning of the Republic of Slovenia.

The monitoring campaign has showed that the typical EMF exposure is low, the maximum values reach 3 % of the reference level for the 1st region of the Slovenian ordinance [3], which is 0.3 % of the ICNIRP reference level for the general public [4] and the European recommended reference levels for the general public [5]. In Ljubljana, the maximum GSM signal was measured in Tomačevo, where the electric field strength was 2.28 V/m or 3.1 % of the reference level for the 1st region of the Slovenian legislation. Close to this was the maximum FM signal, measured at the Ljubljana Castle, where there is radio tower located. The measured electric field strength was 1.57 V/m or 3.3 % of the reference level for the 1st region of the Slovenian legislation. The results in Maribor are similar to those in Ljubljana, but EMF reached no more than 0.6 % of the reference levels for the 1st region of the ordinance.

The only exceptions are locations near the radio or TV towers (Tinjan and Puconci). Here the radio and TV towers are located in the vicinity of the village. The measured values exceeded 40 % of the reference level for the 1st region of Slovenian ordinance (4 % of the ICNIRP reference level for the general public).

The results of this measurement campaign are presented on an interactive map, available to the general public on the internet, enabling everyone to see the measured values of each

measurement. They are shown on the homepage of the Forum EMS (www.forum-ems.si) and on the homepage of the Environmental Agency of the Ministry of the Environment and Spatial Planning of the Republic of Slovenia (www.arso.gov.si).

Keywords: electromagnetic fields, measurements, dosimetry

1 Uvod

Kot posledica naravnih virov ali človeške dejavnosti v okolju nastajajo različni fizikalni, kemijski in biološki dejavniki, ki škodljivo vplivajo na okolje. Spremljanje dejavnikov in njihov monitoring sta za zagotavljanje zdravega bivalnega okolja nujna. Zato smo v okviru projekta Forum EMS – neodvisni projekt, namenjen objektivnemu in strokovnemu informiranju prebivalstva o elektromagnetnih sevanjih (EMS) in njihovih vplivih na žive organizme – v letih od 2005 do 2007 izvedli več aktivnosti, s katerimi smo zainteresiranim občinam in njenim prebivalcem omogočili dostop do podatkov o obremenjenosti njihovega življenjskega okolja z EMS.

Vse občine v Sloveniji so bile pozvane, da se pridružijo merilni kampanji. Izmed tistih, ki so interes za sodelovanje izrazile, jih približno 20 na leto sodeluje v kampanji. V vsaki občini je merilna postaja nameščena od enega do dveh tednov. Po končanih meritvah v eni občini se vsi podatki meritev – merilna postaja shranjuje meritve 24 ur na dan v intervalih ene minute – strokovno pregledajo. Poročilo o poteku meritev in izmerjenih vrednostih je objavljeno v občinskem glasilu, dostopno pa je tudi na domači strani projekta Forum EMS. V letih 2005 in 2006 je v merilni kampanji sodelovalo skoraj 40 občin.

Poleg časovnega posnetka je za poznavanje obremenjenosti okolja z EMS pomembno poznati tudi krajevno porazdelitev. Za to smo s pomočjo dozimetra Antennessa DSP 090 in dodatne logirno-upravljalne enote naredili posnetke ozadja EMS na več kot 20.000 merilnih mestih po Sloveniji. Dobljeni rezultati prikazujejo, kakšnim sevalnim obremenitvam smo lahko izpostavljeni v življenjskem in bivalnem okolju.

Vsi rezultati meritev so dostopni na domači strani projekta Forum EMS (www.forum-ems.si) in na strani Agencije RS za okolje (www.arso.gov.si).

2 Materiali in metode

V sklopu meritev EMS sta bili uporabljeni dve napravi: za trajne meritve EMS v slovenskih občinah avtomatska merilna postaja PMM 8055 s centralno enoto in dozimeter Antennessa DSP 090 z logirno-upravljalno enoto za merjenje krajevno razpršenih meritev.

2.1 Avtomatska merilna postaja

Avtomatska merilna postaja je namenjena stalnemu monitoringu EMS različnih virov na zeleni lokaciji.

Celoten merilni sistem je sestavljen iz avtomatske merilne postaje in centralne enote.

Avtomatska merilna postaja PMM 8055 (PMM, Italija) [1] je avtonomna merilna postaja za merjenje EMS. Sestoji iz merilne in kontrolne elektronike, merilne sonde, modema GSM, napajalnih akumulatorjev in ohišja s sončnimi celicami. Postaja v intervalih ene minute beleži izmerjeno vrednost EMS in jo prek modema GSM pošilja centralni enoti.



Slika 1: Avtomatska merilna postaja

Figure 1: Automatic monitoring station

Na vseh lokacijah, razen na eni, je bila uporabljena sonda GSM (merilno območje 0,03-30 V/m, frekvenčno območje 925-960 MHz), saj so bazne postaje sistema GSM najpomembnejši vir EMS v urbanih naseljih, drugi, sicer močni viri EMS, pa so ponavadi odmaknjeni od naselij. Edini primer uporabe širokopasovne sonde (merilno območje 0,3-300 V/m, frekvenčno območje 0,1-3 GHz) je bil v občini Puconci, kjer se je meritev izvajala v neposredni bližini radijskega in TV-oddajnika v naselju Pečarovci. Z uporabo širokopasovne sonde je bilo izmerjeno EMS v frekvenčnem območju delovanja radijskega in TV-oddajnika.

2.2 Dozimeter Antennessa DSP 090

Dozimeter Antennessa DSP 090 je širokopasovni selektivni dozimeter, ki trajno beleži obremenjenost osebe z EMS. Ločeno meri EMS v frekvenčnih območjih delovanja naprav FM, TV, GSM, DCS, UMTS, DECT in WLAN. Glavne lastnosti dozimetra so [2]: velika avtonomija, nastavljiva perioda vzorčenja, neobčutljivost na dejavnost uporabnika, robustnost, majhna teža, dobra občutljivost (0,05–5 V/m) in izotropnost, razširjena merilna negotovost pa znaša $\pm 4,76$ dB.

Dozimeter prek povezave USB komunicira z osebnim računalnikom. Ko z dozimetrom posnamemo določeno število meritev, le-te prenesemo v računalnik. Programski paket, priložen dozimetru, nam omogoča različne prikaze izmerjenih rezultatov.

Za merjenje ozadja EMS smo dozimeter nadgradili z modulom GPS in logirno-upravljalno enoto. Komercialni GPS sprejemni modul je uporabljen za določanje trenutnih koordinat merilnega sistema. Za njegov delovanje ter shranjevanje podatkov skrbi lastno razvita logirno-upravljalna enota, ki upravlja modul GPS in pretvarja ter beleži geografske koordinate.

2.3 Meritve in obdelava rezultatov

Trajne meritve EMS s pomočjo avtomatske merilne postaje so bile v letih 2005 in 2006 izvedene v skupaj 35 prijavljenih občinah. Meritve s pomočjo dozimetra

Antenasa DSP 090 pa so bile izvedene v Ljubljani, Mariboru, delu Kranja in delu Kopra. Pri izbiri lokacij meritev so bile upoštevane tako zahteve o vključitvi različnih virov EMS v raziskavo kot tudi po vključitvi območja z dovolj velikim številom prebivalcev v raziskavo. Meritev smo izvedli s pomočjo kolesa na območju mestnih središč, sicer pa smo meritve izvedli s pomočjo avtomobila.

Naprava GPS poda položaj z določenim odstopanjem od pravega položaja, v mestih pa se lahko napaka poveča zaradi slabe vidnosti satelitov. Zato je bila vsaka lokacija merilnih mest preverjena. Izmerjene vrednosti so bile na Agenciji RS za okolje vnesene na zemljevid. Na sliki 2 so predstavljene merilne točke v Ljubljani po opravljenem izločanju in popravkih, slika 3 pa prikazuje merilne točke, predstavljene na zemljevidu.



Slika 2: Grafično predstavljena merilna mesta

Figure 2: Graphically presented measurement points



Slika 3: Merilne točke, predstavljene na zemljevidu.

Figure 3: Measurement points represented on a map.

Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju (uredba o EMS) [3] predpisuje podajanje merilnih rezultatov o EMS kot skupne sevalne obremenitve v odstotkih glede na mejno vrednost, zato je bilo potrebno vse vrednosti iz V/m preračunati v odstotke mejne vrednosti. V skupne sevalne obremenitve ali varnostni indeks SI, ki se izračunajo po naslednjem izrazu:

$$SI = \sum \left(\frac{E_i}{E_{mi}} \right)^2, \quad (1)$$

kjer je SI varnostni indeks, podan v odstotkih, E_i vrednost izmerjene komponente frekvenčnega pasu in E_m mejna vrednost komponente frekvenčnega pasu, niso bile vključene vrednosti EMS, povzročene z mobilnimi telefoni, saj te vrednosti niso relevantne za prikaz obremenjenosti ozadja.

Mejna vrednost E_{mi} je frekvenčno odvisna in ima pri vsaki frekvenci dve vrednosti. Uredba o EMS namreč ločuje tako imenovano območje I. in območje II. V prvo območje spadajo področja, kjer velja povečana stopnja varovanja pred EMS, v drugo območje pa spadajo področja, ki niso tako kritična glede varnosti pred EMS.

Mejne vrednosti so za posamezna merjena frekvenčna področja podana tabela 1.

Frekv. območje	I. območje (V/m)	II. območje (V/m)
FM	8,6	27,5
TV 3	8,6	27,5
TV 4 & 5	9,3	29,7
GSM	12,9	41,1
DCS	18,2	58,1
UMTS	19	61,4

Tabela 1: Mejne vrednosti jakosti EM polja v V/m

Table 1: Reference levels of the EM fields in V/m

3 Rezultati

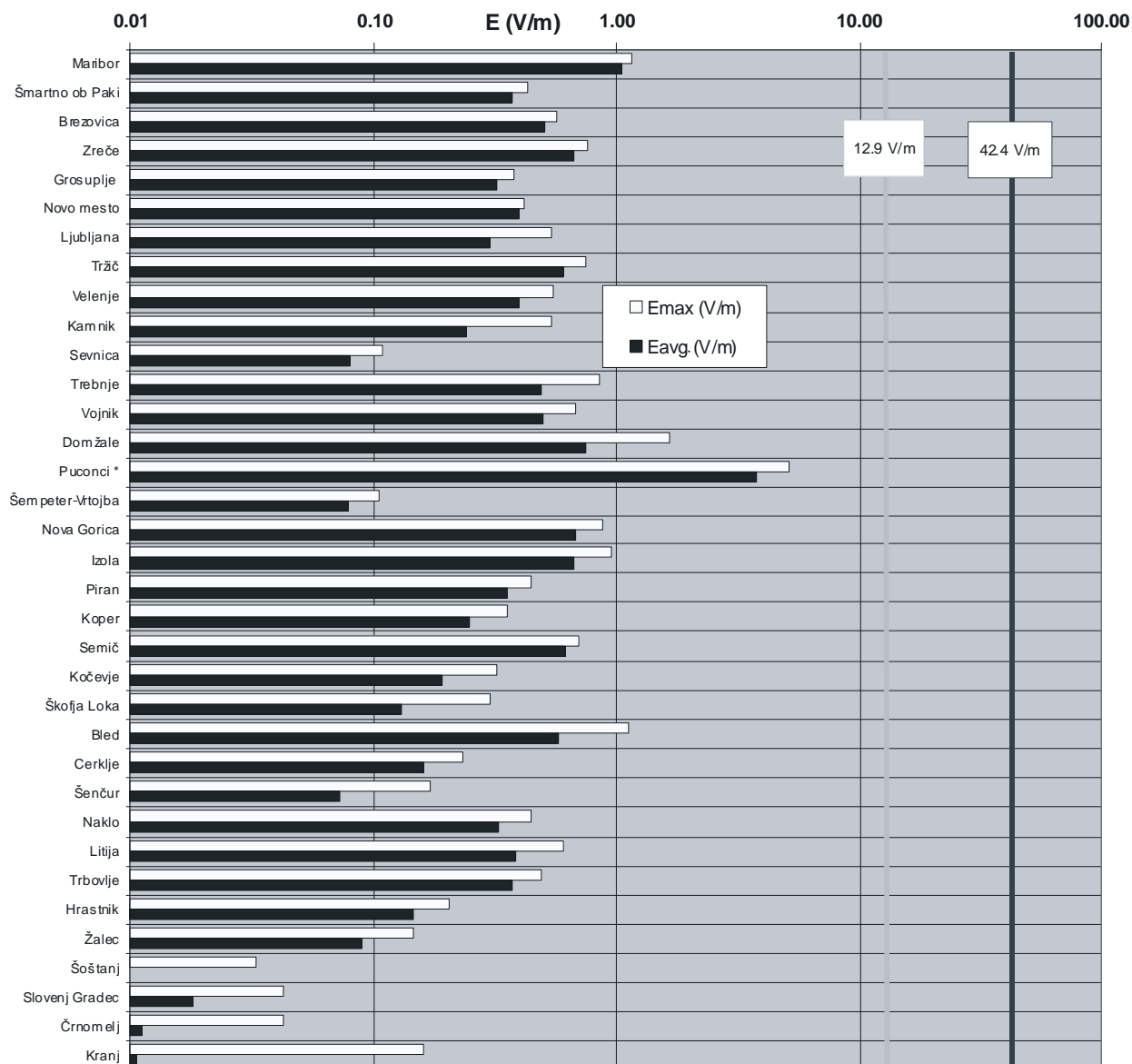
Rezultati meritev kažejo, da so jakosti EMS v okolju precej nižje tako od mejnih vrednosti smernic ICNIRP za prebivalstvo [4], kot tudi uredbe o EMS za I. območje, ki so dodatno 10-krat nižje od mejnih vrednosti smernic ICNIRP. V sklopu trajnih meritev na eni lokaciji je bila največja vrednost izmerjena v Domžalah, in sicer 1,66 V/m, največja povprečna vrednost pa je bila izmerjena v Mariboru in je znašala 1,05 V/m. V okviru meritev z dozimetrom je bila največja izmerjena vrednost zaradi delovanja omrežja mobilne telefonije v Ljubljani 2,28 V/m (območje Tomačevo), v Mariboru 0,97 V/m, Kopru 0,74 V/m in Kranju 1,08 V/m. Največja trenutna vrednost 2,28 V/m pomeni le 3,12 odstotka mejne vrednosti glede na uredbo o EMS za I. območje varstva pred sevanji.

Izjema so rezultati za občino Puconci, ki so na sliki 4 označeni z * in za občino Koper v tabeli 2. Meritve so namreč potekale v obeh primerih v naselju, kjer se v neposredni bližini nahaja radijski in TV-oddajnik. Izmerjene vrednosti v Pečarovcih so bile višje kot drugod: 5,1 V/m za maksimalno vrednost in 3,8 V/m za povprečno vrednost, kar pomeni 35 odstotkov mejnih vrednosti uredbe o EMS ali 3,5 odstotka mejnih vrednosti smernic ICNIRP za prebivalstvo.

Območje	Ljubljana		Maribor		Koper		Kranj	
	max	avg.	max	avg.	max	avg.	max	avg.
FM	1,57	0,13	0,42	0,09	2,49	0,14	0,20	0,09
TV 3	0,10	0,07	0,11	0,07	0,44	0,18	0,09	0,08
TV 4 & 5	1,27	0,11	0,54	0,11	5,00	0,14	0,28	0,14
GSM	2,28	0,17	0,97	0,14	0,74	0,13	1,08	0,17
DCS	1,48	0,15	1,13	0,13	0,63	0,12	0,57	0,14
UMTS	0,39	0,09	0,27	0,08	0,11	0,08	0,09	0,08
SI[%] I.obm.	3,61	0,06	0,94	0,04	30,44	0,15	0,79	0,05
SI[%] II.obm.	0,35	0,01	0,09	0,00	2,98	0,01	0,08	0,01

Tabela 2: Izmerjene največje (max) in povprečne (avg.) vrednosti za posamezno frekvenčno območje (V/m) ter izračunan indeks SI (v procentih) za izmerjene lokacije

Table 2: Maximum and average measured values for different frequency bands (V/m) and SI index (in percentage) for all measured locations



Slika 4: Največje in povprečne vrednosti EMS, izmerjene z GSM sondo v frekvenčnem območju med 925 in 960 MHz. Svetla navpična črta pomeni mejno vrednost uredbe o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju za I. območje pri frekvenci 950 MHz; temna pa mejne vrednosti smernic ICNIRP za prebivalstvo pri isti frekvenci. V Puoncih (označeno z *) je bila zaradi bližine radijskega in TV-oddajnika uporabljena širokopasovna merilna sonda, ki meri EMS med 0,1 in 3000 MHz. Lokacije meritev si sledijo kronološko, od Maribora do Domžal v letu 2005 ter od Puconcev do Kranja v letu 2006.

Figure 4: Maximum and average results. The used GSM probe measures signals between 925 MHz and 960 MHz. The bright vertical line presents the reference level for the 1st. region of the Slovenian legislation at 950 MHz; the dark one presents the ICNIRP reference level for the general public at the same frequency. In Puonci (marked with *) a wideband probe was used because of the proximity of a radio and TV broadcasting tower. Wideband probe measured EMF between 10 and 2500 MHz. Monitoring locations are listed in a chronological order: from Maribor to Domžale in 2005, from Puonci to Kranj in 2006.

Podobno so bile visoke vrednosti izmerjene tudi na Tinjanu: 5 V/m, resnična vrednost pa je lahko tudi višja, saj je 5 V/m zgornja meja občutljivosti dozimetra.

Podatek, ki nakazuje, kateri viri EMS največ pomorejo k celotnemu onesnaževanju z EMS, je povprečna vrednost za posamezno frekvenčno območje. Iz rezultatov v tabeli 2 je razvidno, da je povprečna vrednost EMS zaradi delovanja baznih postaj sistema

GSM na prvem mestu v Ljubljani, Mariboru in Kranju. Čeprav je velikokrat največje izmerjeno EMS zaradi radijskih in TV-oddajnikov podobno veliko kot zaradi baznih postaj GSM, pa je povprečna vrednost zaradi baznih postaj GSM večja. Oddajniki so ponavadi umeščeni le na enem mestu (v Ljubljani na Šancah, na Tinjanu v okolici Kopra, bazne postaje GSM pa so enakomerno razporejene po vsem mestu.

Meritve kažejo, da je na vseh lokacijah vrednost signala UMTS nizka, saj maksimalne vrednosti ne presežejo 0,4 V/m ali manj kot 0,005 odstotka mejne vrednosti za I. območje varstva pred EMS.

Primerjava rezultatov meritev iz manjših naselij in ruralnih območij kaže, da so ti predeli manj izpostavljeni EMS, razen v bližini močnih oddajniških sistemov. Po pričakovanjih najbolj izstopata lokaciji Pečarovci in Tinjan, kjer sta postavljena radijski in TV-oddajnik. Najvišje izmerjene vrednosti tu znašajo več kot 5 V/m. Sicer pa so vrednosti na ruralnih območjih precej nižje kot v mestnih okoljih.

4 Sklep

Meritve kažejo, da je obremenjenost naravnega in življenjskega okolja z EMS skoraj v vseh primerih majhna, saj največje izmerjene vrednosti dosegajo le okrog 3 odstotka mejne vrednosti glede na uredbo o EMS za I. območje varstva pred EMS, kar je skoraj dva razreda pod dopustnimi vrednostmi. Iz rezultatov meritev smo ugotovili, da k povprečni vrednosti celotne sevalne obremenitve največ prispeva signal mobilne telefonije GSM. Izstopata lokaciji Tinjan in Pečarovci, kjer so meritve potekale v neposredni okolici radijskega in TV-oddajnika, kar je po pričakovanju pomenilo zelo visoke vrednosti električne poljske jakosti. Izkazalo se je tudi, da so večja mesta v povprečju bolj obremenjena z EMS kot manjša, najmanj pa so obremenjena ruralna območja.

Najpomembnejše ugotovitve merilne kampanje po slovenskih občinah v letih 2005 in 2006 so:

- bazne postaje na merjenih lokacijah niso pomemben vira EMS, ki bi glede na določila uredbe o EMS čezmerno obremenjeval naravno in življenjsko okolje;
- sevalne obremenitve zaradi baznih postaj na merjenih lokacijah so zelo majhne in v povprečju ne presegajo 0,5 odstotka zakonsko določene mejne vrednosti za I. območje varstva pred sevanji;
- največje sevalne obremenitve, ki smo jih izmerili v okolici baznih postaj na človeku dostopnih lokacijah, ne presegajo 3 odstotkov mejne vrednosti uredbe o EMS za I. območje varstva pred sevanji;
- 24-urna ali tedenska nihanja sevalnih obremenitev zaradi dinamike v prometu v nekaterih primerih lahko precej vplivajo na sevalne obremenitve;
- sevalne obremenitve nimajo neposredne povezave z oddaljenostjo merilnega mesta od bazne postaje, odvisne so predvsem od usmerjenosti ter višine antene nad tlemi, dovedene moči in števila aktivnih kanalov, mehanskega nagiba antene, dobitka (tipa) in sevalnega diagrama antene;
- sevalne obremenitve zaradi baznih postaj so manjše od tistih zaradi mobilnega telefona ali radijskih in TV-oddajnikov ter primerljive z onesnaženostjo urbanega okolja z EMS.

5 Literatura

- [1] E-Smoguard at <http://www.e-smoguard.net>
- [2] Antennesa at <http://www.antennesa.com>
- [3] Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju. Uradni list republike Slovenije, 70, 1996.
- [4] ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics 74:494-522, 1998.
- [5] Council recommendation on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz). Official Journal of the European Communities, L199, 1999.

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

Tomaž Trček je diplomiral na Univerzi v Ljubljani, Fakulteti za elektrotehniko. Njegovo področje dela so presoja vplivov na EMS na okolje in meritve EMS.

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