

MERITVE IN NUMERIČNI IZRAČUNI SEVALNIH OBREMENITEV V OKOLICI BAZNE POSTAJE GSM-R IN RDZ NA OBMOČJU LJUBLJANE-VIŽMARJE

Poročilo o študiji



September 2014

MERITVE IN NUMERIČNI IZRAČUNI SEVALNIH OBREMENITEV V OKOLICI BAZNE POSTAJE GSM-R IN RDZ NA OBMOČJU LJUBLJANE-VIŽMARJE

Poročilo o študiji

Avtorji: dr. Blaž Valič, Tomaž Trček in doc. dr. Peter Gajšek

Izdajatelj: Inštitut za neionizirna sevanj, Pohorskega bataljona 215, 1000 Ljubljana

September 2014

Inštitut za neionizirna sevanja (INIS) je kot neodvisna in nevladna organizacija registrirana za raziskave in razvoj na interdisciplinarnem področju problematike neionizirnih elektromagnetnih sevanj.

V okviru INIS deluje skupina, ki je usposobljena za najzahtevnejše razvojno-raziskovalne naloge s področja tehniškega, administrativnega, pravnega in zdravstvenega nadzora nad neionizirnimi sevanji.

Ker smo mednarodno priznana institucija na področju varstva okolja in varovanja zdravja pred neionizirnimi elektromagnetnimi sevanji, smo s strokovnim kadrom, bogatimi mednarodnimi povezavami in sodobno laboratorijsko opremo vrhunsko usposobljeni, da odgovorimo na vsa vaša vprašanja glede problematike neionizirnih elektromagnetnih sevanj v bivalnem in delovnem okolju.

Inštitut za neionizirna sevanja je s strani Slovenske akreditacije akreditirani organ za izvajanje meritev elektromagnetnih sevanj v frekvenčnem območju od 0 Hz do 40 GHz ter optičnih sevanj v območju od 200 - 3000 nm. Je hkrati tudi pooblaščen izvajanje prvih meritev in obratovalnega monitoringa za vire NF in VF elektromagnetnega sevanja s strani Ministrstva za kmetijstvo in okolje (Pooblastilo št. 35459-1/2014-2).

©Vse pravice pridržane. Noben del te študije ne sme biti reproduciran, shranjen ali z drugimi sredstvi (elektronskim, mehanskim, s fotokopiranjem, skeniranjem) kakorkoli spremenjen brez predhodnega pisnega dovoljenja izdajatelja.

Razmnoževanje poročila brez pisnega dovoljenja INIS, razen v celoti, ni dovoljeno

Inštitut za neionizirna sevanja, Pohorskega bataljona 215, 1000 Ljubljana, Tel: (01) 5682 732, E-mail: info@inis.si

1. Uvod

Da bi celovito ovrednotili sevalne obremenitve zaradi delovanja baznih postaj sistema GSM-R, smo na lokaciji Ljubljana – Vižmarje izvedli meritve elektromagnetnih sevanj (EMS) zaradi delovanja nove bazne postaje sistema GSM-R in obstoječe bazne postaje GSM-R. Da bi podrobneje določili tudi prostorsko porazdelitev električne poljske jakosti, smo izvedli tudi numerične izračune električne poljske jakosti v okolici obravnavanih virov.

2. Merilne metode in merilna oprema

Meritve so bile osredotočene na določitev največje vrednosti električne poljske jakosti na človeku dostopnih mestih na lokacijah, kjer so pričakovane sevalne obremenitve največje. Iz tehnične dokumentacije, ki jo je predložil naročnik, ter situacije na terenu so bila na samem terenu določena ustrežna merilna mesta. Pri izboru merilnih mest smo upoštevali določila Pravilnika o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu za vire elektromagnetnega sevanja (UL RS 70/96) in druge pomembne kriterije, kot so oddajna moč in frekvenca, sektor oziroma azimut, ki ga pokriva posamezna antena, sevalni diagram antene, namembnost in dostopnost lokacije človeku, območje varstva pred EMS in drugi pomembni viri EMS. Na izbranih merilnih mestih so bile meritve izvedene na višini 1 m nad tlemi.

2.1. Selektivne meritve baznih postaj

Če širokopasovne vrednosti na posameznem merilnem mestu presegajo vrednosti gostote pretoka moči 10 mW/m^2 oziroma temu ekvivalentne električne poljske jakosti $1,9 \text{ V/m}$, je skladno z zahtevami standarda SIST EN 50492: 2009 potrebno izvesti selektivne meritve, sicer pa se lahko opravijo samo širokopasovne meritve. Za selektivne meritve obravnavanega vira, ki podajajo izmerjene vrednosti nosilnih signalov, se skladno z zahtevami standardov SIST EN 50492: 2009 in EN 50492:A1 2014 izračunajo tudi ekstrapolirane vrednosti, s čemer je pokazana največja možna obremenjenost merilnega mesta z EMS v primeru, ko je bazna postaja polno zasedena in deluje s polno oddajno močjo.

Merilni postopek je podrobneje določen v internem dokumentu V4001.

2.2. Merilna negotovost

Pri določanju razširjene merilne negotovosti, ki vpliva na točnost meritev, smo upoštevali vse pomembne vplivne veličine. Merilna negotovost uporabljene merilne opreme je podana v T 1.

T 1: Podatki o uporabljeni merilni opremi, kalibraciji in razširjena merilna negotovost.

Zap. številka	Oznaka	Opis (ime in proizvajalec)	Datum kalibracije	Kalibracija veljavna do	Razširjena merilna negotovost
1	MI 05-003 MI 08-005	Spektralni analizator Narda SRM 3006 3D antena Narda 3501	18.09.2012	18.09.2014	$\pm 2,9 \text{ dB}$

3. Predstavitev vira

Antene bazne postaje sistema GSM-R 900 in RDZ so nameščene na antenskem stolpu. Višina anten nad tlemi je 30 m oziroma 20 m.

T 2: Tehnični podatki o obravnavanem viru.

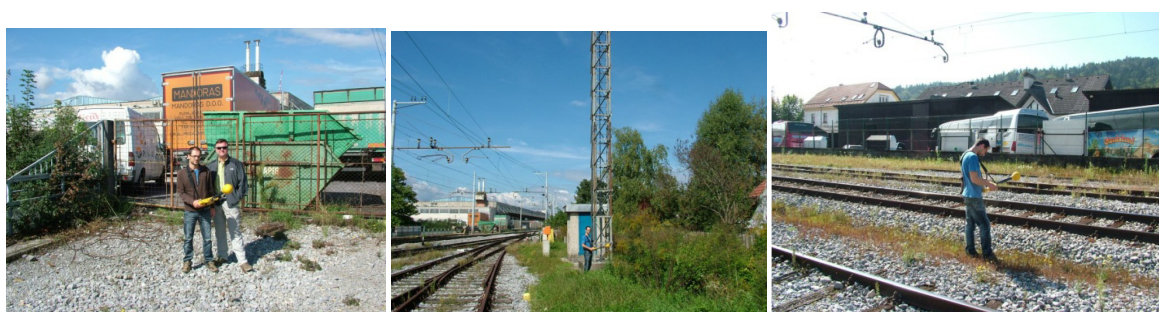
VIRI						
Celice	BCCH kanal	Frekvenca [MHz]	Tip antene	Azimut	število TRU	P_{max}/TRU
GSM-R 1	960	922,2	K80010643 K80010203v2	135 320	1	60 W
RDZ 1		468	K723027 K733027	145 320	1	6 W

4. Rezultati meritev

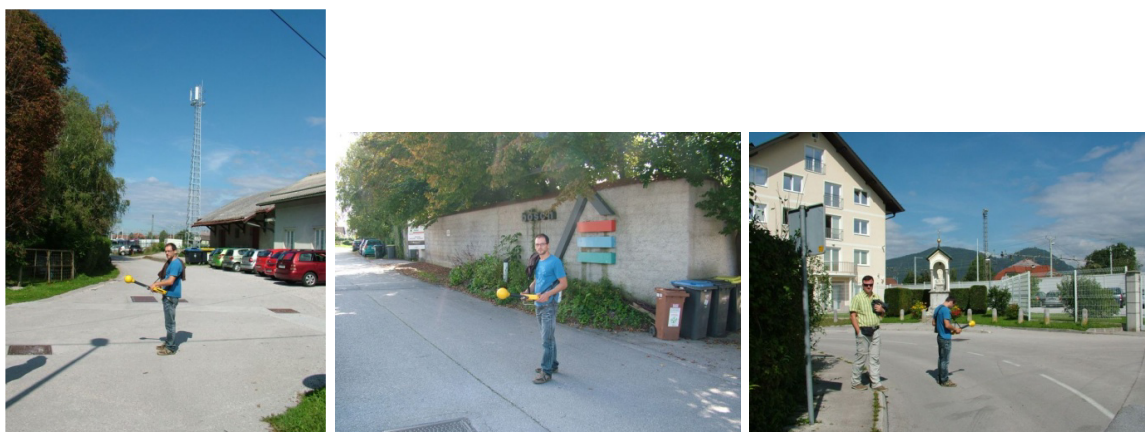
Datum in čas: 15-15-2014, 11:00-12:10.

Temperatura zraka v času meritev: 20°C.

Relativna vlažnost v času meritev: 60 %.



S 1: Fotografija merilnega mesta 1 (levo), 2 (sredina) in 3 (desno).



S 2: Fotografija merilnega mesta 4 (levo), 5 (sredina) in 6 (desno).



S 3: Pogled situacije obravnavanih virov (BP - bazna postaja GSM-R, R - bazna postaja RDZ) in merilnih mest (1-6).

T 3: Seznam merilnih mest.

Merilno mesto	Koordinate (y, x)	Razdalja ob bazne postaje GSM-R / Lokacija - naslov
1	458748, 106611	235 m / na koncu nadvoza
2	458806, 106588	178 m / 2m od starega stolpa
3	458856, 106525	98 m / na sredini med stolpoma
4	458948, 106387	67 m / na križišču
5	458887, 106449	25 m / na cesti pred Arkova 15
6	458808, 106504	120 m / na križišču

T 4: Uporabljeni standardi za meritve.

Zap. številka	Številka standarda	Ime standarda
I.	IEEE Std. C95.3: 1991	IEEE Recommended Practice for the Measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields - RF and Microwave
II.	SIST EN 50492: 2009	Osnovni standard za terensko merjenje jakosti elektromagnetnega polja v zvezi z izpostavljenostjo ljudi v okolici baznih postaj

Rezultati selektivnih meritev so podani v T 5.

T 5: Rezultati selektivnih meritev obravnavanega vira na posameznih merilnih mestih. Podane so izmerjene vrednosti električne poljske jakosti nosilnega kanala E_{max} , kolikor znašajo najvišje možne sevalne obremenitve v primeru delovanja z največjo močjo.

Merilno mesto	1	2	3	4	5	6
Celice	E_{Max} [V/m]	E_{Max} [V/m]	E_{Max} [V/m]	E_{Max} [V/m]	E_{Max} [V/m]	E_{Max} [V/m]
GSM-R 1 ^(1; I, II)	0,75	0,34	0,62	0,16	0,80	0,55
RDZ	0,51	0,33	0,59	0,24	0,13	0,11

- oznaka ^(x; y) se nanaša na uporabljeno merilno opremo x iz T 1 ter na uporabljeni standard y iz T 4

5. Skladnost z mejnimi vrednostmi

Mejne vrednosti dopustne izpostavljenosti EMS so določene v Uredbi o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju (UL RS 70/96), kjer je prav tako opredeljeno, katera območja sodijo v I. območje varstva pred sevanji in katera v II. območje.

T 6: Mejne vrednosti za posamezno frekvenčno območje glede na Uredbo o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju (UL RS 70/96).

nosilna frekvenca (MHz)	mejna vrednost električne poljske jakosti (V/m)		mejna vrednost gostote pretoka moči (W/m ²)	
	I.območje	II.območje	I.območje	II.območje
87 – 108 (FM)	8,60	27,50	0,20	2,00
174 – 223 (TV VHF)	8,60	27,50	0,20	2,00
380 – 470 (Zveze)	8,60-9,32	27,50-29,70	0,20-0,24	2,00-2,35
470 – 830 (TV UHF)	9,32-12,39	29,70-39,47	0,24-0,42	2,35-4,15
920 – 956 (GSM, UMTS)	13,04-13,30	41,55-42,36	0,46-0,48	4,60-4,78
1805 – 1850 (DCS, LTE)	18,27-18,49	58,20-58,93	0,90-0,93	9,03-9,25
1880 – 1900 (DECT)	18,64-18,74	59,40-59,72	0,94-0,95	9,40-9,50
2110 – 2170 (UMTS)	19,00	61,40	1,00	10,00
2400 – 2484 (WiFi)	19,00	61,40	1,00	10,00

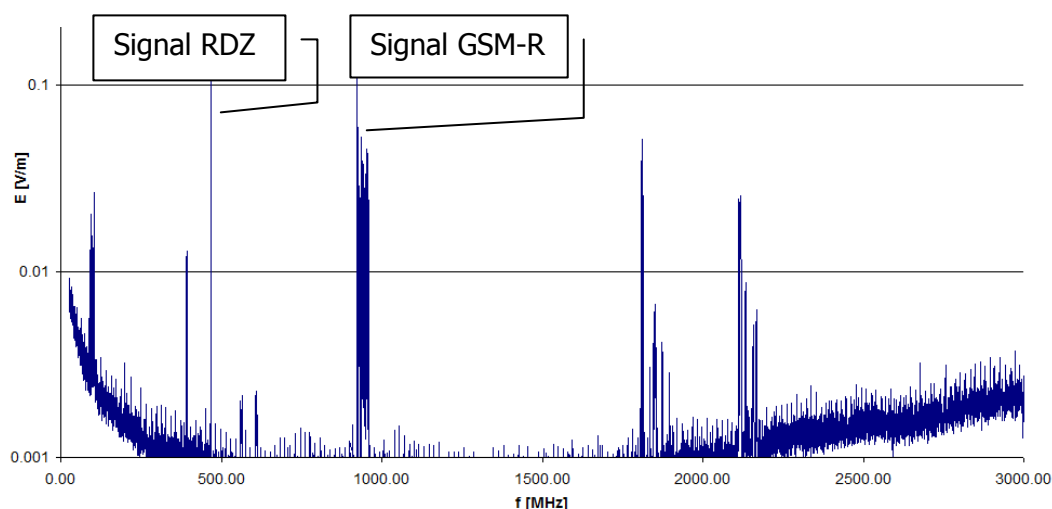
Sevalne obremenitve zaradi delovanja obravnavanega vira so podane v T 7. Določajo se na podlagi enačb iz Priloge 2 Uredbe o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju (UL RS 70/96).

T 7: Sevalne obremenitve zaradi delovanja obravnavanega vira GSM-R in RDZ na posameznih merilnih mestih glede na mejne vrednosti za I. območje. Upoštevan je primer polno zasedenega delovanja bazne postaje ko vir najbolj obremenjuje okolje.

Merilno mesto	1	2	3	4	5	6
GSM-R 1	0,0032	0,0007	0,0022	0,0002	0,0037	0,0018
RDZ	0,0030	0,0110	0,0040	0,0010	0,0005	0,0002

Glede na določila Uredbe o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju (UL RS 70/96) so sevalne obremenitve čezmerne, če vsota vseh prispevkov na posameznem merilnem mestu presega vrednost 1.

Na sliki S4 je prikazana spektralna analiza vseh visokofrekvenčnih EMS na merilnem mestu 4.



S 4: Prikaz spektralne analize jakosti signalov - električne poljske jakosti na merilnem mestu 4. Razvidno je, da RDZ presega vrednosti signalov GSM-R. Ostali signali so velikostni razred nižji.

6. NUMERIČNI IZRAČUNI SEVALNIH OBREMENITEV

6.1. Bazna postaja GSM-R

Tehnični podatki o obravnavanem viru so bili posredovani s stani investitorja oziroma naročnika, in se nahajajo v tabeli T8 in T9. Antene so nameščene na antenskem stolpu.

Gauss-Krugerjeve koordinate obravnavanega vira (y, x): 458911, 106450.

Nadmorska višina: 316 m.

T 8: Tehnični podatki o obravnavanem viru.

Celica	Frekvenca [MHz]	Tip antene	Azimut [°]	Naklon [°]	Višina [m]	Št. TRU	P_{max} / TRU [W]
GSM-R 1	947	K80010643	135	0	30	1	15
GSM-R 2	947	K80010203v2	320	0	30	1	45

T 9: Skupno slabljenje ter izsevna moč.

Celica	Skupno slabljenje v kablji, konektorjih in razdruževalniku [dB]	P_{max} [W]
GSM-R 1	1,00	11,9
GSM-R 2	1,00	35,7

T 10: Podatki o slabljenju uporabljenih kablov pri impedanci 50 Ω.

Frekvenca [MHz]	slabljenje koaksialnega kabla [dB / 100 m]		
	AVA7-50 (1 5/8")	VXL5-50 (7/8")	1/2"
950	2,2	4,3	11
1800	3,1	6,2	17
2150	3,4	6,9	18

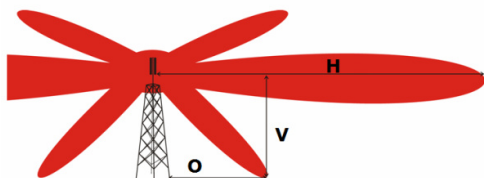
T 11: Tehnični podatki o uporabljenih antenah (4).

Antene	K 800-10643	K 800-10203v2
dobitek (G)		
900 MHz	20,8 dBi	16,9 dBi
1800 MHz		
2150 MHz		
impedanca	50 ohm	50 ohm
polarizacija	X	X
višina odprtine antene (L)	2,254 m	1,934 m
horizontala širina snopa (-3dB)		
900 MHz	30°	65°
1800 MHz		
2150 MHz		
vertikala širina snopa (-3dB)		
900 MHz	7,4°	8,9°
1800 MHz		
2150 MHz		

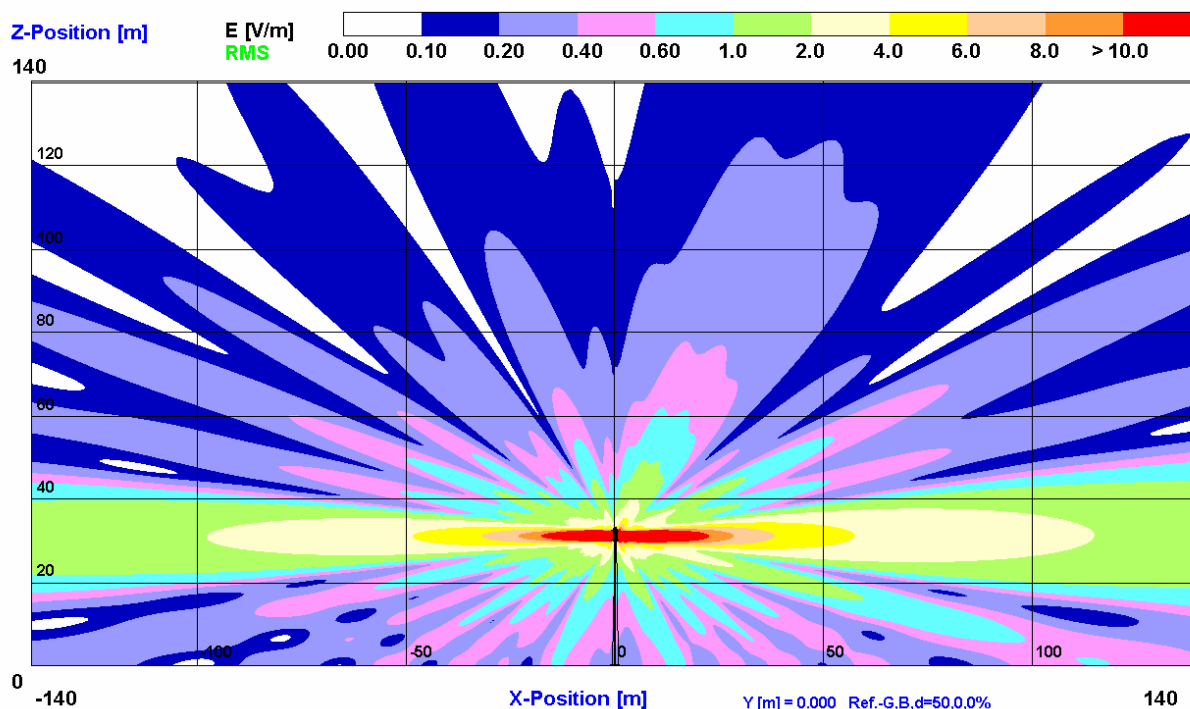
Računski postopek, ki obravnava najslabši možni primer v smislu največjih sevalnih obremenitev je pokazal, da že sorazmerno majhen odklon iz glavnega snopa antene pomeni veliko zmanjšanje sevalnih obremenitev. V neposredni bližini anten obravnavanega vira lahko sevalne obremenitve v glavnem snopu sevalne karakteristike antene presežejo mejne vrednosti. Oddaljenost od antene, na kateri so lahko mejne vrednosti glede na uredbo za I. območje presežene, je odvisna od sevalne moči v določen prostorski kot, vrste antene ter drugih faktorjev. To območje je predstavljeno v tabeli T12.

Območje, kjer lahko v najbolj neugodnem primeru (polna obremenitev) antenskega sistema pričakujemo čezmerne sevalne obremenitve, je različno za vsako konfiguracijo posebej. Potrebno je poudariti, da je to samo v tisti smeri, kamor je usmerjen glavni snop sevalnega diagrama antene. Zaradi svojega sevalnega diagrama usmerjene sektorske antene oddajajo v druge smeri prostora s svojega zadnjega, vrhnjega, spodnjega ali stranskega dela več kot stokrat nižje jakosti elektromagnetnih signalov, kar je razvidno tudi iz slik v nadaljevanju.

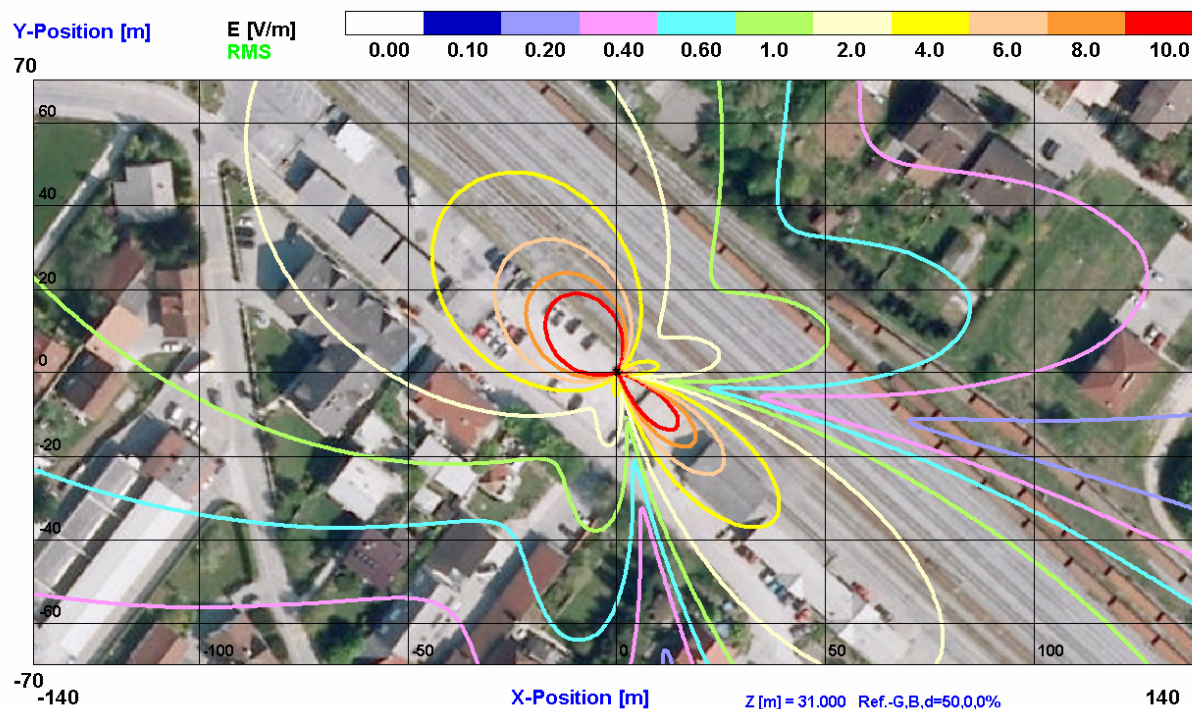
T 12: Vplivno območje - največji horizontalni in vertikalni odmiki ob upoštevanju sevalne obremenitve zaradi delovanja bazne postaje.



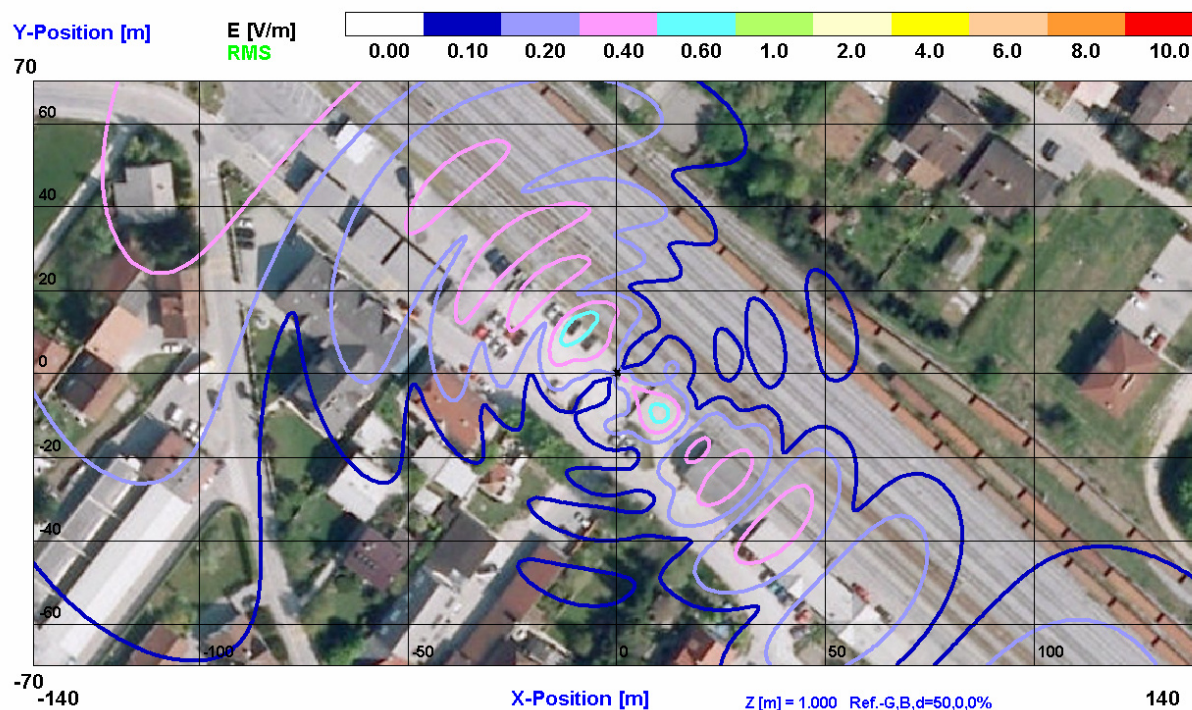
Sektorji	135°	320°
Horizontalni odmik H v višini anten	13,0 m	16,3 m
Horizontalni odmik O na višini 1 m	0 m	0 m
Vertikalni odmik V	0,4 m	0,5 m



S 5: Vertikalni prerez električnega polja v ravnini, ki poteka skozi središče antene z azimutom 320°. Vrednosti električnega polja so prikazane v enotah V/m.



S 6: Horizontalni prezek električnega polja v ravnini, ki poteka skozi središče anten (višina 31 m). Vrednosti električnega polja so prikazane v enotah V/m.



S 7: Horizontalni prezek električnega polja v ravnini 1 meter nad tlemi. Vrednosti električnega polja so prikazane v enotah V/m.

6.2. Bazna postaja analognega sistema RDZ 470

Tehnični podatki o obravnavanem viru so bili posredovani s stani investitorja oziroma naročnika, in se nahajajo v tabeli T13 in T14. Antene so nameščene na antenskem stolpu.

Gauss-Krugerjeve koordinate obravnavanega vira (y, x): 458806, 106587.

Nadmorska višina: 316 m.

T 13: Tehnični podatki o obravnavanem viru.

Celica	Frekvenca [MHz]	Tip antene	Azimut [°]	Naklon [°]	Višina [m]	Št. TRU	P_{max} / TRU [W]
RDZ 1	468	K723027	145	0	20	1	6
RDZ 2	468	K733027	320	0	20	1	6

T 14: Skupno slabljenje ter izsevana moč.

Celica	Skupno slabljenje v kabljih, konektorjih in razdruževalniku [dB]	P_{max} [W]
RDZ 1	0,00	6,0
RDZ 2	0,00	6,0

T 15: Podatki o slabljenju uporabljenih kablov pri impedanci 50 Ω.

Frekvenca [MHz]	slabljenje koaksialnega kabla [dB / 100 m]		
	AVA7-50 (1 5/8")	VXL5-50 (7/8")	1/2"
950	2,2	4,3	11
1800	3,1	6,2	17
2150	3,4	6,9	18

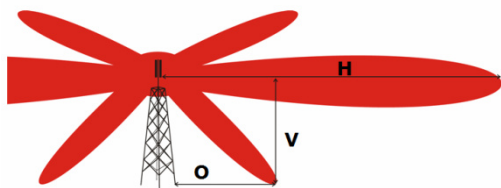
T 16: Tehnični podatki o uporabljenih antenah (4).

Antene	K 723027	K 733027
dobitek (G) 470 MHz	12,5 dBi	11,7 dBi
Impedanca	50 ohm	50 ohm
polarizacija	H	V
višina odprtine antene (L)	0,492 m	0,850 m
horizontala širina snopa (-3dB) 470 MHz	65°	65°
vertikala širina snopa (-3dB) 470 MHz	36°	36°

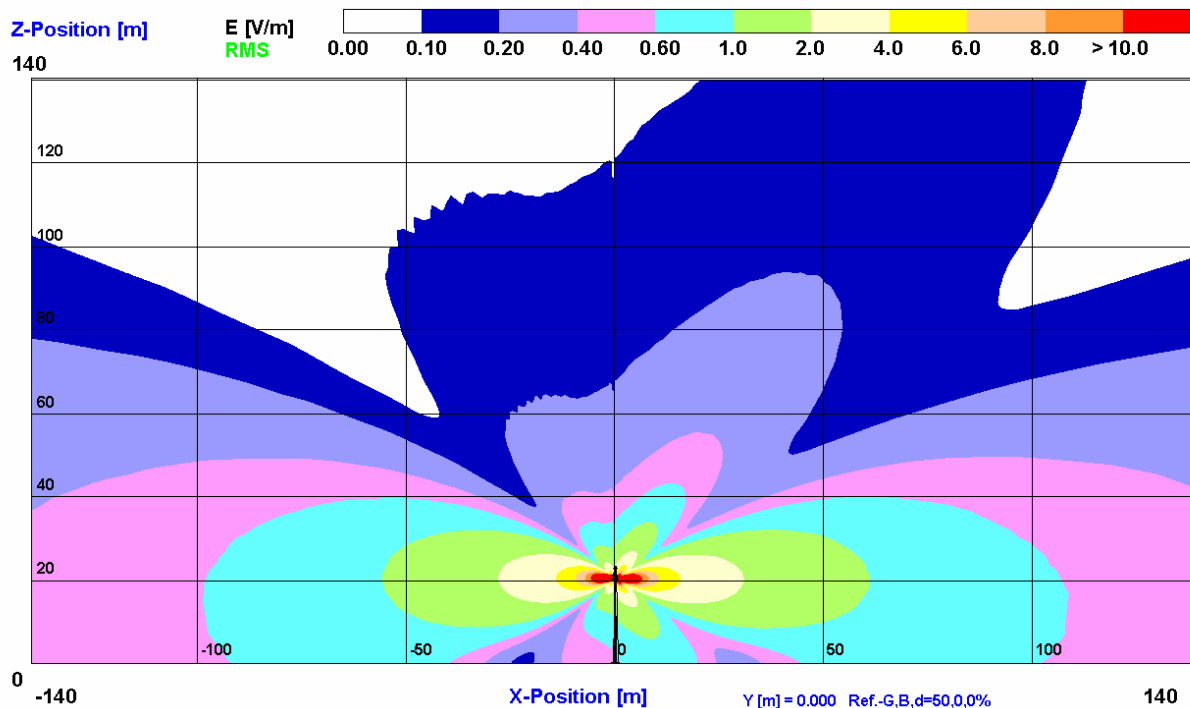
Računski postopek, ki obravnava najslabši možni primer v smislu največjih sevalnih obremenitev je pokazal, da že sorazmerno majhen odklon iz glavnega snopa antene pomeni veliko zmanjšanje sevalnih obremenitev. V neposredni bližini anten obravnavanega vira lahko sevalne obremenitve v glavnem snopu sevalne karakteristike antene presežejo mejne vrednosti. Oddaljenost od antene, na kateri so lahko mejne vrednosti glede na uredbo za I. območje presežene, je odvisna od sevalne moči v določen prostorski kot, vrste antene ter drugih faktorjev. To območje je predstavljeno v tabeli T17.

Območje, kjer lahko v najbolj neugodnem primeru (polna obremenitev) antenskega sistema pričakujemo čezmerne sevalne obremenitve, je različno za vsako konfiguracijo posebej. Potrebno je poudariti, da je to samo v tisti smeri, kamor je usmerjen glavni snop sevalnega diagrama antene. Zaradi svojega sevalnega diagrama usmerjene sektorske antene oddajajo v druge smeri prostora s svojega zadnjega, vrhnjega, spodnjega ali stranskega dela več kot stokrat nižje jakosti elektromagnetnih signalov, kar je razvidno tudi iz slik v nadaljevanju.

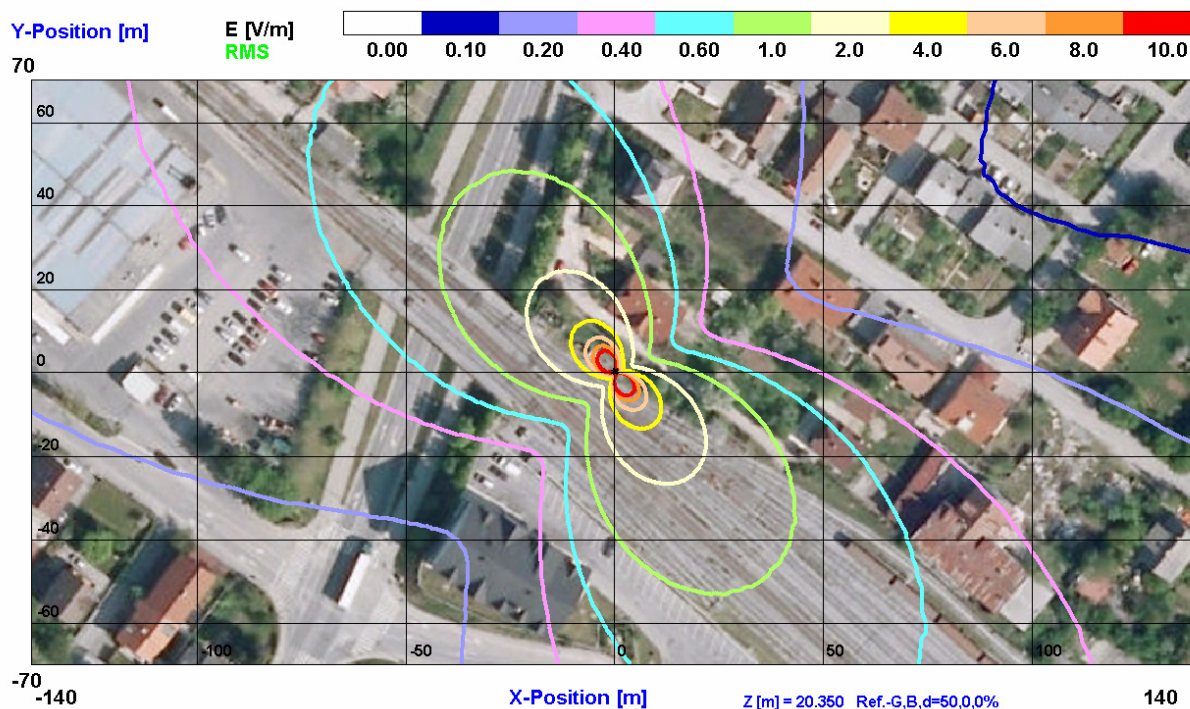
T 17: Vplivno območje - največji horizontalni in vertikalni odmiki ob upoštevanju sevalne obremenitve zaradi delovanja bazne postaje.



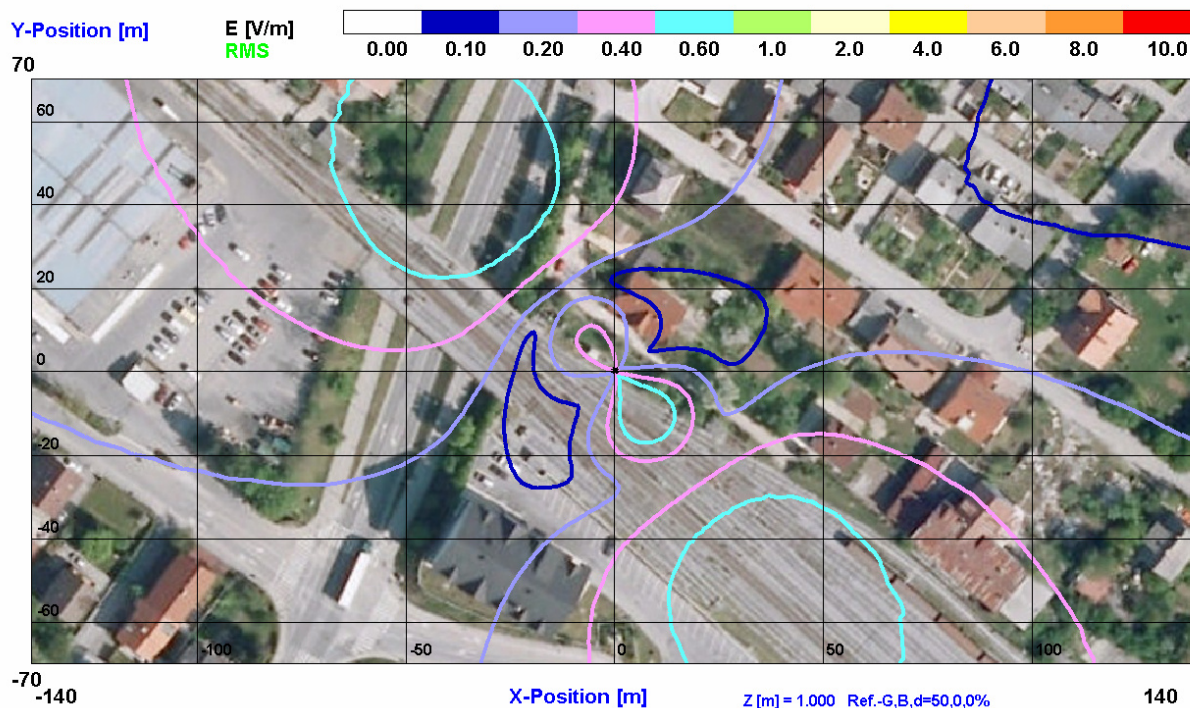
Sektorji	145°	320°
Horizontalni odmik H v višini anten	6,5 m	6,1 m
Horizontalni odmik O na višini 1 m	0 m	0 m
Vertikalni odmik V	1,3 m	1,0 m



S 8: Vertikalni prerez električnega polja v ravnini, ki poteka skozi središče antene z azimutom 145°. Vrednosti električnega polja so prikazane v enotah V/m.



S 9: Horizontalni prezek električnega polja v ravnini, ki poteka skozi središče anten (višina 20,3 m). Vrednosti električnega polja so prikazane v enotah V/m.



S 10: Horizontalni prezek električnega polja v ravnini 1 meter nad tlemi. Vrednosti električnega polja so prikazane v enotah V/m

7. ZAKLJUČEK

Študija o meritvah in numeričnih izračunih sevalnih obremenitev v okolici bazne postaje GSM-R in RDZ je bila izvedena na območju Ljubljane-Višmarje med poskusnim delovanjem nove bazne postaje sistema GSM-R.

Iz rezultatov meritev je razvidno, da so sevalne obremenitve na vseh merilnih mestih zaradi delovanja tako nove bazne postaje GSM-R kot tudi obstoječe bazne postaje RDZ pod mejnimi vrednostmi, ki jih določa Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju (UL RS 70/96) za vire elektromagnetnih sevanj na I. območju. Sevalne obremenitve na vseh merilnih mestih zaradi delovanja bazne postaje GSM-R dosegajo največ do 0,37 odstotka mejnih vrednosti glede na I. območje varstva pred EMS, medtem ko za bazno postajo RDZ dosegajo do 1,1 odstotka.

Sevalne obremenitve analognega sistema RDZ kot novega digitalnega sistema GSM-R so na vseh merilnih mestih primerljive vendar zelo krajevno spremenljive, saj na jakost polja vplivajo številne tehnične lastnosti obeh oddajnih sistemov in prostorski dejavniki, kot so okoliške stavbe in drugo. Oddajna vira sta namreč nameščena na različnih lokacijah in višinah, oddajata na različnih frekvencah in z različno močjo, uporabljene so drugačne antene, ki so tudi različno usmerjene.

Kljub temu lahko zaključimo, da se obstoječe sevalne obremenitve na območjih, kjer se analogni sistem RDZ nadomešča z novim digitalnim sistemom GSM-R, v povprečju ne bodo bistveno spremenile. Na nekaterih mestih se bodo nekoliko povečale, na nekaterih mestih pa nekoliko zmanjšale, so pa tako sedaj kot tudi po uvedbi novega sistema GSM-R znatno nižje od mejnih vrednosti glede na I. območje varstva pred EMS.

Izmerjene vrednosti se dobro ujemajo tudi z numeričnimi izračuni in so znotraj območja razširjene merilne negotovosti uporabljenih metod.

Omenjeno poročilo velja samo za konfiguracijo obravnavanega vira, ki je navedena v tem poročilu. V primeru, da se spremeni katerakoli komponenta konfiguracije obravnavanega vira, je potrebno meritve EMS ter poročilo o meritvah izdelati na novo.