

# Študija izvedljivosti izdelave zemljevida obremenjenosti okolja z visokofrekvenčnimi elektromagnetnimi sevanji

Tomaž Trček<sup>1</sup>, Blaž Valič<sup>1,2</sup>, Peter Gajšek<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Inštitut za neionizirna sevanja, Pohorskega bataljona 215, Ljubljana

<sup>2</sup> Genera, Podmilščakova 18, Ljubljana

E-pošta: tomaz.trcek@inis.si

## Feasibility study of preparing the environmental exposure map of the electromagnetic fields

To give the people opportunity to gather the information about their exposure to EMF, an environmental map of the EMF would be useful. When preparing the map, the needed data could be gathered either by measurements or numerical calculations. We estimated it would be more suitable to use numerical calculations, since it is nearly impossible to measure EMF in enough different points. In the study, the available geographical data were analyzed, such as relief and the cadastre of the buildings and custom algorithms were prepared to transform them to the format needed for the program package for numerical calculation. The calculations take into consideration technical data of the sources, relief and buildings. Calculations were done for area size of 2000 m x 1750 m with 10 base stations in the city of Ljubljana. The results were represents as electric field strength at the height of 1 m above ground level and at the average height of antenna. The greatest difficulty when preparing the map is lack of the technical data of the EMF sources, however we met also the limitations of software too, especially considering the total number of the buildings.

### 1 Uvod

Tehnološki napredek v najširšem pomenu je bil v svetu zmeraj povezan z različnimi oblikami nevarnosti in tveganji – tako namišljenih, kot dejanskih. Industrijska, komercialna in domača uporaba izdelkov, ki povzročajo elektromagnetna sevanja (EMS), ni nobena izjema. Ljudje so zaskrbljeni, saj menijo, da izpostavljenost EMS iz različnih virov (visokonapetostni daljnovidni, radarji, mobilni telefoni, bazne postaje in gospodinjski aparati...) lahko predstavlja zdravstveno tveganje, še posebno pri otrocih. Dejstvo je, da se jakost umetno ustvarjenih sevanj v primerjavi z naravnimi sevanji povečuje. Ljudje so v vsakodnevnem življenju in delu množično izpostavljeni najrazličnejšim kombinacijam EMS. Glede na množično izpostavljenost bi lahko že majhni škodljivi učinki na zdravje povzročili velik javno-zdravstveni problem.

Ljudje nimamo čutil za zaznavo EMS v spektru radijskih frekvenc in ga zaznamo kot termični učinek šele, ko je to zelo močno. V okolju smo zato lahko

izpostavljeni velikim jakostim EMS, ki ima škodljive učinke za naše zdravje pa tega ne vemo. Najprimernejši način za vrednotenje posameznikove izpostavljenosti EMS v okolju so zato meritve EMS z osebnim merilcem EMS – dozimetrom, ki ga izbrana oseba nosi s seboj. Žal je takšen način določanja izpostavljenosti EMS za večino ljudi neuporaben, saj ne posedujejo potrebnega osebnega merilca EMS. V omejenem obsegu ga sicer izposojamo na Inštitutu za neionizirna sevanja.

Za javnost bi bilo zato zelo dobrodošlo, da bi obstajal register obremenjenosti okolja z EMS, iz katerega bi bilo možno za vsako lokacijo odčitati vrednosti EMS. Nekaj podobnega smo na Inštitutu za neionizirna sevanja v preteklosti že naredili v okviru posnetka ozadja obremenjenosti okolja z EMS, kjer smo za nekaj večjih slovenskih mest na podlagi meritev izdelali zemljevid s preko 12 tisoč merilnimi točkami z vrednostmi o obremenjenosti okolja z EMS. Rezultati teh meritev so dostopni na spletni strani Agencije RS za okolje v sklopu aplikacije Atlas okolja [1].

Slabost izdelave zemljevida s pomočjo meritev je obsežnost in zahtevnost izvedbe takšnih meritev za doseganje ustrezne natančnosti. Meritve se namreč izvaja točkovno, zato je za dovolj natančno sliko obremenjenosti okolja potrebno izvesti veliko število meritev. Enostavnejši pristop bi bil izdelava zemljevida obremenjenosti na osnovi numeričnega izračuna. Numerični izračuni omogočajo dovolj natančen izračun, ki pa ni krajevno omejen tako kot rezultati meritev. Vendar je za ustrezno natančnost potrebo upoštevati tako tehnične podatke vira kot tudi prostorske podatke o reliefu in stavbah. V raziskavi smo želeli preveriti, kakšni podatki ter v kakšni obliki so dostopni, izdelati ustrezne algoritme za pretvorbo podatkov v obliko, primerno za branje s programom za izračun polj v prostoru, ter opraviti testni izračun za manjše področje velikosti približno 2 x 2 km.

### 2 Opis modela

#### 2.1 Numerični izračun

Numerično modeliranje in izračune EMS smo opravili s programskim paketom Narda EFC-400EP Electric and Magnetic Field Calculation, ki sevalne obremenitve izračuna v skladu s slovenskim standardom SIST EN 50383 [2]. Omenjeni standard jasno določa, na kakšen način se izračunava gostota pretoka moči v bližnjem in daljnem polju antene bazne postaje.

Daljno polje je polje, ki se nahaja v oddaljenosti  $R = 2D^2/\lambda$  in več od vira, kjer je  $D$  največja dimenzija vira in  $\lambda$  valovna dolžina vira. Bližnje polje pa dodatno delimo na dve območji, in sicer na sevalno bližnje polje, ki je bolj podobno planemu valu, vendar v tem območju električno in magnetno polje nista sorazmerna ter se fazno ne ujemata, ter na reaktivno (kapacitivno ali induktivno) bližnje polje. Meja med obema bližnjima poljema je na razdalji  $R = \lambda/4$ . Zaradi visokih frekvenc sistemov mobilne telefonije je območje bližnjega reaktivnega polja zelo majhno, saj je  $R$  vedno manjši od 0,1 m. Meja med bližnjim in daljnim poljem je večja in znaša za velike oddajne antene ( $D = 2$  m) do 55 m.

Daljno, sevano polje programski paket računa s pomočjo gostote pretoka moči – s tako imenovano »ray tracing« metodo. Gostota pretoka moči v poljubni točki prostora je določena na podlagi naslednje enačbe:

$$S = \sum_{\text{vseh virov}} \left( S_{\text{direktno}} - \sum_{\text{stavb}} S_{\text{zaslonjeno}} + \sum_{\text{vidnih zidov}} S_{\text{odbojev}} + \sum_{\text{stavb}} S_{\text{difuzije}} + \sum_{\text{robov}} S_{\text{uklonjena}} \right)$$

Kot je iz enačbe razvidno, se pri izračunu gostote pretoka moči upoštevajo prispevki tako zaradi neposrednega nemotenega sevanja vsakega vira ( $S_{\text{direktno}}$ ), zmanjšanje gostote pretoka moči zaradi stavb, ki se nahajajo neposredno med virom elektromagnetnega sevanja in točko, kjer gostoto pretoka računamo ( $S_{\text{zaslonjeno}}$ ), odboje sevanja na stavbah in tleh ( $S_{\text{odbojev}}$ ), difuzijsko sevanje stavb ( $S_{\text{difuzije}}$ ) in prispevek zaradi uklona sevanja na robovih stavb ( $S_{\text{uklonjena}}$ ). Pri računanju bližnjega polja programski paket uporablja segmentacijsko metodo oziroma sintetični model. Rezultat izračunov je grafično prikazan kot jakost polja ali gostota pretoka moči, lahko pa je prikazan tudi v odstotkih mejne vrednosti različnih standardov.

## 2.2 Vhodni podatki

Pri izračunu EMS v okolju je za ustrezno natančnost potrebno v izračun vključiti večje število različnih podatkov. Podatke lahko razvrstimo v dve skupini, in sicer na tehnične podatke o virih sevanja in prostorske (geografske ter geodetske) podatke o lokaciji. Tehnični podatki zajemajo predvsem oddajne moči, frekvence, karakteristike ter višine in usmerjenosti anten. Geografski podatki pa zajemajo relief (model višin), geodetski pa objekte, ki so prisotni na terenu. S prostorskimi podatki razpolaga Geodetska uprava RS in so zbrani v digitalnem modelu višin (relief) ter v grafični in opisni obliki v katastru stavb. Vendar je za izračune v programskem paketu Narda EFC-400TC potrebno podatke pretvoriti v ustrezno obliko, ki jo programski paket lahko prebere. Relief je iz formata digitalnega modela višin potrebno le pretvoriti v ustrezno drugo obliko, pri pripravi podatkov o stavbah pa je potrebno iz več opisnih in grafičnih datotek pridobiti ustrezne podatke, jih združiti ter preoblikovati in zapisati v tekstovne datoteke v ustrezni obliki.

Ustrezni algoritmi za pretvorbo podatkov so bili napisani v prosto dostopnem paketu za obdelavo podatkov SCILAB. S tem je bil zasnovan avtomatski sistem, ki bo tudi v prihodnje omogočal branje prostorskih podatkov v večjem obsegu ter njihovo pretvorbo v ustrezno obliko, kar je nujno pri izdelavi zemljevida obremenjenosti z EMS za večje območje.

Medtem ko so prostorski podatki zbrani in dostopni (sicer nekateri niso ažurni, npr. kataster stavb), je pridobitev tehničnih podatkov o virih EMS bistveno zahtevnejša, saj uporabne oziroma dostopne baze ali registra teh podatkov ni. Z določenimi podatki sicer razpolaga Agencija za pošto in elektronske komunikacije Republike Slovenije, vendar niso prosto dostopni, manjši del podatkov pa je dostopen na straneh Agencije RS za okolje v okviru spletne aplikacije Atlas okolja [1], kjer so dostopni podatki o koordinatah ter vrsti vira, sistemu in oddajni moči. Vendar ti podatki ne zadostujejo za potrebe izračuna, zato smo manjkajoče oziroma nepopolne podatke dopolnili z najbolj tipičnimi podatki za vire EMS, saj smo v prvi raziskavi želeli le preveriti, kakšno so možnosti izvedbe zemljevida obremenjenosti okolja z EMS in s kakšnimi težavami se pri tem soočimo.

Numerični izračun smo opravili za del Ljubljane v bližini Brda za področje velikosti 2000 m x 1750 m v območju z Gauss-Krueger koordinatami  $y=457250$  do  $y=459250$  in  $x=100250$  do  $x=102000$ , kjer se nahaja skoraj 2200 objektov. Na območju je nameščenih 10 baznih postaj na štirih lokacijah. Od tega šest baznih postaj sistema GSM 900, ena bazna postaja sistema GSM 1800 in tri bazne postaje sistema UMTS. Ker ena bazna postaja v večini primerov tvori 3 celice, je bila tudi v izračunu uporabljena takšna konfiguracija in sicer za vsako bazno postajo 3 antene z azimuti  $0^\circ$ ,  $120^\circ$  in  $240^\circ$ . Za naklon anten je bila vzeta vrednost  $-2^\circ$  (navzdol), za sevalni diagram antene pa je bil uporabljen sevalni diagram antene Kathrein 742265 [3]. To je tipična antena za bazne postaje mobilne telefonije in i jo pogosto uporabljajo slovenski mobilni operaterji. Primerna je tako za sistem GSM 900, GSM 1800 in UMTS. Dobitek antene znaša 16 dBi, širina horizontalnega snopa  $65^\circ$  in širina vertikalnega snopa  $10^\circ$  za sistem GSM 900, za sistem GSM 1800 znaša dobitok 17,8 dBi, širina horizontalnega snopa  $66^\circ$  in vertikalnega snopa  $5,2^\circ$  ter za sistem UMTS dobitok 18,3 dBi, širina horizontalnega snopa  $63^\circ$  in vertikalnega snopa  $4,7^\circ$ . Za oddajno moč so bile izbrane tipične oddajne moči v realnih situacijah in sicer 40 ali 60 W za sistem GSM 900, 40 W za sistem GSM 1800 in 20 W za sistem UMTS.

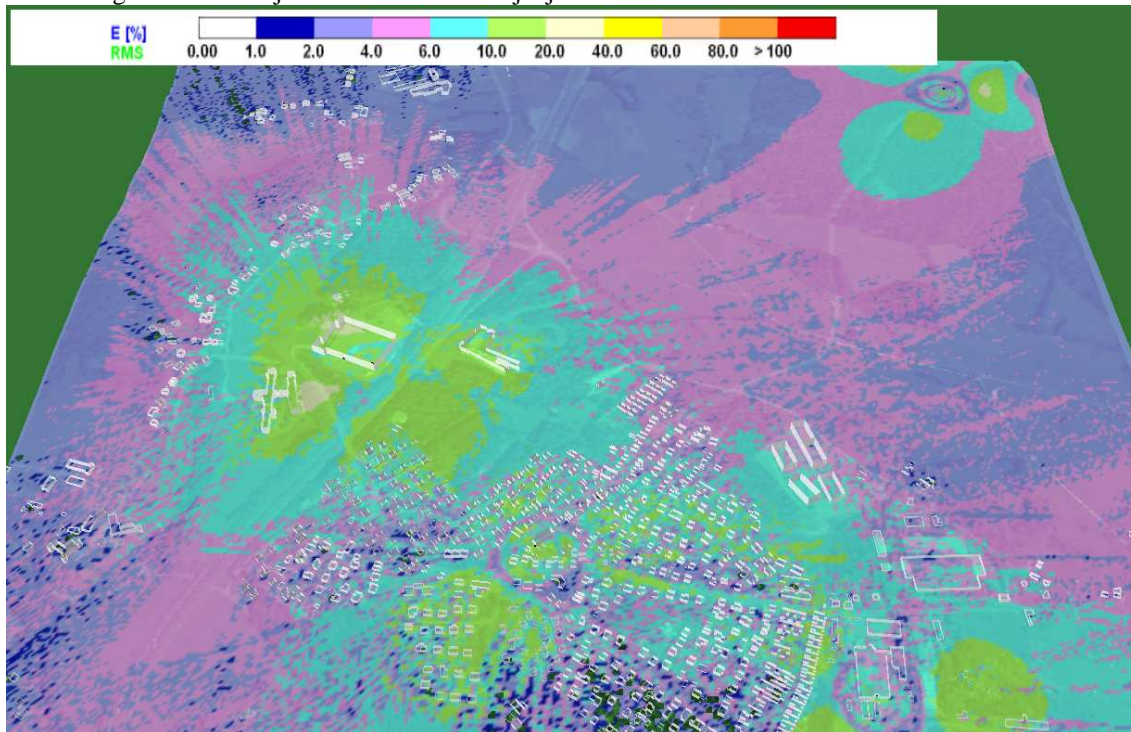
Izračun je bil opravljen v dveh horizontalnih ravninah in sicer v ravnini 1 m nad tlemi in v ravnini skozi središče anten na višini 16 m nad tlemi.

## 2.3 Rezultati izračuna

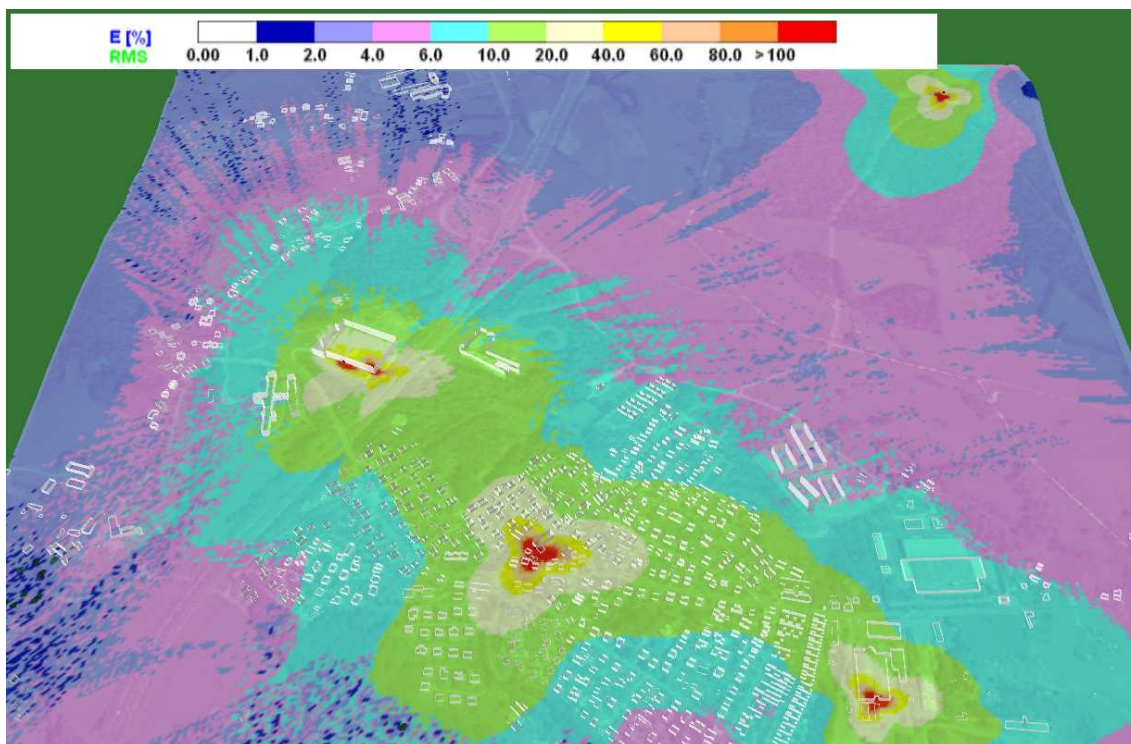
S študijo smo želeli preveriti izvedljivost izdelave zemljevida obremenjenosti okolja z EMS. Zato smo s

pomočjo numeričnega izračuna določili vrednosti električne poljske jakosti na višini 1 m in 16 m nad tlemi. Rezultati izračunov so predstavljeni na slikah 1 in 2, kjer je električna poljska jakost predstavljena v odstotkih mejne vrednosti glede na mejno vrednosti za I. območje varstva pred sevanji uredbe o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem

okolju [4]. Mejne vrednosti za I. območje so desetkrat strožje od mednarodnih priporočil Mednarodne komisije za varstvo pred neionizirnimi sevanji (ICNIRP) [5]. Mejna vrednost za električno poljsko jakost za I. območje znaša 12,9 V/m za sistem GSM 900, 18,3 V/m za sistem GSM 1800 in 19 V/m za sistem UMTS.



Slika 1: Horizontalni prezek električnega polja na višini 1 m nad tlemi. Vrednosti so prikazane v odstotkih mejne vrednosti glede na I. območje uredbe o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju.



Slika 2: Horizontalni prezek električnega polja skozi središče anten na višini 16 m nad tlemi. Vrednosti so prikazane v odstotkih mejne vrednosti glede na I. območje uredbe o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju. Z rdečo barvo je prikazano območje, kjer so presežene mejne vrednosti.

Rezultati izračuna kažejo, da so na obravnavanem območju, kjer so kot vir visokofrekvenčnih EMS prisotne samo bazne postaje mobilne telefonije, vrednosti EMS na nivoju tal nizke. Vrednosti EMS na nivoju tal ne dosežejo več kot 20 odstotkov mejne vrednosti glede na I. območje varstva pred sevanji V višini anten so vrednosti EMS višje in presežejo mejne vrednosti do razdalje največ nekaj deset metrov od anten.. Primerjava rezultatov na višini 1 m nad tlemi na sliki 1 in v višini anten na sliki 2 pokaže, da vrednosti EMS na večjih razdaljah od anten dosežajo podobne vrednosti.

## 2.4 Ugotovitve

Računski pristop k izdelavi zemljevida obremenjenosti okolja z EMS je pokazal, da se s pomočjo numeričnih izračunov lahko izdelata kvaliteten zemljevid obremenjenosti okolja z EMS; vendar je izvedba odvisna od dostopnosti tehničnih podatkov o virih EMS. Atlas okolja, ki vsebuje register virov EMS, ponuja le najosnovnejše podatke o viru (koordinate virov, vrsto vira, sistemu). Za izdelavo zemljevida obremenjenosti okolja z EMS bi bilo potrebno pridobiti še podatke o tipu, višini, naklonu in azimutu anten ter izsevani moči. Naslednja težava je zmožljivost programskega paketa, ki ne omogoča uvoza poljubnega števila objektov. Problem je načeloma rešljiv s segmentacijo območja na več manjših območij in poenostavitvijo oblike objektov, kar bi istočasno pomenilo tudi računsko pohitritev. Ker je za izdelavo zemljevida obremenjenosti z EMS potrebno numerične izračune opraviti na velikem območju ter v dovolj velikem številu točk, je segmentacija izračuna v več manjših območij nujna tudi s tega vidika. Obenem pa to predstavlja dodatne zahteve za ustrezen nadzor nad podatki in opravljenimi izračuni.

## 3 Zaključek

Uporabnost zemljevida obremenjenosti okolja z EMS, ki bi bil javno prosto dostopen na spletu, bi bila večplastna. Prebivalci ali zainteresirani posamezniki bi lahko s pomočjo takšnega zemljevida ocenili obremenjenost svojega okolja z EMS. Velikokrat se med prebivalstvom pojavljajo neutemeljeni strahovi, da so prekomerno izpostavljeni EMS, s pomočjo zemljevida obremenjenosti pa bi se lahko vsak sam prepričal o resnični izpostavljenosti. Drug vidik uporabnosti zemljevida obremenjenosti okolja z EMS je uporaba pri prostorskem načrtovanju, gradnji objektov in umeščanju novih virov EMS v okolje. Pred posegom bi lahko investitorji ali načrtovalci lahko ocenili, v kolikšni meri je okolje že obremenjeno z EMS in na podlagi tega lažje in hitreje sprejeli odločitev o smiselnosti umestitve novega vira v prostor. Pri sprejemanju lokacijskih načrtov, prostorskih aktov in drugih podobnih načrtov bi se lahko upoštevalo obremenjenost okolja z EMS in s tem namembnost posameznega prostora in primernost umeščanja objektov v prostor. Lokalne skupnosti, civilne iniciative in druge interesne skupnosti, ki so običajno najbolj konzervativne pri umeščanju novih virov EMS v

prostor, bi imele vpogled na obremenjenost lokacije z EMS in sprejemljivost novega vira EMS za njihovo okolje.

Namen predstavljene študije je bil predvsem raziskati možnosti izdelave zemljevida obremenjenosti okolja z EMS z računskim postopkom in pri tem ugotoviti ovire, ki bi se pojavile pri izdelavi takšnega projekta. V študiji so bili vključeni samo viri visokofrekvenčnih EMS, za celovito sliko obremenjenosti okolja pa bi bila vsekakor nujna izdelava vzporednega zemljevida obremenjenosti okolja z viri nizkofrekvenčnih EMS, kot so daljnovodi, kablovodi in transformatorske postaje.

## Literatura

- [1] Agencija RS za okolje. Atlas okolja. <http://gis.arso.gov.si/atlasokolja>
- [2] SIST EN 50383:2003 - Osnovni standard za izračunavanje in merjenje moči elektromagnetnega polja in SAR v povezavi z izpostavljenostjo ljudi sevanjem zaradi radijskih baznih postaj in fiksnih terminalskih postaj za brezžične telekomunikacijske sisteme (110 MHz - 40 GHz)
- [3] Kathrein. Data sheet. <http://www.kathrein-scala.com/catalog/742265.pdf>
- [4] Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju. UI RS 70/1996
- [5] ICNIRP. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). Health Physics 74 (4): 494-522; 1998.